

GUELMA UNIVERSITY

PI: MIS Laboratory

International Conference on Signal, Image, Vision and their Applications SIVA'11

November 21-24, 2011, Guelma

**Inverse Problems Modeling, Information and Systems Laboratory (PI: MIS)
Faculty of Sciences and Technology, Guelma University, Guelma 24000, Algeria**

UNIVERSITÉ 8 MAI 45 GUELMA

**International Conference on Signal, Image,
Vision and their Applications SIVA'11**
© SIVA'11, November 21-24, 2011, Guelma Algeria

Organizer

Inverse Problems Modeling, Information and Systems Laboratory (PI: MIS)

Organizing Committee

President: Abdelhane BOUKROUCHE

Members:

Smain SAHOUR, Abdelaziz YOUNSI, Houcine BOUROUBA, Moussa SEDRAOUI, M. Cherif AMARA KORBA, Hakim DOGHMANE, Nadjib BOUSSETILA, Salim BENDJOUDI, Mohamed NEMISSI, Houria BOUDOUDA, Djalel DRICI, El Hadi MEHALLEL, Lotfi HOUAM, Laatra YOUSFI, El Hadi MEHALLEL, Djalel DRICI, Soraya ZENATI.

Scientific Committee

President: R. JENNANE (France)

Members:

H. A. ABBASSI (Algeria), A. ALMHDIE (France), M. C. AMARA KORBA (Algeria), A. BABOURI (Algeria), M. BEDDA (Saudi Arabia), M. Hedi BEDOUI (Tunisia), A. BENIA (Algeria), S. BOUAKEZ (France), M. S. BOUDELLIOUA (Oman), H. BOUDOUDA (Algeria), A. BOUKROUCHE (Algeria), H. BOUROUBA (Algeria), N. BOUSSETILA (Algeria), A. F. CHAREF (Algeria), N.E. DEBBACHE (Algeria), M. DERICHE (Saudi Arabia), R. DJIMILI (Algeria), N. DOGHMANE (Algeria), M. EL HASSOUNI (Morocco), M. F. HARKET (Algeria), A. HAFIANE (France), S. KECHIDA (Algeria), M. KHAMADJA (Algeria), Y. LAFIFI (Algeria), R. LAKEL (Algeria), R. LEDEE (France), Dj. MESSADEK (Algeria), A. MOUSSAOUI (Algeria), M. NEMISSI (Algeria), Ph. NEVEUX (France), J. RAGOT (France), P. RAVIER (France), S. SAHOUR (Algeria), D. SBIBIH (Morocco), M. SEDRAOUI (Algeria), H. SISSAOUI (Algeria), Y. SMARA (Algeria), H. SERIDI (Algeria), A. TALEB-AHMED (France), H. TEBBIKH (Algeria), A. YOUNSI (Algeria), O. UCAN (Turkey).

UNIVERSITÉ 8 MAI 45 GUELMA

**International Conference on Signal, Image,
Vision and their Applications SIVA'11**

© SIVA'11, November 21-24, 2011, Guelma Algeria

Organizer

Inverse Problems Modeling, Information and Systems Laboratory
(PI: MIS)



Topics

- Biomedical Signal and Image Processing
- Signal Processing for Communications Systems
- Image and Video Processing
- Design and Implementation of Signal Processing Systems
- Biometrics
- Inverse Problem
- Texture Analysis
- System Identification
- Image Segmentation and Characterization
- Modeling and Simulation
- Pattern recognition
- Control and Systems

Preface



The first International Conference on Signal, Image, Vision and their applications was held during November 21-24 at Guelma, Algeria. SIVA'11 is organized by Inverse Problems Modeling, Information and Systems Laboratory (PI: MIS) of Guelma and May 8th, 1945 University.

The main aim of the Conference is to bring together people concerned by the multiple aspects of signal, image and vision. A wide range of topics is addressed, including Biomedical Signal and Image Processing, Image and Video Processing, Biometrics, Texture Analysis, Image Segmentation and Characterization, Pattern recognition, Signal Processing for Communications Systems, Design and Implementation of Signal Processing Systems, Inverse Problem, System Identification, Modeling and Simulation, Control and Systems.

The scientific committee ensured the high quality and diversity of the scientific programme together with the accessibility of the meeting to PhD students. We hope that the abstract will be useful for those who are interested in the various conference fields. We also hope you will find your time rewarding and enjoyable in Guelma.



Prof. Abdelhani BOUKROUCHE
PI: MIS Laboratory

CONFERENCES

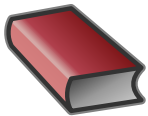
Conferences

UNIVERSITÉ 8 MAI 45 GUELMA

**International Conference on Signal, Image,
Vision and their Applications SIVA'11
© SIVA'11, November 21-24, 2011, Guelma Algeria**

Organizer

Inverse Problems Modeling, Information and Systems Laboratory
(PI: MIS)



CONFERENCES



Rachid JENNANE (Université d'Orléans, France)



Mohamed Salah BOUDELLIOUA (Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman)



Mohamed DERICHE (King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia)

FRACTIONAL BROWNIAN MOTION MODELS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Rachid Jennane

PRISME Laboratory, Université d'Orléans, 12 rue de Blois BP 6744, 45067 Orléans, France.
Rachid.Jennane@univ-orleans.fr

Abstract– Fractal analysis for the characterization of complex structures is widely used in many fields. In the case of biomedical applications, analysis includes geometric characterization of biologic forms and investigation of dynamic processes. Among the fractal models, fractional Brownian motion (fBm) is well suited for the evaluation of images involving a varying range of gray levels. This talk will focus on the use of the fBm for image analysis. Starting from fractional Brownian motion of unique parameter H , different stochastic models are defined and discussed. The fractal anisotropy is considered and different methods emphasising this feature will be presented. An application of these models to the field of biomedical imaging will be demonstrated through trabecular bone data in order to access the bone microarchitecture quality.

Reduction of Linear Multidimensional Systems

Mohamed S. Boudellioua

Dept. of Mathematics and Statistics, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman.
Member of the Inverse Problems Modelling, Information and Systems Laboratory PI: MIS,
University of Guelma, Algeria
boudell@squ.edu.om

Abstract— A multidimensional system is a system in which information propagates in more than one independent direction. Examples of multidimensional systems are delay-differential systems, partial-differential systems and multidimensional recursive systems. Multidimensional systems have diverse applications in areas such as image and video processing, geophysical exploration, linear multipass processes, iterative learning control systems, lumped and distributed networks etc. A multidimensional system may be represented by a multivariate polynomial matrix. Using a polynomial matrix approach we give a necessary and sufficient condition under which a multivariate polynomial matrix can be reduced by unimodular equivalence to a simpler form which corresponds to the case when the reduced system consists of only one single equation with fewer unknowns. The proposed constructive method is illustrated by an example appearing in the literature using symbolic computation.

Feature Selection for Classification: Challenges and Opportunities

Mohamed Deriche

Electrical Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals,
PO Box 1427, KFUPM, Dhahran, 31261 Saudi Arabia
mderiche@kfupm.edu.sa

Abstract– The presentation will discuss the problem of feature selection in classification problems. We will discuss the different techniques used to select a limited number of features from a pool of features. Then, we will discuss filter and wrapper techniques, the cost of feature selection algorithms and give a number of examples from signal and image processing applications.

TALKS

Talks



CONTENTS

□ Mansouri S., Mansouri A., Latreche S., <i>Speech Signal Compression using Discrete Wavelets Transforms.</i>	P. 1-7
□ Hamadache F., Diffellah N., Benmahammed K., <i>Identification des Systèmes Linéaires à Constantes de Temps Proches et Différentes par les Méthodes de Strejc et Broida.</i>	P. 8-13
□ Hamadache F., Diffellah N., et Benmahammed K., <i>Arithmétique à Base d'Intervallés Sur les Profiles.</i>	P. 14-18
□ Meziane Tani S., Bessaid A., <i>Techniques d'indexation d'images Médicales par contenu.</i>	P. 19-21
□ Aouat S., Larabi S., <i>Mise en correspondance des contours d'objets bruités.</i>	P. 22-27
□ Diffellah N., Hamadache F., Benmahammed K., <i>Interval arithmetic and its application to electrical circuits.</i>	P. 28-33
□ Diffellah N., Hamadache F., Benmahammed K., Abbada Y., <i>Similitude entre deux nombres flous triangulaires.</i>	P. 34-39
□ Dali A., Bouchoucha M., Tadjine M., <i>On Quadrotor Modeling: Hybrid Dynamical System Approach.</i>	P. 40-45
□ Djemili R., Bourouba H., Amara Korba M.C., <i>Speaker Identification Using GMMs and Gender Dependent Multi-Class Support Vector Machines.</i>	P. 46-49
□ FIZAZI H., TEKOUK A., <i>Segmentation des images satellitaires par le k means floue et le seuillage adaptatif.</i>	P. 50-55
□ Lamiche C., Moussaoui A., <i>Data Fusion Approach for the Segmentation of MR Images: A Study and an Evaluation.</i>	P. 56-61
□ Boujraf A., Sbibi D., et Leger C., <i>Approximation des surfaces fermées.</i>	P. 62-65
□ Kazem A., Hamza A., Salut G., <i>Optimization of Particle Algorithm to Multiuser Detection in CDMA.</i>	P. 66-69
□ Sid Z., Aoufi L., Semchedine M., <i>Nouvelle Approche de filtrage Non-linéaire d'Images Numériques.</i>	P. 70-72
□ Menezia F., Meliani R., Mahdjoub Z. Moulay Lakhdar A., <i>L'augmentation des performances d'un turbo-code dans son approche pragmatique.</i>	P. 73-78
□ Nemissi M., Seridi H., Boudouda H., Akdag H., <i>Improving classification performances of the systems of multiple neural networks.</i>	P. 79-84
□ Amara Korba M.C., Bourouba H., Djemili R., Messadeg D., <i>Robust Feature Extraction for Speech Recognition.</i>	P. 85-88

□ Behih M., Bekka R. E., Annou A., Djebari M., <i>Stimulation Magnétique d'un Axone d'un Nerf Périphérique à l'aide d'une Nouvelle Bobine.</i>	P. 89-93
□ Assabaa M., Charef A., Ladaci S., Santouh Z., <i>Tuning of PID Controllers Based on Bode's Ideal Transfer Function Using Fractional Calculus.</i>	P. 94-99
□ Tahi W., M.C. Mokrani K., <i>La Séparation Aveugle de Sources.</i>	P. 100-104
□ Amrous A. I., Debyeche M., <i>Robust Arabic speech recognition with auxiliary information in noisy environments.</i>	P. 105-109
□ Bourdjam O., Tighidet, Mehenni M., Adggar D., <i>Conception et Réalisation d'un Système HOLTER d'enregistrement et d'analyse d'ECG.</i>	P. 110-115
□ Houam L., Hafiane A., Jennane R., Boukrouche A., Lespessailles E., Bands <i>Trabecular Bone Texture Classification Using 1D LBP and Wavelet Coefficients in High-pass.</i>	P. 116-121
□ Gheraibia Y., Moussaoui A., <i>Nouvelle Méthode pour la Prédiction des Structures 2D des Protéines.</i>	P. 122-126
□ Belkhodja L., Hamdadou D., <i>Vers l'aide au diagnostic médical Ajustement des paires bilatérales de mammographies par algorithme Génétique.</i>	P. 127-132
□ Alim-Ferhat F., Kerdjadj O., Seddiki S., Messaoudi K., <i>Implémentation de la transformée en ondelettes pour les images médicales 3D sur FPGA.</i>	P. 133-138
□ Aggoune A., <i>Approximate Flexible Queries Using Hausdorff Distance.</i>	P. 139-144
□ Halimouche R., Teffahi H., <i>Vers une Méthode de Classification Automatique de Phrases Interrogatives et Affirmatives.</i>	P. 145-148
□ Bensafia Y., Ladaci S., <i>Elimination du bruit dans une conduite d'aération en utilisant les filtres adaptatifs.</i>	P. 149-151
□ Meftah E.H., Anou A., Bensebti M., <i>Etude de la technique OFDM-IDMA sur un canal surchargé en utilisateur.</i>	P. 152-157
□ Boukeffa S., Bouguelala A., <i>Sidelobe Mitigation Using NLFM Waveforms For SAR Imaging.</i>	P. 158-160
□ Ouahioune M., Akrou L., Lahdir M., Ameer S., <i>Compression d'images hyperspectrales par transformée en ondelettes 3D et SPIHT3D.</i>	P. 161-166
□ Bekaddour A., Bessaid A., Bendimerad F. T., <i>SVM Regularization of Satellite Images K-MEANS Clustering Results.</i>	P. 167-170
□ Belgherbi A., Hadjadj I., Bessaid A., <i>Segmentation automatique du Foie par la morphologie mathématique, application à l'imagerie médicale TDM de l'abdomen.</i>	P. 171-175
□ Bennamane A., Boutkedjirt T., <i>Simulation et analyse d'images échographiques d'un tissu biologique mou.</i>	P. 176-181

□ Lacheb Cheddadi A., Smara Y., <i>Simulation d'images radar SAR.</i>	P. 182-186
□ Ajjou R., Sbaa S., Ghendir S., Taleb-Ahmed A., <i>Détection du pitch par un seuil adaptatif et en temps réel par les ondelettes discrètes.</i>	P. 187-192
□ Benyamina A., Fizazi H., <i>Efficacité de l'algorithme hybride ACOClust pour le partitionnement des images satellitaires.</i>	P. 193-198
□ Elloumi W., Leconge R., Treuillet S., <i>Pedestrian Localization: Literature Review and Illustration of a Monocular Vision Based Approach.</i>	P. 199-204
□ Harrar K., Hamami L., Jennane R., <i>Fractal Analysis of Bone Radiographs Correlated with Histomorphometry.</i>	P. 205-208
□ Almhdie-Imjabber A., Rozenbaum O., Lespessailles E., Jennane R., <i>A New local shape classification method for trabecular bone characterization.</i>	P. 209-213
□ Khader M., Seridi H., <i>Face Detection Using Practical Swarm Optimization and Template Matching.</i>	P. 214-219
□ Benmazou S., Layachi S., Merouani Hayet F., <i>Automate cellulaire SMA pour la segmentation des images IRM.</i>	P. 220-223
□ Mihoubi B., Souag N., Amrane Y., <i>Estimation par la courbure du mouvement cardiaque sur des images Ciné-IRM.</i>	P. 224-229
□ Akkoul S., Leconge R., Hafiane A., Lespessailles E., Jennane R., <i>Stereo X-ray Reconstruction of the Proximal Femur.</i>	P. 230-233
□ Bachir R., Bouyadja, Khelfi M. F., <i>Commande robuste par approche optimale d'un robot manipulateur à 3 d.d.l.</i>	P. 234-239
□ Larbi Omar, <i>Le Clustering Appliqué aux Traces des Utilisateurs dans une Plateforme E-learning.</i>	P. 240-245
□ Mehallel E. H., Boukrouche A., <i>Spectral Analysis of UWB Signal based on Modulation and Multiple Access Scheme.</i>	P. 246-250
□ Mehallel E. H. Drici Dj., Boukrouche A., <i>Image Restoration with Total Variation Regularization.</i>	P. 251-256
□ Bourouba H., Amara Korba M. C., Djemili R., <i>L'utilisation des machines à vecteurs de support SVM pour l'identification du locuteur.</i>	P. 257-261
□ Meziani F., Debbal S. M., <i>Application de La transformée en Ondelettes Discrète (TOD) dans L'analyse des Signaux Phonocardiogrammes.</i>	P. 262-266
□ Almhdie-Imjabber A., Deriche M., Aburrahman A., B., Léger C., <i>Local comparison of multimodal medical surfaces using a compound registration-reconstruction algorithm.</i>	P. 267-271
□ Farou B., Seridi H., <i>Système de détection et de suivi des objets en mouvement dans une vidéo de surveillance.</i>	P. 272-276
□ Chakour C., Ayech N., Harkat M. F., <i>Diagnostic des systèmes dynamiques en temps réel par MSPCA.</i>	P. 277-283

□ Lakhfif A., Laski M. T., <i>Un outil visuel basé sur la réalité virtuelle pour la génération d'énoncés en langue des signes.</i>	P. 284-289
□ Doghmane H., Boukrouche A., <i>Régularisation d'un problème mal posé des images omnidirectionnelles.</i>	P. 290-294
□ Atbi A., Debbal S.M., <i>Segmentation des Signaux Phonocardiogrammes par l'Enveloppe de la Transformée de Hilbert.</i>	P. 295-299
□ Sedraoui M., Gherbi S., Abdelmalek S., <i>Synthèse d'un Contrôleur Fractionnaire par l'Algorithme d'Essaim Particulaire.</i>	P. 300-305
□ Ayech N., Chakour C., Harkat M-F., <i>New Adaptive Moving Window PCA for Process Monitoring.</i>	P. 306-312
□ Messaoudi F., Benyettou M., <i>Identification Biométrique par Fusion Multimodale du Visage et de la Démarche.</i>	P. 313-318
□ Baadeche M., Smara Y., <i>Détection des Structures Linéaires sur des Images RADAR SAR .</i>	P. 319-322
□ Fizazi H., Benmostefa S., <i>Conception de la technique des chauves-souris pour la classification des images.</i>	P. 323-327
□ Kellalib B., Bouchoucha M., <i>Vol en formation d'un groupe de Quadrotors basée sur la technique de commande coopérative $L - \varphi$ et les saturations imbriquées.</i>	P. 328-333
□ Nasri N., Mokrani K., <i>Classification floue par considération du contexte Spatial. Application aux images IRM du cerveau.</i>	P. 334-339
□ Gherbi S., Sedraoui M., <i>Réglage optimal d'un contrôleur basé sur le principe de Smith Predictor.</i>	P. 340-343
□ Bouagar S., Larabi S., <i>Une Approche Globale pour la Représentation et la Mise en Correspondance d'Objets de Forme Libre.</i>	P. 344-348
□ Atoui I., Omeiri A., Bouraiou A., <i>Application de l'Analyse en Ondelettes au Diagnostic de Défauts d'une Machine Asynchrone.</i>	P. 349-354
□ Hameg S., Ameer Z., Lazri M., Ouallouche F., <i>Estimation des précipitations par une approche basée sur la durée de vie des nuages à sommets froids.</i>	P. 355-357
□ Fizazi Izabatene H., Ghardaoui S., <i>Les mouches système multi agents évolutionnaire classification non supervisée des images.</i>	P. 358-363
□ Boulemden A., Tlili Y., <i>Pachinko Allocation Model with Local Features for Image Indexing and Retrieval.</i>	P. 364-367
□ Boudiaf A., Moussaoui A. KSeddiki. S. E. A., <i>Condition Monitoring of Rotating Machines Using Artificial Neural Networks and Wavelet Transform.</i>	P. 368-371
□ Berradja K., Boughanmi N., <i>Blind Separation of Cardiac Structures from Dynamic PET images using Markov Chain Monte Carlo sampling.</i>	P. 372-375

Speech Signal Compression using Discrete Wavelets Transforms.

MANSOURI Sihem, MANSOURI Abdelhamid, LATRECHE Sadjia

Departement of electronics, Ferhat Abbas University, Setif, Algeria.

Elmaabouda city. BP 19000. SETIF.

E-mail : sihemansouri@univ-setif.dz

ABSTRACT—Speech compression is the technology of converting human speech into an efficiently encoded representation that can later be decoded to produce a close approximation of the original signal. This thesis presents a new algorithm to compress speech signals using Discrete Wavelet Transform (DWT) Techniques. Wavelet analysis is the breaking up of a signal into a set of scaled and translated versions of an original (or mother) wavelet. Taking the wavelet transform of a signal decomposes the original signal into wavelets coefficients at different scales and positions. These coefficients represent the signal in the wavelet domain and all data operations can be performed using just the corresponding wavelet coefficients.

In this paper a Wavelet based speech coder is implemented in software using Matlab 7.4 Wavelet Toolbox. The major issues concerning the design of this Wavelet based speech coder are choosing optimal wavelets for speech signals, decomposition level in the

DWT, thresholding criteria for coefficient truncation and efficient encoding of truncated coefficients.

KEY WORDS — Compression, Filter-Bank , Speech, Wavelet.

I. INTRODUCTION

SPEECH is a very basic way for humans to convey information to one another. With a bandwidth of only 4 kHz, speech can convey information with the emotion of a human voice. People want to be able to hear someone's voice from anywhere in the world-as if the person would be in the same room. Speech can be defined such as the response of the vocal tract to one or more excitation signals.

Compression of signals is based on removing the redundancy between neighboring samples and/or between the adjacent cycles. In data compression, it is desired to represent data by as small as possible number of coefficients within an acceptable loss of visual quality. Compression techniques can be classified into one of two main categories: lossless and lossy.

Compression methods can be classified into three functional categories:

- Direct Methods: The samples of the signal are directly handled to provide compression.
- Transformation Methods: such as Fourier Transform (FT), Wavelet Transform (WT), and Discrete Cosine Transform (DCT) .

- Parameter Extraction Methods: A preprocessor is employed to extract some features that are later used to reconstruct the signal.

Fast Fourier transforms (FFT) have been among major tools for compression and efficient coding of signals.

Particularly, the discrete cosine transform (DCT) based compression algorithms have become industry standard still and video image compression systems (JPEG, MPEG). The ability of wavelets to outperform traditional orthogonal bases in the mentioned systems is being extensively explored nowadays.

Wavelet compression is a form of predictive compression where the amount of noise in the data set can be estimated relative to the predictive function. Most modern compression techniques use a two step process: First, a predictive compression function (such as wavelet transform) is applied. If the choice of the predictive compression function is good, the result will be a new set of data with smaller values and more repetition. Second, a coding compression step that will represent the data set in its minimal form (Huffman coding, run-length).

The compression of speech signals has many practical applications. One example is in digital cellular technology where many users share the same frequency bandwidth. Compression allows more users to the system than otherwise possible.

This paper presents a speech coder model that is based on wavelet transform. The paper uses the discrete wavelet transform to model speech signals. This model is implemented using MATLAB.

II. THE DISCRETE WAVELET TRANSFORM

The main idea is the same as is in the continuous wavelet transform (CWT). A time-scale representation of a digital signal is obtained using digital filtering techniques.

The CWT was computed by changing the scale of the analysis window, shifting the window in time, multiplying by the signal, and integrating over all times. The Discrete Wavelet Transform (DWT) involves choosing scales and positions based on powers of two. so called dyadic scales and positions. The mother wavelet is rescaled or "dilated" by powers of two and translated by integers.

Specifically, a function $f(t) \in L^2(\mathbf{R})$ (defines space of square integral functions) can be represented as

$$f(t) = \sum_{j=1}^L \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j, k) \psi(2^{-j}t - k) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} a(L, k) \phi(2^{-L}t - k)$$

The function $\psi(t)$ is known as the mother wavelet, while $\phi(t)$ is known as the scaling function. The set of functions $\{\sqrt{2^{-L}} \phi(2^{-L}t - k), \sqrt{2^{-j}} \psi(2^{-j}t - k) \mid j \leq L, j, k, L \in \mathbf{Z}\}$, where \mathbf{Z} is the set of integers, is an orthonormal basis for $L^2(\mathbf{R})$.

The numbers $a(L, k)$ are known as the approximation coefficients at scale L , while $d(j, k)$ are known as the detail coefficients at scale j . The approximation and detail coefficients can be expressed

The approximation and detail coefficients can be expressed as:

$$a(L, k) = \frac{1}{\sqrt{2^L}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi(2^{-L}t - k) dt$$

$$a(j, k) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(2^{-j}t - k) dt$$

To provide some understanding of the above coefficients consider a projection $f_l(t)$ of the function $f(t)$ that provides the best approximation (in the sense of minimum error energy) to $f(t)$ at a scale l . This projection can be constructed from the coefficients $a(L, k)$, using the equation:

$$f_l(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a(l, k) \phi(2^{-l}t - k)$$

As the scale l decreases, the approximation becomes finer, converging to $f(t)$ as $l \rightarrow 0$.

The difference between the approximation at scale $l + 1$ and that at l , $f_{l+1}(t) - f_l(t)$, is completely described by the coefficients $d(j, k)$ using the equation:

$$f_{l+1} - f_l(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(l, k) \psi(2^{-l}t - k)$$

Using these relations, given $a(L, k)$ and $\{d(j, k) \mid j \leq L\}$, it is clear that we can build the approximation at any scale. Hence, the wavelet transform breaks the signal up into a coarse approximation $f_L(t)$ (given $a(L, k)$) and a number of layers of detail $\{f_{j+1}(t) - f_j(t) \mid j < L\}$ (given by $\{d(j, k) \mid j \leq L\}$). As each layer of detail is added, the approximation at the next finer scale is achieved.

2.1 Vanishing Moments

The number of vanishing moments of a wavelet indicates the smoothness of the wavelet function as well as the flatness of the frequency response of the wavelet filters (filters used to compute the DWT) [7].

Typically a wavelet with p vanishing moments satisfies the following equation [6]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^m \psi(t) dt = 0 \quad \text{for } m=0, \dots, p-1,$$

Or equivalently,

$$\sum_k (-1)^k k^m c(k) = 0 \quad \text{for } m = 0, \dots, p-1.$$

For the representation of smooth signals, a higher number of vanishing moments leads to a faster decay rate of wavelet coefficients. Thus, wavelets with a high number of vanishing moments lead to a more compact signal representation and are hence useful in coding applications.

However, in general, the length of the filters increases with the number of vanishing moments and the complexity of computing the DWT coefficients increases with the size of the wavelet filters.

2.2 The Fast Wavelet Transform Algorithm

The Discrete Wavelet Transform (DWT) coefficients can be computed by using Mallat's Fast Wavelet Transform algorithm. This algorithm is sometimes referred to as the *two-channel sub-band coder* and involves filtering the input signal based on the wavelet function used.

2.2.1 Implementation Using Filters

To explain the implementation of the Fast Wavelet Transform algorithm consider the following equations:

$$\phi(t) = \sum_k c(k) \phi(2t - k)$$

$$\psi(t) = \sum_k (-1)^k c(1 - k) \phi(2t - k)$$

$$\sum_k c_k c_{k-2m} = 2\delta_{0,m}$$

The first equation is known as the *twin-scale relation* (or the dilation equation) and defines the scaling function ϕ . The next equation expresses the wavelet ψ in terms of the scaling function ϕ . The third equation is the condition required for the wavelet to be orthogonal to the scaling function and its translates.

The coefficients $c(k)$ or $\{c_0, \dots, c_{2N-1}\}$ in the above equations represent the impulse response coefficients for a low pass filter of length $2N$, with a sum of 1 and a norm of $1/\sqrt{2}$.

The high pass filter is obtained from the low pass filter using the relationship $g_k = (-1)^k c(1 - k)$, where k varies over the range $(1 - (2N-1))$ to 1.

Equation 2.7 shows that the scaling function is essentially a low pass filter and is used to define the approximations. The wavelet function defined by equation 2.8 is a high pass filter and defines the details.

Starting with a discrete input signal vector s , the first stage of the FWT algorithm decomposes the signal into two sets of coefficients. These are the approximation coefficients $cA1$

(low frequency information) and the detail coefficients cD_1 (high frequency information), as shown in the figure below.

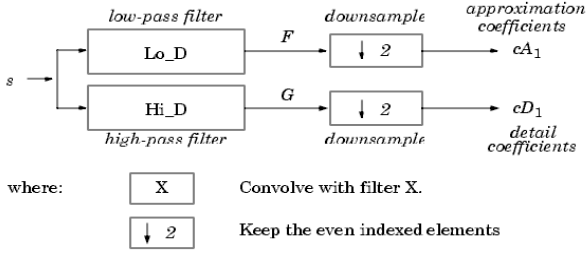


Fig.1: Filtering operation of the DWT [15].

The coefficient vectors are obtained by convolving s with the low-pass filter Lo_D for approximation and with the high-pass filter Hi_D for details. This filtering operation is then followed by dyadic decimation or down sampling by a factor of 2. Mathematically the two-channel filtering of the discrete signal s is represented by the expressions:

$$cA_1 = \sum_k c_k s_{2i-k}, \quad cD_1 = \sum_k g_k s_{2i-k}$$

These equations implement a convolution plus down sampling by a factor 2 and give the forward fast wavelet transform. If the length of each filter is equal to $2N$ and the length of the original signal s is equal to n , then the corresponding lengths of the coefficients cA_1 and cD_1 are given by the formula:

$$\text{floor}\left(\frac{n-1}{2}\right) + N$$

This shows that the total length of the wavelet coefficients is always slightly greater than the length of the original signal due to the filtering process used.

2.2.2 Multilevel Decomposition

The decomposition process can be iterated, with successive approximations being decomposed in turn, so that one signal is broken down into many lower resolution components. This is called the wavelet decomposition tree.

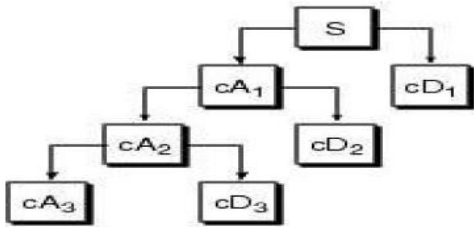


Fig.2: Decomposition of DWT coefficients

The wavelet decomposition of the signal s analysed at level j has the following structure $[cA_j, cD_j, \dots, cD_1]$.

Looking at a signals wavelet decomposition tree can reveal valuable information. The diagram below shows the wavelet decomposition to level 3 of a sample signal S .

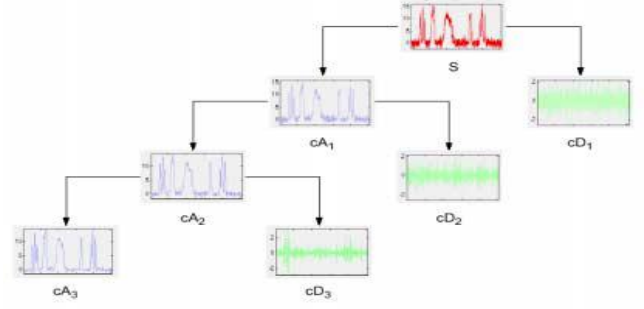


Fig.3: Level 3 Decomposition of Sample Signal S [5]

Since the analysis process is iterative, in theory it can be continued indefinitely. In reality, the decomposition can only proceed until the vector consists of a single sample.

Normally, however there is little or no advantage gained in decomposing a signal beyond a certain level. The selection of the optimal decomposition level in the hierarchy depends on the nature of the signal being analysed or some other suitable criterion, such as the low-pass filter cut-off.

III. WAVELET SPEECH COMPRESSION TECHNIQUES

The idea behind signal compression using wavelets is primarily linked to the relative scarceness of the wavelet domain representation for the signal. Wavelets concentrate speech information (energy and perception) into a few neighboring coefficients [7]. Therefore as a result of taking the wavelet transform of a signal, many coefficients will either be zeros or have negligible magnitudes. Data compression is then achieved by treating small valued coefficients as insignificant data and thus discarding them. The process of compressing a speech signal using wavelets involves a number of different stages, each of which are discussed below.

A. Choice of Wavelet

The choice of the mother-wavelet function used in designing high quality speech coders is of prime importance. Choosing a wavelet that has compact support in both time and frequency in addition to a significant number of vanishing moments is essential for an optimum wavelet speech compressor.

Several different criteria can be used in selecting an optimal wavelet function. The objective is to minimize reconstructed error variance and maximize signal to noise ratio (SNR). In general optimum wavelets can be selected based on the energy conservation properties in the approximation part of the wavelet coefficients.

In [1] it was shown that the Battle-Lemarie wavelet concentrates more than 97.5% of the signal energy in the approximation part of the coefficients. This is followed very closely by the Daubechies D20, D12, D10 or D8 wavelets, all concentrating more than 96% of the signal energy in the Level 1 approximation coefficients.

Wavelets with more vanishing moments provide better reconstruction quality, as they introduce less distortion into the processed speech and concentrate more signal energy in a few

neighboring coefficients. However the computational complexity of the DWT increases with the number of vanishing moments and hence, for real time applications it is not practical to use wavelets with an arbitrarily high number of vanishing moments [8].

B. Wavelet decomposition

Wavelets work by decomposing a signal into different resolutions or frequency bands, and choosing the wavelet function and computing the Discrete Wavelet Transform (DWT) carries out this task [2]. Signal compression is based on the concept that selecting a small number of approximation coefficients (at a suitably chosen level) and some of the detail coefficients can accurately represent regular signal components.

Choosing a decomposition level for the DWT usually depends on the type of signal being analyzed or some other suitable criterion such as entropy. For the processing of speech signals decomposition up to scale 5 is adequate [1], with no further advantage gained in processing beyond scale 5.

C. Truncation of coefficients

After calculating the wavelet transform of the speech signal, compression involves truncating wavelet coefficients below a threshold. An experiment conducted on a male spoken sentence [4], shows that most of the coefficients have small magnitudes. More than 90% of the wavelet coefficients have less than 5% of the maximum value.

This means that most of the speech energy is in the high-valued coefficients, which are few [4]. Thus the small valued coefficients can be truncated or zeroed and then be used to reconstruct the signal. This compression scheme provided a segmental signal-to-noise ratio (SEGSNR) of 20 dB, with only 10% of the coefficients.

Two different approaches are available for calculating thresholds. The first, known as Global Thresholding involves taking the wavelet expansion of the signal and keeping the largest absolute value coefficients. In this case you can manually set a global threshold, a compression performance or a relative square norm recovery performance. Thus only a single parameter needs to be selected.

The second approach known as By Level Thresholding consists of applying visually determined level dependent thresholds to each decomposition level in the wavelet transform.

D. Encoding coefficients

Signal compression is achieved by first truncating small-valued coefficients and then efficiently encoding them. One way of representing the high-magnitude coefficients is to store the coefficients along with their respective positions in the wavelet transform vector [2].

Another approach to compression is to encode consecutive zero valued coefficient [4], with two bytes. One byte to indicate a sequence of zeros in the wavelet transforms vector and the second byte representing the number of consecutive zeros.

For further data compactness a suitable bit-encoding format, can be used to quantize and transmit the data at low bit rates. A low bit rate representation can be achieved by using an entropy coder like Huffman coding or arithmetic coding.

IV. IMPLEMENTATION AND RESULTS

The design of the wavelet transform speech coder is based on the concepts covered in the “Wavelet Speech Compression Techniques”. Figure (4) below illustrates the different processes involved in coding speech signals using wavelets. The MATLAB’s Wavelet Toolbox incorporates many different wavelet families, from the “Wavelet Speech Compression Techniques”. It was decided to use the Haar and Daubechies wavelets for coding speech signals.

We introduce the wavelet-based speech coder, as some functions (i.e. *Compress*, *Decompress*, *Encode*, *Decode*, *Pefcal*, *Playingsound*, *Results* and *Plotresult*) which are mainly called from the function *Main*.

A. Calculating Thresholds

For the truncation of small-valued transform coefficients, two different thresholding techniques are used, Global Thresholding and By-Level Thresholding.

The aim of Global Thresholding is to retain the largest absolute value coefficients, regardless of the scale in the wavelet decomposition tree. Global thresholds are calculated by setting the % of coefficients to be truncated. Level dependent thresholds are calculated using the Birge-Massart strategy [3]. This thresholding scheme is based on an approximation result from Birge and Massart and is well suited for signal compression.

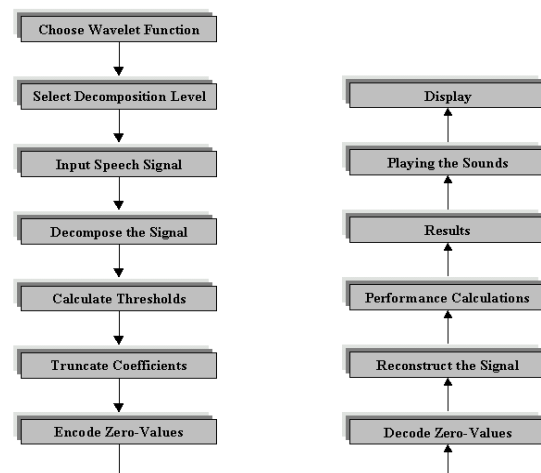


Fig.4: Design Flow of Wavelet Based Speech Coder.

B. Encoding Zero-Valued coefficients

After zeroing wavelet coefficients with negligible values based on either calculating threshold values or simply selecting a truncation percentage, the transform vector needs to be compressed. In this implementation, consecutive zero valued coefficients are encoded with two bytes. One byte is

used to specify a starting string of zeros and the second byte keeps track of the number of successive zeros.

Due to the scarcity of the wavelet representation of the speech signal, this encoding method leads to a higher compression ratio than storing the non-zero coefficients along with their respective positions in the wavelet transform vector, as suggested in the “Wavelet Speech Compression Techniques”. This encoding scheme is the primary means of achieving signal compression.

C. Performance Measurement Tools

A number of quantitative parameters can be used to evaluate the performance of the coder, in terms of reconstructed signal quality after compression scores. The following parameters are compared:

- ✓ Signal to Noise Ratio (SNR),
- ✓ Peak Signal to Noise Ratio (PSNR),
- ✓ Normalized Root Mean Square Error (NRMSE),
- ✓ Retained Signal Energy(RSE),
- ✓ Compression Ratios (CR).

The results obtained for the above quantities are calculated using the following formulas:

- ✓ *SIGNAL TO NOISE RATIO (SNR)*

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right)$$

σ_x^2 is the mean square of the speech signal and σ_e^2 is the mean square difference between the original and reconstructed signals.

- ✓ *PEAK SIGNAL TO NOISE RATIO (PSNR)*

$$PNSR = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x-r\|^2}$$

N is the length of the reconstructed signal, X is the maximum absolute square value of the signal x and $\|x-r\|^2$ is the energy of the difference between the original and reconstructed signals.

- ✓ *NORMALIZED ROOT MEAN SQUARE ERROR (NRMSE)*

$$NRMSE = \sqrt{\frac{(x(n) - r(n))^2}{(x(n) - \mu_x(n))^2}}$$

$x(n)$ is the speech signal, $r(n)$ is the reconstructed signal, and $\mu_x(n)$ is the mean of the speech signal.

- ✓ *RETAINED SIGNAL ENERGY (RSE)*

$$RSE(\%) = \frac{\|x(n)\|^2}{\|r(n)\|^2} \times 100$$

$\|x(n)\|$ is the norm of the original signal and $\|r(n)\|$ is the norm of the reconstructed signal.

- ✓ *COMPRESSION RATIO (CR)*

$$CR = \frac{\text{length}(x(n))}{\text{length}(r(n))}$$

$x(n)$ is the original signal and $r(n)$ is the reconstructed signal.

V. RESULTS AND DISCUSSION

A. Performance of Recorded Speech Coding

A male and female spoken speech signals were decomposed at scale 3 and level dependent thresholds were applied using the Birge-Massart strategy.

Since the speech files were of short duration, the entire signal was decomposed at once without framing. A summary of the performance is given below for the different wavelets used.

a) A Male Speech Signal Decomposed at Different type of wavelets

Wavelet	Zeros(%)	RSE(%)	SNR	PSNR	NRMSE
Haar	79.2184	93.3054	11.7428	92.7803	0.2587
Db4	79.0749	97.8056	16.5870	97.6245	0.1481
Db6	79.0609	97.9450	16.8722	97.9098	0.1433
Db8	79.0381	98.0706	17.1463	98.1838	0.1389
Db10	79.0118	98.2008	17.4502	98.4877	0.1341

b) Female Speech Signal Decomposed at Different type of wavelets

Wavelet	Zeros(%)	RSE(%)	SNR	PSNR	NRMSE
Haar	79.1756	90.2214	10.0972	91.9450	0.3127
Db4	79.0771	95.4705	13.5870	95.2864	0.2128
Db6	79.0560	95.9561	13.8722	95.7948	0.2007
Db8	79.0386	96.2727	14.2463	96.1318	0.1931
Db10	79.0111	96.3477	14.3566	96.2324	0.1909

c) Compression scores

Wavelet	Male	Female
Haar	3.5438	3.4658
Db4	3.7742	3.5657
Db6	3.8220	3.5988
Db8	3.8250	3.6352
Db10	3.8753	3.6446

Table 1: a), b), c): Performance of Recorded Speech Compression

B. Performance of Real Time Speech Coding

In this section the same speech files were used, except the signals were divided into frames of length 20ms to simulate real time coding. Each frame was then decomposed, truncated and compressed. A level 5, wavelet decomposition was applied along with global thresholds of close to 78-79% to enable comparisons with the previous results. A summary of the performance is given below for the different wavelets used.

a) Male Speech Signal Decomposed at Different type of wavelets

Wavelet	Zeros(%)	RSE(%)	SNR	PSNR	NRMSE
Haar	78.8175	83.6181	9.1507	90.1882	0.3487
Db4	78.9216	89.4932	10.7339	91.8503	0.2852
Db6	78.7505	88.6178	11.0929	91.9448	0.2852
Db8	78.3683	88.4611	9.7060	90.8218	0.3242
Db10	77.9373	88.4156	9.6944	90.9158	0.3207

b) Female Speech Signal Decomposed at Different type of wavelets

Wavelet	Zeros(%)	RSE(%)	SNR	PSNR	NRMSE
Haar	78.8531	85.7896	8.2749	90.1227	0.3857
Db4	79.0593	92.2694	10.5569	92.3711	0.2977
Db6	79.0560	92.2768	10.7596	92.5368	0.2921
Db8	78.9169	89.8339	8.5702	90.3742	0.3747
Db10	78.4119	88.8729	8.1457	90.1153	0.3860

c) Compressions scores

Wavelet	Male	Female
Haar	2.3152	2.2919
Db4	2.1076	2.1765
Db6	1.9757	1.9544
Db8	1.7834	1.8182
Db10	1.6393	1.6588

Table 2: a), b), c): Performance of Real Time Speech Compression

Thus using a wavelet with a large no of vanishing moments will start to deteriorate the performance of a real time speech coder after a certain filter length. From table 2, the Db6 wavelet gives better performance than all the other wavelets tested. Thus for real time speech coding using wavelets it is important to choose a wavelet function with less vanishing moments and also a reasonable decomposition level.

C. Varying Truncation % vs. Performance

To see the effects of varying the truncation percentage on the reconstructed signal quality, a male spoken speech signal was decomposed at level 5, using the Db10 wavelet. Figure 5 shows the percentage of samples with a certain threshold value in the wavelet decomposition. From this figure it can be seen that most of the coefficients have small magnitudes. Figures 6-8 show trends in the quality of a signal as a function of the truncation percentage. Hence a signal of a certain quality can be reconstructed, by choosing the appropriate threshold.

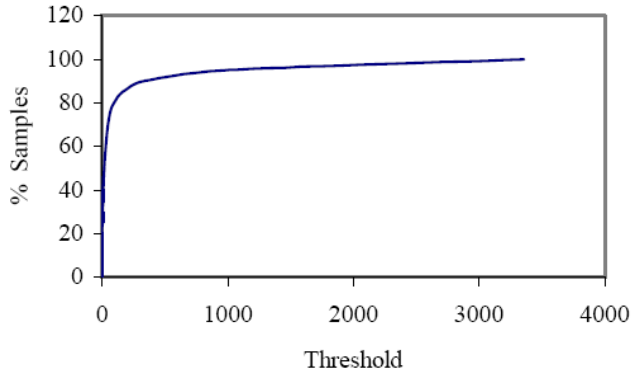


Fig.5 : Truncation % vs. Threshold

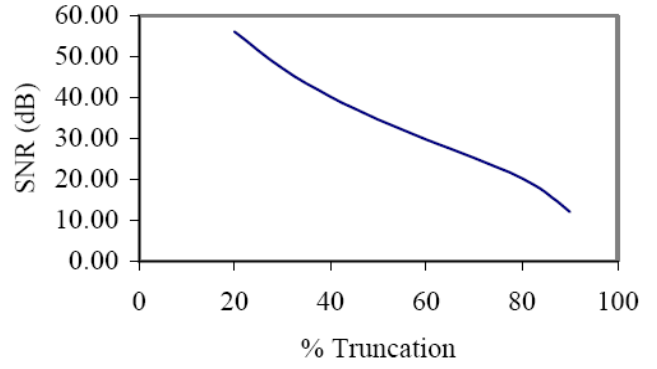


Fig.6: SNR vs. % Truncation

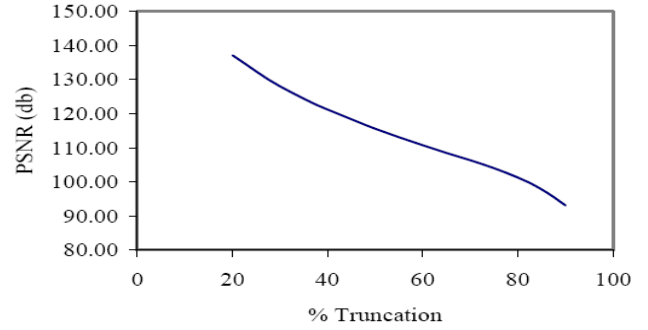


Fig.7: PSNR vs. % Truncation

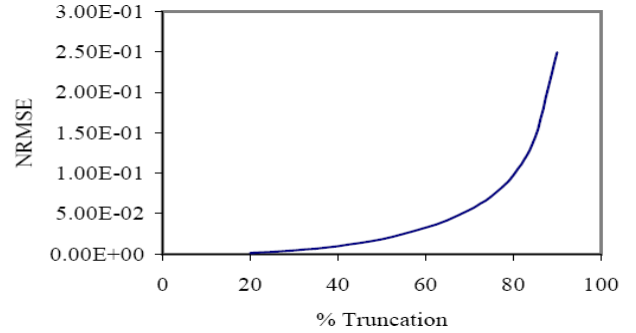


Fig. 8: NRMSE vs. % Truncation

VI. CONCLUSIONS

Speech coding is currently an active topic for research in the areas of Very Large Scale Integrated (VLSI) circuit technologies and Digital Signal Processing (DSP). The Discrete Wavelet Transform performs very well in the compression of recorded speech signals. For real time speech processing however, its performance is not as good. Therefore for real time speech coding it is recommended to use a wavelet with a small number of vanishing moments at level 5 decomposition or less. The wavelet based compression software designed reaches a signal to noise ratio of 17.45 db at a compression ratio of 3.88 using the Daubechies 10 wavelet.

The performance of the wavelet scheme in terms of compression scores and signal quality is comparable with other good techniques such as code excited linear predictive

coding (CELP) for speech, with much less computational burden. In addition, using wavelets the compression ratio can be easily varied, while most other compression techniques have fixed compression ratios.

VII. REFERENCES

- [1] Agbinya, J.I. "Discrete Wavelet Transform Techniques in Speech Processing", *IEEE Tencon Digital Signal Processing Applications Proceedings*, IEEE, New York, NY, 1996, pp 514-519.
- [2] Fgee, E.B., Phillips, W.J. and Robertson, W. "Comparing Audio Compression using Wavelets with other Audio Compression Schemes", *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, IEEE, Edmonton, Canada, 1999, pp. 698-701.
- [3] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim G. and Poggi, J. "Wavelet Toolbox User's Guide", Mathworks, 1997.
- [4] Kinsner, W. and Langi, A. "Speech and Image Signal Compression with Wavelets", *IEEE Wescanex Conference Proceedings*, IEEE, New York, NY, 1993, pp. 368-375.
- [5] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim and J. Poggi, *Matlab Wavelet Tool Box*, The Math Works Inc., 2000.
- [6] J. Ooi and V. Viswanathan, Applications of Wavelets to Speech Processing., *Modern Methods of Speech Processing*, R.P. Ramachandran and R. Mammone, ed., Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995, pp. 449-464.
- [7] V. Viswanathan, W. Anderson, J. Rowlands, M. Ali and A. Tewfik, Real-Time Implementation of a Wavelet-Based Audio Coder on the T1 TMS320C31 DSP Chip., *5th International Conference on Signal Processing Applications & Technology (ICSPAT)*, Dallas, TX, Oct. 1994.
- [8] A. Gersho, Speech Coding., *Digital Speech Processing*, A.N. Ince, ed., Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992, pp. 73-100.

Identification des Systèmes Linéaires à Constantes de Temps Proches et Différentes par les Méthodes de Strejc et Broida

F. HAMADACHE, N. DIFFELLAH, et K. BENMAHAMMED

Abstract—L'objectif de ce travail est d'analyser l'identification paramétrique de systèmes dynamiques linéaires par les deux méthodes d'identification connus méthode de Strejc et méthode de Broida pour les systèmes avec des constantes de temps assez proches et des systèmes avec des constantes de temps très différentes pour une éventuelle comparaison.

Index Terms— Broida, Identification , Strejc , Systèmes dynamiques.

I. INTRODUCTION

UN système linéaire a une fonction de transfert qui peut se calculer en établissant les équations différentielles qui relient entrée et sortie. Ces équations théoriques sont parfois difficiles à écrire car on n'a pas forcément toute la connaissance du système nécessaire.

Souvent, un modèle dont le comportement ressemble à celui du système à étudier est suffisant pour élaborer une loi de commande adaptée. On présente deux méthodes celle de Strejc et Broida pour obtenir un modèle sous forme de fonction de transfert équivalente en terme de réponse à un système dont on ne sait pas modéliser le comportement [1] , [2], [3].

II. IDENTIFICATION

Identifier un système, c'est rechercher à partir d'expériences sur celui-ci, un modèle mathématique dont le comportement dynamique soit le plus voisin possible de celui du système.

L'identification d'un processus nécessite l'enregistrement préalable de sa réponse. Celle-ci peut être une réponse indicielle (modélisation temporelle) ou la réponse à signal à contenu spectral plus dense (bruit analogique ou binaire) permettant après transformation de Fourier de modéliser la réponse fréquentielle du processus.

A. Identification dans le domaine temporel

Cette technique consiste à attaquer le système par un échelon d'amplitude donnée et s'intéresser par la suite à l'évolution dans le temps de sa sortie. On compare ensuite la réponse obtenue avec une fonction de transfert normalisée. Il faut donc utiliser une méthode d'identification ne demandant aucune connaissance préalable si ce n'est l'enregistrement de la réponse indicielle. Le modèle que l'on obtiendra alors sera

un modèle de représentation qui peut n'avoir aucune correspondance physique avec le système considéré. Mais, si l'identification est bonne, les réponses indicielles et/ou fréquentielle seront aussi proches que possible de celles du système étudié.

a. Méthode de Strejc

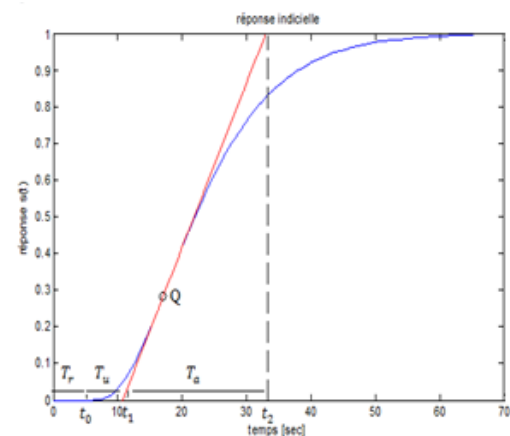
Pour les systèmes apériodiques d'ordre deux et plus, il est difficile d'estimer l'ordre du système avant de l'avoir identifié. On peut choisir de le modéliser par une fonction de transfert de la forme :

$$T(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = K \frac{\exp(-T_r p)}{(1 + T_p)^n} \quad (1)$$

Les paramètres à identifier sont donc :

- ✓ le gain statique K ,
- ✓ le retard T_r ,
- ✓ la constante de temps T
- ✓ et l'ordre n .

La réponse indicielle d'un tel modèle est représentée comme suit :



Réponse indicielle d'un système apériodique et paramètres de Strejc.

Partant de la réponse indicielle théorique d'un système d'ordre n sans retard pur, Strejc a calculé les temps caractéristiques T_u et T_a . Ces résultats ont été reportés dans le tableau suivant :

Table.1 Tableau des paramètres de Strejc

n	$\frac{y_Q}{y(\infty)}$	$\alpha = \frac{T_u}{T_a}$	$\beta = \frac{T}{T_a}$
1	0	0	5.00
2	0.26	0.104	0.368
3	0.32	0.218	0.271
4	0.35	0.319	0.224
5	0.37	0.410	0.195
6	0.38	0.493	0.175
7	0.39	0.570	0.161
8	0.40	0.642	0.149
9	0.41	0.709	0.140
10	0.41	0.773	0.132

La première colonne de ce tableau donne la position du point d'inflexion Q . La deuxième colonne permet de calculer le temps T_u et d'en tirer le temps de retard $T_r = t_1 - T_u$. De la troisième colonne, on tire la constante de temps T du système.

Pour déterminer les paramètres d'un modèle de Strejc, il faut :

- ✓ Mesurer le gain statique K du système qui est le rapport de la valeur finale du signal de sortie et d'entrée;
- ✓ Mesurer les temps T_a et t_1 ;
- ✓ Estimer le retard maximum T_{rmax} ;
- ✓ Tirer du tableau de Strejc la valeur de $T_u = \alpha.T_a$ pour différentes valeurs de n ;
- ✓ Calculer le retard $T_r = t_1 - T_u$ qui doit être positif et inférieur à T_{rmax} ;
- ✓ Calculer la constante de temps $T = \beta.T_a$;
- ✓ Déterminer les ordres n possibles en ne conservant que les temps de retard admissibles.

b. Méthode de Broïda

La méthode de Broïda consiste à assimiler la fonction de transfert d'un système d'ordre n à celle du premier ordre affectée d'un retard pur.

Le modèle proposé pour approcher le comportement du système est un premier ordre avec un retard pur. Sa fonction de transfert est :

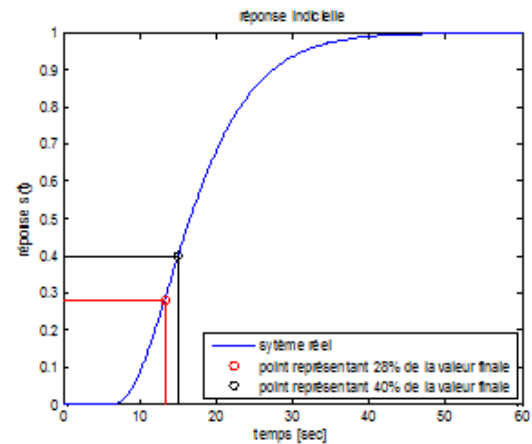
$$T(p) = \frac{K}{1 + Tp} e^{-rp} \quad (2)$$

Les paramètres à identifier sont donc :

- ✓ le gain statique K ,
- ✓ le retard r ,
- ✓ la constante de temps T

Afin de déterminer des valeurs de ces paramètres, Broïda fait correspondre la réponse indicielle à identifier et la fonction de transfert du premier ordre affectée d'un retard en deux points

t_1 et t_2 d'ordonnées correspondant à 28% et 40% de la valeur finale de la sortie du système.



Réponse indicielle d'un système apériodique et paramètres de Broïda.

Les paramètres du modèle de Broïda sont :

$$T = 5.5(t_2 - t_1) \text{ et } r = 2.8t_1 - 1.8t_2 \quad (3)$$

III. RELATION ENTRE LA METHODE DE STREJC ET BROIDA

Afin de mieux comprendre les relations existant entre les modèles de Strejc et Broïda, appliquons cette méthode à des systèmes dont les transmittances sont connues exactement.

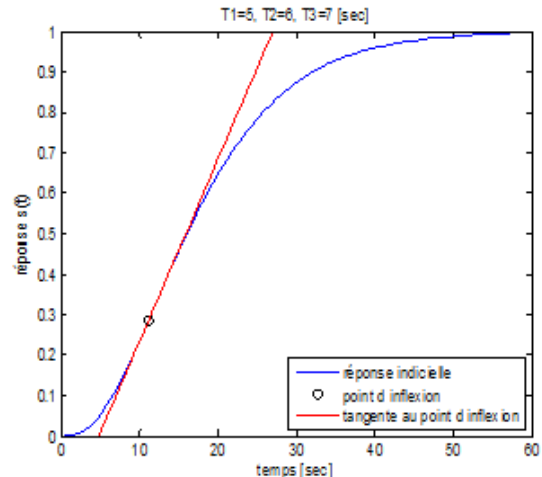
A. Systèmes avec des constantes de temps proches

Considérons un système décrit par 3 constantes de temps valant 5, 6 et 7 secondes.

$$T(p) = \frac{1}{(1 + 5p)(1 + 6p)(1 + 7p)} \quad (4)$$

a. Méthode de Strejc

La représentation de la réponse indicielle du système et la tangente au point d'inflexion est représentée par la figure suivante :



Réponse indicielle et tangente au point d'inflexion.

La mesure des temps caractéristiques sur la réponse indicielle (Fig.3) a conduit aux valeurs suivantes : $t_1 = 5.1924[s]$, $t_2 = 27.4453[s]$, $T_a = t_2 - t_1 = 22.2529[s]$ qui nous permettent de construire le tableau d'identification suivant :

Table.2 Tableau des paramètres de Strejc

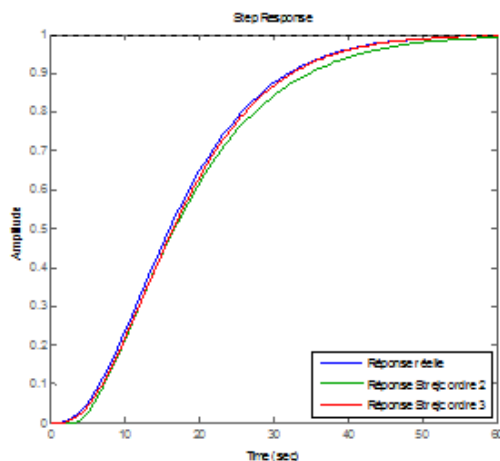
n	$T_u = \alpha \cdot T_a$	$T_r = t_1 - T_u$	$T = \beta \cdot T_a$
2	2.3143	2.8780	8.1891
3	4.8511	0.3412	6.0305
4	7.0987	-1.9063	4.9847
5	9.1237	-3.9314	4.3393
6	10.9707	-5.7783	3.8943
7	12.6842	-7.4918	3.5827
8	14.2864	-9.0940	3.3157
9	15.7773	-10.5850	3.1154
10	17.2015	-12.0092	2.9374

Les retards négatifs n'ayant aucune signification physique, on éliminera sans autre les ordres supérieurs à $n = 3$. Il reste donc le choix entre les deux modèles suivants :

$$T_2(p) = \frac{e^{-2.8780 p}}{(1 + 8.1891 p)^2} \quad (5)$$

$$T_3(p) = \frac{e^{-0.3412 p}}{(1 + 6.0305 p)^3} \quad (6)$$

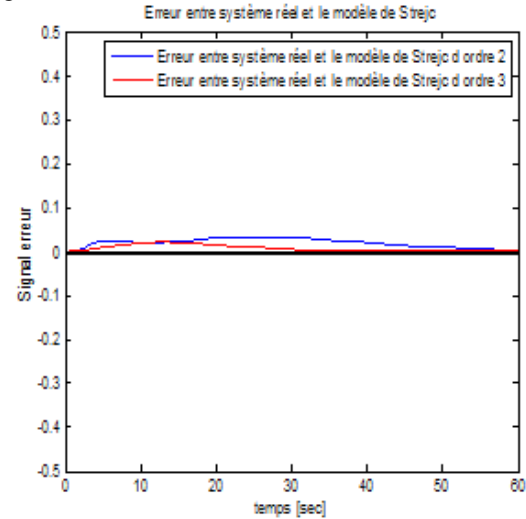
Le tracé de la réponse indicielle réelle et les réponses indicelles de Strejc d'ordre 2 et 3 est comme suit :



Réponses indicelles du système réel, modèles de Strejc d'ordre 2 et ordre 3.

Le calcul d'erreur entre les réponses indicelles du système réel et les modèles de Strejc d'ordre 2 et 3 est représenté par

la figure suivante :

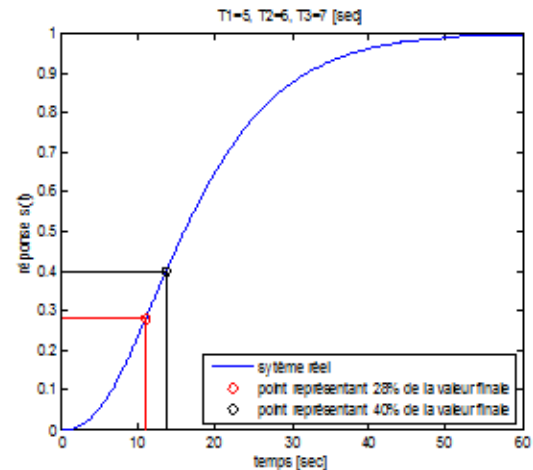


Erreurs entre les réponses indicelles du système réel et les modèles de Strejc d'ordre 2 et 3

Interprétation : Le modèle de Strejc d'ordre 3 est en très bonne concordance avec le système réel et les différences entre les réponses indicelles sont difficilement perceptibles

b. Méthode de Broida

La représentation de la réponse indicielle du système et points correspondant à 28% et 40% de la valeur finale est représentée par la figure suivante :



Réponses indicelles du système et paramètres de Broida

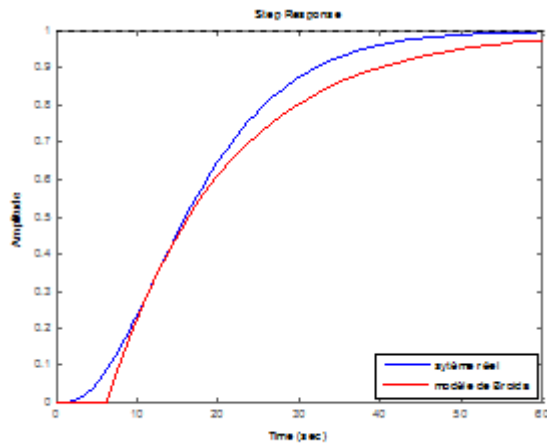
La mesure des temps caractéristiques sur la réponse indicielle (Fig.3) a conduit aux valeurs suivantes : $t_1 = 10.9700[s]$, $t_2 = 13.6300[s]$, qui nous permettent de calculer les paramètres de Broida.

$$T = 14.6300 \text{ et } r = 6.1820 \quad (7)$$

Le modèle de Broida est alors défini comme suit :

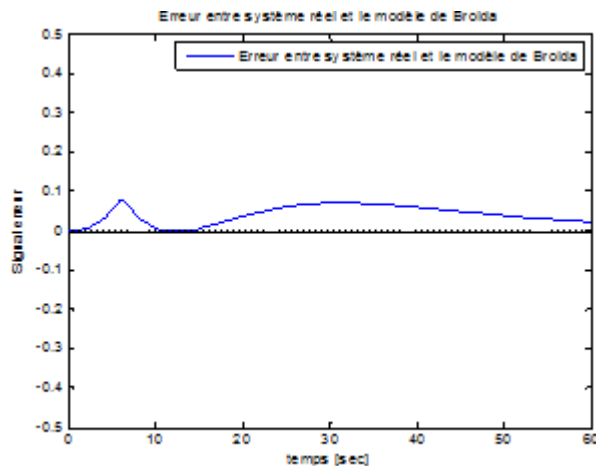
$$T(p) = \frac{e^{-6.1820 p}}{(1 + 14.6300 p)} \quad (8)$$

Le tracé des réponses indicelles réelles et du modèle de Broida est comme suit :



Réponses indicielles du système et du modèle de Broida

Le tracé de l'erreur entre le système réel et le modèle de Broida est représenté par la figure suivante :



Erreur entre le système et le modèle de Broida

Interprétation : Le modèle de Broida est loin d'être en concordance avec le système réel en le comparant avec le modèle de Strejc ; même le modèle de Strejc d'ordre 2 qu'on a rejeté lors de l'étape de modélisation est meilleur que ce dernier.

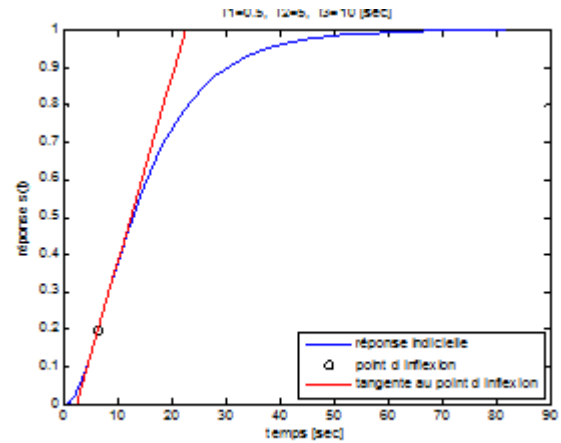
B. Systèmes avec des constantes de temps différentes

Considérons un système décrit par 3 constantes de temps valant 0.5, 5 et 10 secondes.

$$T(p) = \frac{1}{(1 + 0.5p)(1 + 5p)(1 + 10p)} \quad (9)$$

a. Méthode de Strejc

La représentation de la réponse indicielle du système et la tangente au point d'inflexion est représentée par la figure suivante :



Réponse indicielle et tangente au point d'inflexion.

La mesure des temps caractéristiques sur la réponse indicielle a conduit aux valeurs suivantes : $t_1 = 3.1790$ [s], $t_2 = 23.3126$ [s], $T_a = t_2 - t_1 = 20.1336$ [s] qui nous permettent de construire le tableau d'identification suivant :

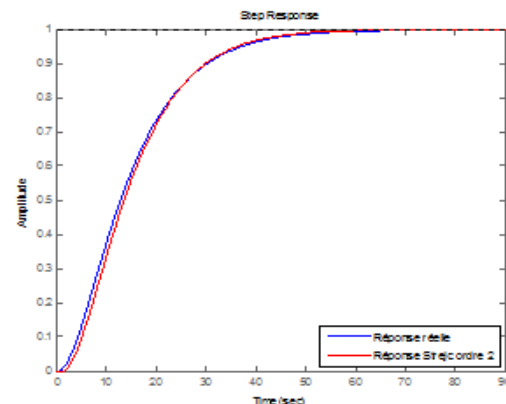
Tab.2 Tableau d'identification de Strejc

n	$T_u = \alpha \cdot T_a$	$T_r = t_1 - T_u$	$T = \beta \cdot T_a$
2	2.0939	1.0851	7.4092
3	4.3891	-1.2101	5.4562
4	6.4226	-3.2436	4.5099
5	8.2548	-5.0758	3.9261
6	9.9259	-6.7469	3.5234
7	11.4762	-8.2972	3.2415
8	12.9258	-9.7468	2.9999
9	14.2747	-11.0957	2.8187
10	15.5633	-12.3843	2.6576

Les retards négatifs n'ayant aucune signification physique, on éliminera sans autre les ordres supérieurs à $n = 2$. Il reste donc un seul modèle qui est le suivant :

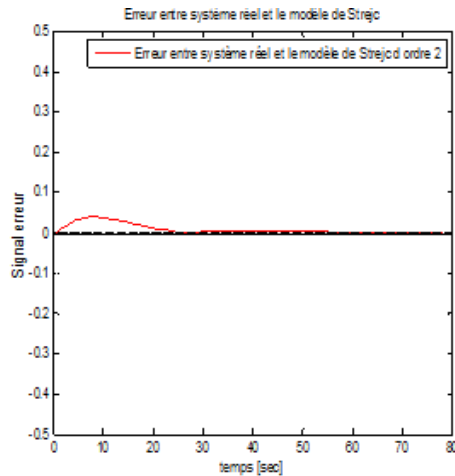
$$T_2(p) = \frac{e^{-1.0851 p}}{(1 + 7.4092 p)^2} \quad (10)$$

Le tracé de la réponse indicielle réelle et la réponse indicielle de Strejc d'ordre 2 est comme suit :



Réponses indicielles du système réel, modèles de Strejc d'ordre 2.

Le calcul d'erreur entre les réponses indicielles du système réel et le modèle de Strejc d'ordre 2 est représenté par la figure suivante :

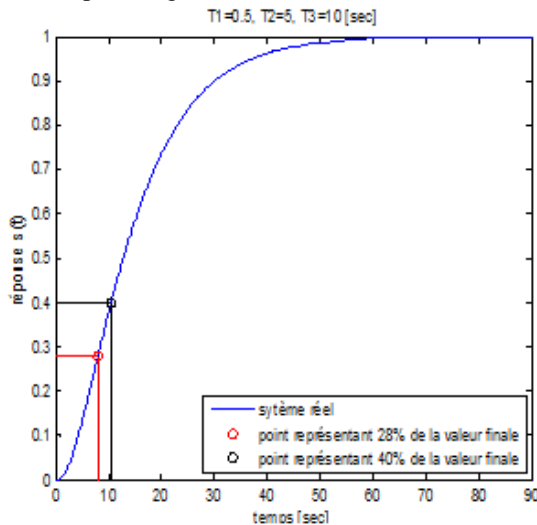


Erreurs entre les réponses indicielles du système réel et le modèle de Strejc d'ordre 2.

Commentaire : Le modèle de Strejc d'ordre 2 est en très bonne concordance avec le système réel et les différences entre les réponses indicielles sont difficilement perceptibles.

b. Méthode de Broida

La représentation de la réponse indicielle du système et points correspondant à 28% et 40% de la valeur finale est représentée par la figure suivante :



Réponses indicielles du système et paramètres de Broida

La mesure des temps caractéristiques sur la réponse indicielle (Fig.3) a conduit aux valeurs suivantes : $t_1 = 8.0400[s]$, $t_2 = 10.5200[s]$, qui nous permettent de calculer les paramètres de Broida.

La mesure des temps caractéristiques sur la réponse indicielle (Fig.3) a conduit aux valeurs suivantes : $t_1 =$

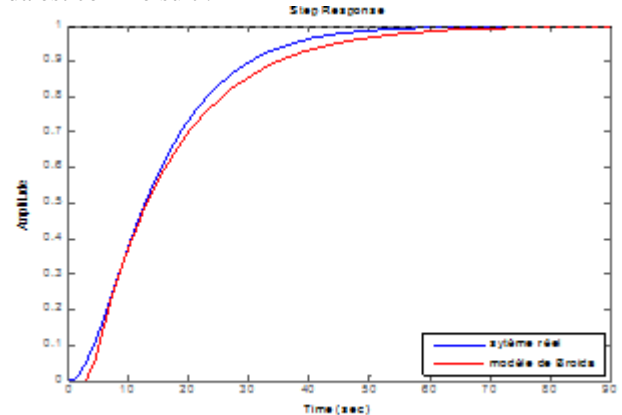
$8.0400[s]$, $t_2 = 10.5200[s]$, qui nous permettent de calculer les paramètres de Broida.

$$T = 13.6400 \text{ et } r = 3.5760 \quad (11)$$

Le modèle de Broida est alors définie comme suit :

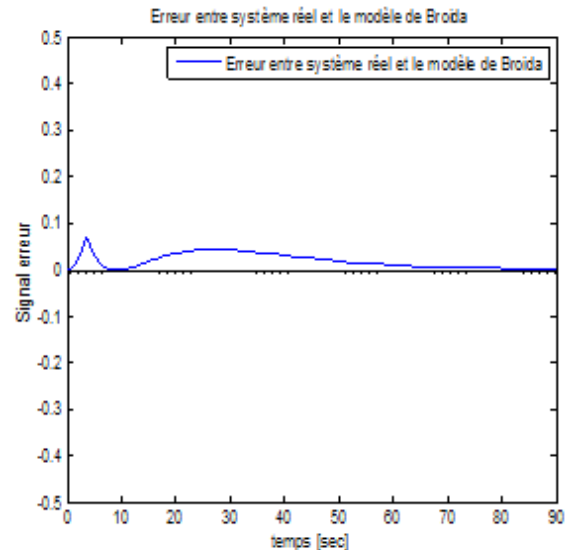
$$T(p) = \frac{e^{-3.5760 p}}{(1 + 13.6400 p)} \quad (12)$$

Le tracé des réponses indicielles réelle et du modèle de Broida est comme suit :



Réponses indicielles du système et du modèle de Broida

Le tracé de l'erreur entre le système réel et le modèle de Broida est représenté par la figure suivante :



Erreur entre le système et le modèle de Broida

Commentaire : Le modèle de Broida est loin d'être en concordance avec le système réel en le comparant avec le modèle de Strejc.

IV. CONCLUSION

On voit que la modélisation de Strejc pour les systèmes sans retard pur que ce soit à constantes de temps proches ou

différentes conduit à une erreur minimale donc à une meilleure concordance avec le système réel, alors que la modélisation de Broida l'erreur est assez importante.

Comme perspective, on désire voir la meilleure modélisation pour les systèmes avec retard pur.

REFERENCES

- [1] L. Ljung, *System identification theory for the use*, Prentice Hall information and system science series, 1999.
- [2] Y. Zhu, *Multivariable System Identification for Process Control*. Elsevier Science & Technology Books, , October 2001.
- [3] L. Ljung, T. Glad, *Modeling of dynamic systems*, Prentice Hall, 1994.

Arithmétique à Base d'Intervalles Sur les Profiles

F. HAMADACHE, N. DIFFELLAH, et K. BENMAHAMMED

Résumé— Cet article est une introduction à l'arithmétique à base d'intervalles sur les profiles, avec une telle procédure, il est possible d'estimer les bornes inférieure et supérieure d'un intervalle.

Mots clés— Arithmétique par intervalles, profiles, informations imprécise, estimation, opérations.

I. INTRODUCTION

LA représentation par intervalles peut tenir compte des incertitudes, elle peut être parfois insuffisante, particulièrement quand un degré de confiance est préféré. En effet, dans une approche par intervalles, il est seulement possible d'estimer les bornes inférieure et supérieure des paramètres du système. En effet, cette représentation nous autorise à supposer que la valeur d'un paramètre se situe d'une manière également probable en tout point de l'intervalle. Cette façon de voir les choses peut être enrichie en exploitant une représentation par intervalles flous..

L'utilisation des intervalles flous pour représenter les incertitudes dans les systèmes de commande n'est pas une théorie nouvelle mais intéressante [1],[2],[3].

II. ARITHMETIQUE PAR INTERVALLE

L'arithmétique par intervalle introduite par Moore ([1], [4], [5], [6]) fait intervenir des intervalles. L'idée est d'une part de garantir les résultats en calculant un intervalle dans lequel se trouve le résultat effectif, et d'autre part on cherche à fournir un encadrement de largeur raisonnable de la solution et à avoir un résultat suffisamment précis.

A. Définition d'un intervalle

Un intervalle $X = [x^-, x^+]$ est l'ensemble des réels x tel que x^- et x^+ sont les extrémités de X .

$$X = \left\{ x \in \mathbb{R} / x^- \leq x \leq x^+ \right\} \quad (1)$$

B. Opération sur les intervalles

Soit $a = [a^-, a^+]$ et $b = [b^-, b^+]$ deux intervalles. Les opérations arithmétique standard sont définis comme suit :

a. Addition

L'addition de deux intervalles est comme suit :

$$[a^-, a^+] \oplus [b^-, b^+] = [a^- + b^-, a^+ + b^+] \quad (2)$$

b. Soustraction

La soustraction de deux intervalles est comme suit :

$$[a^-, a^+] - [b^-, b^+] = [a^- - b^+, a^+ - b^-] \quad (3)$$

c. Multiplication

La multiplication de deux intervalles est comme suit :

$$[a^-, a^+] \otimes [b^-, b^+] = [\min(z), \max(z)] \quad (4)$$

Avec :

$$z = [a^- . b^-, a^- . b^+, a^+ . b^-, a^+ . b^+] \quad (5)$$

d. Division

La division de deux intervalles est comme suit :

$$[a^-, a^+] / [b^-, b^+] = [a^-, a^+] \otimes \left[\frac{1}{b^-}, \frac{1}{b^+} \right] \quad (6)$$

Avec :

$$0 \notin [b^-, b^+]$$

Manuscrit reçu Septembre 27, 2011.

Arithmétique à base d'intervalle sur les profiles.

F HAMADACHE, Centre universitaire de Bordj Bou Arréridj, Algérie, LSI

Laboratoire des Systèmes Intelligents, fouziapull@gmail.com ,

N DIFFELLAH, Centre universitaire de Bordj Bou Arréridj, Algérie, LSI

Laboratoire des Systèmes Intelligents, nacirapush@gmail.com

K BENMAHAMMED, Université el Baha, collège des ingénieurs, Arabie

Saoudite, LSI Laboratoire des Systèmes Intelligents, khierben@gmail.com.

III. REPRÉSENTATION DE L'INFORMATION IMPRÉCISE

Un intervalle standard a peut être considéré comme ensemble d'éléments auxquels une fonction d'appartenance $\mu_a(x)$ rectangulaire est associée. En effet, un intervalle peut être vu comme un intervalle flou (nombre flou) spécial dont la fonction d'appartenance prend à la valeur 1 sur tout l'intervalle et le 0 ailleurs. Dans ce cas, toute l'analyse et l'arithmétique par intervalles peut être considérée comme sous-ensemble de la théorie des ensembles flous.

Un intervalle flou A [7] contrairement à une représentation par intervalles conventionnels, toutes les valeurs dans un intervalle flou ne sont pas également possibles.

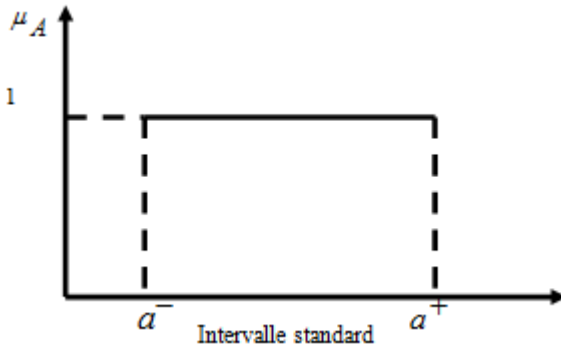
La distribution de possibilité est représentée par la fonction d'appartenance de l'intervalle flou où le support fait référence à l'intervalle de toutes les valeurs possibles et le noyau représente l'ensemble des meilleures valeurs d'un paramètre

Dans ce cas, on peut dire que les intervalles flous encapsulent dans un seul formalisme le cas optimiste (la connaissance précise) et le cas pessimiste (maximum de l'incertitude).

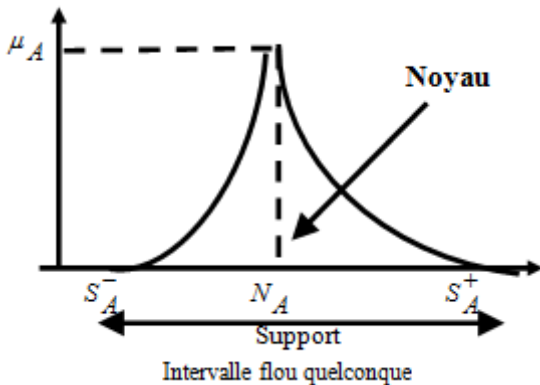
Les différents types d'intervalles flous sont représentés comme suit :

A. Intervalle standard

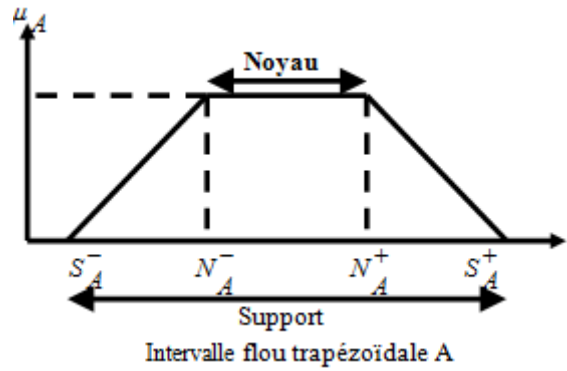
Un intervalle standard est une représentation classique d'un intervalle.



B. Intervalle flou quelconque



C. Intervalle flou trapézoïdale



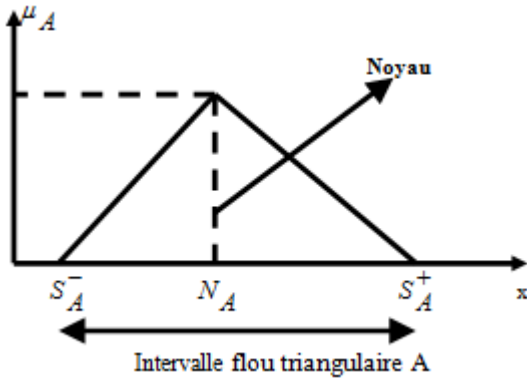
D'une manière conventionnelle, cet intervalle flou ([2], [3]) est souvent représenté par la forme canonique de sa fonction d'appartenance donnée par :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_A(x) & \text{pour } x \in [S_A^-, N_A^-] \\ 1 & \text{pour } x \in [N_A^-, N_A^+] \\ g_A(x) & \text{pour } x \in [N_A^+, S_A^+] \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (7)$$

Par exemple pour un intervalle flou trapézoïdale A , l'équation précédente peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - S_A^-}{N_A^- - S_A^-} & \text{pour } x \in [S_A^-, N_A^-] \\ 1 & \text{pour } x \in [N_A^-, N_A^+] \\ \frac{S_A^+ - x}{S_A^+ - N_A^+} & \text{pour } x \in [N_A^+, S_A^+] \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (8)$$

D. Intervalle flou triangulaire



Dans le cas d'un intervalle flou triangulaire (cas particulier d'un intervalle flou trapézoïdal) on obtient :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - S_A^-}{N_A - S_A^-} & \text{pour } x \in [S_A^-, N_A] \\ \frac{S_A^+ - x}{S_A^+ - N_A} & \text{pour } x \in [N_A, S_A^+] \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (9)$$

IV. PRINCIPE DE REPRÉSENTATION PAR PROFILES

Pour des raisons de simplicité mais sans perte de généralité, dans toute la suite de ce document, les intervalles flous exploités sont considérés sous forme triangulaire.

$$\begin{aligned} f_A(x) &= \frac{x - S_A^-}{N_A - S_A^-} \Rightarrow y = \frac{x - S_A^-}{N_A - S_A^-} \Rightarrow y(N_A - S_A^-) = x - S_A^- \\ \Rightarrow x &= y(N_A - S_A^-) + S_A^- \\ \Rightarrow f_A^{-1}(x) &= x(N_A - S_A^-) + S_A^- \\ \Rightarrow f_A^{-1}(\lambda) &= \lambda(N_A - S_A^-) + S_A^- = S_A^-(1 - \lambda) + \lambda N_A \end{aligned} \quad (10)$$

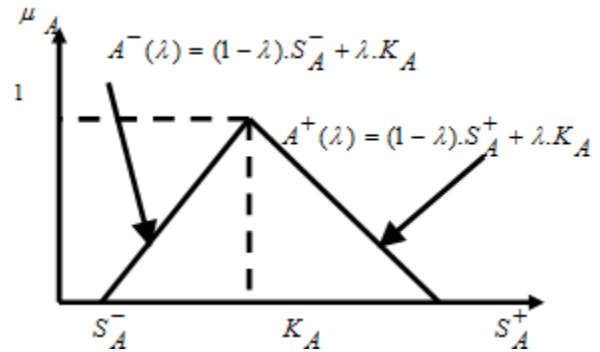
$$\begin{aligned} g_A(x) &= \frac{S_A^+ - x}{S_A^+ - N_A} \Rightarrow y = \frac{S_A^+ - x}{S_A^+ - N_A} \Rightarrow y(S_A^+ - N_A) = S_A^+ - x \\ \Rightarrow x &= S_A^+ - y(S_A^+ - N_A) \Rightarrow g_A^{-1}(x) = S_A^+ - y(S_A^+ - N_A) \\ \Rightarrow g_A^{-1}(\lambda) &= S_A^+ - \lambda(S_A^+ - N_A) = S_A^+(1 - \lambda) + \lambda N_A \end{aligned} \quad (11)$$

Un intervalle Flou A triangulaire [3] est donné par ses profils gauche A⁻ et droite A⁺ :

$$\begin{aligned} A^-(\lambda) &= \inf \{x / \mu_A(x) \geq \lambda; x \geq S_A^-\} = (1 - \lambda).S_A^- + \lambda.K_A \\ A^+(\lambda) &= \inf \{x / \mu_A(x) \geq \lambda; x \leq S_A^+\} = (1 - \lambda).S_A^+ + \lambda.K_A \end{aligned} \quad (12)$$

Avec:

1. A⁻(λ) est croissante avec λ ∈ [0,1]
2. A⁺(λ) est décroissante avec λ ∈ [0,1]
3. A⁻(1) = A⁺(1) = K_A
4. A⁻(0) ≤ K_A ≤ A⁺(0)



V. OPERATIONS ARITHMETIQUES A BASE D'INTERVALLE SUR LES PROFILES

Prenons deux ensembles flous $A = [A^-(\lambda), A^+(\lambda)]$ et $B = [B^-(\lambda), B^+(\lambda)]$ avec :

$A^-(\lambda), B^-(\lambda)$: profils gauches

$A^+(\lambda), B^+(\lambda)$: profils droites

Les quatre opérations standards sont définies par:

A. Addition sur les profils

$$(A \oplus B)(\lambda) = [A^-(\lambda) + B^-(\lambda), A^+(\lambda) + B^+(\lambda)] \quad (13)$$

Exemple:

Considérons deux nombres flous A₁ et A₂ tels que :

Premier nombre flou

$$A_1 = [A_1^-, A_1^+] : A_1(\lambda) = [1 + \lambda, 4 - 2\lambda]$$

avec

$$A_1^- : A_1^-(\lambda) = 1 + \lambda : \text{profile gauche}$$

$$A_1^+ : A_1^+(\lambda) = 4 - 2\lambda : \text{profile droite}$$

Deuxième nombre flou

$$A_2 = [A_2^-, A_2^+] : A_2(\lambda) = [-6 + 2\lambda, -2 + 2\lambda] :$$

avec

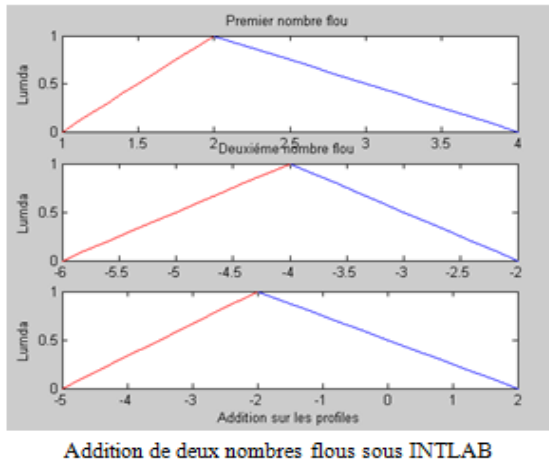
$$A_2^- : A_2^-(\lambda) = -6 + 2\lambda : \text{profile gauche}$$

$$A_2^+ : A_2^+(\lambda) = -2 - 2\lambda : \text{profile droite}$$

$$(A_1 \oplus A_2)(\lambda) = [1 + \lambda - 6 + 2\lambda, 4 - 2\lambda - 2 - 2\lambda]$$

$$(A_1 \oplus A_2)(\lambda) = [-5 + 3\lambda, 2 - 4\lambda]$$

L'utilisation de INTLAB (Interval laboratory) pour la simulation nous a donné les enveloppes d'évolution suivantes :



Addition de deux nombres flous sous INTLAB

B. Soustraction sur les profiles

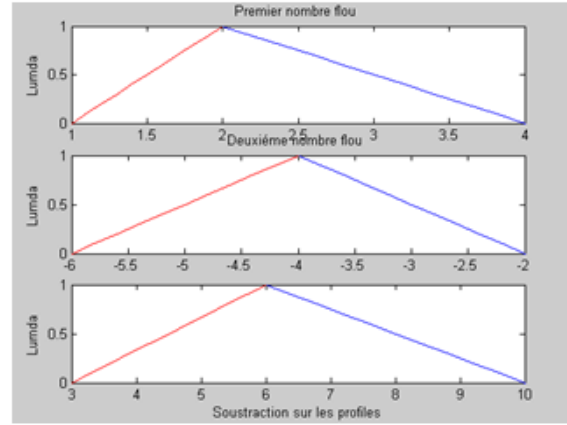
$$(A - B)(\lambda) = [A^-(\lambda) - B^+(\lambda), A^+(\lambda) - B^-(\lambda)] \quad (14)$$

$$A_1 - A_2 = [A_1^- - A_2^+, A_1^+ - A_2^-]$$

$$(A_1 - A_2)(\lambda) = [1 + \lambda - (-2 - 2\lambda), 4 - 2\lambda - (-6 + 2\lambda)]$$

$$(A_1 - A_2)(\lambda) = [3 + 3\lambda, 10 - 4\lambda]$$

L'utilisation de INTLAB pour la simulation nous a donné les enveloppes d'évolution suivantes :



Soustraction de deux nombres flous sous INTLAB

C. Multiplication sur les profiles

$$(A \otimes B)(\lambda) = [\min(Z), \max(Z)] \text{ avec :} \quad (15)$$

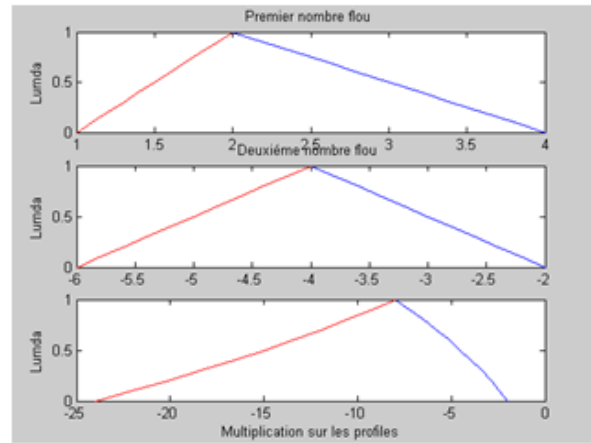
$$Z = A^- \cdot B^-, A^- \cdot B^+, A^+ \cdot B^-, A^+ \cdot B^+$$

$$(A_1 \otimes A_2)(\lambda) = [\min(Z), \max(Z)] \text{ avec :}$$

$$Z = \left((1 + \lambda)(-6 + 2\lambda), (1 + \lambda)(-2 - 2\lambda), (4 - 2\lambda)(-6 + 2\lambda), (4 - 2\lambda)(-2 - 2\lambda) \right)$$

$$(A_1 \otimes A_2)(\lambda) = ((4 - 2\lambda)(-6 + 2\lambda), (1 + \lambda)(-2 - 2\lambda))$$

L'utilisation de INTLAB pour la simulation nous a donné les enveloppes d'évolution suivantes :



Multiplication de deux nombres flous sous INTLAB

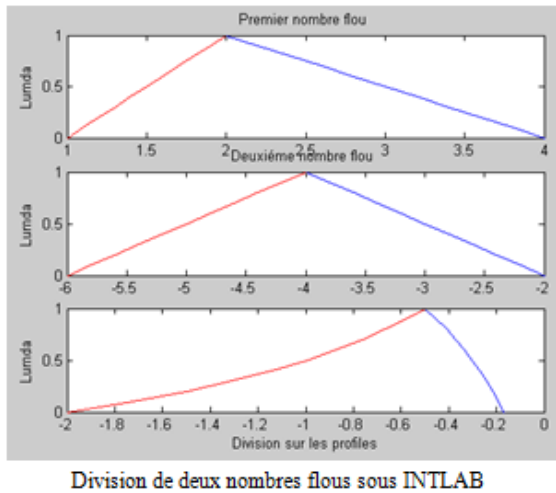
D. Division sur les profiles

$$(A \div B)(\lambda) = [A^-(\lambda), A^+(\lambda)] \otimes \left[\frac{1}{B^+(\lambda)}, \frac{1}{B^-(\lambda)} \right] \text{ avec } 0 \notin S_B \quad (16)$$

$$(A_1 / A_2)(\lambda) = [1 + \lambda, 4 - 2\lambda] \otimes \left[\frac{1}{-2 - 2\lambda}, \frac{1}{-6 + 2\lambda} \right]$$

$$(A_1 / A_2)(\lambda) = ((4 - 2\lambda) / (-2 - 2\lambda), (1 + \lambda) / (-6 + 2\lambda))$$

L'utilisation de INTLAB pour la simulation nous a donné les enveloppes d'évolution suivantes :



VI. CONCLUSION

L'arithmétique par intervalles sur les profils constitue une bonne approche, elle repose sur le fait de chercher à fournir un encadrement de largeur raisonnable de la solution et à avoir un résultat suffisamment précis

REFERENCES

- [1] R.E.Boche, " *An operational interval arithmetic* ", Lockheed Missiles and Space Company, Palo Alto, California, Paper N°.CP 63-1431, *IEEE*, August 1963.
- [2] R.E.Moore , *Error in Digital Computation*, Volume 1, John Willy and sons, Inc. New York .London .Sidney; 1965.
- [3] G.J. klir, *Uncertainty and information,Foundation of Generalized Information Theory*, Binghamton University SUNY, 2006 by John Wiley & Sons,
- [4] R.E.Moore, *Automatic error analysis in digital computation*, Missiles and space division.28 January
- [5] R.E.Moore, *Interval analysis*, Lockheed Missiles and space division Sunnyvale California. September 1959

Techniques d'indexation d'images Médicales par contenu

S. Meziane Tani, A. Bessaid

Résumé — De nos jours, les systèmes médicaux produisent une grande quantité de données images qui sont stockées dans des bases de données, l'accès rapide à ces bases énormes nécessite des algorithmes d'indexation efficaces. L'indexation des images médicales est devenu, pour les applications cliniques, un outil essentiel parce qu'elle apporte une aide efficace aussi bien en diagnostic qu'au suivi thérapeutique. Les systèmes de recherche d'images par contenu (en anglais Content Based Image Retrieval) sont l'une des solutions possibles pour gérer efficacement ces bases. Dans ce papier, les principales techniques d'indexation d'image par contenu sont analysées, ensuite nous discutons les problèmes de ses techniques, et nous proposons des défis.

Mots clés — Indexation d'image par contenu, recherche d'image, CBIR, descripteur couleur, texture, forme.

I. INTRODUCTION

L'évolution de la technologie a touché plusieurs secteurs dont le secteur médical, d'où l'apparition d'appareils d'acquisition d'images qui produisent un nombre important d'images chaque année. Cependant l'accès rapide à ces bases d'images énormes nécessite des algorithmes d'indexation efficaces.

Plusieurs systèmes d'indexation d'images ont été présentés dans la littérature [6, 7, 8]. Les Premiers systèmes sont basés sur le texte (en anglais : (Text-Based Image Retrieval), ces derniers adoptent une approche qui consiste à écrire le contenu visuel sous forme textuelle (utilisation de mots-clés). Ces mots-clés servent comme index pour accéder aux données visuelles associées. L'avantage de cette approche est qu'elle permet de consulter les bases de données en utilisant les langages d'interrogation standard, par exemple SQL. Cependant, ceci nécessite une grande quantité de traitement manuel. De plus la fiabilité des données descriptives n'est pas assurée: elles sont

subjectives et elles pourraient ne pas d'écrire correctement le contenu de l'image. Afin de résoudre ces problèmes, les systèmes d'indexation d'image par contenu CBIR sont introduits. L'objectif est de représenter les images en utilisant seulement le contenu visuel numérique de l'image. Les principaux systèmes de recherche d'images par contenu existants sont : d'une part, les systèmes commerciaux comme : QBIC (IBM, 1995) Image Finder (Attrasoft) , Excalibur (Excalibur Technologies, 1996) . Et d'autre part, les systèmes expérimentaux comme Blobworld (Université de Californie - Berkeley), Photobook (Massachusetts Institute of Technology) , Viper (Université de Genève – Computer Vision Group) , SIMPLicity (Stanford University) , Ikona (INRIA Rocquencourt – IMEDIA).

Ce papier est organisé en trois principales sections. Dans la (section-II) nous présentons un aperçu sur l'architecture globale d'un système d'indexation, puis nous discutons dans la (section-III) des principales techniques d'indexation d'image par contenu. À la fin (section-IV) les problèmes et les défis sont proposés.

II. SYSTEME D'INDEXATION PAR CONTENU

Un système d'indexation se compose de deux étapes principales : la première, en mode autonome (hors ligne) pour les prétraitements, l'organisation et la gestion de la base d'images de référence (sous-système d'indexation de la base), et la deuxième, c'est la phase de consultation en ligne pour les traitements propres à chaque nouvelle requête de l'utilisateur (sous-système de recherche). Les deux sous-systèmes ont en commun les deux traitements suivants :

- L'extraction de descripteurs caractéristiques des images, que ce soit pour une image de la base durant la phase en mode autonome ou une image requête proposée par l'utilisateur lors de la phase en ligne.
- La construction des index à partir des descripteurs.

La figure II- 1 illustre l'architecture d'un système d'indexation par contenu.

Manuscrit reçu 16 Octobre 2011. Techniques d'indexation d'images Médicales par contenu.

¹Souad. Meziane Tani, Laboratoire génie biomédicales, Université Tlemcen 13000, Algérie

²Abdelhafid. Bessaid, Laboratoire génie biomédicales, Université Tlemcen 13000, Algérie.

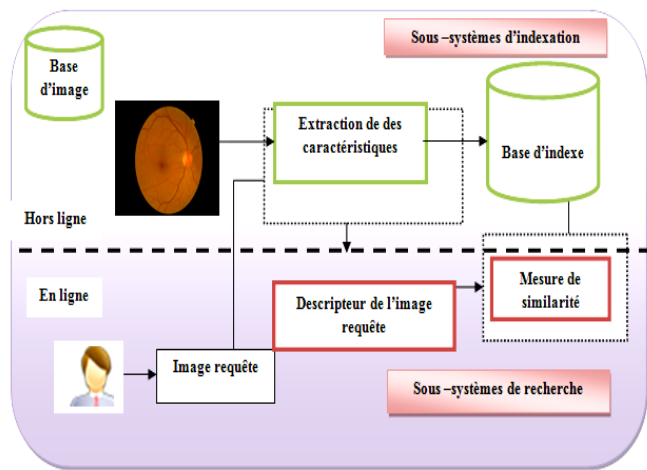


Figure II-1: Architecture d'un système d'indexation.

La phase d'indexation contient les opérations nécessaires pour organiser les descripteurs de manière à accéder rapidement aux données. Indexer une image consistera à calculer une signature depuis ses descripteurs par le biais d'une fonction d'indexation. Idéalement, plus deux signatures sont proches au sens de la métrique utilisée, plus les images associées sont proches au sens de l'utilisateur. La complexité de la comparaison des images est alors réduite à la comparaison de leur signature d'indexation.

Pendant la consultation de la base, l'utilisateur sélectionne une image par le biais d'une interface graphique. Les index ou signatures de la requête sont confrontées aux index des images de références. Finalement, le système sélectionne et présente à l'utilisateur les images les plus similaires à la requête.

III TECHNIQUE D'INDEXATION D'IMAGE PAR CONTENU

Plusieurs approches ont été proposées dans la littérature pour indexer le contenu d'une image, nous présentons dans la section suivante un aperçu sur les principales techniques utilisées.

A. Indexation d'image par caractéristiques bas niveau

Une caractéristique bas niveau est un ensemble de valeurs et qui sont extraites directement de l'image permettant de la caractériser. L'extraction des caractéristiques de bas niveau représente une première abstraction par rapport à l'image brute, le but est que cette caractéristique soit discriminante par rapport aux entités visuelles que l'on cherche à caractériser. Ces descripteurs bas niveau peuvent être utilisés pour l'image entière comme ils peuvent être utilisés pour une partie de l'image [2].

1) Couleur

La couleur est l'une des plus importantes caractéristiques et la plus attirante dès la première vue de l'image, c'est pour cela qu'elle est la plus utilisée en recherche par le contenu. Il existe plusieurs espaces colorimétriques pour représenter la couleur tels que RGB, HSL, LAB [3]. Quelque soit l'espace de couleur utilisée, il existe plusieurs façons de caractériser la couleur tels que : l'histogramme couleurs, les moments statistiques, les angles de couleur ...etc.

L'histogramme couleur a été proposé pour la première fois par SWAIN [4], cette méthode consiste à calculer l'histogramme couleur de chaque image c.à.d. le nombre de pixels pour chaque intensité lumineuse (couleur), ensuite la similarité entre les images est calculée à partir d'intersection entre histogrammes, le grand inconvénient de cette méthode est que les histogrammes occupent une place importante en espace mémoire ce qui alourdit l'algorithme de recherche. Pour résoudre ce problème, au lieu de calculer la distribution complète, dans les systèmes de d'indexation d'images, on calcule seulement les caractéristiques de couleur des dominantes tels que l'espérance, la variance et d'autres moments. La figure (Figure III-) présente l'histogramme couleur d'une image.

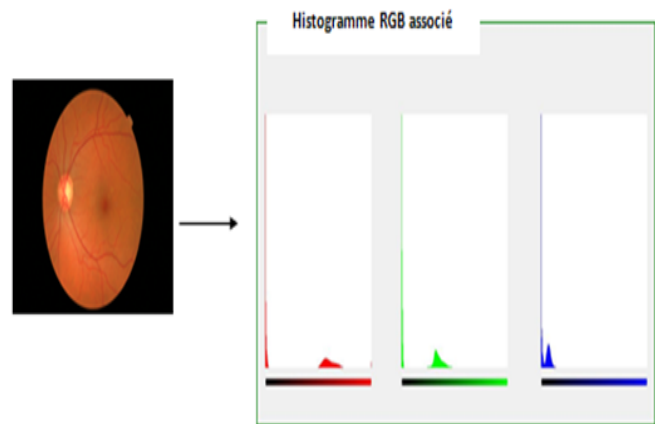


Figure III- 2: Histogramme couleur d'une image(RGB).

2) Texture

Plusieurs chercheurs ont essayé de donner une définition de la texture mais aucune n'est générale et formelle ; la texture se définit comme un ensemble de primitives (de pixels à peu près semblables) arrangées selon des règles particulières de placement.

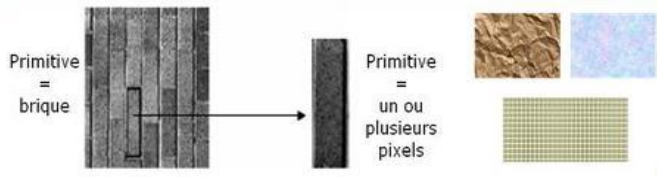


Figure III-A-3: Exemple d'une texture

Les méthodes proposées pour caractériser la texture peuvent être classifiées en deux catégories[5] : La première inclut les méthodes statistiques qui caractérisent les relations statistiques entre les différents niveaux de gris des pixels utilisant une fonction de corrélation, la méthode la plus connue c'est la matrice de co-occurrence. La deuxième catégorie comporte les méthodes spectrales basées sur le traitement de signal, tels que le filtre de Gabor, les moments de Hermite. On peut également trouver d'autres méthodes de caractérisation de la texture tels que : modélisation markovienne qui peut modéliser les interactions entre pixels.

1) Forme

La forme est une autre primitive qui sert à caractériser le contenu d'une image; deux méthodes de description de la forme peuvent être distinguées [2], d'une part les méthodes basées sur le contour tels que : descripteur EOH (Edge Orientation Histogram) qui consiste à extraire les contours d'une image et de calculer l'histogramme de l'angle des gradients sur les contours. Et d'autre part la méthode basée sur les régions : tels que les moments géométriques.

B. Indexation d'image par caractéristique haut niveau

Une caractéristique haut niveau, généralement appelée caractéristique sémantique, représente le contenu sémantique qui se définit par les attributs abstraits de l'image tels que : les scènes sémantiques (exemple : bord de mer, rue, champ d'oiseaux, etc.), comportement sémantique (par exemple la performance, agression,) et l'émotion sémantique (calme, l'harmonie, l'inspiration, etc.). Cependant la sémantique de l'image est la caractéristique la plus complexe, floue et abstraite est difficile à extraire de l'image ;

Généralement, les caractéristiques hauts niveaux dépendent des caractéristiques bas niveaux.

III. CONCLUSION

Selon la présente analyse et l'étude des techniques d'indexation d'images basées sur le contenu, quelques problèmes ont été découverts à savoir :

- 1) L'indexation des images par la couleur présente le problème du manque de considération de la scène visuelle. De plus les images médicales ne sont pas toujours en couleur.
- 2) Il est difficile de caractériser tous types de textures avec une méthode particulière parce que la texture choisie pour chaque méthode dépend de la texture de l'image.
- 3) L'indexation des images par la forme présente plusieurs problèmes parmi lesquels on peut citer le cas des formes cachées (Comment reconnaître les objets partiellement cachés ?).

En plus des problèmes cités en haut, ces descripteurs (couleur, forme, texture) sont basés sur la prise en compte directe du contenu visuel mais aucune considération pour la sémantique de l'image, ce qui crée un fossé sémantique qui a été défini par [5] comme le manque de concordance entre les informations que l'on peut extraire des données visuelles et l'interprétation que les mêmes données ont pour un utilisateur dans une situation donnée.

Le défi actuel consiste à améliorer les descripteurs visuels afin de réduire ce fossé sémantique et de passer à l'utilisation des caractéristiques hauts niveaux.

REFERENCES

- [1] S. Jai-andaloussi, M. Lamard, Guy Gazuguel, H. Tairi, M. Meknassi, B. Cochenner, « Content based image retrieval : used of generalized gaussian density », Springer Journal, April 2009.
- [2] Y. Xiaohong, X. Jinhua, « The related techniques of content-based image retrieval », International Symposium on Computer Science and Computational Technology, IEEE Computer Society, 2008.
- [3] V. Chitkara, « Color based image retrieval using compact binary signatures », Technical Report, Department of Computer Science, University of Alberta, Edmonton, May 2001.
- [4] M. Swain, D. Ballard, « Color indexing », International Journal of Vision, 1991.
- [5] Image Retrieval : ideas, influences, and trend of the new age, The Pennsylvania State University, ACM Transactions on Computing Surveys, April 2008.
- [6] P. Aigrain et al. Content-based representation and retrieval of visual media : a state-of-the-art review. Multimedia Tools and Applications, 3(3) : 179–202, septembre 1996.
- [7] New J.J. Fan and K.Y. Su. An efficient algorithm for matching multiple patterns. IEEE Trans. Knowl. Data Eng., 5(2) : 339–351, avril 1993.
- [8]

Mise en correspondance des contours d'objets bruités

S.Aouat, S. Larabi

RÉSUMÉ— Nous présentons dans ce papier une nouvelle approche qui permet de comparer les silhouettes d'objets. Les silhouettes sont extraites à partir de deux images prises sous des points de vue légèrement différents, (dans le cas de deux images stéréoscopiques) ou à partir d'une séquence d'objets en mouvement. La comparaison des silhouettes se fait en se basant sur leur description XLWDOS en prenant en considération la présence du bruit dans les deux images. Le bruit modifie malheureusement d'une manière assez considérable une telle description d'où la nécessité de résoudre ce problème afin d'effectuer une meilleure comparaison des images. La méthode est validée par une expérimentation effectuée sur des images réelles.

MOTS CLÉS — Comparaison, Descripteur, Silhouette, Bruit, LWDOS, XLWDOS.

I. INTRODUCTION

Plusieurs représentations des objets 3D à partir d'images en se basant sur différents éléments ont été proposées dans la littérature, nous citons : Des représentations basées sur les parties composant un objet (primitives volumiques), [3]. Des représentations basées sur les frontières 3D reconstruites à partir de la stéréovision [13]. Des représentations basées sur l'apparence [11,4]. Des représentations basées sur les courbures des frontières de la silhouette qui est représentée moyennant le CSS (Curvature Scale Space) proposée par Mokhtarian [10,9,14], ainsi que beaucoup d'autres méthodes de représentation et reconnaissance utilisant des caractéristiques extraites des images que se soit géométriques ou photométriques [15-32].

Parmi les différentes méthodes de description des formes utilisées dans la reconnaissance d'objets, l'équipe de vision par ordinateur du Laboratoire de Recherche en Intelligence Artificielle (LRIA) de l'USTHB a élaboré une technique de description d'objets, la description proposée est textuelle, invariante au changement d'échelle et à la rotation mais malheureusement elle est sensible au bruit (interférences et parasites). Cette description est basée sur le langage LWDOS (Language for Writing Descriptors of Outline Shapes)[8]. Et XLWDOS (XML Language for Writing Descriptors of Silhouettes) [7].

Dans ce papier, nous développons une méthode qui permet de comparer deux silhouettes d'objets extraites à partir d'images prises sous des points de vues légèrement différents et cela en tenant compte de la présence du bruit dans les deux images. Pour effectuer le travail décrit dans ce papier, nous nous sommes inspirés de l'idée présentée dans [6,1], cependant la particularité de notre approche réside dans l'expérimentation totalement automatique depuis la description textuelle jusqu'à la comparaison des silhouettes représentant des images réelles, ainsi que son application à un ensemble d'objets en mouvement. Cette approche est différente du lissage textuel [2] appliqué sur les descripteurs et aboutissant à l'indexation et la reconnaissance de silhouettes d'objets.

Ce papier est organisé comme suit : le paragraphe 2 est consacré à la description de silhouettes selon les langages XLWDOS [7]. Nous aborderons ensuite dans le paragraphe 3 la notion du bruit dans une image ainsi que la méthode utilisée pour le lissage de celle-ci. Dans le chapitre 4, nous expliquons le processus de comparaison que nous avons conçu pour confirmer ou infirmer la ressemblance de deux silhouettes. Le paragraphe 5 explicitera notre étude par une partie expérimentation qui montrera le déroulement du processus de comparaison implémenté et sa validation sur des images réelles.

Manuscript reçu le 16 Octobre, 2011.

Saliha AOUAT Laboratoire LRIA, Département
d'Informatique USTHB, Alger, Algérie
(s_aouat@yahoo.fr, saouat@usthb.dz)

Slimane LARABI Laboratoire LRIA USTHB

II. DESCRIPTION XLWDOS D'UNE SILHOUETTE

Le langage XLWDOS [7] est un langage XML développé pour la description des silhouettes, il est en fait issu du langage LWDOS [8]. L'intérêt majeur du descripteur XLWDOS (comme son prédécesseur) est son écriture textuelle, permettant une facilité d'indexation, de traitement et de stockage. L'exemple de la figure 1 illustre brièvement la description d'une silhouette moyennant le langage XLWDOS.

<DS><nom> exemple de silhouette</nom>

<CP> P1 D1 P2 P3 </CP></DS> (DS signifie description of shape.)

Cette description signifie que la silhouette est formée d'une partition P1 suivie d'une ligne de disjonction (D1) suivi à son tour de deux autres partitions P2 et P3. Il est à noter que lorsqu'on passe de plusieurs partitions à une seule la ligne sera appelée ligne de jonction (J). Comme la même description globale peut décrire plusieurs silhouettes d'objets, il serait nécessaire de passer à la description détaillée des éléments constituant la description précédente. Le descripteur détaillé est donné par :

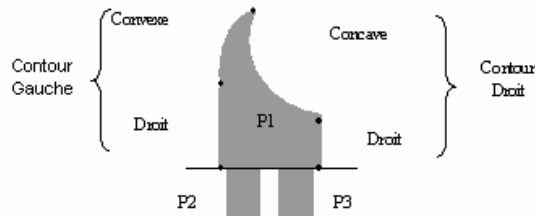


Figure 1. Exemple de description d'une silhouette

<DS><nom> exemple de silhouette</nom>

<CP>

<P1><L> cv 3 130° 25 r 90° 35</L><R> cc 25 60° 40 r 90° 20</R></P1>

<D1> h P1 5 s P1 P2 15 h P1 9 s P1 P3 17 h P1 6 </D1>

<P2><L> r 90 20 r 180 15 </L><R> r 90 20 </R></P2>

<P3><L> r 90 20 r 180 15 </L><R> r 90 20 </R></P3></CP></DS>.

A titre d'exemple Le coté gauche de la partition P1 est une succession d'une courbe convexe (cv) dont le degré de convexité est de 3%, l'angle d'inclinaison est de 130° et de longueur 25 pixels. Cette courbe est suivie d'un segment de droite (r) incliné de 90° et de longueur égale à 35 pixels.

Le coté droit de P1 est une courbe concave (cc) suivi aussi d'un segment vertical. La ligne de disjonction (D) est constituée d'une succession de cinq petits segments :

h P1 5 : de longueur 5 et appartenant à la partition P1 d'en haut d'où le nom free high symbolisé par (h)

s P1 P2 15 : de longueur 15 appartenant à deux partitions P1 et P2 d'où le nom « shared segment » symbolisé par (s)

h P1 9 : de longueur 9 appartenant à la partition P1

s P1 P3 17 : de longueur 17 appartenant à deux partitions P1 et P3.

h P1 6 : de longueur 6 et appartenant à la partition P1.

Il est important d'indiquer que toutes ces valeurs et mesures sont calculées relativement à l'unique rectangle d'aire minimum englobant la silhouette [7,8]. La désignation CP signifie partition composée (composed part).

III. LE BRUIT ET LE LISSAGE D'IMAGES

Les descripteurs XLWDOS sont très sensibles au bruit; le bruit change la structure du descripteur XLWDOS pour n'importe quel contour ce qui peut produire de nouvelles partitions, lignes de jonctions ou de disjonctions comme le montre la figure 2 :

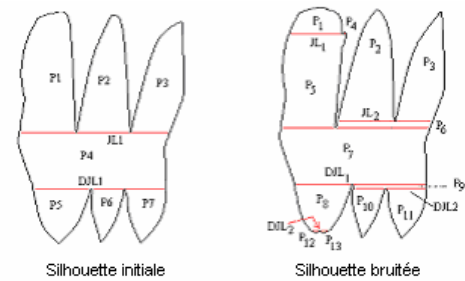


Figure 2. Silhouette initiale et silhouette bruitée.

Le bruit peut être très désagréable à la vision ou l'analyse scientifique d'une image, il occasionne des résultats inattendus rabaisant ainsi les performances du système, Il faut donc l'atténuer voire le supprimer. [2,5,12]. Dans ce papier et pour lisser une image, nous avons choisi le filtre gaussien parce que comme l'a montré Mokhtarian [9,10] il permet de faire un lissage à plusieurs niveaux ce qui correspond parfaitement à la démarche suivie par notre méthode comme nous allons le montrer dans ce papier. Le filtre gaussien est donc appliqué afin de réduire le bruit dans une image. Nous appliquons ce lissage dans l'exemple suivant sur une silhouette initiale illustrée par la figure 3. Les résultats obtenus sont illustrés avec différentes valeurs de σ et NbIt (le nombre d'itérations où le filtre gaussien est appliqué). Quand le nombre d'itérations augmente, le bruit est éliminé et les contours gardent le même aspect du contour initial malgré la grande valeur de NbIt.

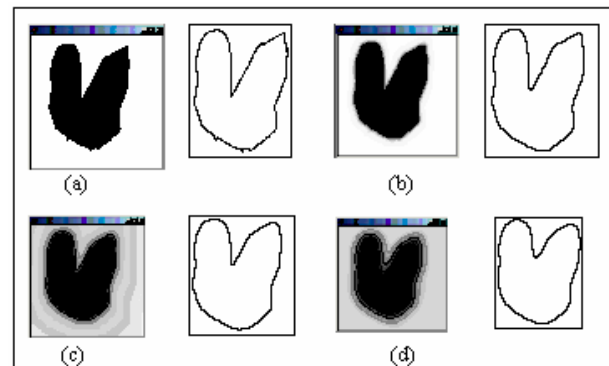


Figure 3. Application du filtre gaussien pour le lissage d'une silhouette (a)Image initiale et son contour, (b) Image obtenue après lissage avec $\sigma=1,318$, NbIt=10, (c) Image obtenue après lissage avec $\sigma=1,318$, NbIt=40, (d) Image obtenue après lissage avec $\sigma=1,318$, NbIt=70

IV. COMPARAISON DES DESCRIPTEURS XLWDOS

Ce qui caractérise notre méthode est d'abord la description de la forme uniquement par du texte comme nous l'avons montré précédemment selon le langage XLWDOS qui est un langage XML sensible au bruit [7]. De là nous utiliserons un processus itératif pour lisser les contours, ensuite les descripteurs XML sont comparés pour confirmer ou infirmer la ressemblance des silhouettes traitées; Pour cela nous suivrons les étapes ci dessous :

- Calculer les descripteurs XLWDOS des deux silhouettes.
- Eliminer le bruit affectant les silhouettes.
- Comparer les descripteurs XLWDOS des deux silhouettes.

A. Calculer les descripteurs XLWDOS des deux silhouettes

Le calcul des descripteurs XLWDOS des deux images permet de détecter la présence du bruit dans l'image et cela en calculant la taille de chaque partition. [7].

Une partition dont la taille est inférieure à un seuil donné appelé MPLA_MAX est considérée comme une partition bruitée qu'il faudrait éliminer par le processus de lissage.

L'abréviation MPLA signifie la taille minimale autorisée pour une partition (Minimum Part length Authorized). Sinon la partition serait considérée bruitée c'est à dire générée par le bruit.

Une fois les descripteurs XLWDOS des deux silhouettes calculés, ces derniers sont comparés, si les descripteurs sont identiques, on peut affirmer que les deux formes sont les mêmes, sinon un processus itératif de lissage est appliqué jusqu'à élimination du bruit.

B. Lissage des contours et description XLWDOS

Le lissage des contours consiste à éliminer les partitions bruitées c'est-à-dire toutes les partitions dont la taille est inférieure ou égale à MLPA (Minimum Part Length Authorized) qui est la taille minimale autorisée pour une partition.

Un processus itératif est exécuté tant qu'il reste des partitions bruitées dans la silhouette; ce processus itératif consiste à : calculer la matrice de convolution de la silhouette avec le filtre gaussien, puis extraire le contour de la silhouette obtenue. Après l'application de cet algorithme pour une valeur de MLPA, le descripteur XLWDOS ne contiendra plus de partitions dont la taille est inférieure ou égale à MLPA. Le lissage par le filtre gaussien est utilisé parce que comme l'a montré Mokhtarian [9,10], ce lissage permet la représentation des silhouettes à plusieurs niveaux ce qui est facilement adaptable pour notre approche.

La figure 4 montre l'application de cet algorithme sur une silhouette issue d'une image de synthèse:

Nous remarquons que la silhouette initiale contient des partitions bruitées, lors de l'application de l'algorithme de lissage pour MPLA=1 pixel, toutes les partitions de taille égale à 1 pixel disparaissent, puis si on l'applique pour MPLA=2 pixels on supprime ainsi toutes les partitions de taille égale à 2 pixels, ce qui rend les contours plus lisses.



Figure 4. Principe de l'algorithme de lissage sur une silhouette

C. Méthode de comparaison des descripteurs XLWDOS des Silhouette

Dans cette méthode, nous considérons que les images sont prises sous des points de vues légèrement différents (cas des images stéréoscopiques ou d'images d'objets en mouvement). Quand les vues sont différentes, les silhouettes peuvent être très différentes, dans ce cas le processus de comparaison consiste à retrouver la description la plus similaire des descripteurs XLWDOS dans la base de données et ceci lorsqu'il s'agira de la reconnaissance d'objets ce qui n'est pas l'objet de ce présent travail.

Pour une valeur initiale de MLPA (MLPA= 0 pixels), les descripteurs XLWDOS des deux contours sont comparés. S'ils ne sont pas identiques, les contours dont le descripteur XLWDOS contient des partitions bruitées est lissé avec une valeur de (MLPA=1 pixels), ainsi toutes les partitions dont la taille est inférieure ou égale à MPLA pixels sont supprimées.

Ce processus est répété en augmentant à chaque fois la valeur de MPLA jusqu'à ce que les deux descripteurs XLWDOS puissent être appariés ou MPLA dépasse une certaine valeur (MLPA_MAX).

Pour comparer deux descripteurs XML on doit d'abord vérifier s'ils ont le même descripteur XML global.

On peut facilement démontrer que deux descripteurs XML ont la même structure globale s'ils ont les mêmes valeurs des paramètres suivants :

- le nombre de partitions,
- le nombre de lignes de jonctions,
- le nombre de lignes de disjonction,
- l'ordre de ces lignes,
- le nombre de partitions liées à chaque ligne de jonction ou de disjonction,
- la liste des attributs w, s, h qui sont écrits dans le descripteur indiquant la disposition des partitions relativement aux lignes de jonctions ou de disjonctions.

V. EXPERIMENTATION

Les images sont acquises par des caméras CCD, elles sont prises sous des points de vue légèrement différents issues d'images successives d'objets en mouvement.

Les images sont comparées deux à deux en fixant la valeur de MLPA_MAX à 3, et les résultats obtenus sont les suivants :

La valeur de MPLA_MAX ne doit pas dépasser 5 pixels car l'expérimentation a montré qu'au delà de cette valeur, le lissage déforme les silhouettes.

Nous donnons dans ce qui suit les résultats d'expérimentation obtenus sur différentes paires images :

Les images suivantes sont des images d'un vase en mouvement (légèrement déplacé sur une table). Afin d'extraire les silhouettes, les images sont seuillées, et les objets sont isolés (figure 7)

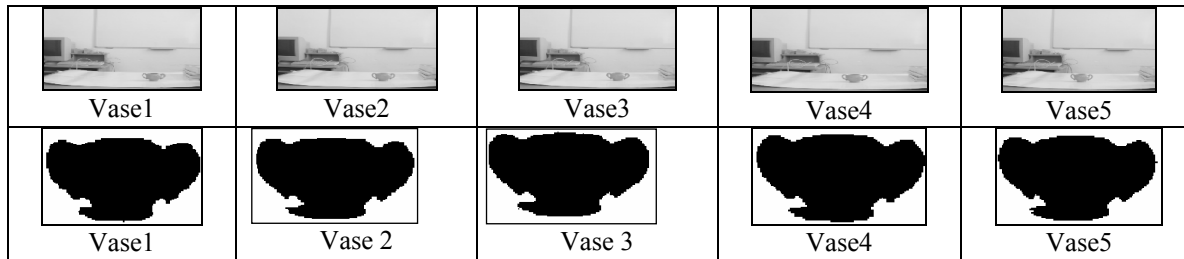


Figure 7. Les silhouettes des images du vase utilisées en expérimentation.

Nous donnons dans ce qui suit les résultats d'expérimentation obtenus sur des paires d'images successives.



Silhouettes à comparer (MPLA_MAX=3 pixels)		
	Vase1	Vase2
Descripteurs initiaux (MPLA=0)	<code><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp></code>	
Commentaires	Pour cette paire, les descripteurs sont initialement identiques par conséquent le lissage n'a pas été appliqué.	

Tableau1 : Comparaison de vase1 et vase2



Silhouettes à comparer (MPLA_MAX=3 pixels)		
	Vase2	Vase3
Descripteurs initiaux (MPLA=0)	<code><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp></code>	
Lissage pour MPLA=1	<code><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp></code>	
Lissage pour MPLA=2	<code><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp></code>	
Commentaires	Pour cette paire, des partitions bruitées de tailles 2 pixels ont été détectées sur la silhouette du vase3. Le filtre gaussien a été appliqué itérativement jusqu'à MPLA=2 pixels. Les descripteurs obtenus sont par conséquent les mêmes pour les deux silhouettes.	

Tableau2 : Comparaison de vase2 et vase3



Silhouettes à comparer (MPLA_MAX=3 pixels)	 Vase3	 Vase4
Descripteurs initiaux (MPLA=0)	<cp><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 P6 </cp>P5 JL3 <cp>P7 DJL1 P8 <cp>P9 DJL2 P10 P11 </cp></cp></cp>	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>
Lissage pour MPLA=1	<cp><cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 P6 </cp>P5 JL3 <cp>P7 DJL1 P8 <cp>P9 DJL2 P10 P11 </cp></cp></cp>	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>
Lissage pour MPLA=2	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>
Commentaires	Pour cette paire, des partitions bruitées de tailles 2 pixels ont été détectées sur la silhouette du vase3. Le filtre gaussien a été appliqué itérativement jusqu'à MPLA=2 pixels. Les descripteurs obtenus sont par conséquent les mêmes pour les deux silhouettes.	

Tableau3 : Comparaison de vase3 et vase4



Silhouettes à comparer (MPLA_MAX=3 pixels)	 Vase4	 Vase5
Descripteurs initiaux (MPLA=0)	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>	<cp><cp>P1 P2 JL1 P4 </cp>P3 JL2 <cp>P5 DJL1 P6 <cp>P7 DJL2 P8 P9 </cp></cp></cp>
Commentaires	Pour cette paire, les descripteurs sont initialement identiques par conséquent le lissage n'a pas été appliqué.	

Tableau4 : Comparaison de vase4 et vase5

VI. CONCLUSION

Le but de la méthode présentée dans ce papier, consiste à comparer deux silhouettes en prenant en compte le bruit qui les affecte afin de contribuer à une reconnaissance ultérieure des images. La comparaison des deux silhouettes commence par le calcul de leurs descripteurs XLWDOS. Vu les erreurs d'acquisition des images, l'extraction des données doit subir un traitement préalable, pour ce faire, une méthode de lissage des contours a été proposée et un filtrage gaussien a été appliqué pour éliminer les parasites et lisser les contours. Une fois le bruit éliminé, les deux descripteurs XLWDOS ont pu être comparés. Différentes images ont été testées et ont démontré que la comparaison des images est possible moyennant une telle description.

REFERENCES

- [1] S. Aouat, S.Larabi: « Comparison of silhouettes descriptions » International GVIP 05 Conference, 19-21 December 2005, CICC, Cairo, Egypt 2005
- [2] S. Aouat, and S. Larabi. Matching Descriptors of Noisy Outline Shapes. Int. Journal of Image and Graphics. World Scientific Publisher. 2010
- [3] D. L.Borges, and R. B.Fisher, "Class-Based Recognition of 3D Objects Represented by Volumetric Primitives". In R. Fisher E. Trucco (eds.), British Machine Vision Conference 1996 (BMVC 96), (1)96:303-312, 1996.
- [4] H.Borotschnig, L.Paletta, M.Prantl, and A.Pinz, "Appearance based active object recognition". Image and Vision Computing, (18): 715-727, 2000.
- [5] R.Horaud, O.Monga "Vision par ordinateur outils fondamentaux " édition hermes
- [6] S. Larabi, S.Aouat: « Matching XML Descriptors of Silhouettes » International GVIP 05 Conference, 19-21 December 2005, CICC, Cairo, Egypt
- [7] S. Larabi, S. Bouagar, An XML Language for Writing Descriptors of Silhouettes, International GVIP 05 Conference, 19-21 December 2005, CICC, Cairo, Egypt
- [8] S. Larabi, S. Bouagar, F. M. Trespaderne, E. F. Lopez, LWDOS: Language for Writing Descriptors of Outline Shapes, In the LNCS proceeding of Scandinavian Conference on Image Analysis, June 29 - July 02, Gotborg, Sweden, 2003

- [9] F. Mokhtarian, Silhouette-Based isolated object recognition through curvature scale space, IEEE PAMI, Vol 17, N° 5, 1995
- [10] F. Mokhtarian, A. K. Mackworth, A theory of multiscale, curvature-based shape representation for planar curves, IEEE PAMI, Vol 14, N° 8, August 1992
- [11] N.H Trinh, B.B Kimia. Skeleton Search: Category-Specific Object Recognition and Segmentation Using a Skeletal Shape Model. IJCV 94(2): 215-240. 2011
- [12] Y.Rui, and T.S.Huang, "Image retrieval, "current technologies, promising directions, and open issues". Journal of Visual Communications and Image Representation, Vol. 10, pp.39-96 (1999)
- [13] Y.Sumi, Y.Kawai, T.Yoshimi, and F.Tomita, "3D object recognition in cluttered environments by segment based stereo vision". Int. Journal of Computer Vision, 46(1), 2002.
- [14] X. Zabulisa, J. Sporingb, S. C. Orphanoudakisc, Perceptually relevant and piecewise linear matching of silhouettes, Pattern Recognition 38 (2005).
- [15] C. Orrite and J. E. Herreo, Shape matching of partially occluded curves invariant under projective transformation, Computer Vision and Image Understanding, vol. 93(1), 2004.
- [16] R.Meathrel, and A.Galton, "Ahierarchy of boundarybased shape descriptors". In the proceeding of the seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vol. 2, pp. 1359-1364, Seattle, Washington, August, 2001.
- [17] T.Sebastian, P.Klein, and B.Kimia, "Recognition of Shapes by Editing Their Shock Graphs". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No.5, May 2004.
- [18] M.C Chang, and B.B Kimia. Measuring 3D shape similarity by graph-based matching of the medial scaffolds. CVIU 115(5): 700-720. 2011
- [19] D. Geiger, T.Liu, and R. V. Kohn, Representation and self-similarity of shapes, IEEE Transactions on pattern Analysis and machine intelligence, Vol.25, n°1, January 2003
- [20] D. Zhang and G. Lu, Review of shape representation and description techniques, Pattern Recognition, 37(1):1-19, 2004
- [21] C. M. CYR and B. B. KIMIA, A similarity-based aspect-graph approach to 3D object recognition, International Journal of Computer Vision, 57 (1), 5-22, 2004
- [22] S. Belongie, J. Malik, J. Puzicha, Shape matching and object recognition using shape contexts, IEEE Transactions on P.A.M.I., Vol. 24, n° 24, 2002
- [23] C. D. Ruberto, Recognition of shapes by attributed skeletal graphs, Pattern Recognition, 37(1):21-31(2004).
- [24] K. Siddiqi and B. B. Kimia, A shock grammar for recognition, Conference of Computer Vision and Pattern Recognition, 1996
- [25] A.Malaviya, and L.Peters, "Fuzzy handwriting description language: FOHDEL". Pattern Recognition, Vol. 33, Issue 1, January 2000, pages 119-131.
- [26] C.Alvarado, M.Oltmans, and R.Davis, "A Framework for Multi-Domain Sketch Recognition". In the proc. Of AAAI Spring Symposium on Sketch Understanding,2002
- [27] X. Yang, X. Bai, L.J, Latecki, and Z. Tu, Improving shape retrieval by learning graph transduction. ECCV, In LNCS springer. 2008
- [28] R. L. Graham, "An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set". Information Processing Letters, 1972.
- [29] N.Ayache "Vision stéréoscopique et Perception multisensorielle " Application à la robotique mobile inter édition
- [30] R.Horaud, O.Monga "Vision par ordinateur outils fondamentaux " édition hermes
- [31] D. Ziou " La détection de contours dans les images à niveau de gris : mise en œuvre et sélection de détecteurs " thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de lorraine, octobre 1991.
- [32] D. Chetverikov: « A Simple and Efficient Algorithm for Detection of High Curvature Points in Planar Curves », 10th International Conference, CAIP 2003, Groningen, the Netherlands, August 25-27, 2003

Interval arithmetic and its application to electrical circuits

DIFFELLAH Nacira, HAMADACHE Fouzia ,BENMAHAMMED Khier

Abstract: Interval arithmetic is an elegant tool for practical work with inequalities, approximate numbers, error bounds, and more generally with certain convex and bounded sets. In this section we give a number of simple examples showing where intervals and ranges of functions over intervals arise naturally.

Interval mathematics is a generalization in which interval numbers replace real numbers, interval arithmetic replaces real arithmetic, and interval analysis replaces real analysis.

Interval is limited by two bounds: lower bound and upper bound.

The present paper introduces some of the basic notions and techniques from interval analysis needed in the sequel for presenting various uses of interval analysis in electric circuit theory and its applications. In this article we address the representation of uncertain and imprecise information, the interval arithmetic and its application to electrical circuits.

Index Terms: Interval arithmetic, linear system, uncertain information, propagation of uncertainties, information.

I. INTRODUCTION

The interval arithmetic introduced by Moore ([1], [2], [3], [4], [5]). An interval is a pair of numbers which represents all the numbers between these two. (Intervals are considered closed so the bounds are included.) ([6], [7], [8]).

Interval Arithmetic is a computing system that makes it possible to:

- automatically perform rigorous error analysis by computing mathematical bounds on the set of all possible problem solutions, and
- solve nonlinear problems that were previously thought to be impossible to solve.

Manuscript received September 27, 2011.

Interval arithmetic and its application to electrical circuits

DIFFELLAH Nacira University Center of Bordj Bou Arreridj , Algeria
LSI Intelligent Systems Laboratory, Sétif, Algeria
nacirapush@gmail.com,

HAMADACHE Fouzia University Center of Bordj Bou Arreridj ,
Algeria

LSI Intelligent Systems Laboratory ,Sétif,Algeria

BENMAHAMMED Khier Al-Baha University, Collage of Engineering
Saudi Arabia

LSI Intelligent Systems Laboratory ,Sétif,Algeria
khierben@gmail.com

In this section we define real intervals and operations with intervals.

Of the various interval-based software packages that are available, we chose INTLAB for several reasons. It is fully integrated into the interactive, programmable, and highly popular MATLAB system. It is carefully written, with all basic interval computations represented. Finally, both MATLAB and INTLAB code can be written in a fashion that is clear and easy to debug.

II. DEFINITION OF AN INTERVAL

Using a pair $[a, b]$ of computer numbers to represent an interval of real numbers $a \leq x \leq b$, we define an arithmetic for intervals and interval valued extensions of functions commonly used in computing.

In this way, an interval $[a, b]$ has a dual nature. It is a new kind of number pair, and it represents a set $[a, b] = \{x : a \leq x \leq b\}$.

Recall that the closed interval denoted by $a = [a^-, a^+]$ is the set of real numbers given by

$$a = [a^-, a^+] = \{x : a^- \leq x \leq a^+\} \quad (1)$$

The left and right endpoints of an interval a will be denoted by a^- and a^+ , respectively.

We use the terms “interval number” and “interval” interchangeably. An interval number can be an interval constant or a value of an interval variable.

A few other terms will be useful in the paper:

- a. The width of an interval a is defined and denoted by:

$$W(a) = a^+ - a^- \quad (2)$$

- b. The midpoint of a is given by :

$$M(a) = \frac{a^+ + a^-}{2} \quad (3)$$

- c. Magnitude and the magnitude of an interval a are respectively defined by :

$$Mig(a) = \min\left(\left|a^+\right|, \left|a^-\right|\right) \quad (4)$$

and

$$Mag(a) = \max\left(\left|a^+\right|, \left|a^-\right|\right) \quad (5)$$

d. The radius of an interval a :

$$R(a) = \frac{W(a)}{2} = \frac{a^+ - a^-}{2} \quad (6)$$

III. REPRESENTATION OF AN INTERVAL

We note :

$$[R] = \left\{ \begin{array}{l} [a^-, a^+]: \\ a^- \leq a^+, a^-, a^+ \in R \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$[R^+] = \left\{ \begin{array}{l} [a^-, a^+]: \\ 0 \leq a^- \leq a^+, a^-, a^+ \in R \end{array} \right\} \quad (8)$$

$$[R^-] = \left\{ \begin{array}{l} [a^-, a^+]: \\ a^- \leq a^+ \leq 0, a^-, a^+ \in R \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$[R^{-,+}] = \left\{ \begin{array}{l} [a^-, a^+]: \\ a^- < 0, a^+ > 0, a^-, a^+ \in R \end{array} \right\} \quad (10)$$

Thus

$$[R] = [R^+] \cup [R^-] \cup [R^{-,+}] \quad (11)$$

IV. INTERVAL ARITHMETIC OPERATIONS

In this subsection arithmetic operations with intervals will be introduced.

A. Definition of arithmetic operation

Let $+$, $-$, \times , and \div denote the operations of addition, subtraction, multiplication, and division, respectively. If \circ

denotes any one of these operations for arithmetic on real numbers a and b , then the corresponding operation for arithmetic on interval numbers A and B is

$$\{a \circ b / a \in A, b \in B\}, \quad (12)$$

Thus the interval $A \circ B$ resulting from the operation contains every possible number that can be formed as $a \circ b$ for each $a \in A$, and each $b \in B$.

This definition produces the following rules for generating the endpoints of $A \circ B$ from the two intervals $a = [a^-, a^+]$ and $b = [b^-, b^+]$.

B. Arithmetic Operations

Let $a = [a^-, a^+]$ and $b = [b^-, b^+]$ are two intervals.

The arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication, and division) are defined by:

a. Addition

$$[a^-, a^+] \oplus [b^-, b^+] = [a^- + b^-, a^+ + b^+] \quad (13)$$

Example : $[1,2] \oplus [3,4]$

$$[1,2] \oplus [3,4] = [1+3, 2+4] = [4,6]$$

b. Subtraction

$$[a^-, a^+] - [b^-, b^+] = [a^- - b^+, a^+ - b^-] \quad (14)$$

Example : $[4,6] - [3,4]$

$$[4,6] - [3,4] = [4-4, 6-3] = [0,3]$$

c. Multiplication

$$[a^-, a^+] \otimes [b^-, b^+] = \left[\min[a^- \cdot b^-, a^- \cdot b^+, a^+ \cdot b^-, a^+ \cdot b^+], \max[a^- \cdot b^-, a^- \cdot b^+, a^+ \cdot b^-, a^+ \cdot b^+] \right] \quad (15)$$

Example : $[1,2] \otimes [2,4]$

$$\begin{aligned} [1,2] \otimes [2,4] &= \\ &= [\min[1.2, 1.4, 2.2, 2.4], \max[1.2, 1.4, 2.2, 2.4]] \\ &= [\min[2, 4, 4, 8], \max[2, 4, 4, 8]] = [2, 8] \end{aligned}$$

d. Division $0 \notin [b^-, b^+]$

$$[a^-, a^+] / [b^-, b^+] = [a^-, a^+] \left[\frac{1}{b^-}, \frac{1}{b^+} \right] \quad (16)$$

Example : $[2,8] / [2,4]$

$$\begin{aligned} [2,8]/[2,4] &= [2,8] \left[\frac{1}{4}, \frac{1}{2} \right] = \\ &= \left[\min \left[\frac{1}{2}, 1, 2, 4 \right], \max \left[\frac{1}{2}, 1, 2, 4 \right] \right] = \left[\frac{1}{2}, 4 \right] \end{aligned}$$

C. Other arithmetic operations

a. Power squared

$$\begin{aligned} \text{if } 0 \notin [a^-, a^+] \\ [a^-, a^+]^2 &= \left[\min[a^{-2}, a^{+2}], \max[a^{-2}, a^{+2}] \right] \\ \text{if } 0 \in [a^-, a^+] \\ [a^-, a^+]^2 &= [0, \max[a^{-2}, a^{+2}]] \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Example1: } ([2,3]^2, 0 \notin [2,3]) \\ [2,3]^2 &= [\min[2^2, 3^2], \max[2^2, 3^2]] \\ &= [\min[4, 9], \max[4, 9]] = [4, 9] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Example2: } ([-1,2]^2, 0 \in [-1,2]) \\ [-1,2]^2 &= [0, \max[(-1)^2, 2^2]] \\ &= [0, \max[1, 4]] = [0, 4] \end{aligned}$$

b. Square root

$$\sqrt{[a^-, a^+]} = [\sqrt{a^-}, \sqrt{a^+}], \quad 0 \leq a^- \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Example : } \sqrt{[1,4]} \\ \sqrt{[1,4]} &= [\sqrt{1}, \sqrt{4}] = [1, 2] \quad 0 \leq 1 \end{aligned}$$

c. The absolute value

The absolute value of a , denoted $|a|$, is the maximum of the absolute values of its endpoints:
 $|a| = \max\{|a^-|, |a^+|\}$ (17)

D. The Intersection, Union

The intersection of two intervals a and b is empty if either $b^+ < a^-$ or $a^+ < b^-$. In this case we let \emptyset denote the empty set and write:

$$a \cap b = \emptyset \quad (19)$$

We may define the intersection $a \cap b$ as the interval:

$$\begin{aligned} a \cap b &= \{c: c \in a \text{ and } c \in b\} \\ &= [\max(a^-, b^-), \min(a^+, b^+)] \end{aligned} \quad (20)$$

The union of a and b is also an interval:

$$\begin{aligned} a \cup b &= \{c: c \in a \text{ and } c \in b\} \\ &= [\min(a^-, b^-), \max(a^+, b^+)] \end{aligned} \quad (21)$$

Note

We use INTLAB, a powerful and flexible MATLAB toolbox for verification of results.

V. ARITHMETICAL EXPRESSION

An interval function is an interval-valued function of one or more interval arguments. Thus, an interval function maps the value of one or more interval arguments onto an interval. Consider a real valued function f of real

We define arithmetical expressions and their interval evaluation, in interval arithmetic, we can also define the elementary functions (sin, exp, Acoth ... etc) taking intervals for argument.

Let us apply some other familiar functions to interval arguments. The reasoning is particularly straightforward with functions $f(x)$ that happen to be monotonic, i.e., either increasing or decreasing with increasing x .

Note that it maps an interval $x = [x^-, x^+]$ into the interval $f(x) = [f(x^-), f(x^+)]$

Let us apply some other familiar functions to interval arguments.

$\exp[a, b] = [\exp a, \exp b]$ exp is increasing

$a \coth[a, b] = [a \coth b, a \coth a]$, $0 \notin [a, b]$ because acoth is decreasing

In this subsection the important notion of an interval function will be introduced. For easier understanding, first an interval function of one variable will be considered; then, the generalization to interval functions of several variables will be presented.

Example 1 : consider the polynomial

$$\begin{aligned} F(X) &= X^3 - 2X^2 + X - 3 \\ X &= [-5, 2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(X) &= [-5, 2]^3 - 2[-5, 2]^2 + [-5, 2] - 3 \\ &= [-183, 7] \end{aligned}$$

Example 2 :

$$G(X, Y, Z) = \sin X + 2X \exp Y - Y^2 \sqrt{Z}$$

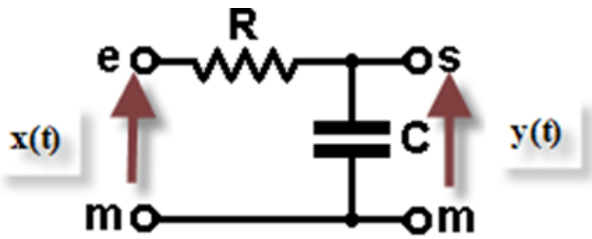
$$X = \left[-\pi, \frac{\pi}{4} \right], Y = [-1, 1], Z = [1, 4]$$

$$G(X, Y, Z) = \left[-1, \frac{\sqrt{2}}{2} \right] + \left[-2\pi e, \frac{\pi e}{2} \right] - [0, 2]$$

$$= \left[-3 - 2\pi e, \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\pi e}{2} \right]$$

VI. APPLICATION OF INTERVAL ARITHMETIC CASE OF A LINEAR SYSTEM OF FIRST ORDER (RC CIRCUIT)

Consider the first order system shown in figure 1. Physically, this system may represent an RC circuit, $u(t)$ is the input and $y(t)$ is the output.



First order system (RC circuit)

In the following, we shall analyze the system responses to such inputs as the unit-step, unit-ramp, and unit-impulse functions.

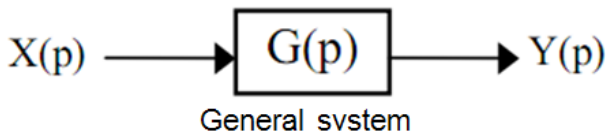
Note that all systems having the same transfer function will exhibit the same output in response to the same input.

RC circuits will produce a first-order differential equation:

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t) \quad (22)$$

Open loop:

This corresponds to a transmittance



General svstem

$$G(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k}{1 + \tau \cdot p} \quad (23)$$

Where

τ : is a value known as the "Time Constant". ($\tau > 0$);

k : is a constant value that corresponds to the source value, static gain of the system,

$G(p)$: Transfer function

We defined the output of system by:

$$Y(p) = X(p) \cdot G(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{k}{1 + \tau \cdot p} = \frac{k}{p(1 + \tau \cdot p)} \quad (24)$$

Use this example and show the mechanism for calculating the intervals.

The parameters chosen are:

$$\tau = [\tau^-, \tau^+] = [9, 10],$$

$$k = [k^-, k^+] = [0.3, 1].$$

A. Unit-step response

When the system is excited by a unit step, output is called the response index.

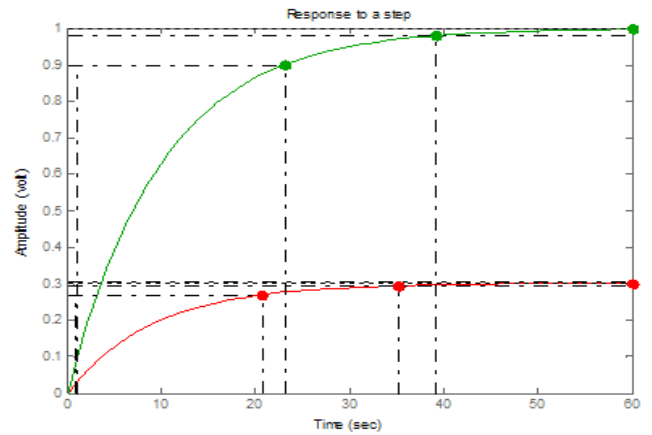
Since the Laplace transform of the unit-step function is $\frac{1}{p}$, we obtain

$$Y(p) = \frac{k}{1 + \tau \cdot p} \cdot \frac{1}{p} \quad (25)$$

Taking the inverse Laplace transform of Equation 21, we obtain:

$$y(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (26)$$

The use of simulation for Intlab gave the following figures:



Unit step response

Table I gives characteristics of unit step response

TABLE I

Characteristics of unit step response		
	Lower bound	Upper bound
Rise time (s)	19,8	22
Settling time (s)	35,2	39,1
Final value	0,3	1

B. Unit impulse response

The unit -impulse input, which is the derivatitave of unit-step

The input $X(p)$

$$x(t) = \delta(t) \rightarrow X(p) = 1 \quad (27)$$

The output $Y(p)$

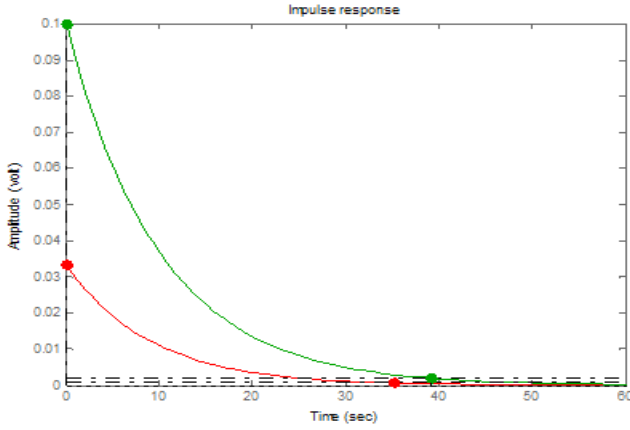
$$Y(p) = X(p) \cdot G(p) = 1 \times \frac{k}{1 + \tau \cdot p}$$

$$= \frac{k}{1 + \tau \cdot p} \quad (28)$$

The response time $y(t)$

$$y(t) = \frac{k}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (29)$$

The simulation results are:



Unit impulse response

Table II show the lower and upper bound of impulse response.

TABLE II		
Lower and upper bound of impulse response		
	Lower bound	Upper bound
Peak amplitude at t=0s	0,0333	0,1
Settling time (s)	35,2	39,1

C. Unit ramp response

When the system is excited by a unit ramp, the exit is called in response speed.

The input is given by:

$$x(t) = t \cdot U(t) \rightarrow X(p) = \frac{1}{p^2} \quad (30)$$

Since the Laplace transform of the unit ramp function $\frac{1}{p^2}$, we obtain the output of the system

$$\begin{aligned} Y(p) &= X(p) \cdot G(p) = \frac{1}{p^2} \times \frac{k}{1 + \tau \cdot p} \\ &= \frac{k}{p^2(1 + \tau \cdot p)} \end{aligned} \quad (31)$$

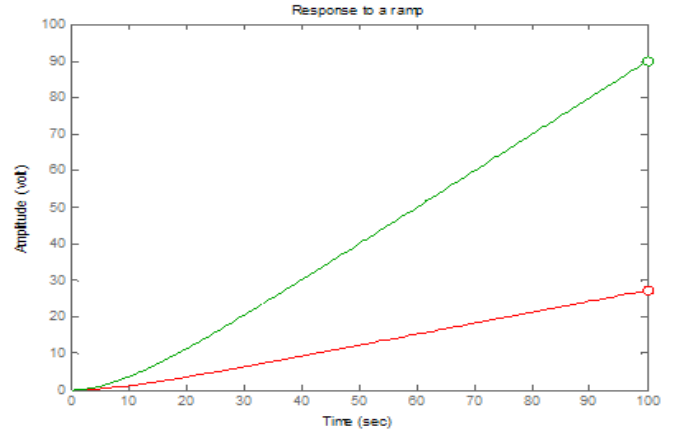
A response time is :

$$y(t) = k \cdot (t - \tau + \tau \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (32)$$

We note :

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) &= k \cdot (t - \tau) \\ \lim_{t \rightarrow 0} y(t) &= -k \cdot \tau \end{aligned} \quad (34)$$

The unit ramp response is given by this figure



Unit ramp response

Table III gives Lower and upper bound of ramp response

TABLE III
Lower and upper bound of ramp response

	Lower bound	Upper bound
Amplitude	26,7	87,9
Time (s)	97,9	97,9

VII. CONCLUSION

The interval arithmetic is based on a very simple concept: replace the real numbers by intervals.

Some properties of mathematical operations are lost ($X - X \neq 0$ and $X / X \neq 1$)

However, as illustrated by the following calculations:

$$X - X = [1,2] - [1,2] = [-1,1] \neq 0$$

$$X / X = [1,2] / [1,2] \neq 1$$

It is trivial that these operations give wrong results

Each function has a mathematical equivalent elementary interval, there is equivalent interval for all usual mathematical functions.

The main focus in the interval arithmetic is on the simplest way to calculate upper and lower endpoints for the range of values of a function in one or more variables. These barriers need be not necessarily the supremum or infimum, since the precise calculation of those values are often too difficult

Our contribution in this article is the application of interval arithmetic to electrical circuits.

the chosen circuit is described by a differential equation of first order whose coefficients are uncertain value that why we introduce analysis interval, we can generalize the application of interval arithmetic to other systems

regardless of their order, so we can study the stability of any system.

With more interval support in education, hardware, and software, intervals will become the natural way to think about and compute numerical solutions to physical problems.

REFERENCES

- [1] R.E.Boche. "An operational interval arithmetic", Lockheed Missiles and Space Company, Palo Alto, California, Paper N°.CP 63-1431, *IEEE*, August 1963
- [2] Ramon E.Moore. Automatic error analysis in digital computation, Missiles and space division.28 January 1959
- [3] R.E.Moore and C.T.Yang. *Interval analysis I*, Lockheed Missiles and space division Sunnyvale California. September 1959
- [4] R.E.Moore. Interval analysis and automatic error analysis in digital computing, Technical report n°25, November 15,1962
- [5] Ramon E.Moore. *Error in Digital Computation* Volume 1, John Willy and sons, Inc. New York .London .Sidney; 1965
- [6] Reda Boukezzoula, Laurent Foulloy ,Sylvie Galichet. "Fuzzy Control for Fuzzy Interval Systems .Part I: Solving First Order Fuzzy Equations'', *Budapest, Hungary*, 25-29 July 2004
- [7] Xing Fang Zhang, Guangwu Meng. "Four arithmetic operations and linear equation of fuzzy numbers''. Proceedings of the Second International Conference on *Machine Learning and Cybernetics*, Wan, 2-5 November 2003

Similitude entre deux nombres flous triangulaires

DIFFELLAH Nacira, HAMADACHE Fouzia ,BENMAHAMMED Khier ,ABBADA Yahia

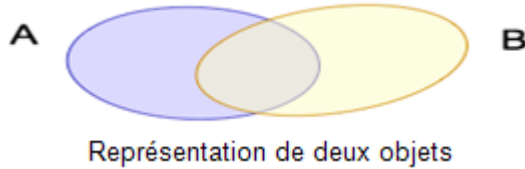
Résumé- Tout système ayant pour but d'analyser ou d'organiser automatiquement un ensemble de données ou de connaissances doit utiliser, sous une forme ou une autre, un opérateur de similarité dont le but est d'établir les ressemblances ou les relations qui existent entre les informations manipulées.

Mots clés- Nombre flou, similitude, chevauchement faible, fort chevauchement, inclusion,...

I. SIMILARITE

La similarité de 2 objets a et b (Fig.1) est fonction de leurs caractéristiques communes par rapport à l'ensemble de leurs caractéristiques Si a est décrit par A et b par B.

$$\text{sim}(a,b) = \frac{f(A \cap B)}{f(A \cup B)} \quad (1)$$



II. REPRESENTATION D'UN NOMBRE FLOU TRIANGULAIRE

Un ensemble flou A est défini sur un univers X par une fonction d'appartenance notée $\mu_A(x)$ qui retourne une valeur comprise entre zéro "0" et un "1" pour tout x de X : $0 \leq x \leq 1$.

Manuscrit reçu Septembre 27, 2011.

Similitude entre deux nombres flous triangulaires.

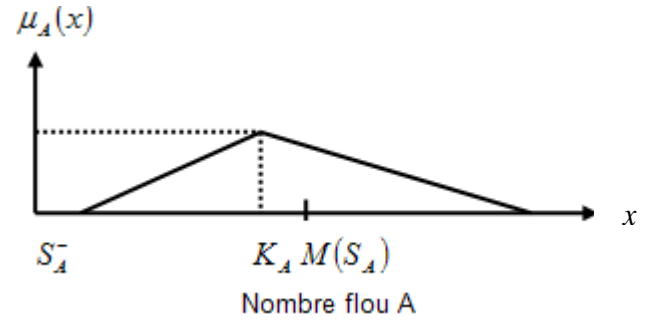
N DIFFELLAH, Centre universitaire de Bordj Bou Arréridj, Algerie,

LSI Laboratoire des Systèmes Intelligents, nacirapush@gmail.com

F HAMADACHE, Centre universitaire de Bordj Bou Arréridj, Algerie, LSI Laboratoire des Systèmes Intelligents, fouziapull@gmail.com ,

K BENMAHAMMED, Al-Baha University, Collage of Engineering Saudi Arabia

LSI Laboratoire des Systèmes Intelligents, khierben@gmail.com.



A : Nombre flou

$M(S_A)$: représente le centre de A

K_A : la valeur maximale dont le degré d'appartenance est égal à 1

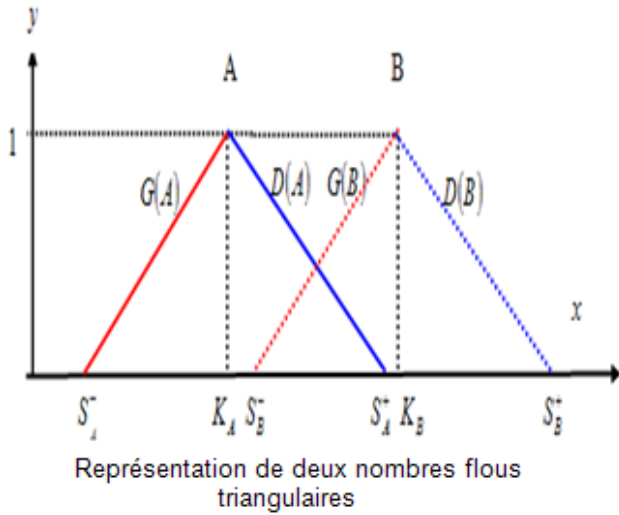
S_A^- : représente le support de A situé à gauche du centre

S_A^+ : représente le support de A situé à droite du centre

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{1}{K_A - S_A^-} x - \frac{S_A^-}{K_A - S_A^-} & \text{si } S_A^- < x < K_A \\ \frac{1}{K_A - S_A^+} x - \frac{S_A^+}{K_A - S_A^+} & \text{si } K_A < x < S_A^+ \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (2)$$

III. CHEVAUCHEMENT DE DEUX NOMBRES FLOUS TRIANGULAIRES

On considère deux nombres flous A et B représentés comme suit



Les profils gauche et droites des deux nombres flous sont données respectivement par :

$$\begin{cases} G(A) = \frac{1}{K_A - S_A^-} (x - S_A^-) \\ D(A) = \frac{1}{K_A - S_A^+} (x - S_A^+) \end{cases} \quad (3)$$

et

$$\begin{cases} G(B) = \frac{1}{K_B - S_B^-} (x - S_B^-) \\ D(B) = \frac{1}{K_B - S_B^+} (x - S_B^+) \end{cases} \quad (4)$$

Les aires de A et B sont données respectivement par :

$$aire(A) = \frac{(S_A^+ - S_A^-)}{2} \quad (5)$$

$$aire(B) = \frac{(S_B^+ - S_B^-)}{2} \quad (6)$$

et

$$aire(A \cup B) = aire(A) + aire(B) - aire(A \cap B) \quad (7)$$

IV. LES DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE CHEVAUCHEMENT

Le tableau ci-dessous représente les différents cas de chevauchement qui existent.

Tab.1 Points d'intersections entres A et B

	$G(B)$	$D(B)$
$G(A)$	$\alpha(x_\alpha, y_\alpha)$	$\beta(x_\beta, y_\beta)$
$D(A)$	$\delta(x_\delta, y_\delta)$	$\gamma(x_\gamma, y_\gamma)$

A. Premier cas : chevauchement faible'' weak overlapping »

Le point d'intersection $\delta(x_\delta, y_\delta)$ entre le profil droit du nombre A et le profil gauche du nombre B se calcule comme suit : $D(A) = G(B)$

$$\frac{1}{K_A - S_A^+} (x - S_A^+) = \frac{1}{K_B - S_B^-} (x - S_B^-) \quad (8)$$

Donc

$$\delta = \left(\begin{array}{l} \frac{S_A^+ (K_B - S_B^-) - S_B^- (K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \\ \frac{1}{K_A - S_A^+} (x_\delta - S_A^+) \end{array} \right) \quad (9)$$

ou bien

$$\delta = \left(\begin{array}{l} \frac{S_A^+ (K_B - S_B^-) - S_B^- (K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \\ \frac{1}{K_B - S_B^-} (x_\delta - S_B^-) \end{array} \right) \quad (10)$$

L'aire $(A \cap B)$ est déterminé par l'équation

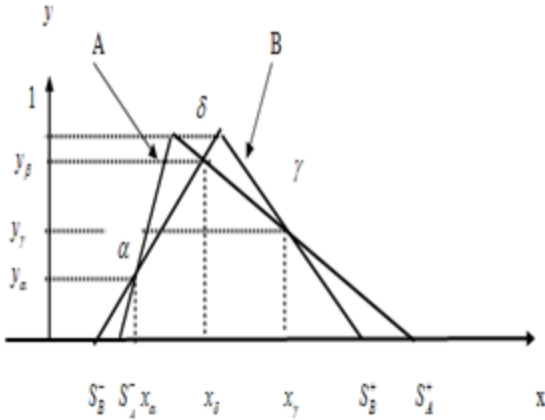
$$aire(A \cap B) = \frac{(S_A^+ - S_B^-)}{2} \cdot y_\delta \quad (11)$$

Par contre l'aire $(A \cup B)$ est donnée par l'équation

$$aire(A \cup B) = \frac{(S_A^+ - S_A^-)}{2} + \frac{(S_B^+ - S_B^-)}{2} - \frac{(S_A^+ - S_B^-)}{2} \cdot y_\delta \quad (12)$$

B. Deuxième cas : chevauchement faible'' overlapping »

Les deux xNFT A et B sont représentés comme suit :



Représentation de deux nombres flous chevauchement faible

Le point d'intersection $\alpha(x_\alpha, y_\alpha)$ entre les deux profils gauche des deux nombres se calcule par : $G(A) = G(B)$

$$\frac{1}{K_A - S_A^-}(x - S_A^-) = \frac{1}{K_B - S_B^-}(x - S_B^-) \quad (13)$$

donc

$$\alpha = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_A - S_A^-}(x_\alpha - S_A^-) \right) \quad (14)$$

ou bien

$$\alpha = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_B - S_B^-}(x_\alpha - S_B^-) \right) \quad (15)$$

Le point d'intersection $\delta(x_\delta, y_\delta)$ entre le profil droit du nombre A et le profil gauche du nombre B se calcule comme suit : $D(A) = G(B)$

$$\frac{1}{K_B - S_B^-}(x - S_B^-) = \frac{1}{K_A - S_A^+}(x - S_A^+) \quad (16)$$

donc

$$\delta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_A - S_A^+}(x_\delta - S_A^+) \right) \quad (17)$$

ou bien

$$\delta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_B - S_B^-}(x_\delta - S_B^-) \right) \quad (18)$$

Le point d'intersection $\gamma(x_\gamma, y_\gamma)$ entre les deux profils droit des deux nombres se calcule comme suit : $D(A) = D(B)$

$$\frac{1}{K_A - S_A^+}(x - S_A^+) = \frac{1}{K_B - S_B^+}(x - S_B^+) \quad (19)$$

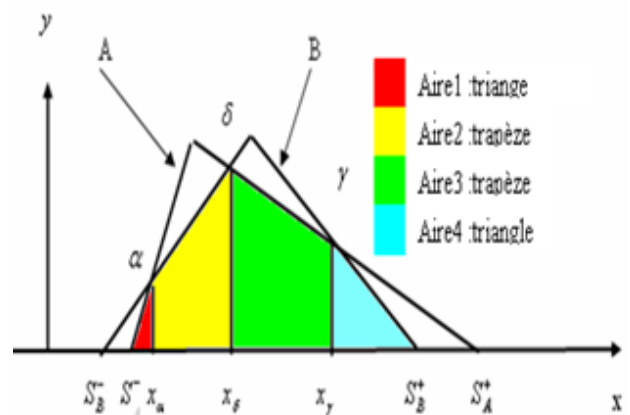
d'où

$$\gamma = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^+) - S_B^+(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^+}, \frac{1}{K_A - S_A^+}(x_\gamma - S_A^+) \right) \quad (20)$$

ou bien

$$\gamma = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^+) - S_B^+(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^+}, \frac{1}{K_B - S_B^+}(x_\gamma - S_B^+) \right) \quad (21)$$

La représentation graphique de l'aire $(A \cap B)$ et $\text{aire}(A \cup B)$ est la suivante



Aire $(A \cap B)$ de 2 deux NFT

La surface d'intersection entre les deux nombres est l'aire $(A \cap B)$

$$\text{aire}(A \cap B) = \text{aire1} + \text{aire2} + \text{aire3} + \text{aire4} \quad (22)$$

Chaque surface est donnée par

$$aire1 = \frac{(x_\alpha - S_A^-)y_\alpha}{2} \quad (23)$$

$$aire2 = \frac{(x_\delta - x_\alpha)(y_\delta + y_\alpha)}{2} \quad (24)$$

$$aire3 = \frac{(x_\gamma - x_\delta)(y_\gamma + y_\delta)}{2} \quad (25)$$

$$aire4 = \frac{(S_B^+ - x_\gamma)y_\lambda}{2} \quad (26)$$

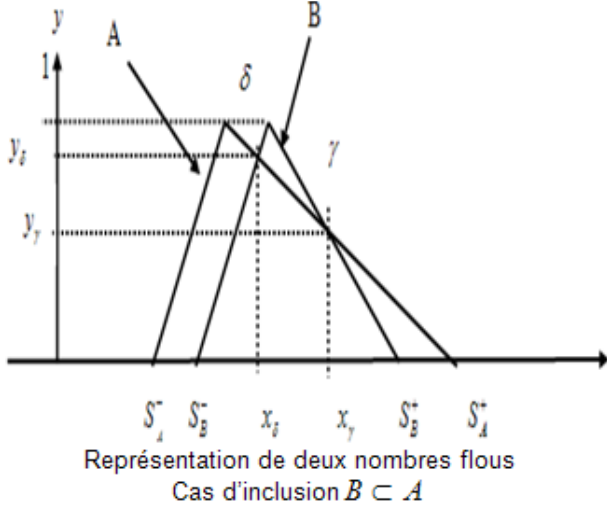
La surface union des deux nombre est l'aire $aire(A \cup B)$

$$aire(A \cup B) = aire(A) + aire(B) - (aire(1) + aire(2) + aire(3) + aire(4)) \quad (27)$$

C. Troisième cas : inclusion

a. Cas 1 $B \subset A$

La représentation des NFT A et B est illustrée comme suit



Les coordonnées $\delta(x_\delta, y_\delta)$ se déterminent par :

$$D(A) = G(B) \quad (28)$$

$$\frac{1}{K_A - S_A^+}(x - S_A^+) = \frac{1}{K_B - S_B^-}(x - S_B^-)$$

donc

$$\delta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_A - S_A^+}(x_\delta - S_A^-) \right) \quad (29)$$

ou bien

$$\delta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_B - S_B^-}(x_\delta - S_B^-) \right) \quad (30)$$

La détermination des coordonnées $\gamma(x_\gamma, y_\gamma)$ se fait en mettant : $D(A) = D(B)$

$$\frac{1}{K_A - S_A^+}(x - S_A^+) = \frac{1}{K_B - S_B^+}(x - S_B^+) \quad (31)$$

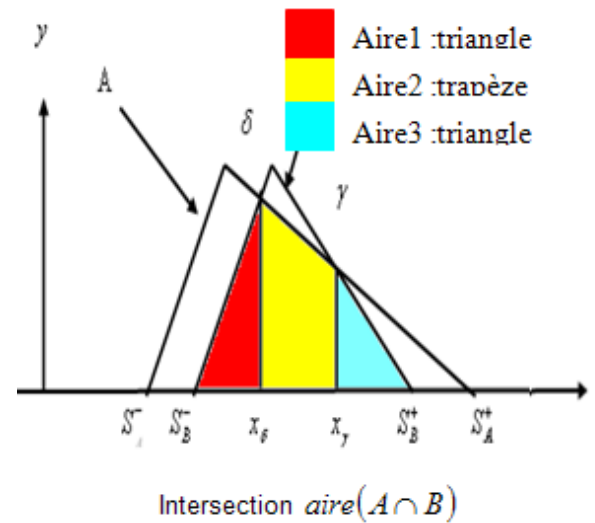
Ce qui donne

$$\gamma = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^+) - S_B^+(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^+}, \frac{1}{K_A - S_A^+}(x_\gamma - S_A^+) \right) \quad (32)$$

Ou bien

$$\gamma = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^+) - S_B^+(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^+}, \frac{1}{K_B - S_B^+}(x_\gamma - S_B^+) \right) \quad (33)$$

La figure suivante représente l'intersection et l'union des deux nombres de A et B



Les différentes aires représentant l'aire commune sont :

$$aire1 = \frac{(x_{\delta} - S_B^-)y_{\delta}}{2} \quad (34)$$

$$aire2 = \frac{(x_{\gamma} - x_{\delta})(y_{\gamma} + y_{\delta})}{2} \quad (35)$$

$$aire3 = \frac{(S_B^+ - x_{\gamma})y_{\gamma}}{2} \quad (36)$$

donc

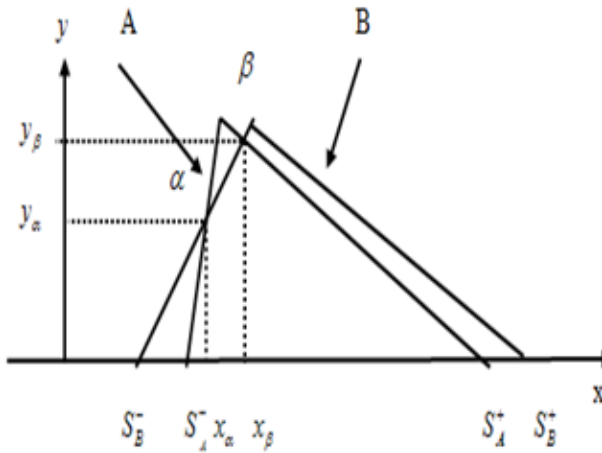
$$aire(A \cap B) = aire1 + aire2 + aire3 \quad (37)$$

et

$$aire(A \cup B) = aire(A) + aire(B) - (aire(1) + aire(2) + aire(3)) \quad (38)$$

b. Cas 2 : $A \subset B$

La figure 8 représente les deux NFT A et B chevauchés



Représentation de deux nombres flous $A \subset B$

Les différents points d'intersection entre les nombres se déterminent comme suit :

Les coordonnées $\alpha(x_{\alpha}, y_{\alpha}) : G(A) = G(B)$

$$\frac{1}{K_A - S_A^-}(x - S_A^-) = \frac{1}{K_B - S_B^-}(x - S_B^-) \quad (38)$$

donc

$$\alpha = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_A - S_A^-}(x_{\alpha} - S_A^-) \right) \quad (39)$$

Ou bien

$$\alpha = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_B - S_B^-}(x_{\alpha} - S_B^-) \right) \quad (40)$$

Les coordonnées $\beta(x_{\beta}, y_{\beta}) : D(A) = G(B)$

$$\frac{1}{K_B - S_B^-}(x - S_B^-) = \frac{1}{K_A - S_A^+}(x - S_A^+) \quad (41)$$

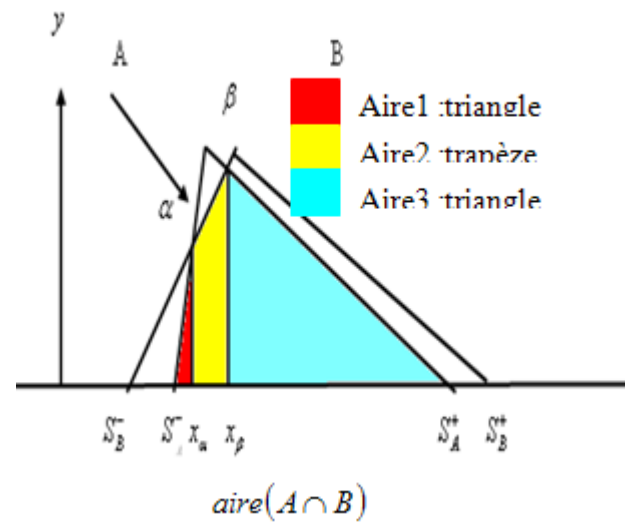
donc

$$\beta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_A - S_A^+}(x_{\beta} - S_A^+) \right) \quad (43)$$

Ou bien

$$\beta = \left(\frac{S_A^+(K_B - S_B^-) - S_B^-(K_A - S_A^+)}{K_B - K_A + S_A^+ - S_B^-}, \frac{1}{K_B - S_B^-}(x_{\beta} - S_B^-) \right) \quad (44)$$

La représentation des $aire(A \cap B)$ et $aire(A \cup B)$ est :



L'aire commune est donnée par :

$$aire(A \cap B) = aire1 + aire2 + aire3 \quad (45)$$

Telle que

$$aire1 = \frac{(x_{\alpha} - S_A^-)y_{\alpha}}{2} \quad (46)$$

$$aire2 = \frac{(x_\beta - x_\alpha)(y_\beta + y_\alpha)}{2} \quad (47)$$

et

$$aire3 = \frac{(S_A^+ - x_\beta)y_\beta}{2} \quad (48)$$

L'aire de l'union est calculée à partir de l'équation

$$aire(A \cup B) = aire(A) + aire(B) - (aire(1) + aire(2) + aire(3))$$

Si $A = B \Rightarrow A \cap B = A \cup B \Rightarrow sim(A, B) = 1$

V. CONCLUSION

La similarité est un critère important pour l'identification de sous-groupe dans un groupe d'objets, de valeurs (numériques ou non), de données (connus ou reconnus) dans un « espace » ou système... Du point de vue mathématique, c'est par les différences de distance mathématique entre deux données qu'on mesure leur degré de similarité. Elle permet aussi d'évaluer les ressemblances et les dissemblances qui existent au sein d'un ensemble de données.

Les résultats de cet article seront appliqués aux modèles régressifs flous pour déterminer le taux de ressemblance, qui représente la robustesse du modèle, défini par la similitude (le rapport entre l'aire d'intersection et d'union des nombres flous observés et estimés).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, *Information and Control* 8:338-353, 1965
- [2] D. Dubois, H. Prade, Fuzzy sets and systems: theory and applications, Academic Press, New York, 1980
- [3] H. Tanaka, H. Ishibuchi, Identification of possibilistic linear systems by quadratic membership functions of fuzzy parameters, *Fuzzy Sets and Systems* 41 (1991) 145-160
- [4] A Bissierier, R Boukezzoula, S Galichet. A revisited approach to linear fuzzy regression using trapezoidal fuzzy intervals .Elsevier 2010

On Quadrotor Modeling: Hybrid Dynamical System Approach

A. Dali¹, M. Bouchoucha¹, M. Tadjine²

¹Laboratoire de Contrôle et de Commande EMP Bordj-El-Bahri, Algiers, 16111, Algeria

²Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Algiers, Algeria.

E-mail : ali.dali.dz@gmail.com, mouloud_bouchoucha@yahoo.fr, tadjine@yahoo.fr

Abstract— for many applications, the control of complex nonlinear system can be made easier by modeling the system as a collection of reduced subsystems, each representing a particular operating regime, in this paper, the main goal is to propose a new modeling approach for quadrotor based on a discrete automaton, we will define seven modes of flight allowing various acrobatic maneuvers while keeping the mathematical model of each mode as simple as possible.

This modeling strategy for chosen system has been validated using software package Simulink.

Index Terms— hybrid modeling, PRBS, quadrotor, simulation, validation.

I. INTRODUCTION

MODERN robotic systems are growing ever more capable and complex. In particular, unmanned aerial vehicles grow in power and maneuverability they require increasingly sophisticated control systems to take of the full range off their capabilities. In the development of these control systems, it is often difficult if not impossible to consider a full nonlinear model of the system [1], quadrotor aircrafts have been a subject of extensive research in the field of autonomous control systems. For example classical PID controller is considered and model based design is experimented in [2], authors in [3] proposed backstepping and sliding-mode techniques and in [4] a new approach for the attitude stabilization of a quadrotor aircraft based on step by step robust nonlinear PI was presented.

In reality, quadrotor's propulsion system has limited amount of energy. In case of demanding flight trajectory or in case of sudden change in requested position, control signals could drive the propulsion system well within the region of saturation causing undesired quadrotor behavior.

Proposed hybrid model with predefined states, thus providing a mechanism for dividing every change of position and orientation into combination of moves that keep propulsion system safe of saturation. Academic research done so far usually neglected this realistic problem [5, 6].

There has also been extensive work in the Hybrid Systems literature [7] even for quadrotor [5, 6, 8, 9]. However the main contribution of this paper is to propose a new hybrid model for

quadrotor as realistically as possible. The paper is organized as follows. The Quadrotor mathematical model is described in Section II, the proposed hybrid model is presented in Sections III and its validation in section IV, followed by simulation studies in Section V. Finally conclusions are drawn in the last section.

II. QUADROTOR MATHEMATICAL MODEL

The Quadrotor is four rotor helicopter; fig .1 each rotor consists of an electrical motor, a drive gear and propeller. The two pairs of propellers (1, 3) and (2, 4) turn in opposite directions. Forward motion is accomplished by increasing the speed of the rear rotor while simultaneously and right motion work in the same way. Yaw command is accomplished by accelerating the two clockwise turning rotors while decelerating the counter-clockwise turning rotors. This helicopter is one of the most complex flying systems that exist. This is due partly to the number of physical effects (Aerodynamic effects, gravity, gyroscopic, friction and inertial counter torques) acting on the system [10].

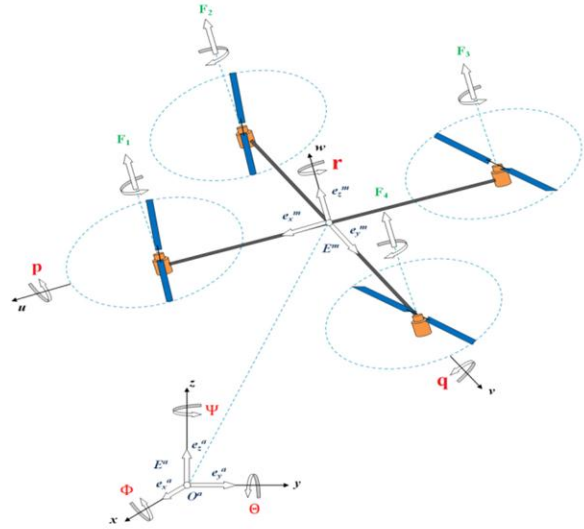


Fig. 1. Quadrotor helicopter

The equations describing the attitude and position of a quadrotor helicopter are basically those of a rotating rigid

body with six degrees of freedom [11]. Let be two main reference frames (see Fig.1): the earth fixed inertial reference frame E^a ($O^a, \vec{e}_x^a, \vec{e}_y^a, \vec{e}_z^a$) and the body fixed reference frame E^m ($O^m, \vec{e}_x^m, \vec{e}_y^m, \vec{e}_z^m$). The absolute position of the quadrotor is described by $\vec{O^a O^m} = \vec{\zeta} = [x, y, z]^T$ and its attitude by the three Euler's angles $\eta = [\phi, \theta, \psi]^T$. The quadrotor is restricted with the six following degrees of freedom according to the reference frame E^m : three translations $V = [u, v, w]^T$ and three rotations $\Omega = [p, q, r]^T$. The relation existing between the velocities vectors (V, Ω) and $(\dot{\zeta}, \dot{\eta})$ are $\dot{\zeta} = R_t V$ and $\dot{\eta} = R_r \Omega$ where R_t and R_r are respectively the transformation velocity matrix and the rotation velocity matrix between E^a and E^m [11], such as:

$$R_t = \begin{bmatrix} C\psi C\theta & C\psi S\theta S\phi - S\psi C\phi & C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi \\ C\theta S\psi & S\psi S\theta S\phi + C\psi C\phi & S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi \\ -S\theta & S\phi C\theta & C\phi C\theta \end{bmatrix}$$

and

$$R_r = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -S\theta \\ 0 & C\phi & C\theta S\phi \\ 0 & -S\phi & C\theta C\phi \end{pmatrix}$$

$S(\cdot)$ and $C(\cdot)$ are the respective abbreviations of $\sin(\cdot)$ and $\cos(\cdot)$.

Using the Newton's laws in the reference frame E^m , about the quadrotor helicopter subjected to forces $\sum F_{ext}$ and moments $\sum T_{ext}$ applied to the epicenter, one can obtain the dynamic equation motions [11]:

$$\begin{cases} \sum F_{ext} = m\dot{V} \\ \sum M_{ext} = I_T \dot{\Omega} + \Omega \times (I_T \Omega) \end{cases} \quad (1)$$

where m and $I_T = \text{diag}[I_x, I_y, I_z]$ are respectively the mass and the total inertia matrix of helicopter, $\sum F_{ext}$ and $\sum M_{ext}$ includes the external forces/torques developed in the epicenter of a quadrotor according to the direction of the reference frame E^m , such as:

$$\begin{cases} \sum F_{ext} = F_{prop} + F_{aero} + F_{grav} \\ \sum M_{ext} = M_{port} + M_{aero} + M_{gero} \end{cases} \quad (2)$$

Where $F_{aero} = -Kt(V - V_{air})$, $M_{aero} = Kr(\Omega - \Omega_{air})$ are the aerodynamic friction with $\{Kt, Kr\}$ are two diagonal aerodynamic matrices and $\{V_{air}, \Omega_{air}\}$ are the translation and the rotation velocity of the air according the E^m reference frame; $F_{grav} = mR_t^T G$ is the gravity effect forces with $G = [0 \ 0 \ -g]^T m/s^2$ and $\{F_{port}, M_{port}\}$ are the produced propeller system forces and torques [11], M_{gero} is the gyroscopic torque result given by :

$$M_{gero} = \sum_{i=1}^4 I_r (\vec{e}_z^m \times \Omega) (-1)^{i+1} \omega_i$$

Such as:

$$F_{port} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum_{i=1}^4 F_i \end{bmatrix}, M_{port} = \begin{bmatrix} d(F_4 - F_2) \\ d(F_3 - F_1) \\ k \sum_{i=1}^4 (-1)^i F_i \end{bmatrix}$$

Where d is the distance from the epicenter of a Quadrotor to the rotor axes and $k > 0$ is the drag factor.

Then the equation of rotations dynamics of the Quadrotor expressed in the reference frame E^a using (1) and (2) is given by:

$$\begin{cases} F_{port} = mR_t^T \ddot{\zeta} + Kt R_t^T (\dot{\zeta} - \dot{\zeta}_{air}) + mR_t^T G \\ M_{port} = I_T \dot{\Omega} + Kr(\Omega - \Omega_{air}) + \Omega \times (I_T \Omega) + M_{gero} \end{cases} \quad (3)$$

Where $\{\dot{\zeta}_{air}, \dot{\eta}_{air}\}$ are the translation and the rotation velocity of the air according the reference frame E^a .

Lets F_i the lift force generated by the rotor i , it's proportional to the square of the angular speed rotation ω_i : $F_i = b\omega_i^2$ where b is the lift constant containing the air density ρ and the lift coefficient C_z and the blade rotor characteristics (diameter, step, profile, ...) [10].

Let's:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ 0 & -db & 0 & db \\ -db & 0 & db & 0 \\ -k & k & -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Using (3) and (4) allows giving the following equation:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\frac{Kt_x}{m} C\theta C\psi (\dot{x} - \dot{x}_{air}) + \frac{U_1}{m} (C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi) \\ \ddot{y} = -\frac{Kt_y}{m} (S\psi S\theta S\phi + C\psi C\phi) (\dot{y} - \dot{y}_{air}) + \frac{U_1}{m} (S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi) \\ \ddot{z} = -g - \frac{Kt_z}{m} C\phi C\theta (\dot{z} - \dot{z}_{air}) + \frac{U_1}{m} (C\phi C\theta) \\ \ddot{p} = \frac{qr}{I_x} (I_y - I_z) - \frac{I_r}{I_x} q\Omega^* - \frac{Kr_x}{I_x} (p - (\phi_{air} - S\theta\psi_{air})) + \frac{1}{I_x} U_2 \\ \ddot{q} = \frac{pr}{I_y} (I_z - I_x) + \frac{I_r}{I_y} p\Omega^* - \frac{Kr_y}{I_y} (q - (C\phi\theta_{air} + C\theta S\phi\psi_{air})) + \frac{1}{I_y} U_3 \\ \ddot{r} = \frac{pq}{I_z} (I_x - I_y) - \frac{Kr_z}{I_z} (r - (-S\phi\theta_{air} + C\theta C\phi\psi_{air})) + \frac{1}{I_z} U_4 \end{cases} \quad (5)$$

With:

$$\begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & S\phi tg\theta & C\phi tg\theta \\ 0 & C\phi & -S\phi \\ 0 & \frac{S\phi}{C\theta} & \frac{C\phi}{C\theta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}$$

And

$$\Omega^* = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4$$

III. HYBRID MODEL OF QUADROTOR

Every model of a hybrid system has to define at least the following elements [12, 13]:

- X is the continuous state space, $X = \mathbb{R}^n$;
- Q is the discrete state space, $Q = \{q_1, q_2, q_3 \dots\}$
- G is a set of guards prescribing when a discrete state transition occurs
- $f(q, x): Q \times X \rightarrow \mathbb{R}^n$ is a set of vector fields describing the

continuous dynamics for all $q \in Q$;

- $T \subset Q \times Q$ is the discrete state transition function;
- $Init \subset Q \times X$ is a set of initial values (q_0, x_0) of the hybrid state;
- $Inv(q)$: Each mode has an invariant associated to it, which describes the conditions that the continuous state has to satisfy at this mode.

Lets $X = [x \dot{x} y \dot{y} z \dot{z} p \phi q \theta r \psi]^T$, with $[V_x V_y V_z] = [\dot{x} \dot{y} \dot{z}]$ we define seven states each represent a particular operating regime so that:

$Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7\}$, in addition to the free mode q_7 where maneuvers are allowed there exist six other combinations which relate to the three control inputs : U_1 (active, equal U^*), U_2 and U_3 (actives, null), U_4 (active, null), U^* represent the sum of the forces developed by the four rotors necessary to keep the quadrotor in the hovering mode.(see tab 1). Let's define the following binary variables $V_i \ i \in \{1,2,3,4,5,6\}$:

$$\begin{aligned} VB_1 &= [U_1 \neq U^*] \\ VB_2 &= [(U_2 \neq 0) \vee (U_3 \neq 0)] \\ VB_3 &= [U_4 \neq 0] \\ VB_4 &= [\dot{z}^2 \leq Zte] \\ VB_5 &= [((p^2 + q^2) \leq PQte) \wedge \\ &\quad ((\phi^2 + \theta^2) \leq \phi\theta te)] \\ VB_6 &= [r^2 \leq Rte] \end{aligned}$$

\wedge and \vee are respectively the “AND” and “OR” mathematics functions. Zte (speed tolerated error in altitude), $PQte$ (orientation velocity tolerated error around \vec{e}_x^m, \vec{e}_y^m), $\phi\theta te$ (orientation tolerated around \vec{e}_x^a, \vec{e}_y^a) and Rte (orientation velocity tolerated error around \vec{e}_z^m) are small real positive numbers.

TABLE 1: MODES.

mode	U_1	$U_2, U_3(U_{2,3})$	U_4
1	U^*	actives	0
2	active	0	0
3	U^*	0	active
4	active	actives	0
5	U^*	actives	active
6	active	0	active
7	*	*	*

In the next paragraphs we neglect the aerodynamic friction because there dynamics are so small comparing with the rest so, the air speed will be introduced as a perturbation.

A. Mode 1

It is the most important one, in this mode we activate the control inputs U_2 and U_3 and we keep U_4 null, U_1 keeps a constant value noted U^* in order to allow only the pitch and roll rotation, so invariant associated is given by $Inv(q_1) = \{x \in \mathbb{R}^8 : [\overline{VB_1} \wedge \overline{VB_3} \wedge VB_4 \wedge VB_6]\}$ noted $V_1 = [0 * 0 1 * 1]$

(1 when the condition represented by BV_i is checked, 0 else and * if BV_i is not concerned) and the dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_1, X) = \begin{cases} V_x \\ \frac{U^*}{m} (C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi) \\ V_y \\ \frac{U^*}{m} (S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi) \\ p + qS\phi tg\theta \\ \frac{1}{I_x} U_2 \\ qC\phi \\ \frac{1}{I_y} U_3 \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [x \dot{x} y \dot{y} p \phi q \theta]^T$, assuming that Rte and Zte are so small that $\dot{z} \approx 0$ and $r \approx 0$. The conditions of existence of the state vector are as follows:

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U^*}{b} \\ -\omega_2^2 + \omega_4^2 = \frac{U_2}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_3^2 = \frac{U_3}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1^2 = \frac{dU_1^* - 2U_3}{4db} \\ \omega_2^2 = \frac{dU_1^* - 2U_2}{4db} \\ \omega_3^2 = \frac{dU_1^* + 2U_3}{4db} \\ \omega_4^2 = \frac{dU_1^* + 2U_2}{4db} \end{cases} \quad (6)$$

In the quadrotor propulsion system, the rotors turn in a unique direction, lets ω_{limit} the rotors velocity limit:

$$0 \leq \omega_i^2 \leq \omega_{limit}^2 \quad (7)$$

Then from (6) and (7) we have:

$$\begin{cases} -\frac{dU_1^*}{2} \leq \overline{U_{2,3}} \leq \frac{dU_1^*}{2} \\ -\frac{4db \omega_{limit}^2 - dU_1^*}{2} \leq \overline{U_{2,3}} \leq \frac{4db \omega_{limit}^2 - dU_1^*}{2} \end{cases}$$

So the saturation condition is given by:

$$|U_{2,3}| \leq \min\left(\frac{dU_1^*}{2}, \frac{4db \omega_{limit}^2 - dU_1^*}{2}\right)$$

B. Mode 2

In this mode we activate the control input U_1 and we keep U_2, U_3 and U_4 null in order to allow only altitude variation, so the invariant associated is given by $Inv(q_2) = \{x \in \mathbb{R}^2 : [\overline{VB_1} \wedge \overline{VB_2} \wedge VB_4 \wedge VB_5]\}$ noted $V_3 = [* 0 0 * 1 1]$ the dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_2, X) = \begin{cases} V_z \\ -g + \frac{U_1}{m} \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [z \dot{z}]^T$, assuming that $PQte$, $\phi\theta te$ and Rte are so small that $p \approx q \approx 0$, $\phi \approx \theta \approx 0$ and $r \approx 0$. The conditions of existence of the state vector are as follows:

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U_1}{b} \\ -\omega_2^2 + \omega_4^2 = 0 \\ -\omega_1^2 + \omega_3^2 = 0 \\ -\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \left\{ \omega_1^2 = \omega_2^2 = \omega_3^2 = \omega_4^2 = \frac{U_1}{4b} \right. \quad (8)$$

Then from (8) and (7) we have:

$$0 \leq U_1 \leq 4b\omega_{limite}^2$$

C. Mode 3

In this mode we activate the control inputs U_4 only, we keep U_2 and U_3 null, U_1 keeps a constant value noted U^* in order to allow only the yaw rotation, so the invariant associated is given by $G(q_3) = \{x \in \mathbb{R}^2 : [\overline{VB_1} \wedge \overline{VB_3} \wedge VB_4 \wedge VB_6]\}$ noted $V_3 = [0 \ 0 \ * \ 1 \ 1 \ *]$ and the dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_3, X) = \begin{cases} r \\ \frac{1}{I_z} U_4 \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [r \ \psi]^T$, assuming that $PQte$, $\phi\theta te$ and Zte are so small : $p \approx q \approx 0$, $\phi \approx \theta \approx 0$ and $\dot{z} \approx 0$. The conditions of existence of the state vector are as follows:

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U_1^*}{b} \\ -\omega_2^2 + \omega_4^2 = 0 \\ -\omega_1^2 + \omega_3^2 = 0 \\ -\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U_4}{k} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1^2 = \omega_3^2 = \frac{kU_1^* - bU_4}{4bk} \\ \omega_2^2 = \omega_4^2 = \frac{kU_1^* + bU_4}{4bk} \end{cases} \quad (9)$$

Then from (9) and (7) we have:

$$|U_4| \leq \min\left(\frac{kU_1^*}{b}, \frac{4bk\omega_{limite}^2 - kU_1^*}{b}\right)$$

D. Mode 4

Here we activate the control inputs U_2 , U_3 and U_1 we keep U_4 null, to allow only the pitch and roll rotation and altitude variation. The invariant associated is $inv(q_4) = \{x \in \mathbb{R}^{10} : [\overline{VB_3} \wedge VB_6]\}$ So $V_4 = [* \ * \ 0 \ * \ * \ 1]$. The dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_4, X) = \begin{cases} V_x \\ \frac{U_1}{m} (C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi) \\ V_y \\ \frac{U_1}{m} (S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi) \\ V_z \\ -g + \frac{U_1}{m} (C\phi C\theta) \\ p + qS\phi tg\theta \\ \frac{1}{I_x} U_2 \\ qC\phi \\ \frac{1}{I_y} U_3 \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y} \ z \ \dot{z} \ p \ \phi \ q \ \theta]^T$, assuming that Rte is so small that $r \approx 0$. The conditions of existence of the state vector are

as follows:

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U_1}{b} \\ -\omega_2^2 + \omega_4^2 = \frac{U_2}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_3^2 = \frac{U_3}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1^2 = \frac{dU_1 - 2U_3}{4db} \\ \omega_2^2 = \frac{dU_1 - 2U_2}{4db} \\ \omega_3^2 = \frac{dU_1 + 2U_3}{4db} \\ \omega_4^2 = \frac{dU_1 + 2U_2}{4db} \end{cases} \quad (10)$$

Then from (10) and (7) we have:

$$\begin{cases} -\frac{dU_1}{2} \leq U_{2,3} \leq \frac{dU_1}{2} \\ -\frac{4db\omega_{limite}^2 - dU_1}{2} \leq U_{2,3} \leq \frac{4db\omega_{limite}^2 - dU_1}{2} \\ 0 \leq U_1 \leq 4b\omega_{limite}^2 \end{cases}$$

So the saturation condition is given by:

$$\begin{cases} 0 \leq U_1 \leq 4b\omega_{limite}^2 \\ |U_{2,3}| \leq \min\left(\frac{dU_1}{2}, \frac{4db\omega_{limite}^2 - dU_1}{2}\right) \end{cases}$$

E. Mode 5

Just U_1 keeps a constant value U^* , to allow all rotation maneuvers in the same altitude, the invariant associated is $Inv(q_5) = \{x \in \mathbb{R}^{10} : [\overline{VB_2} \wedge VB_5]\}$ so $V_5 = [* \ 0 \ * \ * \ 1 \ *]$. The dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_5, X) = \begin{cases} V_x \\ \frac{U^*}{m} (C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi) \\ V_y \\ \frac{U^*}{m} (S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi) \\ p + qS\phi tg\theta + rC\phi tg\theta \\ \frac{qr}{I_x} (I_y - I_z) - \frac{I_r}{I_x} q\Omega^* + \frac{1}{I_x} U_2 \\ qC\phi - rS\phi \\ \frac{pr}{I_y} (I_z - I_x) + \frac{I_r}{I_y} p\Omega^* + \frac{1}{I_y} U_3 \\ q\frac{S\phi}{C\theta} + r\frac{C\phi}{C\theta} \\ \frac{pq}{I_z} (I_x - I_y) + \frac{1}{I_z} U_4 \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y} \ p \ \phi \ q \ \theta \ r \ \psi]^T$, assuming that Zte is so small that $\dot{z} \approx 0$. The conditions of existence of the state vector are as follows:

$$\begin{cases} \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U^*}{b} \\ -\omega_2^2 + \omega_4^2 = \frac{\overline{U_2}}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_3^2 = \frac{\overline{U_3}}{db} \\ -\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 = \frac{U_4}{k} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1^2 = \frac{kU^* - bU_4}{4bk} - \frac{U_3}{2db} \\ \omega_2^2 = \frac{kU^* + bU_4}{4bk} - \frac{U_2}{2db} \\ \omega_3^2 = \frac{kU^* - bU_4}{4bk} + \frac{U_3}{2db} \\ \omega_4^2 = \frac{kU^* + bU_4}{4bk} + \frac{U_2}{2db} \end{cases} \quad (11)$$

Then from (11) and (7) we have:

$$\begin{cases} |U_{2,3}| \leq \min\left(\frac{dkU^* \pm dbU_4}{2k}, 2db\omega_{limite}^2 - \frac{dkU^* \pm dbU_4}{2k}\right) \\ |U_4| \leq \min\left(k\frac{U_1^*}{b}, 4k\omega_{limite}^2\right) \end{cases}$$

F. Mode 6

Invariant is $Inv(q_6) = \{x \in \mathbb{R}^4 : [\overline{VB_1} \wedge VB_6]\}$ so $V_6 = [0 \text{ ** } 1 \text{ **}]$. The dynamic of the continuous variables is given by:

$$f(q_6, X) = \begin{cases} V_z \\ -g + \frac{U_1}{m} \\ r \\ \frac{1}{I_z} U_4 \end{cases}$$

The continuous state space is given by $X = [z \dot{z} r \psi]^T$, and the conditions of existence of the state vector are as follows:

$$\begin{cases} |U_4| \leq \frac{kU_1}{b} \\ 0 \leq U_1 \leq 4\omega_{limite}^2 \end{cases}$$

G. Mode 7

It represents the free mode where all maneuvers are allowed and there is no condition on the control inputs.

H. Hybrid automaton

The hybrid automaton shown in fig.2 has seven discrete states, to get discrete transitions that correspond to a change of the mode and to avoid the activation of two transitions simultaneously we have set up the following Algorithm:

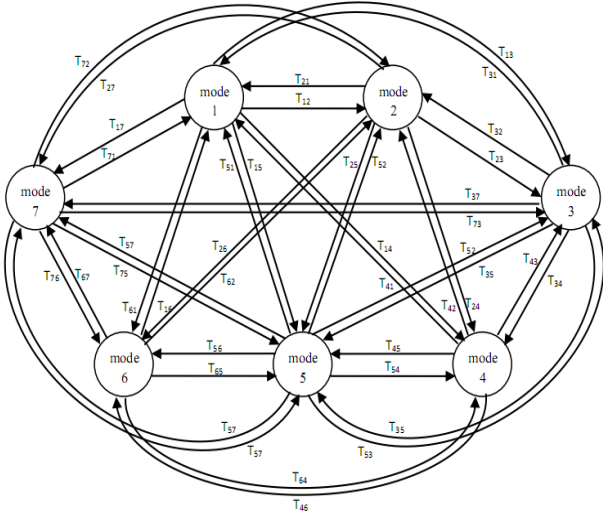


Fig. 2. Hybrid automaton

In the first step: we duplicate each V_i vector in two vectors V_{i1} by replacing the first * by zeros and V_{i2} by replacing this same * by one. We repeat this step until the change of all *, and that by exploiting the following relation:

$$BV_i = (BV_i \wedge \overline{BV_j}) \vee (\overline{BV_i} \wedge (BV_j))$$

In the second step: for each $i \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$ we have to remove each V_{ij} vector resembling the one of the vector V_{mn} $m \in \{1, 2, \dots, n\}$, which mean: defining a set of priorities for the transitions, we chose the following set of priorities as: $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$.

In the last step: we do the opposite work of the first step.

For example we get:

$$T(q_i, q_5) \triangleq T_{i5} = \{x \in \mathbb{R}^{12} : (VB_1 \wedge \overline{VB_2} \wedge VB_3 \wedge VB_5) \vee (VB_1 \wedge \overline{VB_2} \wedge \overline{VB_3} \wedge VB_5 \wedge \overline{VB_6}) \vee (\overline{VB_1} \wedge \overline{VB_2} \wedge VB_3 \wedge \overline{VB_4} \wedge VB_5) \vee (\overline{VB_1} \wedge \overline{VB_2} \wedge \overline{VB_3} \wedge \overline{VB_4} \wedge VB_5 \wedge \overline{VB_6})\} i \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$$

And finally $T(q_i, q_7)$ = complement of $\cup T(q_i, q_6)$ in \mathbb{R}^{12} for $i \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$

IV. MODEL VALIDATION

The input signals (rotors velocities) most appropriated for the model validation in this case is the Pseudo-Random Binary Signal PRBS due to deferent causes:

1- SBPA has a null mean and a variance that close to one, which allows the excitation of very good frequency range (system dynamics) without moving away too much the system from the operating regime.

2- The PRBS signal takes only two values in the time S_- and S_+ , this enables us to have almost of all the possible combinations for the control inputs,

Example: to get $[(U_2 = U_3 = 0) \wedge (U_4 = 0)]$ we can put $\omega_1 = \omega_3 = S_-$ and $\omega_2 = \omega_4 = S_+$.

3- The PRBS is periodic deterministic signal white-noise-like properties very adapted for identification and validation tasks.

The table 2 shows the simulation results.

TABLE 2: VALIDATION.

simulation	1	2	3
Error X (%)	0.8497	0.9305	9.7993
Error Y (%)	0.4116	0.4729	10.9773
Error Z (%)	0.0165	0.0143	0.0186
Error ϕ (%)	0.4800	0.5194	7.4580
Error θ (%)	0.6706	0.5225	3.7945
Error ψ (%)	0.9603	0.2891	0.2271
activated mode	1-2-4-5-7	1-2-4-7	1-2-3-5-6-7

The simulation time is two seconds, to keep the system the operation regime (hovering mode) we have to take :

$$\omega_i = \omega_0 \pm S \text{ with } \omega_0 = \sqrt{U^*/4b} \text{ and } S = 3\text{rad/s.}$$

The errors are calculated as follows:

$$Erreur\%(x) = \left| \frac{\sum_{t=1}^N (x_{nl}(t) - x_{hy}(t))}{\max(|x_{nl}(t) - x_0|)} \right| \times 100$$

$x \in \{X, Y, Z, \phi, \theta, \psi\}$

x_{nl} : the value of x for the nonlinear system.

x_{hy} : the value of x for the hybrid system.

N : the full number of the samples.

Remark: in the third simulation we increased the tolerated errors; as a result the model errors are bigger.

The figures 3 and 4 show the attitude, attitude acceleration errors between the nonlinear system and the proposed hybrid system for the 1st simulation (see TABLE 2)

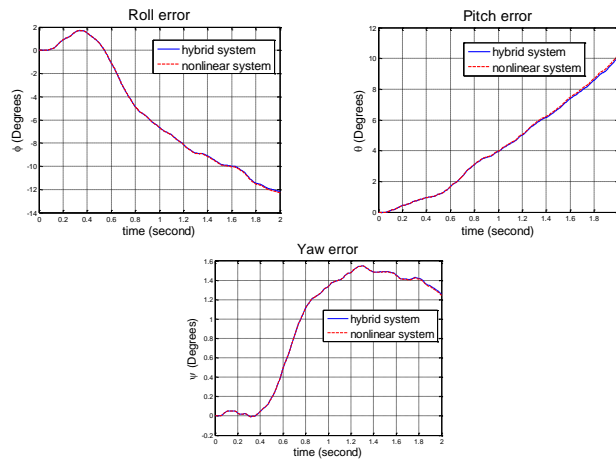


Fig. 3. Attitude errors

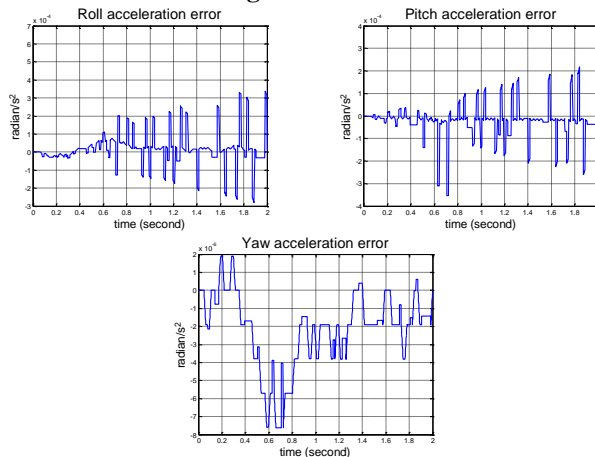


Fig. 4. Attitude acceleration errors.

V. CONCLUSION

In this paper we proposed a new hybrid model of quadrotor, this model was successfully validated using PRBS input signal, simulation results confirmed effectiveness its similarity with the nonlinear model. The obtained model is defined with all input signals saturations for the first six modes, future works have to introduce a hybrid controller that can stabilize the system and avoid the passage through the seventh mode by defining a simple controller for each of the first six modes, a Lyapunov function is a good tool to prove the global stability, this will allow various acrobatic maneuver while keeping propulsion system safe of saturation.

REFERENCES

- [1] J. H. Gillula, *et al.*, "Design of guaranteed safe maneuvers using reachable sets: Autonomous quadrotor aerobatics in theory and practice," in *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, 2010, pp. 1649-1654.
- [2] S. Bouabdallah, *et al.*, "PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor," in *Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, 2004, pp. 2451-2456 vol.3.
- [3] S. Bouabdallah and R. Siegwart, "Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor," in *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*, 2005, pp. 2247-2252.

- [4] M. Bouchoucha, *et al.*, "Step by step robust nonlinear PI for attitude stabilisation of a four-rotor mini-aircraft," in *Control and Automation, 2008 16th Mediterranean Conference on*, 2008, pp. 1276-1283.
- [5] M. Orsag and S. Bogdan, "Hybrid control of quadrotor," in *Control and Automation, 2009. MED '09. 17th Mediterranean Conference on*, 2009, pp. 1239-1244.
- [6] M. Orsag, *et al.*, "Hybrid fly-by-wire quadrotor controller," in *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on*, 2010, pp. 202-207.
- [7] M. Oishi and C. Tomlin, "Switching in Nonminimum Phase Systems: Applications to a VSTOL Aircraft", 2000.
- [8] D. Cabecinhas, *et al.*, "Robust take-off and landing for a quadrotor vehicle," in *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, 2010, pp. 1630-1635.
- [9] I. Astrov, *et al.*, "Desired trajectory generation of a quadrotor helicopter using hybrid control for enhanced situational awareness," in *Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on*, 2010, pp. 1003-1007.
- [10] L. Derafa, *et al.*, "Dynamic Modelling and Experimental Identification of Four Rotors Helicopter Parameters," in *Industrial Technology, 2006. ICIT 2006. IEEE International Conference on*, 2006, pp. 1834-1839.
- [11] T. Madani and A. Benallegue, "Backstepping Sliding Mode Control Applied to a Miniature Quadrotor Flying Robot," in *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on*, 2006, pp. 700-705.
- [12] J. Lunze and F. LAMNABHI-LAGARRIGUE, Eds., *Handbook of Hybrid Systems Control :Theory,Tools,Applications*. Cambridge University Press, 2009.
- [13] D. Liberzon, Ed., *Switching in Systems and Control*. BirWuser Boston, cia Springer~Verlag New York, 2003.

Speaker Identification Using GMMs and Gender Dependent Multi-Class Support Vector Machines

Rafik Djemili, Hocine Bourouba, Mohamed Cherif Amara Korba

Abstract— In this paper, two approaches relying on support vector machines (SVMs) are proposed for a text independent speaker identification task. These two approaches, use a gender dependent support vector classifier in conjunction with multi-class training; and in a hierarchical structure taking benefits from the power of SVMs in binary classification. Identification error rates are reduced for both systems compared to a Gaussian mixture model (GMM) likelihood baseline system.

Keywords— Speaker identification, support vector machines, Gaussian mixture models, Gender dependent.

I. INTRODUCTION

Speaker identification is aimed to automatically determining a speaker's identity by his/her voice among a population. In general, a speaker identification system, may be either text dependent, where the same text is required for both training and test, or text independent where any constraint is imposed on the text to be uttered [1]. Current state-of-the-art speaker identification systems are based on generative models, typically Gaussian mixture models (GMMs) and hidden Markov models (HMMs) [2]. In these models, also called model-based approaches, a parametric statistical model is created for each speaker, to characterize his/her voice using the maximum likelihood (ML) estimation. However, GMMs trained with ML estimation are not discriminative in essence, and when there are confusable models (speakers) or limited training data, this gives rise to greater identification errors.

Recently, support vector machines (SVMs) have gained a much attention in the speech community [3]. SVMs are discriminative and can be used to train non-linear decision boundaries. These favorable properties represent an attractive way of enhancing the standard generative models by complementary and classification power [4].

Manuscript received October 10, 2011. Accepted for oral communication November 14, 2011.

R. Djemili is with the LRES. Laboratory., University du 20 Août 1955, Skikda, Algeria. (e-mail: djemili_rafik@yahoo.fr).

H. Bourouba and M.C. Amara Korba are with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, Guelma, Algeria. (e-mail: {bourouba2004, amara_korba_cherif}@yahoo.fr)

In this paper, a baseline text independent speaker identification system is presented using Gaussian mixture models and compared to two proposed systems based on support vector machines. The former uses SVMs as gender dependent classifier between males and females, the latter uses SVMs in a hierarchical structure. In the two proposed systems, we reported error rates that are better than a GMM likelihood baseline system.

The structure of this paper is as follows: section II provides an overview of GMM based speaker identification system; section III reviews SVMs for classification. Experimental results along with our proposed systems are presented in section IV, finally section V concludes the paper.

II. GMM BASED SPEAKER IDENTIFICATION

An M component Gaussian mixture for d dimensional input vectors has the following form:

$$P(x/\lambda) = \sum_{i=1}^M w_i b_i(x) \quad (1)$$

And

$$b_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - \mu_i)\right\} \quad (2)$$

Where $P(x/\lambda)$ is the likelihood of input vector x given the mixture model λ . The mixture model consists of a weighted sum over M Gaussian densities, each parameterized by a mean vector μ_i and a covariance matrix Σ_i . The coefficients, w_i are the mixture weights, which are constrained to be nonnegative and must sum to one. The parameters of a Gaussian mixture model w_i, μ_i and Σ_i for $i=1 \dots M$ may be estimated using the maximum likelihood criterion and the EM (Expectation-Maximization) algorithm [5]. A diagonal covariance matrix is generally used, owing to its computational efficiency and it has been observed that a diagonal covariance matrix outperforms full- covariance matrix GMMs. A detailed description on the application of GMMs to speaker modeling can be found in [6]. The basic method is straightforward; a GMM is trained using maximum likelihood to estimate the probability density function $P(X/\lambda)$ for each of a set of S speakers. The probability $P(X/\lambda)$ that an utterance $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ is generated by the model λ is used as the utterance score, estimated by the mean log likelihood over the following sequence:

$$S(X) = \underset{1 \leq s \leq S}{\text{ArgMax}} P(X/\lambda) = \underset{1 \leq s \leq S}{\text{ArgMax}} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \log P(x_t/\lambda_s) \quad (3)$$

III. SUPPORT VECTOR MACHINES

A. Introduction

SVMs [7], [8] have recently been proposed as popular tools for learning from experimental data; the reason is that SVMs are much more effective than other conventional nonparametric classifiers in terms of classification accuracy and computational time. SVMs use a known kernel function to define a hyperplane in order to separate given points into two predefined classes. Owing to the fact, that many points in two-class training data are not linearly separable, an improved SVM called the soft-margin SVM can tolerate minor misclassification [9], this has been effectively implemented by adding a penalty term in the objective function [10].

The objective function is formulated as:

$$E = \frac{1}{2} \|W\|_2^2 + C \sum_i L(\epsilon_i) \quad (4)$$

subject to $(x_i W + b)y_i \geq 1 - \epsilon_i$ for all i

Where:

$Wx+b=0$ is the hyperplane, $\{x_i, y_i\}$, $x_i \in \mathbb{R}^d$, $y_i \in \{-1, 1\}$, $i = 1 \dots N$.

B. Multi-Class Support Vector Machines

A typical SVM is a two-class classifier that organizes all training sets into two classes, namely plus-class (+1) and minus-class (-1) [11]. To handle the multi-class case with SVMs, the most common method is to solve several binary classification problems. There are typically two approaches to this task, the first one by comparing each class against all the rest and is represented by 1-vs-all approach, the second one by comparing each class against all the other classes separately, resulting in the 1-vs-1 approach [12].

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

A. Database and Speech Analysis

Experiments in this work were performed using Arabic data sets built for the purpose. Clean speech signals using close talk high quality microphone was recorded under quiet laboratory conditions. Data sets were collected from 16 speakers, 10 were female and 6 male. For each of speaker, there were 3 separate sessions; two sessions were used for training data, and the third one for testing. Speech signals were sampled at 11025 Hz. Mel scale frequency cepstral coefficients (MFCC) are employed as feature vectors [13] in this study.

B. Baseline System

By baseline system, it meant that system which uses the generative model GMM to model one speaker's voice. In order to construct the GMM model λ represented by (1), we make use of 30s and 60s of each speaker's voice in training; evaluation was done using respectively 2s, 5s and 10s of speech audio signal per speaker. We would expect an augmented accuracy as long is the time used in testing step. Table I shows the identification error rate

(IER) as a function on number of mixture components M .

TABLE I: GMM IDENTIFICATION ERROR RATE (IER) IN PERCENT (%) FOR DIFFERENT AMOUNT OF TRAINING DATA AND MODEL ORDER

GMM Order M	Training Time 30s			Training Time 60s		
	Testing			Testing		
	2s	5s	10s	2s	5s	10s
32	19.2	18.1	17.6	20.8	20.5	20.2
64	15.3	13.7	13.2	16.3	15.3	14.9
128	13.8	11.9	11.0	13.9	12.4	11.6
256	12.9	10.6	9.8	11.7	9.8	9.1

C. Proposed Schemes

Due to the ability of SVMs to classify data, especially between two non linearly separable classes, and with the objective to enhance GMM based speaker identification accuracy, we propose in this work, a support vector classifier between male and female groups (Fig. 1), compared to an architecture using SVMs in a hierarchical structure [14] (Fig.2).

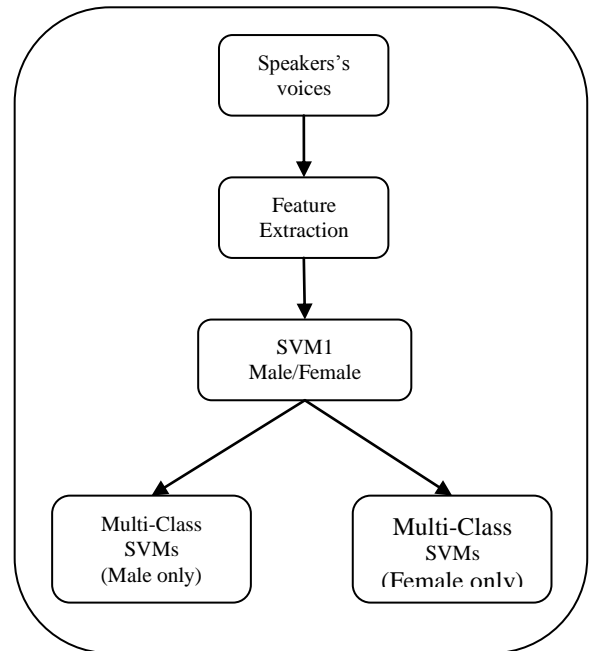


Fig. 1: Proposed scheme using multi-class support Vector machines

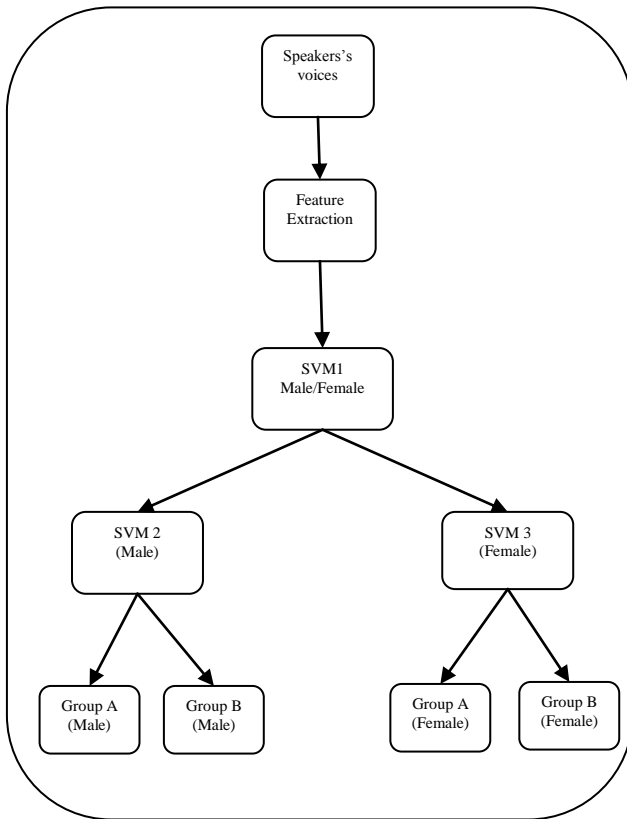


Fig. 2: SVMs based hierarchical structure

It is worth noting that the system 2 related to figure 2, uses a GMM likelihood calculation in the evaluation process. Every non confusable group of speakers in the same gender (male or female following classification by SVM 1) are put into group A or B by the use of SVM 2 for male only or respectively by SVM 3 for the female speakers only.

A subsequent reduction in the whole number of speakers to be evaluated is then resulting, giving faster recognition time in the identification step, after applying the above hierarchical clustering.

D. Experiments and Results

Several experiments were carried out in our work to reach optimal training conditions of SVMs. While, the variance of the RBF was chosen equal to 0.2 according to [14], the upper bound C in the objective function in (4), is increased from values 1 to 100, giving different identification performances. Fig.3 shows an experiment in training the two approaches of support vector machines, using half minute of speech per speaker and testing time ranging from 2s to 10s. The upper bound C was set to one. It is clearly shown, that the 1-vs-all approach achieves better results than the 1-vs-1 approach, hence, it would be the approach we adopted in the rest of experiments, when dealing with the multi-class SVMs.

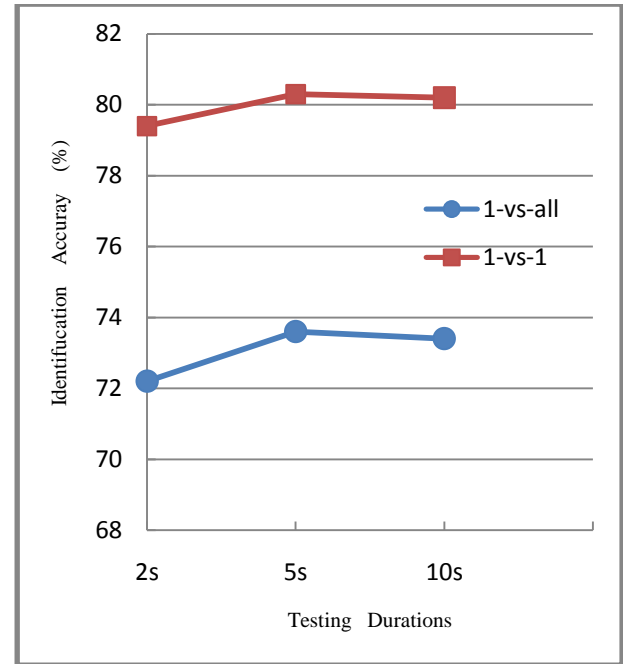


Fig. 3: Curve representing speaker identification accuracy in (%) as a function of three testing times in training Multi-class SVMs

Table II summarizes identification results of the proposed system depicted in figure 1. Training SVMs was run using 30s and 60s of speech per speaker, with different utterance lengths in testing, taking three values 2s, 5s and 10s of speech audio signal per speaker, to get a concise idea of how is the effect of shorter and longer utterances in the identification performance.

It is not however, very surprising to notice a degradation in the identification performance when using a larger training time, namely one minute of speech audio signal per speaker, this was also reported by Schmidt and Gish [15], that is training SVMs become inefficient when the number of training frames is large.

Identification performances given by the IER evaluation for the system of figure 2 are shown in table III.

TABLE II: IDENTIFICATION ERROR RATE (IER) IN PERCENT FOR THE MULTI-CLASS SVM WITH DIFFERENT TESTING UTTERANCE LENGTHS AND UPPER BOUND C

C Parameter	Training Time 30s			Training Time 60s		
	Testing Durations			Testing Durations		
	2s	5s	10s	2s	5s	10s
1	20.7	19.8	19.8	21.5	21.1	21.1
5	16.8	15.6	15.3	17.9	16.9	16.6
10	15.5	14.3	13.8	16.3	15.5	15.0
50	12.2	11.1	10.6	13.2	12.0	11.5
100	11.6	10.3	9.7	60.0	59.2	59.0

TABLE III: IDENTIFICATION ERROR RATE (IER) FOR THE SYSTEM 2 AS A FUNCTION OF DIFFERENT MODEL ORDERS AND UTTERANCE LENGTHS

GMM Order	Training Time 30s			Training Time 60s		
	Testing			Testing		
	2s	5s	10s	2s	5s	10s
32	9.3	8.6	8.3	11.1	10.3	10.0
64	7.8	6.2	5.9	8.7	7.4	7.1
128	6.7	5.1	4.7	7.4	5.7	5.2
256	6.6	4.9	4.4	6.1	4.4	4.0

Lowest identification error rates were reached using greater values of mixture components. With M equals to 256 and a testing utterance length of 10s, IER is reduced from 9.8% and 9.1%, respectively when the training durations are 30s and 60s, to 4.4% and 4%, resulting in relative reduction of 55% and 56% respectively.

V. CONCLUSION

In this paper, a comparative study is carried out on two proposed systems including GMMs and SVMs in a text independent speaker identification task. Support vector machines are used as binary in conjunction with multi-class classifiers in system 1, whereas as a unique binary classifier in system 2. Both systems performed as well as the baseline system using Gaussian mixture models. A slight relative reduction in IER is reported for the system 1, over the GMM baseline, equals to 10%, 3% and 1% respectively for testing durations of 2s, 5s and 10s.

A significant improvement is also reported for the system 2, up to 50% in relative reduction, independently neither on the training data size nor in the testing utterance lengths.

The use of a GMM likelihood ratio in the evaluation process, is presumably the origin of the high performance reached by our system 2, therefore it would constitute our key idea on using generative models such GMMs or HMMs combined with support vector machines in our future work.

REFERENCES

- [1]- L.Wang, K. Chen, and H. Chi, "Capture interspeaker information with a neural network for speaker identification," *IEEE Trans. on Neural Network*, vol. 13, no. 2, pp. 436-445, Mar. 2002.
- [2]- G. Doddington, M. Przybocki, A. Martin, and D. Reynolds, "The NIST speaker recognition evaluation- overview, methodology, systems, results, perspective," *Speech Commun.*, vol. 13, no. 2-3, pp. 225-254, 2000.
- [3]- J. Kharroubi, D. Petrovska, and G. Chollet, "Combining GMMs with support vector machines classifier," in *Proc. European Conf. Speech communication and Technology (Eurospeech 2001)*, Aalborg, Denmark, pp. 1757-1760, 2001.
- [4]- S. Fine, J. Navratil, and R. Gopinath, "A hybrid GMM/SVM approach to speaker identification," in *Proc. Int. Conf. on Acoust. Speech and Signal Process. (ICASSP 2001)*, Salt Lake City, Utah, pp. 417-420, 2001.
- [5]- A.P. Dempster, M. Laird, and D.B. Rubin, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm," *J. Roy. Statist. Soc.*, pp. 1-39, 1977.
- [6]- D.A. Reynolds, "Speaker identification and verification using Gaussian mixture speaker models," *Speech Commun.*, vol. 17, pp. 91-108, 1995.
- [7]- V.N. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, New York : Wiley, 1998.
- [8]- C.J.C. Burges, "A tutorial on support vector machines for pattern recognition," *Data Mining and Knowl. Discov.*, vol. 2, no. 2, pp. 1-47, 1998.
- [9]- V. Kecman, *Learning and Soft Computing*, Cambridge, MA : MIT Press, 2001.
- [10]- P. Clarkson, and P.J. Moreno, "On the use of support vector machines for phonetic classification," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech and Signal Process.*, vol. 2, pp. 585-588, 1999.
- [11]- C.C. Lin, S.H. Chen, T.K. Truong, and Y. Chung, "Audio classification and categorization based on wavelets and support vector machine," *IEEE Trans. on Speech and Audio Process.*, vol. 13, no. 5, pp. 644-651, Sept. 2005.
- [12]- E.L. Allwein, R.E. Shapire, and Y. Singer, "Reducing multiclass to binary : a unifying approach for margin classifiers," *Journal of Mach. Learn. Research*, vol. 1, pp. 113-141, 2000.
- [13]- A.V. Oppenheim, and R.W. Schaffer, *Discrete - Time Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA, 1989.
- [14]- R. Djemili, H. Bourouba, and M.C. Amara Korba, "A combination approach of Gaussian mixture models and support vector machines for speaker identification," *Int. Arab J. of Inf. Technol., IAJIT*, vol. 6, no. 5, pp. 489-496, Nov. 2009.
- [15]- M. Schmidt, and H. Gish, "Speaker identification via support vector classifiers," in *Proc. ICASSP*, vol. 1, pp. 105-108, 1996.

Segmentation des images satellitaires par le k means floue et le seuillage adaptatif

Mme Hadria FIZAZI, Mme Aicha TEKKOUK

Résumé— La reconnaissance des classes d'objets d'une cartographie est un des problèmes les plus difficiles en vision par ordinateur. Lorsqu'on dispose d'une image satellitaire, on souhaite généralement distinguer des objets d'intérêt, c'est-à-dire de trouver des caractéristiques locales adéquates permettant de les distinguer les autres objets ou du fond. Pour cela on applique des traitements sur cette image. Parmi ces différents traitements on découvre la segmentation, c'est la base de nombreux systèmes de traitement d'images, la classification ou la reconnaissance de formes. Elle a pour objectif d'exploiter les informations concernant une image. L'idée est de diviser l'image en régions ayant un sens significatif. Pour cela, la segmentation peut servir à reconnaître un élément et à suivre son évolution au cours du temps dans une séquence d'images. Dans notre travail, nous proposons une approche pour faire une segmentation sur des images satellitaires du LANDSAT 5TM. Cette approche consiste à une fusion de deux méthodes les k-moyennes floues et le seuillage adaptatif.

Mots clef— images satellitaires; segmentation; K_means floues (FCM); seuillage adaptatif (SA); classification non supervisée.

I. INTRODUCTION

Avec la conquête spatiale et la mise en orbite des satellites d'observation, l'homme a pu gérer au mieux sa planète. Grâce à la télédétection, la surface terrestre est maintenant scrutée avec un recul ajustable qui permet d'intégrer les distances et avec une prodigieuse capacité, de passer du détail à la globalité et de jongler avec les échelles du temps et des distances. Dans notre travail, nous proposons une approche pour faire une segmentation sur des images satellitaires du satellite LANDSAT 5TM, ces images couvrent la partie nord d'Oran. La méthode proposée est le K_means floues, c'est un algorithme de classification non supervisée flou. Il est plus approprié dans le cas des images à haute.

II. LA METHODE K MEANS

Les images satellitaires ou autres à l'état brut, ne reflètent pas vraiment la réalité du terrain car les mesures effectuées sont bruitées et peu contrastées dans une géométrie difficilement exploitable. Cela est dû à plusieurs facteurs liés à la position de l'objet, aux effets du relief, aux transitions entre régions. Pour cela, l'application des différents traitements numériques sur cette image est nécessaire pour extraire l'information utile. Actuellement, il existe plusieurs méthodes qui permettent d'analyser et de traiter ces images. Parmi elles, on a l'utilisation des ensembles flous dans les étapes de filtrage, les méthodes de segmentation, etc... Dans le domaine de la segmentation des images, les algorithmes trouvés dans la littérature font généralement intervenir l'algorithme de classification dit du "C-moyens flous" développé par J.C. Bezdek d'après les travaux de J.C. Dunn.

A. Ensemble flou

Un ensemble flou est un ensemble dont les bords sont mal définis. Cela se traduit par une fonction d'appartenance comprise dans l'intervalle $[0,1]$, alors que dans le cas classique, la fonction d'appartenance prend deux valeurs 0 ou 1.

- Exemple d'ensemble flou :

Cet ensemble contient les nombres réels "proches" de 3. Ainsi, 3 appartient complètement à cet ensemble et il a, par conséquent, un degré 1. Plus on s'éloigne de 3, plus le degré d'appartenance diminue.

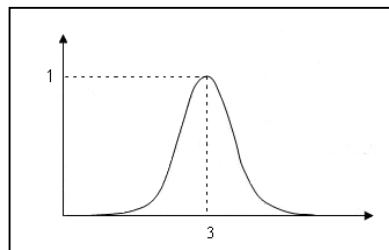


Figure 1. Exemple d'ensemble flou avec $x = 3$.

Cette propriété est exploitée en traitement d'images, plus précisément en classification où les classes, appelées aussi régions, sont représentées par des ensembles flous. Cela est fort utile lorsque les régions ne peuvent pas être définies de

Manuscrit reçu le 23 Octobre, 2011. Segmentation des images satellitaires par le K-Means Flou et le Seuillage Adaptatif.

Hadria FIZAZI. Laboratoire SIMPA, équipe Imagerie et Décision, département de l'informatique, université USTO MB d'Oran, Algérie, E-mail hadria fizazi@yahoo.fr.

Aicha TEKKOUK. Laboratoire SIMPA, équipe Imagerie et Décision, département de l'informatique, université USTO MB d'Oran, Algérie, E-mail aicha.tekkouk@gmail.com.

manière nette et précise. Leur manipulation, en gardant le caractère flou, permet de traiter des données imprécises, incertaines et/ou redondantes d'une manière plus flexible. On présente dans ce qui suit un algorithme de classification basé sur la logique floue, connu et utilisé pour son efficacité et sa robustesse.

B. Algorithme des c moyens flous (FCM)

L'algorithme des c moyens flous (fuzzy C-means) est un algorithme classification non supervisée flou issu de l'algorithme c-moyennes (c-means). Il introduit la notion d'ensemble flou dans la définition des classes. Chaque point dans l'ensemble des données appartient à chaque classe avec un certain degré d'appartenance et toutes les classes sont caractérisées par leurs centres de gravité. Il fondé sur l'optimisation d'un critère quadratique, de type moindres carrés. L'algorithme nécessite de connaître le nombre de classes au préalable et il génère les classes par un processus itératif en minimisant une fonction objective. L'algorithme utilise l'ensemble des pixels $A = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ où

x_i est un vecteur de trois composantes rouge(R), vert (V), bleu (B), et le nombre de région K. Les valeurs des degrés d'appartenance sont regroupées dans une matrice $U = [u_{ik}]$ où chaque élément de la matrice désigne le degré d'appartenance du pixel i à la classe k .

Pour avoir une bonne partition, on impose aux éléments de U les contraintes suivantes :

- $u_{ik} \in [0,1]$;
- $\sum_k u_{ik} = 1$; Ceci $\forall i$

L'algorithme du FCM fait évoluer la partition (Matrice U) en minimisant la fonction objectif $J_m(U, C)$ suivante appelé aussi fonction de coût :

$$J_m(U, C) = \sum_i \sum_k (u_{ik})^m \cdot \|x_i - c_k\|^2 \quad (1)$$

Avec :

$m > 1$ est un paramètre contrôlant le degré de flou appelé le facteur de flou.

C_k : Le centre de la classe k .

$\| \cdot \|$ Une distance quelconque entre pixel i et le centre C_k .

C. Les étapes de l'algorithme FCM :

- a) Choisir K le nombre de classes.
- b) Initialiser la matrice de partition U_i d'une manière aléatoire et les centres C_k à l'aide de la relation (3).
- c) Faire évoluer la matrice de partition et les centres suivant les deux équations (2) et (3).

On montre que la minimisation de la fonction de coût (1) s'effectue lorsque les conditions d'optimalité de Kuhn-Tucker suivantes sont vérifiées :

$$U_{ik} = 1 / \left(\sum_{j=1, c} (d_{ik} / d_{ij})^{(2/(m-1))} \right) \quad (2)$$

Cette condition fait la mise à jour des degrés d'appartenance

où : $d_{ij} = \|x_i - c_j\|$

$$C_k = \left(\sum_i (u_{ik})^m \cdot x_i \right) / \left(\sum_i (u_{ik})^m \right) \quad (3)$$

$$d) \text{ Test d'arrêt: } |j^{(t+1)} - j^{(t)}| < \text{seuil}$$

La partition optimale est obtenue par itérations successives jusqu'à la convergence des résultats. Autrement dit après une initialisation des différents paramètres de l'algorithme notamment, le nombre de classe K , la partition initiale, le facteur de flou " m " et le seuil de convergence désiré. On détermine les centres des nouvelles classes à partir l'équation (3). La position initiale des centres de gravités conditionne le résultat final, de tel sorte que les centres de gravités doivent être initialement placés le plus loin possible les uns des autres. C'est-à-dire les objets à l'intérieur de chaque classes sont aussi proches que possible les uns des autres et aussi loin que possible des objets des autres classes.

Ensuite on détermine les degrés d'appartenance des formes à ces classes par l'équation (2). On répète ces deux phases jusqu'à ce que l'écart entre deux vecteurs centres successifs satisfasse le test d'arrêt.

D. Discussion

Le choix de m pour le Fuzzy C-means (FCM) joue un rôle très important. L'équation (2) montre que si m se rapproche de 1, le FCM tend à produire des degrés d'appartenance "durs" c'est-à-dire la partition tend à être classique. Par conséquent, la mise à jour basée sur l'équation (2) fait qu'une certaine valeur U_{ik} est trop proche de 1. Et cela entraîne que la classe correspondante à cette valeur, est mise à jour de façon beaucoup plus importante que les mises à jour faites pour les $(k-1)$ classes restantes. Ce phénomène peut provoquer une propriété indésirable car certains prototypes convergent rapidement vers les clusters alors que d'autres beaucoup moins vite et inversement, lorsque m augmente, la partition devient floue. L'algorithme étudié donne un bon résultat appréciable mais il présente deux inconvénients :

D'une part, ils nécessitent le choix préalable du nombre K de classes, ce qui rend impossible l'automatisation de la méthode, Et d'autre part, il requière un temps de calcul souvent élevé, du fait de leur nature itérative. Dans la section qui suit, nous allons étudier la deuxième approche considérer et qui est le

seuillage adaptatif pour lequel nous allons tenter de l'appliquer à l'image satellitaire pour faire une segmentation par classification. Cette approche utilise la valeur d'un seuil qui est dynamiquement changé afin de rendre compte de l'intensité locale des différentes zones de l'image d'entrée (en niveau de gris).

III. CONCEPTION ET RESULTATS

Dans cette partie nous allons tenter de donner l'implémentation de l'étude théorique détaillée dans la partie précédente ainsi que l'évaluation de leur validité sur les différentes images satellitaires.

A. Description de la zone d'étude :

Les procédures de notre segmentation ont été testées sur des données numérisées des images satellitaires de type LANDSAT 5 –TM, fournis par le Centre National des Techniques Spatiale d'Arzew (CNTS), et qui datent du 2006. Le but de notre travail est de faire une segmentation des images satellitaires, en fusionnant les k-means flous et le seuillage adaptatif.

B. Nature des données :

Notre système consiste, d'abord, à segmenter l'image originale par les K-means floue. Pour cela on a besoin des trois canaux de LANDSAT car les K-means floue sont applicables sur des images multi spectrales.

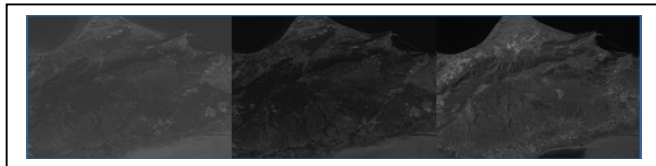


Figure 2. Exemple les trois canaux TM1,2,3 (de gauche à droite).

Nous commençons tout d'abord par charger les trois canaux qui constituent l'image nécessaire à notre application.

C. Phase de coloration et d'amélioration

Les composantes RVB (coloration) sont obtenues par acquisition de la scène à travers trois filtres: rouge, vert et bleu. Le filtre bleu correspond à un bleu profond. Les filtres vert et rouge permettent des effets de contraste en photographie industrielle et en micrographie. Le filtre rouge est également utilisé pour la correction du voile atmosphérique en photographie aérienne et pour la suppression du bleu en photographie infrarouge. Le Résultat final correspond à une unification trichrome appelée composition colorée dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans ces trois couleurs de base. La figure ci-dessous montre la coloration de trois canaux TM1, TM3, TM4 ce sont des données numérisées par le satellite LANDSAT 5-TM.

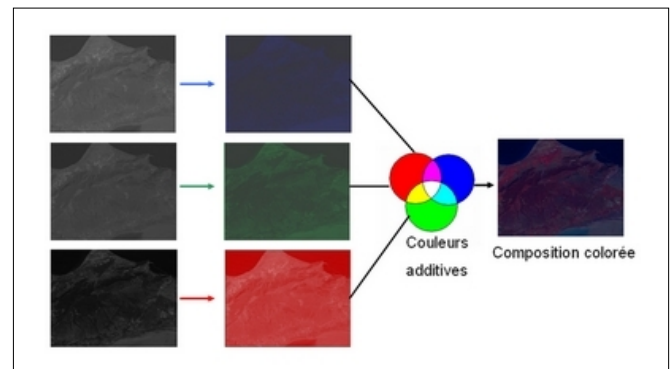


Figure 3. La comoposition colorée

On procède à des étalements de la dynamique pour obtenir le maximum de contraste sur la plage radio métrique qui nous intéresse. On parle donc d'amélioration de contraste.

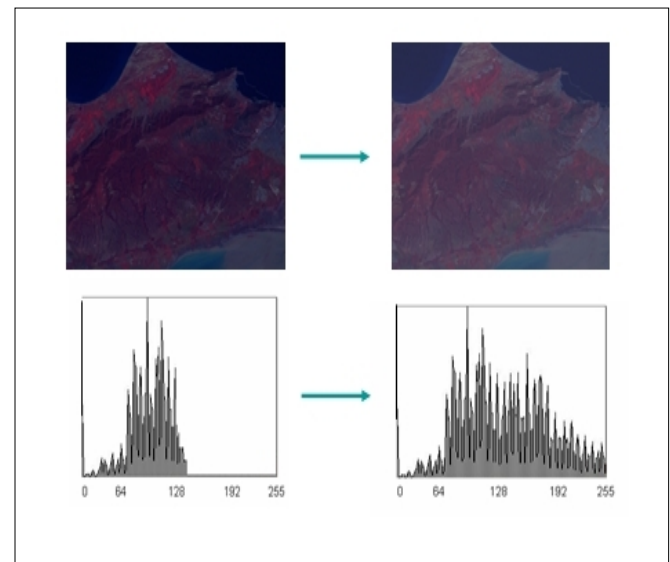


Figure 4. Etalement dynamique d'une image colorée.

D. Phase de segmentation de l'image par FCM :

Dans notre travail nous avons appliqué les FCM sur des images multi spectrales (RVB). L' image utilisée pour nos expériences présentent la zone d'Oran.

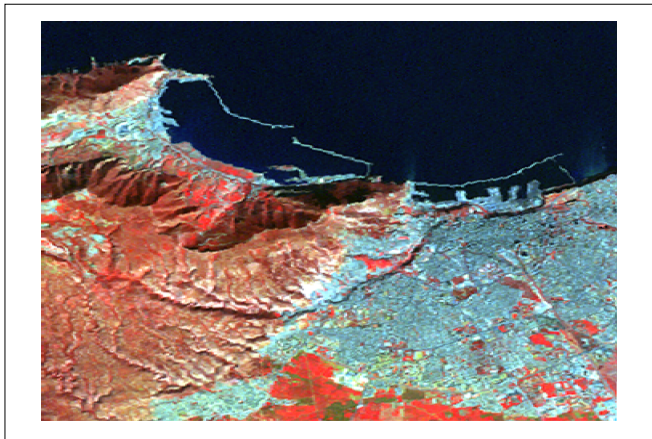


Figure 5. Image oran partie nord .

• *Essai 1* : les paramètres utilisés sont :

- a) $m=2$, on fixe le nombre de classe à $K=4$ et on a pris degré d'appartenance équitable $U_{ik}=0.2$ pour les classes.
- b) On garde les mêmes paramètres que a/ sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $=0.5$ et les classes restantes $U_{ik}=0.1$.

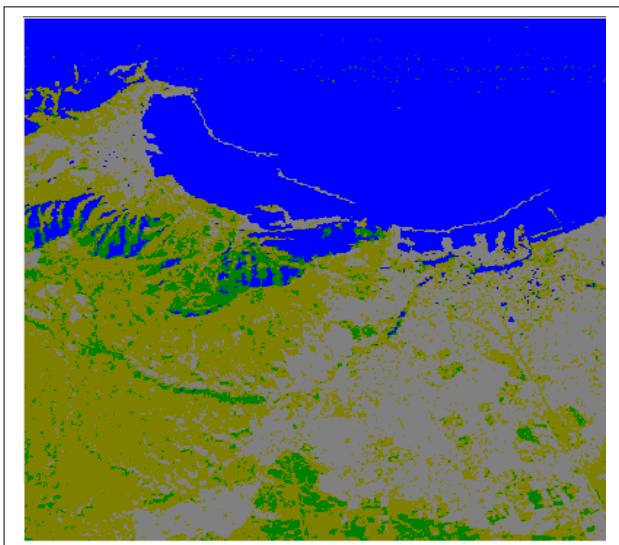


Figure 6. FCM pamétrie k=4 , Uik équitable

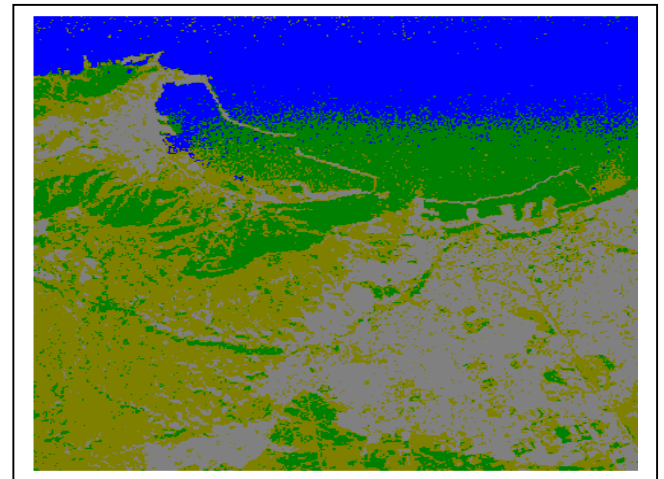


Figure 7. FCM pamétrie k=4 , Uik non équitable

• *Essai 2* : les paramètres utilisés sont :

- a) $m=2$, on fixe le nombre de classe à $K=6$ et on a pris degré d'appartenance équitable $U_{ik}=0.15$ pour les classes.
- b) On garde les mêmes paramètres que a/ sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $=0.4$ et les classes restantes $U_{ik}=0.1$.

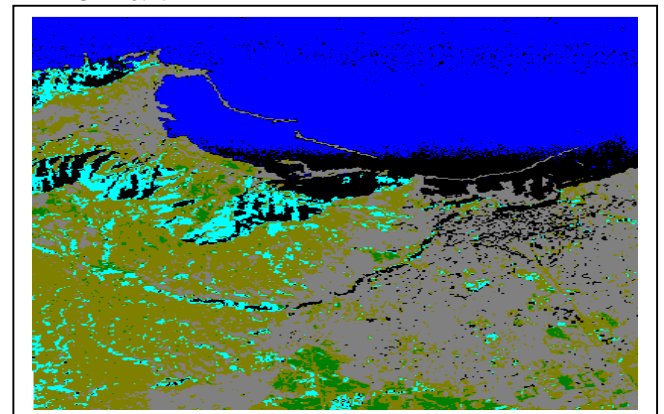


Figure 8. FCM pamétrie k=6 , Uik équitable

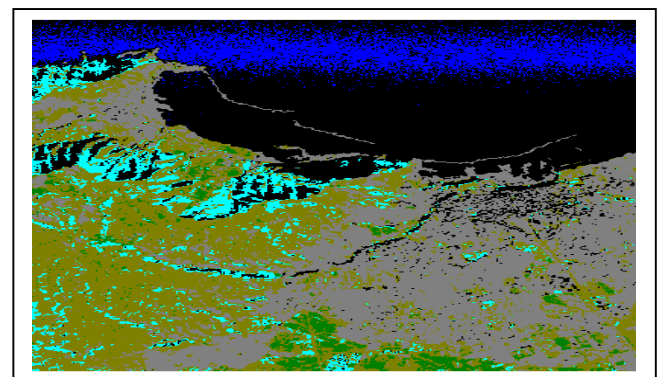


Figure 9. FCM pamétrie k=6 , Uik non équitable .

• *Essais 3* : les paramètres utilisés sont :

a) $m=2$, on fixe le nombre de classe à $K=10$ et on a pris degré d'appartenance équitable $U_{ik}=0.1$ pour les classes .

b) On garde les mêmes paramètres que **a/** sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $=0.2$ et les classes restantes $U_{ik}=0.08$ un degré $=0.2$ et les classes restantes $U_{ik}=0.08$.

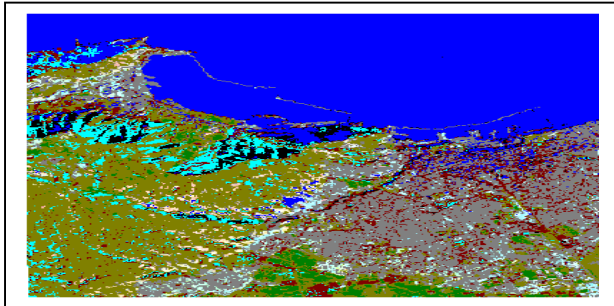


Figure 10. FCM pamétrique $k=10$, U_{ik} 0.1

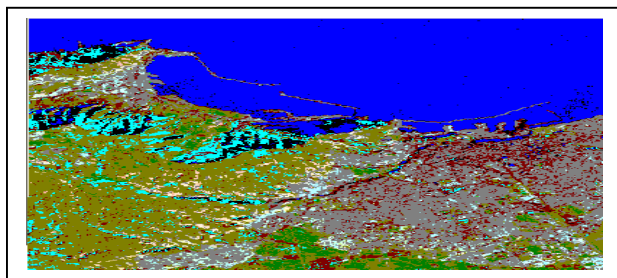


Figure 11. FCM pamétrique $k=10$, U_{ik} non équitable 0.2 ,0.08,0.2,0.08

IV. DISCUSSION

Nous avons remarqué que le FCM est efficaces lorsque la variation de la luminance est trop importante (on parle ici de la notion de texture). Nous avons remarqué aussi qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de classes le FCM donne un bon résultat mais nécessite un temps de calcul très élevé. Ce problème peut être diminué lorsqu'on travail sur un matériel puissant. Le problème persiste aussi lorsqu'on utilise des images à grande taille.

D'après les résultats obtenus on peut dire aussi que le choix du degré d'appartenance joue un rôle essentiel pour partitionner les régions. Ce choix pose le problème de dé-favorisation des régions lorsqu'on donne des degrés sans connaissance préalable sur le terrain. Pour y remédier à ce problème, nous avons reformulé les relations de cet algorithme en ajoutant des connaissances de l'expert du domaine (le thématicien), afin d'automatiser le traitement. Nous avons constaté qu'avec l'automatisation de l'algorithme nous avons éliminé tous les inconvénients du FCM.

V. SEUILLAGE ADAPTATIF

Le transfert en niveau de gris consiste à extraire l'information des trois couleurs RVB à partir du l'image colorée. Les figures ci-dessous présentent le transfert du

résultat de la segmentation obtenue par le FCM automatique en niveau de gris.

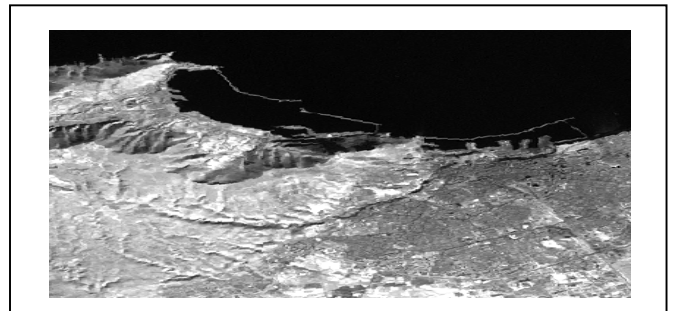


Figure 12. Transfert en niveau de gris

Nous avons fait le transfert en niveau de gris car le seuillage adaptatif est applicable sur des images mono spectrales. Afin de tester cette approche, nous avons fait des essais de seuillage adaptatif sur les deux images originales.

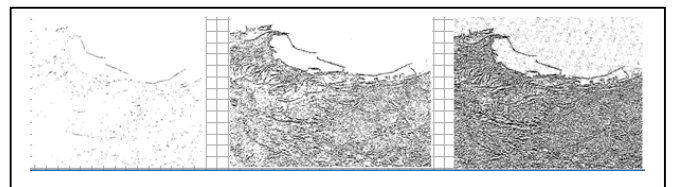


Figure 13. Seuillage adaptatif manuel avec masque central 1 et suil =50, 10,3 (de gauche à droite).

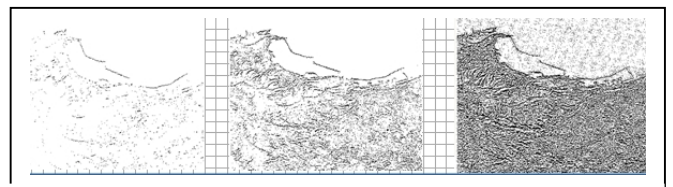


Figure 15. Seuillage adaptatif manuel avec masque central 0 et suil =50, 10,3 (de gauche à droite).

VI. CONCLUSION

Nous avons conçu dans ce travail, une approche pour la segmentation en régions des images satellitaires et qui est basée sur la fusion de deux méthodes les K-moyennes floues et le seuillage adaptatif. : L'une adaptée aux zones uniformes et l'autre adaptée aux zones texturées. Cette fusion consiste, d'abord, à segmenter l'image originale par les K-means floue ensuite à transformer le résultat obtenu en niveau de gris pour être enfin segmenté par le seuillage adaptatif. Parmi les différents traitements d'images, la segmentation a pour objectif d'exploiter les informations concernant une image. Elle peut servir à reconnaître un élément et à suivre son évolution au cours du temps dans une séquence d'images. Pour accomplir ce travail, nous avons appliqué notre approche sur une image captée par le satellite LANDSAT5 et qui représenta la région Oran Ouest. Les résultats obtenus jugés encourageants et intéressants. Ceci prouve que la robustesse et l'efficacité de l'approche utilisée sur les données spatiales.

REFERENCES

- [1] F. Bonn & G. Rochon, "Précis de la télédétection ", 1992, pp. (4)100-(4)150.
- [2] J.P. PHILIPP, "Analyse d'images : Filtrage et segmentation", 1998, pp. 50-58.
- [3] A. BOUKHABIA & M. RAFAA, "Classification des images satellitaires par algorithme génétique et réseaux de Neurones (modèle RBF)".USTO, 2004, pp. 27-33.
- [4] M.BATTOUCHE & S.OUADFEL,"Des fourmis pour la segmentation des images, pp. 52-61 2004.
- [5] B.ELKHAYRATY,"Etude de méthode de clustering pour la segmentation d'images en couleur, 2005, pp. 29-31.
- [6] H. OULD& N .BONNET,"Etude comparative de différentes méthodes de classification non supervisée", France, 1998, pp. 11-23.
- [7] C .PECAUD,"Seuillage et segmentation d'images texturées", 2001, pp. 33-50.

Data Fusion Approach for the Segmentation of MR Images: A Study and an Evaluation

C. Lamiche and A. Moussaoui

Abstract— This paper presents a study and an evaluation of the segmentation of MR images using the multispectral fusion approach in the possibility theory context. The process of fusion consists of three parts: (1) information extraction, (2) information aggregation, and (3) decision step. Information provided by T2-weighted and PD-weighted images is extracted and modeled separately in each one using fuzzy logic, fuzzy maps obtained are combined with an operator which can managing the uncertainty and ambiguity in the images and the final segmented image is constructed in decision step. Some results are presented and discussed.

Index Terms—Fusion approach, MR images, possibility theory, segmentation.

I. INTRODUCTION

Image segmentation is an important step in image analysis and pattern recognition. It is the first essential partitioning an image into some non-intersecting regions such that each region is homogeneous, but the union of any two adjacent regions is not. It can be seen as an unsupervised classification problem. It supposes that it is possible to group in one cluster pixels belonging to one same region. We suppose therefore that : (a) all pixels belonging to a region are affected to only one cluster. (b) pixels belonging to a cluster can form several and no adjacent regions in the image[1].

In medical imaging field, segmenting MR images has been found a quite hard problem due to the existence of image noise, partial volume effects, the presence of smoothly varying intensity inhomogeneity, and large amounts of data to be processed. To handle these difficulties, a large number of approaches have been studied, including fuzzy logic methods [3], neural networks [4], Markov random field methods with the maximum expectation [5], statistical methods [5], and data fusion methods [6], to name a few.

In recent years, the need for data fusion in medical image processing increases in relation to the increase of acquisition techniques such as magnetic resonance imaging (MRI), tomography(CT), the newer positron emission tomography (PET) and a functional modality SPECT. These techniques are more and more jointly used to give access to a better knowledge[7].

As one typical data fusion problem, the segmentation of multi-modality brain MR images aims at achieving improved

segmentation performance by taking advantage of redundancy and complementariness in information provided by multiple sources. There have existed many data fusion methodologies, which are capable of reasoning under various types of uncertainty. Typical ones include probability theory based approaches, possibility theory based approaches, and Dempster-Shafer evidence theory based approaches [7].

Traditionally probabilities theory was the primary model used to deal with uncertainty problems, but they suffer from drawbacks. Whereas the Dempster-Shafer theory also allows to representing these two natures of information using functions of mass but the set of operators used by this theory is very restricted. Alternative to this approach is the possibility theory where uncertainty and imprecision are easily modeled and it allows to combining information coming from various sources by the use a wide range of available combination operators [7].

In this work we aim to evaluate the segmentation of the human brain tissues using a multispectral fusion approach. This approach consists of the computation of fuzzy tissue maps in each of two modalities of MR images namely T2 and PD as an information source, the creation of fuzzy maps by a combination operator and a segmented image is computed in decision step.

This paper is organized as follows : In section II, some previous related works are briefly cited. Section III summarize fuzzy clustering with the FPCM algorithm. In section IV, we describe the principals of possibility theory reasoning . Section V outlined the fusion process. Steps of fusion in medical image processing are illustrated in section VI. Section VII present some experimental results. We finally provide main conclusions and discuss further works in Section VIII.

II. PREVIOUS RELATED WORKS

A brief review of some related works in the field of fuzzy information fusion is presented in this section. Waltz [11] presented three basic levels of image data fusion : pixel level, feature level and decision level, which correspond to three processing architectures. I. Bloch [2] have outlined some features of Dempster-Shafer evidence theory, which can very useful for medical image fusion for classification, segmentation or recognition purposes. Examples were provided to show its ability to take into account a large variety

of situations. Registration-based methods are considered as pixel-level fusion, such as MRI-PET (position emission tomography) data fusion[12]. Some techniques of knowledge-based segmentation can be considered as the feature-level fusion such as the methods proposed in [16].

Some belief functions, uncertainty theory, Dempster-Shafer theory are often used for decision-level fusion such as in [14]. In [17], I. Bloch proposed an unified framework of information fusion in the medical field based on the fuzzy sets, allow to represent and to process the numerical data as well as symbolic systems.

V. Barra and J. Y. Boire [9] have described a general framework of the fusion of anatomical and functional medical images. The aim of their work is to fuse anatomical and functional information coming from medical imaging, the fusion process is performed in possibilistic logic frame, which allows for the management of uncertainty and imprecision inherent to the images. A new class of operators based on information theory and the whole process is finally illustrated in two clinical cases : the study of Alzheimer's disease by MR/SPECT fusion and the study of epilepsy with MR/PET/SPECT. The obtained results was very encouraging.

V. Barra and J. Y. Boire [15] proposed a new scheme of information fusion to segment intern cerebral structures. The information is provided by MR images and expert knowledge, and consists of constitution, morphological and topological characteristics of tissues. The fusion of multimodality images is used in [13]. In [8], the authors have presented a framework of fuzzy information fusion to automatically segment tumor areas of human brain from multispectral magnetic resonance imaging (MRI); in this approach three fuzzy models are introduced to represent tumor features for different MR image sequences and the fuzzy region growing is used to improve the fused result.

Maria del C. and al [10] proposed a new multispectral MRI data fusion technique for white matter lesion segmentation, in that a method is described and comparison with thresholding in FLAIR images is illustrated. Recently, The authors in [31] have presented a new framework of fuzzy information fusion using T2-weighted and proton density (PD) images to improve the brain tissue segmentation.

III. THE FPCM ALGORITHM CLUSTERING

Clustering is a process of finding groups in unlabeled dataset based on a similarity measure between the data patterns (elements) [17]. A cluster contains similar patterns placed together. One of the most widely used clustering methods is the FPCM algorithm. The FPCM algorithm solves the noise sensitivity defect of Fuzzy C-Means algorithm and overcomes the problem of coincident clusters of Possibilistic C-means algorithm. Given a set of N data patterns $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ the Fuzzy Possibilistic C-Means (FPCM) clustering algorithm minimizes the objective function [29]:

$$J(B, U, T, X) = \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^N (u_{ij}^m + t_{ij}^\lambda) d^2(x_j, b_i) \quad (1)$$

Where x_j is the j -th P -dimensional data vector, b_i is the center of cluster i , $m > 1$ is the weighting exponent, $\lambda \in [3, 5]$ is the typicality exponent, $d^2(x_j, b_i)$ is the Euclidean distance between data x_j and cluster center b_i , $[U]_{C \times N}$ is the fuzzy matrix and $[T]_{C \times N}$ is the typicality matrix.

The minimization of objective function $J(B, U, T, X)$ can be brought by an iterative process in which updating of membership degrees u_{ij} , typicality degrees t_{ij} and the cluster centers are done for each iteration by :

$$u_{ij} = \left[\sum_{k=1}^C \left(\frac{d^2(x_j, b_i)}{d^2(x_j, b_k)} \right)^{2/(m-1)} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$t_{ij} = \left[\sum_{k=1}^C \left(\frac{d^2(x_j, b_i)}{d^2(x_j, b_k)} \right)^{2/(\lambda-1)} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$b_i = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ik}^m + t_{ik}^\lambda) x_k}{\sum_{k=1}^N (u_{ik}^m + t_{ik}^\lambda)} \quad (4)$$

Where :

$$\forall i \in \{1..C\}, \quad \forall j \in \{1..N\} \quad \begin{cases} u_{ij} \in [0,1] \\ 0 < \sum_{i=1}^N u_{ij} < N \end{cases} \quad (5)$$

$$\forall j \in \{1..N\} \quad \sum_{i=1}^C u_{ij} = 1 \quad (6)$$

$$\forall i \in \{1..C\} \quad \sum_{j=1}^N t_{ij} = 1 \quad (7)$$

The algorithm of the FPCM consists then of the reiterated application of (2), (3) and (4) until stability of the solutions.

IV. THE POSSIBILITY THEORY

Possibilistic logic was introduced by Zadeh (1978) following its former works in fuzzy logic (Zadeh, 1965) in order to simultaneously represent imprecise and uncertain knowledge. In fuzzy set theory, a fuzzy measure is a representation of the uncertainty, giving for each subset Y of the universe of discourse X a coefficient in $[0, 1]$ assessing the degree of certitude for the realization of the event Y . In possibilistic logic, this fuzzy measure is modeled as a measure of possibility Π satisfying:

$$\begin{aligned} \Pi(X) &= 1 \quad \text{et} \quad \Pi(\emptyset) = 0 \\ (\forall (Y_i)) \Pi(\bigcup_i Y_i) &= \sup_i \Pi(Y_i) \end{aligned}$$

An event Y is completely possible if $\Pi(Y) = 1$ and is impossible if $\Pi(Y) = 0$. Zadeh showed that Π could completely be defined from the assessment of the certitude on each singleton of X . Such a definition relies on the definition of a distribution of possibility π satisfying:

$$\pi : X \rightarrow [0, 1]$$

$$x \rightarrow \pi(x) / \sup_x \{\pi(x) = 1\}$$

Fuzzy sets F can then be represented by distributions of possibility, from the definition of their characteristic function $\mu_F : (\forall x \in X) \mu_F(x) = \pi(x)$

Distributions of possibility can mathematically be related to probabilities, and they moreover offer the capability to declare the ignorance about an event. Considering such an event A (e.g., voxel v belongs to tissue T , (where v is at the interface between two tissues), the probabilities would assign $P(A) = P(\bar{A}) = 0.5$, whereas the possibility theory allows fully possible $\Pi(A) = \Pi(\bar{A}) = 1$. We chose to model all the information using distributions of possibility, and equivalently we represented this information using fuzzy sets [23].

The literature classically distinguishes three modes for combination of uncertainty and imprecise information in a possibility theory framework [28] :

The conjunction: gather the operators of t-norms (fuzzy intersection), this mode of combination must be used if measurements are coherent, i.e. without conflict.

The compromise: gather the median operator and some average operators, it must be used when measurements are in partial conflict.

The Disjunction: gather the operators of t-conorms (fuzzy union), it must be used when measurements are in disaccord, i.e. in severe conflict.

V. THE FUSION PROCESS AND TYPE OF ARCHITECTURES

A general information fusion problem can be stated in the following terms : given l sources S_1, S_2, \dots, S_l representing heterogeneous data on the observed phenomenon, take a decision d_i on an element x , where x is higher level object extracted from information, and D_i belongs to a decision space $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$ (or set of hypotheses). In numerical fusion methods, the information relating x to each possible decision d_i according to each source S_j is represented as a number M_{ij} having different properties and different meanings depending on the mathematical fusion framework. In the centralized scheme, the measures related to each possible decision i and provided by all sources are combined in a global evaluation of this decision, taking the form, for each i : $M_i = F(M_{i1}, M_{i2}, M_{i3}, \dots, M_{in})$, where F is a fusion operator. Then a decision is taken from the set of M_i , $1 \leq i \leq n$. In this scheme, no intermediate decision is taken and the final decision is issued at the end of the processing chain. In decentralized scheme decisions at intermediate steps are taken with partial information only, which usually require a difficult control or arbitration step to diminish contradictions and conflicts [7]–[9].

The three-steps fusion can be therefore described as:

- Modeling of information in a common theoretical frame to manage vague, ambiguous knowledge and information imperfection. In addition, in this step the

M_{ij} values are estimated according to the chosen mathematical framework.

- Combination: the information is then aggregated with a fusion operator F . This operator must affirm redundancy and manage the complementarities and conflicts.
- Decision: it is the ultimate step of the fusion, which makes it possible to pass from information provided by the sources to the choice of a decision d_i .

VI. DATA FUSION IN IMAGE PROCESSING USING POSSIBILITY THEORY

A. Modeling Step

In the framework of possibility theory and fuzzy sets [18]–[20], the M_{ij} 's represent membership degrees to a fuzzy set or possibility distribution π , taking the form for each decision d_i and source S_i : $M_{ij} = \pi_j(d_i)$. Particularly, in our study this step consists in the creation of WM, GM, CSF and background (BG) fuzzy maps for both T2 and PD images using the FPCM algorithm then $u_{ij} = \pi_j(d_i)$

B. Fusion step

For the aggregation step in the fusion process, the advantages of possibility theory rely in the variety of combination operators, which must affirm redundancy and manage the complementarities. And may deal with heterogeneous information [21]–[23]. It is particular interest to note that, unlike other data fusion theories like Bayesian or Dempster-Shafer combination, possibility theory provides a great flexibility in the choice of the operator, that can be adapted to any situation at hand [6]. If $\pi_T^{T2}(v), \pi_T^{PD}(v)$ are the memberships of a voxel v to tissue T resulting from step 1 then a fusion operator F generate a new membership value $\pi_T(v) = F(\pi_T^{T2}(v), \pi_T^{PD}(v))$ and can managing the existing ambiguity and redundancy. The possibility theory propose a wide range of operators for the combination of memberships. I. Bloch [25] classified these operators in three classes defined as:

- Context independent and constant behavior operators (CICB);
- Context independent and variable behavior operators (CIVB);
- Context dependent operators (CD).

For our MR images fusion, we chose a context-based conjunctive operator because in the medical context, both images were supposed to be almost everywhere concordant, except near boundaries between tissues and in pathologic areas [21]. In addition, the context-based behavior allowed to take into account these ambiguous but diagnosis-relevant areas. Then we retained an operator of this class, this one is introduced in [23]–[25]:

If $\pi_T^{T2}(v)$ and $\pi_T^{PD}(v)$ are the gray-levels possibility distributions of tissue T extracted from T_{T2} and T_{PD} fuzzy maps respectively and FOP design the fusion operator, then the fused possibility distribution is defined for any gray level v as :

FOP:

$$\pi_T(v) = \max\left(\frac{\min(\pi_T^{T2}(v), \pi_T^{PD}(v))}{h}, \min(\max(\pi_T^{T2}(v), \pi_T^{PD}(v)), 1-h)\right)$$

Where h is a measure of agreement between π_T^{T2} and π_T^{PD} :

$$h = 1 - \sum_{v \in \text{Image}} |\pi_T^{T2}(v) - \pi_T^{PD}(v)| / |\text{Image}|$$

C. Decision step

A segmented image was finally obtained using the four maps computed in step 2 by assigning to the tissue T any voxel for which it had the greatest degree of membership (i.e maximum of possibility rule)[7]–[24].

The general algorithm using for fusion process can be summarized as follows:

General algorithm

Modeling of the image

For i in {T2, PD} do

FPCM (i) { Computation of membership degrees for both images T2 and PD}

End For

Fusion

Possibilistic fusion {Between each class of T2 image and the same one of PD image using FOP operator}

Decision

Segmented image {maximum of possibility rule}

It should be noted that the stability of this algorithm depend to the stability of the algorithm used in the modeling step[29].

VII. EXPERIMENTAL RESULTS

Since the ground truth of segmentation for real MR images is not usually available, it is impossible to evaluate the segmentation performance quantitatively, but only visually. However, Brainweb¹ provides a simulated brain database including a set of realistic MRI data volumes produced by an MRI simulator. These data enable us to evaluate the performance of various image analysis methods in a setting where the truth is known [30].

to have tests under realistic conditions, three volumes was generated with a thickness of 1 mm and a level of noise of 0%,

3% and 5%. We fixed at 20% the parameter of heterogeneity.

The fuzzy maps results on a noisy 95th brain only slice are shown in figures 1. This noisy slice was segmented into four clusters: background, CSF, white matter, and gray matter using FPCM algorithm, however the background was neglected from the viewing results.

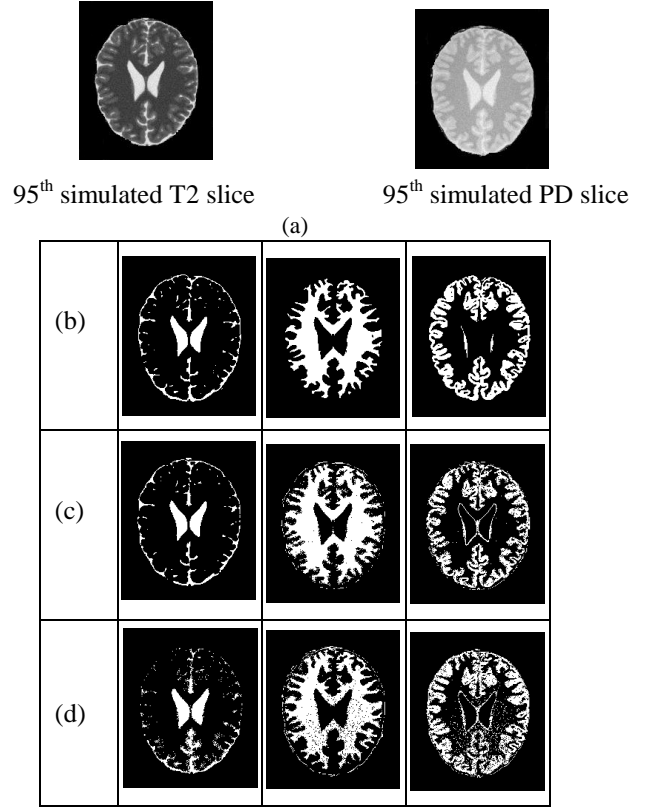


Figure 1. (a) Simulated T2, PD images illustrate the fusion. (b) Discrete anatomical model. (c) Fuzzy maps of CSF, WM and GM obtained by FPCM for T2 image. (d) Fuzzy maps of CSF, WM and GM obtained by FPCM for PD image.

The fused maps produced in fusion step using FOP operator and the final segmentation obtained after decision step are presented in figure 2 below:

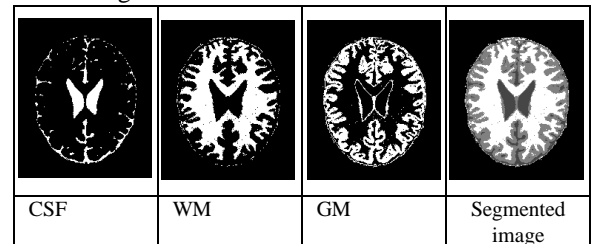


Figure 2. Results of proposed process.

The WM fused map is strongly improved compared to that obtained by the T2 alone and the PD alone.

Information in GM fused map with FOP operator is reinforced in area of agreement (mainly in the cortex). And the fusion showed a significant improvement and reduces the

¹ www.bic.mni.mcgill.ca/brainweb.

effect of noise in images.

A. Comparison with other methods:

To validate the interest of fusion produced by operator FOP in terms of segmentation of the cerebral tissues, we compared the results obtained on fusion T2/PD with a fuzzy segmentation obtained by the algorithm of classification FPCM on the T2 image alone and the PD image alone. An example of segmentation result for the slice 95 of Brainweb is presented in figure 3 below:

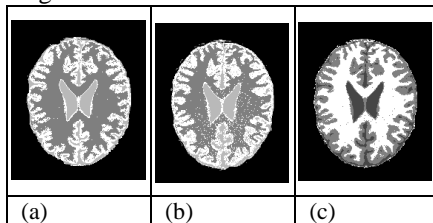


Figure 3. (a) T2 segmented with FPCM algorithm. (b) PD segmented with FPCM algorithm. (c) Image of fusion with FOP operator.

To compare the performance of these various final segmentations, we use the DSC^2 coefficient. Which measures the overlap between two segmentations $S1$ and $S2$ defined as :

$$DSC(S1, S2) = 2 \cdot \text{card}(S1 \cap S2) / \text{card}(S1 + S2)$$

The results for each one of the segmentation for all tissues CSF, WM and GM are reported in figures 4, 5 and 6 below:

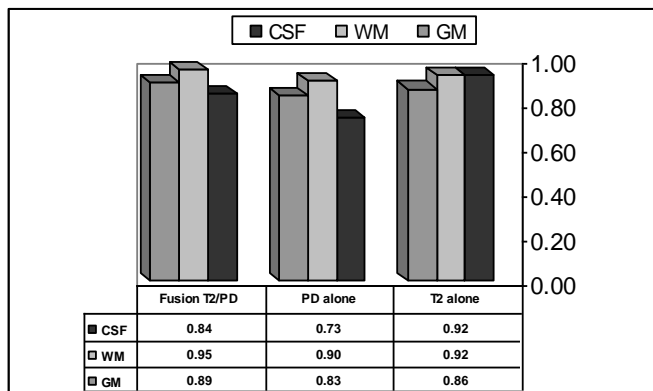
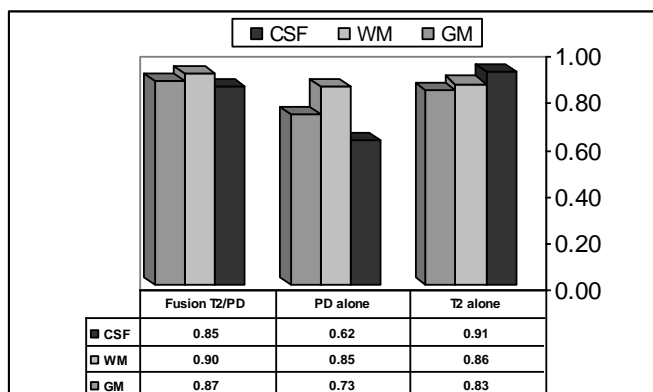


Figure 4. DSC measurement for different segmentations with 0% noise.



² Dice Similarity Coefficient.

Figure 5. DSC measurement for different segmentations with 3% noise.

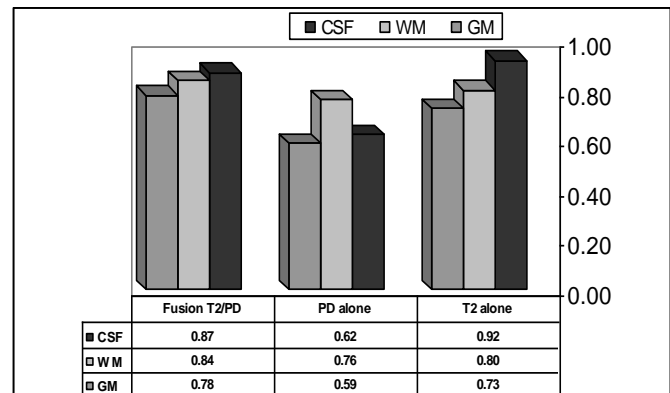


Figure 6. DSC measurement for different segmentations with 5% noise.

The graphics of figures 4, 5 and 6 underline the advantages of the multispectral fusion images within the fuzzy possibilistic framework to improve the segmentation results clearly. Indeed all DSC values obtained with fusion of T2 and PD images for WM and GM tissues are greater than ones obtained when taking into account of only one weighting in MR image segmentation.

VIII. CONCLUSION

In this paper, a study and an evaluation of the segmentation of MR images with multispectral fusion approach using an adaptive operator are presented. We outlined in here some features of possibility theory context, which can be very useful for medical images fusion. And which constitute advantages over classical theories. Our study demonstrate the superior capabilities of fusion approach compared to the taking into account of only one weighting in MR image segmentation.

As a perspective of this work other adaptive operators or more robust algorithms to modeling a data are desired. In addition, we can integrate other numerical, symbolic information, experts' knowledge or images coming from other imaging devices include computer tomography(CT), the newer positron emission tomography (PET) or a major functional modality SPECT in order to improve the segmentation of the MR images or to detect anomalies in the pathological images.

REFERENCES

- [1] S. K. Pal, N. K. Pal, "A review on image segmentation techniques ", Pattern Recognition Letters, vol. 29, pp. 1277–1294, 1993.
- [2] I. Bloch, "Some aspects of Dempster-Shafer evidence theory for classification of multi-modality medical images taking partial volume effect into account," Pattern Recognition Letters, vol. 17, pp. 905–919, 1996.
- [3] Y. Hata, S. Kobashi, and S. Hirano, "Automated segmentation of human brain MR images aided by fuzzy information granulation and fuzzy inference", IEEE Trans. SMC, Part C, vol. 30, pp. 381–395, 2000.
- [4] D. Goldberg-Zimring, A. Achiron, and S. Miron, "Automated detection and characterization of multiple sclerosis lesions in brain MR images", Magnetic Resonance Imaging, vol. 16 pp. 311–318, 1998.

- [5] K. Van Leemput, F. Maes, D. Vandermeulen, and P. Suetens, "Automated model-based tissue classification of MR images of the brain", IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 18, pp. 897-908, 1999.
- [6] Y. Wang, T. Adali, J. Xuan, and Z. Szabo, "Magnetic resonance image analysis by information theoretic criteria and stochastic models", IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, vol. 5, pp. 150-158, 2001.
- [7] I. Bloch, and H. Maitre, "Data fusion in 2D and 3D image processing: An overview," X Brazilian symposium on computer graphics and image processing, Brazil, pp. 127-134, 1997.
- [8] W. Dou, S. Ruan, Y. Chen, D. Bloyet, J. M. Constans, "A framework of fuzzy information fusion for the segmentation of brain tumor tissues on MR images," Image and vision Computing, vol. 25, pp. 164-171, 2007.
- [9] V. Barra and J. Y. Boire, "A General Framework for the Fusion of Anatomical and Functional Medical Images," NeuroImage, vol. 13, 410-424, 2001.
- [10] D. C. Maria, H. Valdés, J. F. Karen, M. C. Francesca, M. W. Joanna, "New multispectral MRI data fusion technique for white matter lesion segmentation: method and comparison with thresholding in FLAIR images," Eur Radiol, vol. 20, 1684-1691, 2010.
- [11] E.D Waltz, "The principals and practice of image and spatial data fusion," in *Proceedings of the Eight national Data Fusion Conference* (Dallas, TX. March 15-17, 1995) *Handbook of Multisensor Data Fusion*, Davis L, Hall, James Ilinas, Ed. West Bam Beach : CRC press, 1995, pp. 257-278.
- [12] F. Behloul, M. Janier, P. Croisille, C. Poirier, A. Boudraa, R. Unterreiner, J. C. Mason, D. Revel, "Automatic assessment of myocardial viability based on PET-MRI data fusion," Eng. Med. Biol. Mag., Proc. 20th Ann. Int. Conf. IEEE, vol. 1, pp. 492-495, 1998.
- [13] M. Aguilar, R. Joshua, "New fusion of multi-modality volumetric medical imagery," ISIF, pp. 1206-1212, 2002.
- [14] E. Lefevre, P. Vannootenberghe, O. Colot, "About the use of Dempster-Shafer theory for color image segmentation," First international conference on color in graphics and image processing, Saint-Etienne, France, 2000.
- [15] V. Barra, and J-Y Boire, "Automatic segmentation of subcortical brain structures in MR images using information fusion," IEEE Trans. on Med. Imaging, vol. 20, n7, pp. 549-558, 2001.
- [16] M. C. Clarck, L.O. Hall, D.B. Goldgof, R. Velthuisen, F.R. Murtagh, M.S. Silbiger, "Automatic tumor segmentation using knowledge-based techniques," IEEE Trans. Med. Imaging, vol. 17, pp. 187-201, 1998.
- [17] I. Bloch, "Fusion of numerical and structural image information in medical imaging in the framework of fuzzy sets," in *Fuzzy Systems in Medicine*, P. Szczepaniak et al., Ed. New York : Springer-Verlag, 2000, pp. 429-447.
- [18] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [19] L. A. Zadeh, "fuzzy sets as a basic for a theory of possibility," Int. Jour. of Fuzzy Sets and Systems, vol. 1, pp. 3-28, 1978.
- [20] D. Dubois and H. Prade. *Fuzzy sets and systems: Theory and Application*, New-York: Academic Press, 1980.
- [21] D. Dubois and H. Prade, "A review of Fuzzy Set Aggregation Connectives," Information Sciences, vol. 36, pp. 85-121, 1985.
- [22] R. R. Yager, "Connectives and quantifiers in fuzzy sets," Int. Jour. of Fuzzy sets and systems, vol. 40, pp. 39-75, 1991.
- [23] D. Dubois and H. Prade, "Combination of information in the framework of possibility theory," In *Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence*, M. AL Abidi et al., Ed. New York : Academic, 1992.
- [24] V. Barra, Fusion d'images 3D du cerveau : Etude de modèles et Applications. Thèse de doctorat, Université d'Auvergne, 2000.
- [25] I. Bloch, "Information combination operators for data fusion : A Comparative Review with Classification," IEEE Transactions en systems, Man. and Cybernetics, vol. 1, pp. 52-67, 1996.
- [26] W. Dou, Segmentation des images multispectrales basée sur la fusion d'information: application aux images IRM. Thèse de doctorat Université CAEN/Basse-Normandi , 2006.
- [27] A. Bendjebbour, W. Pieczynski, "Segmentation d'images multisenseurs par fusion évidentielle dans un contexte markovien," Traitement du Signal, vol. 14, n15, pp. 453-463, 1997.
- [28] H.J. Zimmermann. *Fuzzy Sets Theory and its Applications*. 2nd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [29] J. C. Bezdek, J. Keller, R. Krishnapuram and N. R. Pal, *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*, Kluwer Academic Publishers, TA 1650.F89, 1999.
- [30] C. A. Cocosco, V. Kollokian, R. K. -S. Kwan, and A. C. Evans, "BrainWeb: Online interface to a 3D MRI simulated brain database," NeuroImage, pt. 2/4, vol. 5, n4, p. S425, 1997.
- [31] C. Lamiche, A. Moussaoui, "Improvement of brain tissue segmentation using information fusion approach", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol 2, n6, pp. 84-90, 2011.

Approximation des surfaces fermées

Ahmed BOUJRAF^{1,2}, Driss SBIBIH¹, et Christophe LEGER²

¹ MATSI, Faculté des Sciences d'Oujda, Oujda, Maroc.

² PRISME, Polytech'Orléans, Université d'Orléans, Orléans, France.
boujrafbay@hotmail.com

Abstract — Dans ce qui suit ont approché les surfaces fermées en utilisant le produit tensoriel de quasi-interpolant spline algébrique avec un quasi-interpolant UAT B-splines.

mots clés — B-spline, quasi-interpolant, UAT B-splines, surface fermée.

I. INTRODUCTION

Dans plusieurs applications (météorologie, imagerie médicale, géophysique, . . .) on cherche à résoudre le problème suivant:

Etant données des valeurs reels r_1, r_2, \dots, r_d mesurées aux points P_1, P_2, \dots, P_d de la sphère unite S , trouver une fonction F définie sur S telle que:

$$F(P_i) \approx r_i, \quad 1 \leq i \leq d. \quad (1)$$

Soit $S_F = \{ F(s)S, s \in S \}$ la surface fermée associée à F .

Dans la plus part des applications il est commode d'avoir S_F de classe C^1 ou C^2 .

En utilisant les coordonnées sphériques, S peut être identifiée au rectangle $H = [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}] \times [0, 2\pi]$ à l'aide de l'application χ définie par:

$$\begin{aligned} \chi: H &\rightarrow S \\ (\theta, \phi) &\rightarrow \begin{pmatrix} \cos(\theta) \cos(\phi) \\ \cos(\theta) \sin(\phi) \\ \sin(\theta) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Ainsi, le problème (1) se réduit à trouver $f = F \circ \chi$ définie sur H et qui satisfait:

$$f(\theta_i, \phi_i) \approx r_i, \quad 1 \leq i \leq d \quad (2)$$

Avec (θ_i, ϕ_i) sont les coordonnées sphériques de P_i .

Dans cette transformation, il est facile de vérifier que les propriétés de régularité de f définie sur H ne sont pas équivalentes à celles de $S_F = S_f$, par exemple l'application

χ transforme le côté $\{(-\frac{\pi}{2}, \phi), \phi \in [0, 2\pi]\}$ (resp. $\{(\frac{\pi}{2}, \phi), \phi \in [0, 2\pi]\}$) en un seul point de S (pôle sud (resp. pôle nord)). Par conséquent, il faut imposer certaines conditions à f aux points $(\theta, \phi) \in \partial H$ pour que S_f soit bien définie, continue de classe C^1 ou C^2 .

Comme il a été défini dans [3], la surface S_f est de classe C^2 si et seulement si $f \in C^2(H)$ et satisfait les conditions suivantes:

$$f(\theta, 0) = f(\theta, 2\pi), \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (C1)$$

$$f(\pm \frac{\pi}{2}, \phi) = c_{\pm}, \quad 0 \leq \phi \leq 2\pi \quad (C2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \phi}(\theta, 0) = \frac{\partial f}{\partial \phi}(\theta, 2\pi), \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (C3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \theta}(\pm \frac{\pi}{2}, \phi) = a_{\pm} \cos(\phi) + b_{\pm} \sin(\phi), \quad 0 \leq \phi \leq 2\pi \quad (C4)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \phi^2}(\theta, 0) = \frac{\partial^2 f}{\partial \phi^2}(\theta, 2\pi), \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (C5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2}(\pm \frac{\pi}{2}, \phi) &= d_{\pm} + e_{\pm} \cos(2\phi) + f_{\pm} \sin(2\phi), \\ 0 &\leq \phi \leq 2\pi \end{aligned} \quad (C6)$$

Où $a_{\pm}, b_{\pm}, c_{\pm}, d_{\pm}, e_{\pm}$, et f_{\pm} sont des constantes.

Les conditions (C1), (C3) et (C5) assurent la 2π périodicité de f par rapport à ϕ , qui est nécessaire

pour que S_f soit fermée. Les conditions (C2), (C4) et (C6)

permettent d'avoir la classe C^2 de S_f aux pôles nord et sud de S .

La formulation (2) correspond au cas le plus fréquemment utilisé durant ces dernières années. Elle consiste en général à trouver un approximant f^* de f sous la forme:

$$f^*(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} v_i(\theta) v_j^*(\phi) \quad (3)$$

Où $\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ (resp. $\{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$) est une famille de fonctions linéairement indépendantes sur $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ (resp. sur $[0, 2\pi]$).

Dans ce paragraphe, nous proposons d'adapter la formulation (3) au produit tensoriel des B-splines algébriques et des UAT B-splines. Plus précisément, nous intéressons à la construction d'un quasi-interpolant de classe C^1 .

II. QUASI-INTERPOLANT DE CLASSE C^1 ASSOCIÉ AUX UAT B-SPLINES D'ORDRE 3

Pour l un entier positif, posons $m_l = 3 \cdot 2^l$ et

$$0 < \alpha = \frac{2\pi}{m_l} < \pi.$$

Soit $\Phi^l = \{\phi_j = (j-1)\alpha, j=1, \dots, m_l+1\}$ une subdivision uniforme de l'intervalle $J=[0, 2\pi]$. A la subdivision Φ^l on associe l'espace des UAT B-splines d'ordre 3 défini par :

$$S_l(J, \Phi^l) = \{s \in C^1(J) : s_{[\phi_j, \phi_{j+1}]} \in \Gamma_3\}$$

Où $\Gamma_3 = \{1, \cos(\phi), \sin(\phi)\}$.

Soit $\{M_j^l, j=1, \dots, m_l+2\}$ la base des UAT Bsplines d'ordre 3 de l'espace $S_l(J, \Phi^l)$ définie par:

$$M_j^l(\phi) = T_\alpha(\phi - \phi_j),$$

où

$$T_\alpha(\phi) = \begin{cases} \frac{\cos(\phi)-1}{2\cos(\alpha)-2}, & 0 \leq \phi \leq \alpha, \\ \frac{2\cos(\alpha)-\cos(\phi-2\alpha)-\cos(\phi-\alpha)}{2\cos(\alpha)-2}, & \alpha \leq \phi \leq 2\alpha, \\ \frac{\cos(\phi-3\alpha)-1}{2\cos(\alpha)-2}, & 2\alpha \leq \phi \leq 3\alpha, \\ 0, & \text{ailleurs.} \end{cases}$$

Maintenant, soit

$$B_j^l(\phi) = \begin{cases} M_j^l(\phi), & j=1, \dots, m_l-2, \\ M_j^l(\phi) + M_j^l(\phi+2\pi), & j=m_l-1, m_l. \end{cases}$$

l'UAT B-splines 2π -périodique associée à M_j^l .

L'identité de Marsden nous permet de représenter des différentes fonctions de l'espace

$\Gamma_3 = \{1, \cos(\phi), \sin(\phi)\}$. Plus précisément on a:

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=1}^{m_l} B_i^l(\phi), \\ \sin(\phi) &= \sum_{i=1}^{m_l} \left(\frac{\sin((\frac{3}{2}+j)\alpha)}{\cos(\frac{\alpha}{2})} \right) B_j^l(\phi), \\ \cos(\phi) &= \sum_{i=1}^{m_l} \left(\frac{\cos((\frac{3}{2}+j)\alpha)}{\cos(\frac{\alpha}{2})} \right) B_j^l(\phi). \end{aligned}$$

Dans la suite nous allons construire un quasi-interpolant Q_1^* basé sur les UAT B-splines 2π -périodiques B_j^l , de classe C^1 et exacte sur Γ_3 .

Cet opérateur, construit de façon qu'il soit d'ordre optimal, est défini par:

$$Q_1^* f := \sum_{j=1}^{m_l} \lambda_j(f) B_j^l, \quad (4)$$

Où

$$\begin{aligned} \lambda_j(f) &= -\frac{1}{2\cos(\frac{\alpha}{2})} f(\tau_{j,1}) + \left(1 + \frac{1}{2\cos(\frac{\alpha}{2})}\right) f(\tau_{j,2}) \\ &\quad - \frac{1}{2\cos(\frac{\alpha}{2})} f(\tau_{j,3}). \end{aligned}$$

Avec $\tau_{j,1} = \phi_{j+1}$, $\tau_{j,2} = \frac{\phi_{j+1} + \phi_{j+2}}{2}$, $\tau_{j,3} = \phi_{j+2}$.

Théorème 1. Soit $f \in C^3(J)$, alors il existe une constante $C > 0$, telle que:

$$\|f - Q_1^* f\| \leq C \alpha^3 \|Q_1^* f\|_\infty.$$

A. Illustrations numériques

Exemple 1. soit $f(x) = x^2 \sin(x)^2$,

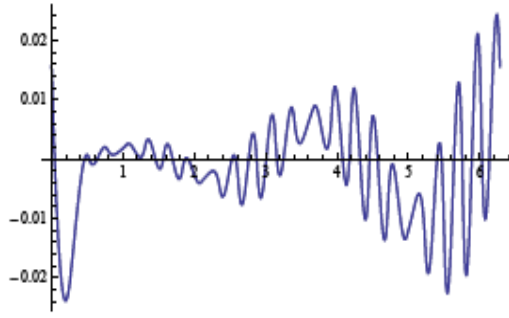


FIGURE 1. L'erreur pour $m = 24$ ($l = 3$).

m	$\ Q_1 f - f\ _{\infty, J}$	OCN
12	2.47(-1)	-
24	1.56(-2)	3.98
48	9.76(-4)	3.99
96	6.10(-5)	3.99

TABLE I
L'ERREUR ASSOCIÉ À Q_1 .

A partir de l'exemple ci-dessus et de nos autres expériences numériques, nous constatons que l'ordre de convergence numérique du quasi interpolant Q_1^* est en accord avec les estimations d'erreurs obtenues théoriquement

III. QUASI-INTERPOLANT C^1 QUADRATIQUE ALGÈBRIQUE

Soit $X_n = \{x_i = a + ih, 0 \leq i \leq n\}$ une subdivision uniforme d'intervalle $I = [a, b]$, en n sous intervalles $I_i = [x_i, x_{i+1}]$ de longueur $h_i = x_{i+1} - x_i, 0 \leq i \leq n-1$.

On note S_{d, X_n} l'espace des splines de degré d sur la subdivision X_n , cet espace admet une base formée de $(n+d)$ B-splines $\{B_i^{d+1}, i \in \Xi_n\}$ où $\Xi_n = \{1, 2, \dots, n+d\}$, avec des nœuds multiples aux extrémités.

Le quasi-interpolant cubique de classe C^1 et exact sur Π_2 est défini par:

$$Q_1 f := \sum_{i=1}^{n+1} \mu_i(f) B_i^3, \quad (5)$$

où les fonctionnelles coefficients sont données par:

$$\mu_1(f) = f(a),$$

$$\mu_2(f) = f(a) + \frac{h}{2} f'(a),$$

$$\mu_2(f) = \frac{1}{2} f(x_{i-2}) + 2 f\left(\frac{x_{i-2} + x_{i-1}}{2}\right) + \frac{1}{2} f(x_{i-1}), 3 \leq i \leq n,$$

$$\mu_{n+1}(f) = f(b) - \frac{h}{2} f'(b),$$

$$\mu_{n+2}(f) = f(b),$$

Ce Quasi-interpolant à un ordre de convergence en $O(h^3)$, i.e,

$$\|Q_1 f - f\|_{\infty, I} = O(h^3)$$

A. Illustrations numériques

Exemple 2. Soit $f(x) = x^2 \sin(x)^2$,

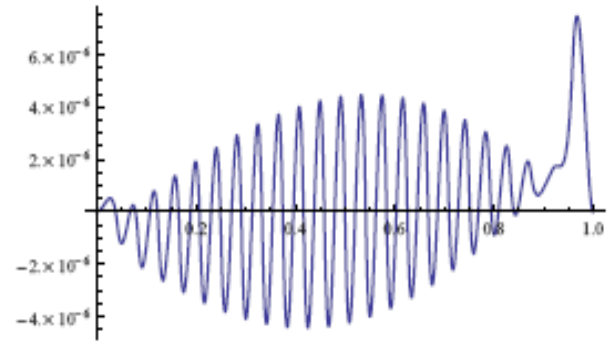


FIGURE 2. L'erreur pour $n = 24$.

n	$\ Q_1 f - f\ _{\infty, I}$	OCN
12	5.48(-5)	-
24	4.43(-6)	3.63
48	5.21(-7)	3.09
96	6.72(-8)	2.95
192	8.07(-9)	3.06

TABLE II
L'ERREUR ASSOCIÉ À Q_1 .

A partir de l'exemple ci-dessus et de nos autres expériences numériques, nous constatons que l'ordre de convergence numérique du quasi interpolant Q_1 est en accord avec les estimations d'erreurs obtenues théoriquement.

IV. QUASI-INTERPOLANT PRODUIT TENSORIEL

Dans cette section, on construit un Quasiinterpolant Q obtenu par le produit tensoriel de Q_1 et Q_1^* sous la forme suivante :

$$Q(x, y) = \sum_{i=1}^{n+2} \sum_{j=1}^{m_l} \mu_i(\lambda_j(f)) B_i^3(x) B_j^l(y)$$

A. Illustrations numériques

Exemple 3. soit f la fonction définie sur le rectangle H par:

$$f(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^3 \left(\left(\frac{\cos(\theta)\cos(\phi)}{\alpha_i} \right)^2 + \left(\frac{\cos(\theta)\sin(\phi)}{\alpha_{i+1}} \right)^2 + \left(\frac{\sin(\theta)}{\alpha_{i+2}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Avec $(\alpha_1, \dots, \alpha_5) = (5, 1, 2, 5, 1)$.

k	l	$\ Qf - f\ _{\infty, I \times J}$
3	3	6.14(-1)
4	4	8.12(-2)
5	5	6.67(-3)
6	6	4.49(-4)
7	7	2.85(-5)
8	8	3.72(-6)

TABLE III

ÉVOLUTION DES ERREURS DE Q EN FONCTION DE l ET k .

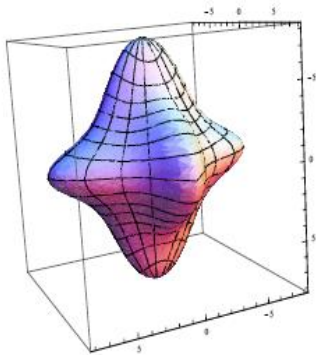


FIGURE 3. Le graphe de la surface fermée associée à f .

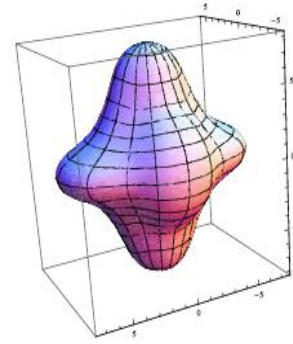


FIGURE 4. Le graphe de la surface fermée associée à Qf pour $l = 2, k = 2$.

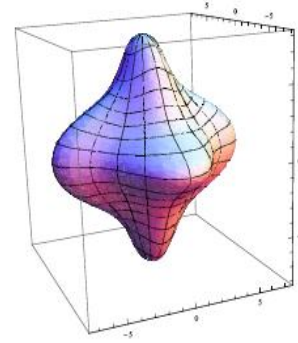


FIGURE 5. Le graphe de la surface fermée associée à Qf pour $l = 3, k = 3$.

REFERENCES

- [1] El Bachir Ameer, Driss Sbibi, Ahmad Almhdi, Member, IEEE, and Christophe Léger, Member, IEEE, "New Spline Quasi-Interpolant for Fitting 3D Data on the Sphere : Applications to Medical Imaging", IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, VOL. 14, NO. 5, MAY 2007.
- [2] Paul Sablonnière, "Univariate spline quasi-interpolants and applications to numerical analysis".
- [3] R. H. J. Gmelig Meyling and P. R. Pfluger, B-spline approximation of a closed surface, IMA J. Numer. Anal., Vol. 7, (1987), 73-96.

Optimization of Particle Algorithm to Multiuser Detection in CDMA

Kazem A.¹, Hamza A.^{1,2}

¹ LAAS/CNRS

7, avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse, France.

Tel: (33).05.61.33.62.93/ Fax: (33).05.62.74.75.25

E-mail: ali.kazem@dsi-ap.com

Salut G.¹

² LCPTS Laboratoire de Communication et du Traitement du Signal,

USTHB, Alger, 16111, Algeria,

E-mail: ahamza@laas.fr, salut@laas.fr

Abstract—Multiple access interference and channel estimation cause performance limitation in the conventional user detector used in code division multiple access (CDMA) systems. In this paper, we present a novel multi-user detector based on an heuristic algorithm known as particle algorithm. We evaluate the BER performance of the proposed algorithm. Modified system will presented has the capability of error detecting on a channel estimation.

We illustrate how the obtained initial estimate may be avoided the convergence problems. It is shown that the error detecting is also useful on a practical level to ameliorate the BER performance. The present work extends the idea of pilot embedding to perform channel estimation and detect a priori the efficiency algorithm estimation. The goal is to demonstrate feasibility of this technique and its advantages in term of booth BER performance and bandwidth.

Index Terms—Multi-user detection, particle filter, error detector, CDMA.

I. INTRODUCTION

Deterministic Particle Filtering (DPF) methods [1], [2] represent the most powerful approach for the sequential estimation of the hidden state of a non-linear dynamic model. The solution to this problem depends on the knowledge of the Posterior Probability Density (PPD) of the hidden state given the observations. Except in a few special cases, it is impossible to calculate analytically a sequential expression of this PPD. It is necessary to adopt numerical approximations [3].

The DPF method allow to approximate iteratively the PPD of the hidden state by weighted points or particles which evolve in the state space [4]. Therefore, this method provide a discrete approximation of the continuous space of the hidden state. This techniques have been applied to solve different communication problems [5]. In this paper, we will focus on the joint data-channel estimation in multipath channels. We will propose to use the DPF technique for the joint estimation of the information sequence and the channel coefficients along each estimated data sequence.

In this case, the state space is discrete and unlike the Viterbi Algorithm (VA), the DPF methods can reduce the computational complexity of the detector exploring only a subset of possible data sequences with a fixed number of particles [6]. In this contribution we propose a new Algorithm assisted joint channel estimation and multi-user detection approach for uplink CDMA systems, which exhibits a robust performance

in the above-mentioned overloaded scenario. Furthermore, the proposed algorithm is capable of achieving an improved performance with the aid of channel estimation detector using a pilot symbols. Finally, a range of simulation results are provided to demonstrate the superiority of the proposed scheme.

The remainder of this paper is organized as follows. the next section is devoted to the system model. In section III, we detail the particle filtering for the joint data-channel estimation. In section IV, an improved channel estimation system is presented. Using some evaluation criteria, simulation results are presented in section V and conclusions are drawn in section VI.

II. SYSTEM MODEL

A simplified CDMA model is considered. In the uplink, users transmit independently each other and the transmission cannot be synchronized.

We assume that there are K users and each user transmits with the same data rate and the same spreading factor R . The chips from different users are added together, plus Gaussian noise. The mobile transmitter block diagram (for uplink CDMA) is shown in figure 1.

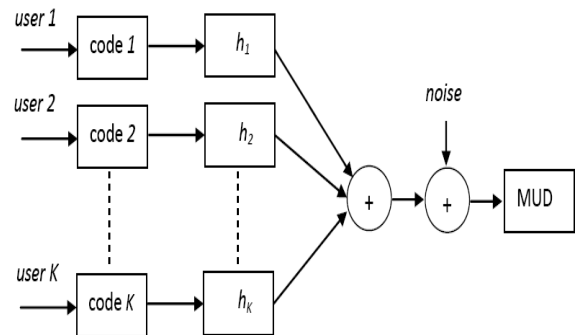


Fig. 1. Uplink CDMA system

DPF has to recover from these chips the bits corresponding to each user. At each time step t , the signal in the receiver can

be represented as:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \sum_{k=1}^K \int h_k(\tau, t) \sqrt{E_k} \sum_l b_l(k) \\
 &\quad \sum_{i=0}^{R-1} c_i(k) p(t - \tau - iT_c - lT_s) d\tau + n(t) \\
 &= \sum_{k=1}^K \int h_k(\tau, t) \sqrt{E_k} \sum_l b_l(k) g_k(t - \tau) d\tau + n(t) \\
 &= \sum_{k=1}^K \int h_k(\tau, t) e_k(t - \tau) d\tau + n(t)
 \end{aligned}$$

where: T_s is the symbol period and T_c is the chip duration. $p(t)$ represent the rectangular chip pulse shape. For each user k , $h_k(\tau, t)$ is the impulse response of the channel. τ is the propagation delay for the m th path.

$e_k(t)$ is the transmitted signal. $g_k(t)$ is the spreading signal. $\{(c_i(k))\}_{i=0}^{R-1}$ is the sequence code. $\{b_l(k)\}_l$ is the binary message.

E_k is the signal energy. we suppose that $\tau_1 < \tau_2 \dots < \tau_K < T_s$, and T_s is the same $\forall k$.

A simple correlation between the received signal and the i th spreading code, give :

$$z_{i,l}(j) = \int_{jT_s + \tau_i + lT_c}^{(j+1)T_s + \tau_i + lT_c} y(\xi) g_i(\xi - jT_s - \tau_i - lT_c) d\xi \quad (1)$$

Where L is the number of correlator, meaning that interference is occurring over L symbols. In this case the vector z is the matched-filter output for each user.

$$z_{i,l}(j) = \sum_n \sum_{k=1}^K b_{j-n}(k) h_{i,l}^k(j, n) + \eta_{i,l}(j)$$

where the channel coefficients $h_{i,l}^k(j, n)$ are represented by:

$$h_{i,l}^k(j, n) = \sum_{m=1}^M \alpha_{m,n,i,l}^k \psi_m(j) \quad (2)$$

where $\psi_m(k) = e^{j2\pi f_m k T_s}$ are the selected wavelet functions representing the channel, and $\alpha_{m,n,i,l}^k$ its associated coefficients. M is the number of Wavelets functions, and the sum over q is reduced to a finite sum of Q terms containing the interfering symbols [7].

$$z_{i,l}(j) = \sum_{m=1}^M \sum_q \alpha_{m,q,i,l}^i b_{j-q}(i) \psi_m(j) + \eta_{i,l}(j) + \zeta_{i,l}^j$$

$\eta_{i,l}(j)$ is the interference term. The above equation can be expressed in a matrix form by defining the following quantities: First define the $((\{L+1, M \times Q\}_{Q=3})$ matrix $H^{(i)}$,

$$H^{(i)} = \begin{pmatrix} \alpha_{1,-1,i,0}^i & \dots & \alpha_{M,-1,i,0}^i & \dots & \alpha_{M,1,i,0}^i \\ \dots & & & & \\ \alpha_{1,-1,i,L}^i & \dots & \alpha_{M,-1,i,L}^i & \dots & \alpha_{M,1,i,L}^i \end{pmatrix} \quad (3)$$

We denote by $B_j(i)$ the $M \times Q$ space-time vector of transmitted symbols and representation functions:

$$\begin{aligned}
 B_j(i) &= [b_{j-1}(i) \psi_1(j), \dots, b_{j-1}(i) \psi_M(j), \dots \\
 &\quad b_j(i) \psi_1(j), \dots, b_j(i) \psi_M(j), \dots \\
 &\quad b_{j+1}(i) \psi_1(j), \dots, b_{j+1}(i) \psi_M(j)]
 \end{aligned} \quad (4)$$

if we consider :

$$Z_j(i) = \begin{pmatrix} z_{i,0}^j \\ \dots \\ z_{i,L}^j \end{pmatrix}, V_j(i) = \begin{pmatrix} \eta_{i,0}^j + \zeta_{i,0}^j \\ \dots \\ \eta_{i,L}^j + \zeta_{i,L}^j \end{pmatrix} \quad (5)$$

There, we have:

$$Z_j(i) = H^i B_j(i) + V_j(i) \quad (6)$$

III. PARTICLE FILTERING FOR THE JOINT DATA-CHANNEL ESTIMATION

In [8] we have proposed to apply the deterministic particle methods for the joint estimation of the channel and the data sequence under bad conditions. In this section, we review this algorithm as the application of the techniques to a discrete state space.

The optimal filtering problem involves the estimation of the hidden state $X_t = x(1:t)$ of a system, where X_t is the state sequence from 0 to t using a sequence $Y_t = y(1), \dots, y(t)$ of noisy measurements made on the system.

In order to solve this problem two models are required. Firstly, a model describing the evolution of the hidden state with time (state model) and secondly, a model relating the noisy observations to the state (observation model). In the Bayesian approach, the estimation of the hidden state is obtained from the PPD $p(X_t|Y_t)$.

In digital communication systems, the observations arrive sequentially in time and it is of interest to update at each instant the estimation of the hidden state. Hence, it is necessary to calculate the PPD recursively in time. Except in a few special cases, including linear Gaussian state space models and hidden finite-state space Markov chains, we cannot analytically solve this problem.

We briefly review the theory of deterministic particle filter. For the system model, we can assume that the distribution is expressed as a Gaussian mixture for employing joint detection, this algorithm is described as follows.

- Initialisation:

The filter is initialized with N particle, donated as: $\{h_0^i, P_0^i, B_0^i, p_0^i = \frac{1}{N}\}_{i=1}^N$, B_t^i is the trajectory of the discrete part up to t .

- Time Update (exploration):

With an expressed as a Gaussian mixture, we would like to obtain the predictive distribution. The observation $Z(k)$ is conditionally independent given $H(k)$ with (marginal) transition density function of the $B_{k+1} = g(B_k, b_{k+1})$, according to the option in $b_{k+1}^i \in \{a_1, \dots, a_Q\}$. This can

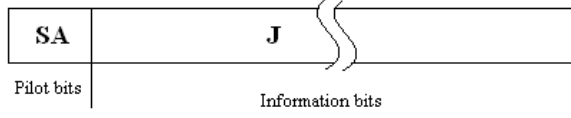


Fig. 2. Structure of Time Slot with SA pilot bits and J information bits

be done according to the dynamic systems.

$$\begin{aligned} B_{k+1}^{i,j} &= \left\{ \{B_k^i, b_{k+1}^i = a_j\}_{j=1}^Q \right\}_{i=1}^N \\ h_{k+1}^{i,j} &= f_{k+1}(h_{k+1}^i, B_{k+1}^{i,j}) \end{aligned} \quad (7)$$

- **Measurement Update:**

After receiving the t observation, we obtain the filtering distribution from the predictive one according to the observation equation. In the measurement and time-update equations described above, the mean and covariance of each mix, are updated following the Kalman Filter equations [8], and update the weight of each particle of the $N \times Q$ particle set. The likelihood can be computed using the Kalman Filter and this will serve us as a benchmark

- **Selection:**

Only the N highest likelihood are selected (as the mean and covariance) from $N \times Q$, according to their weight.

IV. IMPROVED CHANNEL ESTIMATION SYSTEM

Pilot symbols are used to obtain an initial estimate of the continuous variable, and to initialize the discrete variable in a joint channel estimation. Figure 2 gives a structure of time slot with pilot bits.

A. Pilot embedding for channel estimation

Pilot symbols are used to initialize the parameter estimation for data detection. The proposed method works as follows. At the transmitter, the pilot sequences P of length SA is added to the codeword C . The receiver begins by using pilot symbols $p_k : k = 1, \dots, SA$ to obtain a first SA values of estimation of the channel. The particle filter consist to estimate the channel matrix \hat{A}_k^i for total transmitted bits. These estimates are combined with the pilot estimated matrix $\{\hat{A}_k\}_{k=1}^{SA}$ to obtain an estimate of the whole transmitted signal $\{\hat{A}_k\}_{k=SA}^T$ accordingly to the deterministic particle filter using the maximum likelihood estimation.

B. Integration of channel estimation with data detection

The integration of pilot channel estimator within a data estimator system is shown in figure 3, where pilots sequences are used to obtain a first estimate of the channel and determine the accepted and rejected frames. These last ones can be retransmitted.

Accordingly, the maximum likelihood estimate of the channel is obtained as:

$$p(\tilde{B}/B) = \int_{D(\tilde{B})} f(y/B) dy = \int I_{D(\tilde{B})} f(y/B) dy \quad (8)$$

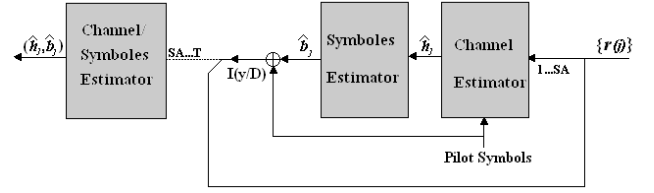


Fig. 3. The particle filtering for joint data-channel estimation

where $I_{D(\tilde{B})}$ is the reserved/estimator indicator bit used to indicate a bad frame estimation on the forward link or to re-enable its transmitter after tuning to another frame. The frame quality indicator is determined by the estimation of the pilot bits and is used for error detection at the receiver.

Once the frame is transmitted, which allows a receiver to recover the corrupted received data by exploiting the bits pilot in the detecting data stream as below:

- For all the values of pilot bits $b_k^i \in \xi = [\xi_1, \dots, \xi_{SA}]$, a possible estimation for the continuous variable of the system (\hat{h}_k^i) will be given and provide an efficient estimation to compute the first two conditional moments of the system.
- Now consider the proposed particle filter algorithm, this strategy can give an efficiency estimation discrete variables $\{\hat{B}_t\}_{t=1 \dots SA}$ given the estimation of the continuous variable
- To test the efficacy of the particle filter algorithm, we calculate the number of the erroneous bits estimated n in the pilot sequence where $n = \sum_{k=1}^{SA} |\hat{B}_k^i - B_k^i|$. The desired accepted number of erroneous bits estimated n has to be recovered first. In the process if a wrong bit decision is made, then a whole frame is replaced with another one. As a result, if such wrong frames will be rejected so lets define the efficiency as:
efficiency = Number of accepted sequences / Total number of transmitted sequences.

V. SIMULATION RESULTS

In simulation we consider a CDMA system with $K = 8$ users. For simplicity, the spreading length is equal to SA . The number of sequence pilot $SA = 14$ bits, with $J = 70$ information bits and using a deterministic particle filter algorithm with only two particles. As it is well known, the performance gain depends on the number of accepted erroneous estimated bits n . So when n is smaller, the particle filter is better suited to estimate bits.

The efficiency versus n for $SA = 14$ is plotted in figure 4, for various value of signal-to noise ratio (SNR). We can see that the efficiency is independent of n for $n > 5$. Figure 5 show respectively, the Bit Error Rate (BER) and Frame Error Rate (FER) when $n=4$ for varying SNR . Figure 6 show the efficiency versus SNR when $n = 4$, we note that we obtain a good efficiency from $SNR=6dB$.

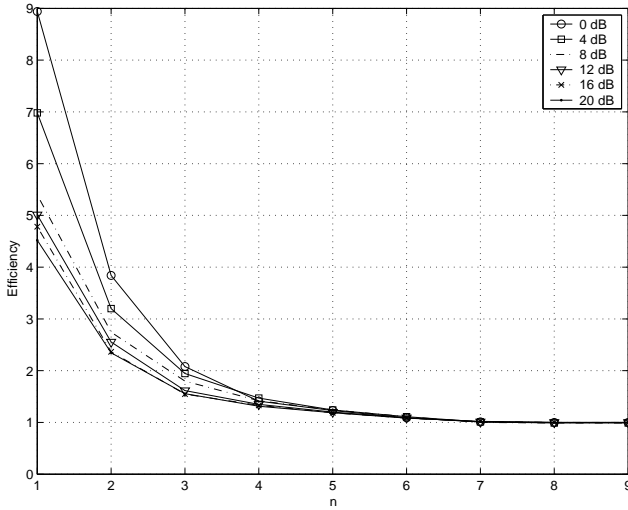


Fig. 4. Efficiency for different n

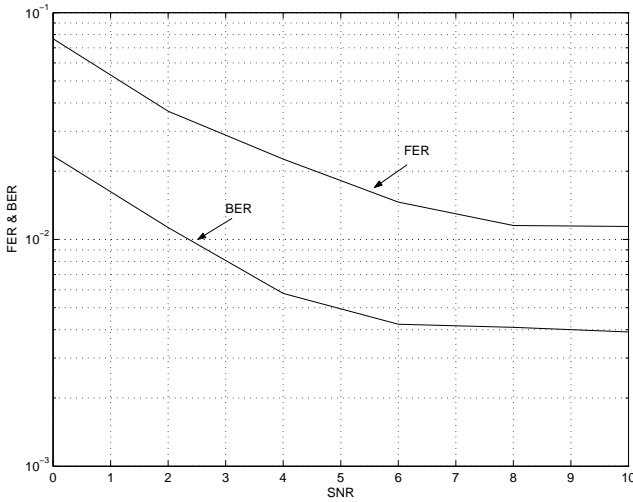


Fig. 5. BER and FER for $n = 4$

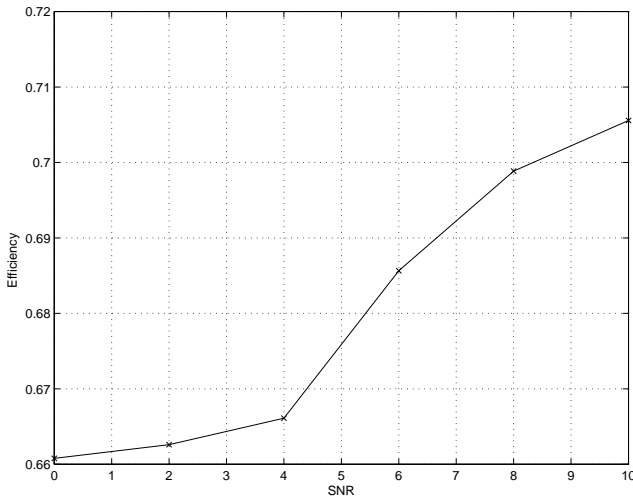


Fig. 6. Efficiency versus SNR for $n = 4$

VI. CONCLUSION

We propose a novel approach based on particle process and error detection estimation to solve the joint estimation problem in CDMA receivers. This work shows that the use of pilot sequence can improve results of channel estimation. This paper shows that the efficiency is improved and data detection is not altered by the estimation of channel. The reported results are significant since we obtain low bit error rates with few training sequences.

REFERENCES

- [1] G. Salut, "Recepteur particulaire pour l'estimation optimale conjointe de l'information digitale et continue dans les signaux a modulation pulsee", Brevet INPI:01/00849, jan 2001
- [2] M. V. Eyuboglu and S. U. H. Qureshi, "Reduced-state sequence estimation with set partitioning and decision feedback", IEEE Trans. on Com., Vol. 36, pp. 1320, Jan. 1988.
- [3] A. Duel-Hallen and C. Heegard, "Delayed decision-feedback sequence estimation", IEEE Trans. on Com., Vol. 37, pp. 428436, May 1989.
- [4] F. Jelinek and J. B. Anderson, instrumental tree encoding of information sources", IEEE Trans. on Inf. Theory (Corresp.), Vol. 17, pp. 118, Jan. 1971.
- [5] Antonio Caamano-Fernandez, Rafael Boloix-Tortosa, and Juan J. Murillo-Fuentes. "High order statistics in multi-user detection". Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on Volume 34, Issue 4, Nov. 2004 Page(s):417 - 424.
- [6] S. Verdu. Multiuser Detection. Cambridge University Press, 1998.
- [7] BEN SALEM Farah; SALUT Gerard, "Recepteur particulaire deterministe en communications radiomobiles pour canaux multi-trajets evanescents. Partie II: DS-CDMA Deterministic particle receiver for multipath fading channels in wireless communications. Part II: DS-CDMA", TS. Traitement du signal ISSN 0765-0019, 2004, vol. 21, no4, pp. 359-369.
- [8] Ali Kazem, "Particules Deterministes Generalisees En Filtrage Non-lineaire: Applications Defense et Telecommunication". these, Universite Paul Sabatier-LAAS/CNRS 2008.

Nouvelle Approche de filtrage Non-linéaire d'Images Numériques

Zine El Abidine Sid, Lyazid Aoufi, Moussa Semchedine
Département informatique – Faculté des sciences
Université Ferhat Abbas –Sétif 19000
mchemsedine@yahoo.fr

Résumé— Dans cet article nous nous intéressons au développement d'un nouveau filtre non-linéaire appliqué sur des images numériques afin d'atténuer l'influence de bruit sur ces dernières. Une comparaison des différents résultats de filtrages illustre les performances et la robustesse de ce filtre face aux différents types de bruits.

Mots-clés— Image numérique, filtrage non linéaire, filtre médian, lissage, segmentation, détection des contours

Abstract— In this paper we focus on the development of a new non-linear filter applied to digital images to reduce the influence of noise on them. A comparison of different filtering results shows the performance and robustness of this filter against different types of noise.

Index Terms— Digital Imaging, nonlinear filtering, median filter, smoothing, segmentation, contour detection

I. INTRODUCTION

Avec la parole, l'image constitue l'un des moyens les plus importants qu'utilise l'homme pour communiquer avec autrui. C'est un moyen de communication universel dont la richesse du contenu permet aux êtres humains de tout âge et de toute culture de se comprendre. Le domaine du traitement d'images numériques est un domaine en plein développement vu la quantité d'images qui circulent via différents supports de communication (web, appareil médicale.....).

Le traitement d'images possède l'aspect multidisciplinaire, on trouve ses applications dans des domaines très variés tels que: la biologie, la géologie télécommunication, la médecine (radiographie), astronomie, l'industrie C'est un domaine qui englobe plusieurs techniques permettant de modifier une image numérique dans le but de l'améliorer ou d'en extraire des informations.

Une des opérations essentielles dans un processus de vision est la segmentation d'image [8] qui consiste à trouver

des régions homogènes et des contours. Ces régions et contours sont supposés très pertinents, c'est-à-dire que les régions doivent correspondre aux parties significatives des objets du monde réel, et les contours leurs contours apparents [6]. La qualité de segmentation dépend des propriétés de l'image d'origine (contrastée, bruitée...) d'où une opération de prétraitement (filtrage) est nécessaire pour garantir une bonne segmentation.

L'objectif de ce travail et de programmer un nouveau filtre non-linéaire dont le principe est inspiré du filtre de Nagao [7]. Nous présentons dans la deuxième section les méthodes de filtrage d'images. Une description détaillée de l'algorithme développé fait l'objet de la troisième section.. La quatrième partie est consacrée, aux résultats et aux comparaisons obtenus où nous montrons la robustesse et l'efficacité du filtre développé

II. LE FILTRAGE D'IMAGES

Quand on parle de bruit en photo ou vidéo numérique, il s'agit de défauts parasites venant dégrader la qualité de l'image provenant de plusieurs sources : contexte de l'acquisition, capteur, la nature de la scène ...

Le filtrage d'images est une opération fondamentale qui permet d'éliminer les éléments perturbateurs ou non significatifs dans les images numériques afin d'améliorer la perception de certains détails, de réduire le bruit, de compenser certains défauts. Il s'agit donc de réduire les variations d'intensité au sein de chaque région de l'image tout en respectant l'intégrité des scènes : les transitions entre régions homogènes et les éléments significatifs de l'image doivent être préservés au maximum.

Différentes méthodes de filtrage ont été développées suivant le type du bruit. Les premières et les plus simples de ces méthodes sont basées sur le filtrage linéaire (stationnaire), mais leurs mauvaise conservation des transitions a conduit au développement des filtres non linéaire.

A. Filtrage linéaire

Le filtre est dit linéaire si la valeur du nouveau pixel est une combinaison linéaire des valeurs des pixels du voisinage. On distingue deux catégories les filtres lisseurs ou passe-bas consistant à atténuer les composantes de l'image ayant une fréquence haute (filtre moyenneur, filtre gaussien..) et les filtres passe-haut appelés détecteurs de contours permettent d'accentuer les détails et le contraste (Roberts, Canny[2], Deriche[3]...)

B. Filtrage non-linéaire

Le filtrage non-linéaire est une opération qui remplace la valeur de chaque pixel par une combinaison non-linéaire des valeurs de ses pixels voisins, ce type de filtre pallie les inconvénients majeurs des filtres linéaires dont la présence des valeurs aberrantes même après filtrage et la mauvaise conservation des transitions. Différents filtres non-linéaires ont été développés dans la littérature : filtre médian [1], Symmetric Nearest Neighbor [5], Nagao [7]

III. APPROCHE PROPOSÉE

Dans ce travail nous proposons un filtre non-linéaire qui permet de réduire le bruit, et supprimer des points aberrants, en respectant les contours.

Dans une fenêtre de 3x3 entourant le pixel à traiter, la variance de 4 différentes régions (figure 1) est calculée. La valeur du pixel central est remplacée par la valeur médiane de la région qui a la plus faible variance. La différence entre ce nouveau filtre et le filtre de Nagao [7] réside dans le calcul de la médiane au lieu de la moyenne et dans le nombre des zones concernées 4 au lieu de 9.

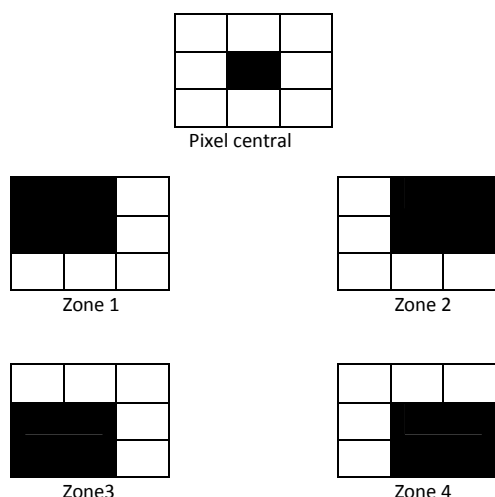


Figure 1 : Les zones de voisinage

Le principe du filtre est résumé dans l'algorithme suivant :

Algorithme

Pour chaque pixel de l'image :

Etape1 : Centrer le pixel dans une fenêtre de 3x3

Etape2 : Calculer la variance des 4 zones

Etape3 : Rechercher la zone qui a la plus faible variance

Etape4 : Remplacer la valeur du pixel par médiane de la zone sélectionnée

IV. RÉSULTATS

Nous avons simulé l'approche avec Matlab sous Windows XP. L'image **eight.jpg** du Matlab est utilisée comme image de test.

Pour pouvoir comparer la performance du filtre proposé et le filtre Médian [1], on a utilisé la fonction **imnoise** de Matlab pour ajouter le bruit sur les images. Deux types de bruits ont été ajoutés : impulsif [4], et gaussien avec un pourcentage allant de 1% à 20%, au-delà de ce 20% l'image devient trop bruitée ce qui ne reflète pas un bruit naturel.

La variance d'une image est utilisée ici comme critère de comparaison entre le filtre proposé et le filtre médian. Les figures 1 et 2 présentent les différents résultats obtenus.

En analysant la figure 1 et la figure 2, nous constatons, qu'il y a une nette performance en terme de variance de chaque image, ce qui prouve la robustesse et la fiabilité du filtre développé par rapport au filtre médian pour les deux types de bruit voir impulsif ou Gaussien.

Il est évident que le filtre développé est d'une plus grande complexité d'implémentation que le filtre médian mais du point de vue performance il est le mieux adapté.

V. CONCLUSION

Dans cet article un nouveau filtre non-linéaire est développé. Le nouveau filtre est basé sur un calcul de 4 zones de voisinage pour choisir la médiane de la zone qui a la plus faible variance.

Les expérimentations effectuées sont satisfaisantes par rapport à ceux obtenus par le filtre médian sur plusieurs images.

Le temps d'exécution reste l'inconvénient majeur du filtre développé d'où plusieurs perspectives peuvent être envisagées à savoir l'implémentation dans une architecture parallèle.

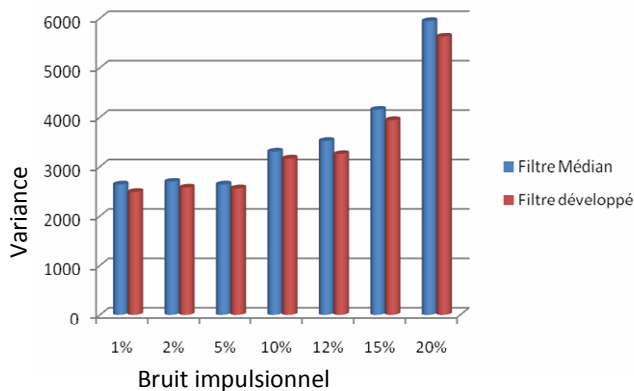


Figure2 : Comparaison des variances des images filtrées / bruit impulsif

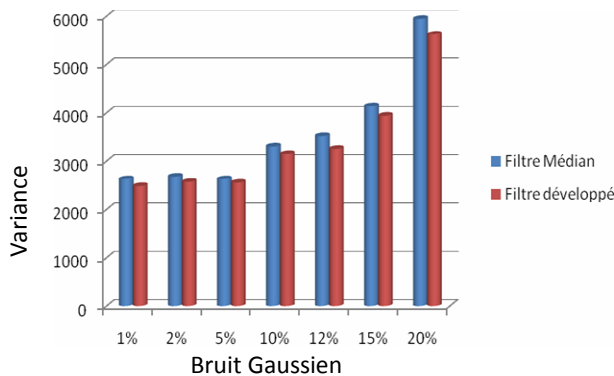


Figure3: Comparaison des variances des images filtrées / bruit Gaussien

REFERENCES

- [1] J.Astola, P. Haavisto, and Y. Neuvo. *Vector median filters*. In Proceedings of the IEEE, volume 78, pages 678–689, 1990.
- [2] J.Canny, *A Computational Approach To Edge Detection*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679–698, 1986.
- [3] R.Deriche, 1987. Using Canny's Criteria To Derive A Recursive Implemented *Optimal Edge Detector*, International journal of computer vision, pp. 167-187.
- [4] C. De Runz, M. Herbin, F. Blanchard, L. Hussenet, V. Vrabie, P. Vautrot, *Le vecteur de meilleur rang moyen : une statistique pour l'analyse de données multidimensionnelles - Application au filtrage d'images couleurs GRETSL*, Troyes, France, pp. 97-100. 2007
- [5] D. Harwood, M. Subbarao, H. Hakalahti, L. Davis, *A new class of edge-preserving smoothing*. Pattern Recognition Letters, 6, pp 155-162, 1987
- [6] J.Lecoeur, C.Barillot. *Segmentation d'images cérébrales : État de l'art*. Rapport de recherche INRIA. 2007
- [7] M. Nagao, T. Matsuyama. *Edge preserving smoothing*, Computer graphics and image processing, vol. 9, p. 394-407, 1979.
- [8] M.Semchedine, L.Toumi. *Nouvelle méthode optimale de classification des données : application à la segmentation des IRM cérébrales*. 2nd International Conference: E-Medical Systems. Tunisia. 2008

L'augmentation des performances d'un turbo-code dans son approche pragmatique

F. MENEZLA¹, R. MELIANI², Z. MAHDJOUR³, A. MOULAY LAKHDAR⁴

LABORATOIRE DE RESEAUX DE COMMUNICATION, ARCHITECTURE ET MULTIMEDIA (RCAM)

UNIVERSITE DJILLALI LIABES, BP 89, 22000 SIDI BEL-ABBES, ALGERIE.

Email: menezla@yahoo.fr

Abstract— This paper presents a new digital communications system combining a turbo code and modulation. Developed by a pragmatic approach, this combination based on the use of turbo codes and the concept of binary coding signal modulation considered minimizes the probability of bit error channel output (Gray coding). This system is not only relatively simple to implement, but also very attractive for broadband applications. The simulation results obtained under conditions with hardware design of the encoder and decoder for modulation, show performance close to theoretical limits coding.

Key words: Turbo-code, convolutional encoder and systematic recursive interleaver, channel Gaussian, Rayleigh channel, pragmatic approach.

Résumé-- Cet article présente un nouveau système de communication numérique combinant un turbo-code et une modulation. Elaboré selon une approche pragmatique. Cette combinaison basée sur l'utilisation de turbo-codes et sur la notion de codage binaire à signal de la modulation considérée minimise la probabilité d'erreur binaire en sortie du canal (codage de Gray). Ce système est non seulement relativement simple à mettre en œuvre, mais également très attrayant pour les applications à hauts débits. Les résultats de simulations, obtenus dans des conditions compatibles avec une réalisation matérielle du codeur et du décodeur pour les modulations, montrent des performances très proches des limites théoriques codage.

Mots-clés : Turbo-code, codeur convolutif systématique et récursif, canal Gaussien, canal de Rayleigh, approche pragmatique.

I. INTRODUCTION

Les turbo-codes constituent une famille de codes correcteurs d'erreurs qui permettent d'avoisiner la limite théorique de correction prédite par Shannon il y a plus de 50 ans. Ces codes, inventés par Claude Berrou, sont obtenus par

concaténation de deux ou plusieurs codes convolutifs de faible complexité, séparés par une fonction d'entrelacement introduisant de la diversité. Leur décodage fait appel à un processus itératif (ou *turbo*) utilisant deux ou plusieurs décodeurs élémentaires.

Les études menées sur l'association de ces codes puissants avec des modulations d'ordre supérieur à deux font essentiellement appel à l'approche pragmatique. L'approche pragmatique est chronologiquement la première mise en œuvre. Elle a été introduite par Le Goff sur un canal gaussien. Elle utilise un "bon" turbo-code, un codage binaire à signal de la modulation considérée qui minimise la probabilité d'erreur binaire en sortie du canal (codage de Gray) et associe les deux par le biais d'une opération de poinçonnage et de multiplexage pour adapter l'ensemble à l'efficacité spectrale visée. En réception, un turbo-décodeur standard est utilisé, ce qui nécessite une estimation de chaque bit contenu dans les symboles démodulés.

Dans ce qui suit, nous rappelons tout d'abord les principes de base des turbo-codes, nous effectuons ensuite une description détaillée de la structure du système proposé. Enfin, nous présentons les performances évaluées par simulation sur un canal gaussien et sur le canal de Rayleigh.

II. PRINCIPE DES TURBO-CODES

Les turbo-codes sont des codes correcteurs d'erreurs qui permettent d'avoisiner la limite théorique de correction. Ces codes, inventés et présentés par Claude-Berrou à l'ENST de Bretagne [1], sont obtenus par la concaténation parallèle, série [2] ou hybride de deux ou plusieurs codes correcteurs d'erreurs de faible complexité. Leur décodage fait appel à un processus itératif (ou *turbo*). La figure 1 représente le principe général d'un turbo-code, dans sa version la plus classique [3]. Le message binaire d'entrée, de longueur k , est codé, dans son ordre naturel et dans un ordre permuté, par deux codeurs appelés C_1 et C_2 . Les deux codeurs élémentaires sont identiques, mais ce n'est pas une nécessité.

Dans notre exemple, le rendement du codage naturel, sans poinçonnage est $1/3$, étant donné que pour chaque bit source (d_k) trois bits (x, y_1, y_2) sont envoyés sur le canal. Ces bits sont générés de la manière suivante :

Manuscript received October 23, 2011.

F. MENEZLA¹ Author A is with the RCAM Laboratory, University of Sidi Bel-Abbes, BP 89, 22000 Sidi Bel-Abbes, Algeria (corresponding author phone e-mail: menezla@yahoo.fr).

R. MELIANI Author is with the RCAM Laboratory, University of Sidi Bel-Abbes, Algeria.

Z. MAHDJOUR³ Author is with the RCAM Laboratory, University of Sidi Bel-Abbes, Algeria.

A. MOULAY LAKHDAR Author is with the RCAM Laboratory, University of Sidi Bel-Abbes, Algeria.

⊕ Le symbole x est égal à la donnée d_k (on peut déjà remarquer le caractère systématique);

⊕ Les symboles y_1 et y_2 sont des bits de parité construits respectivement au moyen des deux codeurs identiques C_1 et C_2 . La seule différence entre y_1 et y_2 est que l'on a permuté l'ordre du bit source (d_k) pour le second codeur C_2 au moyen d'un entrelaceur.

Pour obtenir des rendements plus élevés, un poinçonnage des symboles de redondance y_1 et y_2 est effectué. Et ceci donne au système son approche pragmatique.

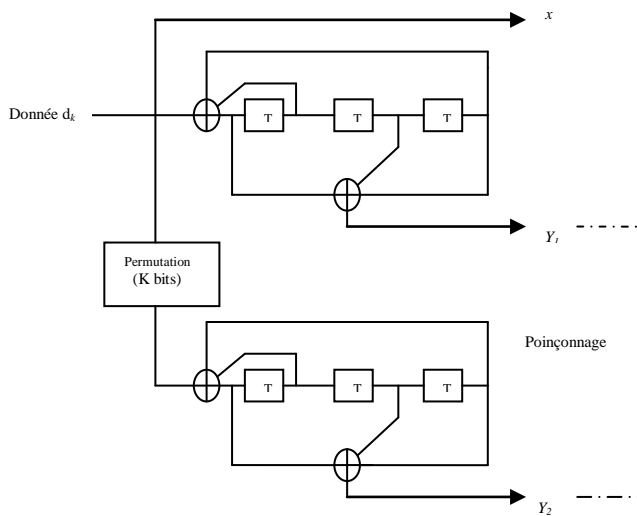


Figure 1 : Schéma de principe général d'un turbo-

Qu'on l'appelle entrelacement ou permutation, la technique consistant à disperser des données dans le temps a toujours rendu de grands services aux communications numériques. On l'utilise avec profit pour réduire les effets des atténuations plus ou moins longues dans les transmissions affectées d'évanouissements et plus généralement dans des situations où les perturbations peuvent altérer des symboles consécutifs.

Dans le cas des turbo-codes, la permutation permet de lutter efficacement contre l'apparition de paquets d'erreurs, sur l'une au moins des dimensions du code composite.

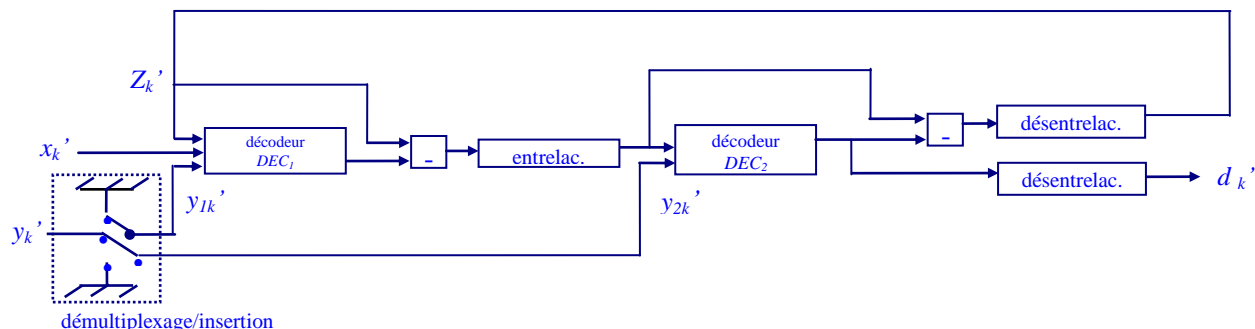


Figure 3 : Schéma de principe d'un Turbo-décodeur.

Le turbo-décodage se fait selon le principe de décodage itératif [4] ou turbo basé sur l'utilisation de décodeurs à entrée et à sortie pondérée ou **SISO** (Soft-Input Soft-Output) [5] qui s'échangent des informations de fiabilité Z_k , celles-ci sont appelées informations extrinsèques, par le biais d'une contre-réaction, afin d'améliorer la correction au fil des itérations.

Le circuit d'un turbo-décodeur est constitué par la mise en cascade de P modules, correspondant aux P itérations, de décodages identiques figure 2. Sa structure est donc parfaitement modulaire.

L'entrée du $P^{ème}$ module est constituée des séquences reçues $\{x_k'\}_{P-1}$ et $\{y_k'\}_{P-1}$ retardées convenablement et de la séquence $\{Z_k'\}_{P-1}$ de la contre-réaction générée par le $(P-1)^{ème}$ module.

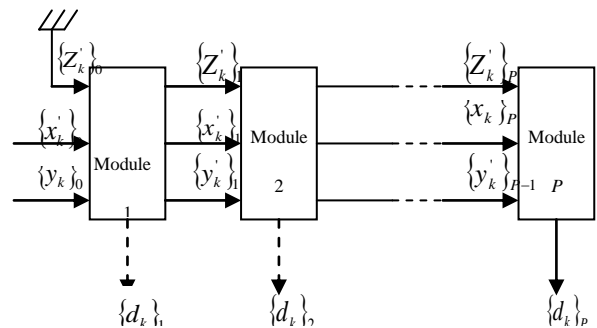


Figure 2 : Structure modulaire d'un turbo-décodeur

Le schéma de principe du décodeur (appelé par la suite "Turbo-décodeur") est représenté sur la figure 3. Les deux décodeurs élémentaires sont des décodeurs à sorties pondérées de type (Berrou-Adde). On remarque qu'une information élaborée à partir du décodeur DEC_2 est réinjectée à l'entrée du décodeur DEC_1 . On utilise donc une boucle de contre-réaction. L'information de contre-réaction est notée Z_k' .

Le premier décodeur a donc désormais trois entrées (x_k', y_{1k}', Z_k') , à l'instant k . L'appellation "turbo-codes" est donnée par analogie avec le fonctionnement des moteurs turbo-compressés dont la puissance est augmentée par réutilisation d'une partie des gaz d'échappement. En effet, grâce à la boucle de contre-réaction employée au décodage, le codeur élémentaire C_1 , de rendement initial R_1 , peut être perçu comme un codeur de rendement R'_1 donné par l'équation [6]:

$$R'_1 = \frac{R_1}{1 + R_1}$$

Le premier décodeur profite alors d'une redondance accrue, et son pouvoir de correction s'en trouve évidemment fortement amélioré. La variable Z_k' réalise une estimation du symbole codé x_k (d_k), qui est faiblement corrélée avec les deux estimations x_k' et y_{1k}' disponibles à l'entrée du décodeur DEC_1 . Et ceci grâce à un soustracteur placé en sortie du décodeur DEC_2 qui permet d'ôter la contribution liée à l'échantillon x_k' de l'estimation issue du décodeur DEC_2 . La corrélation résiduelle est d'autant plus réduite que la taille des matrices d'entrelacement et de désentrelacement est importante. De plus, grâce à la présence de la matrice de désentrelacement en sortie du second décodeur DEC_2 , les variables Z_k' sont non corrélées entre elles [7]. D'autre part, la quantité Z_k' ayant été élaborée par le décodeur DEC_2 à l'itération précédente, elle ne doit pas être de nouveau utilisée par le décodeur DEC_2 . Un soustracteur est donc placé en sortie du décodeur DEC_1 . Pour terminer, signalons que le symbole binaire d_k' décodé est obtenu en examinant le signe de décision pondérée associée à d_k' en sortie du second décodeur DEC_2 .

L'approche pragmatique est chronologiquement la première mise en œuvre. Elle a été essayée par Le Goff [8] sur canal gaussien. Elle ne nécessite pas d'optimisation conjointe du code et de la modulation. Notre système de transmission proposé dans l'approche pragmatique, est élaboré par l'utilisation d'un "bon" turbo-code de rendement R , un codage binaire à signal de la modulation à M états considérée qui minimise la probabilité d'erreur binaire en sortie du canal (codage de Gray) et associe les deux par le biais d'une opération de poinçonnage et de multiplexage pour adapter l'ensemble à l'efficacité spectrale visée.

L'efficacité spectrale η de la transmission est donnée par [9]:

$$\eta = R \log_2 M \quad (\text{en bit/s/Hz})$$

A partir de cette relation, on remarque que pour augmenter l'efficacité spectrale η , il faut augmenter le rendement R ou le nombre d'état de la modulation considérée (optimisation).

La figure 4 présente le schéma général de la chaîne de transmission dans le cadre de l'approche pragmatique. Elle est élaborée à partir de l'association d'un turbo-code de rendement R et d'une modulation à M états où $M=2^m$ états.

L'augmentation du rendement est assurée par la fonction de poinçonnage. Grâce à la technique du poinçonnage, il est possible d'élaborer toute une famille de codes aux rendements divers, à partir d'un seul code standard de base. Cette propriété permet à l'approche proposée d'être pragmatique, en effet, comme le module de poinçonnage est programmable, il est aisé de modifier le rendement R du turbo-code, et par là même l'efficacité spectrale de la transmission, tout en conservant inchangés le turbo-code standard et la modulation.

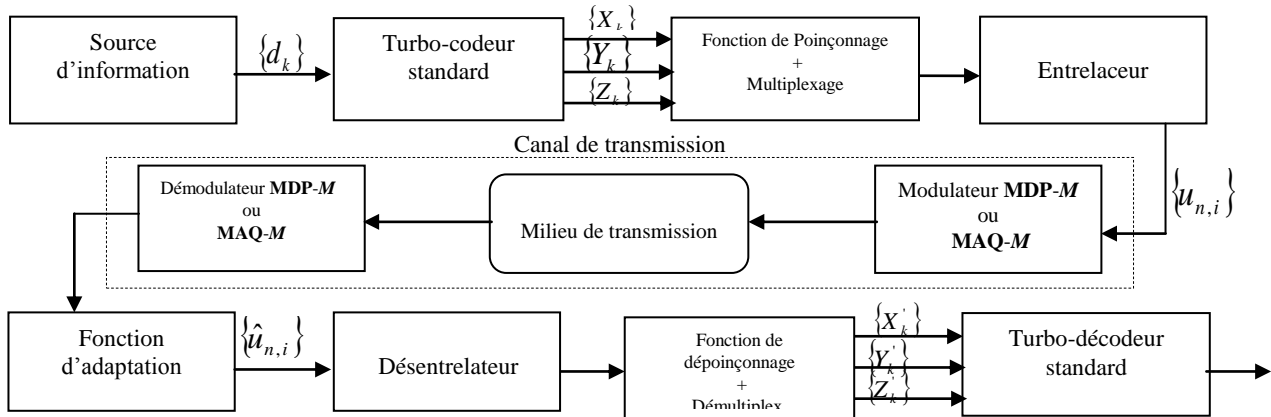


Figure 4: Schéma de principe dans le cas l'association pragmatique d'un turbo-code et d'une modulation

III. L'APPROCHE PRAGMATIQUE DU TURBO-CODE

L'affectation des symboles binaires issus du turbo-codeur à un signal de la constellation de la modulation se fait suivant un codage de type Gray.

Avec un tel codage, il est évident que certains symboles sont mieux protégés du bruit que d'autres. Nous tirons profit de cette propriété en offrant aux symboles de redondances Y_K une protection maximale, ce qui d'après les simulations effectuées ci-dessous, garantit les meilleures performances possibles de la part du turbo-décodeur. Lorsque le rendement de codage visé est supérieur au rendement naturel du turbo-code, l'opérateur de poinçonnage permet d'augmenter ce rendement [10].

La présence de la fonction d'entrelacement et de désentrelacement sur la figure se justifie par le besoin de décorrélérer les échantillons issus de la fonction d'adaptation pour que le turbo décodage soit le plus efficace possible. Leur présence n'est pas indispensable dans le cas d'un canal de Gauss. Mais dans un canal de Rayleigh, il s'agit d'éviter que les symboles issus d'un même instant de codage ne soient pas dans le même groupe de m symboles émis sur le canal, afin de ne pas être affectés simultanément par un évanouissement.

Etant donné que le turbo-décodeur doit fonctionner en décision douce, la fonction d'adaptation permet de calculer cette décision. De plus, elle est programmée afin d'adapter le plus parfaitement possible le système de transmission au type de canal considéré. Cette fonction est nécessaire dans un système utilisant la modulation turbo-codée pragmatique. La fonction d'adaptation peut être programmée pour adapter le plus parfaitement possible le système au type de canal considéré, ceci renforce le caractère pragmatique de l'approche empruntée pour élaborer ce système. En effet, il est ainsi aisé de modifier le rendement R du turbo-code, et par là même l'efficacité spectrale de la transmission, tout en conservant inchangés le turbo-code standard et la modulation. Elle joue aussi le rôle d'interface entre le désentrelaceur et la sortie du démodulateur, et permet de garantir un turbo-décodage efficace quelque soit le type de canal considéré.

Le meilleur codage à signal des points de la constellation est celui qui minimise le taux d'erreurs binaires à l'entrée du décodeur. Le codage de Gray satisfait cette condition.

RESULTATS DE SIMULATIONS

Pour évaluer les résultats de l'approche pragmatique, il a fallu optimiser notre chaîne de transmission [11] [12]. Pour cela, il a fallu avoir :

- un bon poinçonnage ;
- augmenter le nombre d'états de la modulation ;
- optimiser la constellation de la modulation ;
- et enfin une bonne adaptation au canal.

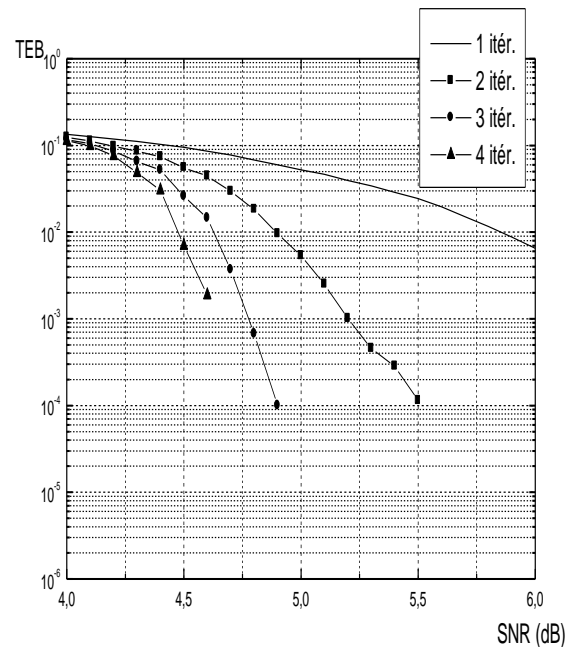


Figure 5 : Performances sur un canal gaussien d'une modulation MAQ-16 protégée par un turbo-code de rendement 1/2 ($r = 2$ bit/s/Hertz)

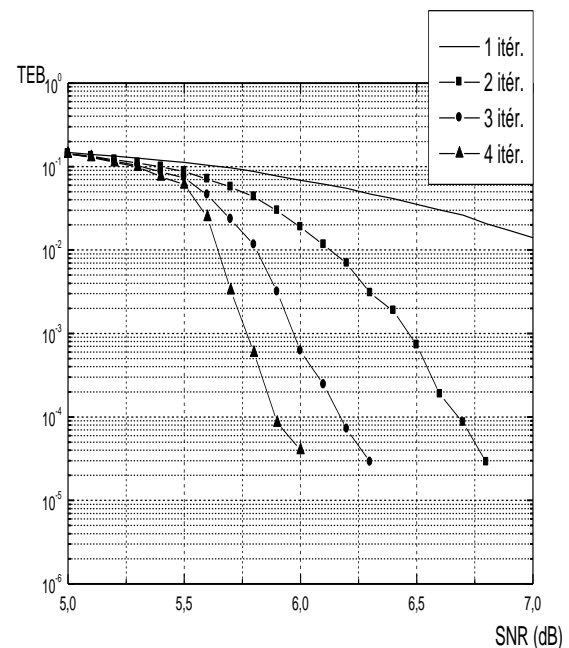


Figure 6 : Performances sur un canal de Rayleigh d'une modulation MAQ-16 protégée par un turbo-code de rendement 1/2 ($r = 2$ bit/s/Hertz)

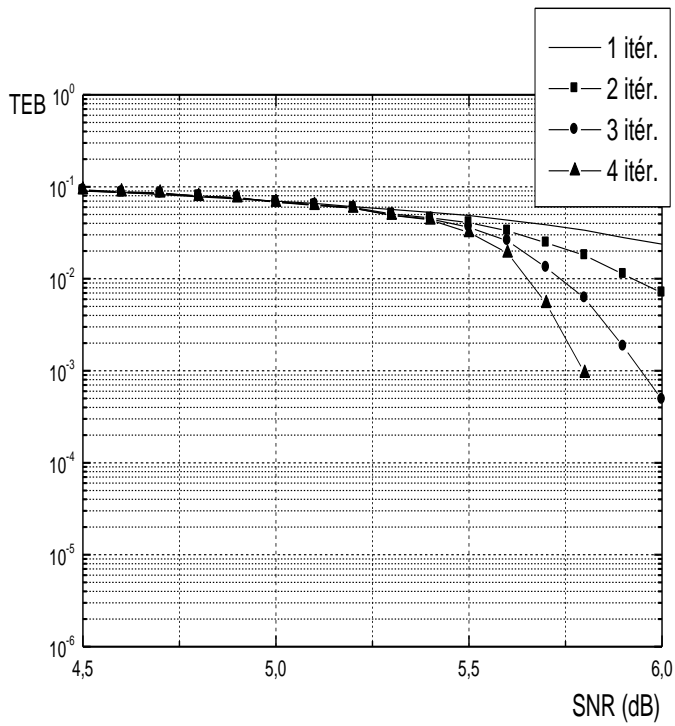


Figure 7 : Performances sur un canal gaussien d'une modulation MAQ-16 protégée par un turbo-code de rendement 3/4 ($\eta = 3$ bit/s/Hertz)

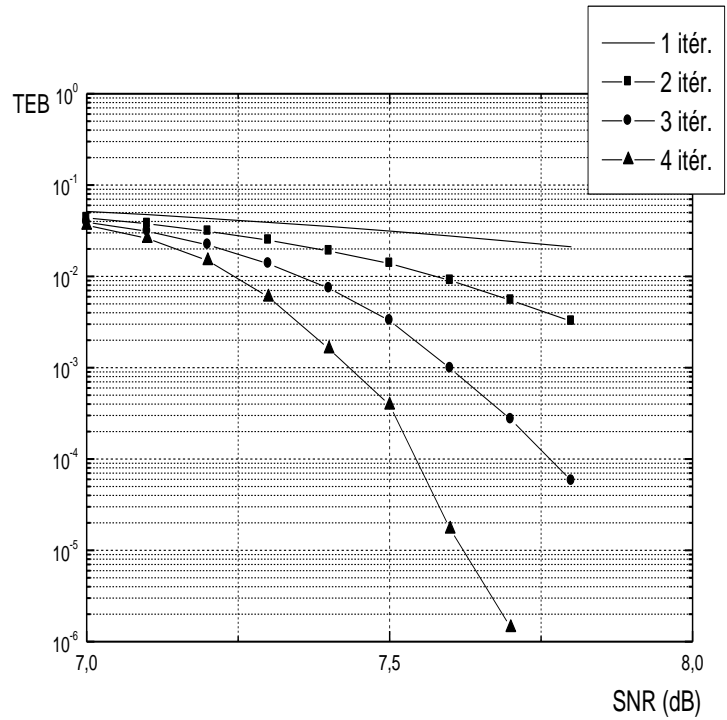


Figure 8 : Performances sur un canal de Rayleigh d'une modulation MAQ-16 protégée par un turbo-code de rendement 3/4 ($\eta = 3$ bit/s/Hertz)

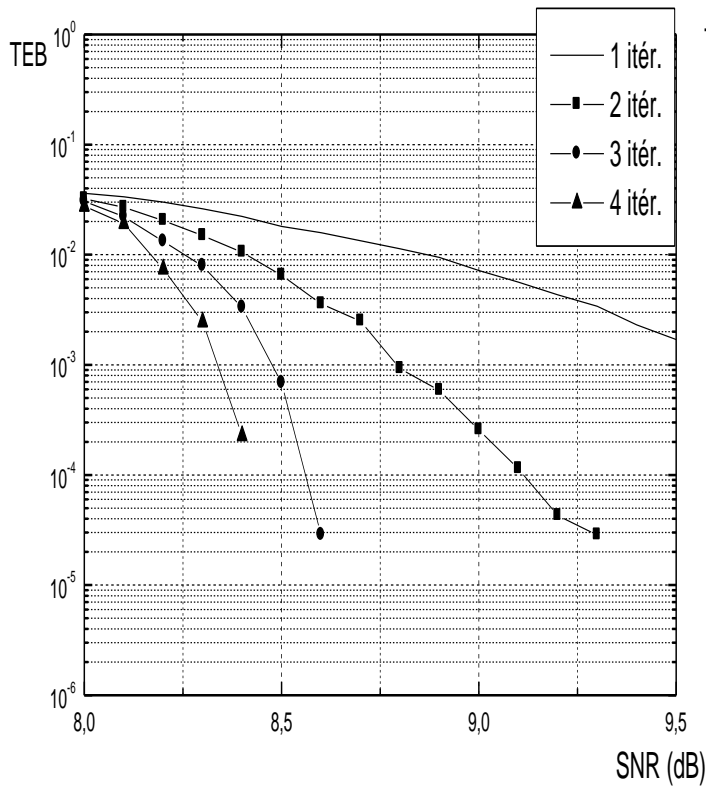


Figure 9 : Performances sur un canal gaussien d'une modulation MAQ-32 protégée par un turbo-code de rendement 4/5 ($\eta = 4$ bit/s/Hertz)

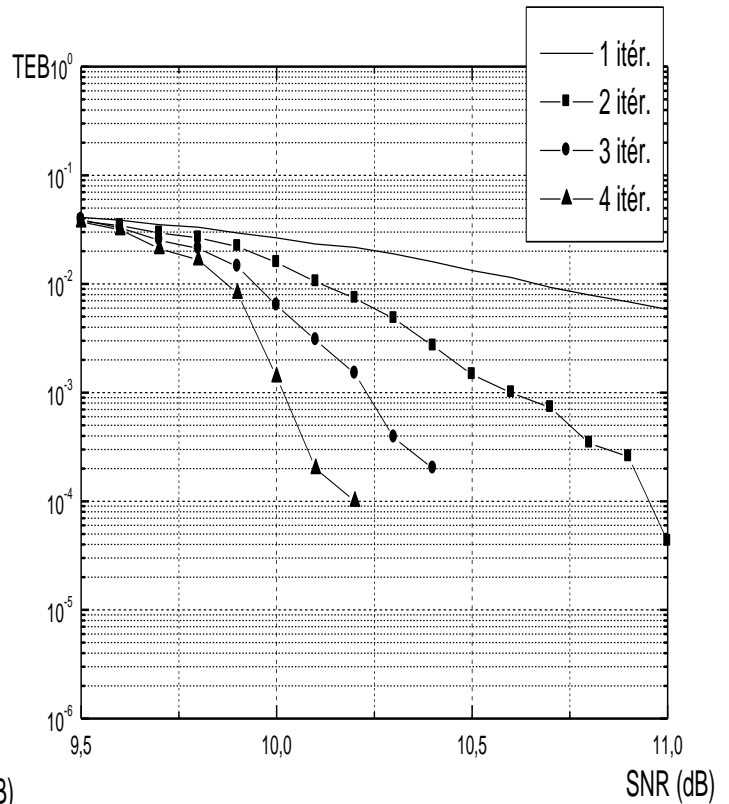


Figure 10 : Performances sur un canal de Rayleigh d'une modulation MAQ-32 protégée par un turbo-code de rendement 4/5 ($\eta = 4$ bit/s/Hertz)

Nous montrons d'après les figures (5, 6, 7, 8, 9 et 10) que dans l'approche pragmatique les TEB en fonction du SNR (dB) sont toujours très attractifs alors que le récepteur a une structure facile à mettre en œuvre bien que les débits augmentent. Ceci s'est fait soit en poinçonnant, c'est-à-dire en augmentant le débit ou en augmentant le nombre d'états de la modulation. Et tout revient à dire que les résultats sont optimaux.

CONCLUSION

Dans le travail que nous venons de réaliser, nous avons présenté un nouveau système de transmission combinant un turbo-code avec une modulation. Elaboré à partir d'une approche pragmatique sur un canal gaussien et sur le canal de Rayleigh, les résultats de simulations obtenus, nous ont permis de mettre en évidence le pouvoir de correction particulièrement élevé des turbo-codes.

REFERENCES

- [1] C. Berrou, A. Glavieux et P. Thitimajshima, « Near Shannon limit error correcting coding and decoding: turbo-codes, » IEEE ICC'93, vol. 2/3, pp. 1064-1070, Geneva, May 1993.
- [2] S. Benedetto, G. Montorsi, « Iterative decoding of serially concatenated convolutional code », Electronics Letters, vol. 32, n° 13, pp. 1186-1188, Juin 1996.
- [3] L. Mostari, R. Méliani, A. Bounoua, « turbo-code in a bit interleaved turbo-coded modulation system », CMT'2010, Ecole Supérieure de Technologie, Université Hassan 2, Maroc, Avril 2010.
- [4] P. Hoeher, « New iterative "turbo" decoding algorithms, » International Symposium on Turbo-Codes, pp. 63-70, Brest, France, 1997.
- [5] S. Benedetto, G. Montorsi, D. Divsalar et F. Pollara, « Soft-output decoding algorithms in iterative decoding of turbo-codes, » JPL T DA Progress Report 42-124, Février 15, 1996.
- [6] A. Chaib et M. Chahrouh, « Etude et Evaluation des performances de l'entrelacement d'un turbo-code, » mémoire d'ingénieur de l'université Djillali Liabes, Sidi bel Abbes, 2000.
- [7] S. Rekh et S. S. rani et A. Shanmugam, « Optimal choice of interleaver for turbo-codes, » Academic Open Internet Journal, vol. 15, 2005.
- [8] S. Le Goff, C. Berrou et A. Glavieux, « Une nouvelle et très efficace approche pragmatique du codage du canal pour les modulations à grand nombre d'états, » Quatorzième Colloque Grets-juan-les-pins- du 13 au 16 Septembre 1993.
- [9] R. Liu, J. Luo, et P. Spasojević, « Adaptive transmission with variable-rate turbo bit-interleaved coded modulation, » Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 6, pp. 3926 - 3936, November 2007.
- [10] F. Menezla, « Étude et évaluation d'un turbo-code dans son approche pragmatique, » mémoire de magistère de l'université Djillali Liabes, Sidi bel Abbes, 2010.
- [11] F. Menezla, R. Méliani, Z. Mahdjoub, « Le turbo-code et son approche pragmatique », ISPA'10, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, Décembre 2010.
- [12] F. Menezla, R. Méliani, Z. Mahdjoub, « L'augmentation du rendement d'un turbo-code dans son approche pragmatique », CGE'07, Ecole Militaire Polytechnique – Bordj El Bahri - Alger, Algérie, Avril 2011.

Improving classification performances of the systems of multiple neural networks

M. NEMISSI, H. SERIDI, H. BOUDOUDA and H. Akdag

LabSTIC, Université de Guelma, B. P. 401, Guelma 24000, Algérie

LIASD, Université Paris 8, 2 rue de la Liberté, 93526 Saint-Denis Cedex, France

Abstract- This paper discusses the classification performances of the labeled system of multiple neural networks. This system constitutes an implementation scheme of multi-class classification problem using different neural networks. Instead of using similar networks to solve the different parts of the entire problem, the labeled systems include reinforced networks destined to solve the complicated parts. The principle of these systems is inspired from theories of the multi-classifiers systems and the labeled classification, which aims to improve performances of the networks trained by the Back-Propagation algorithm. This paper analyses these systems through examining their decision boundaries, it treats the problems which the conventional systems fail to resolve. Furthermore, this paper evaluates the performances of the labeled systems on the human thigh database.

I. INTRODUCTION

In real-world applications, the classification task is generally multi-class problem. To simplify such problems, they are usually decomposed into several simple sub-problems. They can be then implemented using a system of neural networks by assigning every network the task of solving independently one of these sub-problems. However, even if the problem is reduced, some parts remain difficult to solve. The labeled systems [1] are based on the idea of using a mixture of networks; those that correspond to complicated sub-problems are reinforced by adding labels in the same way of the labeled classification [2][3]. These systems are inspired from the systems multi-classifiers, which constitute an important alternatives of the traditional approaches based on single classifiers.

The labeled systems include multiple MLPs (Multi Layered Perceptron) trained by the BP (Back propagation) algorithm [4]. This one is the most used for training neural networks and several researches have showed the importance of MLP trained by the BP. It was proved that it can approximate posterior probabilities for both 2-class and multi-class classification problems [5]...[8] and for the two-group of n-dimensional Gaussian classification problem [9]. But in opposition, it was mentioned in several works that the BP is an unreliable algorithm and that its convergence rate is relatively slow [10][11][12]. For the reason that the labeled classification aims essentially to overcome the training slowness of networks trained by the BP, this method were used for reinforcing the networks destined to solve difficult parts in the systems of multiple neural networks [1][2].

In this work, we evaluate the performances of MLPs trained by the BP. The problems of this process are

essentially caused by the saturation behavior of the activation function used in different layer. In fact, when a sigmoid has a slope near a zero, a weight point may enter the saturation region of the weight space [10]. In such situation, the weight increment remains little even if the error is relatively large. The MLP makes a large number of iterations to escape from such situation or escape may never be achieved. We treat essentially these two cases by analyzing the responses of a conventional and labeled MLPs and studying the decision boundaries generated by every network and those generated by the entire system. Furthermore, we evaluate the labeled system on the human thigh database.

This paper is organized as follows. In section 2, we describe the classification using systems of multiple neural networks. In section 3, we present briefly the principles of the labeled classification. In section 4, we present the labeled systems of multiple neural networks and we analysis their performances on a synthetic example. In section 5, we discuss the classification results of these systems on the human thigh database. Finally, conclusions are given in section 6.

II. THE CLASSIFICATION USING SYSTEMS OF MULTIPLE NEURAL NETWORKS

A multi-class classification problem is generally decomposed into several sub-problems in order to reduce the complexity of the entire problem. It can be then implemented using a system of neural networks, in which every network is trained independently to solve a sub-problem [13]...[18]. The importance of such systems lies in the fact that each network can have its own structure, its own parameters and its own feature space. Moreover, the used networks can be trained simultaneously on different computers. In these systems, a decision module is used to give a final decision by combining the results of the used networks. Two major approaches are usually used to decompose a multi-class classification: one against-all and one-against-one modeling.

A. One-against-all method

The OAA modeling reduces a K-class classification problem into K sub-problems, in which everyone aims to classify the examples belonging to one class from the remaining examples [13][14][15]. The classification using a system of multiple neural networks modeled with OAA is realized using K binary neural networks ($Net_1, Net_2, \dots, Net_K$). Each network Net_k is trained to classify examples of the class C_k from the other examples, it has one output $z_k(X)$ to indicate

whether the example X belongs to the class C_k or not. All these networks are trained with the whole of examples, the training data are the same but the desired outputs are different.

As in [13][14], we use a simple that assigns the presented example to the class that has the largest value.

B. One-against-one method

This approach, also known as pairwise method [17][19] or round robin method [15], is based on the classification of the examples belonging at each class from the examples of every one of the others classes. Thus, the OAO modeling transforms a K -class problem into $K(K-1)/2$ sub-problems [15][17][19]. The classification using a system of multiple neural networks modeled with OAO is realized using $K(K-1)/2$ binary neural networks Net_{ij} , $i = 1 \dots K-1$, $j = i+1 \dots K$. Every network Net_{ij} is trained to classify examples of the class C_i from those of C_j , it has one output $z_{ij}(X)$ to indicate whether the example X belongs to the class C_i or C_j . Only the examples of these two classes are used for the training.

To classify a new example, the decision function of the system is formulated using outputs of all networks. A common way to combine these pairwise decisions is by voting; the class that wins the most comparisons is the winner. Several extensions of this method were proposed, among which the method reported in [13] that considers a confidence value for every presented example:

$$F(X) = \arg \max_i \left\{ \prod_{i=1}^K \left(\sum_{j=i+1}^K z_{ij}(X) + \sum_{j=1}^{i-1} (1 - z_{ji}(X)) \right) \right\} \quad (1)$$

Where $z_{ij}(X)$ is the confidence value of X belonging to C_i and $(1 - z_{ji}(X))$ is the confidence value of X belonging to C_j .

III. THE LABELED CLASSIFICATION

The labeled classification is a classification method aiming to overcome the problems of the back-propagation by avoiding the neurons saturation [2][3]. This one represents an important reason of the BP slowness [10][11][12]. The basic idea of the labeled classification is to make the training example linearly separable by adding an extra feature (labels) to all training examples, and carrying out test with these labels to classify every new example.

The training in the labeled classification can be realized using either a simple mode or a full mode. In the first mode, one label is added to every example and the training is performed by minimizing the errors between the target and the classifier output obtained with the additional label. However, the second mode minimizes the errors between the target and the calculated outputs obtained using each label. In this mode, the used classifier is simulated and updated using all labels at the presentation of each training example. The cost functions corresponding to these two modes are:

$$E_{Simple} = \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K \left(t_k^{(q)} - z_k(X^{(q)}, L_i) \right)^2 \quad (2)$$

$$E_{Full} = \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K \left\{ \sum_{i=1}^K \left(t_i^{(q)} - z_k(X^{(q)}, L_i) \right)^2 \right\} \quad (3)$$

The procedure of the labeled classification is more detailed in [2].

IV. THE LABELED SYSTEMS OF MULTIPLE NEURAL NETWORKS

The decomposition of a multi-class problem into several sub-problems aims simplifying this problem for the reason that K -class classification rule tends to be easier to learn for $K=2$ than for $K \geq 2$ [19]. However, even if the problem is decomposed, it is not easy to solve some parts. This problem was discussed in [16]. When a sub-problem is still hard to learn, the authors suggest dividing it even more into smaller parts. They proposed two decomposition approaches. The first one is realized by random divining while the second is based on the relation between classes. The labeled systems also takes account the complexity of each sub-problem, they incorporate two types of networks: usual MLPs destined to solve simple sub-problems and reinforced MLPs designed to solve the complicated parts. The proposed reinforcement is inspired from the principle of the labeled classification, it consists of adding labels to the corresponding training examples in such away to make the training examples linearly separable. Fig. 1 shows a system of three networks, on which the second is labeled. In this system, every network is trained independently while the final decision is performed according to the outputs of all networks.

A. The labeled based-OAA system

In the classification using a system of neural networks modeled using OAA, every network Net_k is trained to classify examples of the class C_k from the other examples. In the labeled systems, the proposed modification of the network Net_k is based on the use of two labels (L_1 and L_2). It consists of addition L_1 to the training examples belonging to the class

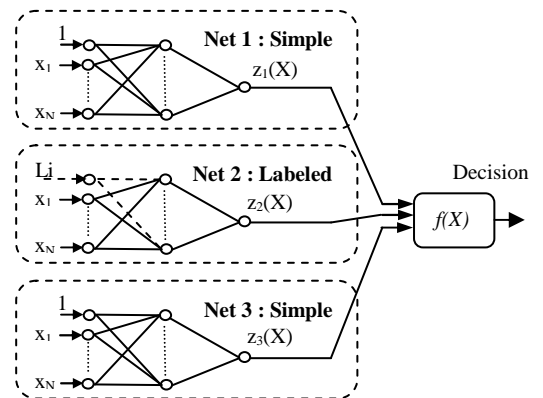


Fig. 1. Labeled system of multiple neural networks on which the second is labeled

C_k and adding L_2 to the remaining examples.

To classify a new example X , the responses of all networks should be determined. The outputs of the labeled networks are calculated using the labels L_1 and L_2 . These outputs ($z_k(X, L_1)$ and $z_k(X, L_2)$) can be considered as the posterior probabilities. In [1], it was defined:

$$P_1(C_k/X) = z_k(X, L_1), P_2(C_k/X) = z_k(X, L_2) \quad (4)$$

as the probability that X belongs to C_k given the label L_1 and the probability that X belongs to C_k given L_2 respectively. For every labeled network, the average of these two probabilities is used in combination with the outputs of the other networks for producing the final system decision. The final decision rule is given as follow:

$$F(X) = \arg \max \{y_k(X), k = 1 \dots K\} \quad (5)$$

Where:

$$y_k = \begin{cases} z_k(X) & \text{If } Net_K \text{ est simple} \\ \frac{z_k(X, L_1) + z_k(X, L_2)}{2} & \text{If } Net_K \text{ est étiqueté} \end{cases}$$

B. Choice of labels

The choice of labels values is extremely important in the process of the labeled classification because they influence directly the classification performances. In [2] it was suggested choosing values around 0.5 with a small difference

(δ) between them. In [1] the proposed reinforcement, in the labeled systems of multiple neural networks, requires only two labels for both decomposition methods: OAA and OAO. Therefore, we use two labels: $L_1 = 0.5 - \delta/2$ and $L_2 = 0.5 + \delta/2$.

C. Classification example using a labeled OAA-based system

To evaluate the labeled system based on OAA modeling, consider the 3-class classification problem of Fig. 2. In this example the third class (C_3) is linearly separable from the other classes, but (C_1 and C_2) are not linearly separable. In the OAA modeling, three networks are employed.

We use networks with 2 input neurons, 4 hidden neurons and 1 output neuron. The third one has the simplest task, it is trained to separate class C_3 from C_1 and C_2 . It permits obtaining a classification rate equal to 100% after a few iterations (less than 20 iterations), but the first and second networks generally cannot do it even if they are trained for a large number of iterations. Fig. 2 shows the results of the first network for two different executions. The evolution of the error is presented in Fig. 2.a and the decision boundaries are presented in Fig. 2.b and Fig. 2.c. The first execution constitutes an example of situations when the MLP can resolve this problem and the second execution corresponds to case when the MLP fails. In the same way Fig. 3 corresponds to the second network.

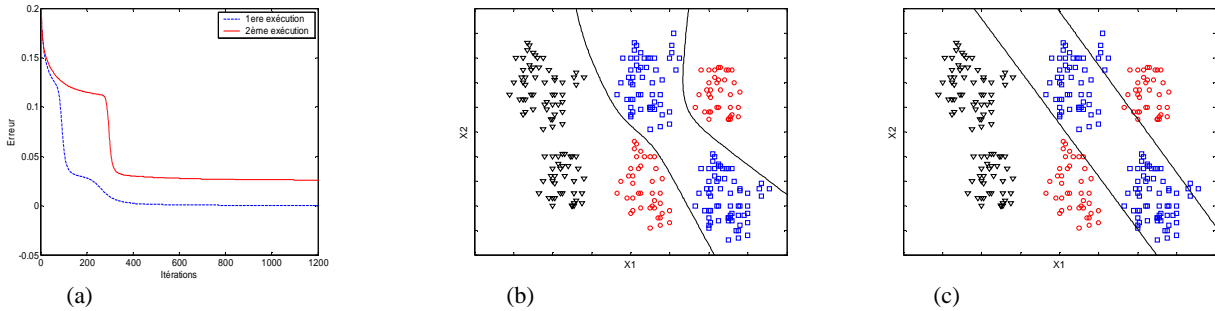


Fig. 2. Response of the first network for two different executions

- (a) Evolution of the error
- (b) Decision boundary for the first execution
- (c) Decision boundary for the second execution

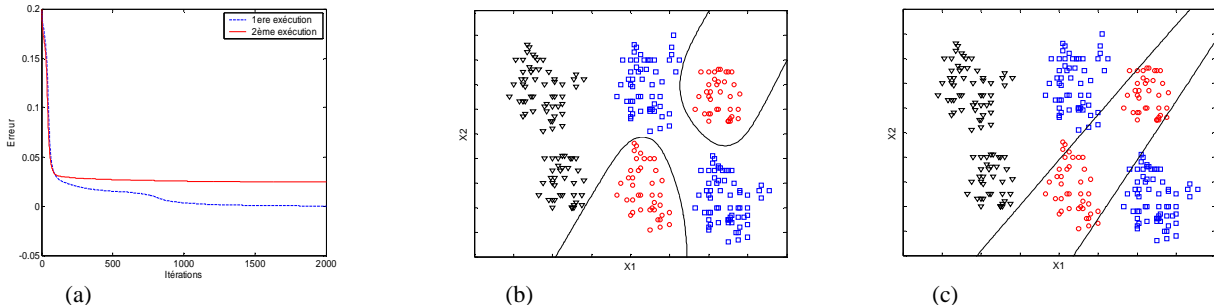


Fig. 3. Response of the second network for two different executions

- (a) Evolution of the error
- (b) Decision boundary for the first execution
- (c) Decision boundary for the second execution

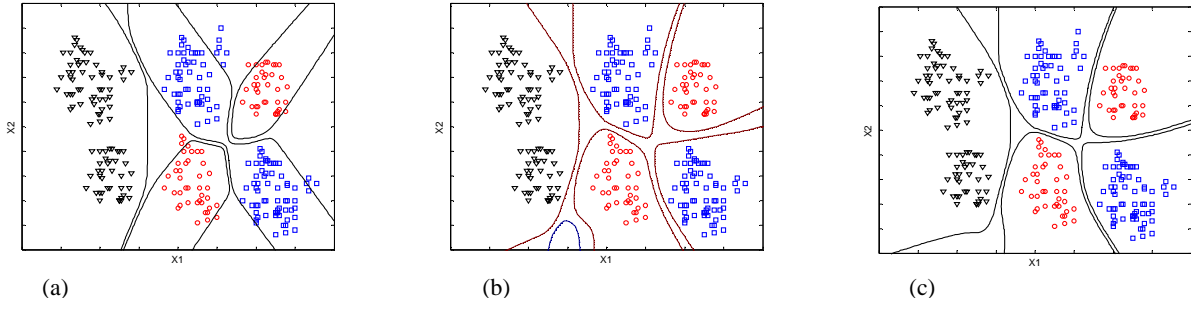


Fig. 4. Decision boundaries generated by the entire systems
 (a) Simple system
 (b) Labeled system (1st mode)
 (c) Labeled system (2nd mode)

Therefore, we use a labeled system on which the reinforcement is applied on the first and the second networks and we consider the cases where these two networks fails to resolve their tasks (2nd executions). Fig 4. shows the decision boundaries generated by the entire systems. Fig. 4.a represents the results obtained using a conventional system, this one fails to classify correctly the examples of this problem. On the other hand, Fig. 4.b and Fig. 4.c illustrate the responses of labeled systems with simple training (mode1) and full training (mode2) respectively. We can note that the labeled classification improves the classification results and permits obtaining high capacities of generalization.

D. The labeled based-OAO system

In systems of multiple neural networks modeled using OAO, every network Net_{ij} is trained to classify examples of class C_i against those of C_j . Within the labeled systems, the proposed reinforcement requires also the use of two labels (L_1 and L_2). The training of a labeled network Net_{ij} is performed after the addition of L_1 to the training examples of C_i and adding L_2 to the examples of C_j .

As in the OAA method, the classification of the test examples is given by combining the outputs of all networks. The outputs of the labeled networks are calculated using L_1 and L_2 . The following probabilities were defined in [1]:

$$P_1(C_i/X) = z_{ij}(X, L_1), P_1(C_j/X) = 1 - P_1(C_i/X) \quad (6a)$$

$$P_2(C_i/X) = z_{ij}(X, L_1), P_2(C_j/X) = 1 - P_2(C_i/X) \quad (6b)$$

Where $P_k(C_i/X)$ is the probability that X belongs to C_i given the label L_k . For each class, the average of both corresponding probabilities is introduced in the final system decision as follow:

$$F(X) = \arg \max_i \left\{ \prod_{j=1}^K \left(\sum_{i=1}^K y_{ij}(X) + \sum_{j=1}^{i-1} (1 - y_{ji}(X)) \right) \right\} \quad (7)$$

Where:

$$y_{ij} = \begin{cases} z_{ij}(X) & \text{If } Net_{ij} \text{ est simple} \\ \frac{z_{ij}(X, L_1) + z_{ij}(X, L_2)}{2} & \text{If } Net_{ij} \text{ est étiqueté} \end{cases}$$

E. Classification example using a labeled OAA-based system

To evaluate the labeled system based on OAO modeling, consider also the 3-class classification problem of Fig. 2. In the OAO modeling, three networks are also employed. We use networks with 2 input neurons, 4 hidden neurons and 1 output neuron. The second network is trained to separate C_1 from C_3 and the third network to classify C_2 against C_3 . These networks permit obtaining a classification rate equal to 100% after only some iteration (less than 10 iterations). On the other hand the first network, destined to classify C_1

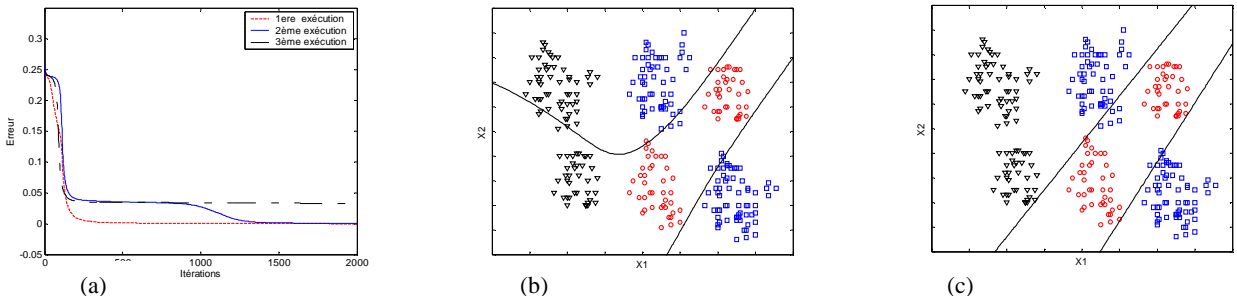


Fig. 5. Results of the first network
 (a) Evolution of the error
 (b) Decision boundary for the second execution
 (c) Decision boundary for the third execution

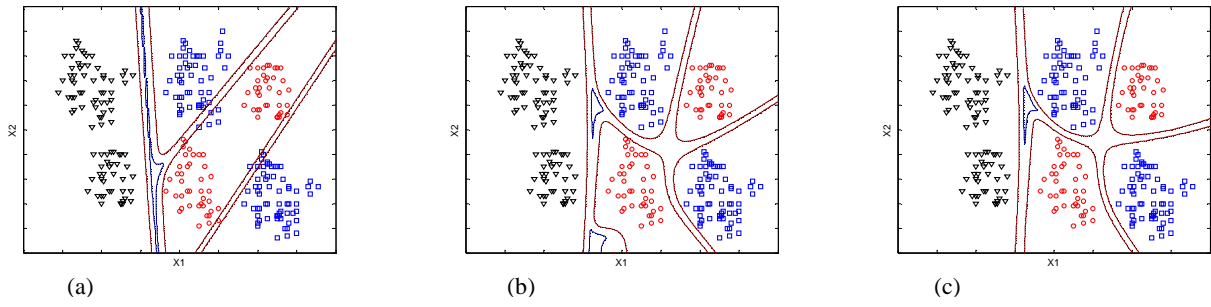


Fig. 6. Decision boundaries generated by the entire systems with the second execution

- (a) Simple system
- (b) Labeled system (1st mode)
- (c) Labeled system (2nd mode)

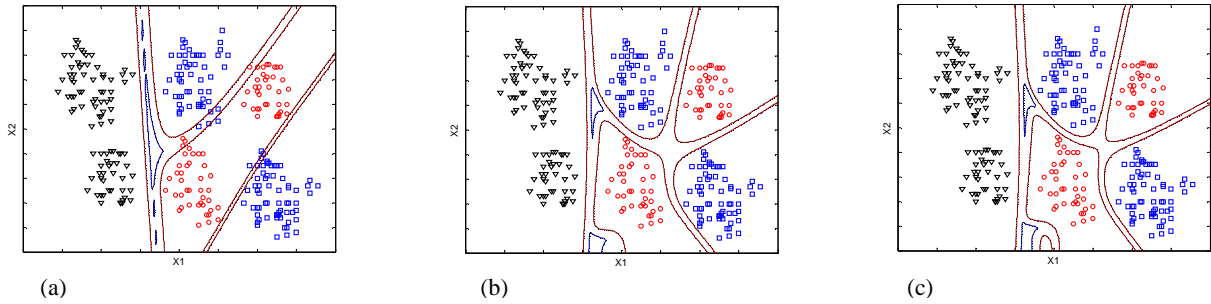


Fig. 7. Decision boundaries generated by the entire systems with the third execution

- (a) Simple system
- (b) Labeled system (1st mode)
- (c) Labeled system (2nd mode)

against C_2 , have the complicated part. It generally cannot solve this sub-problem it even if it is trained for a very large number of iterations. Fig. 5 shows the results of this network for three different executions. The evolution of the error is presented in Fig. 5.a and the decision boundaries are presented in Fig. 5.b and Fig. 5.c. The first execution constitutes an example of situations in which the MLP can resolve this problem but the second and the third execution correspond to the cases where the MLP fails. In fact, when the MLP enter in the saturation region it makes a large number of iteration to escape (second execution) or escape may never be realized (third execution).

Therefore, we use a labeled system on which the first network is labeled and we treat the cases when the first MLP cannot resolve its sub-problem. Fig. 6. and Fig.7 show the decision boundaries generated by the entire system. Fig. 6.a represents the boundaries of the conventional system for the second execution. Fig.6.b and Fig. 6.c corresponds to labeled systems with simple training (model1) and full training (mode2) respectively. In the same way, Fig. 7 corresponds to the third execution. As in OAA modeling, we can note that the labeled classification improves the classification results and permits also obtaining high capacities of generalization.

V. HUMAN THIGH DATABASE CLASSIFICATION

This database contains 1200 examples belonging to 4 classes (grease, bone, marrow and muscle). Each class is represented

by 300 pixels. These components were obtained after a manual classification of a human thigh image (Fig.8) acquired by cryosection color photography. This image was obtained from "the National Library of Medicine". The addition of components X and Y (to locate geometrical position of a pixel and to take account of its vicinity) improves the classification performances, thus every pixel is represented by five components.

To evaluate generalization capacities of the analyzed models, we use a cross validation of order 4. Four datasets are obtained; each one contains 900 training examples and 300 test examples. Therefore, we divide the database into 4 subsets and we use one subset to test the performance of the system trained on the union of the remaining 3 subsets. This

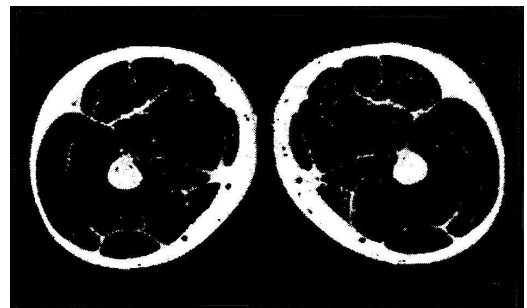


Fig. 8. Image of human thigh cryosection

procedure is repeated 4 times and the final result is given by the average of the 4 datasets.

The classification of this database using OAA modeling requires 4 networks while in the OAO modeling it requires 6 networks. We use networks with 5 input neurons, 8 hidden neurons and 4 at the output for the both cases. In this database, it is very difficult to separate examples of class 1 from those of class 2. In the OAA method, the third network separate very well examples of class 3 from the other examples. The fourth network separate also easily examples of class 4 from the others. These two networks permit classifying the entire training example after less than 50 iterations while the first and the second cannot do it even if they are trained for a large number of iterations. Therefore, we use a system containing two labeled networks corresponding to these two sub-problems.

In OAO method, we use a labeled network only for the first sub-problem (i.e. separating the examples of the class 1 from those of class 2). Table 1 summarizes the classification results, it represents the average of the four datasets obtained using the cross validation.

TABLE I
RESULTS OF THE HUMAN THIGH DATABASE CLASSIFICATION

Method		Train. rate (%)	Test rate (%)
OAA 4 nets	Simple system	97.88	97.58
	Labeled system (2 labeled nets)	mode 1	99.38
		mode 2	99.58
			98.42
OAO 6 nets	Simple system	99.28	98.75
	Labeled system (1 labeled net)	mode 1	99.38
		mode 2	99.44
			98.83

We can note from Table 3 that the classification performances, using both OAA and OAO modeling, are improved especially in the case of the first one. In the other hand, it is clear that OAO modeling permits obtaining better results comparing to the OAA modeling but it requires more networks. The labeled systems improve considerably the performances of the OAA modeling and it is possible to obtain, with fewer networks, similar results as the OAO modeling.

VI. CONCLUSION

In this paper, we have analyzed and evaluated the labeled systems of multiple neural networks which constitute an implementation scheme of multi-class classification problem. They take account the complexity of sub-problems attributed to each network and integrate reinforced networks destined to solve the difficult parts. The reinforcement is inspired from the labeled classification and it consists of adding labels to the corresponding training examples. To evaluate these systems, we have carried out tests using a synthetic example and using the human thigh databases. We have analyzed the decision boundaries generated by every network and those generated by the entire systems. We have noted that the labeled classification improves the classification results and

permits also obtaining high capacities of generalization at the level of both singles networks and entire systems.

We have discussed the performances of these systems in one hand using the two training modes of the labeled classification: the simple training and the full training, and in the other hand using OAA and OAO strategies. In fact, OAO modeling provides generally more significant results than OAA method, for example the comparative study presented in [13] indicates that OAO provide better results than OAA in several benchmarks datasets. In this work, we have shown that the use of the labeled system provides performances of OAA and permits obtaining similar results as OAO modeling.

REFERENCES

- [1] M. Nemissi, H. Seridi, and H. Akdag, "The Labeled systems of multiple neural networks," *International Journal of Neural Systems*, vol. 18, pp. 321–330, 2008.
- [2] M. Nemissi, H. Seridi, and H. Akdag, "The labeled classification and its applications," *International journal of computational intelligence*, vol. 4, pp. 322–327, 2007.
- [3] M. Nemissi, H. Seridi, and M. Z. Aissaoui, "Performances evaluation of the labeled neuro-fuzzy classifier," in *Proc. 3ème colloque sur l'optimisation et les systèmes d'information (COSI 07)*, Oran-Algeria, pp. 421–439, 2007.
- [4] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "learning internal representation by error propagation, parallel distributed processing: exploration in the microstructure of cognition," D.E.Rumelhart et J.L.McClelland edition, MIT press Cambridge, (1986) 318–362.
- [5] C. M. Bishop, "Neural networks for pattern recognition," Clarendon press, Oxford, 1995.
- [6] K. Hornik, "Approximation capabilities of multilayer feedforward networks," *Neural Networks*, vol. 4, pp. 251–257, 1991.
- [7] D. W. Ruck, S. K. Rogers, M. Kabrisky, M. E. Oxley and B. W., "Suter The multilayer perceptron as an approximation to a Bayes optimal discriminant function," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 1, pp. 296–298, 1990.
- [8] R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork, "Pattern Classification," 2nd edn., John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [9] K. Funahashi, "Multilayer neural networks and Bayes decision theory," *Neural Networks*, vol. 11, pp. 209–213, 1998.
- [10] C. Looney, "Pattern Recognition Using Neural Networks," Oxford University Press, New York, 1997.
- [11] Y. H. Zweiri, J. F. Whidborne, and L. D. Seneviratne, "Three-term backpropagation algorithm," *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 305–318, 2003.
- [12] J. Vitela and J. Reifman, "Premature Saturation in Backpropagation Networks: Mechanism and Necessary Conditions," *Neural Networks* vol. 10, pp. 721–735, 1997.
- [13] G. Ou and Y. L. Murphey, "Multi-class pattern classification using neural networks," *Pattern recognition*, vol. 40, pp. 4–18, 2007.
- [14] R. Anand, K. Mehrotra, C. K. Mohan and S. Ranka, "Efficient classification for multiclass problem using modular neural networks," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 6, pp. 117–124, 1995.
- [15] J. Fürnkranz, "Round robin classification," *Journal of Machine Learning research*, vol. 2, pp. 721–747, 2002.
- [16] B. L. Lu and M. Ito, "Task Decomposition and Module Combination Based on Class Relations: A Modular Neural Network for Pattern Classification," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 10, pp. 1244–1256, 1999.
- [17] D. Price, S. Knerr, L. Personnaz and G. Dreyfus, "Pairwise neural network classifier with probabilistic outputs," *Neural Info. Processing systems*, vol. 7, 1994.
- [18] T. F. Wu and R. C. Weng, "Probability Estimates for Multi-class Classification by Pairwise Coupling," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 55, pp. 975–1005, 2004.
- [19] T. Hastie and R. Tibshirani, "Classification by Pairwise Coupling," *Annals of statistics*, vol. 26, pp. 451–471, 1998.

Robust Feature Extraction for Speech Recognition

Mohamed Cherif Amara Korba , Houcine Bourouba , Rafik Djemili , Djemil Messadeg

Abstract— In this article, we proposed a new method to extract features capable of operating at a very low signal-to-noise ratio (SNR) by introduction pre-processing stage to extract robust features in the presence of white gaussian noise (WGN). In this pre-processing stage, the noise robustness is improved by the wavelet packet transform based denoising algorithm to reduce additive white Gaussian noise with soft thresholding procedure and SURE method selection threshold. The next stage of the proposed method is extract feature; it is performed by the use of Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs). The Hidden Markov Model Toolkit (HTK) was used throughout our experiments. Comparison of the proposed approach with the MFCC-based conventional (baseline) feature extraction method shows that the proposed method improves recognition accuracy rate by 3 to 16% for SNR range of 20 to -5dB.

Index Terms— Automatic speech recognition, wavelet based denoising, wavelet packet decomposition, Thresholding algorithm, noise robust speech parametrization.

I. INTRODUCTION

Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) have been the most widely used speech features for speech recognition since Davis and Mermelstein [1]. they were adopted in many popular speech recognition systems. However, it is well-known that MFCC is not robust enough in noisy environments, especially at low SNR.

To overcome this drawback, we propose a new pre-processing stage before the feature extraction. This pre-processing stage uses wavelet based denoising to clean the noisy signal. Soft thresholding scheme is implemented for denoising the speech signal.

Wavelet transform has been increasingly applied in speech recognition [2],[3], largely due to its ability to produce features that contains information of narrow and wide bands without assuming a stationary signal. It can provide local information of speech features that might be useful for speech recognition. The localising property of the wavelet aids thresholding the wavelet coefficients, which helps to separate the signal from noise [5].

Wavelet based denoising has been found to give a nearly optimal estimation of the piecewise smooth signal that has been corrupted by noise [4], [5].

Manuscript received October 09, 2011. Robust Feature Extraction for Speech Recognition. M C Amara Korba, H Bourouba, R Djemili, D Messadeg.

Mohamed Cherif Amara Korba is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria (+213 551 45 44 98 and amara_korba_cherif@yahoo.fr).

Houcine Bourouba is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria.

In the traditional Fourier-based signal processing, the out-of-band noise can be removed by applying a linear time-invariant filtering approach; however, it cannot be removed from the portions where it overlaps the signal spectrum. The denoising technique used in wavelet analysis is based on the assumption that the amplitude rather than the location of the spectrum of the signal is different from the noise [6].

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 introduces a block diagram of proposed noise robust feature (PNRF) extraction algorithm and provides detailed description of each constituting part. Section 3 shows a graphical comparison between different features. Section 4 evaluates the performance of the proposed system under a different level of white Gaussian noise conditions. The conclusion is presented in Section 5.

II. DESCRIPTION OF PROPOSED FEATURE EXTRACTION ALGORITHM

Figure1 presents a block diagram of proposed noise robust feature extraction algorithm. Noisy input speech is sampled at $F_s = 11025$ Hz and segment into frames of length $L = 275$ samples (25 ms) with frame shift interval of $S = 110$ samples (10 ms). There is no need to apply classical windowing operation in the wavelet packet decomposition (WPD) scheme.

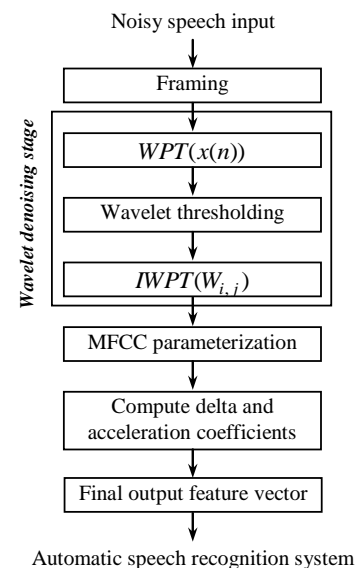


Figure 1. Block diagram of proposed noise robust feature extraction algorithm.

A. Wavelet Packet Decomposition

A noisy speech signal can be modeled as $x(n) = s(n) + w(n)$, where $x(n)$, $s(n)$, and $w(n)$ represent noisy speech, clean speech, and corrupting background noise, respectively. The noisy signal is first decomposed by wavelet packet transform into time-frequency wavelet coefficients of multiple subbands.

The sampling rate is 11025 Hz, yielding a speech bandwidth of 5.512 KHz. there are approximately 32 sub-bands at the last level of decomposition tree, which are derived from the Daubechies wavelet 8 (db8) and the decomposition is implemented by an efficient 5 level tree structure, the corresponding WPT decomposition tree can be constructed as depicted in Figure 2. The set of wavelet expansion coefficients is generated from

$$\{w_{j,i}(k)\} = WPT(x(n)) \quad (1)$$

Where $n=1, 2, \dots, L$ (L is the length of frame as mentioned above $L=275$ samples).

$j=0, 1, 2, \dots, 5$ (j : number of levels (five levels)).

$i=1, 2, \dots, (2^j - 1)$ (i : denotes index of subbands in each level j).

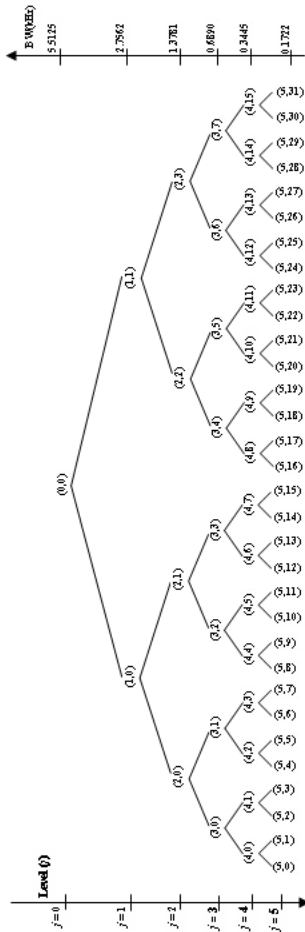


Figure 2. Five levels wavelet packet tree structure

B. Wavelet Denoising Procedure

Denoising by wavelet is performed by thresholding algorithm, in which coefficients smaller than a specific value, or threshold, will be shrunk or scaled [5],[8]. There are many algorithms for obtaining threshold value.

In this study, threshold is obtained by WP coefficients using SURE method.

C. Threshold Value

There are many formulas for obtaining threshold value. In this sub-section we review SURE method. In all these formulas λ is the threshold value.

SURE or stein unbiased risk introduced by Donoho and Johnstone as

$$\lambda = \frac{\sigma^2}{2^J} + \frac{\sigma^2}{n} \sum_{j=1}^J \sum_k S_{\lambda_j} \left(\frac{d_{j,k}}{\sigma} \right) \quad (2)$$

In this formula n is number of signal samples, J is number of levels in wavelet decomposition, k is number of samples in the level and σ is the standard deviation of noise. $S_{\lambda}(x)$, which is determined with due attention to $\delta_{\lambda}(x)$, must be such that:

$$E\{S_{\lambda}(x)\} = R_{\lambda}(\theta) = E\{\delta_{\lambda}(x) - \theta\}^2 \quad (3)$$

Note that $x = N(\theta, 1)$. The details of this method can be found in [7],[9].

C.1. Thresholding Algorithms

In this subsection, we review the most used thresholding algorithms, both hard and soft thresholding techniques proposed in [5] can be implemented to denoising speech signal.

a) Hard Thresholding

Hard thresholding is similar to setting the components of the noise subspace to zero. Donoho and Johnstone used it in [11] for wavelet thresholding as:

$$\delta_{\lambda}^H(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \lambda \\ x & |x| > \lambda \end{cases} \quad (4)$$

in this thresholding algorithm, the wavelet coefficients x less than the threshold λ will be replaced with zero. As figure 3 (b).

b) Soft Thresholding

In which, thresholding algorithm is defined as follow [11] (see figure 3 (c)):

$$\delta_{\lambda}^s(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \lambda \\ \text{sign}(x)(|x| - \lambda) & |x| > \lambda \end{cases} \quad (5)$$

which can be viewed as setting the components of the noise subspace to zero, and performing a magnitude subtraction in the speech plus noise subspace.

In our experiments we use soft thresholding procedure because it is near optimal for the signals corrupted by additive white Gaussian noise.

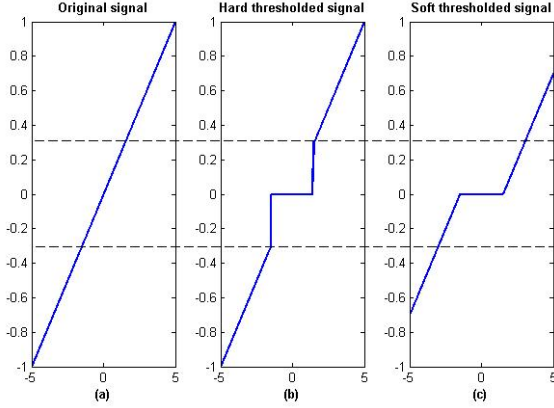


Figure 3. Characteristic of soft and hard thresholding technique.

C) Mel Frequency Cepstral Coefficients

On using the *IWPT*, we obtained the denoised speech signal $\tilde{x}(n)$ and we compute the MFCC features which are computed in the following four steps:

1. Compute the fast Fourier transform (FFT) spectrum of $x(n)$, denoted by $X(k)$.
2. Compute the power spectrum $|X(k)|^2$.
3. Apply a Mel-frequency filter-bank to $|X(k)|^2$ to get filter-bank energies (FBEs).
4. Compute DCT of log FBEs to get the MFCCs.

In all our experiments, the performances of ASR system are enhanced by adding time derivatives and log energy to the basic static parameters for different features. The delta coefficients are computed using the following regression formula

$$d_t = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} \theta(c_{\theta+1} - c_{\theta-1})}{2 \sum_{\theta=1}^{\Theta} \theta^2} \quad (6)$$

Where d_t is the delta coefficient computed in terms of the corresponding static coefficients $c_{t-\Theta}$ to $c_{t+\Theta}$. The same formula is applied to the delta to obtain acceleration coefficients.

III. GRAPHICAL COMPARISON BETWEEN THE PNFR FEATURES AND MFCC FEATURES

Figure 4 shows a sample comparison between PNFR and corresponding MFCC features for *Arabic digit one* obtained before DCT operation for different SNR levels. As standard in MFCC, a window size of 25 ms with an overlap of 10 ms was chosen, and cepstral features were obtained from DCT of log-energy over 24 Mel-scale filter banks. The degradation of spectral features for MFCC in the presence of white noise is evident, whereas PNFR features prevail at elevated noise levels. We can see clearly that PNFR is better noise robustness than MFCC features.

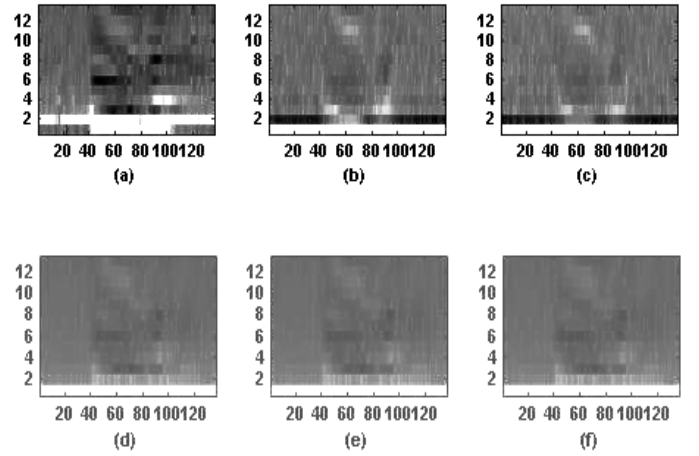


Figure 4. MFCC features (a)-(c) and PNFR features (d)-(f) for Arabic digit one, under different SNR conditions (clean, 10 dB and 0 dB).

IV. EXPERIMENT AND RESULTS

Isolated digit recognition experiments were performed using the Arabic digit corpus database from the national laboratory of automatic and signals of University of Badji-Mokhtar Annaba Algeria, which were designed to evaluate the performance of automatic speech algorithms.

This database contains 90 speakers: 46 male and 44 female, each speaker repeats each Arabic digit (0-9) 10 times. The leading and trailing silence is removed from each utterance. All samples are stored in Microsoft wave format files with 11025Hz sampling rate, 16 bit PCM, and mono-channels.

In our experiments, we have used 20 speakers (10 male and 10 female) to evaluate the performance of ASR, training is performed on clean speech utterances, testing data, which is different from the training data, is corrupted by Gaussian white noises added at different SNRs. Six SNR levels, including -5, 0, 5, 10, 15 and 20dB, are used to evaluate the performance of a speech recognizer system.

There are 10 utterance of each digit (0-9) from each speaker (20 speakers): 7 of the utterance are for training and 3

remaining are for testing, what gives 1050 utterances for clean training and 450 utterances were used for testing the system. We measured the robustness by comparing the word accuracies obtained with the proposed method and baseline feature parameters. As a baseline, the recognition system was developed using MFCC features comprising of 12 cepstral coefficients (0^{th} coefficient is not used), log energy, delta and accelerator coefficients, totally 39 coefficients.

In the calculation of all the features, the speech signal was analyzed every 10ms with a frame width of 25ms multiplied with hamming window, except proposed feature there is no need to apply Hamming window. The Mel filter bank was designed with 24 frequency bands in the range from 0 Hz to 5.51 kHz.

A recognition system was developed using the Hidden Markov Toolkit (HTK) [10], implementing a 15 state left-to-right transition model for each digit where the probability distribution on each state was modeled as a three mixture Gaussian.

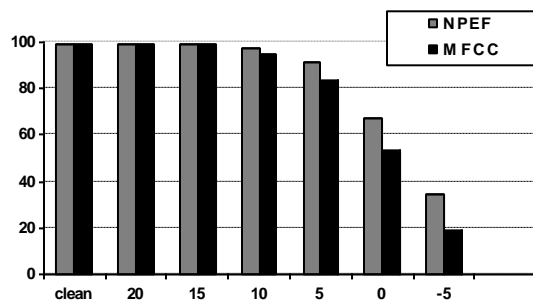


Figure 5. Digit recognition accuracy for different features

From the results we may draw the following conclusions:

- 1) For clean speech and at SNR between 15 and 20dB, MFCCs provides same performance than the PNRF features.
- 2) At SNR between -5 and 10dB the PNRF features obtain better performance than the MFCC which indicate that the thresholding procedure reduces efficiently the level of additive white noise in the input speech signal. The soft thresholding gives an improvement of ~3% at 10 dB , ~7% at 5 dB and ~16% in the 0 to -5 dB range

V. CONCLUSION

In this paper we presented a novel speech feature extraction procedure robust to noise with different statistics, for deployment with recognition systems operating under different levels of white Gaussian noise. Results showed that proposed noise robust feature (i.e PNRF) gives better performance than

MFCC. The proposed pre-processing stage reduces efficiently the level of additive white noise in the input speech signal.

REFERENCES

- [1] S. B. Davis and P. Mermelstein, "Comparision of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 28, no. 4, 1980
- [2] Favero, R.F, King R. W. "Wavelet parameterization for speech recognition" ICSPAT Vol. 2 pp. 1444-1449 1993.
- [3] Kaisheng Y., Zhigang C. "A wavelet filter optimization algorithm for speech recognition" ICCT Vol. 2 pp.5 1998.
- [4] S. Mallat, "A wavelet tour of signal processing", Academic Press, San Diego, CA, USA, 1998
- [5] D. L. Donoho, "De-noising by Soft-thresholding", IEEE Trans. Inform Theory, Vol. 41, No. 3, pp. 613-627, May 1995.
- [6] O. Farooq and S. Datta, "Wavelet-based denoising for robust feature extraction for speech recognition".
- [7] Donoho DL, Johnstone IM. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage. J Am Statist Assoc 1995;90:1200–24.
- [8] M. Jansen, 2001, Noise reduction by wavelet thresholding. New York: Springer-Verlag.
- [9] Gao HY, Bruce AG. WaveShrink with firm shrinkage. Statistica Sinica 1997;7:855–74.
- [10] S. Young, 2001, The HTK Book, Cambridge University Engineering epartment, Cambridge, UK.
- [11] Donoho DL, Johnstone IM. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage. Biometrika 1995;81(3):425–55.

Stimulation Magnétique d'un Axone d'un Nerf Périphérique à l'aide d'une Nouvelle Bobine

M. Behih¹, R. E. Bekka², A. Annou¹, M. Djebbari¹

Résumé— l'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des ondes électromagnétique en régime quasi-statique sur les tissus biologiques neuronaux. Un champ magnétique variable dans le temps crée par des bobines est utilisé pour faire une stimulation magnétique d'un axone d'un nerf périphérique. Pour calculer le potentiel d'action de cet axone, on utilise une équation de câble. L'utilisation des bobines de forme circulaire avec différentes géométries est discutée. L'effet de l'emplacement de ces bobines par rapport l'axone sur l'intensité du champ électrique induit dans l'axone et sur le potentiel d'action est calculé et simulé. Pour augmenter l'intensité du potentiel d'action, on va proposer une nouvelle géométrie de la bobine de la stimulation et on compare son efficacité par rapport les autres bobines.

Mots clés— quasi-statique, nerf, axone, champ électrique, potentiel d'action.

I. INTRODUCTION

Les impulsions nerveuses sont transmises dans le corps humain par le système nerveux qui inclut le cerveau, la moelle épinière, les nerfs périphériques, les ganglions et les récepteurs synaptiques. Un nerf périphérique est constitué de plusieurs neurones reliés par ces axones [1].

La propagation de l'impulsion nerveuse le long de l'axone est associée avec un champ électrique et aussi le mouvement des ions vers l'intérieur et vers l'extérieur de cet axone. Ce champ électrique est appelé le potentiel d'action, le potentiel d'action typique possède d'une phase avancée de dépolarisation dont la valeur maximale est de 40 mV. Pour permettre au flux nerveuse de continuer la propagation le long de l'axone, le potentiel d'action doit répolariser cet axone juste après la phase avancée. Pour dépolariser l'axone, le potentiel de repos (-70 mV) dans l'intérieur de l'axone doit passer à -60 mV (au moins), ce qui permet de déclencher les phases de la dépolarisation ensuite de la répolarisation du potentiel d'action [1]. Ce potentiel d'action induit extérieurement un potentiel transmembranaire que l'on peut mesurer sur le membranaire de l'axone.

Pour dépolariser artificiellement l'axone, on utilise soit la stimulation électrique fonctionnelle (FES) qui est basé sur l'utilisation des électrodes enfoncés dans les tissus biologiques ou, on utilise la stimulation magnétique à l'aide champ magnétique variable dans le temps induit extérieurement [2].

L'avantage de la stimulation magnétique est que ce type se fait avec moins douleurs sur le patient et il ne nécessite pas un contact direct entre un circuit électrique de stimulation et les tissus biologiques. Elle est aussi utilisée dans la biocompatibilité, la biorésistance, et la biotoxicité [2], [3].

L'une des applications importantes de l'excitation externe des tissus neuronaux est la stimulation magnétique transcraniene (TMS). La stimulation magnétique externe est aussi utilisée comme une méthode alternative de la stimulation électrique fonctionnelle (FES) pour le traitement qui produit des douleurs, l'évaluation de la fonction vertébrale, et comme un outil diagnostique pour l'évaluation des endommages nerveuses [3].

Le grand problème rencontré dans les deux types de stimulation (électrique et magnétique) est réside dans l'intensité de la stimulation et sa localisation (centralisation) dans des points bien précises.

Dans ce travail, on va utiliser la stimulation magnétique à l'aide d'une nouvelle géométrie de la bobine de stimulation pour exciter un axone d'un nerf périphérique et par conséquent produire artificiellement un potentiel d'action, on calcul analytiquement le champ électrique induit dans cet axone, le potentiel transmembranaire induit extérieurement, et on compare les performances de cette nouvelle géométrie avec les autres bobines.

II. PRINCIPE DE LA STIMULATION MAGNÉTIQUE

La stimulation magnétique est produite par la circulation d'un courant variable dans le temps dans une bobine qui génère un champ magnétique, ce champ magnétique induit un champ électrique à l'intérieur des tissus biologiques [2] comme il est montré dans la figure 1. Le champ magnétique peut pénétrer son atténuation à travers les tissus non conductifs puisque la perméabilité des tissus biologiques dans les bases fréquences (<50 kHz) est Presque l'unité [2], [3].

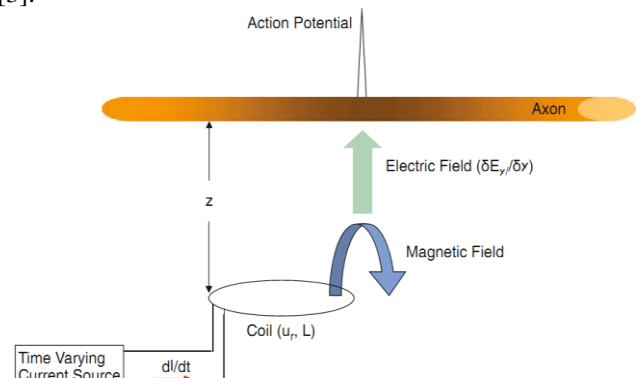


Figure 1: Le principe de la stimulation magnétique d'un axone d'un nerf périphérique.

M. Behih¹, R. E. Bekka², A. Annou¹, M. Djebbari¹

¹Laboratoire de Systèmes Électroniques & Télécommunications, Département d'Électronique, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie

²Département d'Électronique, Université Ferhat Abbas de Sétif, Algérie.

E-mail: beh_moh16@yahoo.fr

Dans le model représenté dans la figure 2, le générateur du flux magnétique est un circuit RLC [2], [4], [3]. La source de la tension V_0 est utilisée pour charger le condensateur C quand l'interrupteur K est dans la position 1. Pour décharger ce condensateur C dans la bobine L à travers la résistance R , on bascule l'interrupteur K vers la deuxième position.

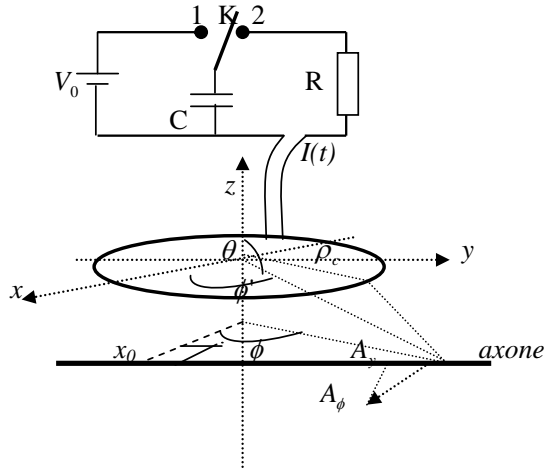


Figure 2: La représentation géométrique de la stimulation magnétique d'un axone.

L'axone stimulé est en parallèle de l'axe Y , il est logé dans la position z_0 dans le dessous de la bobine (La direction Z), et dans la coordonnée x_0 à partir du centre de cette bobine (dans la direction X).

La décharge du condensateur C produit un courant $I(t)$ dans la bobine qui induit un champ électrique dans l'axone. Le gradient de ce champ électrique dans la direction Y (parallèle à l'axone) représente la fonction d'activation montré dans l'équation de câble [2], [4], [5], [6]. Le potentiel transmembranaire induit extérieurement V dans l'axone est calculé à l'aide de l'équation de câble qui elle est donnée par la formule suivante :

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} - V - \alpha \frac{\partial V}{\partial t} = \lambda^2 \frac{\partial E_y}{\partial y} \quad (1)$$

λ : Constante d'espace de l'équation de câble.

α : Constante de temps de l'équation de câble.

$\frac{\partial E_y}{\partial y}$: La fonction d'activation

L'équation (1) est une équation de différences partielles (PDE) du deuxième ordre. La solution de cette équation nous donne le potentiel transmembranaire induit extérieurement V dans l'axone.

La bobine montrée dans la figure 2 représente une géométrie simple pour la stimulation magnétique en utilisant la forme circulaire. Les autres géométries de la bobine de la stimulation magnétique utilisées dans ce travail sont données dans la figure 3.

La bobine C8 a été utilisée par les chercheurs pour étudier la stimulation magnétique des nerfs périphériques [7], [8], [6], [9], ou la TMS [10].

La bobine Slinky5 [5], [11], [12], [9] représente une forme très concentrées ce qui la possibilité de produire une stimulation intense.

La nouvelle géométrie proposée dans ce travail qu'il est une géométrie circulaire contient 05 cercles concentriques (la bobine CC5) dans le point où on veut augmenter l'intensité de la stimulation et aussi la centraliser.

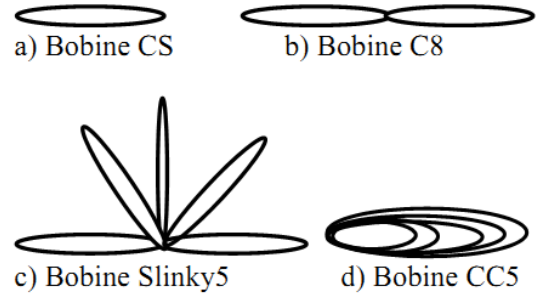


Figure 3 : Bobines de la stimulation magnétique.

III. CALCUL DU CHAMP ÉLECTRIQUE

Selon les principes de l'électromagnétique, la longueur d'onde d'un champ électromagnétique, l'effet de la peau, et la capacitance d'un corps vivant peut être ignorés dans le cas du calcul du champ électrique (dans les tissus vivants) durant la stimulation magnétique dû aux caractéristiques basses fréquences de la stimulation magnétique [13].

Dans les basses fréquences, le champ induit peut être traité comme un champ quasi-statique [13].

Le champ électrique induit dans les tissus peut être calculé en utilisant le potentiel électrique scalaire ϕ et le potentiel

magnétique vecteur \vec{A} [14] comme il est montré par l'équation (2) :

$$\vec{E} = -\Delta\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (2)$$

Le premier terme à droite représente le champ électrique produit par les charges électriques accumulées sur l'axone (champ électrique secondaire) que l'on peut négliger. Le deuxième terme (champ électrique primaire) qui est dû au phénomène d'induction électromagnétique, et par conséquent, l'équation du champ électrique produit par la bobine L devient [4], [14] :

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (3)$$

Le potentiel électrique induit par une bobine circulaire (CS) parcourue par un courant $I(t)$ est donné seulement par la composante azimutale du potentiel magnétique vecteur. Cette composante est donnée par [2], [4] :

$$\vec{A}_\phi(\rho_c, \theta, t) = I(t) \frac{\rho_c \cdot \mu_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\phi') \cdot d\phi'}{\sqrt{\rho_c^2 + \rho^2 - 2 \cdot \rho_c \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\phi')}} \quad (4)$$

A_y est le composant de $\vec{A}_\phi(\rho_c, \theta, t)$ qu'il est en parallèle à l'axe y, sachant que:

$$\begin{cases} A_y = A_\phi(\rho_c, \theta, t) \cdot \cos(\phi) \\ A_x = A_\phi(\rho_c, \theta, t) \cdot \sin(\phi) \end{cases} \quad (5)$$

Le potentiel induit dans la direction parallèle à l'axe E_y est donné par la relation suivante :

$$E_y = \left[-\frac{dI(t)}{dt} \cdot \frac{\rho_c \cdot \mu_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\phi') \cdot d\phi'}{\sqrt{\rho_c^2 + \rho^2 - 2 \cdot \rho_c \cdot \rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\phi')}} \right] [\cos(\phi)] \quad (6)$$

En utilisant l'expression (6), on peut calculer le potentiel induit par les autres bobines : la bobine C8, la bobine slinky5, et la bobine CC5.

Le courant $I(t)$ produit par la décharge du condensateur C dans la bobine est donné par [2], [3], [11], [9], [14] :

$$I(t) = \frac{V_0}{\beta L} e^{(-\beta_1)t} \sin(\beta t) \quad (7)$$

$$\text{Avec : } \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad \beta_1 = \frac{R}{2L}$$

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les performances des bobines de la stimulation magnétique sont données par l'intensité du potentiel d'action et la surface stimulée (le nombre des axones stimulés). La

fonction d'activation $\frac{\partial E_y}{\partial y}$ mentionnée dans l'équation (1)

représente la source du potentiel transmembranaire induit extérieurement. Les deux composantes du le champs électrique (E_x, E_y) sont représentés dans la figure 4 dans le cas de la bobine CS. Le module de ces deux composantes donne la valeur du champ électrique azimuthal E_ϕ .

La figure 5 montre une comparaison entre les champs E_y produits par les différentes bobines.

Les bobines superposées (C8, slinky5, et CC5) donnent des champs électriques très forts par rapport le champ produit par la bobine circulaire CS ce qui permet d'obtenir du potentiel transmembranaire induit extérieurement très intense.

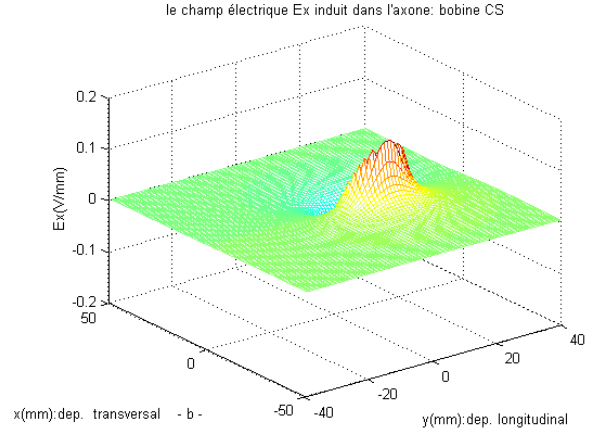
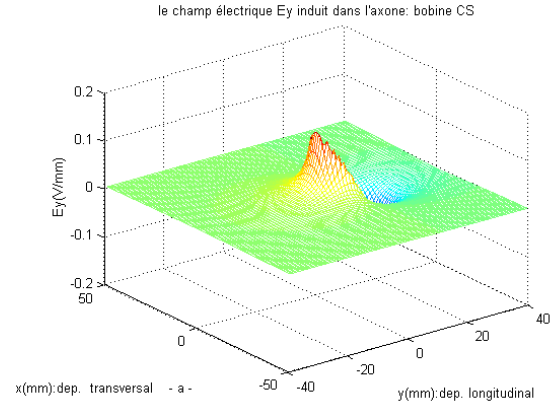
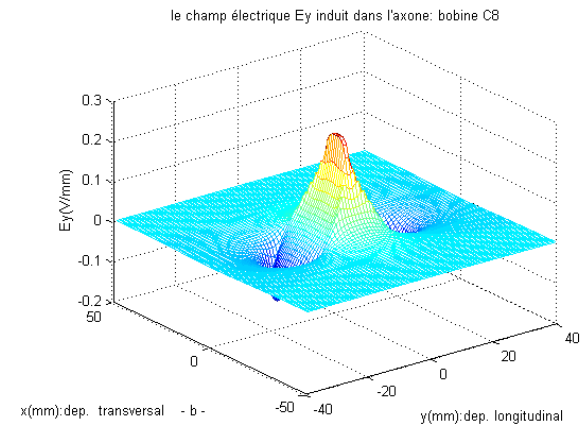
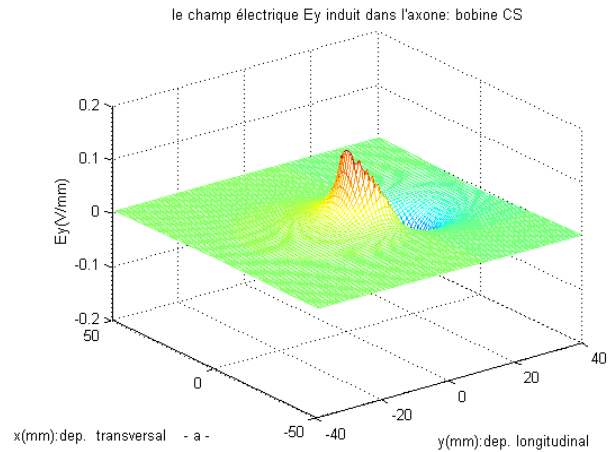


Figure 4: Les champs électriques obtenus en utilisant la bobine CS :
a) E_y , b) E_x .
A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V_0=2000V$; $Z_0=-0.5mm$;
 $\rho_c = 10mm$;



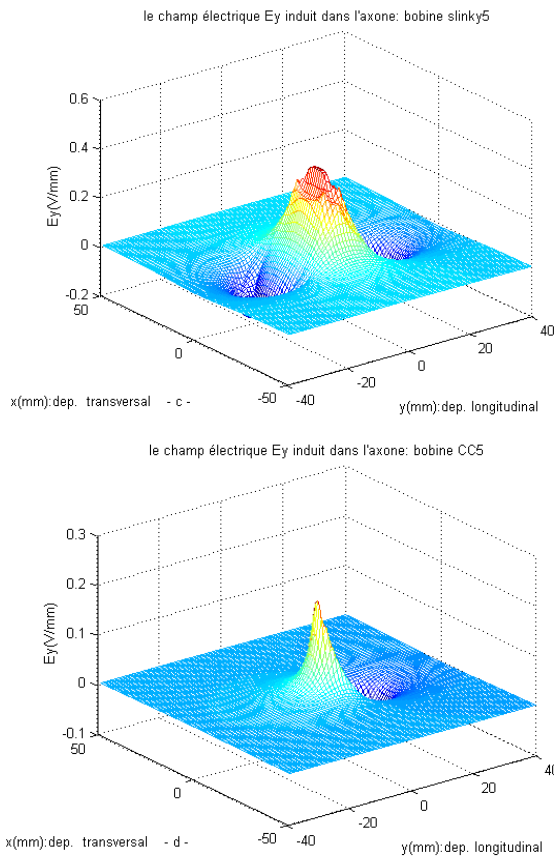


Figure 5 : Les champs électriques obtenus en utilisant les différentes bobines, a, b,c) $\rho_c = 10mm$, d) $\rho_c = 10 : -2 : 2mm$
A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V0=2000V$; $Z0=-0.5mm$;

La bobine CC5 ne permet pas seulement de produire un champ électrique fort comme les autres bobines superposées (C8, et slinky5) mais aussi, elle minimise la surface du champ électrique négatif (figure 6). Ce champ négatif peut induire des effets indésirables de point de vue de la stimulation magnétique tel que l'hyperpolarisation de l'axone et par conséquent l'anesthésier de l'axone.

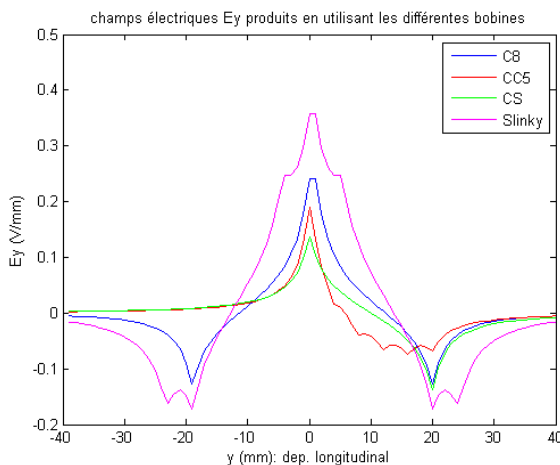
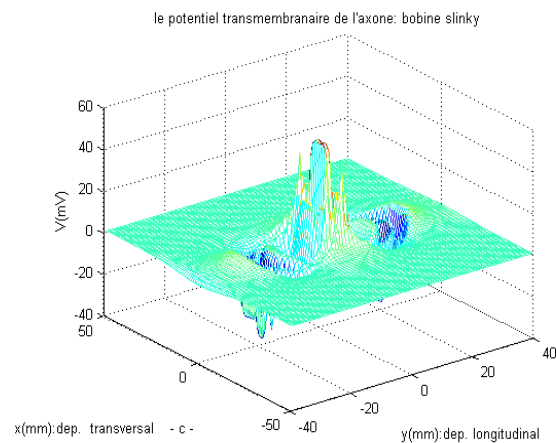
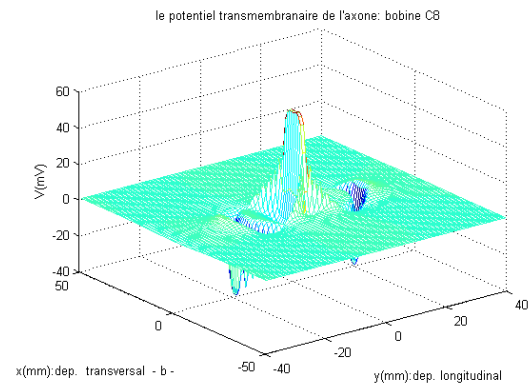
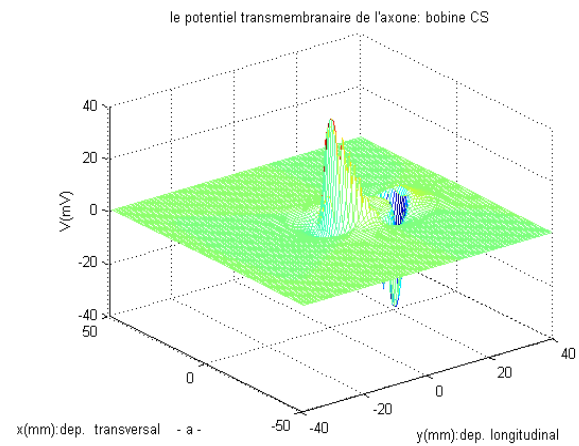


Figure 6 : Comparaison entre les champ électriques produits par les différentes bobines, a, b,c) $\rho_c = 10mm$, d) $\rho_c = 10 : -2 : 2mm$
A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V0=2000V$; $Z0=-0.5mm$; $x=0mm$;

Le rayon des bobines de la stimulation jeu rôle important dans la détermination de la surface stimulé, l'augmentation de ce paramètre élargit la surface stimulée.

Le potentiel transmembranaire induit extérieurement V produit par les différentes bobines est montré dans la figure 7. On peut constater facilement que l'intensité du champ électrique E_y détermine l'amplitude du potentiel transmembranaire. Les bobines superposées (C8, slinky, C8) donnent des potentiels transmembranaires très forts par rapport la bobine simple CS (figure 8).

Les deux bobines : slinky, et CC5 contiennent chacune cinq bobines CS, mais la bobine CC5 a deux avantages considérables : l'intensité du potentiel transmembranaire et la capacité de produire des stimulations très centralisées. Ce dernier point représente l'un des challenges de la stimulation magnétique.



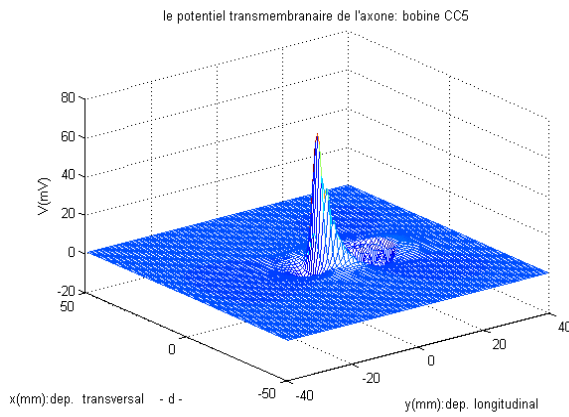


Figure 7 : les potentiels transmembranaires produits par les différentes bobines, a, b,c) $\rho_c = 10mm$, d) $\rho_c = 10 : -2 : 2mm$
A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V_0=2000V$; $Z_0=-0.5mm$;

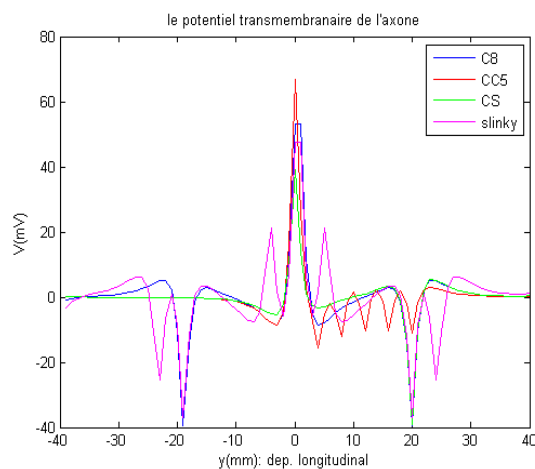


Figure 8 : Comparaison entre les amplitudes des potentiels transmembranaires produits par les différentes bobines, a,

b,c) $\rho_c = 10mm$, d) $\rho_c = 10 : -2 : 2mm$

A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V_0=2000V$; $Z_0=-0.5mm$; $x=0mm$;

L'emplacement de l'axone par rapport les bobines de la stimulation (z_0) joue un rôle important dans la détermination de l'amplitude du potentiel transmembranaire induit extérieurement V . L'augmentation de la distance z_0 minimise l'amplitude du potentiel transmembranaire comme il est montré dans la figure 9 dans le cas de la bobine CC5.

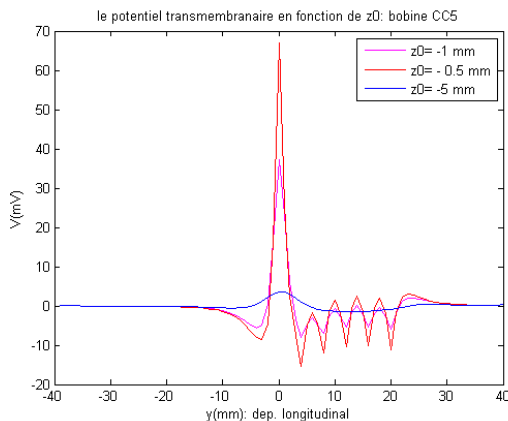


Figure 9 : L'effet de l'emplacement de l'axone sur le potentiel transmembranaire, bobine CC5.

A.N. $L=9e-6$ H; $R=1\Omega$; $C=0.00007F$; $V_0=2000V$; $\rho_c = 10mm$; $x=0mm$;

V. CONCLUSION

La nouvelle bobine proposée dans ce travail représente une solution pour résoudre les deux problèmes de la stimulation magnétique. Ces deux problèmes sont la centralisation et l'intensité du potentiel transmembranaire.

Par l'utilisation des bobines concentrées sur le point stimulé, on peut produire un potentiel intense comme il est montré pour les bobines C8, Slinky, et CC5. Par l'utilisation des bobines concentrées sur le plan (XY) et avec des rayons décroissants, on peut produire une stimulation centralisée ou focalisée comme dans notre nouvelle bobine CC5.

RÉFÉRENCES

- [1] E. N. Maried, "Anatomie Et Physiologie Humaines," Editions Du Renouveau Pédagogique, Bruxelles, 1999.
- [2] E. Basham, Z. Yang, N. Tchomodanov, and W. Liu, "Magnetic Stimulation of Neural Tissue: Techniques and System Design", Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering, Springer Science +Business Media, LLC 2009.
- [3] E. Basham, Z. Yang, and W. Liu, "Circuit and Coil Design for In-Vitro Magnetic Neural Stimulation Systems", IEEE Transactions on Biomedical and Systems, Vol. 3, NO. 5, October 2010.
- [4] P. J. Basser, "Focal Magnetic Stimulation of an Axon", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 41, NO. 6, JUNE 1994
- [5] V. TZ. Krasteva, S. P. Papazov, and I. K. Daskalov, "Peripheral nerve magnetic stimulation: influence of tissue non-homogeneity", BioMedical Engineering OnLine 2003, 2:19
- [6] Kai-Hsiung Hsu, Srikantan S. Nagarajan, and Dominique M. Durand, "Analysis of Efficiency of Magnetic Stimulation", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 50, NO. 11, NOVEMBER 2003
- [7] S. P. Papazov1 and I. K. Daskalov, "Effect of Contour Shape of Nervous System Electromagnetic Stimulation Coils on the Induced Electrical Field Distribution", BioMedical Engineering on Line 2002. 1:1
- [8] P. J. Basser, and P. J. Roth, "New Current in Electrical Stimulation of Excitable Tissues", Annu. Rev. Biomed. Eng. 2000. 02:377-97
- [9] Vernon Weh-Hau Lin*, Ian N. Hsiao, and Vijay Dhaka, "Magnetic Coil Design Considerations for Functional Magnetic Stimulation", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 47, NO. 5, MAY 2000
- [10] F S Salinas, J L Lancaster and P T Fox, "Detailed 3D models of the induced electric field of transcranial magnetic stimulation coils", IOP PUBLISHING, Phys. Med. Biol. 52 (2007) 2879-2892
- [11] Laura Darabant, Mihaela Plesa, Dan D. Micu, Denisa Stet, Radu Ciupa, and Adrian Darabant, "Energy Efficient Coils for Magnetic Stimulation of Peripheral Nerves", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, NO. 3, MARCH 2009
- [12] Chunye Ren, Peter P. Tarjan, and Dejan B. Popovic, "A Novel Electric Design for Electromagnetic Stimulation-The Slinky Coil", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 42, NO. 9, SEPTEMBER 1995
- [13] Ren Liu, and Shoogo Ueno, "Calculating the Activating Function of Nerve Excitation in Inhomogeneous Volume Conductor During Magnetic Stimulation Using the FiniteElement Method", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, NO. 4, JULY 2000
- [14] M. Plesa, L. Darabant, R. Ciupa and A. Darabant, "A Medical Application of Electromagnetic Fields: The Magnetic Stimulation of Nerve Fibers Inside a Cylindrical Tissue", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2008.

Tuning of PID Controllers Based on Bode's Ideal Transfer Function Using Fractional Calculus

¹Mohamed Assabaa, ¹Abdelfatah Charef, ²Samir Ladaci, and ³Zoubir Santouh

Abstract— The aim of this paper is to present a new tuning PID controllers strategy based on a fractional reference model. Our model is presented by an ideal closed-loop system whose open-loop is given by the Bode's ideal transfer function. The PID controller parameters are determined by the minimization of the integral square error (ISE) between the time responses of the desired fractional reference model and of the system with the PID controller. The resulting closed-loop system (with the PID controller) has the desirable feature of being robust to gain variations with step responses exhibiting an iso-damping property. Our original contribution in this paper is the use of fractional reference model (an ideal closed-loop system whose open-loop is given by the Bode's ideal transfer function) control systems which exhibit dynamical behavior using the example of Charef's approximation used oscillatory approximation of fractional systems. Numerical simulations are presented to show the effectiveness of the proposed methodology.

Index Terms— Bode's ideal transfer function, Charef's approximation, fractional calculus, PID controllers.

I. INTRODUCTION

The advantages of fractional calculus have been described and pointed out in the last few decades by many authors. It has been shown that the fractional order models of real systems are regularly more adequate than usually used integer order models. Applications of these fractional order models are in many fields, as for example, rheology, mechanics, chemistry, physics, bioengineering, robotics and many others. At the same time, fractional integrals and derivatives are also applied to the theory of control of dynamical systems, when the controlled system and/or the controller is described by fractional differential equations [1]. The application of the Fractional Calculus (FC) concepts is still scarce and only in the last two decades appeared the first applications [2]. The

PID controllers are the most commonly used control algorithms in industry [3]. So, there are good reasons to look for better design methods or alternative controllers because of the widespread use of these algorithms. Fractional PIDs have been increasingly used over the last years [4], [5]. There are several analytical ways to tune them [6], [7].

Oustaloup [8]; introduced the fractional-order algorithms for the control of dynamic systems and demonstrated the superior performance of the CRONE (French abbreviation for *Commande Robuste d'Ordre Non Entier*) method over the PID controller. More recently, Podlubny [4], [9] proposed a generalization of the PID controller, namely the $PI^{\lambda}D^{\mu}$ controller, involving an integrator of order λ and differentiator of order μ (the orders λ and μ may assume real non-integer values). Podlubny also demonstrated the better response of this type of controller, in comparison with the classical PID controller, when used for the control of fractional-order systems. Along the last decades were developed many tuning techniques for the determination of the PID parameters. Among them, the most well known are the Ziegler-Nichols tuning rules [3]. However, these heuristic rules often do not produce satisfactory results giving very poor damping, typically $\zeta \approx 0.2$ (see Astrom and Hagglund [3]). Therefore, other methods were developed such as root-locus based techniques [3] and methods based on optimization strategies [10]. In this paper we propose the design of PID controllers that minimizes an ISE performance index [11]. The adopted strategy is known as reference model tuning and consists on the ISE minimization between the step responses of an ideal closed-loop system, with Bode's ideal transfer function, and the PID controlled system. The proposed methodology makes closed-loop systems robust to gain variations and step responses exhibiting an iso-damping property.

This paper is organized as follows. Section 2 is an introduction to fractional order systems with short definitions of fractional integration and derivation. Section 3 and 4 is an illustration of the Oscillation Fractional Order Systems. Section 5 proposes an ideal closed-loop system with Bode's ideal transfer function. The fundamental known characteristics of the time and frequency responses are also presented. Motivated by the results, Section 6 establishes a strategy for the tuning of PID controllers based on the ISE minimization between the ideal and actual time responses. We apply the

Manuscript received October 25, 2011.

¹is with the Laboratoire de Traitement de Signal, Département Electronique, Université Mentouri Constantine 25000 Algeria, assabaamohamed@yahoo.fr, afcharef@yahoo.com.

²is with the Département d'Informatique Université de Skikda, BP: 26 Elhadaiek 21000 Skikda, Algeria, Samir_ladaci@yahoo.fr.

³is with the Department of Electronics, University of Jijel, BP. 98, Ouled Aissa, Jijel 18000, Algeria. z_santouh@yahoo.fr

method to a plant that reveal good results and demonstrate its applicability. Finally, some concluding remarks are presented in Section 7.

II. FRACTIONAL ORDER OPERATORS

A. Definitions

Fractional calculus is a generalisation of the integration and differentiation of the non integer order operator ${}_c D_t^m$ where c and t are limits of the operation.

Continue integro-differential operator is defined as:

$${}_c D_t^m = \begin{cases} \frac{d^m}{dt^m} & \Re(m) > 0, \\ 1 & \Re(m) = 0, \\ \int_c^t (\tau - t)^{-m} d\tau & \Re(m) < 0, \end{cases} \quad (1)$$

where m is the order of the operation, generally $m \in \mathbb{R}$

The two definitions used for differintegral (Spanier and Oldham) of general fractional order are definition of Grunwald-Letnikov (GL) and definition of Riemann-Liouville (RL) [12]. definition of GL is given as :

$${}_c D_t^m f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-m} \sum_{j=0}^{\left[\frac{t-c}{h} \right]} (-1)^j \binom{m}{j} f(t - jh) \quad (2)$$

where $[x]$ is the integer part of x .

with: $\binom{m}{j} = \frac{\Gamma(m)}{\Gamma(j)\Gamma(m-j)}$ and $\Gamma(m) = \int_0^\infty e^{-t} t^{m-1} dt$ is the Gamma function.

There are other definitions as: Caputo, Weyl, and Furier.

In this work we use the Riemann-Liouville definition of the fractional integration and differentiation.

For the case of $0 < m < 1$ and $f(t)$ causal of t ; $f(t)=0$ for $t < 0$, fractional integral is given by :

$${}_0 D_t^{-m} f(t) = \frac{1}{\Gamma(m)} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{1-m}} d\tau, \quad 0 < m < 1, t > 0, \quad (3)$$

and the expression of fractional derivation is:

$${}_0 D_t^m f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-m)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^m} d\tau, \quad 0 < m < 1, t > 0, \quad (4)$$

where, $\Gamma(m)$ is the gamma function.

III. OSCILLATION FRACTIONAL ORDER SYSTEMS

In this context the oscillation fractional order system is defined as a fundamental linear fractional order differential equation for $1 < m < 2$.

$$(\tau_0)^m \frac{d^m y(t)}{dt^m} + y(t) = e(t) \quad (5)$$

Its transfer function is:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{1}{[1 + (s\tau_0)^m]} \quad 1 < m < 2 \quad (6)$$

A. Approximation with rational function

The simple transfer function of fractional order system is:

$$H(s) = \frac{1}{1 + (s\tau_0)^m} \quad (7)$$

This transfer function will be approximated with the following form:

$$H(s) \approx \frac{(1 + s\tau_0)^{2-m}}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1}, \quad \text{for } 1 < m < 2 \quad (8)$$

$$1 < m < 2 \Rightarrow 0 < 2-m < 1; \omega_c = 1/\tau_0$$

$(1 + s\tau_0)^{2-m}$ is an FPZ (fractional power zero).

The approximation of a simple fractional power zero (FPZ) with a rational function has been given by [13]. The same idea of the method used for the approximation of the fractional power pole (FPP) given in [14]; using a simple graphical method, where the poles and zeros of the approximation have a geometrical progression distribution, once a prescribed approximation error γ in dB and an approximation frequency band ω_{\max} are given.

To represent the oscillation fractional order system of equation (8) by a linear time invariant system model, it is necessary to approximate, for a limited frequency band of a practical interest $[0, \omega_H]$, its irrational transfer function of equation (7) by a rational one. For this purpose, we must approximate the fractional power zero (FPZ) by a rational function in the frequency band of a practical interest $[0, \omega_H]$.

$(1 + s\tau_0)^{2-m}$: is the FPZ, $0 < 2-m < 1$

$$(1 + s\tau_0)^{2-m} = \frac{\prod_{i=0}^N (1 + \frac{s}{z_i})}{\prod_{i=0}^N (1 + \frac{s}{p_i})} \quad (9)$$

$G(s) = \frac{1}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1}$; is a regular second order system.

Where: $z_0 < p_0 < z_1 < \dots < z_N < p_N$

$z_i = (ab)^i z_0 \quad i=0, 1, \dots, N,$

$p_i = (ab)^i a z_0 \quad i=0, 1, \dots, N$

$z_0 = \omega_c \sqrt{b}$; the first zero.

$a = 10^{\lfloor \gamma/10(1-(2-m)) \rfloor}, b = 10^{\lfloor \gamma/10(2-m) \rfloor}, ab = 10^{\lfloor \gamma/10(2-m)(-1+m) \rfloor},$

$$N = \text{Integer} \left(\frac{\log \left(\frac{\omega_{\max}}{z_0} \right)}{\log(ab)} \right) + 1$$

By substitution of the approximation of FPZ in equation (8) we obtain:

$$H(s) \approx \frac{1}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1} \frac{\prod_{i=0}^N (1 + \frac{s}{z_i})}{\prod_{i=0}^N (1 + \frac{s}{p_i})} \quad (10)$$

Equation (10) can be decomposed as:

$$H(s) = \frac{As + B}{(\tau_0 s)^2 + 2\xi(\tau_0 s) + 1} + \sum_{i=0}^N \frac{k_i}{1 + \frac{s}{p_i}}, \quad k(i=0, 1, \dots, N) \quad (11)$$

A and B can be calculated as:

$$\begin{aligned} \text{at } s=0 \\ B = 1 - \sum_{i=0}^N k_i \end{aligned} \quad (12)$$

and to get A : we compute :

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sH(s)=0 \quad \text{then:} \quad A = -\frac{1}{wn} \sum_{i=0}^N k_i p_i \quad (13)$$

$$k_i = H(s) \Big|_{s=-p_i}$$

k_i ($i=0,1,\dots,N$) ; are the residues of poles which can be calculated as :

$$k_i = \frac{1}{(a\sqrt{b}(ab)^i)^2 - 2\xi(a\sqrt{b}(ab)^i) + 1} \prod_{j=0}^N (1-a(ab)^{i-j}) \prod_{j=0, j \neq i}^N (1-(ab)^{i-j}) \quad (14)$$

IV. PERFORMANCES

Many previous works have shown that fractional systems present good qualities; in-time response and in-transition dynamic stability (see for instance [14]-[16]). For a second order SISO system, represented by the following transfer function:

$$H(s) = \frac{1}{1+(s\tau_0)^m} \quad \text{for } 1 < m < 2$$

The step responses for the integer case ($m=1$, $m=2$) and the fractional order one ($m=1.25$) are given in Figure 1, and show the gain in time response.

Let us note that the approximation of the transfer function given in (7) is given by:

$$H(s) \approx \frac{(1+s\tau_0)^{2-m}}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1}$$

Although this latter form could be more familiar for physical and mechanical engineers, it always represents a second order mathematical process model.

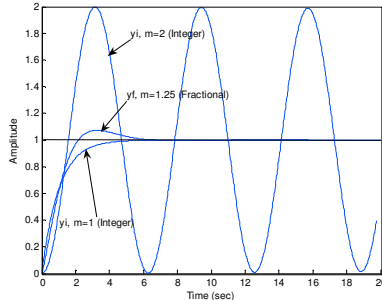


Figure 1. Comparative Step response (fractional/integer)

V. BODE'S IDEAL TRANSFER FUNCTION

In his study on design of feedback amplifiers Bode [17] has suggested an ideal shape of the open-loop transfer function of the form:

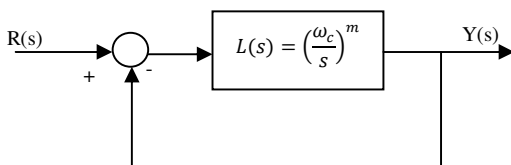


Figure 2. Fractional-order control system with Bode's ideal transfer function $L(s)$.

$$L(s) = \left(\frac{\omega_c}{s}\right)^m \quad m \in \Re \quad (15)$$

where ω_c is the gain crossover frequency, that is, $|L(j\omega_c)| = 1$. The parameter m is the slope of the magnitude curve, on a log-log scale, and may assume integer as well non-integer values. In fact, the transfer function $L(s)$ is a fractional-order differentiator for $m < 0$ and a fractional-order integrator for $m > 0$. The Bode diagrams of $L(s)$ ($0 < m < 2$) are very simple. The amplitude curve is a straight line of constant slope $-20m\text{dB/dec}$, and the phase curve is a horizontal line at $-\frac{m\pi}{2}\text{rad}$. Let us now consider the unit feedback system represented in Figure 2 with Bode's ideal transfer function $L(s)$ inserted in the forward path. This choice of $L(s)$ gives a closed-loop system with the desirable property of being insensitive to gain changes. If the gain changes the crossover frequency ω_c will vary but the phase margin of the system remains $PM = \pi(1 - m/2)\text{rad}$, independently of the value of the gain. The closed-loop system of Figure 2 will be used (in Section 6) as reference model for tuning PID controllers.

In the following sub-sections we present the fundamental characteristics of the time and frequency responses of the fractional-order control system represented in Figure 2. Motivated by these results, in Section 6 we develop a strategy for tuning PID controllers based on this fractional reference model.

A. Temporal and Frequencial Responses

1) *Frequencial Responses*: The closed-loop transfer function of fractional-order system of Figure 2, $H(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$, is given by:

$$H(s) = \frac{L(s)}{1+L(s)} = \frac{1}{1+\left(\frac{s}{\omega_c}\right)^m} \quad (16)$$

we have the fractional order system:

$$H(s) = \frac{1}{1+(s\tau_0)^m} \quad \text{we can approximate this function when}$$

$1 < m < 2$ by the following function:

$$H(s) = \frac{1}{1+(s\tau_0)^m} \approx \frac{(1+s\tau_0)^{2-m}}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1}, \quad 1 < m < 2, \quad \tau_0 = \frac{1}{\omega_n}$$

The expression for the frequencial analysis of

$$H(s) = \frac{1}{1+(s\tau_0)^m} \quad \text{is :}$$

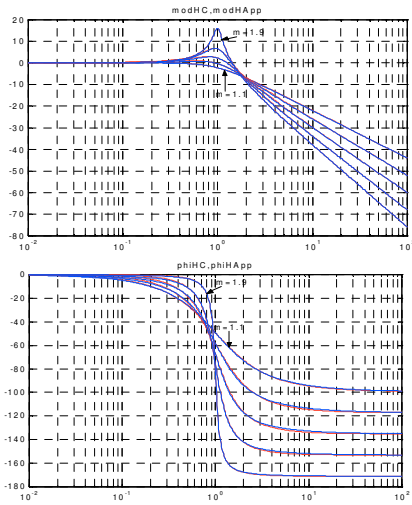
$$H(jw) = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{w}{\omega_n}\right)^m \cos\left(\frac{m\pi}{2}\right)\right) + j\left(\frac{w}{\omega_n}\right)^m \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \quad (17)$$

The frequencial reponse of (7) et (8) for several values of m is given in the figure (3).

$$H(s) = \frac{1}{1+(s\tau_0)^m} \approx \frac{(1+s\tau_0)^{2-m}}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1}, \quad 1 < m < 2$$

the damping ratio is given as :

$$\xi = \sqrt{\frac{1 + \cos\left(\frac{m\pi}{2}\right)}{2^{m-1}}} \quad (18)$$


 Figure 3. Frequency responses of (7) and (8) for several values of m .

from the figure (3) we remark that the frequency responses of function (7) and its approximation (8), of oscillatory fractional order system that the slopes are between -20dB and -40dB by varying the order m . the two curves of function (7) and its approximation (8) are closely the same one, what means the good approximation of the function (8).

2) Temporal Responses:

a) *Step Response* : The step response with:

$$E(s) = \frac{1}{s} \quad Y(s) = \frac{(1+s\tau_0)^{2-m}}{(s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1} E(s)$$

$$Y(s) = \frac{1}{s((s\tau_0)^2 + 2\xi(s\tau_0) + 1)} \prod_{i=0}^N \left(1 + \frac{s}{z_i}\right) \prod_{i=0}^N \left(1 + \frac{s}{p_i}\right) \quad (19)$$

With using the inverse Laplace transform, the step response of this type of system is given by the following relation:

$$y(t) = 1 + Ce^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\xi^2} t + \varphi) - \sum_{i=0}^N k_i p_i e^{-p_i t} \quad (20)$$

$$C = \frac{1}{\omega_n} \left(\frac{B^2 - 2AB\xi\omega_n + A^2\omega_n^2}{1-\xi^2} \right)^{1/2} \text{ where the phase } \varphi \text{ is given as:}$$

$$\varphi = \arctg \frac{A - \omega_n \sqrt{1-\xi^2}}{B - A\xi\omega_n} - \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \quad (21)$$

The following figure shows the behavior of the step response for several values of m :

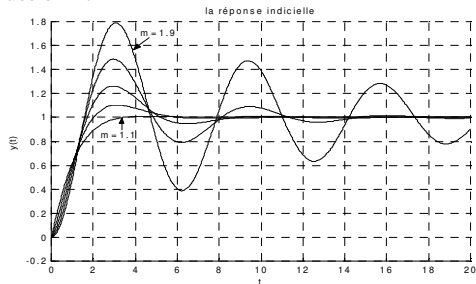

 Figure 4. Step response of the system for $y=1\text{dB}$, $\omega_n=1$ and $m=1.1, 1.2, \dots, 1.9$.

Figure (4) show the step response of oscillatory fractional order system for several values of m , this system is less oscillating when the value of fractional power m , have a small values, the system is near of the first order system, and the oscillation decrease. Conversely, when m tends to 2, the system is near of the second order system, and the oscillation increase.

3) Frequency Specifications:

a) *Quality Factor Q* : The factor of quality is defined by equation (8) we have :

$$Q = |H(j\omega_n)| = \frac{1}{(\sqrt{2})^m \xi} \quad \omega_n = \frac{1}{\tau_0}$$

with ξ is given by (18) as : $\xi = \sqrt{\frac{1 + \cos \frac{m\pi}{2}}{2^{m-1}}}$ so the quality factor is:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2 \left(1 + \cos \frac{m\pi}{2}\right)}} \quad (22)$$

b) *Damping Ratio ξ* : Damping ratio is given by:

$$\xi = \sqrt{\frac{1 + \cos \frac{m\pi}{2}}{2^{m-1}}} \quad (23)$$

c) *Resonance Frequency ω_r* :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^m} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^m \cos\left(\frac{m\pi}{2}\right) + j\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^m \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \quad (24)$$

to calculate ω_r , we calculate at first $\frac{d|H(j\omega)|}{d\omega} = 0$, we find :

$$\omega_r = \omega_n \left(-\cos\left(\frac{m\pi}{2}\right) \right)^{\frac{1}{m}} \quad (25)$$

d) *Resonance Factor M_r* : The resonance factor M_r is the maximum value of gain of the frequency response.

$$M_r = |H(j\omega_r)| = \frac{1}{\sin\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \quad (26)$$

4) *Temporal Specifications*: Generally we define temporal specifications from the step response. The characteristics performances usually given are: Overshoot (Mp), settling time (ts), Rise time (tr), peak time (tp).

From the following step response:

$$y(t) = 1 + Ce^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\xi^2} t + \varphi) - \sum_{i=0}^N k_i p_i e^{-p_i t}$$

where the phase φ is given by:

$$\varphi = \arctg \frac{A - \omega_n \sqrt{1-\xi^2}}{B - A\xi\omega_n} - \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$$

It is so difficult to find temporal characteristics of this system by simple calculation. So we use an heuristic method to find these characteristics in polynomial form, we search an approximation function called model which answer this question (the same method is used in Barbosa (2004))[2]. This model depend on parameters: for example, if it corresponds to a polynomial function of a given degree, the parameters are the coefficients of the polynomial. The problem which we ask here

consist to search the best play of parameters to get that curves of model pass “the nearest” of data points. We search the equation (polynomial) the nearest one of group of points in less square senses (m_i, x_i) , $i=0 \dots n$. we use the characteristics values extracted from the step response curves. As in the case of under-damped second order systems we develop some expression of Overshoot M_p , Peak time t_p , Rise time t_r , and Settling time t_s .

Overshoot (% M_p = percent max overshoot): The overshoot is the maximal difference existent between transients and permanents solutions for unit step entry.

From step response curve we have M_p interpolated as:

$$M_p = (m - 1.005)(m - 0.755) \quad (27)$$

Peak Time (t_p): Is the time which corresponds to the first maximum. The interpolated peak time is :

$$t_p = \frac{1.118(m - 0.252)^2}{(m - 0.9)w_n} \quad (28)$$

Settling Time (t_s): Generally settling time is defined by time at the end of the which response of the system is to $x\%$ (**2%**) close to its end value for an excitation in unit step (**0.98 < response < 1.02 for $x=2$**).

The interpolated settling time is:

$$t_s(2\%) = \frac{4\sqrt{2^{m-1}}}{w_n \sqrt{1 + \cos(\frac{m\pi}{2})}} = \frac{4}{\xi w_n}, \quad 1.138 < m < 2 \quad (29)$$

Rise Time (t_r): It is defined as being time put to pass from 10% to 90% of the end value for an excitation in unit step ($t_r = t_{90\%} - t_{10\%}$). The interpolated rise time is:

$$t_r = \frac{0.135(m + 1.158)^2}{(m - 0.72)w_n} \quad (30)$$

VI. PID CONTROLLER TUNING USING THE BODE'S IDEAL TRANSFER FUNCTION

In the previous section we have established a simple tuning procedure of a fractional-order control system, with open-loop Bode's ideal transfer function, based on their parameters (m, ω_c) . The order m and the gain crossover frequency ω_c establish the overshoot and the speed of the output response, respectively. Therefore, in this section we address the closed-loop system with Bode's ideal transfer function as reference system for the tuning of PID controllers. For that purpose we consider the standard closed-loop system shown in Figure 5, where $G_c(s)$ and $G_p(s)$ are the controller and the plant transfer functions, respectively. The system may be subject for both setpoint and disturbance inputs, $r(t)$ and $p(t)$ respectively.

In the sequel, we describe the adopted strategy for the design of PID controllers. First, we present the type of PID controller used in the simulations followed by a description of the adopted optimization algorithm. It is shown that the system, tuned according to the proposed methodology, makes a closed-loop system robust in the perspective of gain variations, with step responses revealing an iso-damping property.

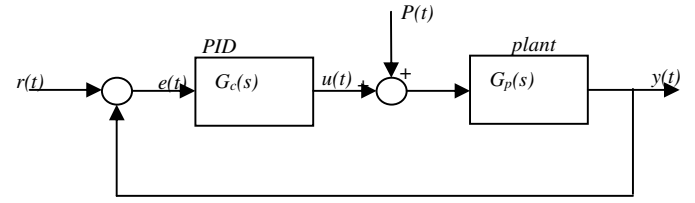


FIGURE 5. BLOCK DIAGRAM OF A FEEDBACK CONTROL SYSTEM WITH PID CONTROLLER.

A. PID Controller

The ideal time-domain equation of a PID controller has the following form:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (31)$$

where $u(t)$ and $e(t)$ denote the control and the error signals, respectively, and K , T_i , and T_d are correspondingly the proportional gain, the integral time constant and the derivative time constant of the PID controller. The set of variables (K, T_i, T_d) are the parameters to be tuned.

The corresponding transfer function is given by:

$$G_c(t) = \frac{U(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (32)$$

B. Optimization Approach

Figure 6 represents the tuning structure system adopted for the determination of the PID parameters (K, T_i, T_d) . The reference model is given by the transfer function of the closed-loop system with the Bode's ideal transfer function $L(s)$ represented in Figure 2. The fractional-order transfer function is reproduced here:

$$H(s) = \frac{L(s)}{1+L(s)} = \frac{1}{1 + (\frac{s}{\omega_c})^m} \quad m \in \mathbb{R}^+ \quad (33)$$

with the tuning parameters (m, ω_c) as the order and the crossover frequency, respectively. For the case under study, the order m may assume real non-integer values such that $1 < m < 2$. From Figure 6, we see that the output response $y(t)$, of the closed-loop system with the PID controller, is compared with the desired output response $y_r(t)$, produced by the fractional reference model (33). Then, the resultant error function, $e(t) = y_r(t) - y(t)$, is minimized through an optimization performance criterion to determine the optimum PID settings. We adopted the minimization of the integral square error (ISE), which is defined as:

$$J(K, T_i, T_d) = \int_0^\infty (y_r(t) - y(t))^2 dt \quad (34)$$

where (K, T_i, T_d) are the PID controller parameters to be optimized.

The search of the optimal PID controller design may be stated as a constrained optimization problem defined as:

$$\text{minimize } J(K, T_i, T_d) \text{ subject to } : (K, T_i, T_d) > 0 \quad (35)$$

In this line of thought, the tuning of the PID controller consists in finding the optimum parameters (K, T_i, T_d) that minimize $J(K, T_i, T_d)$, while satisfying the stability of the closed-loop system and positive controller parameters.

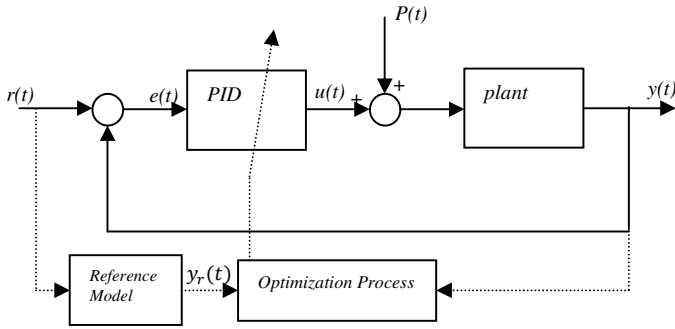


Figure 6. System structure for PID controller tuning.

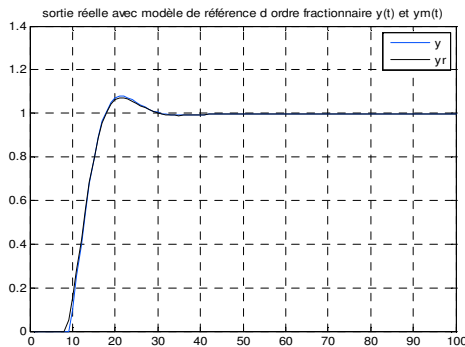
C. Illustrative Example

To illustrate the effectiveness of the proposed methodology we test it on this system example $G_p(s)$. we consider the plant transfer function:

$$G_p(s) = \frac{k}{s(s+1)}$$

with $k = 1$.

Figure 7 shows the step response of the closed-loop system with $G_p(s)$ and with the PID tuned by the proposed method. In Figure 7 is shown the evolution of the step responses compared to the reference model used Bode's Ideal transfer Function for fractional order $m=1.33$ and the gain crossover frequency $\omega_c = 1$ rad/s. we find the best parameters values of the PID Controller as $K=2.06$, $T_i=0.08$, $T_d=0.01$, $J=0.0018$. We observe that with the proposed method we can shape the output response, close to the desired response, by varying the reference tuning parameters (m , ω_c). We notice that the PID controller, tuned by the proposed method, is robust against gain variations and possesses an iso-damping property around the gain crossover frequency.

FIGURE 7. SYSTEM OUTPUT FOR PID CONTROLLER TUNING WITH FRACTIONAL MODEL REFERENCE FOR $M=1.33$, $\omega_c=1$ RD/S.

VII. CONCLUSION

In this paper, we have presented a new strategy for tuning PID controllers. The proposed method is based on the ISE minimization between the desired step response, produced by a fractional-order transfer function, and the step response of the system with the PID controller. The reference model consists on an ideal closed-loop system whose open-loop is given by

the Bode's ideal transfer function. First, we analyze the main features (time and frequency characteristics) of the fractional reference model. We also give some useful formulae for time specifications that can be used to characterize their time response. Secondly, we apply the proposed methodology for the tuning of PID controllers. We test the method on an example, revealing good results demonstrating its applicability. With the proposed methodology we get closed-loop systems robust to gain variations and step responses exhibiting an iso-damping property. The simulations revealed that the order m can be decided fairly easily but the choice of ω_c may be a problem. In order to achieve good performance, ω_c must be as high as possible. However, if it is too high, it becomes difficult to get the PID parameters, which make the system close to the reference model. So, there must be a trade-off between the tuning parameters (m , ω_c).

REFERENCES

- [1] Riccardo Caponetto, Giovanni Dongola, Luigi Fortuna, Ivo Petráš, Fractional Order Systems : Modeling and Control Applications, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A — Vol. 72, 2010.
- [2] Ramiro S. Barbosa, J. A. Tenreiro Machado, and Isabel M. Ferreira, "Fractional Tuning of PID Controllers Based on Bode's Ideal Transfer Function," Nonlinear Dynamics 38: 305–321, 2004.
- [3] Astrom, K. and Hagglund, T., PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, Instrument Society of America, North Carolina, 1995.
- [4] Podlubny, I., Fractional Differential Equations, Academic Press, San Diego, California, 1999.
- [5] J. Sabatier, O. P. Agrawal, J. A. Tenreiro Machado, Advances in Fractional Calculus: Theoretical Developments and Applications in Physics and Engineering, Published by Springer, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands 2007.
- [6] Caponetto R, Fortuna L, Porto , "Parameter tuning of a non integer order PID controller," In Electronic proceedings of the 15th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems, University of Notre Dame, Indiana, 2002.
- [7] Caponetto R, Fortuna L, Porto , "A new tuning strategy for a non integer order PID controller," In First IFAC Workshop on Fractional Differentiation and its Applications, Bordeaux, 2004.
- [8] Oustaloup, A., La Dérivation Non Entière, Hermès, Paris, 1995.
- [9] Podlubny, I., "Fractional-order systems and PI^mDⁿ-controllers", IEEE Transactions on Automatic Control 44(1), 1999, 208–213.
- [10] Zhuang, M. and Atherton, D. P., "Automatic tuning of optimum PID controllers", IEE Proceedings-Part D: Control Theory and Applications 140(3), 1993, 216–224.
- [11] Barbosa, R. S., Machado, J. A. T., and Ferreira, I. M., "A fractional calculus perspective of PID tuning", in the Proceedings of the ASME International 19th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise (VIB'03), Chicago, Illinois, September 2–6, 2003.
- [12] Sun H. H., Charef, A., Tsao, Y.Y., and Onaral, B., "Analysis of Polarization Dynamics by Singularity Decomposition Method," Annals of Biomedical Engineering, Vol. 20, 1992.
- [13] Zoubir Santouh, Réalisation des filtres fractionnaires basés sur la méthode d'approximation de la fonction singulière, Magister thesis, Mentouri University of Constantine, Algérie 2002.
- [14] S. Ladaci and A. Charef, "On Fractional Adaptive Control," Nonlinear Dynamics, vol. 43, no. 4, pp.365–378, 2006.
- [15] Sun, H. and Charef, A., "Fractal system – a time domain approach," Annals of Biomedical Engineering 18, 1990, 597–621.
- [16] Charef, A., Djouambi, A., and Sun, H., "Fractional order feedback control systems," in Proceedings of the 4th JIEEEEC, Jordan, April 2001.
- [17] Bode, H. W., Network Analysis and Feedback Amplifier Design, Van Nostrand, New York, 1945.

La Séparation Aveugle de Sources

TAHI Wassila, M.C. MOKRANI Karim

Université de Bejaia, Faculté de Technologie, Département d'Electronique. Laboratoire LTII

Email : tahi_wassila@yahoo.fr

mokrani_k@yahoo.fr

Résumé— Dans cet article, on s'intéresse à la séparation aveugle de sources dans les mélanges linéaires et post non linéaires instantanés. En premier lieu, nous présentons une méthode qui exploite l'indépendance des sources en utilisant les statistiques d'ordre deux, nous allons l'appliquer pour séparer les mélanges linéaires instantanés. Dans la deuxième partie, nous présentons la méthode qui utilise les statistiques d'ordre supérieur à deux par l'intermédiaire de fonction de contraste, nous allons appliquer cette approche pour séparer les mélanges linéaires instantanés et les mélanges post non linéaires. Enfin, nous appliquerons les différentes techniques sur des signaux audio réels, les résultats obtenus seront présentés.

Mots Clés—Fonction d'autocorrélation, fonction de contraste, mélange linéaire instantané, mélange post non linéaire.

I. INTRODUCTION

La séparation aveugle de sources réfère au problème d'extraction des signaux utiles à partir uniquement de l'observation de leurs mélanges. La séparation aveugle de sources est un sujet de recherche très actif en raison de ses nombreuses applications pratiques. Dans le domaine médical, on cherche à extraire les battements cardiaques d'un fœtus à partir d'enregistrements de signaux électrocardiogramme de la mère [1]. En communication, on trouve le "cocktail-party" problème [2], que l'on rencontre quand on enregistre plusieurs locuteurs qui s'expriment simultanément, et que l'on désire isoler un locuteur. En radar et sonar lorsque des signaux provenant de plusieurs émetteurs interfèrent au niveau de l'antenne du récepteur, et dans bien d'autre domaine.

Les premiers travaux sur la séparation aveugle ont tout d'abord supposé le cas le plus simple qui est le modèle de *mélange linéaire instantané*. Mais dans la pratique, un autre modèle plus complexe, plus réaliste est rencontré dans de nombreuses situations réels, c'est le *mélange post non linéaire instantané*.

Sans aucune information ni sur les sources, ni sur la matrice de mélange ou les transformations non linéaires, la résolution de problème de séparation aveugle de sources s'avère tout à fait impossible.

Pour cela, l'absence de connaissance a priori relative au processus de mélange, est toutefois compensée par une hypothèse fondamentale qui est l'indépendance statistique entre les signaux sources.

Partant de cette idée, différentes mesures de dépendance

peuvent être utilisées. Ceci conduit au développement de plusieurs méthodes de séparation aveugle de sources. Nous présentons la première méthode.

II. METHODE ALGEBRIQUE

Cette méthode exploite l'hypothèse d'indépendance statistique des signaux sources en utilisant les statistiques d'ordre deux définies par les matrices d'autocorrélations.

II.1. SEPARATION D'UN MELANGE LINEAIRE INSTANTANE

A. Position de Problème

Nous disposons d'un mélange linéaire instantané de sources dont le modèle est donné par :

$$x(t) = As(t) \quad (1)$$

où: $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_K(t)]^T$ est le vecteur des observations, $s(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_K(t)]^T$ est le vecteur des sources originales, A est la matrice de mélange de dimension $K \times K$.

La résolution de problème de séparation aveugle d'un mélange linéaire instantané consiste à trouver une matrice B de tel sorte que les signaux $y(t)$ définis par:

$$y(t) = Bx(t) \quad (2)$$

avec: $y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_K(t)]^T$, représentent les sources estimées et soient aussi indépendants que possible.

B. Principe de la Méthode

Le principe de la séparation se déroule en deux étapes distinctes : blanchiment spatial [3] et estimation de la matrice Q de séparation.

Le blanchiment consiste à trouver une matrice W qui, appliquée aux observations $x(t)$, fournit des signaux :

$$z(t) = Wx(t) \quad (3)$$

avec: $z(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_K(t)]^T$, tel que la matrice d'autocorrélation de vecteur $z(t)$ soit égale à la matrice identité Id_K .

$$\Gamma_{z,z}(0) = Id_K \quad (4)$$

La matrice W définie par :

$$W = D^{-1/2} U^T \quad (5)$$

où: U est une matrice orthogonale composée des vecteurs propres de $\Gamma_{xx}(0)$, et D est une matrice orthogonale composée des valeurs propres de $\Gamma_{xx}(0)$.

La deuxième étape consiste à estimer la matrice orthogonale Q qui nous permet de restituer les sources originales $s(t)$.

Pour l'estimation de la matrice Q , on utilise les autocorrélations des observations pour des retards non nuls. Ainsi, la fonction d'autocorrélation des observations blanchies [3] est :

$$\begin{aligned}\Gamma_{z,z}(\tau) &= E\left(z(t)z(t-\tau)^T\right) \\ &= WAE\left(s(t)s(t-\tau)^T\right)A^TW^T \\ &= Q^T\Gamma_{s,s}(\tau)Q\end{aligned}\quad (6)$$

Sachant que les sources sont indépendantes, la matrice d'autocorrélation des signaux sources $\Gamma_{s,s}(\tau)$ est une matrice diagonale pour tout retard τ .

La méthode de séparation se repose sur la diagonalisation conjointe [3] [4], d'un ensemble de matrices d'autocorrélation. On utilise plusieurs retards τ_i non nuls, on diagonalise simultanément (ou conjointement) les matrices $\Gamma_{z,z}(\tau_i)$. On aura la matrice de séparation B :

$$B = \hat{Q}W \quad (7)$$

Et on obtient :

$$y(t) = Bx(t) \quad (8)$$

où: $y(t)=[y_1(t), y_2(t), \dots, y_K(t)]^T$, représentent les sources estimées.

C. Discussion

Pour que la méthode de séparation aveugle de sources basée sur la diagonalisation conjointe qui utilise les statistiques d'ordre deux, soit applicable, il faut faire appel à des hypothèses supplémentaires sur les sources: les termes diagonaux de la matrice d'autocorrélation des signaux sources $\Gamma_{s,s}(\tau)$ soient tous différents, c'est à dire que les fonctions d'autocorrélation $\Gamma_{s_i,s_i}(\tau)$ des sources en τ soient non nulles et distinctes [3].

La séparation à l'ordre deux est essentiellement fondée sur la décorrélation des signaux sources. Cette décorrélation est une conséquence de l'indépendance des sources, son utilisation n'exploite pas complètement l'indépendance qui est une propriété bien plus forte que la décorrélation.

Nous intéresserons alors à l'utilisation d'une méthode de séparation qui exploite plus complètement l'indépendance des sources, cette technique est basée sur l'utilisation des statistiques d'ordre supérieur à deux (SOS) [5].

III. METHODE FONDEE SUR LES FONCTIONS DE CONTRASTE

Cette méthode de séparation de sources est basée sur l'utilisation des statistiques d'ordre supérieur à deux [6], définis par les fonctions de contraste.

III.1. SEPARATION D'UN MELANGE LINEAIRE INSTANTANE

A. Position de Problème

Considérons le modèle de mélange linéaire instantané :

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^K a_{ij}s_j(t) \quad \text{pour } i = 1, \dots, K \quad (9)$$

où: $x_i(t)$ représente les composantes de vecteur des signaux observés, $s_j(t)$ représente les composante de vecteur des signaux sources. Et a_{ij} pour $i = 1, \dots, K$, et $j = 1, \dots, K$, sont les coefficients d'une matrice notée A de dimension $(K \times K)$, appelée matrice de mélange.

Pour la séparation aveugle de sources dans le cadre d'un mélange linéaire instantané, nous devons identifier l'environnement de propagation, c'est-à-dire rechercher une matrice de séparation B et reconstruire les signaux sources.

$$y(t) = Bx(t) \quad (10)$$

où: $y(t)$ est le vecteur des estimés des signaux sources. Ainsi, le problème consiste à chercher la matrice de séparation B de sorte que les sources estimées soient aussi indépendantes que possible.

B. Principe de la Méthode

Le principe de séparation de sources consiste à rendre le plus indépendantes possible les sources reconstituées, y_1, \dots, y_K . En se servant de l'information mutuelle comme fonction de contraste, on définit le critère C utilisé pour résoudre le problème.

Le critère de séparation [7] basé sur l'information mutuelle est donné par :

$$I(y) = \sum_{i=1}^K H(y_i) - H(y) \quad (11)$$

$$C(B) = \sum_{i=1}^K H(y_i) - \log |\det B| \quad (12)$$

On cherche la matrice de séparation B qui permet d'obtenir des signaux :

$$y(t) = Bx(t) \quad (13)$$

avec: $y(t)=[y_1(t), y_2(t), \dots, y_K(t)]^T$ sont statistiquement indépendants.

La résolution du problème de séparation aveugle de sources en utilisant les fonctions de contraste, est basée sur l'optimisation d'une fonction objectif (fonction de contraste) de manière à assurer l'indépendance des entrées. Ainsi donc à l'exploitation de technique de descente de gradient [8] afin de minimiser le critère de séparation basé sur l'information mutuelle :

Initialisation :

B

Boucle : pour $t = 1, 2, 3$,

$$B^{(t+1)} = B^{(t)} - \lambda \hat{G}B^{(t)}.$$

$$y^{(t+1)} = B^{(t+1)}x^{(t+1)}.$$

Jusqu'à convergence.

C. Discussion

L'utilisation des statistiques d'ordre supérieur permet de réaliser la séparation sans informations supplémentaires.

Les SOS, sont des outils utilisés essentiellement en complément aux statistiques d'ordre deux. Elles donnent une description plus complète des données et de leurs propriétés.

Les SOS permettent la résolution des problèmes non résolus à l'ordre deux, ou l'amélioration des solutions déjà apportées à l'ordre deux.

Nous avons présenté dans la section précédente une méthode de séparation pour un mélange linéaire instantané. Cependant, dans la situation pratique, les mélanges réels peuvent être composés des mélanges linéaires suivi par des transformations non linéaires construisant un nouveau type de mélange, appelé post non linéaire.

En conséquence, nous nous intéresserons alors dans cette partie à la résolution de problème de séparation aveugle des mélanges post non linéaires instantanés.

III.2. SEPARATION D'UN MELANGE POST NON LINEAIRE INSTANTANE

A. Position de Problème

On dispose des enregistrements des capteurs x_1, x_2, \dots, x_K provenant des transformations non linéaires sur des mélanges linéaires de K sources indépendantes, s_1, s_2, \dots, s_K , c'est-à-dire :

$$x_i = f_i \left(\sum_{j=1}^K a_{ij} s_j \right), \quad i = 1, \dots, K \quad (14)$$

où: a_{ij} désigne le terme général des coefficients de la matrice de mélange A inversible. f_1, f_2, \dots, f_K sont K fonctions non linéaires.

Le problème de séparation aveugle de sources dans le cadre de mélanges post non linéaires consiste alors à chercher K applications g_1, g_2, \dots, g_K non linéaire, et une matrice B tel que les signaux y_1, y_2, \dots, y_K définis par :

$$y_i = \sum_{k=1}^K b_{ik} z_k, \quad \text{ou } z_k = g_k(x_k), \quad \text{pour tout } i=1, \dots, K \quad (15)$$

représentent une estimation des signaux sources s_1, s_2, \dots, s_K , sous la contrainte que les observations x_1, \dots, x_K proviennent d'un mélange post non linéaire de sources s_1, \dots, s_K indépendantes [9].

B. Principe de la Méthode

Le principe de séparation de sources consiste à rendre le plus indépendantes possible les sources reconstituées, y_1, \dots, y_K . En se servant de l'information mutuelle comme fonction de contraste [10] [11], on définit le critère C utilisé pour résoudre le problème :

$$C(B, g_1, \dots, g_K) = \sum_{i=1}^K (H(y_i) - H(z_i)) - \log |\det B| \quad (16)$$

où: H désigne l'entropie de Shannon et B désigne la matrice de séparation.

À partir de la définition de ce critère, on procède à la résolution du problème de séparation en minimisant ce critère grâce à la méthode de descente du gradient [12] [13].

Dans le cadre particulier des mélanges post non linéaires, la fonction Δ intervenant dans le calcul du gradient [10] est donnée par:

$$\Delta(y) = \mathcal{E} y + B \delta(z) + \mathcal{E} B \delta(z) \quad (17)$$

où: \mathcal{E} désigne la variation relative de la matrice B .

$\delta = (\delta_1, \dots, \delta_K)^T$ désigne les variations relatives de chaque fonction inversible g_1, \dots, g_K .

On a :

$$\Gamma_i(y) = \sum_{k=1}^K \mathcal{E}_{ik} y_k + \sum_{k=1}^K B_{ik} \delta_k(g_k(x_k)) \quad (18)$$

$$\Lambda_i(y) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \mathcal{E}_{ij} B_{jk} \delta_k(g_k(x_k)). \quad (19)$$

Alors nous pouvons écrire :

$$\Delta_i(y) = \Gamma_i(y) + \Lambda_i(y). \quad (20)$$

Nous obtenons alors comme expression du gradient de C , les équations suivantes :

Gradient de la partie linéaire [10]:

$$\mathcal{E} \mapsto \sum_{i \neq j=1}^K \sum_{i=1}^K \mathcal{E}_{ij} E\{y_i \beta_j(y)\} \quad (21)$$

$$\mathcal{E} \mapsto \sum_{i \neq j=1}^K \sum_{i=1}^K \mathcal{E}_{ij} S_{ij}^L. \quad (22)$$

Gradient de la partie non linéaire [10]:

$$\delta_1, \dots, \delta_K \mapsto \sum_{k=1}^K E\left\{ \delta_k(z_k) \sum_{i=1}^K E[\beta_i(y) B_{ik} | z_k] \right\}. \quad (23)$$

$$\delta_1, \dots, \delta_K \mapsto \sum_{k=1}^K E\left\{ \delta_k(z_k) S_k^{NL}(z_k) \right\} \quad (24)$$

avec :

$$\beta_Y(y) = \psi_Y(y) - \phi_Y(y), \quad (25)$$

$$\psi_{Y_i}(y_i) = -\frac{p'_{Y_i}(y_i)}{p_{Y_i}(y_i)}, \quad (26)$$

$$\phi_i(y) = -\partial_i \log p_Y(y). \quad (27)$$

Ayant décrit les expressions des gradients utilisés, nous allons présenter l'algorithme de minimisation qui cherche la matrice de séparation B et les K applications g_1, g_2, \dots, g_K non linéaire. La minimisation est réalisée grâce à la méthode de descente du gradient. Les constantes λ et μ représentent les constantes de réglage.

Initialisation :

B

g_1, \dots, g_K

Boucle : pour $t = 1, 2, 3, \dots$

\hat{S}_{ij}^L estimation de $S_{ij}^L, i \neq j = 1, \dots, K$.

\hat{h}_k estimation de $h_k, k = 1, \dots, K$.

$z_k^{t+1} = [z_k^{(t)} - \mu \hat{h}_k(z_k^{(t)})]$

$k = 1, \dots, K$

Normalisation de $z^{(t+1)}$.

$B^{(t+1)} = B^{(t)} - \lambda \hat{D} B^{(t)}$.

ou $\hat{D}_{ij} = \begin{cases} \hat{S}_{ij}^L & 1 \leq i \neq j \leq K, \\ 0 & \text{sin on.} \end{cases}$

$y^{(t+1)} = B^{(t+1)} z^{(t+1)}$.

Normalisation de $y^{(t+1)}$.

Jusqu'à convergence.

Pour mettre en valeur l'apport des techniques de séparation aveugle de sources présentées, nous les avons appliquées sur des mélanges de signaux audio.

IV. SEPARATION DE SOURCES APPLIQUEE AUX SIGNAUX AUDIO

IV.1. METHODE ALGEBRIQUE

Nous disposons de deux enregistrements des signaux réels de parole. Les deux signaux de parole d'environ 3 secondes, échantillonnés à 11,025kHz sont montrés par la figure 1.a. Les mélanges de deux signaux à l'aide de la matrice de mélange: $A = [1 \ 1.5; 0.18 \ 1]$ sont représentés par la figure 1.b

La figure 1.c montre le résultat de séparation par la méthode algébrique basée sur l'utilisation des statistiques d'ordre deux.

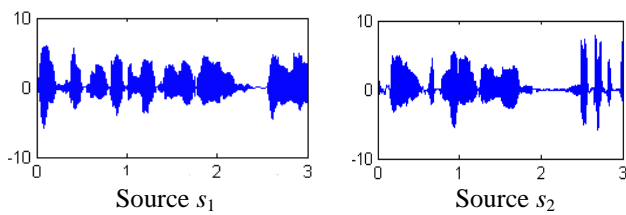


Figure 1.a. Signaux originaux

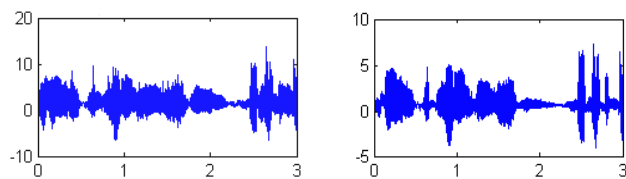


Figure 1.b. Mélanges observés des signaux

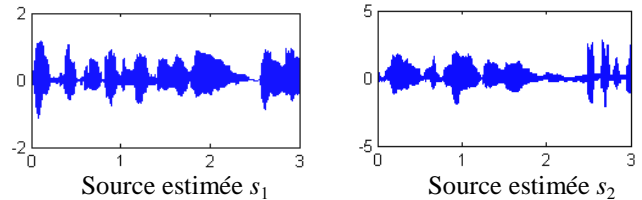


Figure 1.c. Estimation des sources

On remarque que les signaux originaux ne sont pas bien restitués.

IV.2. FONCTION DE CONTRASTE POUR LA SEPARATION

A. Séparation d'un Mélange Linéaire Instantané

On utilise les mêmes signaux audio et la même matrice de mélange que pour le cas de la méthode algébrique. On applique l'algorithme de séparation d'un mélange linéaire instantané basé sur l'utilisation des statistiques d'ordre supérieur, les résultats sont montrés dans la figure 2.

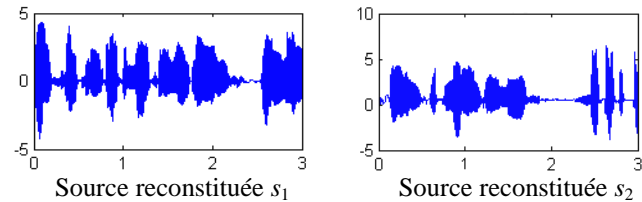


Figure 2. Estimation des signaux sources

On peut constater la bonne restitution des signaux sources originaux à partir de leurs mélanges instantanés.

Les signaux au format .wave peuvent être aussi écoutés pour évaluer les résultats.

B. Séparation d'un Mélange Post Non Linéaire

Nous disposons de deux enregistrements des signaux réels de parole montrés dans la figure 3.a

Les deux signaux sont mélangés ensemble à l'aide d'une matrice de mélange et avec les deux fonctions non linéaires:

$$f_1 = y = \tanh(ax) + bx.$$

$$f_2 = y = x^3 + ax, \text{ avec } a=1, b=1.$$

Les mélanges, et les signaux restitués en appliquant l'algorithme de séparation d'un mélange post non linéaire sont montrés sur figure 3.b et figure 3.c respectivement.

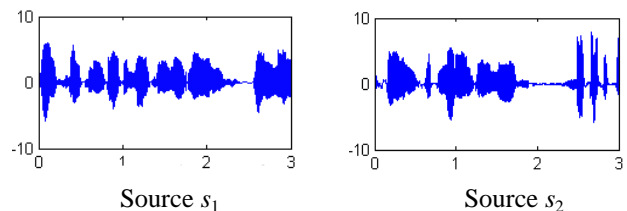


Figure 3.a. Signaux originaux

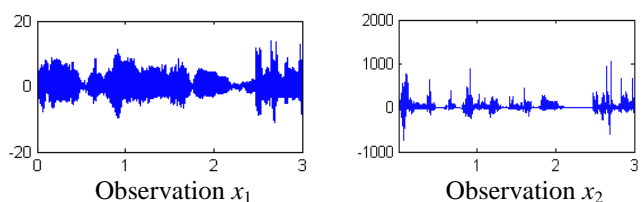


Figure 3.b. Mélanges observés des signaux

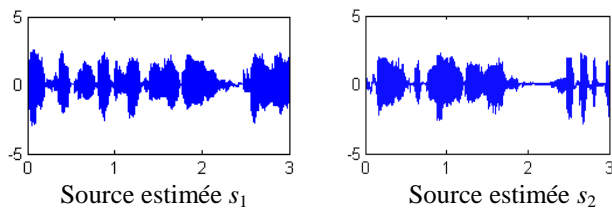


Figure 3.c. Estimation des signaux sources

On remarque la bonne restitution des signaux sources originaux.

La séparation est réalisée avec le bon choix des constantes de réglage λ et μ . La séparation des mélanges post non linéaires instantanés, nécessite un temps du calcul un peu plus élevé.

La méthode de séparation aveugle de sources basée sur l'utilisation des SOS, nous a permis de séparer un nouveau type de mélange plus compliqué, plus réaliste qui sont les mélanges post non linéaires instantanés.

V. CONCLUSION

Le travail présenté traite de la séparation aveugle de sources. Le problème revient à celui de la recherche des composantes indépendantes, en exploitant des informations statistiques différentes sur les signaux sources.

La méthode algébrique qui utilise les statistiques d'ordre deux, appliquée pour des mélanges linéaires instantané, ne donne pas toujours de bons résultats, car on recherche les composantes décorrélées. Nous avons présenté une méthode qui exploite l'indépendance des signaux sources en utilisant les statistiques d'ordre supérieurs, cette approche revient à un problème d'optimisation d'une fonction de contraste. Les résultats obtenus sur des mélanges linéaires instantanés sont aussi meilleurs que ceux obtenus par la méthode algébrique. En plus la méthode nous a permis de séparer un autre mélange plus compliqué, plus réaliste qui est le mélange post non linéaire.

REFERENCES

- [1] N. Budin, S. Abbound, « Real time multichannel abdominal fetal ECG monitor using a digital signal coprocessor », In *Comp Biol Med*, vol.24, pp.451-462, 1994.
- [2] C. Jutten, J. Herault, « Blind separation of source. Par I: An adaptative Algorithm Based on neuromimetic architecture », *signal processing*, n° 24, pp.1-10, 1991.
- [3] A. Belouchrani, J.F. Cardoso, « A blind source separation technique using second order statistics », *IEEE Transaction on Signal Processing*, vol.45, pp.210-220, 1997.
- [4] D.-T. Pham, « Joint approximate diagonalisation of positive definite matrices », *SIAMJ. on Matrix Anal. and Appl*, 22, n°4, pp.1136-1152, 2001.
- [5] J.-L. Lacoume, P. Comon « Statistique d'ordre supérieur pour le traitement du signal », Paris, 1997.
- [6] P. Comon, « Independent component analysis, a new concept? », *Signal Processing*, vol.3(36), pp.287-314, April 1994.
- [7] A. Taleb, C. Jutten, « Batch algorithm for source separation in postnonlinear mixtures », In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA1999, pp.279-284, Aussois, France, January 1999.
- [8] A. Taleb, C. Jutten, « Batch algorithm for source separation in postnonlinear mixtures », In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA1999, pp.279-284, Aussois, France, January 1999.
- [9] F. J. Theis, C. Puntonet, and E. W. Lang. «Non linear geometric ICA». In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA 2003, page 275-280, Nara, Japan, April 2003.
- [10] A. Taleb, C. Jutten, « Source separation in post-nonlinear mixtures », *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol 10(47), pp.2807-2820, October 1999.

[11] A. Taleb, C. Jutten, « Batch algorithm for source separation in postnonlinear mixtures », In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA1999, pp.279-284, Aussois, France, January 1999.

[12] A. Ziehe, M. Kawanabe, S. Harmeling, and K.R. Muller, «Separation of post non linear mixtures using ace», In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA2001, pages 433-438, San Diego, California, Dec 2001.

[13] J. Solé, C. Jutten, and D.T.Pham. «Improving algorithm speed in PNL mixture separation and wiener system inversion». In *Proc. Int. Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, ICA 2003, page 639-644, Nara, Japan, Apr. 2003.

Robust Arabic speech recognition with auxiliary information in noisy environments

Anissa Imen Amrous, Mohamed Debyeche

Abstract—We investigate, in this paper, how auxiliary information can be used in addition of standard speech features to increase the robustness of automatic speech recognition against additive background noise. Our speech recognition system based on Hidden Markov Model (HMM) is implemented using the HTK Toolkit. The front-end of the system combines features based on conventional Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC), and auxiliary information such as: pitch (fundamental frequency), energy and formants. Our experiments were fulfilled using ARADIGIT corpus which is a data base of Arabic spoken words. The obtained results show that the resulting multivariate feature vectors lead to a significant improvement of the recognition system performance in noisy environment compared to standard system alone.

Index Terms - ASR system, HMM, MFCC, auxiliary Information.

I. INTRODUCTION

Standard hidden Markov model (HMM) based automatic speech recognition (ASR) systems usually use cepstral features as acoustic observation. The most powerful features currently used are the MFCCs (Mel Frequency Cepstral Coefficients), the LPC (Linear Prediction Coding) and the PLP (Perceptual Linear Predictive) [1]. However, these features are very sensitive to speech signal variability under real-life conditions [2, 3, 4]. The speech signal variability is mostly due to environmental factor (presence of noise) or to speaker characteristics (tiring, illness, gender ...) and leads to different kinds of mismatch between acoustic features and acoustic models. This causes a reduction on the recognition rate under real-life conditions. The sensitivity of MFCC to noise motivates many authors to look for new parameters to make the acoustic models more robust. We can refer to Stephenson works [5] and Doss [6] who use within the framework of Dynamic Bayesian Networks (Dynamic Bayesian Networks are an alternative of HMMs) like auxiliary features: pitch, energy and Rate-Of-Speech (ROS).

Anissa Imen Amrous and Mohamed Debyeche are with the Speech Communication and Signal Processing Laboratory (LPCTS), Faculty of Electronics and Computer Sciences, USTHB Algiers, Algeria. Amrous_im@hotmail.fr,

In addition, other works in the audio-visual domain have integrated the visual informon in the acoustic recognition system [7] [8]. This work aims to integrate auxiliary knowledge sources into standard HMM-based ASR systems in order to make the acoustic models more robust to the speech signal variability [6]. The paper is set out as follows: section II describes the basic of standard hidden Markov model (HMM) based automatic speech recognition (ASR) systems. The section III presents the acoustic features extraction and that for both standard and auxiliary features In section IV we show our experimental evaluations, and finally conclusions are presented in Section V.

II. HMM BASED ASR SYSTEM

The general architecture of standard HMM based ASR consists of three main components: parameters extraction, training, and recognition (Figure. 1).

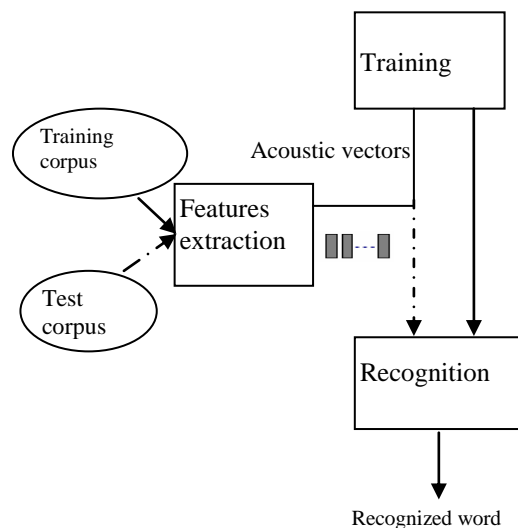


Figure 1. The general architecture of ASR system.

A. Features extraction

Features extraction consists to convert the speech waveform signal to a parametric representation. This parametric representation is then used for training and recognition. In the literature, there exist many different parameterizations, we can mention: the temporal

parameters, the cepstraux parameters, the prosodic parameters, etc.

B. Training

Training an acoustic model on database training means estimate the parameters which characterize this acoustic model. In case of hidden Markov model (HMM) these parameters are: the covariance matrix, the mean vector and the transition matrix. For that, the HMM models are initialized with Viterbi algorithm [9], then the Baum-Welch algorithm is called to train them [9].

C. Recognition

The recognition calculates the likelihood between the observation sequences (the word to recognize) and all the acoustic models which are already trained in the training step. The recognized word is the one which corresponds to the acoustic model according to the maximum likelihood. This likelihood was performed using the Viterbi algorithm [9].

III. STANDARD AND AUXILIARY FEATURES

Two kind of acoustic features are used in this work, cepstral features which we refer to them as standard and auxiliary features which are pitch, energy and the first three formant frequencies.

A. Standard acoustic features

The cepstral features used in this paper are the Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) [10]. For each analysis window, the MFCCs coefficients are calculated by equation (1), as follows:

$$MFCC(n) = \sum_{m=0}^{M-1} E[m] \cos\left(\frac{\pi m(m + \frac{1}{2})}{M}\right) \quad (1)$$

$$0 \leq n \leq M$$

where M is the number of filter bank channels and $E[m]$ is the energy of a given filter.

B. Auxiliary acoustic features

We chose to use as auxiliary features: pitch (fundamental frequency), energy and the first three formant frequencies. These are more robust than the cepstral features to the variabilities in the speech signal.

1) Pitch

Its estimation is based on autocorrelation function [11]. Giving a speech window $\{s(n), n = 0, 1, \dots, N_s - 1\}$ the autocorrelation function is defined as

$$R(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N_s-1-k} s(n)s(n+k), \quad k = 0, \dots, N_s - 1 \quad (2)$$

where N_s is the number of autocorrelation points to be computed.

2) Formant frequencies

In this paper we choose to use the frequencies of the first three formants which are estimated from the maxima of the LPC spectrum model [12]. These maxima are defined as the complex roots of the following polynomial:

$$1 + \sum_{i=1}^P a_i z^{-i} = 0 \quad (3)$$

where p is the LPC order.

3) Energy

Is defined as the variation of the signal amplitude caused by the force coming from the pharynx. The energy was computed by taking the logarithm of the windowed signal $(s_t)_{t=1,T}$ [12]:

$$E = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T s_t^2 \quad (4)$$

Where T is the window signal $(s_t)_{t=1,T}$ size.

C. Differential coefficients

In order to take into account the time correlation between frames, the first order temporal derivatives (represented as Δ) and second order temporal derivatives ($\Delta \Delta$) of the acoustic vectors are commonly used as additional acoustic features. The first order derivatives coefficients are given by:

$$\Delta C_i[t] = \frac{\sum_{k=1}^L k(c_i[t+k] - c_i[t-k])}{2 \sum_{k=1}^L K^2} \quad (5)$$

where $2L+1$ is the size of the regression window and $c_i[t]$ is the i^{th} acoustic component at the frame t . The second order derivatives are obtained by applying the same formula to the delta features.

IV. EXPERIMENTS AND RESULTS

A. Database

The speech database used in this work is the isolated ARADIGIT corpus [14]. It is composed of Arabic isolated digits from 0 until 9. This database is divided into the following corpora:

- Train corpus: consisting of 1800 utterances pronounced by 60 speakers including the two genders, where, each speaker repeats the same digit 3 times.
- Test corpus: consisting of 1000 utterances pronounced by 50 speakers including the two genders, where, each speaker repeats the same digit 2 times.

This database was recorded in WAV format at 16 kHz of sampling frequency in clean conditions.

B. Experiments

Our experiments were developed using HTK package (Hidden Markov Toolkit) [13], from Cambridge University. We carried out two sets of experiments with the aim to show the advantage of using auxiliary features in addition of cepstral features in speech recognition under real-life test conditions. We start by describing the baseline system and then we present the results of the fusion system using the concatenated multivariate features (MFCC+ auxiliary).

1. Baseline system: The baseline system is an isolated-word, speaker-independent system. This system uses cepstral features vectors as inputs. Thus, MFCCs extracted from the input speech signal, were generated as follows: Firstly, the speech signal is sampled at frequency of 16KHz, and in order to reduce the impact of the high frequencies, the speech signal is emphasized (the pre-emphasis coefficient is set to 0, 97 in our case). Since the speech signal is known as non-stationary, the signal analysis must be performed on a short-term basis. In this context, the speech signal is divided into a number of overlapping time windows of 25 ms with a frame period of 10 ms. For each analysis window, 12 Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) are calculated using a mel-scaled filterbank with 24 channels. Then, the first (Δ) and second ($\Delta\Delta$) derivatives of MFCCs are appended, making a total vector dimension of 36 (12 MFCC + 12 Δ MFCC + 12 $\Delta\Delta$ MFCC). The HMM models are a left-to-right HMM with continuous observation densities. Each model consists of 3 states, in which, each state is modeled by 12 Gaussian mixture with a diagonal covariance matrices.

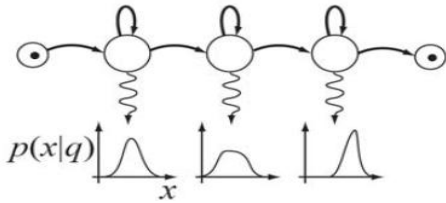


Figure 2. A 3-states left-right HMM.

2. Fusion system: The auxiliary features based on algorithms described in section 3 were generated using Praat Toolkit [16]. These features are then appended to the MFCC vectors by a simple concatenation. To complete the vectors, first (Δ) and second ($\Delta\Delta$) derivatives of multivariate vector are appended, making a total vector dimension of 51. Although that the concatenated features had different range of values, we did not use in the present implementation any special normalization.

The performance of these two systems in clean conditions and in adverse conditions (additive noise) has been studied. For the adverse conditions, we have corrupted the database with two kinds of noises, namely: factory noise and the pink noise. Spectrograms of these two kinds of noise are shown in Figure 3. Both noises have been extracted from the NOISEX92 database [15] and added to the speech signal to achieve a Signal-to-Noise Ratio (SNR) of: 15 dB, 10dB and 5dB.

The acoustic models' training uses the clean speech database; the noises are only added for testing the recognition performance.

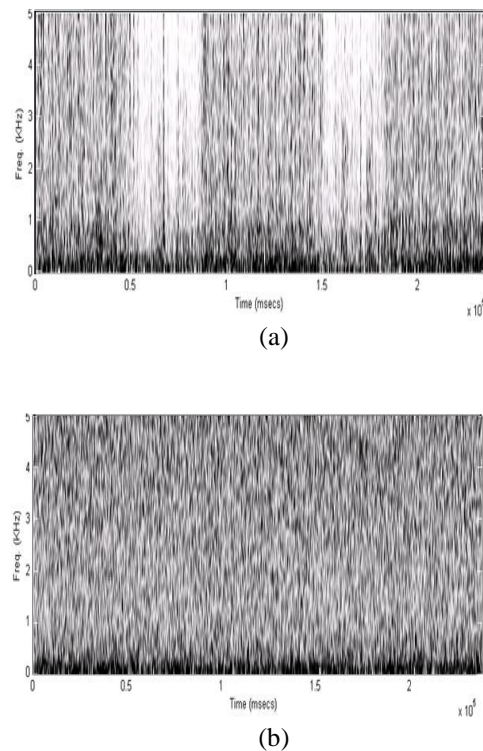


Figure 3. Noises spectrograms: (a) factory noise; (b) pink noise.

Word recognition rates obtained with both systems, baseline and fusion system in clean and noisy condition are summarized in Table I. The recognition results are given by the percent accuracy defined as:

$$accur = \frac{N - D - S - I}{N} \times 100 \quad (5)$$

where N is the total number of units, D is the number of deletion errors, S is the number of substitution errors, I is the number of insertion errors.

TABLE I. COMPARATIVE SPEECH RECOGNITION RESULTS.

Noise	SNR	Baseline system	fusion syetem
clean	$+\infty$	99,45%	98,52%
Factory noise	15 dB	79,61%	84,78%
	10 dB	58,03%	80,30%
	5 dB	33,12%	60,33%
Pink noise	15 dB	77,95%	89,58%
	10 dB	57,10%	79,98%
	5 dB	30,63%	59,32%
Average	($+\infty$ to 5 dB)	62,27%	78,97%

As it can be observed in Table I in clean conditions, recognition rates obtained with the fusion system are slightly worse than the baseline system (99,45% vs. 98,52%). This can be explained by the fact that the additive features disturb the more reliable standard features. This disturbance did not only interfere at the recognition level, but also at the training level. Another reason which can explain this degradation of the recognition rate is the fact that the modeling of the system fusion vectors by a Gaussian mixture density may be an inappropriate choice to model the new vectors extended by the auxiliary additive features. Moreover the constraint of the diagonal covariance matrices is not suitable in presence of multivariate features as they are not uncorrelated. This motivates us to consider for further investigations new models with less constraint (e.g. neural network models).

It is worthy to note that in noisy conditions, the proposed system that includes additional features besides MFCCs clearly outperforms the baseline system. For example, with 5dB factory noise: 33,12% vs. 60,33%, i.e., an improvement of 27.21% is noticed. It can be seen that, as the level of noise increases, the proposed system gains improvement in recognition accuracy over the baseline system. In case of pink noise, we noticed an increasing range of improvement from 11% to 29% according to SNR range 15 dB-5 dB respectively.

To summarize, by looking at the average accuracies in Table I, one can observe that the performance of fusion system is better than that of the baseline system. This improvement is a consequence of the exploitation of the auxiliary features which allows the proposed system (fusion system) to have more information about the word to recognize under adverse conditions.

V. CONCLUSION

In this paper, we have studied the advantages of using auxiliary features to Arabic speech recognition system based on Hidden Markov Model. The auxiliary features are added to the state-of-the-art cepstral features, (MFCCs) by a simple concatenation of the two kinds of features. The obtained results suggest that auxiliary features could improve the ASR performance in noisy conditions. In fact, this inclusion yields an improvement of more than 29% of correct recognition rate in comparison with baseline system, under noisy conditions. Hence, we can conclude that the auxiliary features contain information which can be considered as complementary to the information provided by cepstral features (MFCC) and can be used to improve the speech recognition performance in noisy conditions.

REFERENCES

- [1] C. Lévy, G. Linarès and P. Nocera, "Comparison of several acoustic modeling techniques and decoding algorithms for embedded speech recognition systems". Workshop on DSP in Mobile and Vehicular Systems, Nagoya - Japan, 2003.
- [2] G. Baudoin, P. Jardin and al "Comparaison de techniques paramétrisation spectrale pour la reconnaissance vocale en milieu bruité". Quatorzième colloque gretsi. September 1993.
- [3] L. Mary and B. Yegnanarayana "Extraction and representation of prosodic features for language and speaker recognition". Speech Communication 50, 782–796. April 2008.
- [4] H. Ezzaidi "Discrimination Parole/Musique et étude de nouveaux paramètres et modèles pour un système d'identification du locuteur dans le contexte de conférences téléphoniques". Thèse de doctorat. Université du Québec à Chicoutimi. October 2002.
- [5] T. A. Stephenson "Speech Recognition with Auxiliary". Thèse PHD. école Polytechnique Fédérale de Lausanne. May 2003.
- [6] Mathew Magimai Doss "Using auxiliary sources of knowledge for automatic speech recognition". Thèse PHD; école Polytechnique Fédérale de Lausanne. July 2005.
- [7] P. Deleglise, A. Rogozan and M. Alissali "Asynchronous integration of audio and visual sources in bi-model automatic speech recognition". Proceedings of the VIII European Signal Processing Conference, Trieste (Italy). September 1996.
- [8] Rodazana Alexandrina "Etude de la fusion des données hétérogènes pour la reconnaissance automatique de la parole audio-visuelle". Thèse doctorat de l'université d'Orsay Paris XI. July 1999.
- [9] L.R. Rabiner "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition". Proc. of the IEEE, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, 1989.
- [10] S.B. Davis and P. Mermelstein. "Comparison of parametric representations for monosyllable word recognition in continuously spoken sentences". IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, 28(4):357–366, 1980. 2.2
- [11] L.R. Rabiner "On the Use of Autocorrelation Analysis for Pitch Detection". IEEE transaction on acoustics, speech, and signal processing, vol-25, 1. February 1977.
- [12] S.B. Davis and P. Mermelstein. "Comparison of parametric representations for monosyllable word recognition in continuously spoken sentences". IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, 28(4):357–366, 1980. 2.2
- [13] S. Young, J. Odell and al "The HTK Book Version 3.3". Speech group, Engineering Department, Cambridge University. April 2005.
- [14] A. Amrouche "Reconnaissance automatique de la parole par les modèles connexionnistes". Thèse de doctorat, faculté d'électronique et d'informatique, USTHB. 2007.

- [15] A. P. Varga, H. J. M. Steeneken and al "The NOISEX-92 study on the effect of additive noise on automatic speech recognition". NOISEX92 CDROM, 1992.
- [16] P. Boersma and Weenink, D. "Praat: doing phonetics by computer". From the web site: <http://www.praat.org/> . 2008.

Conception et Réalisation d'un Système HOLTER d'enregistrement et d'analyse d'ECG

O.Bourdjam¹ Tighidet¹, M .Mehenni¹, D .Adggar²

¹ Instrumentation et Génie biomédicale– LINS

Faculté d'Electronique et Informatique – USTHB BP 32 El Alia, 16111 Alger

obourdjam@yahoo.fr mteghidet@gmail.com

² Service de cardiologie l'EHS Dr Maouche

RESUME —A la demande des rythmologues du service de cardiologie du de Hôpital CNMS du Dr MAOUCHE CHEVALLEY on se propose de réaliser un système d'analyse et de dépouillement d'enregistrements d'ECG sur une longue durée. Le principal objectif consiste à définir et concevoir un nouvel outil de diagnostics de pathologies cardiaques à base d'un autre type de dérivation, nous avons choisi les dérivation orthogonales de FRANK. Notre réalisation a été conçue autour d'un microcontrôleur 18F452 et d'un support à mémoire amovible SD de 8 Gigabits pour la saisie et le stockage du signal ECG. Le système en question aura pour principale fonctionnalité d'enregistrer sur le support SD les signaux d'un patient en ambulatoire pour une période de longue durée au de-là de 4jours et d'analyser, de dépouiller en temps différé ces enregistrements sur un PC .Dans cet article nous donnons les résultats des tests d'analyse et de détections des anomalies de type rythmologiques pour un enregistrement de plusieurs heures.

MOTS CLÉS : arythmies, détection QRS, ECG, filtrage, système HOLTER,

I. INTRODUCTION

Le Holter est un dispositif portable permettant l'enregistrement en continu e de l'activité électrique du cœur, l'électrocardiogramme ECG (enregistrement graphique des courants électriques accompagnants les contractions du cœur). L'appareil est constitué de deux parties à savoir une partie d'enregistrement et de stockage et une seconde partie de dépouillement automatique pour l'aide au diagnostic.

Les logiciels d'aide au diagnostic sont de plus en plus performants. Ces logiciels allègent considérablement la tâche du personnel médical. Ainsi, la mise au point de méthodes de dépouillement automatique d'enregistrements d'Electrocardiogramme (ECG) de longue durée est une aide appréciable pour les cardiologues. Dans ce cadre nous avons développé des

méthodes d'analyse et de détection d'anomalies cardiaques, que nous avons intégrées dans un logiciel interactif. Le médecin peut choisir le type d'analyse rythmologique ou morphologique, ainsi que la nature des anomalies à détecter. Nous avons testé ce logiciel sur des enregistrements d'ECG réels de patients saints et malades. Comme le choix des dérivation dépend de la pathologie étudiée, nous avons opté pour les dérivation orthogonales de Frank [1,2,3]. La première méthode consiste à l'analyse en temps différé des troubles du rythme c'est à dire les irrégularités des intervalles(RR). Compte tenue du nombre considérable de cycle à étudier, nous avons représenté les résultats sous la forme d'une courbe d'apparition d'évènements anormaux en fonction du temps .Ainsi le rythmologue dispose de la répartition temporelle (RR) des cycles et des instants d'apparition des cycles anormaux.

La seconde méthode consiste à l'identification d'une ou plusieurs formes de référence pour la comparaison avec les autres formes à analyser. La forme de référence (modèle) est préalablement choisie par le médecin en fonction du type d'anomalies à détecter.En effet une déformation sur la forme des ondes (P, QRS, T) peut caractériser des anomalies telles que les extrasystoles très souvent responsables du déclenchement de tachycardies pouvant dégénérer en fibrillation ventriculaire, donc de la mort du patient.

II. PRINCIPE D'UN SYSTEME HOLTER

L'électrocardiogramme (ECG de base) ne donne un enregistrement que pendant quelques minutes. Ils s'avèrent insuffisant pour dépister certaines pathologies (risque d'infarctus) de la vie quotidienne d'un patient d'ou l'intérêt d'une surveillance continue et prolongée sur plusieurs jours. Le système HOLTER consiste à

enregistrer un ECG de surface chez un patient en ambulatoire. De nombreux systèmes sont aujourd'hui proposés[4,5,6]. Quelques soient les différences ils sont tous constitués de deux unités fondamentales, un enregistreur portatif alimenté par une batterie et un lecteur utilisé pour l'analyse en temps différé.

d'origine physiologique (musculaire, respiratoire et surtout artéfacts.[10] La conversion analogique /numérique est assuré par notre Pic 18F452 avec une fréquence d'échantillonnage programmable. Nous avons pris $f_e = 500\text{Hz}$

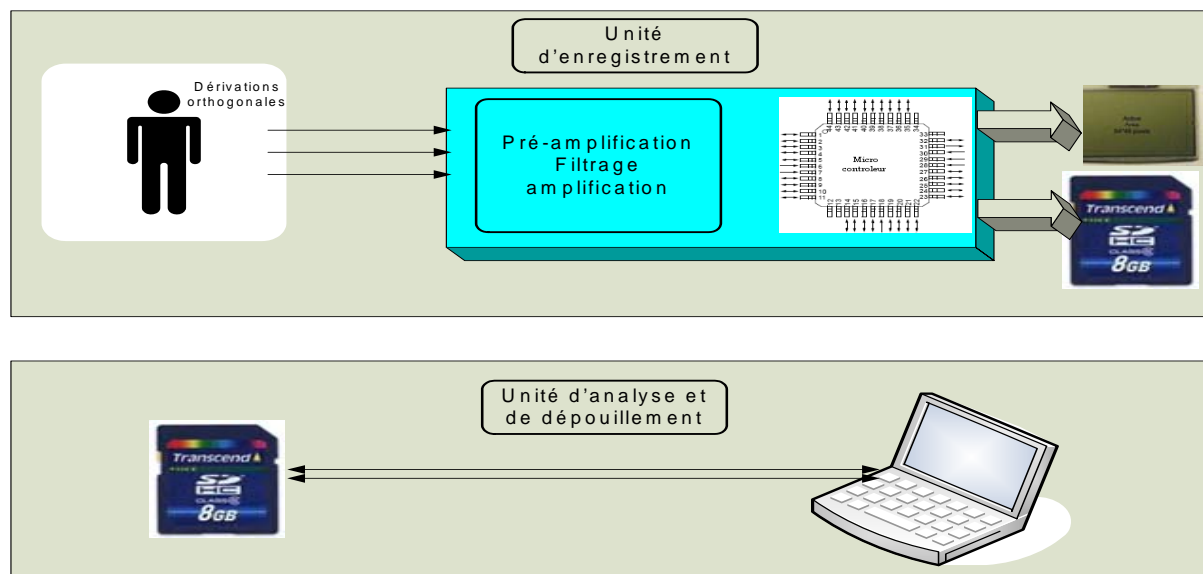


Figure 1 : Schéma bloc fonctionnel de notre réalisation.

III. CONCEPTION ET REALISATION DU SYSTEME

▪ UNITE D'ENREGISTREMENT:

Notre système d'enregistrement Hardware + Software est basée sur le microcontrôleur 18F452 [7,8] et la mémoire amovible SD de 8 Gigabits. Sachant que des tensions crête - crête des signaux varient entre 0,5mv et 5mv et que la bande passante du signal utile se situe entre 0,3Hz et 100Hz, une chaine d'amplification et de filtrage s'impose. [9,10]

La collecte du signal cardiaque se fait à travers la pose d'un réseau d'électrodes selon la propagation des lignes de champs électrique le long du corps humain, ce qui est appelé dérivation, et selon le choix de l'étude. [1][2][3][4]. On s'intéresse particulièrement aux dérivations orthogonales de Frank. Derrière ses électrodes toute une chaine d'acquisition a été étudiée et réalisée, et dont la partie conditionnement est à base d'amplificateur d'instrumentation le AD620 suivie d'un étage de filtrage. Celui-ci possède un gain d'ordre supérieur à 1000 avec une grande impédance d'entrée (plus de 10Mohms) afin d'avoir un signal convenable pour la suite du traitement. Pour le signal ECG, la totalité des informations se situe à des fréquences inférieures à 150Hz. Nous avons réalisé un filtre Butterworth passe bas d'ordre quatre avec fréquence de coupure $f_c = 45\text{Hz}$ sous une structure de Sallen Key pour limiter l'étendue de mesure à savoir minimiser les bruits

Nous avons utilisé une carte SDI avec une capacité de stockage de 8 Gigabits pour satisfaire une accumulation d'une base de données d'enregistrement pouvant aller jusqu'à quatre mois. L'enregistreur doit être portatif, autonome alimenté par un accumulateur 9V [11]. Le schéma complet sous forme de blocs fonctionnels de notre réalisation est donné sur la figure (1)

▪ UNITE D'ANALYSE DE DEPOUILLEMENT:

Un système de dépouillement purement software est basée sur un logiciel de détections d'anomalies rythmiques résidant dans notre PC portable.

Pour une voie X et une fréquence d'échantillonnage de 500Hz, il faut 1,8Mo pour une heure d'enregistrement donc 43,2Mo pour 24 heures. Donc largement suffisant pour notre application.

Le signal ainsi numérisé subit une série de traitement pour pouvoir détecter l'emplacement des pics R et calculer la largeur des intervalles RR. Comme analyse on a choisi la détection des irrégularités rythmiques.

Nous avons développé des algorithmes :

- De détections automatiques du QRS [12, 13,14].
- D'analyse et détections des troubles du rythme.
- De visualisation et présentation des résultats

Notre travail s'est basé sur la détection des anomalies cardiaques rythmique, tels la tachycardie sinusale, la bradycardie sinusale, les extrasystoles auriculaires (ESA),

les extrasystoles ventriculaires (ESV), la tachycardie auriculaire (flutter), le doublet, le bigéminisme...etc.

Une méthodologie d'analyse rythmique et de détections a été développée.

IV. METHODOLOGIE D'ANALYSE RYTHMOLOGIQUE

L'analyse cycle par cycle sur le signal cardiaque doit répondre avant tout à une bonne détection des complexes QRS. La recherche bibliographique [11,12 13] permet de mesurer l'importance des travaux liés à la détection des cycles et particulièrement du QRS. La détection du complexe QRS dans un cycle se fait en deux étapes : La première est basée sur la dérivée première et seconde du cycle (particulièrement du complexe QRS), et la seconde tient compte des paramètres du cycle de référence préalablement choisi par le cardiologue. Ces méthodes jumelées sont efficaces pour la localisation des ondes même en présence d'importants déplacements de la ligne isoélectrique et d'artéfacts. La figure 2 et 3 présente quelques cas d'artéfact et de bruits de nos enregistrements avec un déplacement de la ligne isoélectrique

Au fur et à mesure que les cycles sont détectés, les écarts temporels (E) entre deux cycles successifs sont calculés puis sauvegardés en mémoire avec les positions (P) correspondantes. Les variations d'amplitude de la courbe $E = F(P)$ représentant ces écarts en fonction des positions, renseigne le médecin sur la variabilité du rythme (VCF) cardiaque.

A l'aide d'un menu interactif, nous donnons au médecin la possibilité de visualiser les variations de ces écarts et d'observer en fonction du temps les cycles dans les régions où les écarts entre deux cycles sont anormaux. Le médecin peut alors savoir les raisons de ces écarts (bradycardies, tachycardies, pauses...).

Nos résultats se présentent sous forme d'une courbe d'apparition des événements de la fréquence cardiaque instantanée en fonction de leur position dans le temps.

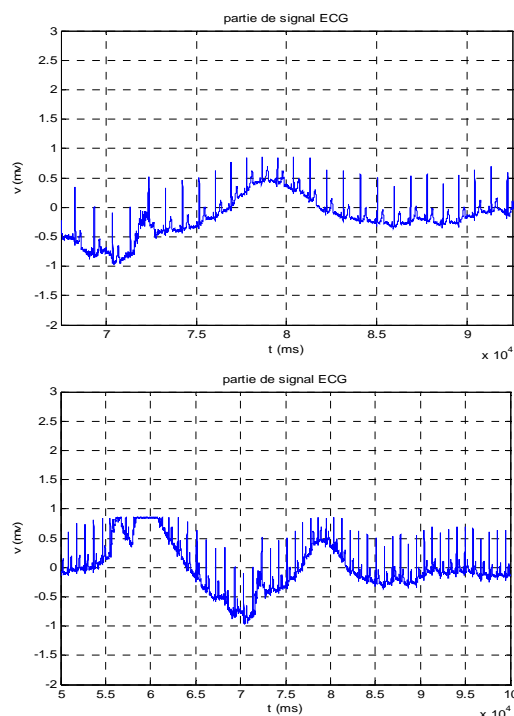


Figure 2 Visualisation d'un enregistrement sur une durée de quelques minutes avec artéfacts et déplacements de la ligne isoélectrique

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les programmes mis au point pour détecter les écarts temporels entre les cycles cardiaques ont été testés sur plusieurs cas. Nous avons choisi deux cas pour illustrer nos résultats:

Le premier cas est représenté sur la figure 3a le sujet est un homme âgé de 50 ans ayant un rythme tout à fait régulier. La figure (3b et 3c) confirme la régularité et représente respectivement le tracé les variations RR ($RR_{moy} = 985ms$) et son histogrammes sur plus de 20 cycles. Ce patient a un rythme tout à fait régulier. Sa variabilité fréquence cardiaque (VFC) est égale à 59 Batt/min (bpm).

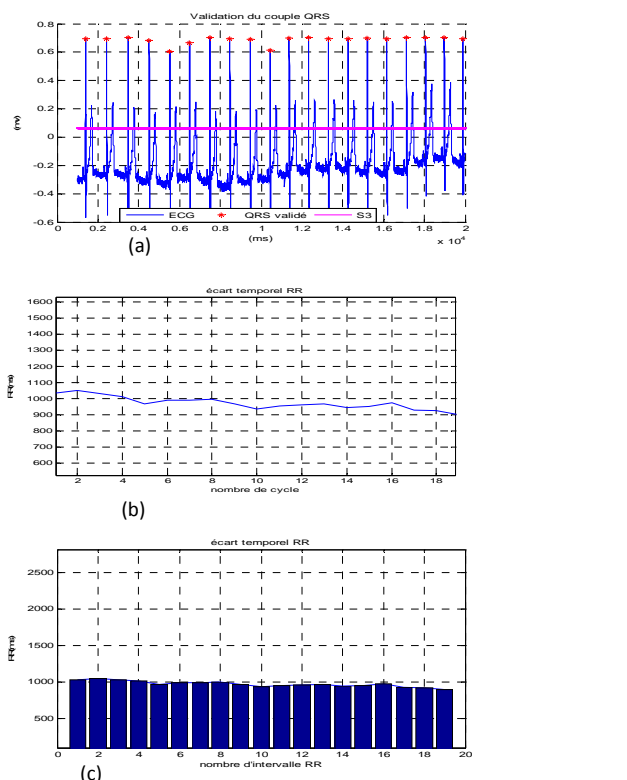


Figure 3: « cas 1 » (a) : signal ECG, (b) : Courbe des écarts RR, (c) : histogramme VFC=59 bpm

Le second cas est un sujet présentant des irrégularités dans l'évolution de son rythme cardiaque. La figure (4a) représente la courbe de ses écarts temporel RR sur 5minutes d'enregistrement. Le RRmoy est égale à 748 ms avec une fréquence cardiaque égale à 80 bpm. Les pics P2 à P6 correspondent à des anomalies. Nous avons représenté sur les figures (4b, 4c, 4d, 4e, 4f) quelques zooms des positions P_i et les anomalies correspondantes sur les figures respectives. Il s'agit en majorité des complexes prématurés à savoir extrasystoles ventriculaires (ESV) et extrasystoles auriculaires (ESA). Notre logiciel détecte et comptabilise les arythmies du type : pauses ESA, ESV, doublet, triplet...etc.

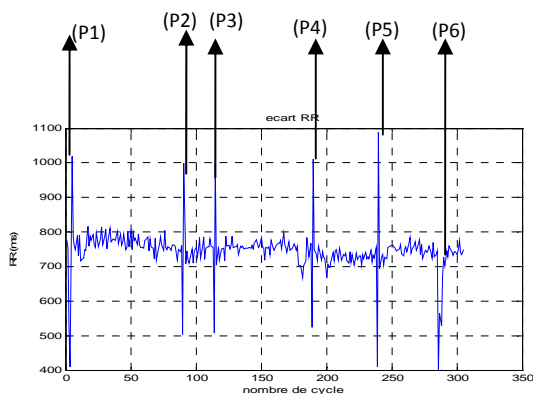


Figure 4a : Courbe des écarts RR sur 300 cycles, les P_i sont les témoins des arythmies. VFC=80bpm

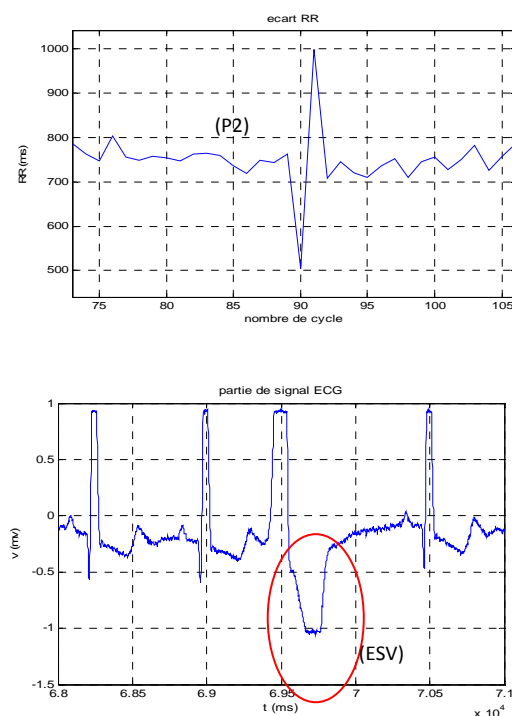


Figure 4b : Zoom de la Position P2 sur les 90ème et 91ème cycles avec une variabilité des RR allant de 500ms à 1000ms. Ceci dénote une arythmie représentée par ESV Anomalie P2- cycle 91 - ESV

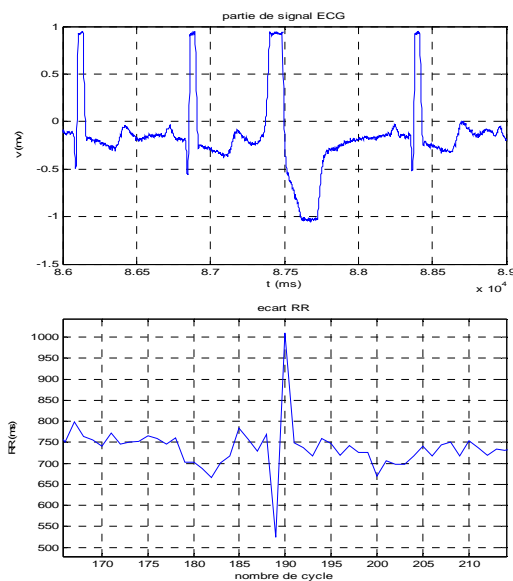


Figure 4c : zoom Position P4 et Anomalie entre les cycles 189 et 190 - idem d'ESV

La présence sur le tracé de la figure (4a) de pics dont l'amplitude est voisine de (deux fois RRmoy) confirme la détection attendue par notre programme, à savoir le rejet des cycles qui ne se rapprochent pas de la référence et de la fréquence moyenne. Par exemple, le pic P4, P5 d'amplitude 1000 ms est obtenu suite au rejet d'une extrasystole ventriculaire (ESV) (Figure 4d) et (Figure 4e).

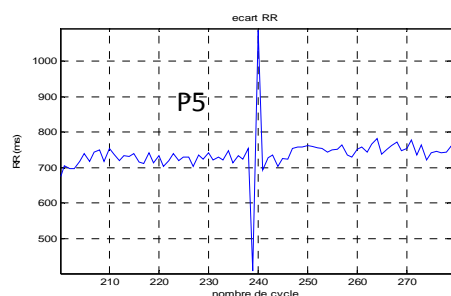


Figure 4d : zoom Position P5- RR varie de 400ms à 1100ms

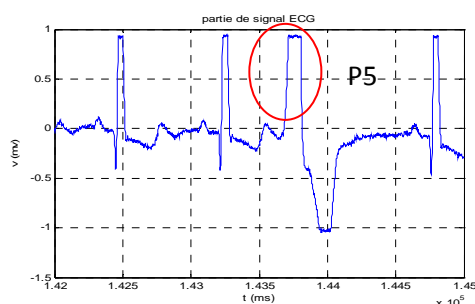


Figure 4e : Anomalie P5 -entre les cycles 240 et 241 -ESV

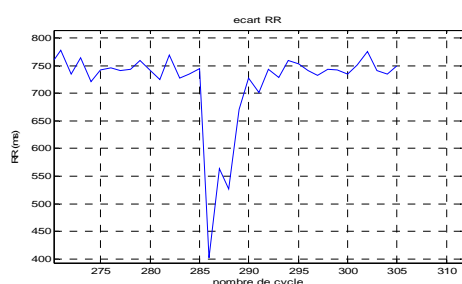


Figure 4f : zoom Position P6

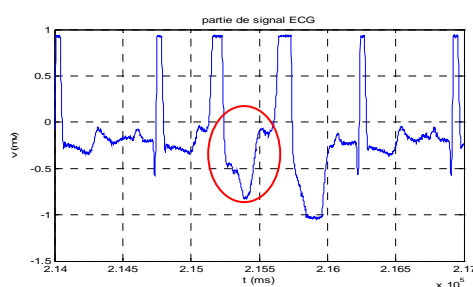


Figure4 f : Anomalie P6, entre cycles 286 et 287 Il s'agit d'un Doublet

VI. CONCLUSION

De nos jours, l'évolution technologique a permis l'apparition de nouvelle application dans la télé cardiologie et ses applications telles la transmission, le traitement des données et imagerie médicales à distance, le monitoring en temps réel, les systèmes d'aide à la prise de décision, chose qui a allégé d'une part les cardiologues et les patients.

Par son intérêt de diagnostique ,statistique ou thérapeutique les systèmes de détection automatique sont devenus des outils indispensables en pratique médical .Par ailleurs le développement des supports d'enregistrements(sur disque amovible miniaturisé)et des possibilités techniques de dépouillement accéléré des enregistrements de longue durée(Système HOLTER)ainsi que la transmission des données sur voie IP ont entraîné un intérêt croissant chez les cardiologues. Dans ce cadre, Nous avons mis en œuvre un système de collecte et d'analyse des signaux cardiaques avec le minimum de matériel.

La méthode que nous avons adoptée pour la détection des arythmies cardiaque se base sur la détection des intervalles R-R, elle se caractérise par son efficacité de détection qui est due au seuillage temporel et basé sur le choix d'un cycle de référence par le cardiologue. Nos algorithmes ont été testés sur notre propre base de donnée de signaux X, Y, Z obtenus à partir des dérivations orthogonales que nous avons recueillis a travers notre chaine d'acquisition au service de cardiologie .Nous avons constitué une base de donné d'ECG sur plus de 10 patients avec des enregistrements variant de 5 à 10 minutes. La réalisation de nos programmes en C++ a donné des résultats satisfaisant pour la détection d'arythmies sur des cas clinique au repos.

En perspective, cette étude doit être poursuivie par une exploitation plus poussée et des traitements originaux et par une expérimentation clinique sur

- Des ECG d'effort.
- Médecine sportive....

D'autre part, l'évolution des systèmes de transmission radio vers la 4^{ème} génération (3G et 4G système à haut débit), nous permettra d'ajouter un étage d'interfaçage avec des téléphones portables, pour concevoir ainsi un système de suivi des patients à distance. Il s'agit d'un axe de recherche porteur dans le domaine du développement de la télé cardiologie

REFERENCES

- [1] Ginestes J. Vectocardiographie clinique Ed. Masson 2000.
- [2] El Sherif .N, Turitto .G. High resolution electrocardiography future publishing company, Inc (1992).
- [3] Kaoua M., Tighidet M., Herbeuval JP., Flamant Y.; Détermination automatique des paramètres vectocardiographiques.; Colloque Maghrébin, Alger, Nov 22-24, 1996.
- [4] C.Djeager,P.Chevalier,H.Vanviet,D.David
Enregistrement électrocardiographique de longue durée: Système de HOLTER Tempo Médical ,N°359B, Sept.2000 ,pp27-29.
- [5] J.F.Leclercq,Ph.Coumell 'enregistrement HOLTER en rythmologie, documentation médicale des laboratoires LABAZ 2004.
- [6] CARDIOSTAN, appareil Holter 2010
- [7] PIC 18F452, DATA Sheet, Microchip
- [8] SANDisk Association Site.

- [9] Richard G.Lyons, Understanding digital signal processing, 2001 prentice hall, P157-297.
- [10] M. Kaoua, M. Tighidet, JP. Herbeuval, Y. Flamant, E. Aliot; " Traitement des signaux cardiaques fortement bruités: Application au suivi de l'activité cardiaque à l'effort."; Proceedings IEEE Intern. AMSE conf. CSS'95; Rabat (Maroc), Oct 9-11, 1995, vol 1.
- [11] ELEKTOR Magazine

- [12] Fraden .J, Neuman .N.R, QRS wave detection " Med.& Biol. Eng.&Comp. ,n° 18, 1980,pp.125- 132.
- [13] Tighidet M, Kaoua M, Herbeuval JP, Flamant Y, Aliot E; Mise en évidence des Potentiels Tardifs avec analyse des écarts temporels entre les cycles cardiaques identiques à la référence. ,J.T.E.A.97, Hammamet (Tunisie), 5-7 Nov.1997.
- [14] Tighidet M., Kaoua M., Herbeuval J.P., Yvroud E., Flamant Y. Analyse et détection automatique des anomalies des signaux cardiaque orthogonaux COMEA 96 Université de TLEMCEN DEC 3-5 199.

Trabecular Bone Texture Classification Using 1D LBP and Wavelet Coefficients in High-pass Bands

Lotfi Houam, Adel Hafiane, Rachid Jennane, Abdelhani Boukrouche and Eric Lespessailles

Abstract— In this paper, a method based on wavelet coefficients in high-pass bands associate with the Local Binary Pattern descriptor in both, 2D and 1D fields, is proposed for trabecular bone image classification with preprocessing of data. This study is performed with two types of DWT algorithms, the first one based on the "à trous" algorithm of Dutilleul (1987), and the second using the "Mallat" algorithm (1989) with three wavelet bases (Haar, Daubichie 6 and Coiflet 5) as decomposing bases. The method requires a series of preprocessing of images. A clinical study is led on two populations of osteoporotic and control patients. Experimental results show that our proposed approach for bone image classification in 1D projected fields of 2D images, is more efficient compared to the 2D case. Moreover, they show that the structural organization of bone is more anisotropic for the osteoporotic cases than that of the control cases in accordance with the natural evolution of bone tissue linked to osteoporosis.

Index Terms— texture, classification, wavelet, anisotropy, bone, osteoporosis.

I. INTRODUCTION

Osteoporosis is considered as a public health issue [1]. The numbers of hip fractures worldwide are projected to increase almost 4-fold from 1990-2050 [2]-[3]. Prevention of fracture normally determines which populations are at risk for fracture. At the present time, osteoporosis has been defined as a disease characterized by low bone mass and microarchitectural alterations of bone tissue, leading to enhance bone fragility and consequent increase in fracture risk [4]. One of these two elements, bone mass is well evaluated in clinical practice by bone mineral density (BMD) determination, whereas the other one, microarchitectural alterations, is not [5].

The development of a useful microarchitecture indicator providing an appropriate risk factor of osteoporotic fractures

would lead to a better diagnosis of osteoporosis [6]. This indicator should be independent from BMD and thus yield complementary information versus BMD to osteoporotic bone changes. It also must be reproducible, convenient, noninvasive, and inexpensive. For a long time, trabecular bone microarchitecture has been characterized by histomorphometry [7]-[8] but this method is invasive and cannot be applied to large populations. Our goal is to develop a tool that allows us to distinguish between two populations including patients with osteoporotic fractures (OP) and control cases (CT).

The calcaneus (heel bone) is well suited to measure the anisotropy (figure 1(a)). This bone is submitted to compression and tension forces produced by the walking and by the gravity. As a result, it is a very anisotropic structure as shown in figure 1(b). The evolution of the orientations of the trabeculae enables quantifying the degree of deterioration of the bone. For a normal subject both types of trabeculae are uniformly distributed. For an osteoporotic subject the number of tensile trabeculae decreases gradually until a complete disappearance for a patient with severe osteoporosis. On the other hand, compression trabeculae become thinner and their number decreases much less quickly during the disease. As a result, a radiograph of an osteoporotic subject will be more anisotropic than the normal subject.

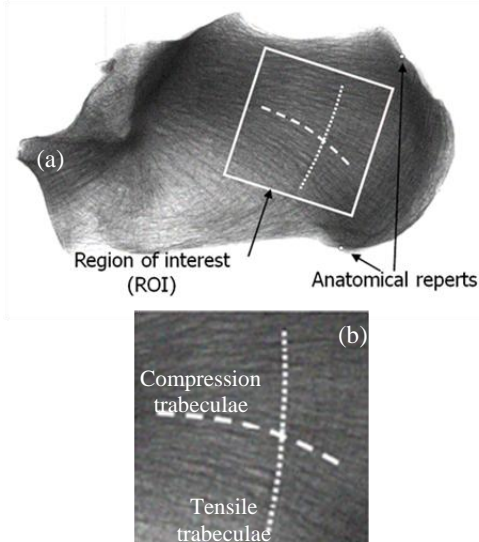


Figure 1. Calcaneus radiograph and its region of interest (white square) (a). Region of interest measuring 256 x 256 pixels ($2.7 \times 2.7 \text{ cm}^2$) used for processing and testing (b)

Manuscript received October 30, 2011.

Lotfi Houam is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria. houlotfi@yahoo.fr

Adel Hafiane is with the PRISME Laboratory, ENSI de Bourges, 88 boulevard Lahitolle, 18000 Bourges, France. adel.hafiane@ensi-bourges.fr

Rachid Jennane is with the PRISME Laboratory, Université d'Orléans, 12 rue de Blois BP 6744, 45067 Orléans, France. Rachid.Jennane@univ-orleans.fr

Abdelhani Boukrouche is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria. abdelhanib@yahoo.fr

Eric Lespessailles Inserm U658, CHR Orléans, 1 rue Porte-Madeleine BP 2439, 45032 Orléans, France. Eric.Lespessailles@chr-orleans.fr

Texture analysis applied to trabecular bone images offers the ability of exploiting the information present on conventional radiographs [9]-[10]. There exists a wide variety of image texture analysis techniques, the main approaches use: Gauss Markov Random Fields (GMRF) [11], Gabor filters [12], histogram of local characteristics, [13]-[14]. However, the performance of each approach depends on the application and the type of the texture. Nevertheless, The Local Binary Pattern (LBP) method [13] have shown nice performance for different applications including texture phenomena. It is interesting to use such kind of approach for bone texture classification, for its simplicity and high discriminative properties for textures. However, the bone texture of osteoporotic and control patients is not much distinctive and needs deep expert analysis with prior acknowledge to separate the two classes of patients.

The calcaneus texture is characterized by both the direction of the global and the local patterns figure 1(b). The LBP is useful to capture the local patterns, but it is less suitable for the global patterns. The aim of the presented work is, to validate the approach so called 1D LBP proposed in [16] applied in the high-pass wavelet coefficients sub-space. The technique consists in four stages procedure. First, a high pass spatial frequency filter is applied to keep the essential information of the texture. The second step is the quantization of the gray level texture from 256 to 16 gray levels. The third step, the image is projected onto vertical (see figure 6) direction, next a DWT is performed to the 1D projected signals. Finally, the local binary pattern method is applied on the high-pass band wavelet coefficients for each DWT decomposition level. Compared to the original LBP, the K-nearest neighbors classifier yields better classification rate of the two populations (OP and CT) with the proposed approach.

This section is followed by the preprocessing performed to enhance the data. The previous works on the Local Binary Pattern are presented. Next, the LBP associate with the wavelet approach for image feature extraction is described in section IV. The results of performance are reported and analyzed in Section V. The discussion is drawn in the last section.

II. FEATURE ENHANCEMENT

Trabeculae in bone are organized so as to supply a mechanical resistance adapted to various constraints. Trabeculae in the directions undergoing weak constraints are less numerous and less thick. The non uniform changes due to osteoporosis induce variations of the degree of anisotropy. A precise analysis of the mean periodogram performed on the lines of trabecular images presents two distinct frequency regimes as shown on figure 2. These two regimes are separated by a frequency cut f_c . The low frequencies $|f| < f_c$, or, equivalently, the large scales correspond to the intertrabecular area. While the high frequencies $|f| > f_c$, or, equivalently, the small scales correspond to the trabecular area.

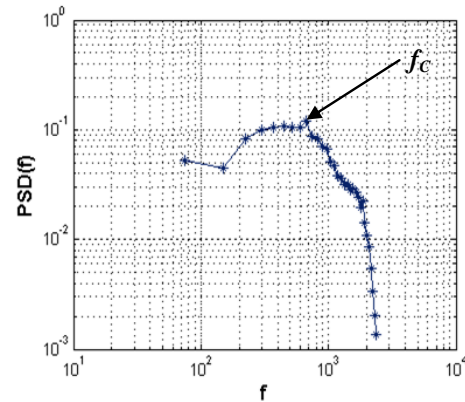


Figure 2. A representative mean periodogram (Power Spectral Density or PSD) of the lines of an X-ray calcaneus image.

To highlight the significance of this frequency cut, we have filtered two images from an osteoporotic patient and a control one. A circular filter in the frequency domain is used for this purpose. The high frequency part of these images is presented on figure 3 (c) and figure 3 (d). The low frequency part corresponds to the area which is not concerned by osteoporosis and belongs to the intertrabecular spacing. While the high frequency part corresponds to the area concerned by osteoporosis namely the trabeculae area.

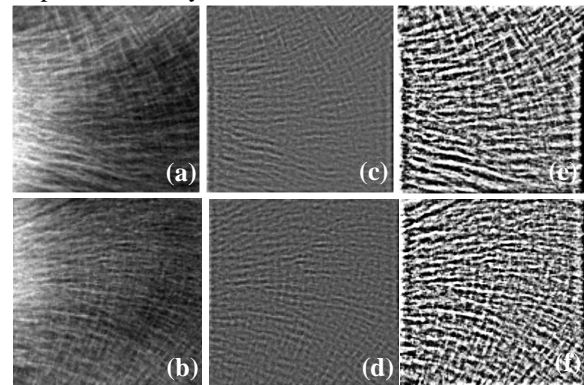


Figure 3. Original image of the calcaneus of an osteoporotic patient (a), control case (b), high pass filtered images (c) and (d) and high pass filtered and quantized images for 16 gray levels (e) and (f)

To sum up, the architecture of bone is mainly described by the arrangement of trabeculae and thickness. The evolution of architecture in osteoporosis results in variations at scales that match our images at high frequencies. To analyze the phenomena in this band, it would be necessary to perform preprocessing of the trabecular bone images to support this range of analysis. For this purpose we choose to make a high-pass filtering of the images. This filter is sometimes called “flattening of the image”. According to figure 2, the first 20 spatial frequencies of the spectrum are removed before performing the next processing.

Further, in our case, 256 values of gray levels are not useful for proper characterization of the image. To enhance the trabecular bone patterns we reduce the number of gray levels.

A reduction to 16 gray levels provides better and easier exploitable images more convenient for bone texture analysis. figures 3(e) and figure 3(f) show the effect of quantization and the filtering processes. We can notice also, from these figures, the high visual similarity between the control cases and osteoporotic patients which make the classification task more difficult.

III. LOCAL BINARY PATTERN

A. Classical LBP

The LBP and its variants is a powerful method for texture description [13]-[15]. The operator labels the pixels of an image by thresholding the 3×3 neighborhood of each pixel with the center value and considering the result as a binary number. Then the histogram of the labels can be used as a texture descriptor. An illustration of the basic LBP operator is shown in figure 4. The LBP may fail in many cases for anisotropy phenomena since it is more complex than the natural textures. This phenomenon is characterized by the global direction of the structures. The 2D local patterns are less sensitive to such characteristics, because they encode only the frequency of local structures regardless their global orientations. In the next section we present a method that uses local patterns to capture more information about global directions.

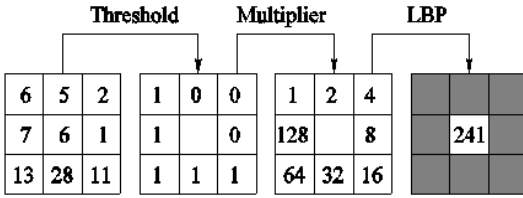


Figure 4. LBP operator performed onto a 3 × 3 neighborhood

B. One Dimensional LBP

The 1D projection of row or columns of an image provides a mean to describe better the global and local patterns. Figure 5 presents an example of a vertical projection. Our aim is to validate the method so called 1DLBP [16] for 1D fields. The concept of the One Dimensional Local Binary Pattern, consists in a binary code describing the local agitation of a segment in a 1D signal. It is calculated by thresholding the neighborhood values of the central element. All the neighbors will get the value 1 if they are greater or equal to the current element and 0 otherwise. Then, each element of the resulting vector is multiplied by a weight according to its position (see figure 5). Finally, the current element is replaced by the sum of the resulting vector. This can be summarized as follows:

$$1DLBP = \sum_{n=0}^{N-1} S(g_n - g_0) \cdot 2^n \quad S(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

g_0 and g_n are respectively the values of the central element and its 1D neighbors. The index n increases from the left to the right in the 1D string as shown in figure 5 (c). The 1DLBP descriptor is defined by the histogram of the 1D patterns.

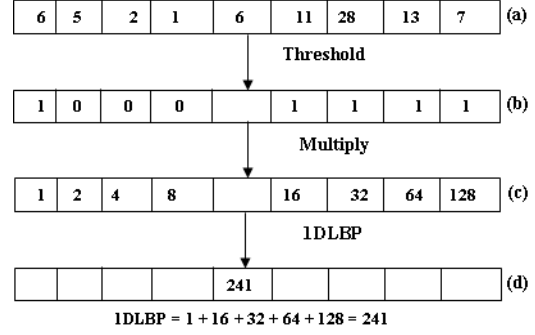


Figure 5. Performing the 1DLBP on the central element of a 1D mask with 8 neighborhoods (a), threshold (b), coding (c) and resulting 1DLBP (d)

As result, the size of this descriptor depends on the size of the neighborhood, N . For instance, 8 neighbors yield 256 bins in the histogram.

IV. WAVELETS AND FEATURE EXTRACTION

Wavelets are the multiresolution techniques intend to transform an image into a presentation in which information regarding both the nature of the frequency components (high or low) and the location of occurrence of these frequencies in the image axe preserved. For multiresolution decomposition of images, it is often desirable to differentiate the local orientation of the image features. In this study, the Mallat and the à trous algorithm [17]-[19], are used as a multiresolution tools for features extraction.

A. A trous Algorithm

The "à trous algorithm" was one of the first algorithms proposed to perform a discrete wavelet transform on a mono-dimensional signals [17]-[18]-[20]. In this algorithm, the wavelet expansion is not performed by subsampling of the image. This implies that the various approximations of the image and the images of all wavelet coefficients have the same size as the original image. In the mono-dimensional approximation of the signal at the resolution 2^{j+1} is calculated from the approximation of the signal at resolution 2^j using the following equation :

$$f_{j+1}(t) = \frac{1}{4} f_j(t - 2^j) + \frac{1}{2} f_j(t) + \frac{1}{4} f_j(t + 2^j) \quad (2)$$

The difference of information between two successive approximations is described by the wavelet coefficients :

$$C_{j+1}(t) = f_{j+1}(t) - f_j(t) \quad (3)$$

B. Mallat Algorithm

Although also applying in the mono-dimensional case, the concept of the multiresolution analysis, was introduced by Mallat (1989) for an application to the image. To this goal, one introduces a function of separable twodimensional scale defined by:

$$\varphi(x, y) = \varphi_{j,k}(x) \cdot \varphi_{j,k}(y) \quad (4)$$

when $\varphi_{j,k}(x)$ and $\varphi_{j,k}(y)$ are related respectively to scale function applied in the "x" direction and the scale function

applied in the "Y" direction. The expression of the difference in existing information between two successive approximations of the same image is carried out using three directional wavelets, ψ^D , ψ^H and ψ^V . When ψ^D , ψ^H and ψ^V are respectively the wavelets allowing the calculation of the difference in information in the diagonal, horizontal and vertical directions. The high-pass band wavelet coefficients at resolution 2^j are given by:

$$\begin{aligned} D_{2^j}^H &= \left[\langle f(x, y), \psi_{2^j}^H(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) \rangle \right]_{(m,n) \in \mathbb{Z}^2} \\ D_{2^j}^V &= \left[\langle f(x, y), \psi_{2^j}^V(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) \rangle \right]_{(m,n) \in \mathbb{Z}^2} \\ D_{2^j}^D &= \left[\langle f(x, y), \psi_{2^j}^D(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) \rangle \right]_{(m,n) \in \mathbb{Z}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

As in the 1D case, the calculation of the successive approximations is carried out using a digital filters. In the 2D case (images), the filters will be applied in rows then columns[19].

C. Features Extraction

The basic idea for features extraction in high-pass bands of wavelet coefficients sub-space, that we propose(see figure 6) as follow:

Step1: The first step consist to the preprocessing of the raw images.

Step2: Projected the enhanced image from the vertical direction.

Step3: the discrete wavelet decomposition on the projected signal (DWT) to the third level of resolution.

Step4: Perform the 1D LBP descriptor on the wavelet coefficients in high-pass band of each of the 3 resolution.

Step5: Concatenate the 1D LBP histograms obtained in step4 in a single vector, this vector can be used as a texture descriptor or a feature vector.

V. EXPERIMENT AND RESULTS

Calcaneus radiographs were performed after a standardized protocol. We used X-ray clinical apparatus with a tungsten tube and an aluminum filter of 1-mm thickness. The tube voltage was fixed to 36 kV and the exposure condition was 18 mA, with an exposure time of 0.08 s. The source-calcaneus distance was settled at 1 m, and the calcaneus was placed in contact with the sensor.

An image of a region of interest (256 x 256 pixels) from a calcaneus radiography is extracted thanks to two anatomical marks (figure 1(a)). This region was scanned with 256 gray levels to obtain a trabecular bone texture image as presented in figure 1(b). Our technique was tested on a population composed of 80 women provided by the medical stuff at the hospital. Among these subjects, there were 39 patients with osteoporotic fractures (OP) (vertebral fracture) and 41 control cases (CT). Because age has an influence on bone density and on trabecular bone texture analysis, the fracture cases were age-matched with the control cases. The classical LBP and the 1DLBP methods are compared on these data to characterize the anisotropy of the structure, and check if it yields evaluating

bone changes.

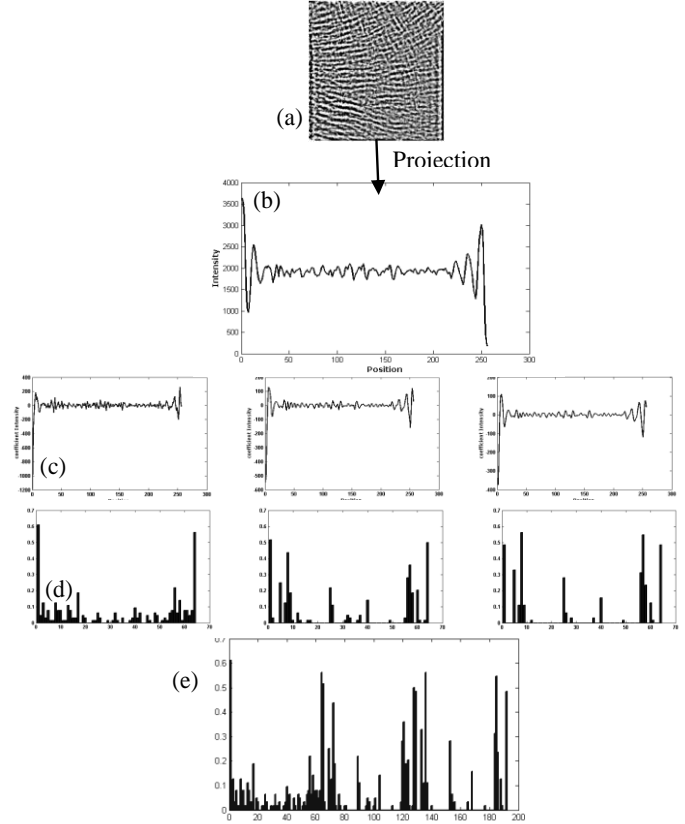


Figure 6. Enhanced radiographic trabecular bone image from an osteoporotic patient (a), resulting 1D projected signal in the vertical direction (b), the wavelet coefficients in high-pass bands from three resolution using the à trous algorithm (c), the corresponding 1D LBP features (d) and the resulting feature vector (e)

The K-nearest neighbors (k-NN) classifier is used to validate the proposed approach in term of classification accuracy. This classifier presents the advantage of parameter free algorithm, only the number of neighbors in feature space need to be set. We vary this parameter to test the influence of the number of nearest neighbors size over the classification correctness. The Euclidean distance is used to compare the feature vectors. The original LBP is applied to the raw and to the enhanced data. Depending on the number of k-NN, figure 7 (a) and (b) illustrate an example of the classification accuracy in terms of AUC (area under curve), obtained from the ROC curves, versus the number k using the à trous algorithm with vector features of size 64 bins for each sub band in 1D and 59 bins in 2D cases in (a) and 256 bins for both cases in (b). As can be seen, the 1DLBP performs better than LBP in 2D field. The best performance was obtained with $k = 11$, but $k = 7$ seems to represent a good tradeoff between performance and computation complexity. The Area Under Curve (AUC) indicates that this kind of technique can be a good descriptor to discriminate between osteoporotic patients and healthy controls.

The LBP and 1DLBP have been applied to the field of

medical imaging on bone radiographs. 80 gray level images, half from osteoporotic patients and half from control subjects, have been used for a clinical study. The ROC curves and cross validation process have been used to evaluate the classification accuracy. figure 8 (a), (b) and (c) shows the AUC depending on k-NN values using respectively, Haar, Daubechie 6 and Coiflet 5 as a wavelet bases. The feature vector size is: 64 bins for each band in 1D and 59 bins in 2D cases. 1DLBP applied to enhanced images and 1D derived signals with Daubechie base, provides the best performances in term of AUC (Area Under Curve) (figure 8 (b)).

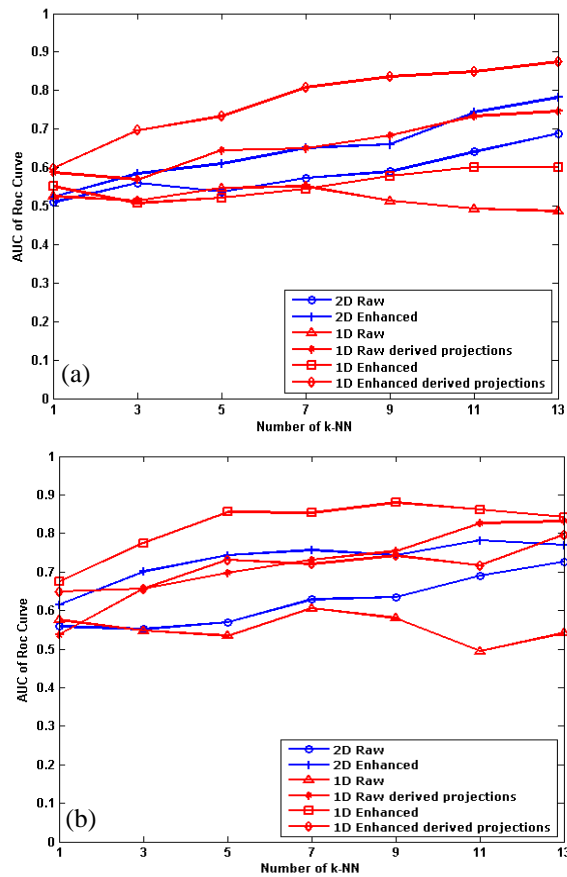


Figure 7. AUC depending on k-NN values obtained by the à trous algorithm and a ramp function as a scale function (a) and the B_3 -spline in (b). AUC for 1DLBP in red and for LBP in blue

These results are in accordance with our expectations in that the non uniform changes due to osteoporosis induce variations of the degree of anisotropy. The measurement of the trabecular bone texture anisotropy could reveal this disease.

VI. DISCUSSION

The aim of this study was to investigate the efficiency differences between two texture classification techniques for discrete 2D gray level images. The first, issued from the literature, LBP [13] and the second, an original method based

on LBP and the use of the information contained in the projected field of the 2D images.

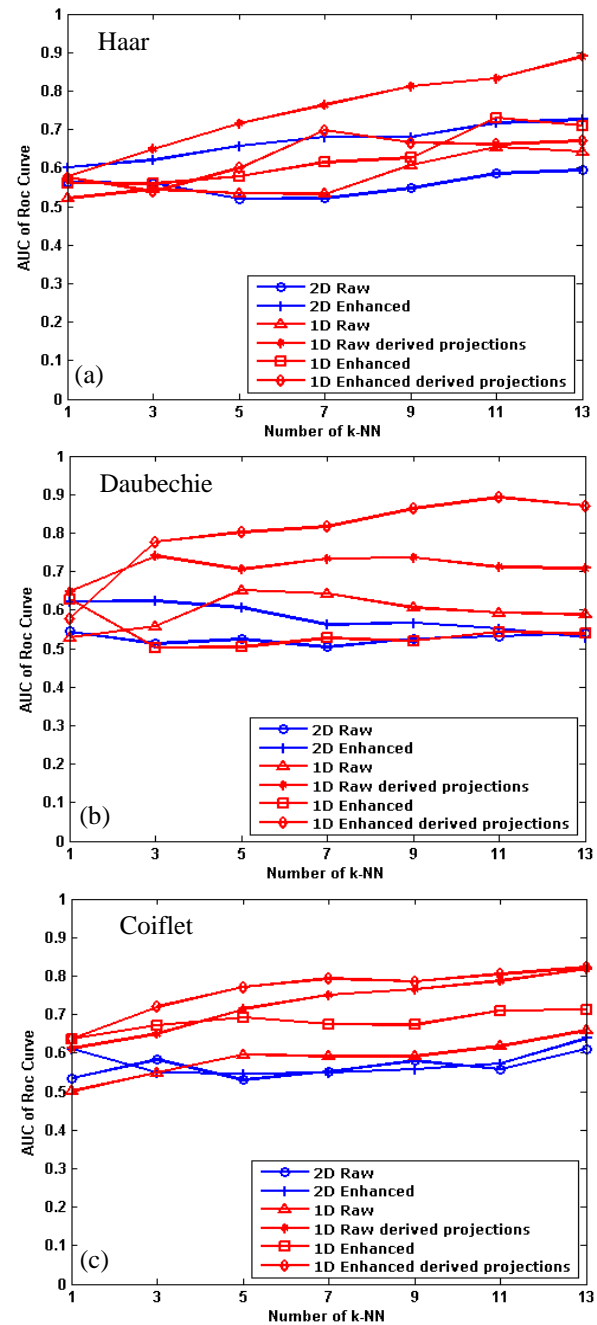


Figure 8. AUC depending on k-NN values obtained by the Mallat algorithm using respectively Haar (a), Daubechie 6 (b) and Coiflet 5 (c) as wavelet decomposition bases. AUC for 1DLBP in red and for LBP in blue

These two techniques have been compared in terms of classification efficiency of two different populations composed of OP (osteoporotic) and CT (control patients). In a first part, plotting the periodogram of the increments of the lines of the images (figure 2) helped us acknowledge that the texture of our data is composed of two areas. The first area related to the

intertrabecular spacing and the second one related to the trabecular spacing. This finding led us to use a high pass filter to keep only the information linked to the trabecular bone microarchitecture modifications due to osteoporosis. Next, a quantization process is applied to reduce the number of gray levels required to represent the image gray levels. Finally, to enhance and condense the information contained in the resulting images, a projection in the vertical direction is performed. This leads to 1D signal for each image. The 1DLBP method associate with DWT tool is implemented to extract features. The statistical results from a clinical study of two populations composed of osteoporotic and control patients lead to informative remarks. As we can notice on figure 7 and 8, our proposed approach has shown better separation between the osteoporotic cases and the healthy controls. Results have been improved from 63% classification rate with the classical LBP up to 85% of Area Under Curve (AUC) with the 1DLBP. This result is satisfactory, because we are dealing here with the classification of images of close visual similarity.

In a long-term work, this technique could be used by physicians to efficiently complete their osteoporosis diagnosis using 2D X-ray radiographic images. Further work is to be led on the anisotropy of the trabecular bone texture. This requires performing the proposed approach on different resolutions and orientations.

ACKNOWLEDGMENT

This work is part of the project FRACTOS supported by the Region Centre (France) and part of the project ANR-09-BLAN-0029-01. We would like to thank gratefully the two institutions for their support.

REFERENCES

- [1] Johnell, O.: The socioeconomic burden of fractures: today and in the 21st century. *Am. J. Med.* 103(2A), 20S–25S (1997) (discussion 25S–26S).
- [2] Cooper, C., Campion, G., Melton, L.J.: Hip fractures in the elderly: a world-wide projection. *Osteoporos Int.* 2(6), 285–289 (1992).
- [3] Gullberg, B., Johnell, O., Kanis, J.A.: World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int.* 7(5), 407–413 (1997).
- [4] NIH: Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am. J. Med.* 94(6), 646–650 (1993).
- [5] Genant, H.K., Engelke, K., Fuerst, T., Gler, C.C., Grampp, S., Harris, S.T., Jergas, M., Lang, T., Lu, Y., Majumdar, S., Mathur, A., Takada, M.: Noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art. *J. Bone Miner. Res.* 11(6), 707–730 (1996).
- [6] Dempster, D.W.: The contribution of trabecular architecture to cancellous bone quality. *J. Bone Miner. Res.* 15(1), 20–23 (2000).
- [7] Compston, J.E., Mellish, R.W., Garrahan, N.J.: Age-related changes in iliac crest trabecular microanatomic bone structure in man. *Bone* 8(5), 289–292 (1987).
- [8] Parfitt, A.M., Drezner, M.K., Glorieux, F.H., Kanis, J.A., Malluche, H., Meunier, P.J., Ott, S.M., Recker, R.R.: Bone histomorphometry: standardization of nomenclature, symbols, and units. report of the asbmr histomorphometry nomenclature committee. *J. Bone Miner. Res.* 2(6), 595–610 (1987).
- [9] Geraets, W.G., Van der Stelt, P.F., Netelenbos, C.J., Elders, P.J.: A new method for automatic recognition of the radiographic trabecular pattern. *J. Bone Miner. Res.* 5(3), 227–233 (1990).
- [10] Link, T.M., Majumdar, S., Lin, J.C., Augat, P., Gould, R.G., Newitt, D., Ouyang, X., Lang, T.F., Mathur, A., Genant, H.K.: Assessment of trabecular structure using high resolution ct images and texture analysis. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 22(1), 15–24 (1998).
- [11] Cohen, F.S., Fan, Z., Patel, M.A.: Classification of rotated and scaled textured images using gaussian markov random field models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13(2), 192–202 (1991).
- [12] Grigorescu, S.E., Petkov, N., Kruizinga, P.: Comparison of texture features based on gabor filters. *IEEE Trans. Image Process* 11(10), 1160–1167 (2002).
- [13] Ojala, T., Pietikainen, M., Mäenpää, T.: Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24(7), 971–987 (2002).
- [14] Varma, M., Zisserman, A.: A statistical approach to material classification using image patch exemplars. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 31(11), 2032–2047 (2009).
- [15] Ahonen, T., Pietikainen, M.: Image description using joint distribution of filter bank responses. *Pattern Recognition Letters* 30(4), 368–376 (2009).
- [16] L. Houam, A. Hafiane, R. Jennane, A. Boukrouche and E. Lespessailles. Trabecular Bone Anisotropy Characterization Using 1D Local Binary Patterns, ACIVS 2010, Part I, LNCS 6474, pp. 105–113, 2010. Springer-Verlag.
- [17] Dutilleul, P. An implementation of the algorithm à trous to compute the wavelet transform. in *Proceeding. Wavelets: Time-Frequency Methods and Phase-Space*. 1989. Marseille: Springer-Verlag.
- [18] Chen Shao-hui, S.H., Zhang Renhua, Tian Jing, Fusing remote sensing images using à trous wavelet transform and empirical mode decomposition. *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29: p. 330-342.
- [19] Shensa, M.J., The Discrete Wavelet Transform : Wedding the A Trous and Mallat Algorithms. *IEEE Trans on Signal Processing* 1992. 40(10): p. 2464–2482.
- [20] Jean-Luc Starck, J.F., and Fionn Murtagh, The Undecimated Wavelet Decomposition and its Reconstruction. *IEEE Trans Actions on Image Processing*.

Nouvelle Méthode pour la Prédiction des Structures 2D des Protéines

Youcef GHERAIBIA, Abdelouahab MOUSSAOUI

Abstract— La prédiction des structures secondaire des protéines est une étape importante sur le chemin pour définir sa structure tridimensionnelle et sa fonction. Ce travail décrit une nouvelle méthode pour la prédiction des structures secondaires de la protéine basée sur les techniques de fouille de données. Dans ce travail notre intention est de combiner plusieurs méthodes afin d'avoir un taux maximum de prédiction. Notre travail est divisé en trois parties. Premièrement, nous prévoyons la structure secondaire du chaque acide aminée avec un classifieur bayésien naïf. Deuxième partie, nous exploitons un algorithme évolutionnaire pour améliorer cette prédiction. La dernière partie, nous avons développé une banque de fragments qui contiennent les fragments de protéine fréquemment détectés dans la banque de données de protéine (PDB), cette tâche est basée sur l'alignement de séquences. Avec notre méthode nous avons amélioré le taux actuel par 4.5%, ainsi nous avons atteint un taux de 85.89%.

Index Terms—: Acides aminés, Algorithme génétique, Bayes, Knn, Prédiction des structures secondaire, Protéines..

I. INTRODUCTION

LES protéines sont des macromolécules organiques essentielles dans la constitution des cellules et du fonctionnement des systèmes de l'être vivant. On peut les comparer à des ouvrières spécialisées dans la mesure où elles assurent presque toutes les fonctions d'un organisme. Leurs fonctions sont très variées tels que le transport de l'oxygène de nos poumons jusqu'aux organes, la défense contre les attaques qui provoque des infections bactérienne ou bien virale, le système immunitaire va produire des anticorps qui se résument dans des protéines. Le nombre des types des protéines est assez grand qui nous est interdit de faire une liste exhaustive.

Les protéines ont quatre types de structures différentes. La structure de la protéine influe sur la fonction de celle-ci dans le système vivant, on peut comparer une protéine à un collier dont les perles sont les acides aminés qui composent la structure primaire de cette protéine. L'interaction de ces acides aminés entre eux ou bien avec l'environnement, aboutit à des liaisons entre les atomes de ces acides aminés, ces liaisons éliminent la notion de la structure linéaire de la protéine et

envisage une autre forme, les protéines se replient sur elles-mêmes en donnant des structures secondaire, tridimensionnelles et quaternaire particulière.

Parcourir la séquence de la protéine jusqu'à sa fonction en passant par sa structure occupe une grande place dans la recherche dans divers domaines. Ces dernières années beaucoup de techniques et de méthodes ont été développées pour l'identification de la séquence de la protéine jusqu'à la prévention de ces fonctions. Ces techniques de séquençages conduisent à un accroissement exponentiel des banques de données de séquences nucléiques et protéiques. Le lien entre ces trois notions (Séquence, Structure et Fonction) a été le sujet de différents projets de recherche

La prédiction de la structure secondaire de la protéine à partir de sa structure primaire est d'exploiter les caractéristiques de chaque acide aminé, ces caractéristiques sont les préférences de repliement et les propriétés biologiques. Beaucoup d'approches ont été proposées pour prédire la structure locale des protéines. Chou et Fasman fut les premiers qui ont proposé une méthode de prédiction basée sur les différentes probabilités de conformation de chaque acide aminé séparément [3], qui a donné un taux de prédiction jusqu'à 50%. Depuis cette génération, les méthodes de prédiction des structures secondaires de protéine ont augmenté, telles que les réseaux de neurones [1], les modèles de Markov cachés [10] et les machines à vecteur de support [6]. Ces méthodes ont amélioré le taux de prédiction jusqu'à 80%, en se basant sur l'alignement multiple des séquences.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude des structures protéiques locales (structure secondaire), afin d'améliorer le taux de prédiction des structures secondaires déjà obtenu avec les différentes méthodes. Pour cela, nous avons utilisé et développé des approches basées sur les techniques de fouille de données et d'apprentissage automatique pour l'analyse et le traitement des différentes informations venant de la séquence de protéines. La première partie de notre travail consiste à la prédiction la structure secondaire de chaque partie avec les préférences de chaque acide aminé avec un classifieur Bayes naïf et ensuite on utilise un algorithme génétique basé sur les propriétés physico-chimiques des acides aminés pour améliorer l'ancien résultat et à la fin on a construit une bibliothèque des fragments fréquemment détectés dans la banque protéiques qui sert à une base d'apprentissage pour la dernière partie qui est basée sur un algorithme de K plus proches voisins pour

Manuscript received Octobre 25, 2011.

Youcef Gheraibia, Université de M'sila, 28000 M'sila, Algeria (youcef.gheraibia@gmail.com tel :0661 97 19 89).

Abdelouahab Moussaoui, Université de Sétif, 19000 Sétif, Algeria.

composer la solution finale.

Le reste du papier est organisé comme suit. D'abord, nous décrivons les méthodes et les outils utilisés dans l'approche telle que les bases des structures d'apprentissage, la représentation de la structure secondaire de protéine, les indices d'évaluation de la prédiction et les bases théoriques dans la section suivante. Le schéma de la méthode hybride est présenté dans la section 2. La section 5 décrit la génération de population initiale. La section 6, présente l'algorithme génétique pour l'optimisation de population initiale. La section 7 présente l'algorithme de Knn pour la composition de la solution finale. La section 8 montre les résultats et l'évaluation de l'approche. La conclusion et les futurs travaux sont présentés dans la section 9.

II. METHODES ET OUTILS

A. Banques de test

Nous avons utilisé trois méthodes pour tester notre approche :

- 1) Rost & Sander Bank: Rost Bank est une banque des structures des protéines construite par Rost et Sander dans leurs travaux de prédiction des structures secondaires, elle contient environ 131 structures des protéines mais avec moins de 20% d'homologie, c'est la meilleure base de test préliminaire [12].
- 2) Papia Bank (Parallel Protein Information Analysis System): Papia Bank est une banque des structures des protéines construite à partir des outils d'analyses des protéines de PAPIA system, elle contient environ 1386 structures différentes avec moins de 30% d'identité. La banque représentée sous forme des tableaux de huit colonnes représente les différentes caractéristiques des acides aminés des protéines: type, angle dièdres, nature, structures. Nous avons reformaté la banque pour qu'elle soit manipulable par notre application (Structure à trois états).
- 3) Protein Data Bank (PDB): La banque de données des protéines du (Research Collaboratory for Structural Bioinformatics), appelée Protéine Data Bank ou PDB est une base de données mondiale pour la structure tridimensionnelle (Structure 2D inclut immédiatement) de macromolécules biologiques telle que les protéines. Ces structures sont déterminées par cristallographie aux rayons X ou par spectroscopie RMN. Ces données expérimentales sont déposées dans la PDB par des biologistes et des biochimistes du monde entier et appartiennent au domaine public. La PDB est la principale source de données de biologie structurale et permet en particulier d'accéder à des structures 3D et 2D de protéines différentes. La banque utilisée contient environ 167729 Structures secondaires différentes construites à partir des structures 3D expérimentalement déterminées. [2].

Table 1. Les constituants des banques protéiques

Statistique Banque	Nombre des protéines	Le pourcentage d'Hélice α (%)	Le pourcentage des feuillets (%)	Le pourcentage des coudes (%)
Rost and Sander	131	32.63%	20.68%	46.69%
Papia	1386	32.18%	24.58%	43.24%
PDB	167 729	34.36%	21.32%	44.32%

B. Représentation des Structures des protéines

Il y a plusieurs systèmes pour présenter les structures secondaires. DSSP (Define Secondary Structure of Proteins) [8] est largement utilisé pour la définition de structure secondaire. Avec DSSP il y a 8 catégories différentes de structure secondaire, ces catégories sont : H (Alpha-helix), G (3-helix), I (5-helix), E (Extended-strand), B (isolated-strand), T (tour), S (bend), et C (Coude). Les 8 classes de structures ont été réduites dans 3 classes, H (H Hélice), E (Feuillet) et C (Coude). Le tableau ci-dessous montre le procédé le fréquemment utilisé pour la réduction des états de présentation des structures des protéines

Table 2. Format de réduction des structures secondaire

8 catégories	3 catégories
H, G, I	H
E, B	E
T, S, C	C

C. Critère d'évaluation de prédiction

Une fois la prédiction est réalisée, une question qui se pose : est-il possible? Et si oui comment ?, évaluer la qualité des prédictions proposées pour une séquence de structure inconnue. Pour répondre à cette question, il y a des indices de confiance proposés permettant de calculer le degré d'efficacité d'un algorithme de prédiction, le critère principale d'évaluation et l'indice qui est largement utilisé est le Q3 (Aquarccy of three states)

Le moyen le plus simple et le plus couramment utilisé pour déterminer la véracité d'une prédiction est le taux de reconnaissance Q3 par résidu. Le Q3 représente le pourcentage des résidus correctement prédites.

Pour une structure secondaire particulière:

$$Q_i = \frac{\text{Nombre des résidus correctement prédits de la structure } i * 100}{\text{Nombre des résidus observés de structure } i}$$

Sachant que :

i est une hélice, un feuillet ou une coude.

Pour l'ensemble des trois sortes de conformations structurales possibles:

$$Q_i = \frac{\text{Nombre des résidus correctement prédits} * 100}{\text{Nombre des résidus total}}$$

D. Base théorique

La fouille de données est l'extraction des connaissances utiles à partir d'une grande quantité d'informations; datamining est utilisé pour augmenter la certitude et de réduire les coûts. Après la perfection de l'informatique productionnelle, les ambitions de chercheurs augmentent pour l'utilisation de l'informatique dans le processus décisionnel. La fouille de données a été exploitée dans diverses applications dans le processus de la prise de décision dans le domaine économique tel que la reconfiguration de l'offre de production, d'augmenter les ventes, et de minimiser les pertes d'erreurs ou de fraudes, et dans le domaine médicale tels que la détection des tumeurs et l'étude du signal ECG.

Dans cette recherche, trois méthodes de classification ont été utilisées. La classification Bayes naïve, un algorithme basé sur la théorie de Thomas Bayes (probabilité conditionnelle) avec une indépendance entre les hypothèses (Naïve). Le classifieur Bayes est un classifieur supervisé appartenant à la famille des classifieurs linaires, il ne nécessite que peu de données pour examiner les paramètres nécessaires à la classification [7].

Les algorithmes génétiques est l'une des solutions des problèmes combinatoires inspirés de la théorie de l'évolution de Darwin, il commence par un ensemble de solution pas forcément bonne, et applique des transformations sur ces solutions afin de les améliorer. En répétant ces transformations, nous obtenons une solution approchée [12].

Les transformations sont inspirées de la biologie, la mutation (transformation d'un individu donnant un autre individu), Croisement (combinaison de deux individus) et la sélection (la probabilité d'être parent d'un individu de la génération suivante en fonction des performances de l'individu pour le problème de départ).

Le k-plus proche voisin (K-nn) est un algorithme de classification supervisée, il dispose au départ une base d'apprentissage qui se compose d'un ensemble de données dans la classes est connue. La prédiction de la classe adéquate à une nouvelle entrée avec la méthode des K plus proches voisins, consiste à prendre en considération les classes des K points les plus proches de la nouvelle entrée [5].

III. PRINCIPE DE L'HYBRIDATION

Chaque méthode de prédiction des structures secondaires proposée basé sur des arguments différents, et chaque méthode a des avantages et des inconvénients, nous voulons exploiter les points forts de chaque méthode. Notre méthode se divise en trois parties, dans chaque partie nous exploitons une caractéristique spécifique à des méthodes existantes :

- Exploiter les propriétés physico-chimiques des acides aminés.
- Exploiter les préférences de repliement des acides aminés.
- Exploiter les protéines dont la structure est déterminée expérimentalement.

Le principe général de notre approche c'est de générer un ensemble de solution avec un classifieur bayésien naïve en se basant sur les probabilités de préférences structurales des acides aminés, cet ensemble de solution est considéré comme une population initiale d'un algorithme génétique, qui va optimiser cette population avec les propriétés physico-chimiques des acides aminés.

La séquence principale de la protéine comporte des morceaux homologues à celles des protéines dont la structure est disponible, la troisième partie de travail, c'est de remplacer les fragments disponibles avec leur solution existante.

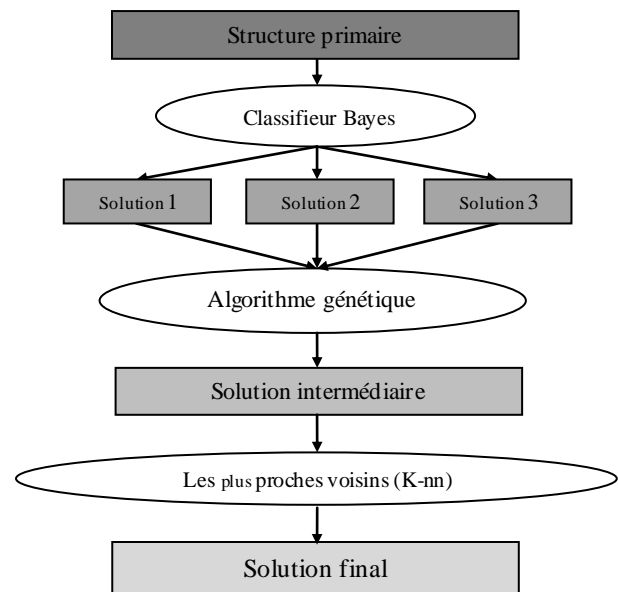


Figure 1. Principe général de la méthode hybride de prédiction des structures secondaires de protéines

```

Algorithme de prédiction
//*****
Entrée : - Séquence principale
        - Tableau des préférences de repliement.
        - Bibliothèques des fragments.
//*****
Sortie : Structure secondaire
//*****
- Générer la population initiale avec Bayes.
- Optimisation de la population initiale avec AG.
- Composition de la solution finale Avec Knn.
//*****
  
```

Figure 2. L'algorithme hybride pour la prédiction des structures secondaires des protéines

IV. GENERATION DE LA POPULATION INITIALE PAR CLASSIFIEUR BAYES

Chaque acide aminé a des préférences structurales, ces préférences sont représentées par des probabilités calculées à partir des structures connues expérimentalement. La classification bayésienne est fondée sur l'idée qu'on peut estimer la probabilité qu'une instance appartienne à une classe en connaissant la probabilité qu'une classe corresponde à cette instance. La classification est naïve parce que toutes les probabilités sont totalement indépendantes. Le principe de base de cette méthode consiste à faire glisser une fenêtre de résidus (acides aminés) et calculer la probabilité du repliement de cette fenêtre par rapport aux trois types de structure secondaires (hélice, feuillet, coude). Le résidu au milieu de la fenêtre est le résidu cible. Le repliement de ce résidu est la probabilité maximale entre les trois probabilités calculé en se basant sur les probabilités structurales de la fenêtre et les probabilités à résidu cible à la classer.

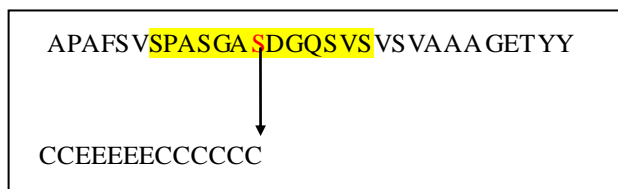


Figure 3. La fenêtre locale des résidus associée au résidu cible

Les probabilités des fragments représentés par la fenêtre selon les trois structures secondaires :

$$\begin{aligned} P(\text{Fenêtre/Hélice}) &= \prod P(X_i/\text{Hélice}) \\ P(\text{Fenêtre/Feuille}) &= \prod P(X_i/\text{Feuille}) \\ P(\text{Fenêtre/Coude}) &= \prod P(X_i/\text{Coude}) \end{aligned}$$

Le repliement de résidu représenté par la structure correspond à la probabilité maximale :

$$P(\text{résidu / Type}) = \frac{P(\text{Résidu} = \text{Hélice}) P(\text{Fenêtre / Hélice})}{\sum P(\text{Fenêtre / Type})}$$

La taille de la fenêtre glissante influe sur la qualité de la prédiction. Quelques acides aminés ont des caractéristiques spécifiques lorsque ils se réunissent, une fenêtre de taille grande pose le problème d'introduire des acides aminés n'ont aucune relation avec le résidu cible et une fenêtre très petite minimise l'intérêt des acides aminés voisins. Pour bénéficier de toutes les tailles des fenêtres qui ont été proposées, nous avons généré chaque solution de la population avec une taille de fenêtre différente.

V. OPTIMISATION DE LA SOLUTION PAR UN ALGORITHME GENETIQUE

La deuxième partie dans notre travail consiste à optimiser la prédiction avec un algorithme évolutionnaire (algorithme génétique). La génération de la population initiale avec le classifieur bayes a pour objectif d'obtenir une solution approchée. Chaque acide aminé possède des caractéristiques

physico-chimiques du à l'interaction avec les autres acides aminés ou bien l'interaction avec l'environnement. Ces caractéristiques influent sur les repliements structuraux de la protéine. Les acides aminés hydrophobes sont des acides aminés apolaires, les régions hydrophobes interagissent de manière non covalente avec l'eau, ce qui laisse une forte liberté de faire des liaisons hydrogènes entre les différents atomes de la région hydrophobe. Nous avons élaboré un algorithme génétique pour relier les propriétés physico-chimiques des acides aminés et les probabilités de repliement.

A. Présentation de problème

La rapidité avec laquelle une protéine trouve sa conformation est remarquable. Par exemple, une protéine de 100 résidus alors la solution possède 100 positions et chaque position a 3 conformations soit accessibles à chaque résidu (H, E, C), alors le repliement peut adopter 3100 structures différentes ce qui est loin de la réalité.

B. Codage

Dans l'algorithme on a deux types de données :

- La représentation de chaque acide aminé de la séquence principale avec leur caractéristique hydrophobe ou bien hydrophile :
HHHHHHHHPPPPPPPPPPHHHHHHHH.
- La population des solutions générées avec le classifieur bayes déjà codé avec le code à trois états des structures secondaires (Hélice, Feuillet, Coude):
HEEECHHHHHHHCCCCCCCCCCCCCEE.

C. Fonction de fitness

Les deux paramètres de l'algorithme génétique: la séquence principale et la population de base se relient par l'effet d'avoir une région hydrophobe et la probabilité de la région. La fonction de fitness : choisir l'individu qui dans les régions hydrophobes sont de hélice ou bien feuillet (probabilité maximale) et les régions hydrophiles sont des coudes (probabilité maximale).

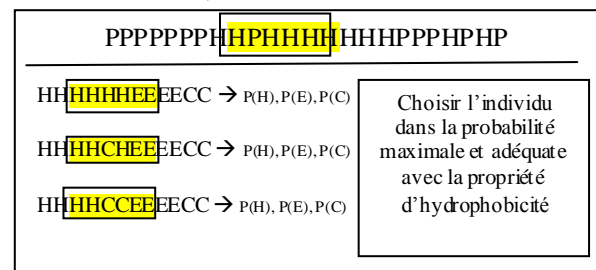


Figure 4. Critère de choix pour les individus

VI. COMPOSITION DE LA SOLUTION FINALE PAR L'ALGORITHME DE KNN

Les méthodes de prédiction des structures secondaires des protéines par homologie cherchent la protéine la plus proche de cette protéine. Ces deux protéines ne se ressemblent que dans des régions spécifiques, notre idée est de chercher dans une base de fragments protéiques les morceaux de la protéine dans la structure est connue. Une prédiction de la structure secondaire d'une protéine commence par un apprentissage selon les paramètres des probabilités et des caractéristiques physico-

chimiques est en suite chercher les morceaux dans la structure est disponible. Un fragment protéique est une partie de la protéine dans les acides aminés qui la compose a des caractéristique commune, les chercheur ont utilisé la notion des fragments protéique dans divers technique de la protéique.

La longueur de fragment joue un rôle essentiel dans le rôle du fragment dans la protéine. Beaucoup de chercheur ont utilisé l'historique biologique pour avoir une taille significative des fragments, mais les études récents se concentre sur la construction des fragments de taille variables, nous avons construit une base de fragment a partir de trois base de structure protéique différent Protein Data Bank, Rosta et Sander et Papia bank. On a basé sur la recherche des fragments fréquents mais le choix de fragment de test est aléatoire parce que pour tester tout les fragments c'est un problème combinatoire.

VII. RESULTATSET EVALUATIONS

Le principe de travail c'est de bénéficier des résultats obtenus expérimentalement et de l'évolution des algorithmes de fouille de données. L'évaluation de l'approche complète a donné une valeur de Q3 moyenne de 85.41 % avec la base de Rost et Sander, 85.58% pour le PAPIA bank et 85.89 % pour le PDB. La prédiction des hélices a atteint un score de 89.59 %, le tableau suivant montre les pourcentages de qualité de la méthode de toutes les structures protéiques.

Table 3. Les taux de prédiction de l'approche par rapport aux différentes banques d'apprentissage

Pourcentage Banque	Q3	Q3 Hélice	Q3 Feuillet	Q3 Coude
R & S	85.41%	85.55%	84.81%	85.87%
Papia	85.58%	89.59%	80.19%	86.96%
PDB	85.89%	85.43%	86.00%	86.24%

L'approche hybride proposée a amélioré la qualité de prédiction avec 4.57%, l'approche est comme le jeu de puzzle, la solution est composée de petits morceaux prédits avec des techniques d'apprentissage ou bien remplacés avec un algorithme d'alignement. Le tableau ci-dessous, donne le taux de prédiction de la méthode hybride avec différents serveurs de prédiction des protéines avec une seule banque Rost et Sander.

Table 4. Les taux de prédiction de la méthode hybride et les autres serveurs de prédiction

Server	Q3	QH	QE	QC
Psipred	80.00%	84.38%	72.62%	83.01%
SSPRO	77.35 %	80.84%	64.38%	86.85%
JPRED	77.98 %	76.55%	79.37%	78.03%
Prof	81.01 %	84.36%	79.95%	78.72%
La méthode proposée	85.58%	89.59%	80.19%	86.96%

VIII. CONCLUSION

Dans cette recherche, nous avons utilisé plusieurs classifieurs pour proposer une nouvelle méthode pour le problème de la prédiction de la structure secondaire des protéines. L'utilisation des techniques de fouille de données et l'historique des expérimentales ont montré l'intérêt du système hybride pour résoudre les problèmes de bioinformatique.

Dans ce travail, nous avons utilisé différentes Banques des structures des protéines avec une homogénéité faible, comme Rost et Sander, Papia, et la Banque PDB pour faire notre évaluation de l'approche. Et pour la méthode d'évaluation, nous avons utilisé l'indice Q3. Selon le résultat mentionné, nous avons prouvé que la méthode de prédiction hybride a amélioré la précision de la prédiction par ses couches complémentaires.

Enfin, nous avons l'intention dans le future de:

- Développer un service web en libre accès pour la méthode hybride.
- Utiliser le résultat de la méthode hybride pour améliorer la prédiction de la structure tertiaire.
- Utiliser une technique heuristique pour la construction de la bibliothèque des fragments.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Baldi P, S. Brunak, P. Frasconi, G. Pollastri, and G. Soda. "Bidirectional Dynamics for Protein Secondary Structure Prediction" *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI99)*, Sweden (1999)
- [2] Bernstein FC, Koetzle TF, Williams GJ, Meyer Jr EF, Brice MD, Rodgers JR, Kennard O, "The Protein Data Bank: a computer-based archival file for macromolecular structures". *J Mol Biol*;112:535-542 (1977)
- [3] Chou PY, Fasman GD. "Prediction of protein conformation". *Biochemistry* 13 (2): 222–245 (1974).
- [4] Hall P, Park BU, Samworth RJ. "Choice of neighbor order in nearest-neighbor classification". *Annals of Statistics* 36 (5): 2135–2152. doi (2008).
- [5] Hua, S. J., & Sun, Z. R. "A novel method of protein secondary structure prediction with high segment overlap measure: Support vector machine approach." *Journal of Molecular Biology*, 308(2), 397–407 (2001).
- [6] Jean-Jacques Boreux Eric Parent, Jacques Bernier "Pratique du calcul bayésien" *Springer* ; (2004).
- [7] Kabsch W, Sander C. "Dictionary of protein secondary structure: pattern recognition of hydrogen-bonded and geometrical features". *Biopolymers* : 2577–637. (1983).
- [8] Karplus, K., Karchin, R., Draper, J., Casper, J. "local-structure, foldrecognition, and new-fold methods for protein structure prediction". *Proteins Journal*, 53, 491–496 (2003).
- [9] Nishikawa and T. Noguchi : "Predicting protein secondary structure based on amino acid sequence", *Methods in Enzymology*, Vol.202, pp.31-44 (1991).
- [10] Poli, W. B. Langdon et N. F. McPhee, "A Field Guide to Genetic Programming", *Lulu.com*, (2008).
- [11] Robert .D et Vian B. "Element de biologie cellulaire." *doin*, (2008).
- [12] Rost B, Sander, C., "Prediction of protein secondary tructure at better than 70% accuracy". *J. Mol. Biol.* 232, 584-599 (1993)

Vers l'aide au diagnostic médical

Ajustement des paires bilatérales de mammographies par algorithme génétique

L. Belkhodja, D. Hamdadou

Résumé— Dans la pratique clinique lorsqu'une mammographie est présentée aux radiologistes, ils tentent, en la comparant inconsciemment à une image normale de la même patiente, de repérer des parties présentant des asymétries. De telles lectures comparatives aideraient à identifier des anomalies et à déterminer leurs significations cliniques. De la même façon, un système de DAO peut procéder à cette comparaison pour détecter un cancer du sein précoce, puisqu'il n'est pratiquement pas possible de trouver une tumeur symétrique au même endroit dans les seins gauche et droit d'une même patiente. Le travail présenté dans cet article s'inscrit dans ce cadre et présente une approche génétique automatique pour l'ajustement des paires bilatérales de mammographie s'appuyant sur une primitive importante dans ce type d'images qui est le contour du sein.

Mot-clés: Image mammographique, ajustement rigide, algorithme génétique, primitive d'alignement.

I. INTRODUCTION

Etant le principal test de dépistage et de diagnostic, la mammographie permet de déceler le cancer du sein de un à trois ans avant le premier signe clinique. C'est une technique d'imagerie par rayons X permettant d'obtenir la structure interne du sein. Par rapport aux autres techniques, le coût moyen d'un examen mammographique est très faible comparé à d'autres modalités comme l'IRM, la raison pour laquelle elle est l'outil principal des campagnes de dépistage. Une mise en place d'un dépistage systématique de masse augmente donc considérablement le nombre de mammographies à traiter.

Etant une tâche cruciale, l'interprétation nécessite une expérience acquise par une longue pratique. Souvent une deuxième lecture des clichés réalisés est effectuée et permet de rattraper jusqu'à 20% de cancers passés inaperçus lors de la première interprétation. Par ailleurs, avec l'arrivée d'une nouvelle technique de mammographie numérique, la deuxième lecture est maintenant possible grâce au diagnostic assisté par ordinateur, qui peut être entrevu de deux manières. La première façon est de concevoir un DAO de pré-dépistage, où une sélection au préalable des mammographies suspectes est réalisée, pour ne présenter que celles-ci au radiologue. La deuxième façon considère un DAO d'incitation dont l'objectif est d'attirer l'attention du radiologue et marquer les zones suspectes dans la mammographie.

La majorité des recherches sur la détection assistée par ordinateur en mammographie s'est concentrée sur l'analyse d'une simple image pour déceler les anomalies [1]. L'approche par analyse indépendante de chaque mammographie disponible se subdivise en plusieurs approches selon le type de structure que l'on cherche. Les résultats des IWDM¹ montrent qu'elle fonctionne bien pour les micro-calcifications et un peu moins bien pour les opacités. La deuxième approche fondée sur la comparaison de plusieurs mammographies disponibles serait plus intéressante en complément de la première. Elle pourrait permettre de détecter des tumeurs qui sont difficiles à voir sur l'image seule mais mieux visibles par comparaison de mammographies temporelles ou bilatérales [2].

Aussi bien pour l'approche comparative que pour l'approche indépendante, l'acquisition des images mammographiques durant un examen sénologique est une tâche très délicate et très sensible. Le positionnement des seins ainsi que la structure physiologique de la glande mammaire peuvent varier d'une acquisition d'image à l'autre. Il a été mentionné que les variations des paires de mammographies bilatérales, dues au positionnement et à la compression des seins lors de l'acquisition des images, occasionnent des différences importantes au niveau des contours et à l'intérieur du sein.

Corriger ces différences, revient à ajuster les mammographies par repositionnement pour réduire les asymétries normales et les différences non pathologiques intra-paire. Cet alignement est basé sur une segmentation grossière des mammographies dont le but est l'extraction de la région globale d'intérêt (sein) du fond de la mammographie.

II. RECALAGE RIGIDE PAR ALGORITHME GENETIQUE

A. Notions de recalage rigide

Le problème d'ajustement des paires bilatérales de mammographies se réduit à un problème de recalage d'images mono modales à partir de primitives intrinsèques à la mammographie. Tâche fondamentale en traitement d'image, le recalage joue un rôle important dans l'alignement des images médicales pour le diagnostic.

¹ International Workshop on Digital Mammography

Le recalage d'images médicales consiste à déterminer une transformation permettant de superposer au mieux la partie anatomique commune de deux images. Ces transformations peuvent être rigides ou non rigides. Le recalage non-rigide opère des déformations qui ne sont pas modélisables par une fonction linéaire. Contrairement à ce premier type, le recalage rigide procède en trouvant une composition d'une translation et d'une rotation [3], définie par les paramètres (θ , dx , dy), permettant d'aligner correctement deux images M1 et M2 (Equation 1 et 2)

$$x' = \cos(\theta).x - \sin(\theta).y + dx \quad (1)$$

$$y' = \sin(\theta).x + \cos(\theta).y + dy \quad (2)$$

Avec :

(x', y') : les coordonnées d'un point de M2

(x, y) : les coordonnées correspondantes dans M1

θ : l'angle de rotation

dx, dy : les paramètres de la translation.

La transformation rigide avec zoom est la forme la plus générale des transformations rigides. En plus d'une combinaison d'une translation et d'une rotation, un changement d'échelle (réduction ou agrandissement) est utilisé. Un point (x', y') de M2 (équation. 3) est déterminé par la transformation suivante :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3)$$

B. Les algorithmes génétiques

Un algorithme génétique est un algorithme itératif de recherche globale et un outil de recherche combinatoire dont le but est d'optimiser une fonction définie par l'utilisateur appelée fonction d'adéquation ou fonction fitness [4]. Inspirés des mécanismes de l'évolution darwinienne et de la génétique moderne, ces algorithmes ont été introduits en 1975 par John Holland et ses collaborateurs.

L'algorithme génétique agit sur une population d'individus et ne fait survivre que ceux représentant la solution optimale et qui sont bien adaptés à leur environnement. Partant d'une population initiale, générée aléatoirement, la fitness est mesurée à partir d'une fonction liée au problème à traiter. D'une manière itérative, cette population donne naissance à des générations successives soumises aux trois opérateurs élémentaires d'un algorithme génétique : la sélection, le croisement et la mutation.

La sélection, effectuée en fonction du critère à optimiser, est un opérateur génétique ayant pour but de favoriser la survie des individus les plus aptes de la population. De ce fait, la reproduction des bons éléments est privilégiée au détriment des mauvais. Le croisement et la mutation sont ainsi utilisés pour introduire de la nouveauté et explorer d'autres espaces de recherche. Le croisement consiste à recombinaison suivant une probabilité de croisement, deux individus de la génération k

(parents) et produire deux nouveaux individus (enfants) dans la génération k+1. Pour obtenir une population diversifiée, l'opérateur de mutation modifie, avec une probabilité donnée, un nombre limité de chromosomes (un des paramètres du problème et composant de l'individu). Le processus reproduction, croisement et mutation est réitéré jusqu'à atteindre un critère d'arrêt

C. Quelques travaux

Tous les travaux cités dans la littérature pour l'ajustement des paires bilatérales de mammographies s'appuient sur des primitives propres à ce type d'images et visent à long terme l'aide au diagnostic. Dans ce contexte, *Lau et al.* [5] utilisent, des transformations affines comprenant un changement d'échelle. Cependant, [2] et [6] pensent que ces transformations affines et rigides ne peuvent pas corriger précisément ces différences de formes très localisées dans les deux seins, à partir du moment qu'ils ont toujours eu un comportement déformable. En effet, un certain nombre d'approches ont été proposées dans ce sens. *Sal et al.* [7] [8] [9] ont tentés d'appliquer aux mammographies la technique de " landmark matching " qui consiste à interpoler une transformation de l'une des deux images à partir de correspondances établies entre des points structurels du contour du sein (landmarks). Ils parviennent à corriger convenablement, avec la technique de Bookstein [10] les différences de forme et de taille ainsi que les différences normales près des contours, entre les deux seins. Cependant, les landmarks des contours ne sont pas suffisants pour une éventuelle transformation corrigeant les différences internes des seins. En continuant d'appliquer la technique de Bookstein, *Maria et al.* [11] utilisent les landmarks internes sélectionnés automatiquement.

F.Richard [2] pense que les techniques basées sur l'interpolation de Bookstein ne sont pas appropriées pour ajuster convenablement l'intérieur des deux seins et qu'ils sont loin de corriger de manière satisfaisante les différences entre eux. Ainsi il propose de construire des modèles génériques (modèle élastique pour les petites déformations et hyperélastiques pour grandes déformations) d'ajustement de mammographies où est justifiée l'utilisation d'une énergie de l'élasticité comme terme de régularité.

Contrairement à la technique proposée dans [2], le modèle proposé par Richard et Cohen [12] [13] permet de faire correspondre des régions d'intérêt en définissant le problème de minimisation avec des contraintes d'intensité et des conditions aux bords libres.

Récemment, Suri et al. [14] proposent un système qui corrige les rotations d'images par une stratégie d'optimisation basée sur l'entropie. L'erreur de mise en correspondance est mesurée par un modèle de segmentation fondé sur un flux de vecteurs gradients (Gradient Vector Flow).

III. APPROCHE PROPOSÉE

A. Structure générale de notre approche

L'objectif, à long terme, de notre approche est d'assister un système d'aide au diagnostic en imagerie mammaire pendant les campagnes de dépistage de masse à réduire le taux de faux positifs et à améliorer la détection en augmentant le taux de vrai positif.

Nous utilisons les paires bilatérales de la mini base de données de Mammographic Image Analysis Society ("Mini-MIAS") [15]. Cette base d'images mammographiques englobe 322 images de taille 1024x1024, de type PGM (Portable GrayMap). Nous avons été contraint de convertir ces images au format BMP car le langage de programmation sur lequel nous avons implémenté notre application ne supporte pas le format PGM. La liste d'images est arrangée en paires bilatérales, où chacune représente la mammographie gauche et la mammographie droite de la même patiente.

La structure générale de la procédure d'ajustement est résumée dans la fig. 1.

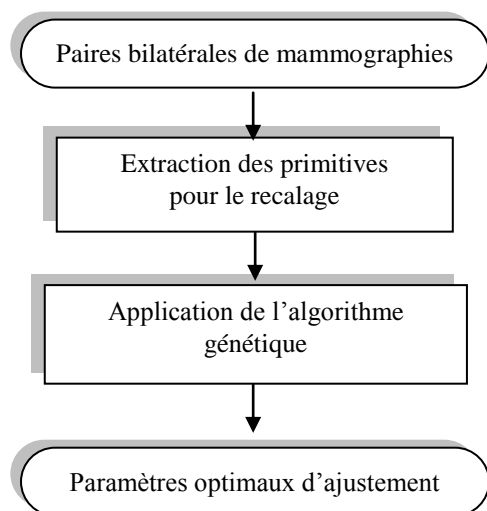


Figure 1. Structure globale de la procédure d'ajustement.

B. Extraction de primitives pour le recalage

Nous avons opté pour un recalage rigide en utilisant des repères anatomiques propres à l'image mammographique. Afin d'automatiser le plus possible la tâche du diagnostic, la superposition de ces points doit être automatique et ce, en se basant sur des algorithmes d'optimisation et d'un critère de similarité.

Le contour du sein (skin-air interface ou breast boundary) est la primitive la plus évidente de l'image mammographique. Il représente la frontière entre le sein et le fond des mammographies. L'extraction de la région du sein par délimitation de contours est une étape essentielle dans la phase d'analyse des mammographies pour la détection assistée par ordinateur. Elle permet, non seulement, de concentrer la

recherche d'anomalies dans la région du sein, mais aussi d'extraire quelques points références pour la procédure d'ajustement. La procédure d'extraction de cette primitive utilisée dans ce travail est détaillée dans [16].

C. Algorithme génétique proposé

L'algorithme génétique que nous proposons calcule la meilleure transformation rigide possible alignant deux images contours du sein extraites à partir des paires bilatérales de mammographies. La population initiale comprend dix individus générés aléatoirement où chacun renferme un ensemble de trois chromosomes.

Un chromosome encode un des trois paramètres de la transformation rigide respectivement l'angle de rotation θ et les deux translations dx et dy . Il s'agit alors de chercher dans l'espace $[-30,30] \times [-256,256] \times [-256,256]$ les valeurs des paramètres donnant la meilleure superposition des deux images.

La génération des populations futures suit le processus « reproduction, croisement, mutation ». A partir de la population initiale, qui rappelle est générée aléatoirement, une sélection est effectuée pour créer la population intermédiaire. Nous avons appliqué indépendamment deux méthodes de sélection : la sélection par roue de loterie et la sélection compétitive.

La sélection compétitive consiste à choisir les individus les plus performants dans la population en fonction de leur fitness. La sélection par roue de loterie s'inspire du principe du tirage aléatoire utilisé dans les roulettes de casino. Elle permet d'associer à chaque individu un segment dont la longueur est proportionnelle à sa fitness. Les bons individus seront plus souvent adressés que les petits.

La fonction fitness que nous avons choisie est la distance euclidienne. Tout pixel contour de l'image contour est caractérisé par un couple de coordonnées (x,y) . La distance euclidienne entre les deux mammographies contours est calculée en sommant les distances euclidiennes entre tous les pixels contours des deux images.

Une fois la population intermédiaire produite, un croisement de 60%, en un seul point, est effectué sur chaque paire de chromosomes choisie aléatoirement. Les enfants résultant seront copiés dans la population finale. Suivant une probabilité P_m , une mutation réelle est appliquée à un nombre réduit d'individus. La population finale est mise à jour en choisissant les dix meilleurs individus de la population initiale et la population finale.

IV. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

Illustrons le comportement d'un algorithme génétique face à la recherche d'une solution optimale pour le recalage rigide de deux mammographies bilatérales. Nous choisissons le couple mdb005 (fig.2.a) et mdb006 (fig.2.b) comme première application.

Les tables tab.1 et tab.2 présentent respectivement la population initiale et la population finale après 2000 itérations.

Nous utilisons une probabilité de croisement égale à 0.9 et une probabilité de mutation égale à 0.08. Remarquons à partir du graphe de la fig. 3 que la moyenne des fitness diminue au fur et à mesure que les générations augmentent jusqu'à atteindre une valeur stable égale à 1.23065, ce qui correspond à l'individu (0, 4, 65).

Figure 2. Couple de mammographies mdb005(a) mdb006 (b)

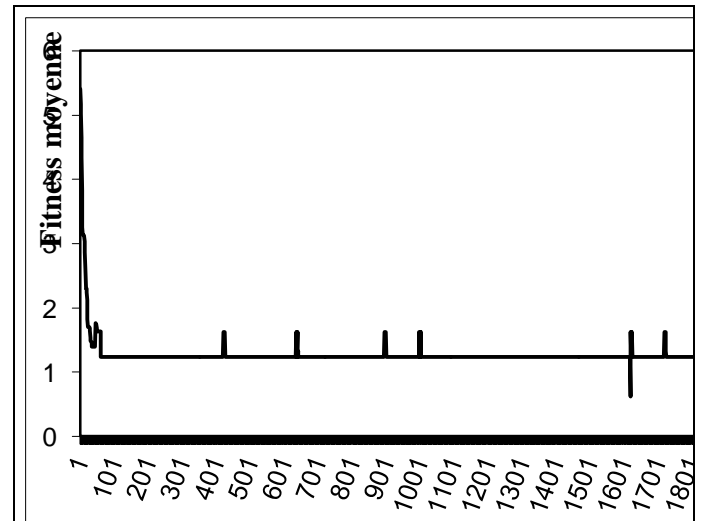


Figure 3. Variation de la fitness moyenne durant une exécution génétique de 2000 itérations appliquée aux mammographies mdb005 et mdb006.

Appliquons maintenant ces paramètres ($\theta=0$, $dx=4$, $dy=65$) obtenus aux mammographies contours correspondant aux couples mdb005 et mdb006 superposées (figure 4.a). Nous pouvons distinguer clairement un alignement satisfaisant avec une rotation égale à 0 (figure 4.b).

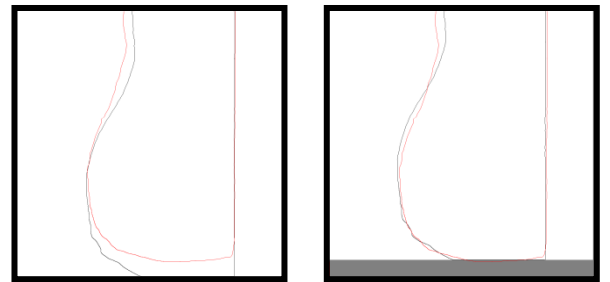


Figure 4. Résultats du recalage par algorithme génétique sur le couple mdb005 et mdb006.
((a) avant recalage et (b) après recalage.)

Voici d'autres résultats sur les couples mdb003 (fig 5.a), mdb004 (fig 5.b). Après une exécution exagérée de 2000 itérations l'algorithme réussit à obtenir une transformation optimale égale à (20, -12, 62) avec une fitness moyenne minimale de 1.1907. L'initialisation aléatoire étant à 6.06. Le comportement de cet algorithme sur cet exemple peut être observé à partir du graphe de la figure 6.

Table 1. Population initiale générée aléatoirement.

	Chromosome 1	Chromosome 2	Chromosome 3
Individu 1	-15	-50	-8
Individu 2	27	-239	96
Individu 3	26	-189	-101
Individu 4	-5	162	77
Individu 5	21	-147	-68
Individu 6	5	228	60
Individu 7	-22	-191	-187
Individu 8	23	248	15
Individu 9	7	207	-77
Individu 10	2	157	2

Table 2. Population finale après exécution de l'algorithme génétique.

	Chromosome 1	Chromosome 2	Chromosome 3
Individu 1	0	4	65
Individu 2	0	4	65
Individu 3	0	4	65
Individu 4	0	4	65
Individu 5	0	4	65
Individu 6	0	4	65
Individu 7	0	4	65
Individu 8	0	4	65
Individu 9	0	4	65
Individu 10	0	4	65

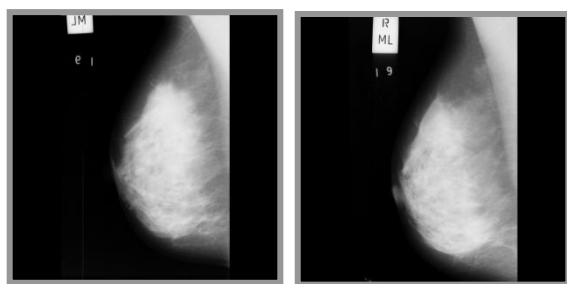


Figure 5. Couple de mammographies mdb003(a) mdb004 (b)

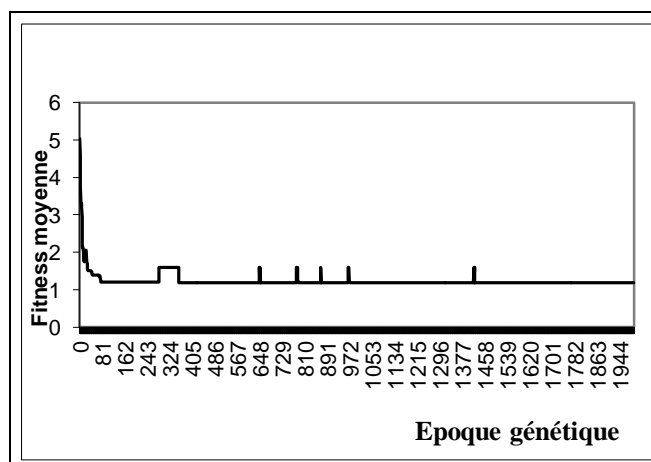


Figure 6. Graphe de variation de la fitness moyenne durant une exécution génétique de 2000 itérations sur les mammographies mdb003 et mdb004.

En appliquant les paramètres calculés nous obtenons les images contours superposées en fig.4.b.

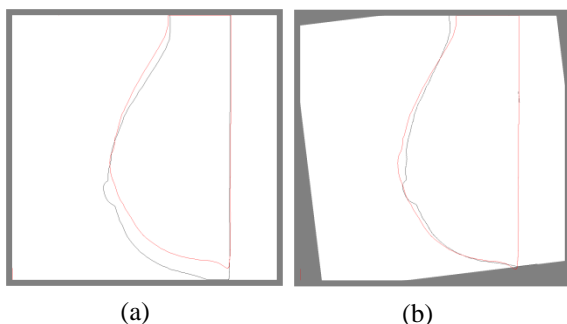


Figure 4. Résultats du recalage par algorithme génétique sur le couple mdb003 et mdb004.
(a) avant recalage et (b) après recalage.)

V. CONCLUSION

L'ajustement des paires bilatérales de mammographies qui a fait l'objet de ce travail est basé sur un recalage rigide des

paires bilatérales de mammographies. Il s'agissait de trouver la meilleure transformation rigide possible alignant les mammographies gauche et droite de la même patiente. Le principe de la méthode proposée consiste à extraire la primitive contour des deux images, puis à utiliser celles-ci pour un éventuel ajustement. Les paramètres de ce dernier sont calculés par algorithme génétique. Nous jugeons que les résultats obtenus sont satisfaisants. Cependant la contrainte de temps est une limite pour notre approche, vu que la durée d'exécution pour chaque paire d'images est d'au moins 2 heures. Nous proposons d'améliorer ceci en utilisant d'autres techniques d'optimisation plus rapides en prenant en considération l'aspect déformable de la glande mammaire.

REFERENCES

- [1] Michael A. Wirth, Christopher Choi, "The comparative analysis of mammograms: a non rigid approach to registration". Proceeding of the 5th International Workshop on Digital Mammography, Toronto Canada, pp.792-798, 2000.
- [2] J.P. Frederic Richard." Modèles élastiques d'ajustement d'images et application aux paires bilatérales et temporelles de mammographies", Thèse de Doctorat, Université René Descartes Paris V, Décembre 2000.
- [3] Emmanuel Dumas," Elaboration d'Outils de Segmentation et de Recalage d'Images Multimodales : Application à l'étude des Accidents Vasculaires Cérébraux à partir d'Angiographie IRM chez le Primate non Humain ". Thèse de Doctorat. Ecole Doctorale Simem, Université de Caen. Janvier 2000.
- [4] David E.Goldberg, *Les Algorithmes génétiques*, Editions Addison-Wesley, France, 1994.
- [5] T.K. Lau, W.F. Bischof, Automated detection of breast tumors using the asymmetry approach, *Comput Biomed Res.*24(3), pp. 273-95, June 1991
- [6] Michael A. Wirth. *A nonrigid approach to medical image registration: matching images of the breast*. A dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Biomedical Engineering Research Centre Department of Computer Systems Engineering Faculty of Engineering RMIT University Melbourne, Victoria Australia, June 1999.
- [7] M.Y. Sallam and K. Bowyer, *Registering time sequences of mammograms using a two-dimensional image unwrapping technique*, Proc. of the 2nd International Workshop on Digital Mammography , Elsevier Science, July 1994, pp. 121-130.
- [8] M. Sallam and K. Bowyer, *Detecting abnormal densities in mammograms by comparison to previous screenings*, Proc. of the 3rd International Workshop on Digital Mammography, Elsevier Science, pp. 417-420, June 1996.
- [9] M.Y. Sallam, *Image unwrapping and difference analysis: A technique for detecting abnormalities in mammogram*, PhD Dissertation, university of South Florida, Department of Computer and Engineering, April 1997.
- [10] F.L. Bookstein, *The Measurement of Biological Shapes and Shape change*, Lectures Notes in biomathematics, vol. 24, Springer Verlag, New York, 1979.
- [11] K. Marias and J.M. Brady, *Multi-scale landmark selection for improved registration of temporal mammograms*, Proc. of the 5th International Workshop on Digital Mammography (Toronto, Canada), June 2000.
- [12] Frédéric J. P. Richard, Laurent D. Cohen. *A new Image registration technique with free boundary constraints: application to mammography*. Computer Vision and Image Understanding Vol. 89 pp. 166-196, 2003.
- [13] F. Richard, Recalage non-rigide de mammographies simulées à l'aide de modèles synthétiques de seins soumis à différents degrés de

- compression, In Proc. of the conference TAIMA'03, pp. 15-21, Tunisia, 2003.
- [14] J. Suri, Y. Guo, C. Coad, T. Danielson, and R. Janer, A novel approach of combining image registration and segmentation for lesion detection in breast phantom images obtained from fused full field digital mammography and ultrasound system (FFDMUS), BioMED2005 Proceeding of Biomedical Engineering, Austria, pp. 458-075, 2005.
- [15] J Suckling et al., *The Mammographic Image Analysis Society Digital Mammogram Database Excerpta Medica*. International Congress Series 1069 pp375-378, 1994.
- [16] L. Belkhoja, N. Benamrane, "Approche d'extraction de la région globale d'intérêt et suppression des artefacts radiopaques dans une image mammographique ", 5eme Symposium International "Images Multimédias, Applications Graphiques et Environnements", IMAGE'2009, pp 239-248, 2009.

Implémentation de la transformée en ondelettes pour les images médicales 3D sur FPGA

F.Alim-Ferhat, O.Kerdjidi, S.Seddiki, K.Messaoudi

Abstract— Dans ce travail, nous avons réalisé deux implémentations de la transformée en ondelettes ; software (MATLAB) et hardware (FPGA). Cette transformée est utilisée dans différents domaines tel que la compression. Elle nous permet de faire la décomposition et la reconstruction des images médicales 3D.

La conception de l'architecture proposée est basée sur les ressources disponibles sur le circuit FPGA utilisé (xc2v1000-4 FG 456). Le comportement de notre architecture est jugé satisfaisant ce qui a été confirmé par des simulations fonctionnelles.

Mots clés — transformée en ondelette, image médicale 3D, FPGA.

I. INTRODUCTION

L'imagerie médicale est un domaine en plein essor, du fait du développement des technologies numériques. Elle permet une investigation de plus en plus fine des organes humains grâce à la mise à disposition de systèmes de radiologie plus performants. La plupart des techniques modernes d'imagerie médicale produisent des données 3D (IRM, scanner, échographie, tomographie par émission de positons). Ces images 3D offrent une précision plus satisfaisante pour les différents domaines (médical, spatial, robotique...).

La manipulation des images pose cependant des problèmes beaucoup plus complexes:

- Le volume des données à traiter est beaucoup plus important.
- La structure de ces données est nettement plus complexe.

Manuscript received october 05, 2011. Paper titles « Implémentation de la transformée en ondelettes des images médicales 3D sur FPGA ».

F.Alim-Ferhat, Advanced Technologies Development Center (CDTA), cite 20 Aout 1956 Baba Hacene, Alger, Algeria ,Tel : 213 21 35 10 40, alim_ferhat@yahoo.fr.

O.Kerdjidi, Advanced Technologies Development Center (CDTA), cite 20 Aout 1956 Baba Hacene, Alger, Algeria

S.Seddiki Advanced Technologies Development Center (CDTA), cite 20 Aout 1956 Baba Hacene, Alger, Algeria

K.Messaoudi Advanced Technologies Development Center (CDTA), cite 20 Aout 1956 Baba Hacene, Alger, Algeria

Souvent, ces images ne peuvent pas être manipulées directement, elles doivent subir une étape de transformation nécessaire à l'augmentation de l'efficacité du traitement. Cette étape de transformation permet de représenter l'image à traiter d'une manière plus adaptée au traitement envisagé; elle consistera par exemple à extraire l'information importante pour les applications de reconnaissance de motifs, de détection de contours, de segmentation, ou à représenter l'information de manière plus compacte [1], [2].

La progression considérable des techniques d'analyse du signal a acquis une reconnaissance grandissante dans la communauté scientifique internationale, de par ses qualités : la transformée en ondelettes, que l'on peut considérer comme une évolution de la transformée de Fourier, présente des caractéristiques intéressantes dans de nombreux domaines du traitement du signal et de l'image. Les qualités de la transformée en ondelettes lui ont valu une attention particulière de la part des scientifiques de tous les domaines : mathématiques, informatique physique, géologie, électronique.

Une implémentation de la transformée en ondelettes par une solution Software est facilement réalisable. Seulement, cette solution a des inconvénients au niveau du temps de calcul. Pour remédier à ce problème, nous envisageons une solution Hardware, cette solution est devenue possible grâce à l'évolution de la technologie de la production des circuits intégrés qui a donné la possibilité d'utiliser des circuits programmables combinant entre la flexibilité, la rapidité et la densité d'intégration, en particulier les circuits FPGA « Field Programmable Gate Array ». Ces performances ont motivés l'utilisation de ces circuits pour l'implémentation des différentes applications dans plusieurs domaines.

Il en résulte que la manipulation, le stockage et la représentation de ces données se heurtent à certaines limitations. Mais grâce au traitement d'image, ces contraintes sont levées ou contournées. Notre étude consiste à faire un prétraitement ou une décomposition et reconstruction des images médicales 3D, afin de l'intégrer dans une chaîne de traitement tel que « la compression d'image » en utilisant la transformée en ondelettes ; notre papier est organisé comme suit :

La première partie est consacrée aux généralités sur le traitement d'image et plus particulièrement les images médicales 3D. La deuxième partie se focalise sur l'étude générale des ondelettes et leurs utilisations dans l'imagerie médicale dans les différentes dimensions (1D, 2D et 3D).

Dans la troisième partie nous présenterons les différentes étapes de l'implémentation de la transformée en ondelettes filtre de Haar et leurs résultats sur le circuit FPGA.

II. GENERALITE SUR LE TRAITEMENT DES IMAGES

En traitement d'image, on considère que l'image s'agit d'une fonction mathématique $f(x, y)$, où le couplet d'entrée (x, y) indique une position spatiale, et le singleton de sortie comme l'intensité du phénomène physique.

A. Image 2D

Dans le cas des images à deux dimensions (le plus courant), les points sont appelés pixels. D'un point de vue mathématique, on considère l'image comme une fonction de $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$ dans \mathbb{R} où le couplet d'entrée est considéré comme une position spatiale.

B. Image 3D

Dans le cas des images à trois dimensions, les points sont appelés des « voxels ». Ces cas sont une généralisation du cas 2D, la dimension supplémentaire représentant respectivement le temps, une dimension spatiale ou une échelle de résolution. Du point de vue mathématique, il s'agit d'une fonction de $\mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ dans \mathbb{R} .

III. LA TRANSFORMEE EN ONDELETTE 3D.

La transformée en ondelettes 3D sur une image volumique (pile d'images 2D) peut être vue comme un produit séparable d'ondelettes 1D en les appliquant dans les trois directions spatiales [5], [19], [28]. Après avoir été appliqués sur les lignes (x) et les colonnes (y), les filtres d'analyse/synthèse suivis d'une décimation d'un pixel sur deux, ces derniers sont appliqués le long de la troisième dimension (z). A la fin de la décomposition, huit (8) sous-bandes volumiques de résolution inférieure sont obtenus : l'image 3D basse-fréquence LLL et les 7 sous-bandes qui contiennent des composantes de haute fréquences (LLH LHL LHH HLL HLH HHL HHH). figure 1. De façon identique au cas 1D, cette opération peut être appliquée autant de fois que le nombre de décompositions souhaité. Dans la transformée dyadique, chaque nouvelle décomposition est obtenue à partir d'une nouvelle transformée en ondelettes 3D sur la sous-bande basse fréquence LLL.

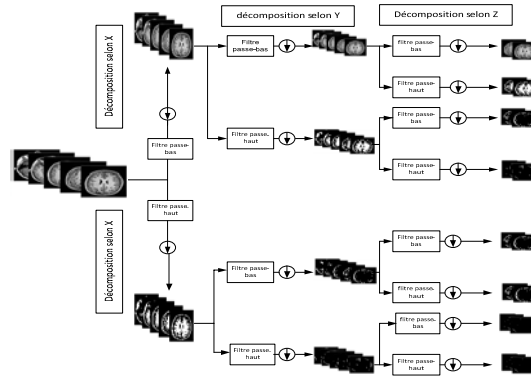


Figure 1: Décomposition d'une image 3D

IV. IMPLEMENTATION SOFTWARE

Les images médicales utilisées dans nos tests sont de taille $128 \times 128 \times 27$ pixels ; l'image 3D est prise de l'outil Matlab qui est représentée en figure 2. Ces piles d'images subiront une décomposition par la transformée en ondelettes, divisant ainsi ces images en huit blocs de taille $64 \times 64 \times 14$ pixels.

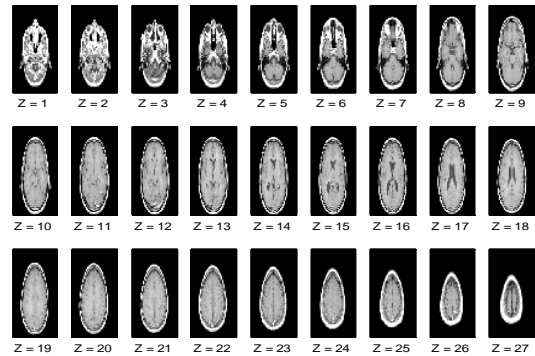


Figure 2 : Représentation d'une image 3D originale

A. DECOMPOSITION PAR LES ONDELETTES DE HAAR

A fin de faire une décomposition en ondelette sur une image médicale 3D, qui est définie comme une pile d'image 2D, nous avons d'abord réalisé un programme sous Matlab pour une décomposition d'image médicale 2D comme montrer sur la figure 3, puis nous allons le généralisé en ajoutant le troisième plan.

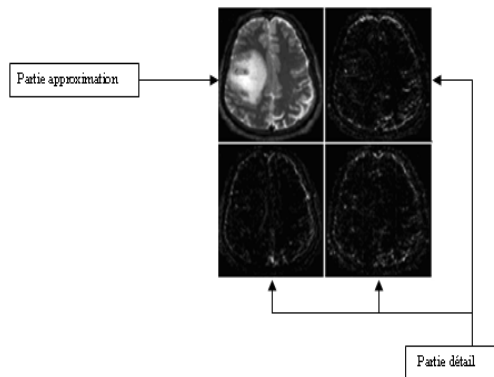


Figure 3 : Exemple de décomposition pour l'image 2D

Tableau 1: Coefficients du filtre de Haar

Passe bas	[0.71, 0.71]
Passe haut	[-0.71, 0.71]

-Décomposition du plan X

Pour procéder à la décomposition de l'image 3D selon l'axe X, nous allons appliquer les deux étapes de la décomposition suivantes :

-Convolution : Elle consiste à multiplier les pixels de l'image par les coefficients de décomposition des filtres (passe-bas, passe-haut).

-Décimation : Elle consiste à prendre un pixel sur deux.

Après avoir appliqué cette procédure sur l'image 3D nous obtenons deux images de tailles $64*128*27$ comme le montre la figure 4.

A la fin de cette décomposition on obtiendra deux images qui sont représentées dans la figure 4.

Image1 de taille $64*128*27$ résultante d'un filtre passe-bas.

Image2 de taille $64*128*27$ résultante d'un filtre passe-haut.

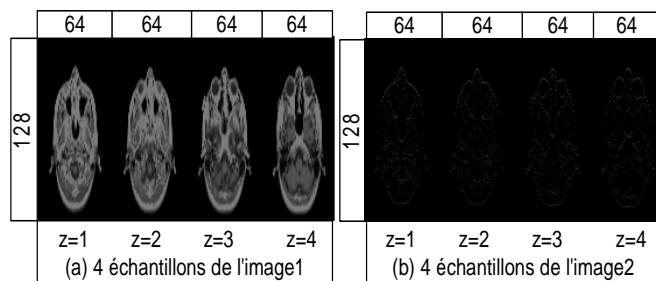


Figure 4: Allure des images résultantes de la première partie

-Décomposition du plan Y

La décomposition du plan X nous a permis d'avoir deux images 3D de tailles $64*128*27$ pixels, pour pouvoir décomposer le plan Y on va appliquer les deux étapes précédentes (convolution, décimation) suivant l'axe y sur chacune des pile d'images trouver de la 1^{er} décomposition (image1, image2) comme le symbolise la figure 5, a fin d'obtenir quatre image de taille $64*64*27$.

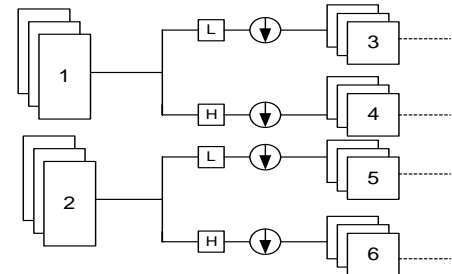


Figure 5: Décomposition du plan Y de l'image 3D

On passe d'une pile image de taille $128*128*27$ a une pile d'image de taille $64*64*27$ voir la figure 6.

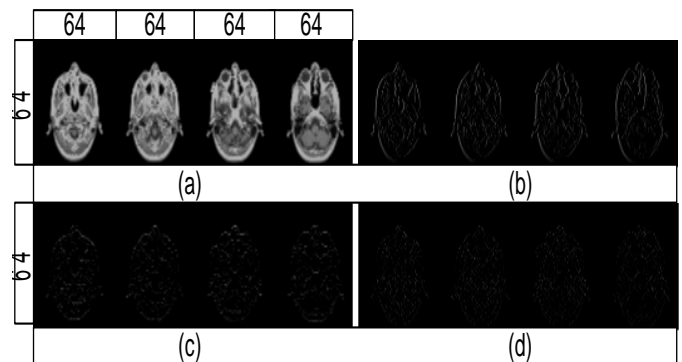


Figure 6: L'allure des images résultantes de la deuxième partie a, b, c, d sont respectivement des échantillons des images 3, 4, 5 et 6 de la figure 5

-Décomposition du plan Z

A partir des images résultantes de la décomposition des plan X et Y qui ont une tailles de $64*64*27$ pixels, nous appliquerons la décomposition sur la profondeur de l'image 3D (axe Z) à fin d'obtenir une image 3D de taille $64*64*14$, pour cela nous suivrons le schéma de la figure 7.

Après cette dernière décomposition nous obtiendrons huit images 3D de taille $64*64*14$ pixels, les images de la figure 6 nous permet de voir les premières bandes de chacune de ces 8 images.

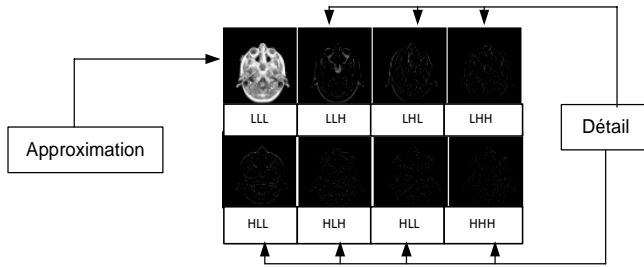


Figure 7: Huit bandes de la décomposition du premier plan

B- RECONSTRUCTION PAR LES ONDELETTES DE HAAR

La transformée en ondelette inverses nous permet de reconstruire l'image à partir des bandes résultantes de la décomposition, ces dernières passeront par les étapes suivantes:

- Une interpolation sur les plans de l'image.
- Filtrage.
- Somme.

A-Reconstruction du plan Z

Les huit piles d'images résultantes de la décomposition sont de taille $(64*64*14)$, d'abord nous allons faire un sur-échantillonnage qui consiste à introduire des plans de zéro entre les plans des images, puis nous appliquons la convolution par les coefficients inverses du filtre de Haar. A la fin, nous obtenons des images de tailles $(64*64*27)$; figure 8.

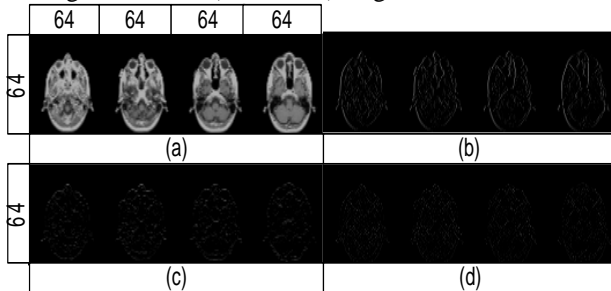


Figure 8: Allure des images résultantes de la reconstruction selon l'axe Z

-Reconstruction du plan Y

La reconstruction selon l'axe Z nous a permis de récupérer la profondeur de la pile d'images, les quatre images résultantes de cette dernière sont de taille $64*64*27$ pixels. La reconstruction suivant l'axe Y consiste à récupérer la largeur de la pile d'images comme le montre la figure 9, le but est d'avoir des piles d'images de tailles $64*128*27$ pixels.

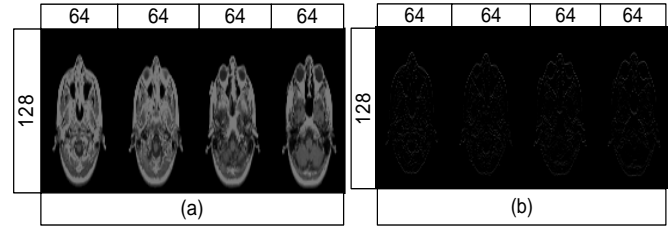


Figure 9: Résultat de la reconstruction suivant l'axe Y

-Reconstruction du plan X

Cette dernière partie consiste à reconstruire le plan X, on prend les images qui sont de taille $64*128*27$ qui vont subir l'interpolation, filtrage et sommation de deux bandes, à cette instant nous pouvons dire que nous avons fait une reconstruction d'une image 3D de taille $128*128*27$.

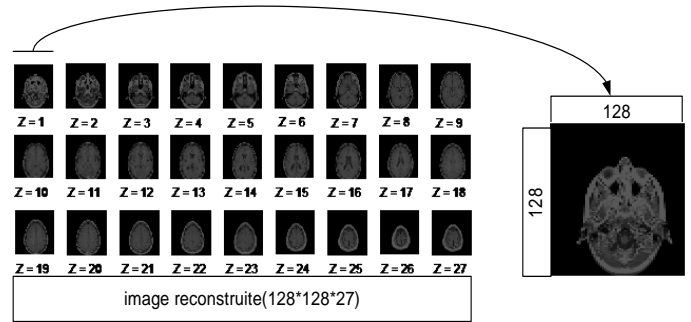


Figure 10: Résultat de l'image reconstruite

V-Implémentation Hardware

L'architecture que nous avons proposée est composée de deux parties :

- Une partie pour la décomposition, illustrée sur la figure 5.
- Une partie de la reconstruction, illustrée sur la figure 10.

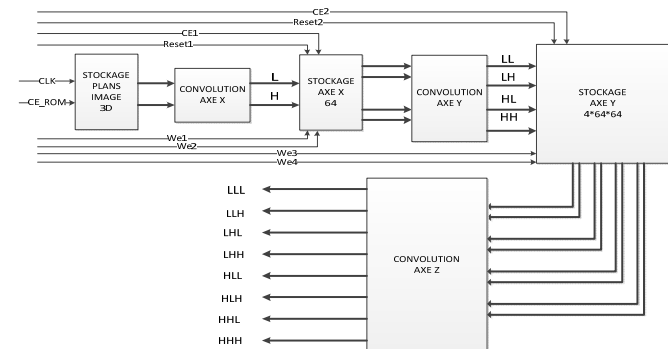


Figure 11: Architecture globale de la décomposition 3D.

- Bloc *stockage plans image 3D* permet de stocker tous les pixels des plans d'image 3D.
- Bloc *convolution axe x*: il assure le calcul de la convolution de chaque plan uniquement sur axe x.
- Bloc *stockage axe x 64*: il permet d'écrire et de lire les valeurs calculer par le bloc précédent.
- Bloc *convolution axe y*: il assure le calcul de la convolution de chaque plan uniquement sur axe y.

- Bloc *stockage axe x* $4*64*64$: il permet d'écrire et de lire les valeurs calculer par le bloc précédent.
- Bloc *convolution axe z* : il assure le calcul de la convolution de chaque plan sur axe z.

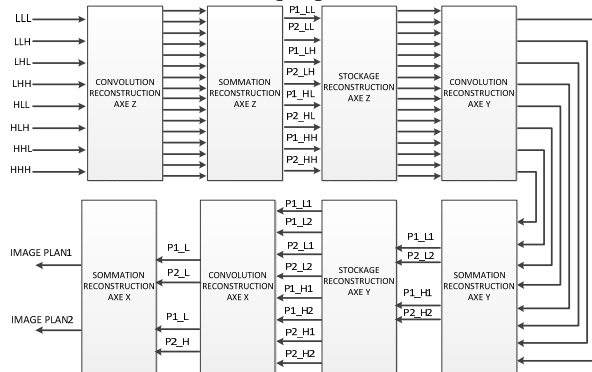


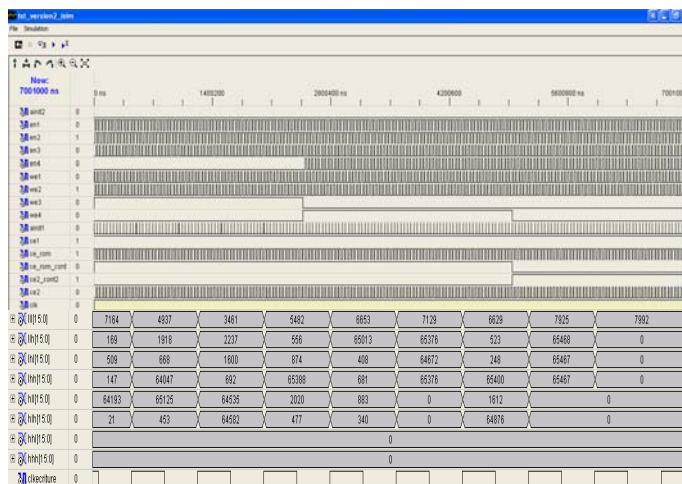
Figure 12: Architecture globale de la reconstruction 3D.

L'architecture élaborée se compose de 8 blocs dans lesquels nous trouvons une ressemblance au niveau de la cellule de base qui les constituent :

- Les blocs *Convolution reconstruction suivant les axes Z, Y et X* permettent de faire la convolution inverse.
- Les blocs *Sommation reconstruction suivant les axes, Z, Y et X* assurent la sommation des différentes bandes selon l'axe utilisé.
- Les blocs *Stockage convolution*: permettent d'écrire et de lire les valeurs calculées par les blocs qui les précèdent et de faire l'opération de l'interpolation.

VI. Résultats de simulation et Synthèse.

La simulation été faite par l'outil ISE7.1 a travers le simulateur ISE simulator. Pour les tests et la validation pour la fonctionnalité de notre architecture; la simulation globale de l'architecture est illustrée en figure 13.



reconstruction des images médicale 3D par la transformée en ondelette.



Figure 16 L'interface graphique

VIII-CONCLUSION

Nous avons implémenté une architecture qui permet l'exécution de la transformée en ondelette de Haar. Cette architecture se compose de deux parties, une partie pour la décomposition et l'autre pour la Reconstruction. Ces deux parties constituent le cœur de la transformée en ondelette, orientée pour les images médicales 3D. Ce bloc sera intégré dans une chaîne pour la compression ou la segmentation des images médicales 3D..

REFERENCES

- [1] Andràs CZIHO. « Quantification vectorielle et compression d'image. Application à l'imagerie médicale ».Thèse Université de RennesI. Mai 1999.
- [2]Malay Ranjan Tripathy, Kapil Sachdeva 3D Discrete Wavelet Transform VLSI Architecture for Image Processing Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 2009.
- [3]Gregorio Bernabé, Jose M. Garça A lossy 3D wavelet transform for high-quality compression of medical video The Journal of Systems and Software 82 (2009) Elsevier 526–534
- [4] Shadi AlZu'bi and Abbes Amira 3DMedical Volume Segmentation Using HybridMultiresolution Statistical Approaches Hindawi Publishing Corporation Advances in Artificial Intelligence Volume 2010, Article ID 520427, 15 pages .
- [5]Yann-Gaudeau Contributions en compression d'images médicales 3D et d'images naturelles 2D. THÈSE Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy. 2006.
- [6] Dual-Port Block memory for Virtex, Virtex-E, Virtex-II, Virtex Pro, Spartan II et Spartan IIE, V4.0. Octobre 4, 2001.
- [4]F. Alim « Implémentation sur FPGA d'algorithme en ligne d'analyse spectrale et de filtrage numérique » thèse de magister 2005
- [7]H.Bessalah, F.Alim, S.Seddiki " Implémentation du filtre de S.Mallat en mode de calcul en ligne » 5eme colloque africain sur la recherche en informatique Antananarivo Madagascar octobre 2000.
- [8]I. Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", vol. 61 of Proc. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia, PA : SIAM, 1992.
- [9]Jaideva C. Goswami et Andrew K. Chan. « Fundamentals of Wavelets : Theory Algorithms, and Applications». Wiley Series in Microwave and Optical Engineering. Wiley Interscience.
- [10] J. R. Ordóñez, G. Cazuguel, J. Puentes, B. Solaiman, C. Roux « L'utilisation des moments spatiaux pour la recherche d'images médicales par leur contenu dans le domaine compressé : application à la quantification vectorielle et le standard JPEG-DCT » compression et

représentation des Signaux Audiovisuels (CORESA'03). Lyon, France, 16-17 Janvier 2003.

- [11] K.TABARI et S.TAGMA, 'Compression d'images animées à très faible débit par la géométrie des fractales.'
- [12] M.HADALLAH 'Codage des images fixes par une méthode hybride basée sur la QV et les approximations Fractales.' PFE USTHB
- [13] M.KUNT 'Traitement numérique des images.' Vol.2
- [14] Malay Ranjan Tripathy, Kapil Sachdeva 3D Discrete Wavelet Transform VLSI Architecture for Image Processing Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 2009.
- [15] Matlab, "Wavelet Toolbox: Wavelets: A New Tool for Signal Analysis: Five Easy Steps to a Continuous Wavelet Transform", Mathworks Inc.
- [16] N. Sriraam, R. Shyamsunder, 3-D medical image compression using 3-D wavelet coders. Digital Signal Processing 21 (2011) 100–109.
- [17] rapport de recherche "Conception et synthèse de molécules pour l'imagerie biomédicale" Université Victor Segalen Bordeaux 2.
- [18] Roslilah Ali, Mohd Alauddin Mohd Ali, HARDWARE IMPLEMENTATION TECHNIQUES FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING ALGORITHMS. Engineering Postgraduate Conference (EPC) 2008.
- [19] Sahoolizadeh Hossein, Ahmad Keshavarz A FPGA Implementation of Neural/Wavelet Face Detection System Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(3): 379-388, 2010..
- [20] Shaoqi Luo Implementation of wavelet Transforms in FPGA thèse de Master of science Stockholm, Sweden 2006.
- [21] Virtex II 1.5V Field Programmable Gate Arrys .Module 2. DS031-2 (V1.9). November 29, 2001.
- [22] Virtex II 1.5V Field Programmable Gate Arrys .Module 3. DS031-3 (V2.0). November 28, 2001.
- [23] Virtex II 1.5V Field Programmable Gate Arrys .Module 3. DS031-3 (V2.0). November 28, 2001. .
- [24] Virtex II 1.8V Field Programmable Gate Arrys.DS022-1 (V2.3). July 17, 2002.
- [25] Virtex II ProTM Platform FPGAs : Function Description. DS083-2 (V2.4). December 3, 2002.
- [26] Virtex II ProTM Platform FPGAs, Introduction and Overview. DS083-1 (V2.3). November 20, 2002.
- [27] VirtexTM II Platform FPGAs : Introduction And Overview. DS031-1 (V1.9). September 26, 2002.

Approximate Flexible Queries Using Hausdorff Distance

Aicha AGGOUNE

Department of Computer Science, University of Setif, Algeria

Aggoune_ai@yahoo.fr

Abstract— Approximate flexible queries have emerged as an effective approach in the process of interrogation of the databases, and more especially for dealing the problem of empty answers. Most work in this domain, however, has so far been limited in its applicability and capacity to treat the problem of empty answers. In this paper, we propose the use of Hausdorff distance as an effective tool for approximate flexible queries in the context of treatment the Empty Answers Problem (EAP). Our approach is based on measuring semantic proximity between flexible queries and using this measure to provide approximate answers to failed queries (queries with empty answers).

We develop novel approach for approximate flexible queries by using the Hausdorff distance applied between fuzzy predicates compounded these queries. This, of course, guarantees extremely non empty answers with fast response times.

Index Terms—Data base, Empty answers, Flexible queries, Hausdorff distance, Information system, Semantic proximity, ,

I. INTRODUCTION

Current information systems are increasingly equipped with advanced features, especially cooperative programs for dealing of the queries with unsatisfactory or empty answers (EA). In this context, several approaches have been proposed and which can be classified into two families: the approaches guided by query, and approaches guided by a "workload of past queries".

The first family, is based on the technique of relaxation which consists in modifying the initial query either by the modification of the conditions of the query of the user [1], or by adding new conditions, or uses a summary operation or by a calculation of distributions of data in the database examined [2]-[3]-[4]-[5]-[6]-[7]. One can cite some approaches to this family: the approach based to tolerance relationship modeled by a parameterized proximity relation [1]-[2], the approach based on knowledge... etc [3].

In the second family of approaches guided by a "Workload of past queries," several studies have been developed, which are generally based on cooperative answers and approximation queries, using a set of queries previously evaluated by the system "workload" and the application of a measure of similarity between this workload and the EA to

query [8]-[9]-[10]-[11]-[12]-[13]-[14]-[15]-[16]-[17]. Among the approaches to this family: approach based synopses type samples, histogram and approach based wavelet.

The evaluation results between these two families of approaches [1]-[2]-[8], clearly show that the approaches guided by a Workload of past queries give a better result compared to the first family of approaches. Indeed, as part of our work, we are interesting in the work of the second family of approaches, when using a Hausdorff distance for measuring the semantic proximity between queries.

This paper is structured as follows:

Section 2 presents a definition of flexible queries and Hausdorff distance. In Section 3, we present our measure of semantic proximity between flexible queries. Section 4 describes our approach for the treatment of the EAP to flexible queries. In Section 5 we show the search algorithms of our solution and we conclude in Section 6 with a reminder of the main contributions of the study with some perspective for future research.

II. PRELIMINARY NOTIONS

A. Flexible queries

Flexible queries (or fuzzy queries) [1]-[2] are queries in which user preferences can be expressed. They also improve the ability of expression of query languages and the needs of users. The attributes of these queries are no longer in principle "all or nothing" but may be more or less satisfied [3]. Several works have been proposed in the literature to introduce flexibility in the interrogation of data base (DB). The majority of these works use the formalism of fuzzy sets to model preferences and linguistic terms and to evaluate predicates with such terms. [4]

Predicates called gradual (or fuzzy) (whose result is a degree of satisfaction), as young and well-paid, are described using fuzzy sets. These fuzzy criteria (or fuzzy predicate) can be combined with operators of conjunction or disjunction or medium expressing the effects of compensation between criteria. A fuzzy predicate can also compare two attributes using not only the usual operators (equality, superiority, etc.), But also gradual operators such as "more or less equal" or "significantly higher". It is possible to change (in the weakening or strengthening) the meaning of a predicate using a modifier that is usually associated with an adverb (as "very," "somewhat," "relatively" "really"). For example, "very

expensive" is more restrictive than "expensive" and "fairly high" is less demanding than "high". [5]

The results of flexible query are then qualified depending on their relevance to the selection criteria and can be ordered by degree of relevance that indicates how the condition is satisfied. [6]

B. Hausdorff distance

Hausdorff distance between two sets A and B is the maximum of two quantities: the first is to calculate for each point at its shortest distance to a point B and then selects the point which maximizes this quantity. The second quantity is the inverse of the first, since this distance is asymmetric. The formula (1) is the condensed form of the Hausdorff distance [12]-[10]-[8]

$$d_H(A, B) = \max \{ \sup_{u \in A} \inf_{v \in B} d(u, v), \sup_{v \in B} \inf_{u \in A} d(u, v) \}. \quad (1)$$

Note that d_H is a metric and, in particular, the following statement holds: $d_H(A, B) = 0$ if and only if $A = B$. Usually, the following equalities are assumed to be true $d_H(A, \emptyset) = d_H(\emptyset, B) = +\infty$ and $d_H(\emptyset, \emptyset) = 0$.

Example 1. Let $A = [a_1, a_2]$ and $B = [b_1, b_2]$ be two regular intervals and let $d(u, v) = |u - v|$. Then, it easy to check that $d_H(A, B) = \max(|a_1 - b_1|, |a_2 - b_2|)$.

Hausdorff distance between fuzzy sets may be fuzzy or scalar. Below, we focus only on the scalar version. For the fuzzy evaluation, more details are available in [10]-[11]. Hausdorff distance between two fuzzy sets is proposed in [11]. This definition is more general and is valid even in the case of two fuzzy sets with unequal maximum degree of membership (see [11] for details).

Let F and G be two discrete fuzzy sets and $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ the set of the distinct membership values of F and G , in other words it's all α -level cut distinct of F and G .

Hausdorff distance between F and G is defined by the following expression:

$$d_H^2(F, G) = \frac{\sum_{i=1}^m t_i d_H(F_{t_i}, G_{t_i})}{\sum_{i=1}^m t_i}, \quad (2)$$

Where F_{t_i} (resp. G_{t_i}) stands for the t_i -level cut of F (resp. G). $d_H^2(F, G)$ can be seen as a membership-weighted average of the crisp Hausdorff distances between the level sets of the two fuzzy sets.

In case of continuous fuzzy sets, formula (2) is modified in the following form [11]:

$$d_H^2(F, G) = \frac{\int_0^1 t d_H(F_t, G_t) dt}{\int_0^1 t dt} = 2 \int_0^1 t d_H(F_t, G_t) dt \quad (3)$$

III. MEASURING PROXIMITY

Taking into account the strong intuitive connection between proximity and distance, and by using the Hausdorff distance measure, we may want to estimate to what extent two flexible queries are close, semantically speaking.

A. Single Predicate Queries (SPQ)

Let $Q = P$ and $Q' = P'$ be two SPQ where P and P' are gradual predicates represented by means of fuzzy sets (of course, P and P' are pertaining to the same attribute, say A). To evaluate which extent Q and Q' are close, semantically speaking, we make use of the Hausdorff distance index between the fuzzy predicates involved in those two queries. Then, we write: [18]-[19]

$$Dist(Q, Q') = d_H^2(P, P'), \quad (4)$$

With $Dist(Q, Q')$ stands for a distance measure between Q and Q' . Let now $Prox(Q, Q')$ denote a proximity measure between Q and Q' . $Prox(Q, Q')$ based on the distance $Dist(Q, Q')$ can be obtained in two steps:

- Normalizing $Dist(Q, Q')$ with a function f_{norm} that reduces the range to the interval $[0, 1]$.
- Under this assumption, $Prox(Q, Q')$ can be defined in the following way:

$$Prox(Q, Q') = 1 - f_{norm}(Dist(Q, Q')) \quad (5)$$

The well known expressions of f_{norm} are [4]:

$$f_{norm}(x) = \min(1, x) \text{ and } f_{norm}(x) = x/(1+x).$$

Another approach to defining a proximity measure is to use a conversion function on the distance measure. For instance, $Prox(Q, Q')$ can be defined by [11]:

$$Prox(Q, Q') = \left(1 + \left(\frac{Dist(Q, Q')}{s} \right)^t \right)^{-1}. \quad (6)$$

The positive constants s and t adjust the size of the proximity measure. The simplest conversion function can be obtained by setting $s = 1$ and $t = 1$.

B. Compound Queries

Let D be a relational database containing n attributes A_1, A_2, \dots, A_n with $D(A_i)$ being the domain of values pertaining to A_i . We make the assumption that $D(A_i)$ is closed and bounded (resp. finite) if A_i is a continuous (resp. discrete) attribute.

Let also Q be a flexible compound query of the form $P_1 \wedge \dots \wedge P_k$ where the symbol ' \wedge ' stands for the connector 'and' (which is interpreted by the 'min' operator) and P_i ($i=1, k$) is a fuzzy predicate pertaining to the attribute A_i . Let also Q' be a flexible query of the form $Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_s$ where P'_j ($j=1, s$) is a fuzzy predicate pertaining to the attribute A_j . To evaluate the semantic proximity between the two compound queries Q and Q' , we distinguish three cases: [18]-[19]

Case 1: Q and Q' cover the same attributes exactly.

Case 2: Q' covers all the attributes specified in Q .

Case 3: Q' does not cover all the attributes specified in Q .

We use the notation Σ_Q to denote the set of answers to the query Q .

Case 1: Q and Q' cover the same attributes exactly. Hence, $Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_k$ with $(P_b, P'_i) \in D(A_i)$, for $i=1, k$, which means that both P_i and P'_i are predicates that constrain the same attribute A_i . In this case, $Prox(Q, Q')$ is evaluated in a three-step procedure:

- 1) For each pair (P_b, P'_i) , $i=1, k$, compute $Dist(P_b, P'_i) = d_H^2(P_b, P'_i)$;
- 2) For each pair (P_b, P'_i) , $i=1, k$, compute $Prox(P_b, P'_i)$ using, for instance, formula (5);
- 3) Then, compute $Prox(Q, Q') = \min_{i=1, k} Prox(P_b, P'_i)$.

Case 2: Q' covers all the attributes specified in Q . Then, Q' can be transformed into the following form $Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_k \wedge P'_{k+1} \wedge \dots \wedge P'_s$ with $(P_b, P'_i) \in D(A_i)$, for $i=1, k$. Attributes A_j (for $j=k+1, s$) are not specified in Q .

To estimate the proximity between Q and Q' , we can apply two strategies:

(S1) *increased of Q* : the idea is to complete Q with constraints on the missing attributes (ie, j for $j = k+1$ to s). Since the user does not specify any constraints on these attributes, all values of their fields are allowed. Thus, Q can be written:

$$Q = P_1 \wedge \dots \wedge P_k \wedge D(A_{k+1}) \wedge \dots \wedge D(A_s).$$

(S2) *Weakening of Q'* : the idea here is to focus solely on the attributes specified by the user and to measure the closeness of their constraints specified in Q and those present in Q' . Superfluous attributes present in Q' can be deleted. Thus, Q' is rewritten as follows:

$$Q'_R = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_k$$

It is easy to see that Q'_R is a variant of relaxed Q' . The following relation $\Sigma_{Q'} \subseteq \Sigma_{Q'_R}$ is always true (ie, the responses of Q' are also of Q'_R).

This strategy will take any interest in the processing of EA to queries, since the objective is to provide approximate solutions and alternatives to these queries. Thus, if the measure $Prox(Q, Q'_R)$ is high (or above a certain threshold), it is perfectly acceptable to offer the answers of Q' as approximate answers to the query Q if its evaluation does produced no response (i.e., $\Sigma_Q = \emptyset$).

The Strategy S2 can measure the proximity between the constraints of the attributes present in both queries Q and Q' . This proximity can be characterized by local interests who in practice are shown above. As for the strategy S1, it calculates a global proximity between Q and Q' . All those same attributes not specified in Q are taken into account in this calculation. As part of the problem of interest, this property presents a significant disadvantage. Indeed, suppose that Q : "Salary= around 3 € k" is an empty query answer. Let Q' : "Age = 27 years \wedge Salary = [2.8, 3.2]". The fact reflect the closeness of the value of age 27 and $D(Age)$ (ie $Prox(27, D$

(Age)), With $D(Age) = [0, 100]$, significantly weakening the global proximity (based on min operator) between Q and Q' . This could lead to the rejection of Q' and therefore his answers so that they might find interesting because they approximately satisfy the criterion on the attribute "Salary".

Case 3: Q' does not cover all the attributes specified in Q . Then, Q' can be transformed into the following form $Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_b \wedge P'_{k+1} \wedge \dots \wedge P'_s$, with $b < k$ and $(P_b, P'_i) \in D(A_i)$, for $i = 1$ to b , and the predicates P_j (for $j = k+1$ to s) are not specified in Q . To calculate $Prox(Q, Q')$ is:

i) Added to Q' the domains for missing attributes specified in Q . Q' is written so:

$$Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_b \wedge D(A_{b+1}) \wedge \dots \wedge D(A_k) \wedge P'_{k+1} \wedge \dots \wedge P'_s;$$

(ii) Applying one of two strategies described in case 2.

IV. APPROACHING THE EMPTY ANSWERS PROBLEM

In this section, we show how the proximity measure introduced between queries can provide a basis for approaching the problem of empty answers. Let us first introduce this problem in the flexible database querying context.

A. Problem Formulation

Let Q be a *flexible* query. In this case, Σ_Q contains the items of the database that *somewhat* satisfy the fuzzy requirements involved in Q .

Formally, $\Sigma_Q = \{t \in D / \mu_Q(t) > 0\}$, where t stands for a database tuple.

Definition. We say that Q results in *empty answers* if $\Sigma_Q = \emptyset$. [2]

This means that no data in the database somewhat satisfies the fuzzy conditions involved in Q . Let us note that *query relaxation* is one of the basic approaches that were proposed to deal with this problem. In a flexible queries context, a proximity relation-based approach for relaxing queries has been suggested in [14]-[15]. Unfortunately, this approach sometimes leads to a problem with a high computational complexity. In the following, we propose an alternative approach to deal with this problem. The approach proposed leverages the previous queries that have been evaluated by the system and have produced non-empty answers.

B. Principle of the Approach

Assume that we have at our disposal a past query workload¹ $W(D)$. Let $Q = P_1 \wedge \dots \wedge P_k$ be a flexible query with EA.

The intuition of how we intend to use the workload $W(D)$ in answering Q is the following. The workload may perhaps reveal that, in the past, some queries that have been processed and produced a set of non-empty answers are *close to Q* , *semantically speaking*. Thus, it is more convenient to propose as a response to Q the answers of the query that is the closest

¹ A collection of queries that have been executed on our database system in the past and have produced non-empty answers

one to Q than "nothing". To achieve this, we proceed in the following way:

- 1) Partitioning the workload $W(D)$ in 03 subsets treated the three cases previously cited (in sub section 2.2):
 $W_=(D, Q) = \{Q' / Q' \in W(D) \wedge |D(Q') \cap D(Q)| = k\}$,
 $W_>(D, Q) = \{Q' / Q' \in W(D) \wedge |D(Q') \cap D(Q)| > k\}$, and
 $W_<(D, Q) = \{Q' / Q' \in W(D) \wedge |D(Q') \cap D(Q)| < k\}$,
- 2) (a)- If $W_=(D, Q) \neq \emptyset$, for element $Q' \in W_=(D, Q)$, estimate the proximity $Prox(Q, Q')$. Ranking in descending order of queries.
 (b)- Else if $W_>(D, Q) \neq \emptyset$, then we consider $W_>(D, Q)$ and apply (a).
 (c)- Else, we consider $W_<(D, Q)$ and apply (a).
- 3) Choose the closest query Q_{app} in Q , and affect its answers a same degree of membership, which takes as its value, the proximity measured between Q and Q_{app} named $Prox(Q, Q_{app})$.

V. SEARCH ALGORITHMS

The algorithm of treatment of the EAP in case of atomic query (SPQ) takes as input the user query Q , the subset $WQ(D)$ is equal to the beginning Workload $W(D)$. The first step (lines 1 to 8) of this algorithm is to determine if the query Q has empty response ($\Sigma Q = \emptyset$) or not ($\Sigma Q \neq \emptyset$). In the latter case, the algorithm determines if Q exist or not in the Workload $W_0(D)$. To decide whether to add this query to the $WQ(D)$ and show his answers, or directly display the results (if where Q is already in $WQ(D)$).

The second step (lines 9-16) is affected when EAP is detected. In this context, the first step to do is to search queries from the $WQ(D)$ are exactly the same attribute specified in Q (to build the set $W_=(D, Q)$), this is achieved by the procedure Filter ($WQ(D)$), which modifies the elements of the $WQ(D)$, keeping only the non zero proximity queries, then it ranks the $W_0(D)$ (line 12) by the procedure RankOrder; in descending order according to the degree of proximity. Then, selects the closest query of Q named Q_{App} (line 13) and we display its approximate answers to the Q , taking as degree of membership value of proximity $Prox(Q, Q_{App})$.

Input: Q : initiale query /* $Q:=P$ */
 $WQ(D)$: workload

```

1: Begin
2: execute  $Q$ ;
3: if  $\Sigma Q \neq \emptyset$  then
4: Begin
5: if  $Q \notin W_0(D)$  then
 $W_0(D) := W_0(D) \cup \{Q\}$ ;
6: end;
7: Return  $\Sigma Q$ ;
8: end
9: else /*  $\Sigma Q = \emptyset$  */
10: Begin
11: Filter ( $W_0(D)$ );
12: RankOrder( $W_0(D)$ );
13:  $Q_{App} = First(W_0(D))$ ;

```

```

14: Return  $\Sigma Q_{App}$ ;
15: end;
16: end

```

Output: ΣQ ou bien ΣQ_{App}

Algorithm 1. Treatment of EAP to SPQ

Following, we define, the different procedures used in our algorithm:

A. *Procedure to Filter $WQ(D)$* : Given the Workload $WQ(D)$ to determine if their queries have the same attribute of Q , by executing the following algorithm:

Procedure Filter (var set E)

```

1: begin
2: let  $Aux = E$ ;  $E = \emptyset$ ;
3: while  $Aux \neq \emptyset$  do
4: begin
5:  $Q' = First(Aux)$ ;
6: compute  $Prox(Q, Q')$ ;
7: if  $Prox(Q, Q') > 0$  then
8:  $E = E \cup \{Q'\}$ ;
9:  $Aux = Aux - \{Q'\}$ ;
10: end while
11: end

```

Algorithm 2. Filter of workload

B. *Procedure to estimate the semantic proximity*: The measure of semantic proximity between queries is based on the use of Hausdorff distance by applying the formula (8), whose algorithm is as follows:

Procedure Prox ($Q = P, Q' = P'$)

```

1: begin
2: compute  $Dist(P, P')$ ;
3: compute  $Prox(P, P')$ ;
4:  $Prox(Q, Q') = Prox(P, P')$ ;
5: return  $Prox(Q, Q')$ ;
6: end

```

Algorithm 3. Estimation of semantic proximity (SPQ)

C. *Procedure to ranking*: As we said in the algorithm 1, it realizes a rank in descending order of queries $W_0(D)$ according to the semantic proximity associated. We chose the selection rank for its simplicity, the algorithm is as follows:

Procedure RankOrder(var set E)

```

1: Begin
2: for  $i=1$  to  $|E|-1$  DO
3: for  $j=i$  to  $|E|$  DO
4: begin
5: if  $Prox(Q, Q_i) < Prox(Q, Q_j)$  then
6:  $x=E_i$ ;
7:  $E_i=E_j$ ;
8:  $E_j=x$ ;
9: end
10: end

```

Algorithm 4. Rank order of workload

In the case of querying a DB using the compound query, the algorithm to treat the EAP to Q is the same as the algorithm of SPQ, but the procedures used are different.

We use the semantic proximity measure cited in the subsection 2.2, where we distinguished three possible cases that are treated in the procedure Filter ($W_Q(D)$) as follows:

Procedure Filter (var set E)

```

01: begin
02: let Aux=E; E=∅; Aux1=E, Aux2=E, case1=false;
    case2=false;
03: while Aux ≠ ∅ do
04:   begin
05:     Q' = First (Aux);
06:     if s=k then /* first case */
07:       begin
08:         case1=vrai;
09:         compute Prox(Q, Q');
10:         if Prox(Q, Q')>0 then E = E ∪ {Q'};
11:       end;
12:       Aux = Aux - {Q'};
13:     end;
14: if case1=true then exit
15: else
16:   begin
17:     while Aux1 ≠ ∅ do
18:       begin
19:         Q' = First (Aux1);
20:         if s>k then /*second case */
21:           begin
22:             case2=true;
23:             Q'Rel= P'_1 ∧ P'_2 ∧ ... ∧ P'_k;
24:             compute Prox(Q, Q'Rel);
25:             if Prox(Q, Q'Rel)>0 then E = E ∪ {Q'};
26:           end;
27:           Aux1 = Aux1 - {Q'};
28:         end;
29: if case2=true then exit
30: else /*third case */
31:   begin
32:     Q'= First (Aux2);
33:     Q''=Increased (Q');
34:     Q''=Weakening (Q'');
35:     compute Prox(Q, Q'');
36:     if Prox(Q, Q'')>0 then E = E ∪ { Q' };
37:     Aux2 = Aux2 - { Q' };
38:   end;
39: end;
40: end.

```

Algorithm 5. Filter of workload (compound queries)

The changes in the procedure Prox (Q, Q') are defined in the following algorithm:

Procedure Prox ($Q = P_1 \wedge \dots \wedge P_k$, $Q' = P'_1 \wedge \dots \wedge P'_k$)

```

1.   begin
2.   for i = 1 to k do

```

```

3.     compute  $Dist(P_i, P'_i)$ ;
4.     compute  $Prox(P_i, P'_i)$ ;
5.   end for
6.   compute
7.    $Prox(Q, Q') = \min_{i=1, k} Prox(P_i, P'_i)$ ;
8.   return  $Prox(Q, Q')$ ;
9. end

```

Algorithm 6. Estimation of semantic proximity (compound query)

VI. CONCLUSION

We proposed an approach for treatment the EAP to flexible queries. Our solution is based on measure of semantic proximity between query with EA and queries from the Workload, to return to the user a set of approximate answers to the query the closest semantically speaking to the EA to query.

The basic measure of semantic proximity between queries is to calculate the semantic proximity between queries containing these predicates, using the Hausdorff distance. The set of approximate answers returned to the EA to query is a set of tuples ordered responses of the query more closely. We assign of these approximate answers the same degree of membership represented by the value of semantic proximity between these two queries.

To apply our approach, we developed algorithms for finding the closest query to EA query, where the the implementation and evaluation of these algorithms are the perspectives for our future research.

REFERENCE

- [1] A. Bidault, C. Froidevaux, B. Safar, "Similarity Between Queries in a Mediator", Proc. of ECAI 2002, 2002, pp. 235-239
- [2] A. Motro, FLEX, "Tolerant and Cooperative User Interface to Database", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering on Office Information Systems*, vol. 4, 1990, pp. 231-246.
- [3] A. Motro, "VAGUE: A user interface to relational databases that permits vague queries", *ACM Transactions on Office Information Systems*, vol. 6, 1988, pp. 187-214.
- [4] B.B. Chaudhuri and A. Rosenfeld, "A modified Hausdorff distance between fuzzy sets", *Information Sciences*, Vol. 118, 1999, pp. 159-171.
- [5] B.B. Chaudhuri and A. Rosenfeld, "On a metric distance between fuzzy sets", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 17, 1996, pp. 1157-1160.
- [6] D. Dubois, H. Prade, "Fundamentals of Fuzzy Sets", *The Handbooks of Fuzzy Sets Series*, Vol. 3, Netherlands, 2000.
- [7] D. Dubois and H. Prade, "On distances between fuzzy points and their use for plausible reasoning", In Proc. Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 1983, pp. 300-303.
- [8] H. Larsen, J. Kacprzyk, S. Zadrozny, T. Andreassen, and H. Christiansen, (Eds.), "Flexible Query Answering Systems", Recent Advances, Physica Verlag, 2001.
- [9] J. Fan, "Note on Hausdorff-like metrics for fuzzy sets", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 19, 1998, pp. 793-796.
- [10] J. F. Roddick, K. Hornsby, D. de Vries, "A Unifying Semantic Distance Model for Determining the Similarity of Attribute Values", ACSC'03, 2003, pp. 111-118
- [11] M.L. Puri and D.A. Ralescu, "differentials of fuzzy functions", *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Vol. 91, 1983, pp. 552-558.
- [12] O. Arieli, M. Denecker, M. Bruynooghe, "Distance semantics for database repair", *Ann. Math. Artif. Intell.* Vol. 50, 2007, pp. 389-415.
- [13] O.R. Zaiane, A. Strilets, "Finding Similar Queries to Satisfy Searches Based on Query Traces", *OOIS Workshops'02*, 2002, pp. 207-216.

- [14] P. Bosc, A. Hadjali, and O. Pivert, O, "Relaxation paradigm in a flexible querying context", In Proc. Int. Conf. on Flexible Query Answering Systems, 2006, pp. 39-50.
- [15] P. Bosc, A. Hadjali, and O. Pivert, "Weakening of fuzzy relational queries: An absolute proximity relation-based approach", *Mathware & Soft Comp. J.*, Vol. 14, 2007, pp. 35-55.
- [16] P. Bosc, C. Brando, A. Hadjali, H. Jaudoin, O. Pivert, "Semantic proximity between queries and the empty answer problem", In IFSA World Congress, 20-24 July, Lisbon, Portugal, 2009.
- [17] T. Ichikawa and M. Hirakawa, "ARES: A relational database with the capability of performing flexible interpretation of queries", *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 12, 1986, pp. 624 -634.
- [18] Aggoune Aicha, Hadjali A, Moussaoui A, "Measuring Semantic Proximity between Flexible Queries: A Distance-Based Approach". COSI2011, Guelma, 2011.
- [19] Aggoune Aicha, Hadjali A, Moussaoui A, " Proximité Sémantique entre Requêtes Flexibles: Une Approche Basée sur une Mesure de Distance". ICSIP2011, vol. 1, 2011, 97-103.

Vers une Méthode de Classification Automatique de Phrases Interrogatives et Affirmatives

HALIMOUCHE Ramzi & TEFFAHI Hocine

*L.C.P.T.S, Faculté d'Electronique et d'Informatique

U.S.T.H.B, B.P. 32 El Alia Bab Ezzouar, Alger 16111, Algérie.

Phone : 213-21-24-79-12 , fax: 213-21-24-71-87. E-mail: rhalimouche@hotmail.com, hteffahi@gmail.com.

Résumé— Pour évaluer automatiquement le type des phrases à des fins de classification en interrogatives et affirmatives, nous présentons une méthode utilisant le contour prosodique. Le paramètre mesuré et analysé prend en compte l'évolution de l'intonation pendant l'énoncé de la phrase : augmentation des valeurs de F0 en fin de phrase. Nous avons adopté le formalisme des méthodes à Support Vector Machine (SVM) comme outil de décision discriminant. Le système a été validé sur un corpus de phrases interrogatives et affirmatives de la langue française. Nous obtenons un taux de classification correcte de l'ordre de 76%.

Mots-clés— Détection des questions, Energie, Fréquence Fondamentale , Vecteur de Support Machine (SVM).

I. INTRODUCTION

La transcription enrichie d'un document audio a pour but de fournir non seulement le contenu linguistique (le résultat du module de reconnaissance automatique de la parole), mais encore la description de la nature des phrases (interrogatives, affirmatives...), du nombre de locuteurs, du regroupement en thèmes, de la détection des disfluences , etc. La parole contient beaucoup plus d'informations que les mots en eux-mêmes, telles que l'état émotionnel du locuteur, la structuration de l'énoncé, l'accent, l'emphase, la modalité, l'altitude, etc[1]-[2]. La transcription enrichie de signaux de parole consiste à identifier, exploiter et incorporer ces informations (que l'on appelle les informations "extralinguistiques" dans le résultat de l'analyse de signaux de parole. La classification et détection

de phrases interrogatives peuvent être vues comme un cas particulier de la classification d'actes de dialogue. Généralement dans ces systèmes, des paramètres prosodiques tel que le pitch, la vitesse de parole, l'énergie, et les durées de pause sont automatiquement extraits et modélisés afin de classer une variété d'événements de ponctuation et de dialogue.

La prosodie désigne les phénomènes liés à l'évolution dans le temps des paramètres de hauteur, d'intensité et de durée. La valeur de ces paramètres à un instant donné a peu de signification. Ce sont plutôt leurs variations qui peuvent être interprétées. La définition de la prosodie ci-dessus traduit cette préoccupation en faisant intervenir explicitement l'évolution dans le temps des paramètres. L'évolution dans le temps de la fréquence fondamentale, ou de la hauteur si l'on se place du point de vue perceptif, constitue la mélodie. L'enchaînement des durées relatives, y compris les durées des silences, constitue le rythme. Comprendre l'information contenue dans la mélodie et dans le rythme revient à en dévoiler les structures [3]-[4].

Pour estimer automatiquement la nature des phrases, il est possible d'analyser directement le signal de parole, sans avoir besoin nécessairement du résultat lexical d'un moteur de reconnaissance automatique de la parole mais en utilisant le contour intonatif et d'autres caractéristiques prosodiques de la phrase. Dans ce cas, l'essentiel des paramètres mesurés et analysés prennent en compte l'évolution de l'intonation pendant l'énoncé de la phrase : registre de F0, augmentation des valeurs de F0 en fin de phrase ou d'autres paramètres dérivés des valeurs de F0... De nombreux travaux ont été menés dans ce domaine [5]-[6]

Une des questions à laquelle nous essayons de répondre dans ce travail, est de savoir si une analyse du contour intonatif pourrait amener à une bonne détection automatique de questions en langues française.

II. PREPARATION DU CORPUS ET METHODOLOGIE

Nous allons enregistrer des paires de phrases. Chaque paire se compose d'une phrase question et d'une phrase non-question. Puis, nous allons analyser ces paires de phrases dans le but de mettre en évidence les différences entre ces deux classes de phrases au niveau de l'aspect classiquement utilisé pour caractériser la prosodie : la fréquence fondamentale. Dans notre étude, nous avons porté une attention toute particulière au naturel des phrases, pour les phrases non-questions comme pour les phrases questions.

Nous avons, dans la mesure du possible, gardé aussi les mêmes mots, ou bien nous avons utilisé des mots à la prononciation peu différente afin que ces deux phrases soient les plus ressemblantes que possible au niveau de la prononciation. De cette façon, nous éliminons ainsi tous les phénomènes de co-articulation qui pourraient interférer avec notre analyse prosodique. Le fait de choisir les mêmes tons nous permet d'éliminer l'influence des tons des syllabes sur l'intonation générale de la phrase.

Notre corpus est constitué de 30 phrases (questions / réponses) en français. Ces phrases ont été intégrées dans des dialogues significatifs, afin que leurs prononciations soient plus naturelles possibles. Chaque dialogue est répété trois fois par trois locuteurs (2 hommes et 1 femme) de différents accents, ce qui nous donne un corpus constitué de 270 phrases (180 affirmations et 180 interrogations).

Nous avons remarqué pendant nos analyses que le corpus contient du bruit au début et à la fin de chaque phrase due à l'enregistrement (environnement bruyant). Pour diminuer l'effet de ce bruit nous avons utilisé une méthode qui consiste à détecter les frontières des phrases et des silences. Cette méthode est basée essentiellement sur l'estimation de l'énergie. Un silence ou bruit est détecté si l'énergie des 30 échantillons du début et de la fin du signal est inférieure à 10% de l'énergie maximum de la phrase.

Cette opération permet de mieux estimer le contour intonatif. La figure (1) donne l'allure temporelle d'une phrase avant et après prétraitement.

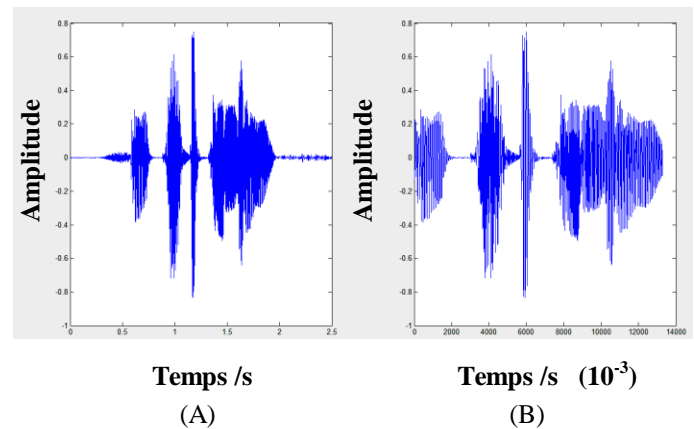


Figure (1) : Effet du prétraitement sur le signal,

(A) signal à l'état brut, (B) signal après nettoyage

Pour chaque enregistrement nous avons extrait le contour de la fréquence fondamentale F_0 avec une méthode de détection de F_0 basée sur la méthode cepstrale [7]. Pour classer nos phrases, nous avons adopté le formalisme des méthodes à Vecteur de Support Machine (SVM) comme outil de décision discriminant. Le vecteur caractéristique, qui représente l'information pertinente, est la fréquence fondamentale.

Les Machines à Vecteurs de Support ou Séparateur à Vaste Marge (SVM) sont des techniques discriminantes dans la théorie de l'apprentissage statistique.

Elles ont été proposées en 1995 par V. Vapnik [8]. Elles permettent d'aborder plusieurs problèmes divers et variés comme la régression, la classification, la fusion etc...

Nous avons appliqué dans notre travail un SVM monoclasse sous Matlab. Sachant que les SVM nécessitent une base de données d'apprentissage (2/3 de corpus) et une autre pour le test (1/3 de corpus) avec des vecteurs caractéristiques de même taille. Dans notre cas le corpus utilisé est constitué avec des phrases de différentes tailles ce qui donne des vecteurs caractéristiques différents, donc il est quasiment impossible de les utiliser dans un moteur de classification à base de SVM.

Pour s'affranchir de ce problème, nous avons opté pour une méthode de limitation des vecteurs caractéristiques (même taille) avec un taux maximum d'identification. Puisque l'information caractérisant le type se trouve à la fin de la phrase, le balayage commence de la fin du signal arrivant jusqu'au début du signal le plus court ; cela en calculant à chaque longueur du vecteur caractéristique le taux d'identification.

La taille du vecteur caractéristique est définie par le nombre de valeur de F_0 qui donne le taux d'identification maximum.

Pour notre corpus, la taille du signal le plus court contient 50 valeurs de F_0 donc nous obtenons 50 valeurs de taux d'identification.

La procédure est illustrée par le schéma de la figure 2.

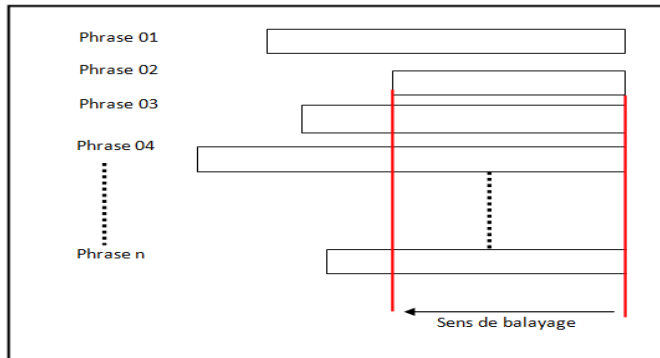


Figure (2) : Procédure de détermination de la taille du vecteur caractéristique.

La figure (3) donne la variation du taux d'identification en fonction de la taille du vecteur caractéristique. Nous remarquons que le taux d'identification atteint la valeur maximum pour un vecteur caractéristique de 14 valeurs de (F_0) (maximum de l'information significative). Au-delà de cette valeur le taux de classification se dégrade d'une manière significative.

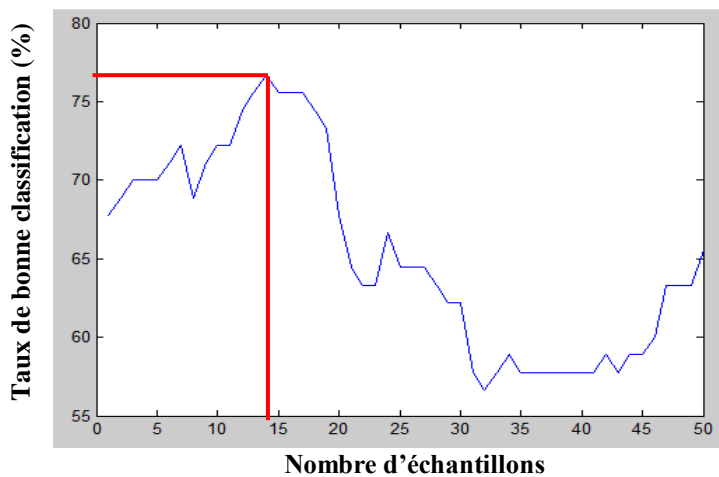


Figure (3) : Taux d'identification en fonction de la taille du vecteur caractéristique.

III .Résultats D'analyse

En étudiant chaque paire de phrases de notre corpus, nous remarquons que l'essentiel des différences d'intonation se situe à la fin de la phrase : le contour de la dernière syllabe ou de la deuxième moitié de celle-ci semble être croissant pour les phrases interrogatives. Une étude statistique, présentée dans le tableau 1, confirme cette tendance : 82.22% des cas de phrases

de type interrogatif possède un contour de F_0 croissant à la fin de phrase. Nous retrouvons là une tendance bien connue pour les langues non tonales comme le français.

	Locuteur -1-	Locuteur -2-	Locutrice -3-	Les 3 locuteurs
Taux de bonne identification globale(%)	93.33	73.33	63.33	76.66
Taux de bonne identification des phrases interrogatives(%)	100	80	66.66	82.22
Taux de bonne identification des phrases affirmatives (%)	86.66	66.66	60	71.11

Tableau(1) : Taux d'identification partielle et globale.

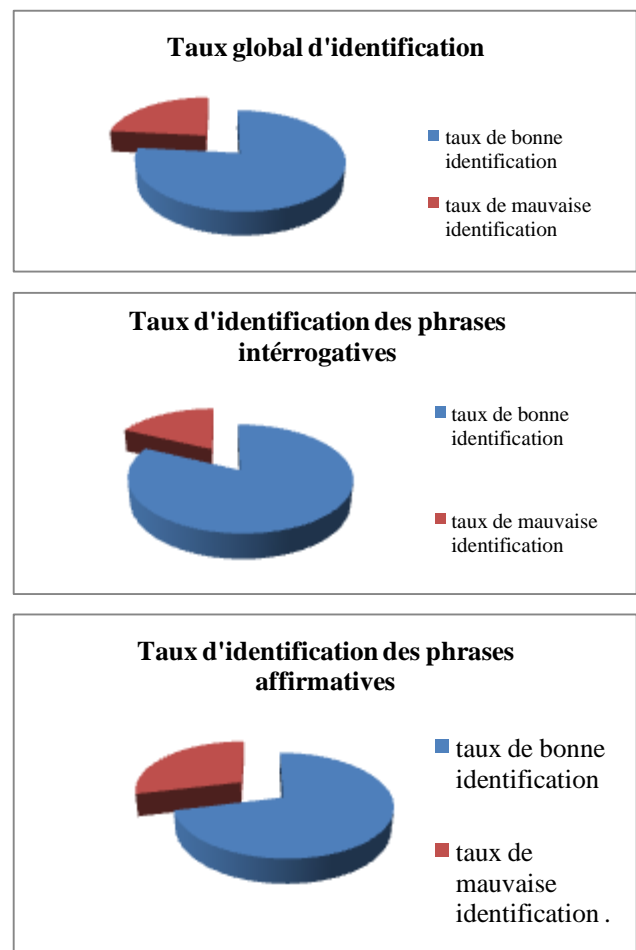


Figure (3) : Répartition des taux d'identification globale et partiel

**Taux de bonne identification pour les 3 locuteurs
(affirmatives, interrogative et globale)**

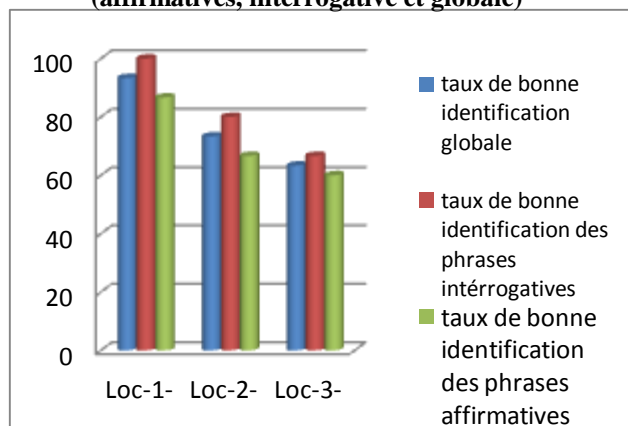


Figure (4) : taux d'identification globale, des phrases interrogatives et affirmatives pour chaque locuteur.

Nous remarquons d'après les figures (3),(4) que les phrases de type interrogatif sont les mieux identifiées par rapport aux phrases de type affirmatif. La figure (4) montre que le locuteur 1 présente le taux le plus élevé de bonne identification soit pour les phrases affirmatives ou interrogatives. Ceci est dû essentiellement à un bon positionnement de ces articulateurs.

Afin d'apprécier l'effet du prétraitement (nettoyage) sur le taux de bonne identification nous avons appliqué le même principe sur le corpus sans l'étape de nettoyage. La figure (6) donne la répartition des taux d'identification dans ce cas. Nous pouvons nettement apprécier l'importance de cette opération.

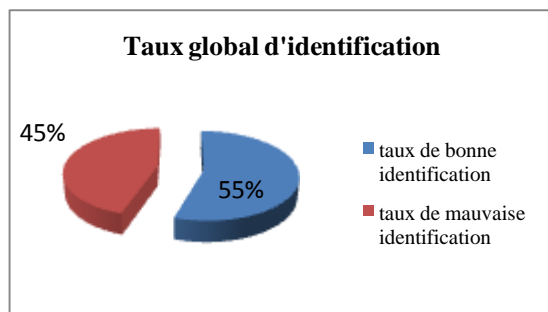


Figure (6) : Taux global d'identification sans prétraitement.

III. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus confirment bien que l'allure du contour intonatif basé sur la fréquence fondamentale F0 est largement suffisante pour l'identification de phrases de type interrogatif. La nouveauté apportée dans ce travail réside dans l'introduction d'une méthode automatique de détection qui utilise les SVM (support vector machine) monoclasses avec un balayage spécifique respectant les propriétés de la prosodie. Nous avons aussi montré qu'un prétraitement adéquat permet d'améliorer les résultats d'identification.

Puisque la méthode utilisée ne nécessite pas un modèle lexicale, nous avons entamés l'enregistrement d'autres bases de données pour les langues peu dotées comme la langue berbère.

REFERENCES

- [1] Rossi M. "L'intonation, le système du français :description et modélisation" Editions Ophrys, 1999, ISBN : 2-7080-0912-5
- [2] Hirst, D.J. &Di Cristo, A. (Eds.) "Intonation Systems. A Survey of 20 Languages" Cambridge:Cambridge University Press.erlag,
- [3] Shriberg, E., Bates, R., Taylor, P., Stolcke, A., Jurafsky, D., Ries, K., Cocarro, N., Martin, R.,Meteer, M. & Van Ess-Dykema, C. "Can Prosody Aid the Automatic Classification of Dialog Acts in Conversational Speech?" *Language and Speech* 41, pp. 439-487, 1998
- [4] Vu M.Q., Castelli E., Boucher A. & Besacier L."Classification de parole en Question et Non-Question par arbre de décision" *SFC 05, 12èmes Rencontres de la Société Francophone de Classification* - Montréal, 2005.
- [5] I.M chagnolleau and G.Durou. Time-Frequency Principal Component of speech :Application to speaker identification. In Proc,6th.European Conference on speech communication Technology,Budapest Hungray,1999.
- [6] O. Siohan, B. Ramabhadran, et B. Kingsbury, 2005. Constructing ensembles of asr systems using randomized decision trees. Dans les actes de IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Language Processing, Volume I, Philadelphia, PA, 197-200.
- [7] <http://note.sonots.com/SciSoftware/Pitch.html>
- [8] Chih-Chug Changand chif-Jen Lin LIBSUM :a Library for support Vector machines. Departement of computer.Science, National Taiwan university,2001.Software available at <http://w.w.csie.ntu.edu.tw/cjlin/libsvm>.

Elimination du bruit dans une conduite d'aération en utilisant les filtres adaptatifs

Yassine Bensafia and Samir Ladaci

Abstract—Le filtrage est une opération qui consiste soit à extraire des informations utiles contenues dans un signal, soit à éliminer le bruit qui entache un signal. Autrement dit le filtrage est une opération sélective qui s'opère sur les signaux. C'est dans cette optique qu'opèrent les filtres adaptatifs, leur principal intérêt consiste à éliminer un bruit dont les caractéristiques évoluent dans le temps.

Dans notre travail nous allons nous intéresser à l'application de deux types de filtres à savoir les filtres RLS et LMS, pour l'élimination de bruits dans une conduite d'aération en utilisant l'entrée sinusoïdale et identifier lequel des filtres donne les meilleurs résultats.

Index Terms—Traitement du signal, Filtres Adaptatifs, signaux aléatoires, Conduite d'aération.

I. INTRODUCTION

LE filtrage adaptatif représente aujourd'hui une part importante du traitement des signaux aléatoires. L'évolution des processeurs de traitement du signal a rendu leur réalisation aisée, et leur permet d'agir sur des signaux rapides, à large spectre [1,6]. Leur principal intérêt consiste à éliminer un bruit dont les caractéristiques évoluent dans le temps, ce qui n'est pas envisageable avec les structures non adaptatives. Cependant on les rencontre également dans les applications de prédiction de signal ou d'identification de processus [3,5,7,9].

Dans notre travail nous allons nous intéresser à l'application de deux types de filtres à savoir les filtres RLS et LMS, pour l'élimination de bruits dans une conduite d'aération et identifier lequel des filtres donne les meilleurs résultats.

II. PRINCIPE DU FILTRAGE ADAPTATIF

Le signal d'erreur $e(k)$ est utilisé avec l'entrée $x(k)$ pour mettre à jour les coefficients du filtre.

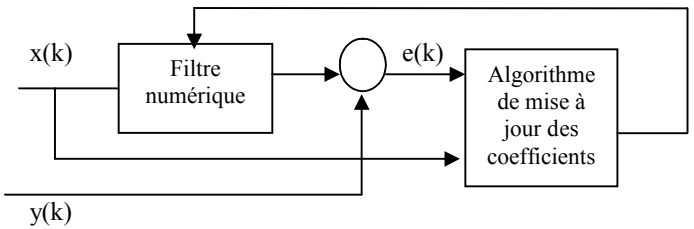


Fig 1 : Principe du Filtrage Adaptatif

Différents type de filtres adaptatifs peuvent être classes selon :

- L'algorithme utilise pour le calcul des coefficients,
- Le critère retenu pour l'optimisation,
- La structure utilise pour concevoir le filtre numérique.

Bien souvent le critère d'optimisation et l'algorithme sont liés, et les plus fréquemment rencontrés sont :

- Le critère des moindres carrés moyens(LMS) utilisant l'algorithme du gradient.
- Le critère de moindre valeur absolue utilisant l'algorithme du signe.
- Le critère des moindres carrés exacts utilisant les algorithmes récursif(RLS).

L'algorithme le plus simple à mettre en œuvre étant sans doute l'algorithme du gradient.

III. ALGORITHME DU GRADIENT, CRITERE LMS

L'algorithme du gradient se réduit aux équations suivantes [3,4,8] :

$$\begin{cases} e(k) = y(k) - h^T(k-1).x(k) \\ h(k) = h(k-1) + \delta.x(k).e(k) \\ y(k) = h(k)x^T(k) \end{cases} \quad (1)$$

Tel que :

δ : Scalaire d'adaptation

On admettra, pour constante de temps la plus faible, donc apportant la convergence la plus rapide du filtre, l'expression :

Manuscript received October 26, 2011.

Y. Bensafia est au Département de Génie Electrique, Université de Skikda, BP 26, Skikda, 21000, Algérie (e-mail : bensafia@ yahoo.fr).

S. Ladaci est au Département de Génie Electrique, Université de Skikda, BP 26, Skikda, 21000, Algérie (e-mail : samir_ladaci@ yahoo.fr).

$$\tau_{\min} = n.T_e$$

où n est le nombre de coefficients du filtre et T_e la période d'échantillonnage.

IV. ALGORITHME RLS

Le calcul du filtre RLS se fait selon l'algorithme suivant [1,4,9], qui calcule à chaque pas d'échantillonnage T_e :

$$g(k) = \frac{Cxx^{-1}(k-1)x^T(k)}{1 + x(k)Cxx^{-1}(k-1)x^T(k)}$$

$$Cxx^{-1}(k) = Cxx^{-1}(k-1) - g^T(k)x(k)Cxx^{-1}(k-1)$$

$$e(k) = y(k) - x(k)h^T(k-1)$$

$$h(k) = h(k-1) + g(k)e(k)$$

$$y(k) = h(k)x^T(k) \quad (2)$$

V. ELIMINATION DU BRUIT DANS UNE CONDUITE D'AERATION

Dans ce qui suit, l'opération de filtrage consiste à éliminer le bruit produit par un ventilateur dans une conduite d'aération. Le ventilateur génère une onde acoustique qui se propage au sein de la conduite, celle-ci pouvant d'ailleurs amplifier certaines composantes du bruit en entrant en résonance [11].

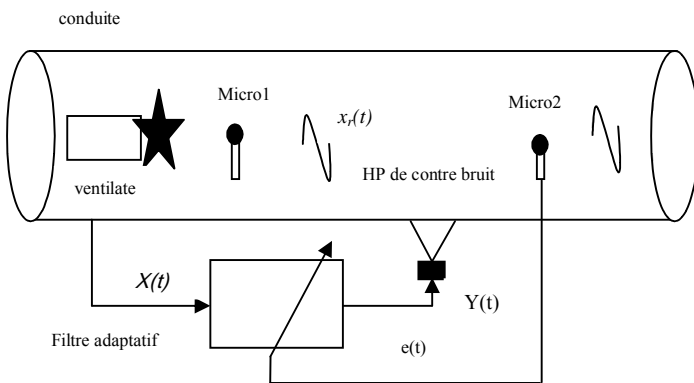


Fig 2 : Elimination du Bruit dans une Conduite d'Aération.

Le bruit de conduite est capté par le microphone 1 afin d'être appliqué à l'entrée du filtre adaptatif, signal $x(t)$. La sortie du filtre $y(t)$ génère le contre bruit visant à annuler le bruit adapter les coefficients du filtre pour faire tendre $e(t)$ vers zéro.

A. Filtre LMS

Dans ce qui suit on applique l'entrée sinusoïdale $x_r(t)$

(signal de référence), pour filtrer le signal bruité $x(t)$.

Le signal d'entrée de la conduite bruité $x(t)$ est donné par la figure suivante :

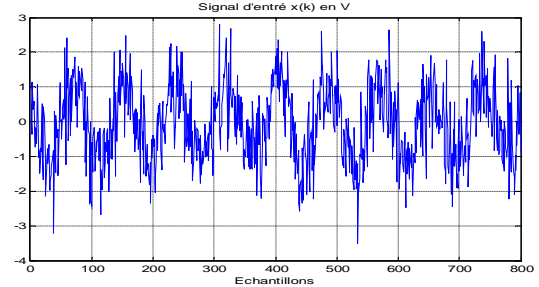


Fig 3 : le signal d'entrée de la conduite bruité $x(t)$.

Le signal de référence $x_r(t)$ est donné par la figure 4 :

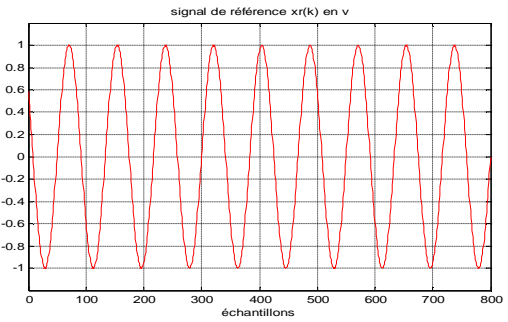


Fig 4 : Le signal de référence $y_r(t)$.

La sortie de filtre LMS $y(t)$ ainsi que l'erreur e obtenues après l'utilisation du filtre LMS sont donnés par la figure suivante :

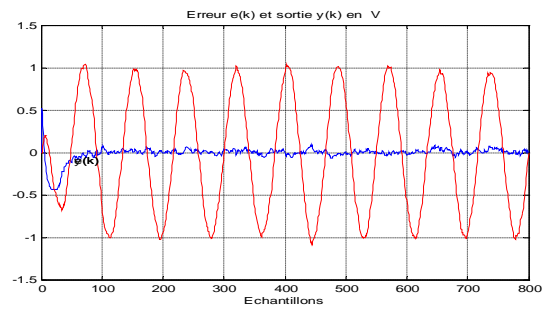


Fig 5 : La sortie de filtre LMS $y(t)$ et l'erreur e .

D'après la figure 5 on remarque que le filtre LMS nous a permis d'avoir le bon suivi de la consigne et l'élimination du bruit dans une conduite d'aération.

B. Filtre RLS

Dans ce qui suit, on applique l'entrée sinusoïdale $x_r(t)$ (signal de référence), pour filtrer le signal bruité $x(t)$. Le signal

d'entrée de la conduite bruité $x(t)$ est le même utilisé pour le filtre LMS (la figure 3).

Le signal de référence $x_r(t)$ est donné par la figure 6 :

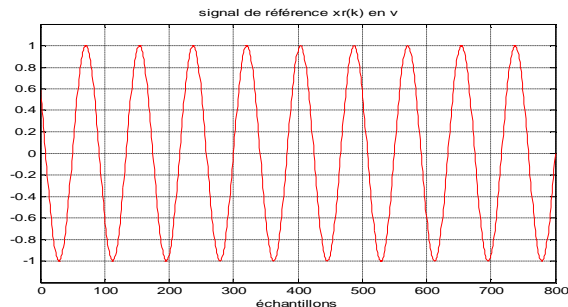


Fig 6: le signal de référence $x_r(t)$.

La sortie $y(t)$ ainsi que l'erreur e obtenues après l'utilisation du filtre RLS sont donné par la figure suivante.

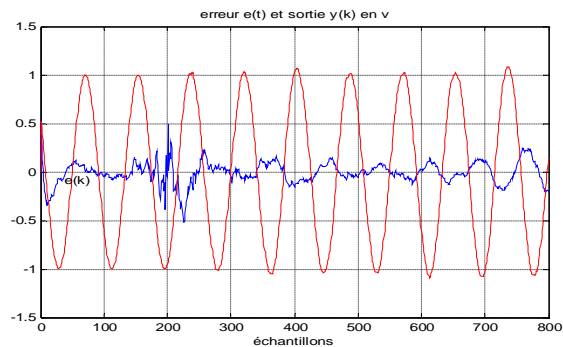


Fig 7 : La sortie du filtre RLS $y(t)$ et l'erreur e .

D'après la figure 7 on remarque que le filtre RLS nous a permis d'avoir un bon suivi de la consigne et l'élimination du bruit dans une conduite d'aération.

Et d'après l'amplitude de l'erreur e entre la sortie $y(t)$ et la référence $y_r(t)$ (figure 5 et 7), on remarque que le bruit est mieux éliminé en utilisant le filtre LMS par rapport au filtre RLS.

VI. CONCLUSION

Le travail présenté dans cet article expose une contribution à l'élimination du bruit dans une conduite d'aération en utilisant deux types de filtres adaptatifs LMS et RLS. Le principe consiste à injecter le signal bruité à l'entrée du filtre et ce dernier utilise un algorithme d'adaptation et son exécution se termine lorsque l'erreur tend vers zéro.

Les résultats de simulation ont confirmé les avantages des filtres adaptatifs (LMS et RLS) tels que le bon suivi de la consigne, l'élimination du bruit dans une conduite d'aération et ce dernier est bien éliminé en utilisant le filtre LMS par rapport au filtre RLS.

REFERENCES

- [1] Sharma, O., Janyani, V and Sancheti, S. "Recursive Least Squares Adaptive Filter a better ISI Compensator", International Journal of Electronics, Circuits and Systems, 2009.
- [2] Magno T. M. Silva, and Vitor H. Nascimento, "Improving the tracking capability of adaptive filters via convex combination", IEEE Transactions on signal processing, 2008
- [3] Gitlin and Weinstein, "On the Required Tap-Weight Precision for Digitally Implemented Adaptive Mean-Squared Equalizers", Bell System Technical Journal, Vol. 58, No. 2, 1979.
- [4] Wang, R, Nihar, J., Thomas, B. and Ahmed, "Comparing Between RLS and LMS Adaptive Equalizers for Non-stationary Wireless Channels in Mobile AD HOC Networks", Stanford University, IEEE, . 2002
- [5] Iliev, G and Kasabov, N., "Channel Equalization using Adaptive Filtering with Averaging", 5th Joint conference on Information Science (JCIS), Atlantic city, USA, 2000.
- [6] Haykin, S. "Adaptive filter theory, Third Ed., Upper Saddle River, N. J., Prentice-Hall, 1996.
- [7] Banovic, K., Esam, A and Khalid, M. "A novel Radius-Adjusted Approach for blind Adaptive Equalizer", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 13, No. 1, 2006.
- [8] Kavitha, V and Sharma, V. "Analysis of an LMS Linear Equalizer for Fading Channels in Decision Directed mode", DRDO-IISc program on mathematical engineering, ECE Dept., IISc, Bangalore, 2007.
- [9] Percival, D.B., and A.T. Walden. "Spectral Analysis for Physical Applications: Multitaper and Conventional Univariate Techniques", Cambridge University Press, 1993.
- [10] Farhang, Boroujeny, "Adaptive Filters: Theory and Applications", England, 1998.
- [11] M. Mokhtari and Marie, "Applications de Matlab et Simulink," Springer-Verlag, France 1998.

Etude de la technique OFDM-IDMA sur un canal surchargé en utilisateur

E.H.Meftah, A.Anou, et M.Bensebti

Département d'Electronique, Université SAAD DAHLEB de Blida, Algérie

Email: meftah2elhadi@yahoo.fr

Abstract—Dans cet article, on va présenter la technique de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence associée à la technique d'accès multiple par entrelacement (OFDM-IDMA) dans un contexte de surcharge en utilisateurs, c'est-à-dire lorsque le nombre d'utilisateurs supérieur à ce que permet l'utilisation de signaux orthogonaux. Dans cette contribution, on présente les résultats comparatifs avec la technique OFDM-CDMA effectués sur canal de Rayleigh non sélectif à évanouissements indépendants (Rayleigh flat fading). Les résultats de simulation obtenus montrent que la technique étudiée donne une amélioration en terme de Bit Error Rate (BER).

Keywords—OFDM-IDMA, CDMA, Channel overloading.

I. INTRODUCTION

LE but des systèmes de communications est de transmettre un flux de données, porté par un signal à haute fréquence HF, d'un point à un autre, l'environnement physique par lequel ce flux passe est appelé un canal. Le signal passé à travers le canal subit un certain nombre de déformations (les réflexions qui génèrent l'effet multi-trajet, le bruit, l'atténuation, les interférences, l'effet Doppler et les évanouissements...) qui caractérisent le canal[1].

Dans le même contexte, l'appel aux techniques de surcharge de canal semble inévitable dont l'augmentation du nombre d'utilisateurs est désormais essentiel dans les systèmes d'accès multiple. Le surcharge de canal (channel overloading) intervient lorsqu'un système reçoit un nombre d'utilisateurs supérieur à ce que permet l'utilisation de signaux orthogonaux. On suppose que tous les utilisateurs ont une modulation identique, par conséquent nécessitent la même largeur de bande de W Hz que dans le cas mono-utilisateur. Dans ce cas, le concept de surcharge de canal consiste à avoir plus de K utilisateurs sur un canal à accès multiple de largeur de bande $K \times W$ Hz [2].

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a apporté une solution qui minimise les déformations dues aux interférences entre symboles communément appelées ISI (Inter Symbole interférences), en outre, on s'intéresse à cette technique en particulier pour sa propriété d'orthogonalité qui est implémentée afin de combattre les effets de canal multi-trajets à évanouissements[3]. Par suite, l'OFDM s'adapte parfaitement aux communications mobiles, et semble incontournable pour la future quatrième génération[4], puisque l'OFDM est mono utilisateur, on doit la combiner avec une technique multi accès (xDMA) pour avoir un système multi-utilisateurs afin de concevoir des schémas permettant la surcharge de canal[5], par l'analyse de ces techniques on trouve plusieurs

techniques d'accès multiple, le FDMA (Frequency Division Multiple Access) consiste à partager la bande de fréquence aux différents utilisateurs, c'est la technique la plus ancienne qui était la seule lorsque le téléphone était purement analogique. Le TDMA (Time Division Multiple Access) consiste à diviser l'intervalle de temps, il est utilisé dans la plupart des systèmes radio-mobiles de 2^{ème} génération, bien qu'en CDMA (Code Division Multiple Access) tous les canaux utilisent le même spectre et les trames sont codées et décodées par mécanisme d'autocorrélation, ce dernier a été adopté par les systèmes cellulaires de 3^{ème} génération[6][1].

L'évolution du CDMA a donné naissance à une nouvelle technique dite l'IDMA (Interleave Division Multiple Access), dans le but de résoudre les problèmes des interférences entre utilisateurs MAI (Multiple Access Interference) et le taux de charge.

Le principal objectif de ce papier étant d'étudier les performances du système OFDM-IDMA associé à la turbo détection, en les comparant dans un premier temps à une référence représentée par le système d'accès multiple mono-porteuse, ensuite aux différents systèmes permettant l'accès multiple multi-porteuses, et appliquant les différents détecteurs aux différents environnements.

Le reste de cet article est organisé comme suit. La section suivante est consacrée aux détails du principe de la technique IDMA. La section III est destinée à détailler le modèle du système OFDM-IDMA, La section qui suit, consiste à exposer les résultats des simulations ainsi obtenus, et à évaluer les performances des différents systèmes étudiés en analysant les résultats obtenus par simulation. On termine par une conclusion en mettant en évidence les résultats obtenus ainsi les perspectives futures envisageables.

II. MODELE DU SYSTEME IDMA

En 2002, Li Ping et al.[7]. Ont proposé une technique innovante d'accès multiple baptisée IDMA. La principale caractéristique de cette technique est l'utilisation d'un seul code d'étalement pour les différents utilisateurs, ces derniers sont alors séparés uniquement à l'aide des entrelaceurs spécifiques à chacun d'entre eux [8][9], La structure du système IDMA est donnée par la figure 1

A. Structure de l'émetteur

On considère un système IDMA synchrone pour K utilisateurs émettant la même puissance, pour une raison de simplifier

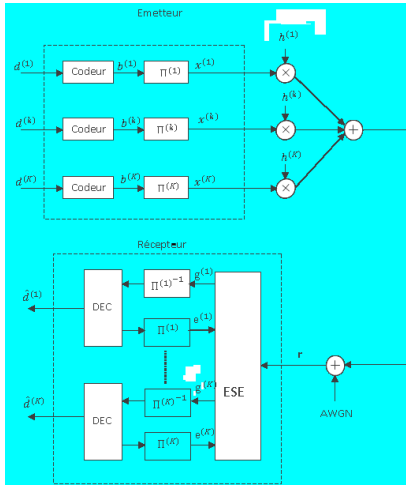
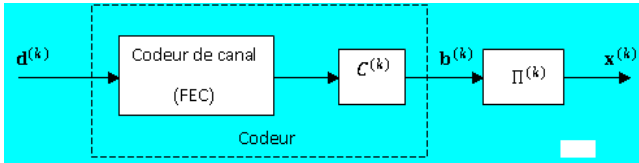
Fig. 1. Structure du système IDMA pour K utilisateurs

Fig. 2. Structure de l'émetteur IDMA pour un utilisateur quelconque

l'étude théorique, en se mettant dans le cas d'un mono-trajet utilisé est un canal à évanouissement de Rayleigh avec une modulation BPSK.

Le système IDMA utilise un code constitué d'un code correcteur d'erreur FEC ou d'un code d'étalement ou d'une combinaison des deux[10]. La figure 2 montre la structure de l'émetteur IDMA pour un utilisateur k quelconque.

L'information $d^{(k)}$ provenant de l'utilisateur k est codée en une séquence de chips $b^{(k)}$. Ensuite, un entrelaceur aléatoire spécifique à chaque utilisateur permet de générer, à partir des chips codés, une séquence de entrelacés $x^{(k)} = \{x_j^{(k)}; j = 1, \dots, J\}$, où J représente la taille de la séquence des chips.

Le signal reçu correspondant à K utilisateurs est donné par:

$$r_j = \sum_{k=1}^K h^{(k)} x_j^{(k)} + w_j \quad \dots j = 1, \dots, J \quad (1)$$

Avec $x_j^{(k)}$ est le $j^{ième}$ chip transmis par le $k^{ième}$ utilisateur, $h^{(k)}$ représente un effcient d'atténuation du canal pour le $k^{ième}$ utilisateur, les w_j sont les échantillons de bruit blanc additif gaussien, de moyenne nulle et de variance σ^2 [7][10], on note que les codes utilisés, dans un système IDMA sont donc des codes à répétition. Le $j^{ième}$ chip envoyé par le $k^{ième}$ utilisateur peut donc s'écrire:

$$x_j^{(k)} = x_{ms}^{(k)} = d_m^{(k)} c_s^{(k)} \quad (2)$$

Où $c^{(k)} = \{c_s^{(k)}; s = 1, \dots, S\}$

B. Structure du récepteur

Etant donné que l'information émise est sous forme de chips, le récepteur utilise une stratégie de détection chip par chip CBC (Chip-by-Chip). On note $g^{(k)} = \{g_j^{(k)}\}$ le logarithme du rapport de vraisemblance ou le LLR_{Ext} (Logarithm Likelihood Ratio) de $x_j^{(k)}$ fournit par le détecteur de chip gaussien nommé ESE (Elementary Signal Estimator). Durant le processus itératif de la turbo détection, la version désentrelacée de cette information extrinsèque est considérée comme information *a priori* pour les décodeurs DEC de type APP (A Posteriori Probability), ces derniers vont à leur part de générer un LLR_{Ext} , à partir de $g^{(k)}$ noté $e^{(k)} = \{e_j^{(k)}\}$ en se basant sur la contrainte C du code [7][10]. Ce LLR constitue Après un certain nombre d'itérations les décodeurs prennent des décisions dures sur les bits émis notés $\hat{d}^{(k)}$, enfin le récepteur permet d'estimer les bits envoyés à partir des chips reçus $r = \{r_j\}$, connaissant la contrainte C du code et les coefficients $\{h^{(k)}\}$, comme le montre la figure 1.

1) *Fonction du détecteur ESE*: l'information de retour fournie par le décodeur APP est considérée comme LLR *a priori* au niveau du détecteur ESE. A partir de l'équation (1) on peut écrire [7]:

$$r_j = h^{(k)} x_j^{(k)} + \xi_j^{(k)} \quad (3)$$

où

$$\xi_j^{(k)} = r_j - h^{(k)} x_j^{(k)} = \sum_{\substack{p \neq k \\ p=1}}^K h^{(p)} x_j^{(p)} + w_j \quad (4)$$

$\xi_j^{(k)}$ correspond au terme d'interférences plus de bruit, en appliquant le théorème de la limite centrale, $\xi_j^{(k)}$ peut être approché à une variable aléatoire gaussienne. L'algorithme de détection chip par chip est résumé comme suit [10]:

a) *Initialisation*: la première itération aucun LLR_{Ext} n'est disponible à la sortie du décodeur APP, le détecteur ESE ne dispose ainsi d'aucune information *a priori*. Tous les $e_j^{(k)}$ sont donc initialisés à zéro : $e_j^{(k)} = 0$, $\forall k, j$.

b) *Processus itératif*:

- Première étape : estimation des interférences $\forall k, j$.

$$\mu_j^{(k)} = \tanh \left(\frac{e_j^{(k)}}{2} \right) \quad (5)$$

$$\nu_j^{(k)} = 1 - \left(\mu_j^{(k)} \right)^2 \quad (6)$$

$$E \left(\xi_j^{(k)} \right) = E(r_j) - h^{(k)} \mu_j^{(k)} \quad (7)$$

$$Var \left(\xi_j^{(k)} \right) = Var(r_j) - \left(h^{(k)} \right)^2 \nu_j^{(k)} \quad (8)$$

- Deuxième étape : annulation d'interférences et génération du LLR, $\forall k, j$.

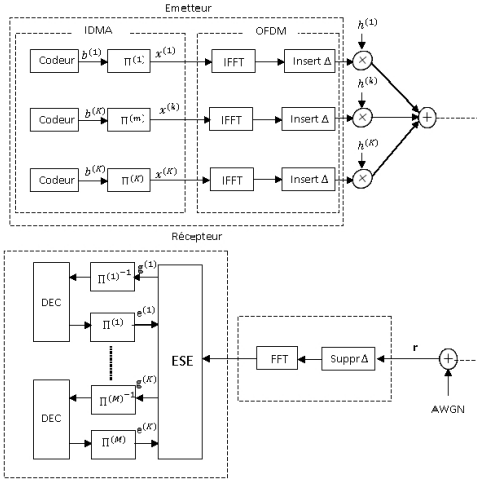


Fig. 3. Structure de l'émetteur/récepteur du système OFDM-IDMA

$$g_j^{(k)} = 2h^{(k)} \times \frac{r_j - E(\xi_j^{(k)})}{Var(\xi_j^{(k)})} \quad (9)$$

Le LLR calculé par la dernière équation est fourni au décodeur pour calculer le LLR extrinsèque $e_j^{(k)}$. Une fois le $e_j^{(k)}$ trouvé, les calculs de l'équation (5) à l'équation (9) sont réitérés.

2) *Fonction du décodeur APP*: Dans le cas d'un système non codé, l'opération de décodage se limite à un simple désétalement. Dans ce cas, les $LLR \{L'^{(k)}\}$ obtenus par désétalement des $\{g_j^{(k)}\}$ sont considérés comme des LLR a posteriori du décodeur. Les LLR extrinsèques sont donnés par l'équation suivante :

$$e_j^{(k)} = L'^{(k)} c_s^{(k)} - g_j^{(k)} \quad (10)$$

Les $\{e_j^{(k)}\}$ sont ensuite entrelacés avant d'être traités par le détecteur ESE.

III. PRINCIPE DE L'ÉMETTEUR/RÉCEPTEUR DU SYSTÈME OFDM-IDMA

la figure 3 montre la structure de l'émetteur/récepteur avec k utilisateurs simultanés[11], où $\pi^{(k)}$ est l'entrelacement de l'utilisateur k . Soit $d^{(k)}$ le flux de données de l'utilisateur k , ce flux est codé par un code correcteur d'erreur, et/ou un code d'étalement générant du chip $b^{(k)}$, puis ce dernier permuté par un entrelaceur k spécifique à l'utilisateur, après la modulation, la séquence de symboles $x^{(k)}$ est produite, ensuite ces symboles sont modulés sur différentes porteuses par IFFT, afin émettre simultanément N_c éléments d'information sur les N_c sous-porteuses différentes, après l'insertion de l'intervalle de garde pour éviter que le signal reçu ne contienne des contributions de plusieurs symboles OFDM consécutifs [12][13].

Au niveau de réception, la démodulation OFDM est effectuée avant la détection multi-utilisateurs comme le montre la figure 3. En supposant que la durée de préfixe cyclique Δ

est supérieure que le retard maximal le signal reçu après la démodulation OFDM peut être exprimé comme suit :

$$r_j = \sum_{k=1}^K H^{(k)} x_j^{(k)} + W_j \quad \dots j = 1, \dots, J \quad (11)$$

$$r_j = H^{(k)} x_j^{(k)} + \xi_j^{(k)} \quad (12)$$

où

$$\xi_j^{(k)} = r_j - H^{(k)} x_j^{(k)} = \sum_{p \neq k}^K H^{(p)} x_j^{(p)} + W_j \quad (13)$$

Ou les $\{H^{(k)} = H_{Re}^{(k)} + iH_{Im}^{(k)}\}$ correspondent aux composantes de la FFT de la réponse du canal. W_j est la FFT de w_j . A partir du théorème de la limite centrale, $\xi_j^{(k)}$ peut être approché à une variable aléatoire gaussienne.

L'information fournie au détecteur ESE est alors de même nature que celle du système multi-utilisateurs IDMA sur canal mono-trajet ; Ainsi, afin de récupérer les informations venant de chaque utilisateur, le détecteur ESE estime uniquement les interférences MAI pour permettre leur suppression du signal démodulé [11].

L'expression du LLR $\{g_j^{(k)} = g_{Re,j}^{(k)} + i g_{Im,j}^{(k)}\}$, correspondant au récepteur du système OFDM-IDMA pour un traitement série et une modulation QPSK est donnée comme suit :

$$g_j^{(k)} = 2H_{Re}^{(k)} \times \frac{r_{Re,j} - E(\xi_{Re,j}^{(k)})}{Var(\xi_{Re,j}^{(k)})} + i 2H_{Im}^{(k)} \times \frac{r_{Im,j} - E(\xi_{Im,j}^{(k)})}{Var(\xi_{Im,j}^{(k)})} \quad (14)$$

IV. SIMULATIONS ET RÉSULTATS

Dans cette section on va montrer les résultats obtenus par simulations de différences techniques de surcharge de canal pour les différents types détecteurs, les performances d'un système de transmission sont surtout évaluées par son aptitude à résister aux perturbations, c'est à dire à assurer un BER aussi faible que possible, et à acheminer le plus d'information utile, ce qui revient à maximiser sa capacité, ou son efficacité spectrale[2].

Dans la simulation suivante, on présente les performances du système l'IDMA sur un canal à bruit blanc gaussien additif (AWGN, Additif White. Gaussian Noise) AWGN en l'absence de codage, et comparées aux autres techniques de surcharge vues précédemment. En effet, les performances du système IDMA en fonction du nombre d'utilisateurs sont discutées, avec un facteur d'étalement fixe $S = 32$, et un nombre de blocs égale à 100, plus un nombre itération $it = 10$.

D'après la figure 6. on remarque que le système mono utilisateurs est le plus performant, on peut voir aussi que pour de petites valeurs du rapport d'énergie de bit à bruit

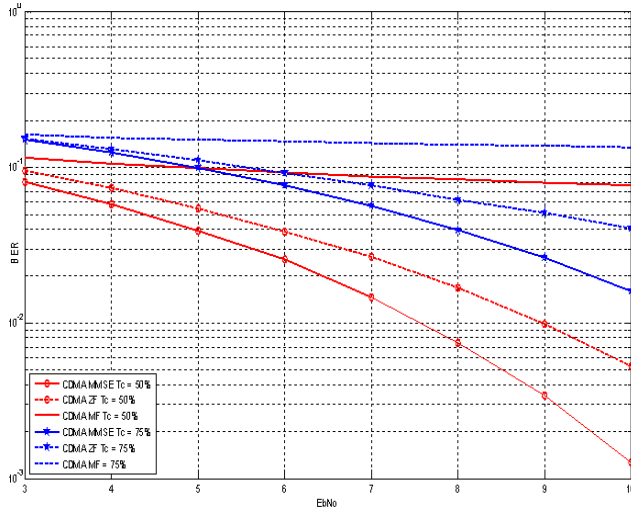


Fig. 4. Les performances de la technique CDMA avec différents nombre de utilisateurs et de détecteurs, $[N_{(info)} = 256bits, AWGN]$.

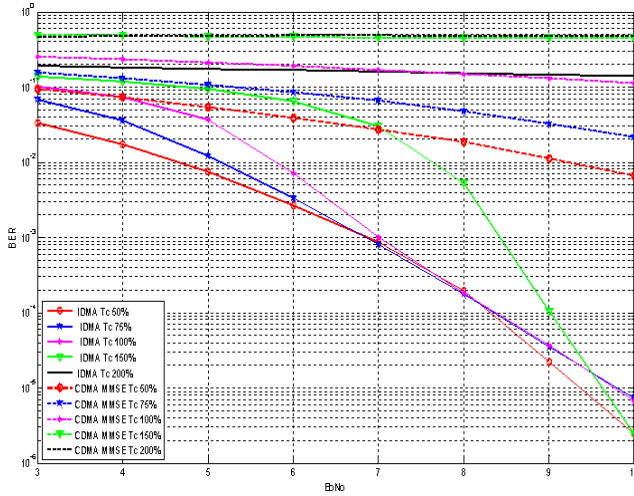


Fig. 5. Comparaison entre l'IDMA et CDMA en fonction de τ_c , $[N_{(info)} = 256bits, AWGN]$.

$\frac{Eb}{N_0}$ (inférieurs à 7dB) le BER augmente avec l'augmentation de taux de charge ($\tau_c = \frac{K}{S}$) c'est-à-dire lorsque le nombre d'utilisateurs augmente on obtient plus de BER [10], mais à partir de $\frac{Eb}{N_0} = 7dB$, les courbes des performances convergent vers celles du système mono-utilisateur ; pour $k = 16; 24$ correspond a un taux de charge $\tau_c = 50\%, 75\%$, respectivement et pour $k = 32$ utilisateurs ($k = S$) qui correspondent a un taux de charge $\tau_c = 100\%$, ces performance atteint a partir de $\frac{Eb}{N_0}$ presque égale à 7dB, et même pour $k = 48$ correspond a un taux de charge $\tau_c = 150\%$ malgré on a dépassé le 100% de taux de charge mais dans ce cas la courbe atteint à partir de 9.5dB; Si l'on dépasse certaine limite sur le nombre des utilisateurs (vers le double de la taille d'étalement) on aura un déclenchement de la convergence du notre système, on peut aviser cela dans la courbe pour $k = 64$ correspond a un taux de charge $\tau_c = 200\%$, ce amorçage est causé par le problème des interférences MAI, qui devient importantes avec

l'augmentation de nombre des utilisateurs et alors le taux de charge.

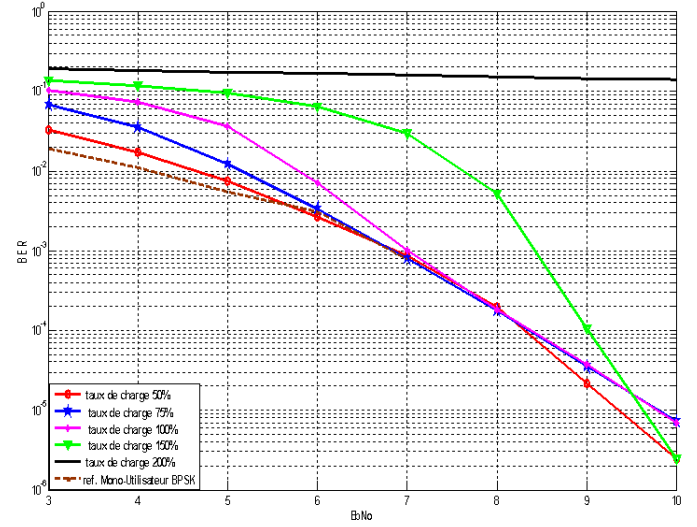


Fig. 6. Les performances de la technique IDMA en fonction de τ_c , $[N_{(info)} = 256bits, AWGN]$.

En utilisant les mêmes conditions de simulation de cas précédent, on va simuler la technique CDMA en fonction de taux de charge selon les différents détecteurs tels que : minimum de l'erreur quadratique moyenne (MMSE, Minimum Mean Square Error), décorrélateur (ZF, Zéro Forcing), conventionnel (MF, Matched Filter). Ensuite et on va comparer ses résultats avec celles de l'IDMA, la figure 4 montre bien que le système CDMA avec le détecteur MMSE est le plus performant, pour les différentes valeurs de taux de charge surtout pour grandes valeurs de rapport signal sur bruit, car ce détecteur prends on compte le bruit dans ses calculs [14].

A partir de la figure 5, les courbes de BER de $\tau_c \leq 100\%$ nous permettent d'explorer que les courbes de la technique IDMA sont plus performant que de CDMA ; A titre d'exemple, l'écart entre les courbes de performances des deux systèmes à $\tau_c = 50\%$ est de 2.5 dB à un BER de 10^{-2} . cependant, il est intéressant d'observer comment le système IDMA combat les interférences MAI ou l'IDMA est basée sur les entrelaceurs pour distinguer les utilisateurs, avec la taille de ces entrelaceurs est égale à $N_{(info)} \times S$, l'augmentation de la taille d'un ces deux derniers permet alors d'obtenir une profondeur de permutation a priori importante, d'où une convergence plus rapide du système; d'autre part, si le taux de charge dépassé 100% les courbes de CDMA ne convergent pas, par contre les performances du système IDMA convergent même quand le taux de charge s'approche de 200% [10].

Pour objectif de comparer, d'une part, la capacité de la technique de surcharge multi-porteuse OFDM-IDMA avec IDMA à combattre les interférences et d'autre part, avec d'autre technique multi-porteuse de surcharge la technique OFDM-CDMA [15][16], on garde même condition du simulation que les précédentes, en changeant le canal de transmission comme canal quasi-statique de Rayleigh [9], et 256 sous-porteuses.

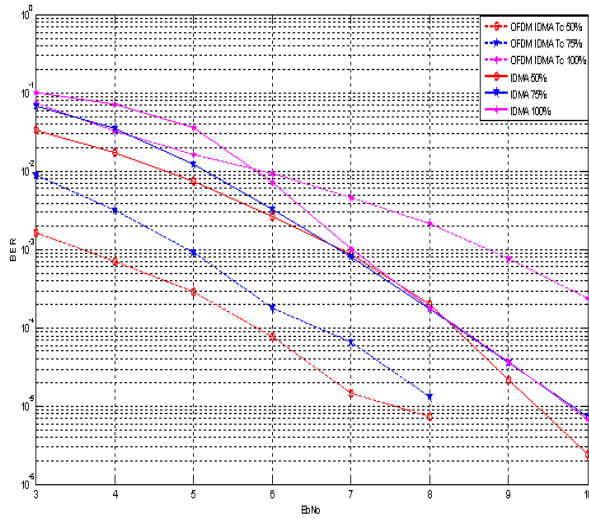


Fig. 7. Comparaison entre OFDM-IDMA et IDMA en fonction de τ_c , $[N_{(info)} = 256bits, Rayleigh]$.

La figure 7 montre que les performances du système OFDM-IDMA est plus appropriée que l'IDMA tout seul, par exemple si on prend un taux de charge égale à 75%, on va gagner avec le système OFDM-IDMA un gain presque de 2dB pour un $BER = 10^{-4}$, ce qui confirme que la combinaison entre les deux techniques (OFDM et IDMA) est plus performante grâce à l'utilisation de l'OFDM qui est une bonne solution pour les problèmes d'interférences ISI.

La comparaison entre deux compositions telles que l'OFDM avec la CDMA en première approche et avec l'IDMA dans la seconde est illustrée dans la figure 8. D'après les résultats obtenus, le système OFDM-IDMA est le plus performant pour toutes les différentes valeurs de taux de charge et si on prend une valeur $\tau_c = 75\%$ on remarque qu'on gagne un gain très important, ce qui confirme l'avantage de cette combinaison qui est une association entre une technique élimine les interférences ISI et une technique élimine le problème de MAI [17].

V. CONCLUSION

Dans cet article les performances fournies par différentes méthodes de détection multi-utilisateurs en l'absence de codage, ont été examinées et comparées sur canal AWGN ou éventuellement sur canal de Rayleigh. Parmi les techniques explorées dans un contexte de surcharge de canal, certaines, comme les techniques IDMA et CDMA, avaient déjà fait l'objet de simulation, les résultats obtenus montrent que les performances du système IDMA convergent vers celles du système mono-utilisateur à des taux de charges élevés seulement en utilisant un code répétitif et des entrelaceurs aléatoires spécifiques à chaque utilisateur. Par contre, dans le cas de CDMA, lorsque le nombre d'utilisateurs augmente, les interférences dues à l'accès multiple MAI (inter-corrélation entre les différents codes d'étalement) augmentent aussi et les performances de ces détecteurs se dégradent rapidement.

En présence de canaux à évanouissement, il est nécessaire de mettre en œuvre des deux techniques OFDM-

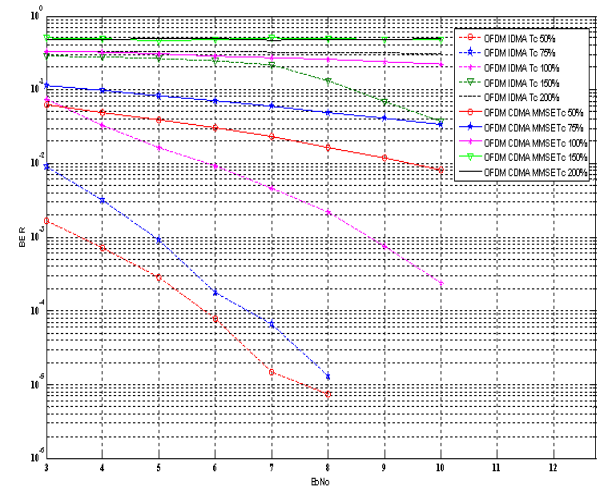


Fig. 8. Comparaison entre OFDM-IDMA et OFDM-CDMA en fonction de τ_c , $[N_{(info)} = 256bits, Rayleigh]$.

IDMA et OFDM-CDMA permettant de combattre les effets de ce type de canal, ainsi de profiter de la diversité fréquentielle [10]. Les résultats obtenus ont permis de motiver l'intérêt de l'association IDMA-OFDM, son récepteur est capable de combattre efficacement les interférences MAI et ISI, en les traitant indépendamment cela par extrait des avantages des deux techniques. L'opération de modulation sur porteuse orthogonale nous permet de diminuer les interférences ISI. Par ailleurs le détecteur ESE effectue l'annulation des interférences MAI. Comme perspectives à cet article, on peut envisager d'associer les techniques de surcharge de canal à un code convolutif afin d'ajouter une amélioration supplémentaire à la performance globale.

REFERENCES

- [1] J. Proakis, *Digital communications*, ser. McGraw-Hill series in electrical and computer engineering. McGraw-Hill, 1989.
- [2] F. Nadal, A. Berthet, and H. Sari, "Further results on channel overloading using combined tdma/ocdma with iterative interference cancellation," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on*, vol. 4, sept. 2004, pp. 2463 – 2467 Vol.4.
- [3] E. Meftah, A. Anou, and M. Bensebti, "Noisy ica-based detection method for compound system mimo-ofdm in cdma context," in *I/V Communications and Mobile Network (ISVC), 2010 5th International Symposium on*, 30 2010-oct. 2 2010, pp. 1 – 4.
- [4] G. Boudreau, J. Panicker, N. Guo, R. Chang, N. Wang, and S. Vrzic, "Interference coordination and cancellation for 4g networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 47, no. 4, pp. 74 – 81, april 2009.
- [5] J.-D. Chen, F.-B. Ueng, J.-C. Chang, and H. Su, "Performance analyses of ofdm-cdma receivers in multipath fading channels," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 58, no. 9, pp. 4805 – 4818, nov. 2009.
- [6] P. Jung and P. W. Baier, "Cdma and spread spectrum techniques versus fdma and tdma in cellular mobile radio applications," in *Microwave Conference, 1991. 21st European*, vol. 1, sept. 1991, pp. 404 – 409.
- [7] L. Ping, K. Wu, L. Liu, and W. Leung, "A simple, unified approach to nearly optimal multiuser detection and space-time coding," in *Information Theory Workshop, 2002. Proceedings of the 2002 IEEE*, oct. 2002, pp. 53 – 56.
- [8] L. Ping, L. Liu, K. Wu, and L. WK, "On interleaved-diversity multiple-access," in *Communications, 2004 IEEE International Conference on*, vol. 5, june 2004, pp. 2869 – 2873 Vol.5.

- [9] L. Ping, L. Liu, K. Wu, and W. Leung, "Interleave division multiple-access," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 5, no. 4, pp. 938 – 947, april 2006.
- [10] I. Mahafeno, C. Langlais, and C. Jegou, "Cth12-4: Reduced complexity iterative multi-user detector for idma (interleave-division multiple access) system," in *Global Telecommunications Conference, 2006. GLOBECOM '06. IEEE*, 27 2006-dec. 1 2006, pp. 1 –5.
- [11] I. M. Mahafeno, C. Langlais, and C. Jegou, "Ofdm-idma versus idma with isi cancellation for quasistatic rayleigh fading multipath channels," *Turbo Codes Related Topics; 6th International ITG-Conference on Source and Channel Coding (TURBOCODING), 2006 4th International Symposium on*, pp. 1 –6, april 2006.
- [12] J. Tong, Q. Guo, and L. Ping, "Performance analysis of ofdm-idma systems with peak-power limitation," in *Spread Spectrum Techniques and Applications, 2008. ISSSTA '08. IEEE 10th International Symposium on*, aug. 2008, pp. 555 –559.
- [13] L. Ping, Q. Guo, and J. Tong, "The ofdm-idma approach to wireless communication systems," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 14, no. 3, pp. 18 –24, june 2007.
- [14] S. Verdú, *Multiuser detection*. Cambridge University Press, 1998.
- [15] L. Fang and R. J. P. de Figueiredo, "Performance of ofdm-cdma system with papr reduction in nonlinear rayleigh fading channel," in *Proceedings of the 2006 IEEE conference on Military communications*, ser. MILCOM'06, 2006, pp. 3010–3015.
- [16] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [17] C. Novak, G. Matz, and F. Hlawatsch, "Factor graph based design of an ofdm-idma receiver performing joint data detection, channel estimation, and channel length selection," in *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, ser. ICASSP '09, 2009, pp. 2561–2564.

Sidelobe Mitigation Using NLFM Waveforms For SAR Imaging

S.BOUKEFFA, A.BOUGUELALA

Abstract-- the non-linear FM signal combine the attractive properties of high signal-to- noise ratio, relatively low sidelobes without any weighting, and enhanced range resolution. By using such promising waveform as SAR transmitted signal, high quality of imaging and high ECCM performance can be achieved.

In this paper, a simulation of SAR imaging using Nonlinear Frequency Modulated (NLFM) waveform is performed. The main aim of the presented simulation is to assess the performance of the proposed NLFM waveform SAR imaging in mitigating the effect of sidelobes interference.

The simulation results obtained in this paper indicate that NLFM waveforms present better SAR imaging characteristics when compared to LFM.

Index Terms—Nonlinear Frequency Modulation, Pulse Compression, SAR imaging, Sidelobe reduction.

I. INTRODUCTION

Pulse compression is a signal processing technique used, in many Radar systems, to increase the range resolution of the system without having to increase the peak transmitted power [1], [5]. The compression is achieved by modulating the phase or the frequency of the transmitted pulse during a longer pulse width.

The most common form of pulse compression waveform is linear FM chirp [6]. The matched-filtered response of this waveform has a sidelobe level about -13dB, which can be improved by applying many methods like mismatched filters, windowing, adaptive filtering [20], and optimization techniques [7]. These techniques can reduce sidelobes level but at the cost of reduced SNR and wider mainlobe, which make them not very useful in SAR imaging systems. Nonlinear Frequency Modulation (NLFM) is another pulse compression technique which can achieve fine resolution, good SNR, low cost, and good interference mitigation. It has a spectrum weighting function inherently in their modulation function, which offers the advantage that a pure matched filter gives low sidelobes. Thus, the loss in signal-to-noise ratio associated with weighting or with the usual mismatching techniques, is eliminated [1],[2],[4],[15]. Also, NLFM has better detection rate characteristics and is more accurate in range determination than LFM, DA, SVA, or LEM [14].

NLFM has not been widely employed in radar systems primarily due to the difficulties to implement such waveforms. With the recent progress reached in developing high-speed Digital-to-Analog Converters (DACs) and high-speed large-scale Field Programmable, Gate Arrays (FPGAs), we can easily generate high-performance and precision digital NLFM signals. For example, the latest FPGA technology Virtex®-7 HT devices can deliver bandwidth with 16 transceivers at 28Gbps [21].

In this paper, NLFM-SAR imaging is simulated and the quality of imaging is investigated in the presence of FM

jamming signal. The imaging performance is assessed by measuring The Euclidean distance, Correlation coefficient, and Equivalent number of looks of the result images, and compared with that of LFM-SAR.

II. NLFM-SAR SIMULATION

A. Selection of NLFM Waveform design

The optimum Radar waveform is one of the most important key system features which need to be carefully selected in order to insure accurate Radar measurements in the presence of different interference sources and to reach the required resolution performance. In the literature there are many research works which have been done to study the radar waveforms, and attempt to design the optimum form [8]-[13]. In our study, we used the waveform presented in [19] for the reason that it presents good performances such as good sidelobe reduction, comparatively good Doppler tolerance, and easy to implement.

B. Simulated Scenario

The simulated scenario is formed by an airborne SAR platform imaging a fixed manmade object presented by a T-72 tank, which is jammed by FM jamming noise signals. The center of the target is at 20 kilometers to the SAR system.

We adopted a simple way to implement a target model by represent it as a collection of point scatterers [22]. Each scatterer will be characterized by a distance from radar and by the strength of reflection. The curvature of the earth is considered negligible and the orbital velocity is approximately equal to the platform velocity. We label this imaging plane using an x-y Cartesian coordinate system. We assume far-zone backscatter and, therefore, obtain plane wave incidence on the target.

A stripmap mode SAR imaging mode is simulated. As the platform traverses the azimuth, the radar beam sweeps along the ground. Targets in the beam footprint reflect back radar signals which are then received by the antenna. The obtained radar reflections are processed with the RDA presented in [4] with the optimization proposed in [22].

A. Figures of merit in synthetic aperture images

In this simulation, we quantify image quality via the following figures of merit: The Euclidean distance [18], Correlation coefficient, and Equivalent number of looks [4].

B. Selection of SAR imaging Algorithm

The generation of a focused SAR image is a computational intensive task. A number of procedures have been developed to effectively process SAR data from its raw signals into well focused images. For our simulation we used the Range-Doppler

C. Selection of SAR imaging Algorithm

The generation of a focused SAR image is a computational intensive task. A number of procedures have been developed to effectively process SAR data from its raw signals into well focused images. For our simulation we used the Range-Doppler algorithm [17]. We adopted this algorithm, to perform the simulation of SAR imaging with NLFM waveform, for the reason that it is the most straightforward technique to achieve image formation, and also presents a good anti-jamming capability [16]. Curlander and McDonough [1] detail SAR processing using a range-Doppler algorithm.

D. Simulation process

The general simulation process diagram is illustrated in Figure 1, according to the scenario described in section 2.2. The simulation parameters are given in table 1.

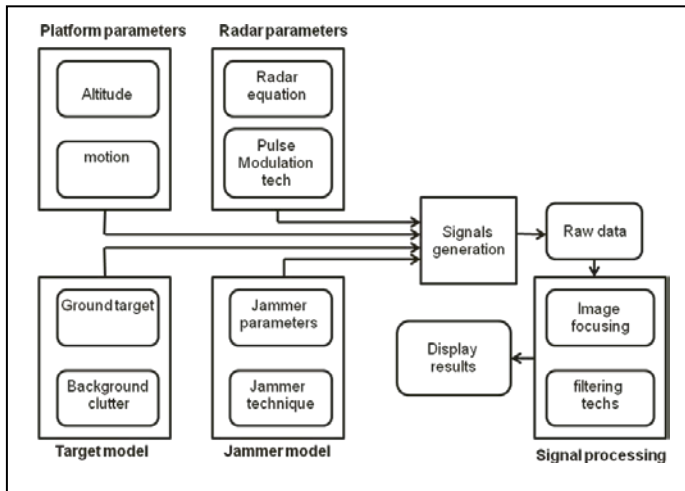


Figure 1 Simulation process

E. Simulation parameters

Table 1. Simulation Parameters

Platform parameters	Platform type	Airborne
	Height(km)	20
	Velocity(m/s)	200
	Imaging mode	Stripmap
Radar parameters	Carrier frequency(Ghz)	4.5
	Signal bandwidth(Mhz)	100
	Incident angle(deg)	23
	FM type	NLFM
	Pulse length(us)	2.5
	Resolution $R_g \times Az$ (mxm)	1.25x1
	PRF(H)	300
Target model	Target type	T-72 Tank
	mobility	fixed
	Background clutter	no
Jammer	modulation	FM noise

parameters	Bandwidth(Mhz)	500
SAR	Imaging Algorithm	RDA
Signal processing	Sampling frequency(Mhz)	200

III. SIMULATION RESULTS

To illustrate the performance of NLFM-SAR, a comparison with LFM-SAR is performed and the results are depicted in figure 2.

A. Generating SAR image with NLFM

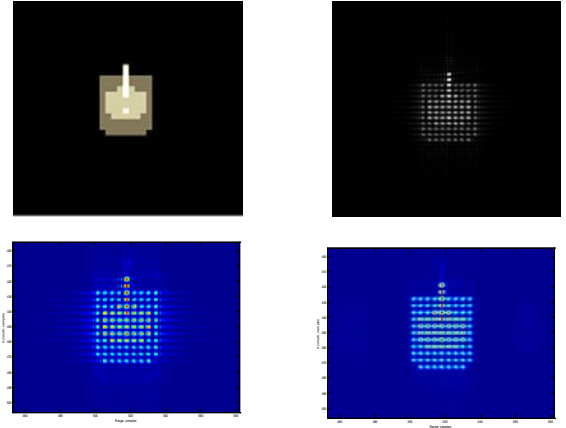


Figure 2. A simulated image of T-72 Tank with SAR: (a) estimated reflectivity image ;(b) gray level image with LFM ; (c) color map image with LFM; (d) Color map image with NLFM

Comparing the two images in figure 2.(c) and figure 2.(d), we can say that NLFM bring more advantage in sidelobe reduction and range resolution..

B. Simulating of FM jammer Effect

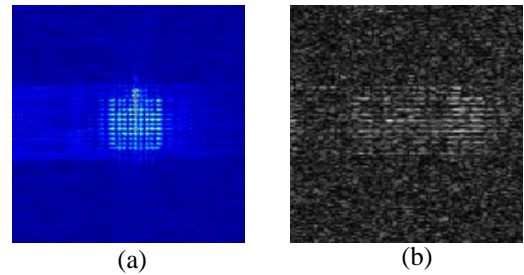


Figure 3. FM jammer effect on SAR image:
(a) low JSR;(b) higher JSR

According to the simulation results, the noise jamming manifests as speckle noise in the image, the size of noise speckle is the order of range and azimuth resolution .The effect is just like the thermal noise. And the FM noise jammer appears in the image like an enlarged speckle noise in the range direction, so the speckle size of the image is larger than that caused by thermal noise and clutter in the range. The speckle size in azimuth is the same as that of the thermal noise or clutter.

C. Evaluating NLFM imaging in the presence of Noise Jammer

Basing on the three indexes presented in section 2.3, we evaluated the performance of NLFM SAR imaging in the

presence of FM jammer. The difference between the jamming image and the image without jamming, for the two cases LFM and NLFM, are illustrated in Figure 4.

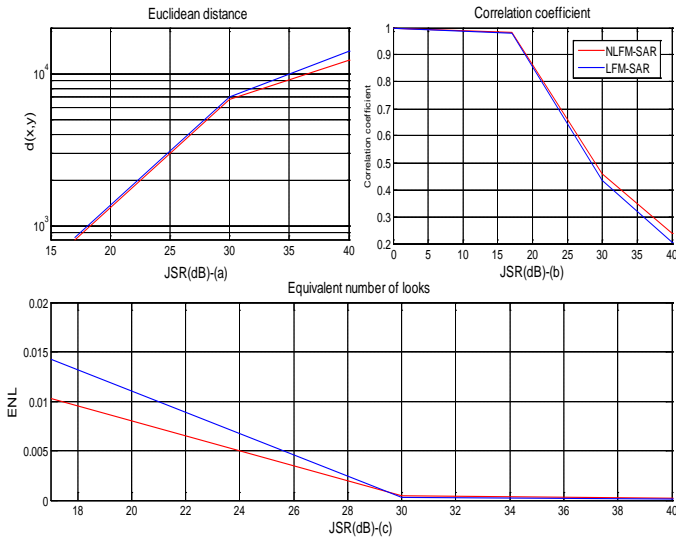


Figure 4. Evaluating NLFM imaging in the presence of FM jammer ;(a) Euclidian Distance;(b) CC;(c) ENL.

In figure 4(a), the Euclidean distance reflects the spatial difference between the image pixels. The bigger $d(x, y)$ is the worse the image quality is. In figure 4(b), correlation coefficient reflects the statistical characteristics of the images before and after jamming. The smaller the coefficient is, the worse the image quality is. And in figure 4(c), the bigger ENL is, the smaller the contrast is, and then the worse the image quality is [4]. As a conclusion, we can say that for the three indexes, NLFM has better anti-jamming performance than LFM.

The simulation results show that using NLFM waveform can enhance system performance, the results of this enhancement is that NLFM can achieve very low time sidelobes.

IV. CONCLUSION

The results obtained in this paper indicate that Nonlinear FM (NLFM) waveforms present attractive properties such as high signal-to-noise ratio, relatively low sidelobes without any weighting, and enhanced range resolution. By using such promising waveform as SAR transmitted signal, high quality of imaging and better ECCM performance can be achieved.

In this paper, the selected NLFM waveform class is one among many others, and the criterion of choice taken in our simulation is primary for simplicity of simulation, due to the long time necessary to generate a focused SAR image. However, the promising results obtained encourage us to study the different class of NLFM and select the most suitable for High resolution, low sidelobe SAR imaging system.

The main disadvantage of NLFM is the higher sensitivity of pulse compression of this signal compared to the linear FM in large frequency shifts. To use this type frequency modulation, it is necessary to estimate an approximate frequency stability

and restricted range of Doppler shifts permitted for each waveform type in order to obtain a matched filter signal with low range sidelobes and tolerable Doppler performance.

REFERENCES

- [1] M.I. Skolnik, *Radar Handbook 3rd ed*, McGraw-Hill, New York, 2008.
- [2] E. Cook, and Bernfeld, M., *Radar signals – an introduction to theory and applications*, Artech House, Norwood MA, 1993.
- [3] E. C. Farnett and G.H. Stevens, *Pulse Compression Radar*, in *Radar Handbook*, 2nd ed., Merrill Skolnik, Ed. Boston: McGraw-Hill, 1990, pp. 10.1-10.39.
- [4] M. Soumekh, *Synthetic Aperture Processing with matlab Algorithms*, WILEY, 1999.
- [5] E. Fowle, *The design of FM pulse compression signals*, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 10, Issue 1, pp. 61–67, Jan 1964.
- [6] J.R. Klauder, A.C. Pric, S. Darlington, and W.J. Albersheim, *The theory and design of chirp radars*, Bell Syst. Technol. J., XXXIX, (4), pp. 745-809.
- [7] M.H. Ackroyd, and F. Ghani, *Optimum mismatched filters for sidelobe suppression*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-9 (Mar. 1973), 214-218.
- [8] J.J. Kroszczynski, *Pulse compression by means of linear-period modulation*, Proc. IEEE 57 (7) (1969) 1260–1266.
- [9] D. F. DeLong, Jr., and E. M. Hofstetter, *On the Design of Optimum Radar Waveforms for Clutter Rejection*, IEEE Trans. Info. Theory, Vol. 13, 1967, pp. 454-463.
- [10] Y. Yang, Rick S. Blum, "Radar Waveform Design Using Minimum Mean-Square Error and Mutual Information" IEEE 1-4244-0309-X/2006
- [11] J.S. Bergin, P. M. Techau, J. R. Guerci, and J. E. Don Carlos, *Radar Waveform Optimization for Colored Noise Mitigation*, IEEE Radar Conference, Alexandria, VA, 9-12 May, 2005
- [12] W. Rihaczek, *Radar Waveform Selection- A Simplified Approach*, IEEE Transactions on aerospace and electronic systems vol. AES-7, No. 6 november 1971
- [13] C. T. Capraro, I. Bradaric, G.T. Capraro, *Using genetic algorithms for radar waveform selection*, 2008 IEEE Radar Conference, Inc., Utica, NY, pp. 1–6, May 2008.
- [14] F. J. Harris, *On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform*, Proceedings of the IEEE. Vol. 66 (January 1978). pp. 51-84.
- [15] L. K. Patton., *On the satisfaction of modulus and Ambiguity function constraints in Radar waveform optimization for Detection*, PhD thesis, 2009.
- [16] X.F. Tian, G.Y. Fang, *Study on the Jamming to Synthetic Aperture Radar*, APMC 2008. Asia-Pacific Microwave Conference. pp. 1 - 4, Dec 2008.
- [17] J. S. Lee, *Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images*. Computer Graphics and Image Processing, vol. 17, p. 24-32 1981.
- [18] H. Xie, L.D. Wang and Xiangyu Yuan, *Research on SAR noise jamming evaluation*, Space Electronic Countermeasures. (3):pp15--18.(in Chinese)2003.
- [19] L. R. Varshney and D. Thomas, *Sidelobe Reduction for Matched Filter Range Processing*, in Proceedings of the 2003 IEEE Radar Conference, Huntsville, Alabama, 5-8 May 2003.
- [20] S. R. DeGraaf, *Sidelobe Reduction via Adaptive FIR Filtering in SAR Imagery*, IEEE transactions on image processing, Vol. 3, No. 3, May 1994.
- [21] 28Gbps Serial Transceiver Technology White Paper, XILINKS WP385 (v1.1) Nov, 2010
- [22] M. Schlutz, *Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB*, Master thesis, June 2009.

Compression d'images hyperspectrales par transformée en ondelettes 3D et SPIHT3D

M. Ouahioune, L. Akrou, M. Lahdir and S. Ameer

Abstract— Une séquence d'images Hyperspectrales 3D est compressée en utilisant une transformée en ondelettes 3D (TOD3D) permettant ainsi de décorréler les trois dimensions du cube hyperspectral. La séquence ainsi transformée est codée de façon efficace par l'algorithme de codage par arbre de zéros 3D (SPIHT3D) qui exploite la structure pyramidale des coefficients ondelettes obtenus. Après décompression, les images qui sont évaluées par des critères objectifs, sont reproduites fidèlement et l'espace mémoire requis pour leur stockage et leur transmission est réduit. La construction d'une interface graphique GUI sous MATLAB a permis de faciliter l'utilisation des algorithmes élaborés et de tester la compression obtenue pour différents paramètres.

Index Terms— Compression, Images hyperspectrales, TOD3D, SPIHT3D.

I. INTRODUCTION

L'Imagerie hyperspectrale est un domaine en plein essor, du fait du développement des technologies numériques. L'élément nouveau apporté par les images hyperspectrales est la forte résolution spectrale [1]. Nous pouvons dire qu'avec les images hyperspectrales, nous sommes effectivement capables d'acquérir des informations présentes dans l'ensemble du spectre, là où les systèmes classiques de télédétection, comme ceux d'imagerie multispectrale ne proposent que quelques portions de ce spectre. L'imagerie hyperspectrale permet donc une investigation de plus en plus fine. L'une des contreparties, réside dans la quantité considérable de données générées, qui peut rapidement saturer les systèmes conventionnels de transmission et de stockage. Du fait de la taille importante des images hyperspectrales, on comprend vite l'intérêt d'une compression efficace de ce type de données. Pour ce faire, nous allons exploiter les différentes propriétés de ces images,

notamment leur nature 3D et leur forte corrélation spectrale pour proposer une méthode de compression adaptée et exploitant ces propriétés. Nous avons implémenté ce schéma de compression dans une interface graphique développée dans le GUI de MATLAB. Ce GUI regroupera les algorithmes qui seront décrits dans la section II.

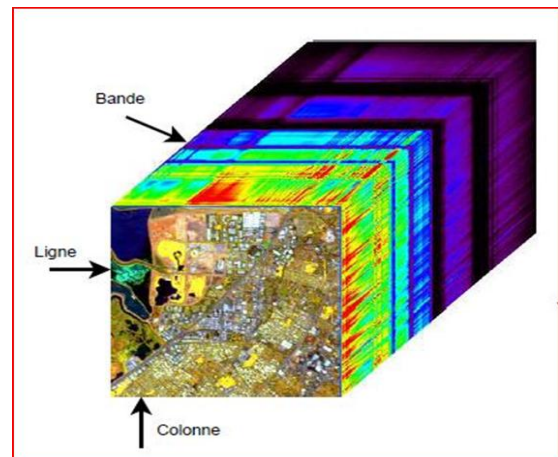


Fig. 1 – Cube de données hyperspectral.

II. METHODE DE COMPRESSION

A. Principe

Le principe de notre schéma de compression adapté aux images hyperspectrales est représenté sur la figure (2). Notre schéma de compression s'inscrit dans le cadre d'une approche à transformée en ondelettes, qui est un outil largement utilisé en traitement du signal et d'image. Sa capacité à compacter l'énergie sur un petit nombre de coefficients permet un codage efficace de l'image. La nature 3D et la forte corrélation spectrale de l'imagerie hyperspectrale nous a conduit à étendre cette transformée à trois dimension (TOD3D), pour décorréler les trois dimensions x , y et λ . Cette transformation est basée sur l'algorithme de Mallat [2] [3], elle consiste en une décomposition pyramidale et réversible d'une image en un jeu de huit sous-images, correspondant à une image de

Manuscript received October 26, 2011.

M. Ouahioune Laboratoire d'analyse et de modélisation des phénomènes aléatoires (LAMP), Département d'électronique, Faculté Génie Electrique et Informatique, Université Mouloud Mammeri BP no 17 RP 15000 Tizi-Ouzou, Algérie. (Ouahioune.m@gmail.com).

L. Akrou, M. Lahdir et S. Ameer, Laboratoire d'analyse et de modélisation des phénomènes aléatoires (LAMP), Département d'électronique, Faculté Génie Electrique et Informatique, Université Mouloud Mammeri BP no 17 RP 15000 Tizi-Ouzou, Algérie. (leilaakrou@yahoo.fr, mlahdir@yahoo.fr, ameursoltane@yahoo.com).

décomposition en basses fréquences et à sept images de décomposition en hautes fréquences. La décomposition s'appuie sur les filtres passe-haut et passe-bas discrets déduits de l'ondelette et de la fonction échelle associée.

La deuxième étape de notre schéma de compression est un codeur à arbres de zéros 3D (SPIHT3D), qui exploite la structure pyramidale des coefficients ondelettes où il existe d'importantes corrélations entre les différentes échelles. Pour cela le SPIHT3D, utilise des arbres tridimensionnels qui considèrent que chaque nœud possède huit descendants à l'échelle supérieure. On isole ainsi, des zones vastes de coefficients non significatifs, c'est ce qui permet d'atteindre de bonnes performances dans la compression. Un codeur entropique n'est pas obligatoire même s'il est souvent implanté. L'implémentation d'un codeur entropique n'améliore pas les résultats de manière significative, nous avons donc décidé de ne pas l'implémenter dans notre chaîne afin de ne pas augmenter la complexité de l'algorithme élaboré.

B. Transformée en ondelettes 3D (TOD3D)

La TOD est basé sur la décomposition du signal entrée en deux séquences données par les deux équations (1) et (2). Ce qui revient à filtrer et sous-échantillonner le signal d'entrée, puis répéter l'opération sur le signal 'approximation' pour obtenir la TOD à plusieurs niveaux (échelles) [2] [3].

$$A_j^d f(n) = \tilde{h}(k) * A_{j-1}^d f(k)(2n) \quad --(1)$$

$$D_j^d f(n) = \tilde{g}(k) * A_{j-1}^d f(k)(2n) \quad --(2)$$

$A_j^d f(n)$ fait référence à l'approximation et $D_j^d f(n)$ fait référence aux détails du signal d'entrée $f(n)$ à l'échelle (j).

Les filtres $H(\omega)$ et $G(\omega)$ sont déterminés à partir des fonctions échelles et ondelettes choisies. Pour implémenter la TOD3D sous Matlab, nous allons commencer par implémenter les bancs de filtres.

Banc de filtres 1D : L'analyse en banc de filtres 1D décompose le signal d'entrée $f(n)$ en deux signaux $A(n)$ et $D(n)$. Le signal $A(n)$ représente l'approximation (basses fréquences) de $f(n)$, alors que le signal $D(n)$ représente les détails (hautes fréquences) de $f(n)$. L'analyse en banc de filtres en premier, filtre $f(n)$ en utilisant un filtre passe-bas et un filtre passe-haut. On note le filtre passe-bas par AF1 (filtre d'analyse 1) et le filtre passe-haut par AF2 (filtre d'analyse 2). Comme le montre la figure, la sortie de chaque filtre est ensuite sous-échantillonnée par 2 pour obtenir les deux signaux sous-bandes $A(n)$ et $D(n)$.

La synthèse en banc de filtres combine les deux signaux sous-bandes $A(n)$ et $D(n)$ pour obtenir un seul signal $f(n)$. La synthèse en premier sur-échantillonne chacun des deux signaux sous-bandes. Les signaux sont ensuite filtrés par un filtre passe-bas et un filtre passe-haut. On note le filtre passe-bas par SF1 (filtre de synthèse 1) et le filtre passe-haut par SF2 (filtre de synthèse 2). Les signaux sont ensuite additionnés pour obtenir le signal $f(n)$.

Pour utiliser la transformée en ondelettes sur les données 3D, nous avons implémenté sous Matlab une version 3D du banc de filtres 1D.

Banc de filtres 3D : Dans ce cas, une cascade de banc de filtres 1D est appliquée à tour de rôle sur chacune des trois dimensions (les trois axes : x, y et λ). Si les données sont de taille $N_1 \times N_2 \times N_3$, lors de l'application de l'analyse 1D à la première dimension, nous obtenons deux blocs de données, chacun de taille $N_1/2 \times N_2 \times N_3$. Ensuite, on applique ce même banc de filtres 1D à la deuxième dimension des deux blocs de données obtenus précédemment, nous obtenons quatre blocs de données, chacun de taille $N_1/2 \times N_2/2 \times N_3$. Pour finir, l'application de l'analyse 1D à la troisième dimension donne

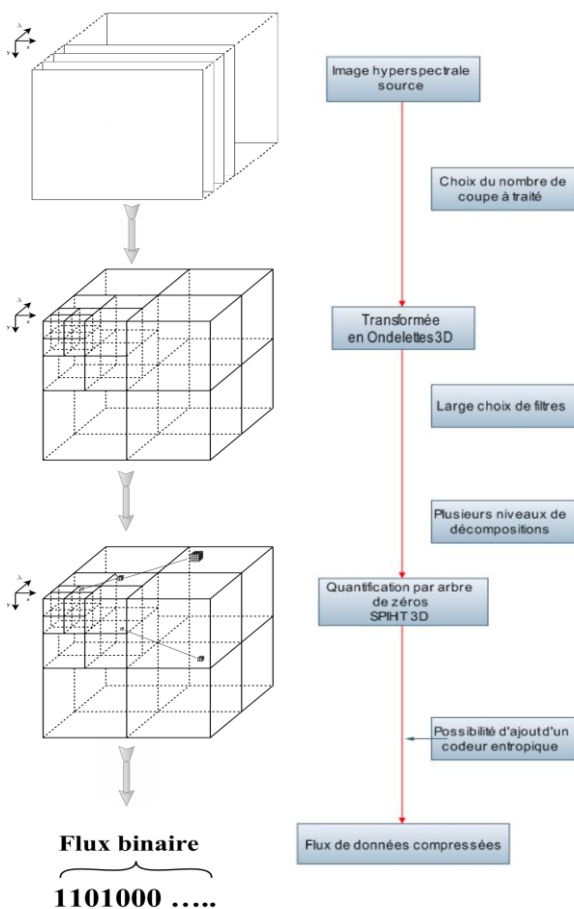


Fig. 2 – Schéma blocs de compression adapté aux images hyperspectrales.

huit blocs de données, chacun de taille $N1/2 * N2/2 * N3/2$. Ceci est illustré dans le schéma ci-dessous.

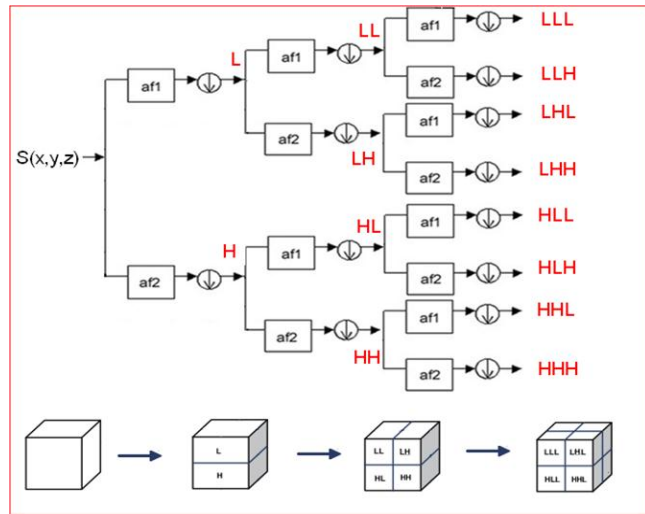


Fig. 3 – Analyse en Banc de filtres 3D.

Transformée en ondelettes 3D : Elle est réalisée par l'itération de l'analyse en banc de filtres 3D sur le bloc approximation (bloc LLL) de la donnée 3D du niveau précédent. Dans ce cas, à chaque échelle il y aura huit nouveaux blocs (sous-bandes) : une sous-bande approximation et sept sous-bandes détails. Le calcul de la TOD3D d'un cube de données se fait alors en appelant à plusieurs reprises le **Banc de filtres 3D**. C'est ce qu'on appelle une TOD3D à plusieurs niveaux de décomposition.

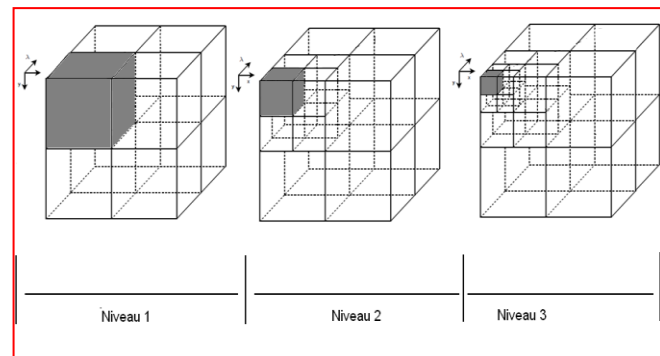


Fig. 4 – La transformée en ondelettes 3D.

C. Codage par arbres de zéros 3D (SPIHT3D)

L'idée principale du codage par arbre de zéros, consiste à utiliser la position des coefficients significatifs à la plus basse résolution pour prédire la position et la valeur des coefficients significatifs aux échelles plus fines. Une structure en arbre est alors utilisée pour représenter les coefficients d'ondelettes.

SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Tree) [4] [5] est la variante la plus populaire de ce type de codage. Il a été réalisé en 1996 par A.SAID et W.PEARLMAN. Nous allons

faire dans ce qui suit l'extension du SPIHT aux images 3D, afin de l'utiliser avec la TOD3D développée précédemment.

Codeur SPIHT3D : Dans notre étude, nous essayons de tirer parti de la nature 3D des images à compresser (images hyperspectrales), il est donc indispensable d'étendre le SPIHT à trois dimensions, afin qu'il puisse s'adapter à la TOD3D développée précédemment. L'extension aux images 3D du SPIHT s'appuie sur des arbres à trois dimensions [6] [7]. Dans le cas 3D, le nœud racine de l'arbre (correspondant aux coefficients de la sous-bande LLLj pour une TOD3D à j niveaux de décomposition) a seulement sept enfants, alors que tous les autres nœuds à l'exception des extrémités en possèdent huit. En d'autres termes, à l'exception du nœud racine et des extrémités de l'arbre, le lien parents/enfants 3D est le suivant :

$$O(i, j, k) = \left\{ \begin{array}{l} (2i, 2j, 2k), (2i, 2j + 1, 2k), (2i + 1, 2j, 2k), \\ (2i + 1, 2j + 1, 2k), (2i, 2j, 2k + 1), (2i + 1, 2j, 2k + 1), \\ (2i, 2j + 1, 2k + 1), (2i + 1, 2j + 1, 2k + 1) \end{array} \right\} \quad (3)$$

Où $O(i, j, k)$ représente l'ensemble des coordonnées de tous les enfants du nœud (i, j, k) .

SPIHT utilise deux types d'arbres de zéros. Le premier (type A) consiste en une simple racine ayant tous ses descendants à 0 pour un plan de bits donné. Bien que l'arbre de zéros soit spécifié par les coordonnées de la racine, la racine n'est pas incluse dans l'arbre. Le second type d'arbre (type B) est similaire mais exclut les quatre enfants de la racine. Les arbres de type B contiennent uniquement les petits-enfants, arrières petits-enfants, de la racine.

Pour caractériser ces relations parents/enfants dans les sous-bandes. Les ensembles suivants de coordonnées sont utilisés :

- $O(i, j, k)$: Ensemble des coordonnées de tous les **enfants** du nœud (i, j, k) .
- $D(i, j, k)$: Ensemble des coordonnées de tous les **descendants** du nœud (i, j, k) (**type A** d'arbres de zéros).
- $L(i, j, k) = D(i, j, k) - O(i, j, k)$: L'ensemble des **descendants à l'exception des enfants** (**type B** d'arbre de zéros).

Le codage SPIHT stocke l'information de signification dans 3 listes ordonnées. Ce sont des listes de coordonnées (i, j, k) dans la **LCN** (Liste des Coefficients Non significatifs) et **LCS** (Liste des Coefficients Significatifs) et ils représentent des coefficients. Dans la **LEN** (Liste des Ensembles Non significatifs), ils représentent soit l'ensemble D(i, j, k) (arbre de type A) ou l'ensemble L(i, j, k) (arbre de type B).

La **LCN** contient les coordonnées de coefficients qui étaient insignifiants dans la précédente passe. Dans le passage de la passe courante, ils sont testés, et ceux qui sont significatifs sont déplacés vers la **LCS**. De la même façon, les ensembles de **LEN** sont évalués dans leur ordre d'entrée, et quand un ensemble est trouvé significatif, il est supprimé de cette liste puis est partitionné. Les nouveaux ensembles avec plus d'un élément sont ajoutés à la fin de **LEN** avec le type (A ou B), alors que les simples coefficients sont ajoutés à la fin de **LCS** ou **LCN** suivant leur signification. La liste **LCS** contient les coordonnées des coefficients qui seront visités dans la prochaine passe de raffinement. La passe de raffinement transmet le $n^{ième}$ bit le plus significatif des entrées de **LCS**.

Nous allons donner maintenant le déroulement de l'algorithme SPIHT3D.

Déroulement du SPIHT3D :

Etape 1 : Calcul du seuil de départ **Tn**, donnée par :

$$T_n = 2^{\lfloor \log_2 \max(im(x,y,\lambda)) \rfloor} \quad (4).$$

Etape 2 : Définition des listes de coordonnées (i,j,k) de **LCN**, **LCS** et **LEN**.

Etape 3 : Comparer chaque pixel de la **LCN** au seuil **Tn** :

Si c'est positif, alors il sera codé '11'.

Si c'est négatif, alors il sera codé '10'.

Sinon, il sera codé '0'.

Etape 4 : Pour chaque ensemble de **LEN** comparer le descendant ayant la plus grande valeur absolue au seuil **Tn**.

Si type A : S'il y a des descendants supérieur à **Tn**, sortie '1' et tester les huit enfants du nœud (i,j,k) ; pour chacun d'eux :

S'il est positif, il sera codé '11'.

S'il est négatif, il sera codé '10'.

Sinon, il sera codé '0'.

Si les enfants ont des descendants, mettre le nœud (i,j,k) à la fin de la **LEN** en tant que **type B**.

S'il y a pas des descendants supérieur à **Tn**, sortie '0'.

Si type B : S'il y a des descendants qui sont supérieurs à **Tn**, sortie '1' et mettre chaque'un des huit enfants du nœud (i,j,k) comme entrée **type A**.

Si non signifiant, sortie '0'.

Etape 5 : Passe de raffinement.

Etape 6 : Décrémenter n et retourner à l'étape 3.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Lorsqu'on utilise des techniques de compression avec perte, l'utilisation de mesure de qualité est indispensable pour l'évaluation des performances. Le problème majeur dans l'évaluation des techniques de compressions avec pertes réside dans la difficulté à décrire la nature et l'importance des dégradations sur l'image reconstruite. La notion de critère qualité en adéquation avec les applications en aval, est donc particulièrement intéressante pour évaluer l'impact d'un procédé de compression sur l'exploitation de l'image finale.

Pour ce faire, nous allons utiliser le PSNR, pour permettre l'évaluation de la qualité de compression de l'algorithme élaborée pour les images hyperspectrales. Les images hyperspectrales sont représentées sous la forme d'une matrice tridimensionnelle : $I(x, y, \lambda)$. n_x , n_y et n_λ sont respectivement le nombre de pixels par ligne, le nombre de lignes et le nombre de bandes spectrales.

$$PSNR_{(db)} = 10 \log_{10} \frac{PeakSignal^2}{\sum_{x,y,\lambda} (I(x,y,\lambda) - \hat{I}(x,y,\lambda))^2} \quad (5).$$

Le PSNR (Peak SNR) : C'est la mesure de la distorsion entre l'image originale et l'image compressée. Il s'agit de quantifier la performance des codeurs en mesurant la qualité de reconstruction de l'image compressée par rapport à l'image originale.

Ou : $PeakSignal = 2^q$, q étant le nombre de bits utilisés pour coder les valeurs. (q =16 pour les images hyperspectrales). Cette équation du PSNR traite les 3 dimensions de l'image.

Une manière de donner un ordre de grandeur de l'entropie (ou au moins une borne supérieure) des images hyperspectrales est de tester les méthodes de codage sans pertes. On a utilisé les utilitaires suivant sur notre image test :

– gzip : algorithme LZ77;

– bzip2 : algorithme de Burrows-Wheeler, suivi de Huffman.

Original		gzip		bzip2	
Taille	bpp	Taille	bpp	Taille	bpp
134.4Mb	16	82.9Mb	9.86	69.6Mb	8.23
		RC obtenu =1.61		RC obtenu =1.92	

Table 1- Estimation de l'entropie des images hyperspectrales.

Ceci nous permet seulement de comprendre que l'entropie des images hyperspectrales est inférieure à 8.23 bits. Pour nos tests, nous avons utilisé une séquence de 32 canaux de la scène Yellowstone, acquise en 2006. C'est une image AVIRIS qui peut être téléchargée de : <http://aviris.jpl.nasa.gov/html>.

La table (2) montre les performances de notre algorithme pour le niveau de décomposition $J = 3$ et pour deux ondelettes biorthogonales (CDF9/7 et LeGall5/3). Le PSNR change avec les différentes familles d'ondelettes. La façon dont chaque ondelette compacte l'énergie de l'image dépend beaucoup de l'image elle-même (contenu spectral de l'image) de plus chacune d'elles diffère dans la façon de caractérisée ce contenu spectral.

Rapport de Compression	CDF9/7(dB)	LeGall5/3(dB)
100	51.7183	52.8186
90	47.9307	48.1745
80	45.4117	45.3076
70	43.3666	42.8423
60	41.4060	41.1709
50	40.0950	39.3908
40	38.5667	38.0484
30	37.2918	36.5127
20	36.4086	35.5526
10	35.3807	34.7816

Table 2- PSNR (dB) en fonction du RC.

Comme nous le constatons sur la table (2), les PSNR obtenus dépassent les 35 dB même pour des rapports de compression élevés ($RC = 100 \rightarrow 0.16$ bpp); Pour des rapports de compression peu élevés, nous obtenons un PSNR très bon, dépassant les 50 dB ($RC = 10 \rightarrow 1.6$ bpp).

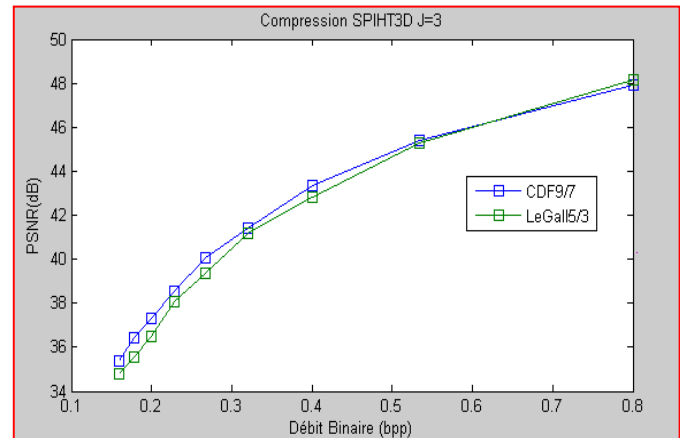


Fig. 5 – PSNR en fonctions du RC pour les biorthogonales.

Performance Compression 2D vs. Compression 3D: Pour réaliser cette comparaison, nous avons compressé chacun des 32 canaux de notre séquence d'image séparément, nous avons calculé le PSNR3D pour cette séquence, c-à-d une fois que tous les canaux ont été compressés séparément (TOD2D et SPIHT2D), nous les avons regroupés pour former le cube 3D compressé et nous avons calculé son PSNR3D. Ensuite, nous avons comparé les résultats à ceux (PSNR3D) trouvés avec la compression utilisant la compression 3D (TOD3D et SPIHT3D). La figure (6) montre le PSNR3D pour les deux types de compression. Nous pouvons constater que la version 3D, garantie plus de 10 dB d'amélioration à tous les rapports de compression. Cela implique que les images hyperspectrales sont très corrélées et en utilisant une compression 3D (TOD3D et SPIHT3D), on peut exploiter pleinement ces corrélations et ainsi atteindre de bien meilleures performances que les compressions 2D qui codent les images séparément.

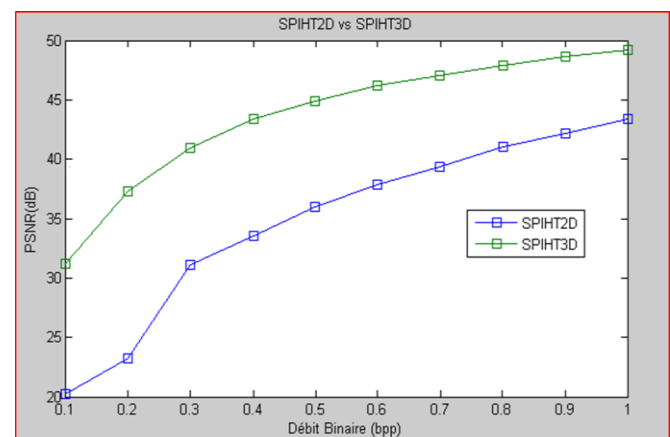


Fig. 6 – Résultats de la Compression2D vs Compression3D.

IV. CONCLUSION

L'algorithme que nous avons implémenté peut être mis en œuvre pour toute taille d'image. Quand la taille des images de la séquence hyperspectrale augmente, le temps nécessaire à la compression et la reconstruction de l'image augmente aussi. Il est plus intéressant de concevoir notre algorithme de façon à traiter les images à compresser par petit bloc, en réduisant la taille de la scène spatiale et en privilégiant celle de la scène spectrale. Ceci permettra de tirer profit pleinement de la forte corrélation spectrale sans sacrifier le temps d'exécution de l'algorithme (en réduisant la taille de la scène spatiale, nous réduisons le temps d'exécution sans sacrifier la qualité).

Les bonnes performances obtenues par notre algorithme ne sont pas seulement à cause des spécificités de la transformée en ondelettes, mais aussi pour la supériorité du codeur SPIHT. Sa structure en arbres de zéros, permet d'importants gains dans le codage des cartes de signification.

Les performances de l'algorithme sur les images satellitaires hyperspectrales ont été testées en utilisant une séquence de 32 images hyperspectrales et le PSNR a été utilisé comme mesure de qualité. Les résultats ont montré que l'extension à la troisième dimension et que la compression de cette dimension spectrale améliore la qualité de compression. La compression 3D tire profit de la forte corrélation spectrale et offre un gain de codage bien supérieur à celui offert par la compression 2D. Nos résultats ont montré un gain allant jusqu'à **10 dB** pour tous les rapports de compression (sur une séquence de 32 canaux seulement).

REFERENCES

- [1] S. Homayouni, "Caractérisation des Scènes Urbaines par Analyse des Images Hyperspectrales", Thèse de Doctorat, informatique, télécommunications et électronique, 2005, 175p.
- [2] S.G.Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation", *IEEE PAMI*, Vol.11 (7), 1989, pp.674-693.
- [3] S.G. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing - The Sparse Way*, Academic Press, 810 p.
- [4] J. Shapiro, "Embedded image coding using Zerotree of Wavelet coefficients", *IEEE transactions on signal processing*, vol. 41, no. 12, 1993, pp. 3445-3462.
- [5] A. Said and W. A. Pearlman, "A new and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 6, 1996, pp. 243-250.
- [6] E. Christophe, "Compression des Images Hyperspectrales et son Impact sur la Qualité des Données", Thèse de Doctorat, Spécialité: Signal et image, université de Toulouse, France, 2006, 210 p.
- [7] Y. Gaudeau, "Contributions en compression d'images médicales 3D et d'images naturelles 2D", Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1, Spécialité Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique, France, 2006, 160 p.
- [8] G. Motta, F. Rizzo, J. A. Storer, *Hyperspectral Data Compression*, Springer-verlag, 2005, 420 p.
- [9] D. Salomon, *Data Compression the Complete Reference*, Springer-verlag, 2004, 920p.
- [10] C. Chui, *Wavelets: a tutorial in theory and applications*, Academic press inc, 1992.
- [11] A. Cohen, *Ondelettes et traitement numérique du signal*, Masson, Paris, 1992, 207p.
- [12] X. Tang, W. A. Pearlman and J. W. Modestino, "Hyperspectral Image Compression Using Three-Dimensional Wavelet Coding: A Lossy-to-Lossless Solution", *Rensselaer Polytechnic Institute Troy, NY*, 2004, 22 p.
- [13] W. A. Pearlman and B.J. Kim, "An Embedded Wavelet Video Coder Using Three Dimensional Set Partitioning in Hierarchical Trees (SPIHT)", In *IEEE Data Compression Conference DCC'97*, 1997, pp. 221-260.

SVM Regularization of Satellite Images K-MEANS

Clustering Results

A. Bekaddour , A. Bessaid , and F. T. Bendimerad

Abstract— *A lot of supervised and unsupervised classification techniques have been used in the remote sensing image processing field to meet human needs. Image regularization is another way of classification which is based on a two layer system, one for a first image segmentation and the other for correcting classification results. In this paper, we used a well known clustering method k-means as first segmentation, and we followed it by SVM regularization. The main contribution of this work is to show how we can adopt a supervised classification technique (SVM) to make a regularization of an unsupervised (K-means) segmentation results by choosing good training area when using SVM classification. Finally, we used two satellite images representing the same area but in a two different time, the area is the OUARGLA oasis located in the south of Algeria, and it was acquired in 1972 in first time, and in 2000 in second.*

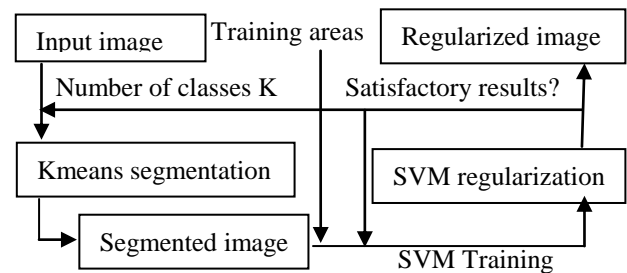
I. INTRODUCTION

Today, an estimated of 15 to 20 satellites will be launched by 2015 with the possibility of managing, measuring and observing Earth [1]. All that interest on remote sensing has helped to develop more and more applications. In remote sensing, most applications aim is to collect earth observation images in order to use them in several professional and scientific fields. More than that, new approaches and visions of remote sensing appeared this last years, like strategic, juridical, and social approaches [2]. This expands the use of remote sensing not only in a lot of fields but in a lot of ways also. All this need of remote sensing leads the researchers to perform more and more efficient tools to meet the new remote sensing challenges. Image classification is one of the important tools used to identify and detect most pertinent information in satellite images. One of the first classification techniques used in remote sensing fields is kmeans method. It gives the user a first figure about the different segments of the image. However, this results need to be refined by another classification methods in order to get more and more accurate vision of the different classes composing the image. SVM method is one of the important techniques used to perform a distinction between image pixels basing on support vectors separating the non similar pixels according to a certain parameters. The aim of this work is to show how to use SVM as regularization techniques for correcting kmeans results according to training areas defined by the user. The main thematic subject is urbanization and irrigation of agricultural fields, but to expand the vision, we used two false color images of the same area (Ouargla oasis

in Algeria) but in two different times in order to show the change affecting the vegetation and people near the oasis.

II. REGULARIZATION SYSTEM REVIEW

The aim of this work is to make a remote sensing images classification system that allow us to operate spectral information of image pixels in order to evaluate the geometric and the land cover characteristics of the satellite images. In order to make this classification, we use a two layer regularization system including k-mean segmentation and SVM regularization. A two layer classification process is chosen: K-means segmentation followed by SVM regularization. This is a particular using of classification methods. First, unsupervised segmentation in groups and secondly, supervised classification, where the groups will be attributed to individual classes.



Classification process review.

Every classification process starts with an input image to be classified. The segmentation method Kmeans is an unsupervised technique in which we need to know the number of output groups only. The result of this segmentation is an image. This segmented image helps the user to get a first view of the different classes in the input image. After segmentation, the user creates a training area from the input image, and uses them to train the SVM training system in order to make SVM regularization of the kmeans segmentation results. The SVM regularization is a classification also, so it attributes etiquette to each input image pixel of the class to witch this pixel belong. The particularity of regularization is that it need a classified image input so it can correct the belonging to the classes according to the training SVM system which is based on the training area. This is why, a good SVM regularization is much related to the training area chosen. The output of SVM regularization can lead to three different ways. Or the

results are satisfactory, so we end our classification process. Or the results are less acceptable so we create a new SVM training system by redefining a new training area and we restart regularization. Or the results are very far to be acceptable, so we restart the whole classification process.

III. REMOTE SENSING IMAGE SITE

Two remote sensing images are used as input images to the classification process. Choosing those images is based on a thematic and temporal vision. The two false color images represent the same area but in a two different time. The area is the OUARGLA site, which is an Algerian state situated in the south of Algeria with a beautiful oasis and a remarkable agriculture fields. The first image of this site is acquired by the multispectral sensor of the LANDSAT 2 satellite with three bands (green, red and infrared) on January, 16 1976.



OUARGLA image acquired by the LANDSAT 2 on January, 16 1976.

The second one is acquired by the enhanced thematic mapper plus of the LANDSAT 7 satellite with three bands (green, red and infrared) on December, 20 2000.



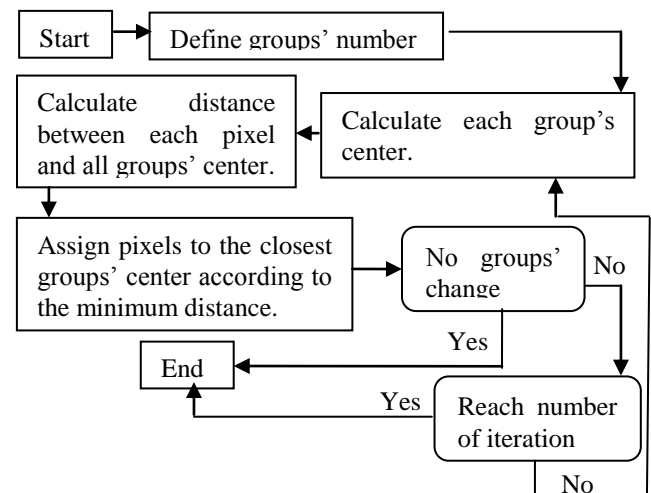
OUARGLA image acquired by the LANDSAT 7 on December, 20 2000.

Performing regularization will divide both of the two images in several classes. Each class represents thematic information (vegetation, oasis, desert ...) for each pixel, this will provide a thematic vision of the classification process to the user. In order to ensure a temporal vision of the process, the regularization is performed for both images. This will allow the user to follow the different changes affecting the different thematic areas of the two images.

IV. FIRST KMEANS SEGMENTATION

Remote sensing image kmeans segmentation is unsupervised because we don't have any priori information about thematic classes that we can use to refine the classification process. The only known information is the number of classes.

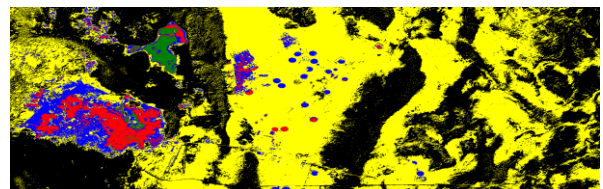
Kmeans segmentation is called also Kmeans clustering because its aim is to divide input image into distinguishable clusters or groups. It is based on simple steps. First, we have the number of classes "k", so we create k groups and we assign them a center point randomly. Secondly, we assign pixels to the closest group whose the distance between its center and each pixel is the smallest one from all other distances. After this, we calculate the new center for all groups and we repeat assigning pixels according to the minimum distance between each pixel and all groups' center. Finally, we end the iteration process when we have no change affecting the different groups or when we reach a certain number of iteration.



Kmeans segmentation process.

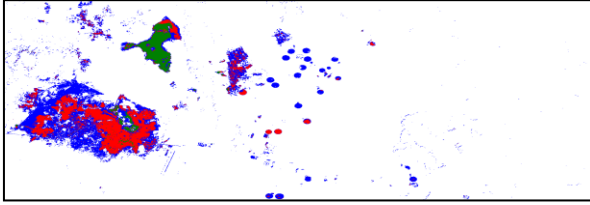
The aim of kmeans segmentation is to get a first knowledge about the satellite image regions (groups). We perform 5 means segmentation on both images. The result was very helpful. The five thematic classes are describing the most pertinent components of the OUARGLA oasis.

OUARGLA image 1970	OUARGLA image 2000
K=5	K=5
Iteration number = 200	Iteration number = 200
Segment. rate = 5.30%	Segment. rate = 2.63%



Kmeans segmentation result of OUARGLA OASIS (December 2000), k=5.

The five classes are: oasis water appeared in green, vegetation in red, urban and arid zones in blue, dark desert in yellow and light desert in black. In order to show the importance of these classes we perform also an extraction of water, urban and vegetation class from the whole result image.

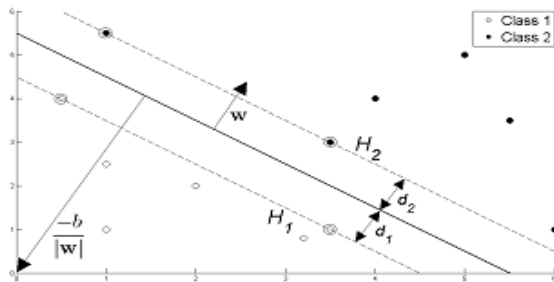


Urban and arid, Water Oasis and vegetation extraction from Kmeans segmentation result of OUARGLA OASIS (December 2000), k=5.

Despite of the satisfactory result, but there are some conflict areas, especially between vegetation and urban zones. This is why; we need to refine this segmentation result using the SVM regularization technique by introducing training areas in order to differentiate between areas conflict.

V. SVM REGULARIZATION

Support vector machines (SVM) are a set of supervised classification methods created by Corinna Cortes and Vladimir Vapnik [3]. The SVM classification system is linear, binary and non probabilistic i.e. It expect for each input data (pixel) to witch of a possible two classes it belong. The aim of SVM is to separate input pixels in a plan by a hyperplane. The hyperplane is a plane in a multidimensional space and is also called a decision surface or an optimal separating hyperplane or an optimal margin hyperplane [4].



Hyperplane throw two classes.

The hyperplane is represented by a line described by the equation $w \cdot x + b = 0$. The main principle of SVM is to orientate this hyperplane in such a way as to be as far as possible from the closest members of both classes. This means to minimize $\|w\|$ and b . In [5], this means to maximize a factor α so that: $\sum_{i=1}^L \alpha_i - \frac{1}{2} \alpha^T H \alpha$ subject to the constraints $0 \leq \alpha_i \leq C \quad \forall_i$ and $\sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0$

Where C is a parameter introduced by the user for choosing how significantly misclassifications should be

treated, L is the number of training points and H is the hyperplane.

In order to adapt SVM system with a non binary classification cases (>2 classes), a lot of methods can be used (one against one, one against all, DAG ...) [6].

The SVM regularization algorithm goal is to evaluate for each input point x (pixel) one of two possible classes y (-1, +1) using the sign function $y = \text{sgn}(w \cdot x + b)$. It is based on good choosing of parameter C and its aim is to calculate w and b by finding the factor α which is Lagrange multipliers performed by Quadratic Programming (QP) optimization:

-Create H , where $H_{ij} = y_i y_j x_i \cdot x_j$.

-Choose how significantly misclassifications should be treated, by selecting a suitable value for the parameter C .

-Find α so that $\sum_{i=1}^L \alpha_i - \frac{1}{2} \alpha^T H \alpha$ is maximized, subject to the constraints $\forall_i 0 \leq \alpha_i \leq C$ and $\sum_{i=1}^L \alpha_i y_i = 0$. This is done by QP solver.

-Calculate $w = \sum_{i=1}^L \alpha_i y_i x_i$.

-Determine the set of Support Vectors S by finding the indices such that $0 < \alpha_i \leq C$.

-Calculate. $b = \frac{1}{N_s} \sum_{s \in S} \left(y_s - \sum_{m \in S} \alpha_m y_m x_m \cdot x_s \right)$

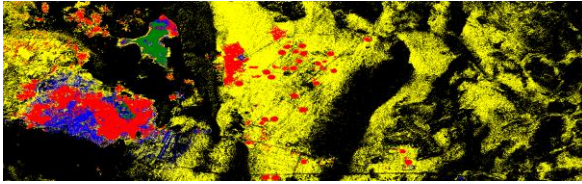
-Each new point x' is classified by evaluating $y' = \text{sgn}(w x' + b)$.

The first step in SVM regularization is training areas creation. This is the most important step in the whole regularization system because all the other process steps will follow those training areas. The more we choose good and significant training areas the more we get best result.

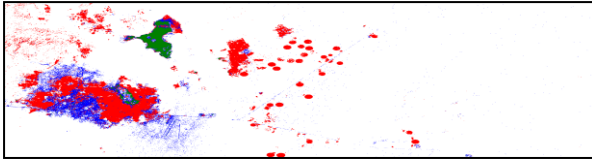


OUARGLA oasis (December 2000) training areas for SVM regularization.

In literature, the well known kind of remote sensing image regularization is based on pixels' neighbor energy as the hidden markov model regularization techniques [7]. In our work, regularization is based on the correction of classification results by introducing training areas. This is a particular using of classification techniques.



**SVM regularization result of OUARGLA OASIS
(December 2000), C=500.**

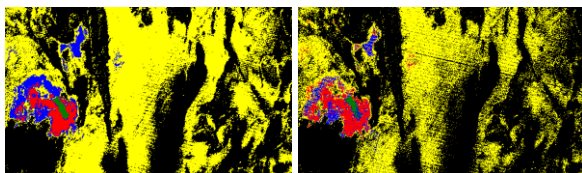


**SVM regularization result of OUARGLA OASIS
(December 2000), C=500.**

After regularization, the difference between vegetation and urban areas is clearer, and some areas that belong to urban class in first segmentation result are belonging to vegetation class after regularization, so the number of pixels belonging to vegetation class increased by a rate of 3.18% (circle agricultural field). For urban zones, it decreased by 4.52%, for oasis water, there is no great change to notice (0.14%). The biggest change was for dark desert by decreasing of 18.57% and light desert by increasing of 16.42%. This is all based on the good choosing of training areas.

OUARGLA image 1970 C=500	OUARGLA image 2000 C=500
CPU- seconds= 4.16	CPU- seconds= 1.05
Regul. rate=21.43%	Regul. rate=21.71%

In the same way, segmentation and regularization of Ouargla oasis image acquired on January 1976 is done. The comparison between the two image results shows the increasing of well drilling and agriculture fields' irrigation rate in this region and the increasing of urbanization rate near the oasis.



a

b

**a- Kmeans segmentation result of OUARGLA OASIS
(January 1976), k=5. b- SVM regularization result of
OUARGLA OASIS (January 1976), C=500.**

VI. CONCLUSION

In this paper, we used a specific image classification approach that is necessary for detecting the different pertinent areas in remote sensing images. In this work, we consider LANDSAT 2 and 7 remote sensing images of the same area. The classification techniques used are a combination of two classification methods which are

kmeans and SVM techniques. Even if kmeans segmentation results give us a first understanding of the different component of our images, we need to optimize these results using SVM techniques by introducing training areas in order to separate conflict regions from each other. The results show that we can separate vegetation from urban landscape. Finally, we can say that the choice of training areas is one of the most important points to enhance and improve the initial classification results.

On the other hand, as a perspective, we seek to increase the accuracy of classification results using set-theoretical methods by choosing best classification results from a combination of different classification techniques results.

REFERENCES

- [1] J. Thurston, M. Ball, "Review in Aerial Sensing," Vector One media magazine, May. 2008.
- [2] D. Liverman, E.J. Barron, and P.R. Epstein, *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*, National Academies Press, Washington, 1998.
- [3] C. Cortes, V. Vapnik, in *Machine Learning*, pp. 273-297, 1995.
- [4] M. Pal, *Kernel Methods in Remote Sensing: A review*, National Institute of Technology Kurukshetra, India, 2008.
- [5] T. Fletcher, *Support Vector Machines Explained*, University College London, London, 2009.
- [6] G. Anthony, H. Gregg, and M. Tshilidzi, *Classification Using SVMs: One-against-One Vs One-against-All*, University of the Witwatersrand, Johannesburg. South Africa, 2007.
- [7] C. Pony, X. Descombes, and J. Zerubia, *Hyperspectral satellite images classification in rural and periurban zones*, National institute of computer science and automatic research (INRIA). France, 2000.

Segmentation automatique du Foie par la morphologie mathématique, application à l'imagerie médicales TDM de l'abdomen

A. Belgherbi, I. Hadjidj, and A. Bessaid

Résumé— L'investigation du foie à partir des images TDM de l'abdomen est largement étudiée actuellement. Le problème pratique que nous nous proposons de traiter dans ce travail est celui de la segmentation du foie dans des images obtenues par scanner X. De nombreuses applications cliniques exigent la segmentation des images médicales pour améliorer l'identification et la localisation des lésions hépatique. Ces applications imposent une segmentation précise du foie à partir d'images CT. Nous nous intéressons dans ce travail à la méthode de segmentation par la morphologie mathématique en particulier la ligne de partage des eaux. La première étape, consiste à l'amélioration de la qualité de l'image par l'application de filtre à diffusion anisotropique suivi par des filtres. Par la suite, on procède à la segmentation du foie par la ligne de partage des eaux contrôlé par marqueurs. Pour valider la technique de segmentation proposée, nous l'avons testé sur plusieurs images. Les résultats expérimentaux seront décrits dans la dernière partie dans ce

Les mots clés —images TDM, segmentation du foie, filtre à diffusion anisotropique, la morphologie mathématique, les filtres morphologiques, la ligne de partage des eaux.

I. INTRODUCTION

L'imagerie médicale a un rôle essentiel dans le diagnostic et le traitement des maladies du foie, en particulier dans la détection / localisation et la caractérisation de divers types de tumeurs malignes [23]. Le but recherché dans ce travail est la segmentation du foie. La plupart des méthodes de segmentation automatique du foie sont basées sur la croissance des régions : Pohle et Toennies 2001[1], contour actif : Bekes et al, 2007 [2], Heimann et al., 2006 [3]. Rikxoort van et al. 2007 a présenté une méthode qui est basée sur la classification statistique des voxels en utilisant un modèle de probabilité du foie [4]. La méthode de Kainuller et al. 2007 utilise un modèle statistique de forme. Raja S Alomari, Suryaprakash Kompalli, Vipin Chaudhary 2008 utilisent champs de Markov et modèle du contour actif GVF pour la

segmentation du foie [5]. László Ruskó, György Bekes, Márta Fidrich 2009 proposent une méthode de segmentation automatique du foie CT images [6]. Ali Rafiee, Hassan Masoumi, Alireza Roosta 2009 utilisent les réseaux de neurones pour la détection du foie à partir des images IRM de l'abdomen [7]

Le reste de ce travail est organisé comme suit :

La section 2 est consacrée à l'application des opérateurs de la morphologie mathématique pour la segmentation du foie en particulier la ligne de partage des eaux. Notre algorithme de segmentation par la ligne de partage des eaux sera détaillé dans la section 3. Les résultats sont présentés dans la section 4 et nous terminons ce travail par une conclusion

II. OPERATEURS MORPHOLOGIQUE DE BASE

La théorie de la morphologie mathématique est maintenant utilisée dans plusieurs domaines, notamment le traitement d'images et l'analyse [8], [9]. Notez que les opérateurs en morphologie mathématique ont d'abord été appliqués sur des images binaires et ensuite étendu sur les images en niveaux de gris. Cette section offre un bref aperçu de quelques outils de base de la morphologie mathématique définie dans le contexte d'images binaires [10]

A. Élément structurant

Éléments structurants sont des matrices composées de 0 et 1. Leurs tailles sont généralement plus petites que l'image et où des valeurs non nulles définissent le quartier que vous voulez examiner. [10]

B. Le gradient morphologique

Le gradient morphologique d'une image I est défini par l'équation:

$$G(I) = (I \oplus ES) - (I \ominus ES) \quad (1)$$

Tel que $(I \oplus ES)$ et $(I \ominus ES)$ définissent respectivement la dilatation et l'érosion de l'image I par l'ES élément structurant.

C. La ligne de partage des eaux [10]

La ligne de partage des eaux est un algorithme de segmentation d'images basée sur la morphologie mathématique. Cette technique est attirante pour son calcul rapide et la haute précision dans la localisation des régions adjacentes dans des images moins contrastés. Il a été introduit

Manuscrit reçue le 30 Octobre 2011

A. Belgherbi, Laboratoire de Génie Biomédical, Université Abou- Bekr Belkaid, BP 119 Tlemcen Algérie (ai_bel@yahoo.fr).

I. Hadjidj, Laboratoire de Génie Biomédical, Université Abou- Bekr Belkaid, BP 119 Tlemcen Algérie.

A. Bessaid, Laboratoire de Génie Biomédical, Université Abou- Bekr Belkaid, BP 119 Tlemcen Algérie.

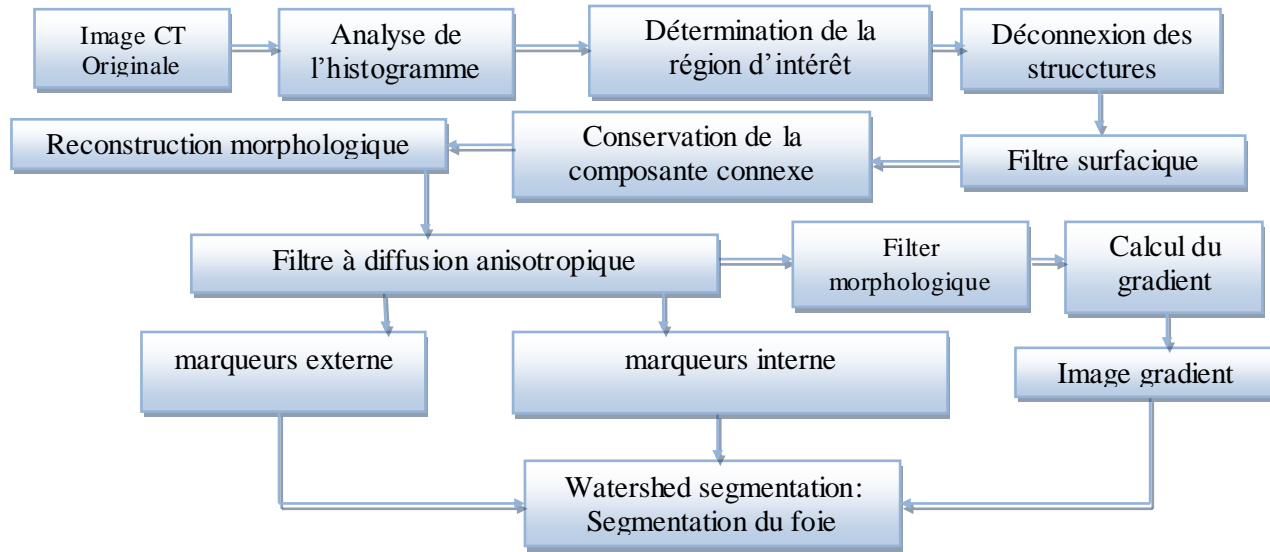


Fig. 1 schéma synoptique notre méthode

dans la morphologie mathématique par H. et C. Digabel Lantujoul [11] pour traiter des images binaires. Une collaboration de ce dernier avec S. Beucher [12] étend cette méthode sur des images en niveaux de gris. Dans la littérature, il existe deux types d'algorithmes permettant la mise en œuvre de la LPE [14]. Les premiers sont des algorithmes récursifs fondés sur le principe de l'immersion présenté par Vincent et Soille [17]. Les secondes sont basées sur l'algorithme hiérarchique de Meyer [15].

Géographiquement, la LPE est tous les barrages construits pour séparer les différents bassins versants Fig.2. Cette définition a été proposée par Vincent et Soille [17] et a été simulée par le principe de l'immersion. Ce principe repose sur l'idée que l'image est traitée comme une surface topographique. Nous commençons par inonder progressivement cette surface dans un lac du minimum de basse altitude. Chaque fois que l'eau de deux bassins différents peut fusionner, nous construisons un barrage. À la fin de l'inondation, chaque minimum est entouré par des barrages qui entourent le bassin versant associé. Ces barrages correspondent à la ligne de partage des eaux. Bien qu'il existe plusieurs autres définitions du bassin versant, mais il est encore le plus simple et la plus connue.

III. IMPLEMENTATION DE LA METHODE PROPOSEE POUR SEGMENTATION DU FOIE

Notre algorithme de segmentation par la ligne de partage des eaux a été utilisé ici pour la segmentation du foie. Le schéma synoptique de la méthode proposée est représenté sur la Fig.1. Chaque bloc sera expliqué dans les sections suivantes :

A. Réduction l'image en une zone d'intérêt ROI

1) *Seuillage* : Le seuillage est un passage obligatoire pour toute analyse morphologique ultérieure. Il permet de sélectionner les parties de l'image qui intéressent l'opérateur. Le foie est la plus grande glande de l'organisme. Le foie et la vésicule biliaire assurent un certain nombre de fonctions

essentielles de l'organisme. Du fait de l'importance de cet organe, les maladies qui l'affectent sont souvent préoccupantes. Il est situé pour sa plus grande partie du côté droit de la cavité abdominale, juste au-dessus du duodénum.

Le pic du foie est en général bien visible sur l'histogramme de l'image, un exemple d'application est donné par la Fig.3.b, une opération de seuillage est appliquée pour séparer le foie du fond. Pour assurer une bonne extraction du foie, il faut appliquer une érosion pour la déconnexion de structures et ensuite, appliqué un filtrage selon un critère de surface pour éliminer les pixels isolés Fig.3.d, et par la suite, cherché à marquer le foie (section III.B)

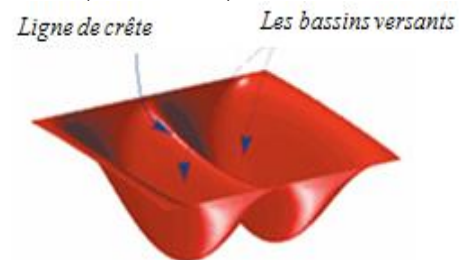
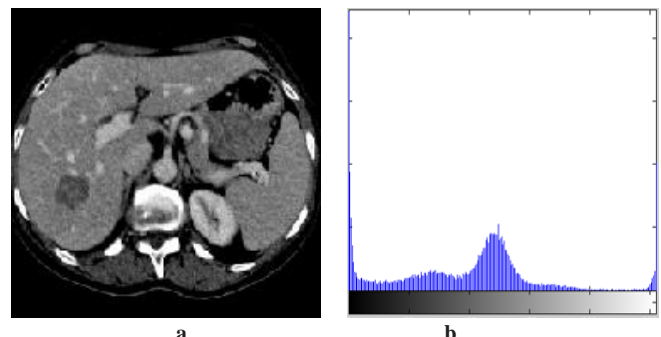


Fig.2 : Segmentation par LPE simplifié en 2 dimensions



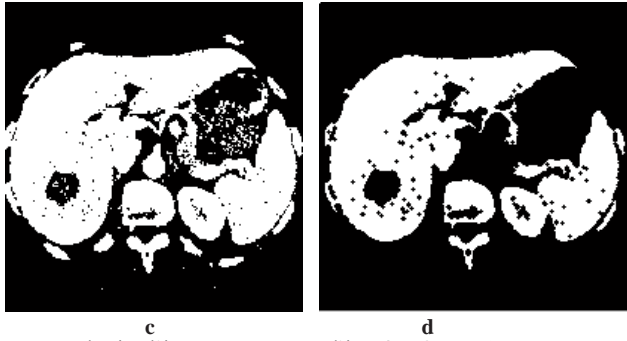


Fig.3 : Réduction l'image en une zone d'intérêt ROI : (a) image originale, (b) histogramme de (a), (c) image seuil, (d) déconnexion des structures puis application d'un filtre surfacique

B. Extraction du foie

1) *La reconstruction géodésique* : Dans cette étape on restreint les objets d'intérêt ROI par un filtre connexe. La reconstruction géodésiques un des types des filtres morphologiques. Elle implique deux images : une image marqueur et une image masque [16]. L'image marqueur va être transformée de manière itérative, et ceci conditionnellement à l'image masque. Finalement la reconstruction géodésique par dilatation nous permet d'extraire le foie (ROI) et de filtrer les autres organes tels que les reins, la rate...

C. Prétraitement

1) *Filtre à diffusion anisotropique* : Dans cette étape, les images TDM sont lissées en utilisant la diffusion anisotrope. Nous utilisons le modèle classique de filtrage anisotropie de Perona Malik [18][19]. Durant le processus de la diffusion la version de lissage de l'image I est calculée itérativement par :

$$\begin{cases} \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \text{div}(g(\|\nabla I(x, y, t)\|) \cdot \nabla I(x, y, t)) \\ I\left(\begin{matrix} x, y, 0 \end{matrix}\right) = I_0\left(\begin{matrix} x, y \end{matrix}\right) \\ \frac{\partial I}{\partial n}\bigg|_{\partial\Omega} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Où 'g': appelée fonction de diffusion, est une fonction non négative, monotone décroissante telle que $g(0) = 1$, div est la divergence, t : est un paramètre artificiel de temps, et où ∇ est le gradient de l'image. $\|\nabla I\|$ est l'amplitude du gradient, et $g(\|\nabla I\|)$ est une fonction d'arrêt de contour (fonction de diffusion. La fonction 'g' peut être définie de la façon suivante :

$$g(I) = \exp\left(-\left(\frac{\|\nabla I\|^2}{K}\right)\right) \quad (3)$$

$$g(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\|\nabla I\|^2}{K}\right)^2} \quad (4)$$

Le coefficient K est appelé coefficient de diffusion. Une étude détaillée de diffusion anisotrope peut être trouvée dans la réf.[20]

Ce filtre diminue la sur-segmentation résultante de l'application de méthodes de détection de contours comme la Ligne de Partage des Eaux (LPE). Ce type de filtrage est particulièrement intéressant lorsque les images à analyser sont bruitées. En effet le bruit induit de multiples bassins versants non-significatifs. Un moyen aisé de les supprimer est d'effectuer un filtrage passe-bas. Ce filtre a l'inconvénient d'atténuer les contours. C'est pourquoi on utilise un filtre non-linéaire Fig.4.b.

D. Choix du gradient

Généralement, l'algorithme de ligne de partage des eaux est appliqué sur l'image gradient de l'image à segmenter. La ligne de partage des eaux va coïncider avec les crêtes de l'image gradient.

Le gradient morphologique est une opération résiduelle en utilisant une combinaison de la dilatation, l'érosion et / ou l'image d'origine (section II). Comme d'autres gradients, il nous permet de mettre en évidence des variations d'intensité et de l'image est utilisée pour effectuer la détection de contour. Étant donné une image en niveaux de gris f et un élément structurant B , le gradient morphologique est défini par [22] :

$$G(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B)$$

Avec \oplus et \ominus représentent respectivement la dilatation et l'érosion,

Dans notre cas nous avons des objets plus clairs que le fond (le foie) d'où, le gradient interne génère des contours moins épais par rapport aux deux autres gradient, ce qui est désirable, de plus, le gradient interne délimite l'intérieur de l'objet, donc l'utilisation du gradient interne est recommandé dans notre travail. [21]

E. L'algorithme de la ligne de partage des eaux

1) *La ligne de partage des eaux avec marqueurs* : Habituellement, quand on veut calculer une ligne de partage d'une image, on obtient une sur-segmentation puisque le nombre de régions dans le résultat final est égal au nombre de minimum régionaux. Parfois, il est souhaitable d'employer un ensemble de marqueurs pour fixer le nombre de régions et pour marquer quelques sommets avec une étiquette spécifique. Traditionnellement, pour faire ceci, on doit procéder à une reconstruction morphologique (section III.B) de l'image avant de calculer la ligne de partage eaux. Cette reconstruction est nécessaire sur l'image originale pour devenir les minimums d'une nouvelle image. Par conséquent, il est possible d'appliquer l'algorithme de ligne de partage des eaux par marqueur [13] sur le gradient.

IV. RESULTATS

Notre travail repose essentiellement sur le traitement et la segmentation d'image médicale acquise par le biais du scanner X. Après l'étude des techniques de segmentation la ligne de partage des eaux; nous passons à l'application de notre méthode sur les images médicales et en particulier les images TDM pour la segmentation Pour réaliser ceci, nous avons travaillé sur différents images Fig.4 et Fig.5.

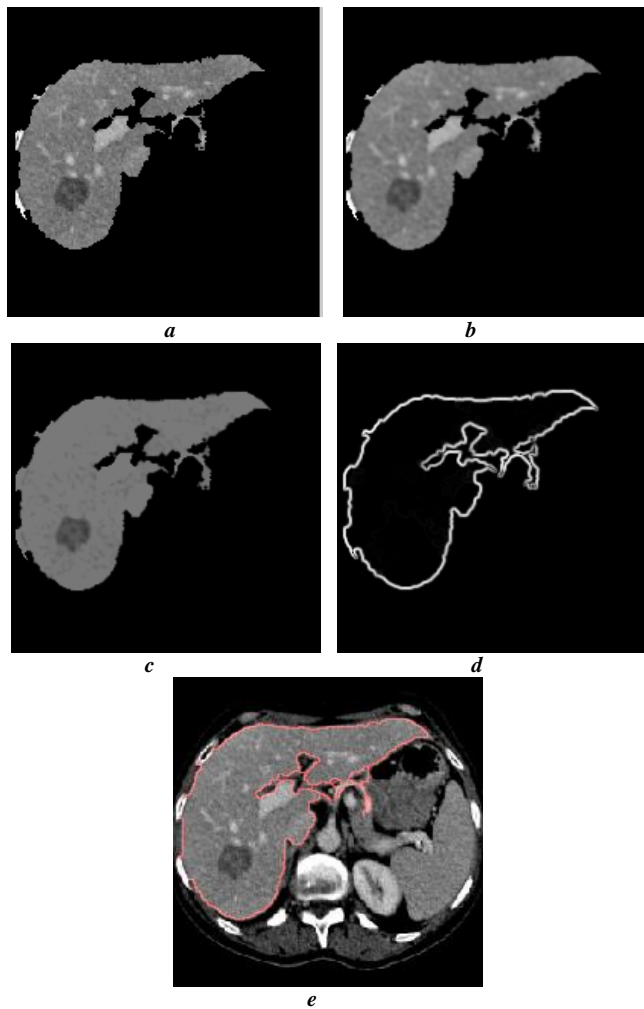


Fig. 4 résultats de la segmentation du foie par notre méthode : (a) image originale, (b) lissage par filtre à diffusion anisotropique, (c) filtre morphologique, (d) le gradient morphologique interne gradient, (e) segmentation du foie

La première étape, consiste à renforcer les contours par le filtrage Fig.4.b.

La deuxième étape comprend la segmentation. Nous nous intéressons dans ce travail à la segmentation des images par la morphologie mathématique basée sur la ligne de partage des eaux.

Afin de segmenter le foie, nous avons cherché à marquer la région d'intérêt par un seuillage Fig.3 suivi d'une reconstruction morphologique, Fig.4.a. Le choix du seuil est important car le niveau de gris de chaque image change d'une image à l'autre.

Ensuite on cherche à calculer les marqueurs internes et externes. Ces marqueurs sont calculés à partir de l'image lissée par le filtre à diffusion anisotropique.

L'algorithme de la segmentation par la LPE est appliqué sur l'image gradient. Ce dernier n'est pas calculé à partir de l'image originale. Tout d'abord on applique un filtre morphologique. La morphologie mathématique est plus couramment utilisée dans l'image prétraitement avant la segmentation par la ligne de partage des eaux. Nous avons appliqué un prétraitement d'image par un filtre

morphologique Fig.4.c, puis calculer le gradient morphologique interne,

Et en fin, on applique l'algorithme de la segmentation par la ligne de partage des eaux par marqueurs. Et le résultat final de la segmentation du foie par notre méthode est illustré sur la Fig.4.e

Différentes images ont été utilisées pour évaluer la performance de notre méthode sont données par la figure suivante :

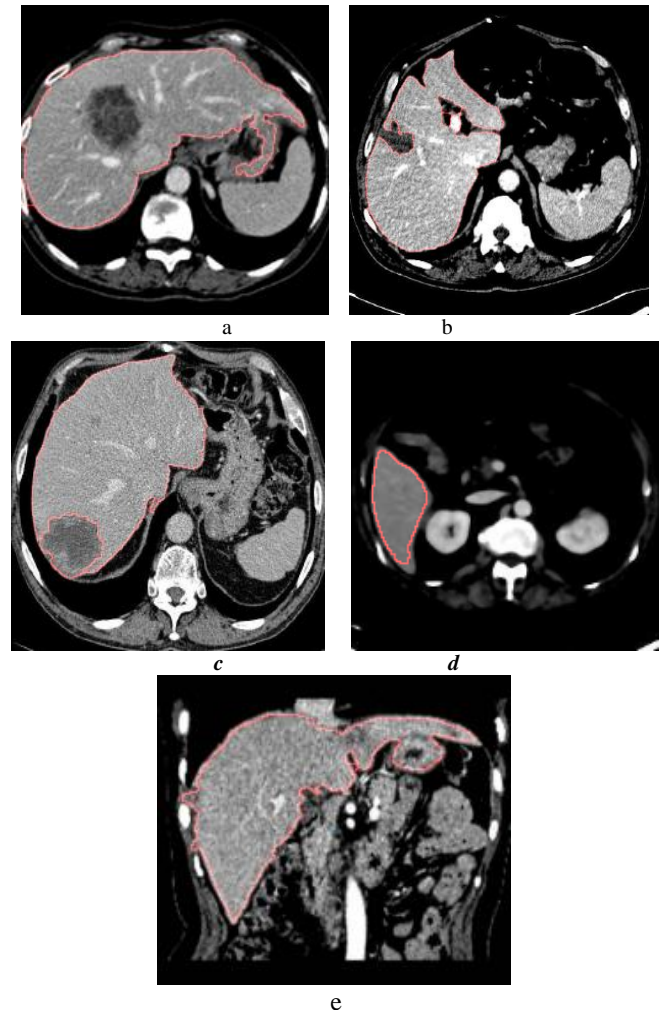


Fig. 5 résultats de la segmentation du foie par notre méthode pour différentes images.

V. DISCUSSION

La méthode proposée est implémentée en utilisant l'environnement Matlab.7.0.4. Nous avons utilisé des images tomodensitométriques d'abdomen pour tester l'algorithme proposé. Pour évaluer la performance de notre système, nous avons comparé la segmentation automatique avec la segmentation manuelle réalisée par un expert. Nous avons utilisé quatre mesures : la Sensibilité, la Spécificité, la Précision et le Taux d'Erreur données par les formules (9) à (12) :

$$\text{sensibilité} = Vp / (Vp + Fn) \quad (9)$$

$$\text{spécificité} = Vn / (Vn + Vp) \quad (10)$$

$$\text{sprécision} = (Vp + Vn) / (Vp + Vn + Fp + Fn) \quad (11)$$

$$\text{Rapport d'erreur} = (Fp + Fn) / (Vp + Vn + Fp + Fn) \quad (12)$$

Avec Vp : le nombre des vrai positif ; Vn : le nombre des vrai négatif, Fp : le nombre des faux positif et Fn est le nombre des faux négatif.

La technique proposée donne des résultats prometteurs, la sensibilité et de spécificité pour la segmentation automatique du foie sont respectivement 95% et 99%. Ce qui montre que notre algorithme proposé pour la détection du foie est encourageant. Mais dans certains cas, le résultat obtenu n'est pas acceptable

Dans le future, nous cherchons à palier ces problèmes et d'améliorer notre approche pour la segmentation des diverses lésions présents dans le foie.

REFERENCES

- [1] Pohle, R., Toennies, K.D, *Segmentation of medical images using adaptive region growing*, Proceedings of the SPIE Medical Imaging 4322, 1337–1346. 2001.
- [2] Bekes, Gy., Nyúl, L.G., Máté, E., Kuba, A., Fidrich, M., 3D segmentation of liver, kidneys and spleen from CT images, *Proceeding of the International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 2 (1), 45–46. 2007.
- [3] Heimann, T., Wolf, I., Meinzer, H.P., Active shape models for a fully automated 3d segmentation of the liver – an evaluation on clinical data, In: Larsen, R., Nielsen, M., Spöring, J. (Eds.), *MICCAI 4191 of LNCS*. Springer-Verlag, pp. 41–48. 2006.
- [4] van Rikxoort, E., Arzhaeva, Y., van Ginneken, B., Automatic segmentation of the liver in computed tomography scans with voxel classification and atlas matching, In: *MICCAI 2007 Workshop Proceedings of the 3D Segmentation in the Clinic: a Grand Challenge*, pp. 101–108. 2007.
- [5] Kainuller, D., Lange, T., Lamecker, H., Shape constrained automatic segmentation of the liver based on a heuristic intensity model, In: *MICCAI 2007 Workshop Proceedings of the 3D Segmentation in the Clinic: a Grand Challenge*, pp. 109–116. 2007.
- [6] Raja S Alomari, Suryaprakash Kompalli, Vipin Chaudhary. Segmentation of the Liver from Abdominal CT Using Markov Random Field model and GVF Snakes, *IEEE DOI 10.1109/CISIS*. 135. 2008.
- [7] Ali Rafiee, Hassan Masoumi, Alireza Roosta., Using Neural Network for Liver Detection in Abdominal MRI Images, *IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*. 2009.
- [8] C. Di Ruberto, A. Dempster, S. Khan and B. Jarra, Analysis of infected blood cell images using morphological operators, *Image And Vision Computing*, Vol. 20, pp. 133-146, 2002.
- [9] O. Lezoray and H. Cardot, Cooperation of color pixel classification schemes and color watershed : a study for microscopical images, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 11, N. 7, pp. 783-789, 2002.
- [10] Mohamed Ali Cherni, Mounir Sayadi and Farhat Fnaiech .Using granulometry and watershed for breast tumor cells segmentation. 978-1-4244-4398-7/09/\$25.00 © IEEE. 2009.
- [11] H. Digabel and C. Lantujoul, Iterative algorithms, *Proc. 2nd European Symp. Quantitative Analysis of Microstructures in Material Science, Biology and Medicine*, Caen, France, Oct. 1977, J. L. Chernant, Ed. Stuttgart, West Germany: Riederer Verlag, pp. 85-99. 1978.
- [12] S. Beucher and C. Lantujoul, *Use of watershed in contour detection*, *Proc. Int. Workshop on Image Processing, Real-time edge and motion detection/Estimation*, Rennes, France, Septembre 1979.
- [13] Cédric Allène, Jean-Yves Audibert, Michel Couprie, Renaud Keriven , Some links between extremum spanning forests, watersheds and min-cuts, *Image and Vision Computing* 28(2010), 1460–1471.
- [14] J. Roerdink and A. Meijster, The watershed transform: Definition, algorithms and parallelization strategies, *Fundamenta Informaticae*, Vol. 41, pp. 187228, 2001.
- [15] F. Meyer, Sequential algorithms for cell segmentation: Maximum efficiency, *Proceedings International Symposium on Clinical Cytometry and Histomery*, Schloss Elmau, Apr. 1986
- [16] Benoît Naegel, 'CET 47 - Outils pour le traitement et l'analyse d'images Introduction à la morphologie mathématique. 1 mars 2008
- [17] L. Vincent and P. Soille, Watersheds in digital Spaces: An efficient Algorithm based on Immersion Simulations, *IEEE Transactions on Pattern analysis and machine Intelligence*, Vol. 13, N. 6, pp. 583-598. June 1991.
- [18] P. Perona, J. Malik, Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion, *IEEE Trans Pattern Anal. Mach. Intell.* 12 (1990) 629–639
- [19] Marius George Linguraru, Jianhua Yao, Rabindra Gautam, James Peterson, Zhixi Li, W. Marston Linehan, Ronald M. Summers, 'Renal tumor quantification and classification in contrast-enhanced abdominal CT', *Pattern Recognition* 42 (2009) 1149 – 1161
- [20] Weickert, *Anisotropic Diffusion in Image Processing*, Teubner, Stuttgart, 1998
- [21] M Benoît Naegel, segmentation des organes de l'abdomen par des critères topologiques et morphologiques, thèse du doctorat de l'université Louis Pasteur de Strasbourg, 15 octobre 2004
- [22] M. FAESSEL & D. JEULIN, Segmentation of 3D microtomographic images of granular materials with the stochastic watershed, *Journal of Microscopy*, Vol. 239, Pt 1 2010, pp. 17–31
- [23] Xiuying Wang, Changyang Li, Stefan Eberl, Michael Fulham and Dagan Feng, Automated Liver Segmentation for Whole-Body Low-Contrast CT Images from PET-CT Scanners, 978-1-4244-3296-7/09/\$25.00 ©2009 IEEE

Simulation et analyse d'images échographiques d'un tissu biologique mou

A BENNAMANE, T BOUTKEDJIRT

Résumé—Les tissus biologiques peuvent être étudiés à partir du niveau de gris de l'image échographique. Celui ci traduit la réflectivité et la force de diffusion de ces tissus. Dans cette étude, nous abordons la modélisation du processus de formation d'images échographiques. Nous nous intéressons à des milieux globalement homogènes, dans lesquels sont incrustés des diffuseurs ponctuels (régulièrement ou aléatoirement répartis). Dans une première phase, nous montrons que la propagation des ondes ultrasonores à travers ces milieux est liée à leurs caractéristiques structurales. Il est alors possible de remonter à ces caractéristiques par une procédure d'inversion. Dans une deuxième étape, nous utilisons le logiciel Field II pour simuler des images échographiques de ces milieux. Les résultats obtenus montrent que l'allure des signaux échographiques est fortement dépendante de la constitution du milieu exploré. Les images obtenues à partir de 100 lignes échographiques reflètent une bonne concordance avec les milieux simulés. Nous remarquons que la qualité de ces images s'améliore en procédant à une focalisation du faisceau ultrasonore et à une apodisation de l'ouverture du transducteur ultrasonore utilisé.

Mots clés— Propagation ultrasonore, tissu biologique, simulation, image échographique.

I. INTRODUCTION

Le caractère non destructif des ultrasons, a largement contribué à leur utilisation dans le domaine médical. Signalons que les premières images échographiques d'organes humains, obtenues par ondes ultrasonores, ont été réalisées par J.J Wild et al en 1952 [1]. L'évolution rapide des techniques ultrasonores a beaucoup contribué au renforcement de leur emploi pour l'établissement de diagnostic et également pour les applications thérapeutiques.

Les images réalisées par ondes ultrasonores sont basées sur les phénomènes de réflexion et de diffusion qui se produisent lors de la traversée du milieu exploré par un faisceau ultrasonore. L'analyse de ces phénomènes et leur interprétation renseignent sur la structure du milieu. Ils sont à l'origine de la formation d'échos donc d'images échographiques. Ces échos sont d'amplitude variable; leurs positions dépendent de celles des hétérogénéités présentes dans le milieu sondé.

Manuscrit soumis le 26 Octobre 2011.

A. Bennamane, Laboratoire LPM, Faculté de Physique, USTHB, BP 32, El Alia, Alger, Algérie. benamane@yahoo.

T. Boutkedjirt, Laboratoire LPM, Faculté de Physique, USTHB, BP 32, El Alia, Alger, Algérie.

Plusieurs techniques sont utilisées pour l'acquisition d'une image échographique. L'échographie en mode A permet de représenter l'amplitude des échos émanant des différentes structures du milieu, en fonction du temps qui s'écoule à partir de l'émission de l'onde ultrasonore. Il s'agit d'un mode unidimensionnel. Avant leur affichage sur écran les échos reçus par le transducteur sont amplifiés puis démodulés. Selon la position des diffuseurs et des interfaces, la quantité de signaux acquis varie et se répartit sur une large gamme d'amplitudes. Pour visualiser tous ces signaux, on procède à une compression logarithmique. La taille de la plage des amplitudes est appelée dynamique du signal. Elle se situe généralement entre 50 et 70 dB. On construit une image d'échographie en mode B en procédant à un balayage, mécanique ou électronique du faisceau ultrasonore dans un plan. A partir de l'amplitude des signaux acquis on codifie la brillance de l'image échographique en niveaux de gris, d'où le nom d'échographie B, donné à ce mode. Il en résulte une image sur laquelle les échos sont représentés à un emplacement correspondant à leur profondeur et dont la brillance est proportionnelle à l'amplitude de diffusion.

II. MODELISATION DE LA PROPAGATION DES ULTRASONS DANS LES TISSUS BIOLOGIQUES MOUS

La propagation des ondes ultrasonores dans un milieu est liée aux caractéristiques matérielle, structurale et géométrique de celui-ci. Quand les ultrasons traversent des milieux biologiques de caractéristiques acoustiques différentes, ils donnent naissance à un ou plusieurs phénomènes physiques tels que: la réflexion, la réfraction, la diffusion et l'absorption [2].

A. Réflexion et réfraction

Le corps humain est composé de plusieurs constituants biologiques caractérisés par différentes impédances acoustiques. Ceci donne lieu à l'existence d'interfaces entre les différents milieux traversés par l'onde ultrasonore. Une onde incidente qui aborde une interface séparant deux milieux subit une réflexion spéculaire et une réfraction. Selon la loi de Snell-Descartes, les angles d'incidence θ_i , de réflexion θ_r , et de réfraction θ_t sont liés par les relations : $\theta_r = \theta_i$ et $\sin \theta_i / c_1 = \sin \theta_t / c_2$, où c_1 et c_2 sont respectivement les vitesses de propagation de l'onde ultrasonore dans le milieu 1 et le milieu

2. L'intensité ultrasonore réfléchiée I_r et l'intensité transmise I_t sont données par [3] :

$$I_r = I_i \frac{(z_2 \cos \theta_i - z_1 \cos \theta_t)^2}{(z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t)^2} \quad (1)$$

et

$$I_t = I_i \frac{4z_2 z_1 \cos^2 \theta_i}{(z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t)^2} \quad (2)$$

I_i est l'intensité de l'onde incidente, z_1 représente l'impédance acoustique caractéristique du premier milieu et z_2 celle du deuxième milieu.

B. Diffusion

La diffusion se produit lorsque l'onde ultrasonore rencontre une structure composée d'éléments dont les dimensions sont très inférieures à la longueur d'onde. On parle, alors, de réflexion diffuse ou de diffusion de Rayleigh. Elle est indépendante de l'angle d'incidence et engendre une multitude de réflexions de faible amplitude, contrairement à la réflexion spéculaire qui en dépend fortement. Notons que lorsque la taille des diffuseurs est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du rayonnement ultrasonore, la diffusion de Rayleigh laisse la place à la diffusion de Mie.

En l'absence de diffusion (milieu homogène), la propagation de l'onde ultrasonore, en régime linéaire, est régie par l'équation :

$$\nabla^2 p(\vec{r}, t) - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

où c_0 est la célérité des ondes ultrasonores dans un milieu non dissipatif et sans conduction thermique. $p(\vec{r}, t)$ est la pression acoustique en un point M de vecteur position \vec{r} à l'instant t . La célérité c_0 dépend des caractéristiques du milieu, ρ_0 et χ_0 , qui sont respectivement la densité et la compressibilité moyennes à l'équilibre. Dans un tissu biologique apparaissent des fluctuations de la densité ρ et de la compressibilité χ autour des valeurs moyennes ρ_0 et χ_0 . Les ondes ultrasonores sensibles à ces variations seront diffusées. Les échos qui en résultent sont attribués aux changements réguliers ou aléatoires de ces paramètres. Nous pouvons donc considérer le tissu biologique comme étant un milieu inhomogène de volume V dont les variations relatives de la compressibilité χ et la densité ρ , sont définies par les coefficients :

$$\gamma(\vec{r}) = \frac{\chi(\vec{r}) - \chi_0}{\chi_0} \text{ et } \mu(\vec{r}) = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (4)$$

L'équation d'onde dans ce cas s'écrit :

$$\nabla^2 p(\vec{r}, t) - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = -f(\vec{r}, t) \quad (5)$$

$f(\vec{r}, t)$ est le terme introduit par le phénomène de diffusion dans le milieu. Il traduit l'interaction entre l'onde ultrasonore incidente et les inhomogénéités dans le volume V . Selon la formulation de Morse [4] l'équation (5) s'écrit

$$\nabla^2 p(\vec{r}, t) - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = \gamma(\vec{r}) \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p(\vec{r}, t)}{\partial t^2} + \Delta\mu(\vec{r}) \Delta p(\vec{r}, t) \quad (6)$$

La pression acoustique $p(\vec{r}, t)$ qui caractérise l'écho émanant d'un point diffuseur, dans le cas d'une diffusion simple (approximation de Born), est donnée par [5]:

$$p(\vec{r}, t) = \frac{\rho_0}{2c_0^2} E_m(t) \otimes_t \frac{\partial v_n^3}{\partial t^3} \otimes_t h_{pe}(\vec{r}, t) \otimes_r f_m(\vec{r}) \quad (7)$$

\otimes_t et \otimes_r désignent respectivement les produits de convolution temporel et spatial. $E_m(t)$ est la fonction électroacoustique du transducteur et v_n la vitesse de vibration normale à sa surface. h_{pe} est la réponse impulsionnelle en mode écho du milieu de propagation ; $h_{pe} = h_e \otimes_t h_e$, h_e étant la réponse impulsionnelle du milieu de propagation en émission (elle est identique à celle de la réponse en réception).

$f_m(\vec{r})$ est une fonction liée à la distribution des inhomogénéités. Elle s'exprime au moyen de la variation $\Delta\rho$ de la densité et de la variation Δc de la vitesse [6] :

$$f_m(\vec{r}) = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} - \frac{2\Delta c}{c_0} \quad (8)$$

C. Atténuation

L'atténuation de l'énergie ultrasonore observée lors de l'interaction des ultrasons avec les milieux biologiques résulte principalement des mécanismes de diffraction, de réflexion, de diffusion et d'absorption. Elle conduit à une décroissance exponentielle de l'énergie transportée par le faisceau ultrasonore le long de la direction de propagation ; elle est étroitement liée à la profondeur de pénétration et à la fréquence de l'onde. Le coefficient d'atténuation α , exprimé en dB /cm s'écrit :

$$\alpha = \frac{1}{d} 10 \log \frac{I_i}{I(d)} \quad (9)$$

$I(d)$ est l'intensité de l'onde ultrasonore après un parcours d'une distance d dans le tissu insonifié. Pour les milieux biologiques, α suit une loi du type $\alpha = k f^\beta$. f est la fréquence de l'onde β est une constante liée au tissu biologique étudié, pour

les tissus mous β varie entre 1 et 2 [7]. k est un coefficient de proportionnalité

III. SIMULATION DE L'IMAGE ECHOGRAPHIQUE

Le milieu de propagation que nous avons simulé est supposé être homogène et isotrope. Il est caractérisé par une densité ρ_0 de 1000 kg/m^3 et une vitesse de propagation c_0 égale à 1540 m/s . Dans ce milieu, nous avons répartis aléatoirement 5000 diffuseurs ponctuels, dans un volume parallélépipédique de $20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$. Ils émettent indépendamment les uns des autres dans toutes les directions de l'espace. L'amplitude de diffusion suit une loi de distribution Gaussienne. Nous avons placé dans ce milieu, à 55 mm du transducteur un kyste sphérique de rayon 5 mm centré et 5 diffuseurs ponctuels, équidistants les uns des autres de 5 mm fortement échogènes et de même amplitude de diffusion. Le transducteur utilisé pour cette simulation est une barrette linéaire constituée de 64 éléments de 1 mm de largeur chacun, séparés par une distance de 0.1 mm et de fréquence nominale 2.25 MHz . Ce choix correspond à celui des sondes fréquemment utilisées en échographie médicale. Une représentation de la sonde linéaire est schématisée sur la figure (1). L'acquisition de 100 lignes échographiques échantillonnées à 100 MHz , de ce milieu, a été réalisée sous Matlab avec le logiciel de simulation Field II, [8]. Celui-ci est basé sur la théorie des systèmes linéaires, Il utilise le concept de la réponse impulsionnelle spatiale pour permettre le calcul du champ acoustique en émission et en réception. La figure (2) est une illustration de l'image du fantôme biologique considéré.

Les simulations sont réalisées d'abord pour de simples focalisations à l'émission et à la réception du transducteur, puis pour une focalisation multiple (focalisation en différents points). La procédure de focalisation du faisceau ultrasonore à la réception et d'apodisation de l'ouverture du réseau de transducteurs est illustrée par la figure (3). Une fenêtre de Hanning est utilisée pour cette apodisation.

L'image échographique reconstruite (B) peut être comparée à l'image (A) du fantôme initialement considéré (figure 2) moyennant le calcul du coefficient de corrélation normé C_{AB} . Ce coefficient est donné par la relation :

$$C_{AB} = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left[\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \right] \left[\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2 \right]}} \quad (10)$$

où A_{mn} et B_{mn} sont respectivement les matrices représentant les images A et B, et \bar{A} et \bar{B} les valeurs moyennes qui leur sont associées.

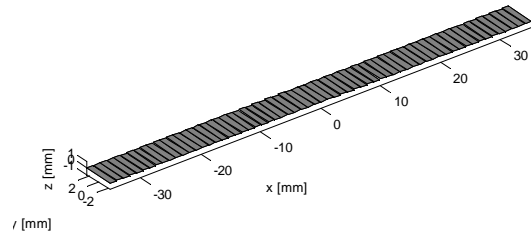


Figure 1. Schématisation de la barrette linéaire

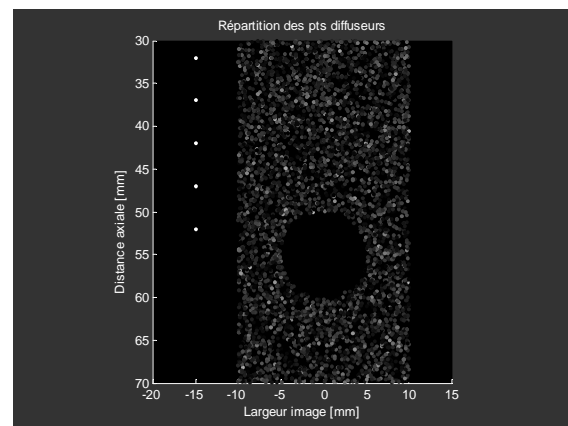


Figure 2. Image initiale du fantôme biologique

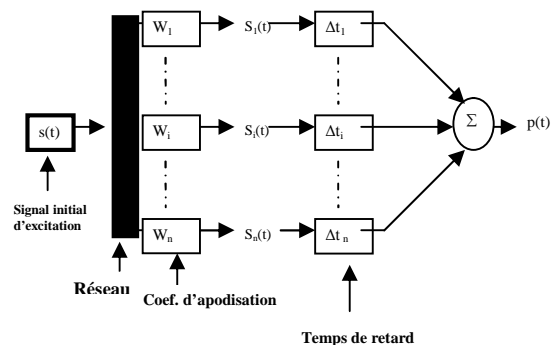


Figure 3. Diagramme du principe d'apodisation et de focalisation du faisceau ultrasonore

IV. RESULTATS ET DISCUTION

Les images échographiques du fantôme biologique que nous avons obtenues ont été reconstituées à partir de 100 lignes échographiques. L'allure des signaux temporels (signaux HF) obtenus pour les lignes 5 et 50 et 100 est illustrée par les figures 4a, 4b, 4c respectivement. Les lignes 5 et 100 sont celles qui correspondent aux extrémités du fantôme. La ligne 50 est celle qui est en rapport avec la partie centrale du fantôme.

Une transformation de Hilbert appliquée à ces signaux HF a été utilisée pour extraire l'enveloppe de ces signaux. Les enveloppes correspondant aux figures 4a, 4b et 4c sont représentées par les figures 5a, 5b et 5c respectivement.

Sur la figure (5a), la présence des 5 diffuseurs fortement échogènes dans le fantôme se traduit par l'apparition de 5 pics d'amplitude à différentes profondeurs. La localisation de ces diffuseurs peut être évaluée avec une bonne précision. Le premier diffuseur est localisé à une profondeur de 32,69 mm, le deuxième à 37,65 mm, le troisième à 42,65 mm, le quatrième à 47,65 mm et le cinquième à 52,58 mm. L'amplitude associée à chacun de ces diffuseurs diminue au fur que la distance séparant le diffuseur du transducteur augmente. Ceci est dû au phénomène d'atténuation de l'onde ultrasonore lors de sa propagation. La zone anéchogène associée au kyste présent dans le fantôme est clairement visible sur la figure (5b). Elle correspond à la partie du signal où l'amplitude est nulle. La taille et la position du kyste peuvent être également déterminées. Il s'agit d'un kyste de rayon 5 mm distant de 55 mm de la surface du transducteur. Sur la figure (5c) une multitude de diffuseurs peut être détectée, elle correspond à la partie droite qui borde le fantôme. Ces résultats sont conformes avec la structure du fantôme biologique considéré.

Les images ultrasonores en mode B du fantôme considéré réalisées à partir de 100 lignes échographiques, pour différentes focalisations du faisceau ultrasonore, sans ou avec apodisation de l'ouverture du transducteur sont représentées sur la figure (6). Les différents coefficients de corrélation normée C_{AB} entre l'image initiale et celle obtenue avec la barrette linéaire pour différentes configurations sont consignés sur le tableau (1)

Les images échographiques obtenues correspondent bien au milieu simulé. Sur chacune de ces images, on retrouve les différentes zones constituant le fantôme. La zone anéchogène (kyste) est représentée par le pourtour noir. Les points blancs repérables sur les images sont associés aux 5 diffuseurs très échogènes. La taille du kyste, sa localisation, ainsi que la position des cinq diffuseurs (fortement échogènes) peuvent être ainsi estimées à partir de ces images. Cependant, nous constatons une dégradation de la qualité de l'image (mauvaise visibilité du kyste et des cinq diffuseurs) lorsque le faisceau ultrasonore n'est pas convenablement focalisé et en l'absence d'apodisation.

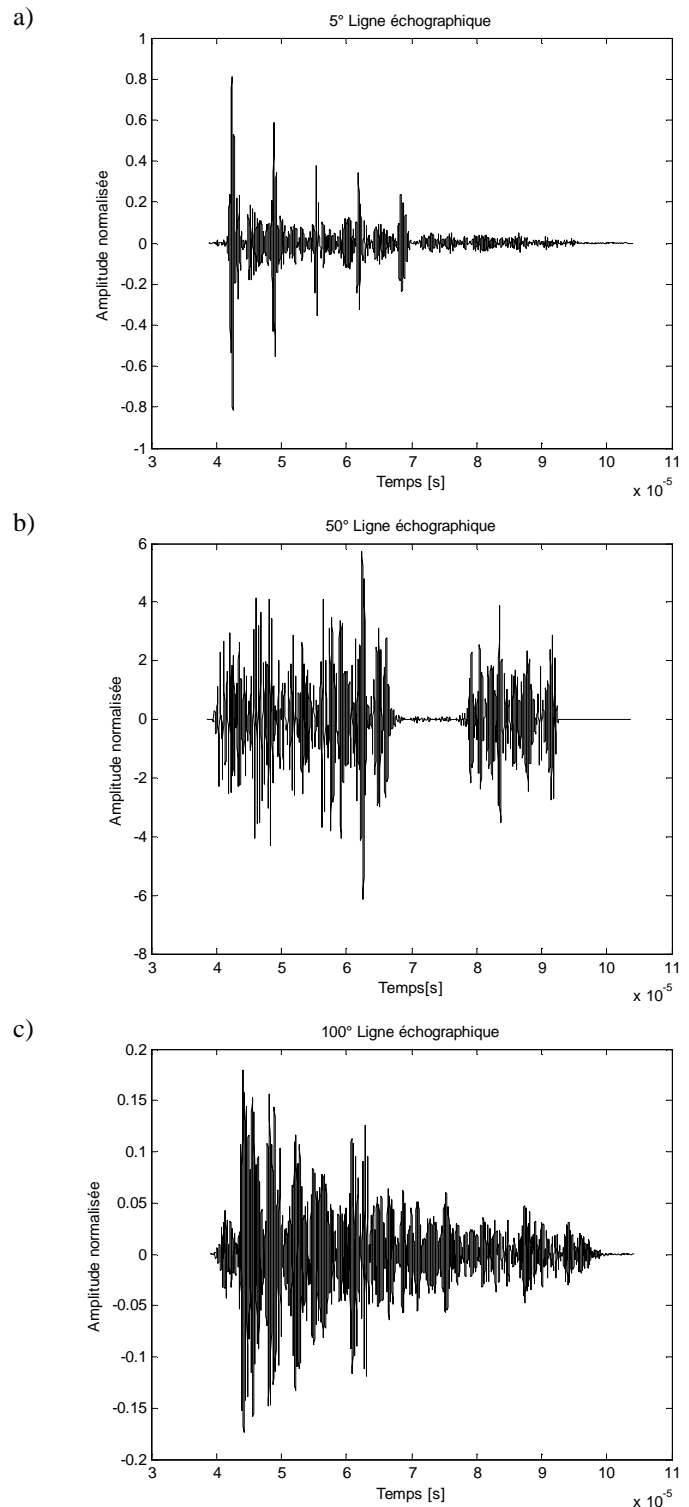


Figure 4 : Signal HF correspondant à la 5°, 50° et 100° ligne échographique

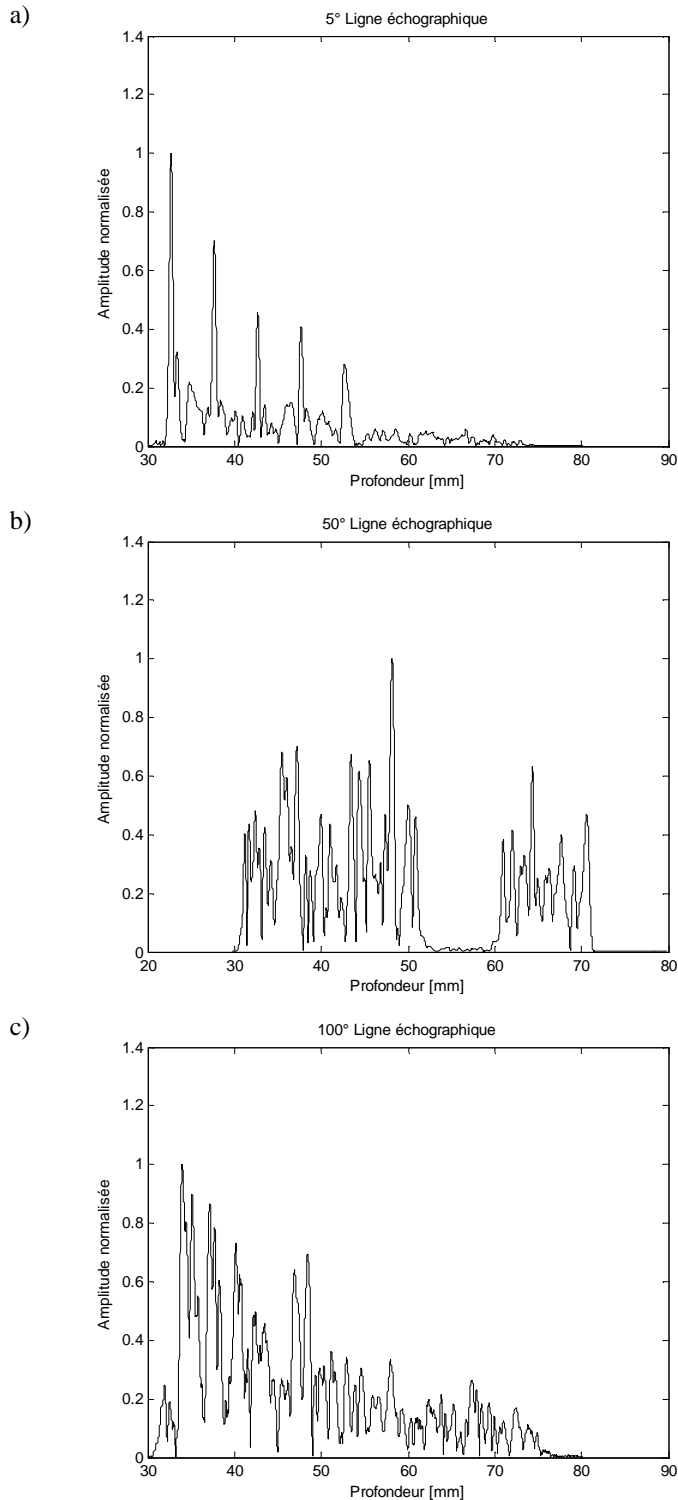


Figure 5 : Enveloppe des signaux échographiques correspondant à la figure 4 en fonction de la profondeur axiale

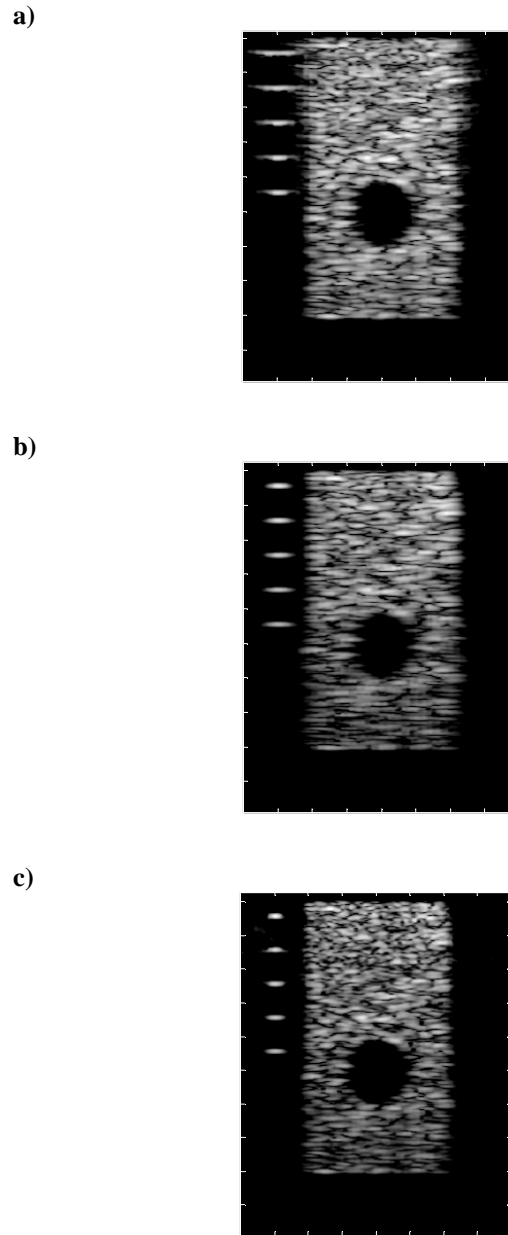


Figure 6 : Image du fantôme obtenue avec la barrette linéaire :
a) sans focalisation ni apodisation,
b) avec focalisation et sans apodisation
c) avec focalisation à l'émission et a la réception.et apodisation

Le coefficient de corrélation croît quand on évolue de la configuration sans focalisation ni apodisation vers celle où l'on procède à une focalisation dynamique et une apodisation. Il passe de 0,7559 à 0,8072.

Coeff. de corrélation normé	Sans foc. ni apod.	Avec foc. dyn. en récep.	Avec foc dyn. en récep. et en émis.	Avec foc dyn. et apod.
C_{AB}	0,7559	0,7567	0,7723	0,8072

TABEAU 1. Coefficient de corrélation normé entre l'image initiale et l'image échographique obtenue avec une barrette linéaire

V. CONCLUSION

Le milieu que nous avons simulé présente des caractéristiques acoustiques similaires à celles des tissus biologiques mous. En s'appuyant sur le logiciel de programmation Field II, nous avons pu obtenir des images échographiques exploitables. A travers ces images et les signaux HF nous avons pu identifier le kyste, dénombrer et localiser les diffuseurs fortement échogènes, avec une bonne précision. Les signaux HF et Les images obtenues peuvent donc nous renseigner sur certaines caractéristiques du milieu (dimensions et positions du kyste et des diffuseurs particuliers). Cependant, la qualité des images obtenues est liée au choix du transducteur (forme, taille, nombre d'éléments) ainsi qu'à la focalisation du faisceau ultrasonore et à l'apodisation de la fonction d'ouverture du transducteur aussi bien à l'émission qu'à la réception. Au vu des résultats obtenus, nous pouvons affirmer que la résolution de l'image échographique est meilleure quand la focalisation est dynamique et lorsque l'apodisation est appliquée.

Grâce à cette simulation les effets des différents paramètres sur la qualité des images peuvent être estimés. Elle permet de faire un choix optimal des transducteurs utilisés en imagerie médicale afin d'obtenir une image ultrasonore fiable

REFERENCES

- [1] Chivers C., « *Tissue characterization* », Ultrasound in Med. and Biol., 1981, vol. 7, pp. 1-20.
- [2] Reichl T. et al., « *Ultrasound goes GPU: real-time simulation using CUDA* », Proceeding SPIE Medical Imaging , 2009, Vol. 7261, pp. 1-10
- [3] Minghou S., « *Ultrasound Imaging Simulation and Echocardiographic Image Synthesis* », IEEE Image processing 2000, Proceedings International Conference, 2000 , pp. 420-423
- [4] Morse P, Ingard N., Theoretical Acoustics, 1968, New York, Mc Graw Hill.
- [5] Jensen J., « *Linear description of ultrasound imaging system* », Notes for the international school on advanced ultrasound imaging, University of Denmark, 1999.
- [6] Jensen J., « *A model for the propagation and scattering of ultrasound in tissue* », J. Acoust. Soc. Am., 1991, vol. 89 -1, pp. 182-190.
- [7] Insana.F et al « *Describing small scale structure in rando media pulse echo ultrasound* », J. Acoust. Soc. Am., 1990, vol. 89 -1, pp. 179-182.
- [8] Jensen J., « *Fast simulation of ultrasound images* », IEEE International Ultrasonics Symposium, Porto Rico, 2000.

Simulation d'images radar SAR

A. Lacheb Cheddadi, & Y. Smara,

*Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, Faculté d'Electronique et d'Informatique,
USTHB, BP N°32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, Tél : +213 21 24 79 12 poste 806, Fax: +213 21 24 71 87
Email : lachebha@hotmail.com; yousmara@yahoo.com*

Résumé

L'observation de la terre par télédétection est basée sur la mesure de quantité d'énergie émise ou réfléchi par la surface terrestre. La télédétection a débuté avec l'utilisation des capteurs optiques qui exploitent les bandes visibles et infrarouges du spectre, mais ils sont sensibles aux conditions atmosphériques. Les principales limites de cette technologie sont: l'obscurité, les nuages, le brouillard, la poussière, la grêle ou tout autre phénomène perturbateur de ce type qui générerait la prise d'image. Pour pallier ces inconvénients, l'imagerie radar à ouverture synthétique ou imagerie SAR permet d'avoir des images par tout temps en donnant une information complémentaire a celle obtenue par les capteurs optiques. En utilisant le déplacement du porteur (avion ou satellite) afin de générer une antenne synthétique de plus grande dimension, l'imagerie SAR permet de construire des images à haute résolution. L'étude et la conception des systèmes radar SAR passe par l'étape incontournable de la simulation.

Cette communication présente la simulation d'images radar pour la reconnaissance automatiques des cibles terrestres (ATR). Une méthode 2-D de simulation des données brutes du radar sar est présentée, l'intérêt de ces méthodes qui sont une étape importante pour le test et la validation les différents algorithmes de formation d'image radar est expliqué. Le processus de simulation avec un aperçu sur le principe du radar SAR et les deux algorithmes de génération d'échos radar et de reconstitution d'images sont expliqués, nous terminerons par donner les résultats obtenus.

Mots-clés : Synthetic Aperture Radar (SAR), Simulation Images SAR.

I-INTRODUCTION

Les images SAR (radar à ouverture synthétique) peuvent être synthétisées au moyen d'un simulateur. Cela peut être utile à diverses fins, comme la formation des utilisateurs ou la conception de futurs systèmes radar. Une stratégie de simulation dépend des contraintes de modélisation et du besoin pour lequel la simulation est requise.

La simulation des données brutes reçues par le système SAR peut contribuer à la conception optimale du système SAR, et ainsi tester et évaluer les performances d'algorithmes de formation d'images. La simulation permet aussi la recherche des erreurs de mouvement de la plate-forme satellite qui ont une influence sur les données reçues et la qualité d'image, et de les corriger. [4]

Les méthodes de génération d'échos radar sont diverses. Leur différence réside dans les applications auxquelles elles sont destinées on peut citer la cartographie, La

reconnaissance automatique des cibles (ATR Automatic Target Recognition)

Les objets ou les cibles radar peuvent être classifiés selon le schéma de la figure 1, leur classification exige que le radar mesure avec précision une série de paramètres qui permettent à une cible d'appartenir ou non à une classe donnée. Une cible ponctuelle est définie comme telle quand sa réponse est constante durant le temps d'acquisition, ce qui signifie que son spectre en azimuth a une phase et une amplitude constante.

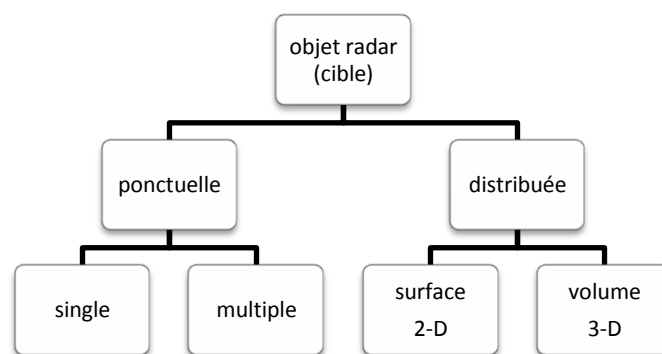


Fig.1 Classification des cibles radar

II-PRINCIPE D'ACQUISITION D'IMAGE SAR

Un radar à ouverture de synthèse ou ROS (en anglais SAR : Synthetic Aperture Radar) est un système actif d'imagerie radar d'un porteur aérien ou satellitaire muni d'une antenne à ouverture de synthèse. Ce système permet d'utiliser le déplacement d'un porteur pour simuler une antenne virtuelle de longueur très importante afin d'affiner la résolution (fig.2). En effet, si un point est observé pour plusieurs impulsions (qui correspondent à autant de positions du radar) en considérant tous ces échos reçus comme étant ceux reçus par un réseau équivalent d'antennes, on peut les recombinaison afin de synthétiser un écho correspondant à une antenne de grande taille.

L'antenne illumine la cible de son propre rayonnement sous la forme d'un lobe principal, en émettant des impulsions de micro-ondes (comprises entre 1mm et 1m) à une cadence T correspondant à une fréquence appelée PRF (Pulse Repetition Frequency). Le numéro de l'impulsion est la référence en azimuth de l'image radar (direction parallèle à la trajectoire du porteur) [1].

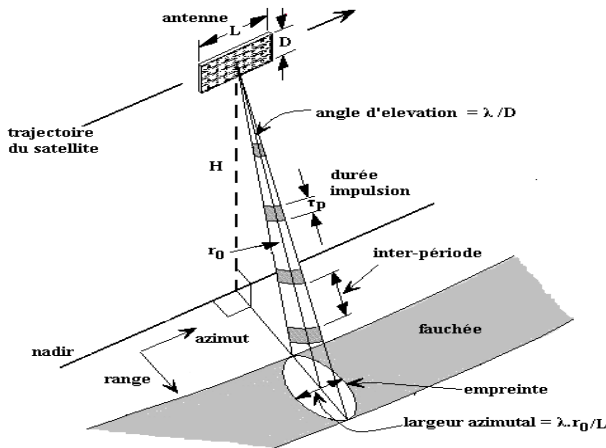


Fig.2 Géométrie d'acquisition radar mode stripmap

L'onde rétrodiffusée par la surface terrestre, ou écho radar, est reçue par cette même antenne après un temps de propagation proportionnel à la distance aller-retour entre l'antenne et la cible, qui constitue la référence en range de l'image. La cible illuminée par le radar SAR est composée de points de nombreux réflecteurs qui contribuent à la signature radar de celle-ci.

Le radar émet une impulsion d'une durée relativement longue (quelques dizaines de microsecondes) qui est modulée linéairement en fréquence. Ce signal est appelé signal Chirp. Les impulsions radar transmises sont répétées avec un rythme ou période appelé PRI (pulse repetition interval)(fig.3). Son expression est donnée par :

$$PRI = \frac{1}{PRF}$$

Avec PRF : Pulse repetition frequency

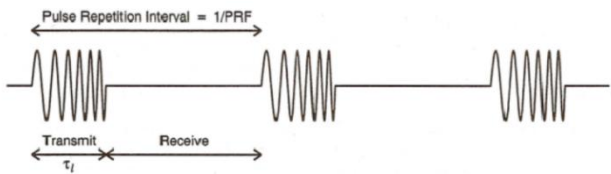


Fig. 3 : Diagramme temporel du radar

L'équation de l'impulsion chirp est donnée par l'expression :

$$s_{tx}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \cos\{2\pi f_0 t + \pi K_r t^2\} = w_r(t) \cos\{2\pi f_0 t + \pi K_r t^2\} \quad (1)$$

Avec :

T_p : durée de l'impulsion f_0 : fréquence porteuse
 K_r : le taux de modulation ($K_r = B_0/T_p$)

Cette équation est caractérisée par un pic d'autocorrélation très étroit. Ceci permet une résolution fine en distance qui va être fondamentale lors de l'étape de la compression d'impulsion appelée filtrage adapté. En effet, le signal chirp est obtenu par une modulation linéaire de fréquence d'une porteuse sinusoïdale.

$\text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right)$ Exprime le fait que l'impulsion du chirp est limitée en durée on note :

$$x(t) = \begin{cases} \omega_r(t) \cos\left[2\pi\left(f_0 t + K \cdot \frac{t^2}{2}\right)\right] & |t| \leq \frac{T_p}{2} \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

L'antenne de réception est, en général, la même que celle qui a émis l'impulsion hyperfréquence modulée. Le récepteur est du type détecteur synchrone en quadrature ; Les deux signaux ainsi obtenus peuvent ensuite être représentés sous forme complexe.

L'onde électromagnétique reçue est constituée d'une porteuse de fréquence f_0 modulée linéairement en fréquence produisant un signal chirp de bande passante B . L'équation 2 représente le signal reçu $s_{rx}(t, \eta)$, il est en fonction de deux variables temps :

Range time t (temps court) et azimuth time η (temps long).

La définition de ces deux variables temps est liée à la vitesse du porteur et la célérité de l'onde électromagnétique. En effet le domaine temporel support de l'émission de l'onde électromagnétique et l'enregistrement de son écho est appelé domaine "temps court". Cette expression résulte du fait de la célérité de l'onde électromagnétique. L'ouverture synthétique, générée par le déplacement du porteur est appelé domaine "temps long".

$$s_{rx}(t, \eta) = \sum_{m=0}^{M-1} [F_m w_r\left(t - \frac{2R_m(\eta)}{c}\right) w_a(\eta - \eta_c) * e^{-j4\pi\left(\frac{f_0 R_m(\eta)}{c}\right) + j\pi K_r\left(t - \frac{2R_m(\eta)}{c}\right)^2}] + n_m(t, \eta) \quad (2)$$

$B_0 = |K_r| T_p$ La largeur de la bande passante du Signal Chirp, V_p est la vitesse de la plateforme, F_m est le facteur d'atténuation ou la réflectivité de la cible qui est une constante entre 0 et 1 et $w_a(\eta - \eta_c)$ est la modification de l'amplitude en azimuth (pattern amplitude modification), $n_m(t, \eta)$ est un bruit aditif de type gaussien (AWGN) avec un écart type égale à 0.2

Le terme $\frac{2R_m(\eta)}{c}$ représente le retard de l'impulsion reçue qui est proportionnel à la distance aller-retour entre l'antenne et la cible.

$$R_m(\eta) = \sqrt{R_{0m}^2 + V_p^2 \eta^2} = \sqrt{(X_0 + x_m)^2 + V_p^2 \left(\eta + \frac{y_m}{V_p}\right)^2} \quad (3)$$

x_m et y_m représentent les coordonnées de la $m^{\text{ième}}$ cible ponctuelle

L'effet résultant est qu'une cible ponctuelle produit un sinus cardinal dont la largeur à une hauteur de -3dB est :

$$\Delta t = \frac{1}{B_0}$$

Elle est donnée par l'équation : $\omega_a(\eta) \approx \text{sinc}^2\left(\frac{0.886 \theta(\eta)}{\beta_{bw}}\right)$
 avec θ l'angle du visée du radar, β_{bw} : bande
 passante du signal SAR en azimuth (voir fig . 4)

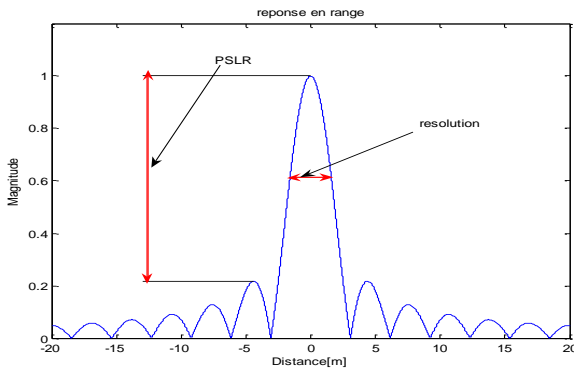


Fig.4 réponse d'une cible ponctuelle

η est le temps en azimuth, η_c le temps zéro doppler qui correspond à la distance cible radar la plus proche.

La finesse de la résolution en range et en azimuth est obtenue après une opération de compression d'impulsion pour chacune des résolutions:

La résolution en range est donnée par :

$$\rho_r = \frac{c}{2B_0} \quad B_0 \text{ Bande passante du signal SAR en range}$$

Alors que la résolution en azimuth est donnée par

$$\rho_a = \frac{L_a}{2} \quad L_a \text{ est la longueur réelle de l'antenne}$$

Par ailleurs, lors de l'acquisition, l'antenne présente un dépointage qui se traduit par un angle appelé angle de squint. Celui-ci est un paramètre important dans le processus de formation d'image sar il intervient dans le calcul de la fréquence Centroïde Doppler qui est définie par la fréquence Doppler azimuthale reçue par l'antenne au moment où une cible se trouve au milieu du faisceau radar.

Le schéma de la figure 5 illustre le principe de l'angle de dépointage de l'antenne noté θ_s dont les variations sont aléatoires, et la formule qui donne la relation entre l'angle de squint et la fréquence doppler est donnée par l'expression :

$$f_{DC} = -\frac{2.V_p \cdot \sin(\theta_s)}{\lambda}$$

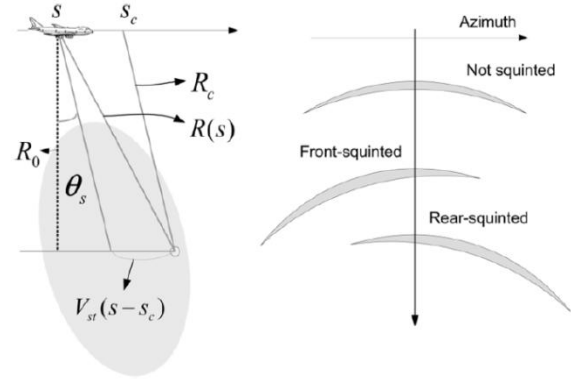


Fig.5 Angle de squint
 (S de la figure correspond à η du texte)

III. PROCESSUS DE SIMULATION

Le processus de simulation est organisé en deux parties :

- 1) Génération du signal RAW en utilisant l'équation du signal reçu par le radar sar et d'une image représentant la cible simulée (fig.6). Le résultat de cette première étape est une matrice complexe qui représente l'image brute.
- 2) L'ensemble des données RAW va permettre de reconstruire l'image de la cible via un algorithme de formation d'images SAR appelé : L'algorithme Range Doppler (RDA). Cet algorithme utilise des techniques de compression en range et en azimuth basées sur le calcul de corrélation d'un signal de référence et le signal RAW. Une fois l'image de la cible est reconstituée, elle peut être utilisée pour l'implémentation ATR. (fig.6).

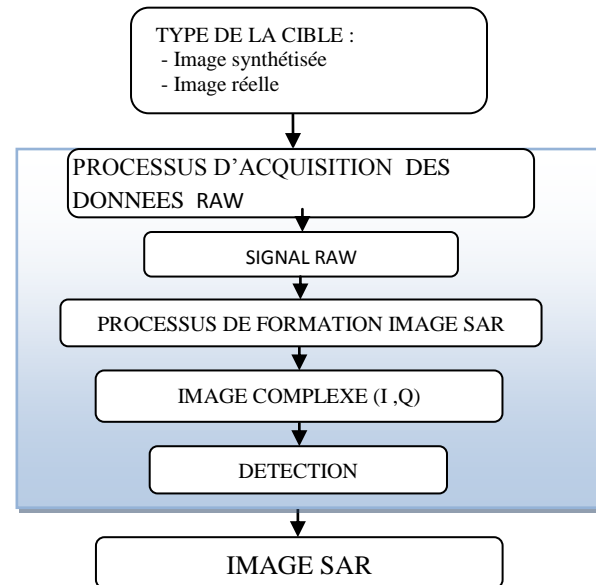


Fig.6 Processus de simulation d'images sar

A. Algorithme de génération d'échos radar

Notre objectif principal, dans notre approche, est de retrouver la réflectivité des cibles et leur position à partir des données Raw générées. Pour cela, les figures 12 et 13 sont les profils de deux cibles distribuées (véhicules militaires), qui sont les images synthétisées bidimensionnelles donnant la répartition spatiale des réflecteurs: Ces profils expriment idéalement une somme de distributions de Dirac localisées aux coordonnées des réflecteurs et d'amplitudes égales aux coefficients de réflexion respectifs de ces réflecteurs dans l'équation 2 ces coefficients représente les éléments de la matrice F_m [2], [3].

Dans notre cas, les données Raw sont générées à partir des paramètres correspondant à un radar SAR aéroporté. Ces paramètres sont donnés dans le tableau de la figure 7 [2] :

1	Pulse Repetition Frequency PRF	300 Hz
2	Durée pendant laquelle la cible est dans le champ de vision du radar	3 secondes
3	Vitesse de la plateforme	$V_p = 200$ m/s
4	fréquence porteuse	$f_0 = 4.5$ GHz
5	longueur de l'antenne	$L_a = 2$ m
6	Distance en range minimale	$X_c = 20$ km
7	Half Target Area Width	$X_0 = 200$ m
8	Durée de l'impulsion chirp	$T_p = 2.5$ μ s
9	Baseband	BW : $B_0 = (+/-) 100$ MHz
10	AWGN Standard Deviation	$\sigma_{noise} = 0.2$ (normalized/unitless)
11	Nombre d'échantillon en azimuth	abins = 900
12	Nombre d'échantillon en range	rbins = 1034

Fig.7 Paramètres de simulation

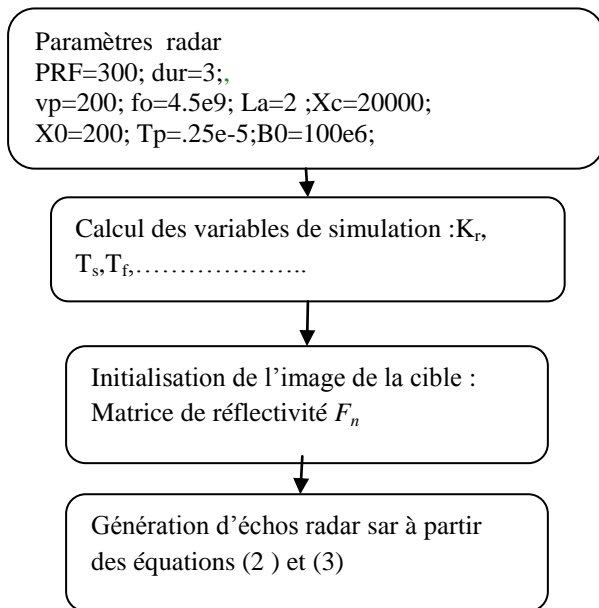


Fig 8. Algorithme de simulation d'écho radar

B. Algorithme Range Doppler

Les données simulées obtenues par l'algorithme de génération d'écho radar est appelé signal brut (RAW en anglais) parce que il doit subir d'autres traitements afin de produire une image.

Chaque écho de ce signal, radar va subir une chaîne de traitement pour passer d'un signal brut à une image focalisée.

Le bloc diagramme, de traitement des échos du signal radar brut, donné en figure 9 fait apparaître deux opérations de base qui sont les compressions en range et en azimuth. D'autres opérations intermédiaires sont nécessaires pour la formation de l'image focalisée tel que la correction des migrations.

Les opérations de compression en range et en azimuth utilisent la technique de compression d'impulsion. Le fondement mathématique de celle-ci est basé sur la notion de filtrage adapté ou corrélation. Ce dernier permet de focaliser un écho radar en une impulsion étroite dont la largeur est aussi étroite que le produit temps-bande passante de l'impulsion émise est élevé.

Le filtrage adapté peut être implémenté en passant par un corrélateur numérique. Ce dernier est basé sur une propriété importante des transformées de Fourier :

« Un produit de convolution est égal au produit des transformées de Fourier des deux signaux » [4].

$$TF[x(t) * y(t)] = X(f) \cdot Y(f)$$

Où TF est la transformée de Fourier et * le produit de convolution. La FFT (Fast Fourier Transform) est utilisée car elle permet de réduire la complexité de calcul par rapport à la DFT en passant de N^2 opérations à $N \log_2 N$ opérations. Ainsi la disponibilité de la FFT permet de passer rapidement du domaine fréquentiel au domaine temporel et vice versa [4]

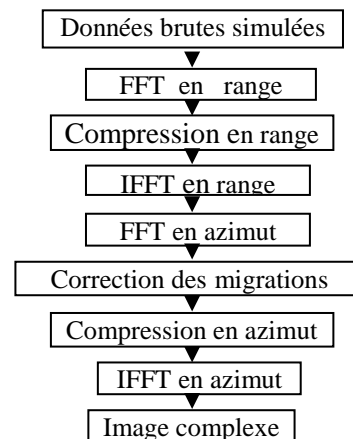


fig .9 Algorithme Range Doppler (RDA)

Les images synthétisées, utilisées dans l'algorithme, ont 256 niveaux de gris avec une taille de 16x16 pixels, les intensités

des pixels sont normalisées pour obtenir la réflectivité d'une cible ponctuelle qui doit être comprise entre 0 et 1. Pour chaque cible ponctuelle dont le nombre est 256, 900 points de réflexion sont calculés ceci est du à la durée d'illumination par le radar qui est égale à 3s et la fréquence de répétition PRF=300 Hz . les images importées présentent deux véhicules militaires, ils ont été sélectionnés en raison de leur taille variable, et leurs caractéristiques,. Les images sont sous format GIF. Le processus de génération d'écho radar est une procédure qui dure environ 4min pour une image 16x16 pixels ce qui est relativement long.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Les images résultats montrées dans la figure peuvent être utilisées pour des applications de reconnaissance automatique des cibles (ATR). Les pixels ayant une forte intensité dans les images importées apparaissent en rouge dans les images résultats.

Les courbes des figures 11 et 12 montrent l'amplitude du signal de référence dans le domaine temporel et fréquentiel utilisé dans la compression en range.

Les résultats pour une cible ponctuelle sont donnés à travers l'amplitude du signal compressé en range et en azimuth (fig.12)

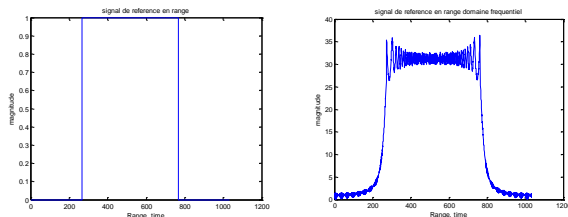


Fig.11 Amplitude du signal de référence (domaine temporel et fréquentiel)

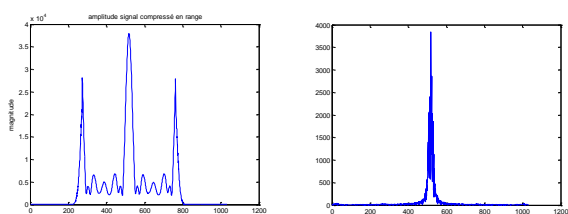


Fig. 12 : amplitude du signal compressé en range

Fig. 12 : Amplitude du signal compressé en range et en azimuth



Fig 14. Profil de la cible N°1 Fig 15. Profil de la cible N°2

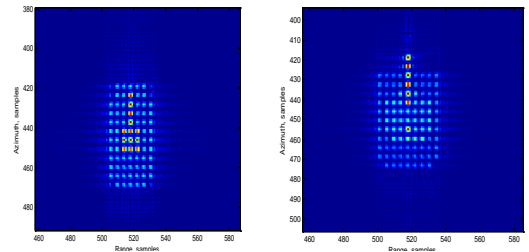


Fig 15. images reconstituée de la cible n°1 et 2

V. CONCLUSION

Dans le cadre de nos recherches qui visent à étudier le processus de formation d'images sar, l'étape de la simulation d'écho radar est indispensable. Ces premiers résultats obtenus sont encourageants on retrouve dans l'image reconstituée les caractéristiques de l'image synthétisées. Nous envisageons de travailler avec les images de plus grande taille, et tester cet algorithme avec les images réelles et prévoir d'exécuter le programme sur de machines puissantes pour réduire le temps de traitement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bu-Chin Wang, digital signal processing techniques and application in radar image processing. *John Wiley and sons, INC, publication, 2008.*
- [2] M. Schlutz, Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in Matlab. *Master's Thesis, California Polytechnic State University San Luis Obispo California, 2009.*
- [3] C. Romero, High Resolution Simulation of Synthetic Aperture Radar Imaging, *Master's Thesis California Polytechnic State University San Luis Obispo California, 2010.*
- [4] H. Aklouat, Développement d'un processus de formation d'images radar sar SLC à partir de données brutes. *Thèse de Magister, Faculté d'électronique et d'informatique, USTHB, 2008.*
- [5] L. Polidori, SAR image simulation strategies for mapping. *AEROSPATIALE Satellites Center BP 99, 06156 Cannes La Bocca Cedex (France), 1999.*

Détection du pitch par un seuil adaptatif et en temps réel par les ondelettes discrètes

Riad AJGOU⁽¹⁾, Salim SBAA⁽¹⁾, Said GHENDIR⁽¹⁾, and A. TALEB-AHMED⁽²⁾

⁽¹⁾ *Département de Génie Electrique, Laboratoire LESIA, Université Med Khider 07000 Biskra.*

⁽²⁾ *Laboratoire LAMIH Université de Valenciennes France.*

E-mail: ajgou2007@yahoo.fr, s_sbaa@yahoo.fr, ghendir.emp@gmail.com, abdelmalik.talebahmed@univ-valenciennes.fr

Résumé—La détection du période du pitch à partir du signal vocal présente une importance considérable dans la reconnaissance, identification du speaker, codage de la parole et sa synthèse. Une nouvelle méthode de détection du pitch basée sur les transformées d'ondelette discrète a été développée pour un objectif d'implantation en temps réel qui nécessite un temps d'exécution réduit. On a conçu alors un algorithme adaptatif comme un outil de détermination V/NV (voisé/non voisé) (présenté dans notre travail dans [1]) et se met au début d'analyse d'une trame, si cette trame est voisée on effectue l'analyse de recherche de pitch sinon on passe directement à la deuxième trame ce qui fournit un temps du calcul réduit, on élimine donc l'analyse pour un son non voisé d'une trame. Pour plusieurs méthodes, de détection du pitch la décision V/NV est faite après analyse ce qui signifie un vainement de calcul. Notre travail est développé pour un objectif de réduire le temps d'exécution d'une méthode réalisé par deux hauteurs dans [2], [3]. On a évalué notre travail sous conditions bruitées et comparé avec d'autre méthode, d'où le contour d'évolution du pitch et la décision V/NV présentent un problème complexe sous conditions bruitées.

Mot clés—ondelette, Pitch, estimation du pitch, Ondelettes discrètes, Voisé/Non voisé, détection du pitch, évolution du pitch, FWT.

I. INTRODUCTION

La détection du pitch est procédée en traitant des petites portions (trame) consécutives d'un signal pour avoir des valeurs du pitch. Ce processus est appelé le *fenêtrage*. Ce dernier généralement se fait avec recouvrement. Le signal parole est un processus aléatoire non stationnaire et nous faisant donc l'hypothèse de quasi-stationnarité sur des périodes allant de 10 à 35 ms [4].

Les algorithmes de détection du pitch en temps réel peuvent être évalués selon quatre principales caractéristiques [3]. En premier, le temps du calcul qui doit être minimisé [3]. Le deuxième est la détermination de voisement ou non voisement d'un segment [3]. Le troisième est la précision pour estimer la période du pitch [3] (un détecteur doit fournir

une bonne résolution en temps et en fréquence avec moins d'erreurs). Enfin le quatrième est la robustesse de détection vis-à-vis de la présence du bruit [4]. Les méthodes actuellement établies ont des inconvénients dans quelques unes de ces performances et caractéristiques. Pour cela dans ce travail on propose une méthode de détection du pitch basé sur les transformées d'ondelette discrète qui va améliorer une méthode proposée par deux hauteurs dans [2], [3] concernant le temps d'exécution et la décision voisé/non voisé. Ces hauteurs attendent toujours *des erreurs* pour la décision V/NV.

On redéveloppe cette méthode en intégrant notre algorithme de décision V/NV pour un éventuel bon résultat. On va aboutir à un temps d'exécution réduit.

Cette méthode vérifie certains critères : la bonne résolution en temps fréquence, une bonne immunité au bruit vis-à-vis l'estimation de pitch, la précision de calcul de pitch, un temps d'exécution réduit, un contour de pitch bien clair dû à la bonne décision V/NV, où on a conçu un algorithme adaptatif de détermination de V/NV qui se met au début d'analyse d'une trame, si cette trame est voisé on effectue l'analyse sinon on passe directement à la deuxième trame ce qui fournit un temps du calcul réduit (on élimine l'analyse pour un son non voisé où le pitch ne se trouve pas et éviter un vainement de calcul).

II. Méthode de base

On explore la méthode de base développée par deux hauteurs *Eric Larson* et *Ross Maddox* [2] [3] pour la détection du pitch par les ondelettes discrete.

II.1 Introduction :

L'utilisation des ondelettes permet de faire une analyse multi - résolution du signal. Nous verrons l'intérêt de ce type d'analyse dans le cadre de détection du pitch pour un signal parole. Soit un signal $f(t)$ échantillonné uniformément sur $[0,1]$ avec un pas d'échantillonnage de $1/N$, on obtient un signal discret $f[n]=f(n/N)$ composé de N échantillons. Soit $\psi(t)$ une ondelette en temps continue dont le support est inclus dans $[-$

$K/2, K/2]$, pour $2 \leq a^j \leq \frac{N}{K}$. On définit une ondelette discrète dilatée par a^j par [5] :

$$\psi_j[n] = \frac{1}{\sqrt{a^j}} \psi\left(\frac{n}{\sqrt{a^j}}\right) \quad (1)$$

L'échelle a^j doit être supérieure à 2. Cette méthode est développée par *Eric Larson* et *Ross Maddox* [2] [3], et utilise les ondelettes basée sur l'algorithme de FLWT. L'algorithme de FLWT utilise l'ondelette de Haar pour la détection du pitch. La transformée d'ondelette de Haar, comme elle est montré mathématiquement, c'est le sous échantillonnage et la décomposition du signal en coefficients de détails et coefficients d'approximations. Les approximations sont utilisées en combinaison avec une découverte de maximum qui représente le pitch d'un son voisé.

II.2 le FLWT (Fast Lifting Wavelet Transform):

L'algorithme utilise une mise en œuvre du FLWT. La transformée d'ondelette décomposé en composantes d'approximations et détails. La réduction de bruit est une étape importante pour détecter la périodicité. Les coefficients d'approximations peuvent alors soumettre à des transformations a fin de réduire le bruit. Bien qu'il y ait différentes ondelettes mère qui peuvent être utilisées pour exécuter le FLWT, cet algorithme utilise le FLWT qui utilise l'ondelette de Haar. Les équations dérivées précédemment par Debauchies pour le FLWT (avec Haar) sont [2] :

$$\begin{aligned} d_0(n) &= x(2n+1). \\ a_0(n) &= x(2n). \\ d_1(n) &= d_0(n) - a_0(n). \\ a_1(n) &= d_0(n) + a_0(n). \end{aligned} \quad (2)$$

Où : $x(n)$ est le signal originale, a_1 est le premier coefficient d'approximation et d_1 est le premier coefficient de détail. L'équation 2 équivalent à [2] :

$$\begin{aligned} d_1(n) &= x(2n+1) - x(2n). \\ a_1(n) &= \frac{x(2n+1) + x(2n)}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

De ces équations, il est clair que le coefficient de l'approximation est simplement une application d'un filtre faisant la moyenne (un filtre passe bas d'ordre 1) avec sous échantillonnage. Le coefficient du détail est une application d'un premier filtre de la différence avec sous échantillonnage. Dans ce chemin, le FLWT fournit une méthode rapide de décomposer le signal.

La décomposition du signal peut révéler la périodicité sous-jacente. En évitant le composant de détail et en exécutant une autre fois le FLWT sur le coefficient d'approximation. Les niveaux supplémentaires de transformée d'ondelette sont à produire. L'application répétée du FLWT dans cette manière, donne une détection du pitch robuste au bruit.

II.2.1 limite de la décomposition:

On limite le nombre de niveau d'ondelette. Les hauteurs dans [2] et [3] limitent le niveau de la transformée d'ondelette à 6 niveaux.

II.3 Algorithme de la méthode de base:

Fenêtrer le signal (fenêtre Hamming) en plusieurs segments de 25ms (N segments):

1. Au niveau 'i' pour la transformée d'ondelette (Haar) des données, on procède:

- Eliminer la composante continue.
- Trouver tout passage par zéro.
- Trouver en premier le maximum local après chaque passage par zéro.
- Calculer les distances (en échantillons) entre les maximums locaux.
- Répétition b), c), d) pour les minimums locaux.
- Déterminer la moyenne du mode distance.

2. Si la distance du mode au niveau 'i' égal à la distance du mode au niveau (i-1), on assume que la distance de mode de (i-1) est égale à la période de la fondamentale (pitch); Sinon, aller au prochain niveau de la transformée d'ondelette (jusqu'à i = 6 [3]) et revenir à l'étape 1.

A. Décision voisée/non voisée :

Si la limite de niveau de décomposition (i=6) est dépassée, on suppose que la trame est non voisée et on passe à la prochaine fenêtre. On note que la décision V/NV se positionne à la fin de l'algorithme, c'est-à-dire à la fin de l'analyse ce qui signifie un vainement de calcul. Notre algorithme amélioré se base sur un seuil adaptatif qui peut prendre la décision sur la nature de la trame avant de procéder aux calculs et on peut gagner du temps.

B. Détection des maximums et estimation de la fréquence fondamentale [F0]:

La moyenne d'amplitude (DC) est à calculer puis et à soustraire de chaque élément du signal fenêtré. La valeur de DC est considérée comme un seuil inférieur pour les maximums et un seuil supérieur pour les minimums [3]. La distance entre deux maximums doit être supérieure ou égale à δ . La distance minimum δ dépend de la fréquence maximale de pitch ($F = 500$ Hz) 'F' et le niveau de la décomposition d'ondelette en cours 'i', et F_s [2]:

$$\delta = \max\left(\left\lceil \frac{F_s}{2^i F} \right\rceil, 1\right) \quad (3)$$

Le pitch est égal à [2], [3]:

$$F_0 = \frac{F_s}{\text{mode}(i-1) \cdot 2^{(i-2)}} \quad (4)$$

F_0 : fréquence fondamentale ou pitch.

F_s : fréquence d'échantillonnage.

Mode : mode distance.

i : niveau de décomposition d'ondelette.

II.4 Amélioration de la méthode de base :

L'estimation de temps d'un tel algorithme est de 4ms [3], où cette estimation est faite par les deux hauteurs dans [2], [3]. De notre part on propose d'utiliser l'algorithme d'EZR qui conduit à un temps moins de 4ms. L'algorithme EZR conçu à une décision V/NV se met au début de la trame, si cette dernière est voisée on procède l'analyse et la recherche de pitch, sinon on passe à la deuxième trame.

II. CONTRIBUTION:

Dans cette partie on explore notre contribution..

III.1 Introduction:

Comme notre méthode est basée sur l'amélioration de temps d'exécution en intégrant un algorithme adaptatif de décision V/NV, on débute alors par une illustration de cet algorithme adaptatif.

III.2 Décision voisée/non voisée :

La détermination V/NV voisée est basée sur le rapport d'énergie par le passage par zéro (EZR) pour chaque tranche. Le principe d'application d'EZR dans la détermination de V/NV s'explique par le fait que l'énergie du signal voisée est importante tandis que le taux de passage par zéro est faible, ce qui donne une valeur importante d'EZR, le contraire est vrai pour un signal non voisée. Le but est alors de préciser tout d'abord avec minimum de temps si la trame est voisée ou non. Si le rapport d'énergie par passage par zéro (EZR) calculé pour une trame supérieur à un seuil, cette trame est alors considéré voisée, on peut donc procéder à l'analyse pour la recherche du pitch. On montre que le seuil de détermination V/NV est estimé par l'algorithme d'une façon automatique et adaptatif. Le seuil est estimé en exploitant le journal des rapports EZR pour les trames précédant. Le rapport EZR est défini par :

$$EZR[m] = \frac{\bar{E}[m]}{ZCR[m]} \quad (5)$$

Où ZCR [m] présente le taux de passage par zéro pour une trame [m] et $\bar{E}[m]$ est l'énergie moyenne. Le principe est qu'on calcule le EZR pour une 'i'ème trame qui se compare avec les EZR de tous les 'i-n'ème pour estimer le seuil [1] :

$$\text{Seuil} = \min(\text{EZR}) + 0.2(\max(\text{EZR}) - \min(\text{EZR})) \quad (6)$$

On note que pour la première trame sa détermination de V/NV est basée sur un seuil de référence est égale à 1. Algo1 représente l'algorithme adaptatif de détermination V/NV basé sur EZR.

```
%valeurs initiales
Rapporter =1;
Seuil=1;
(10) Détection V/NV pour la 'i'ème trame:
Calcul de l'énergie 'E'
Calcul de 'ZCR' %taux de passage par zéro
Calcul de 'EZR' %le rapport d'énergie ZCR.
Si EZR>seuil
    Un son voisée
        Estimation de pitch
    Sinon
        Un son non voisée
Fin si
% début de Création des vecteurs de sorties
max_rapport=max(rapport_EZR);
min_rapport=min(rapport_EZR);
delta=max_rapport-min_rapport;
seuil=min_rapport+0.2*delta;
rapport_EZR = [EZR];
% fin de Création des vecteurs de sorties
Aller vers la trame suivante (aller à (10))
```

Algo. 1: Algorithme principal de détermination V/NV basé sur EZR [1]

III.3 Algorithme pour l'estimation du pitch:

On résume la procédure d'estimation du pitch par:

- I. Extraction de la 'i'ème trame de 30ms.
- II. Détermination de V/NV, si cette trame est voisée, on passe à l'étape qui suit sinon on revient à l'étape I.
 1. Au niveau 'i' pour la transformée d'ondelette (Haar) des données, on procède :
 - a) Enlever la composante continue
 - b) Trouver tout passage par zéro.
 - c) Trouver en premier le maximum local après chaque passage par zéro.
 - d) Calculer les distances (en échantillons) entre les maximums locaux.
 - e) Répétition b), c), d) pour les minimums locaux.
 - f) Déterminer la moyenne du mode distance.
 2. Si la distance du mode au niveau 'i' égal à la distance du mode au niveau (i-1), on assume que la distance de mode de (i-1) est égale à la période de la fondamentale (pitch); Sinon, aller au prochain niveau de la transformée d'ondelette (jusqu'à i = 6 [3]).
- III. On revient à l'étape 1 pour la trame suivante 'i + 1'

IV. Résultats et discussion :

On applique notre algorithme sur une tranche d'un phonème « b » prononcée par un masculin en utilisant winPitchPro [6]. Avec un Fs=11025Hz, et fréquence maximale de pitch de 500Hz. On calcule alors la distance minimum δ et le DC (i=1, i=2) :

$$DC=0.0095; \quad \delta = \max\left(\frac{11025}{2^{1.500}}, 1\right) \quad \delta = 11.025 \approx 11$$

échantillon. C'est le premier signal d'approximation.

$\delta = \max\left(\frac{11025}{2^2 \cdot 500}, 1\right) \delta = 5.5125 \approx 5$ échantillon. C'est le deuxième signal d'approximation).

Calculs de modes distances pour le premier signal d'approximation (i=1) :

max1=7, max2= 48, max3= 90, max4=132.
min1=2, min2=41, min3=83, min4=124.

1- Pour les maximums :

Mod1=(48-7)=41 échantillons. Mode 2= (90-48)= 42. Mode 3= (132-90)= 42.

2- Pour les minimums :

Mod1=(41-2)=39 échantillons. Mode 2= (83-41)= 42. Mode 3= (124-83)= 41.

Calculs de la moyenne de modes distances :

Moyenne mode = $(\text{mod1}_{\max} + \text{mode2}_{\max} + \text{mode3}_{\max}) + (\text{mode1}_{\min} + \text{mode2}_{\min} + \text{mode3}_{\min})$.

Moyenne mode = $(41+42+42+39+42+41)/6$.

Moyenne mode = 41.1667 échantillons.

Calculs de modes distances pour le deuxième signal d'approximation (i=2):

max1=5, max2= 25, max3= 46, max4=67
min1=2, min2=22, min3=42, min4=61.

1- Pour les maximums :

Mod1=(25-5)=20 échantillons. Mode 2= (46-25)= 21. Mode 3= (67-46)= 21.

2- Pour les minimums :

Mod1=(22-2)=20 échantillons. Mode 2= (42-22)= 20. Mode 3= (61-42)= 19.

Calculs de la moyenne de modes distances :

Moyenne mode = $(20+21+21+20+20+19)/6$. Moyenne mode = 20.1667 échantillons.

Comparaison entre modes distances (approximation 1,2) :

Moyenne mode = 41.1667 (approx 1) pour Fs/2

Moyenne mode = 20.1667 (approx 2) pour Fs/4 alors :

Moyenne mode = $20.1667 \cdot 2 = 40.3334$ (approx 2).

On constate que les deux modes sont presque égaux ce qui signifie qu'on arrête la décomposition du signal au niveau 2. Alors:

Pitch = $F_s / (41.1667 \cdot 2) = 11025 / (41.1667 \cdot 2) = 133.9068 \text{ Hz}$.

Le pitch = 133.9068 Hz.

Figure 1 représente le signal original bruité et le DC est considéré comme seuil enregistré par le logiciel WinPitchPro[6]. Figure 2 représente le signal d'approximation 1 (i=1), et le DC. les maximums et les minimums du signal. Figure 3 exprime le signal d'approximation 2 (i=2). Figure 4 exprime le signal d'approximation 2, le DC, les maximums et les minimums du signal. Figure 5 exprime le signal d'approximation 2, la distance entre les maximums (pour calculer le mode de distance) ainsi la distance entre les minimums.

La première remarque Concernant la précision d'estimation. On prend les valeurs du pitch pour un phonème "a" généré par l'éditeur de voyelle de logiciel Praat [7] comme référence. Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau 1. La Figure 6 représente le logiciel Praat et son éditeur des voyelles. On peut extraire l'exactitude d'estimation de pitch justifié par les résultats présentés par le tableau 1

La deuxième remarque : Cette méthode de détection de pitch a même une bonne résolution dans les basses fréquences (dû à son utilisation de méthodes du domaine temporelle) et dans les hautes -fréquences (dû à l'utilisation de la méthode de la moyenne de mode distance). Cette résolution permet la détection du pitch exacte comme présenté dans le tableau 2.

La troisième remarque: le contour du pitch est bien clair avec notre méthode (RZR). La figure7 présente le contour de pitch pour un signal « égale » enregistré par le logiciel WinPitchPro [6] prononcé par un masculin en utilisant la méthode de base. La figure 8 représente le contour du pitch du même signal avec notre méthode basé sur un seul adaptatif "EZR".

La quatrième remarque: On peut constater l'immunité au bruit. Le tableau 2 présente le résultat d'estimation du pitch d'un son voisé « a » sans bruit généré par le logiciel WinPitchPro [6] où on l'entache dans différents puissance de bruit (SNR).

Fréquence actuelle [Hz]	Fréquence mesurée [Hz]	(Fréq [Hz] mesurée)-(Fréq actuelle)
60	60.2459	0.2459
80	79.8913	0.1087
110	110.2500	0.2500
150	149.6606	0.3394
200	200.0504	0.0504
250	250.5682	0.5682
300	299.5924	0.4076
350	350.3708	0.3708

Tableau 1 Fréquences actuelles, fréquences mesurées, et l'erreur d'estimation

SNR [dB]	Pitch [Hz]
Sans bruit	148.4135
30	148.4135
20	148.4135
10	148.4135
4	150.4532
0	152.6534
-4	170.4325

Tableau 2 L'estimation du pitch en fonction de SNR

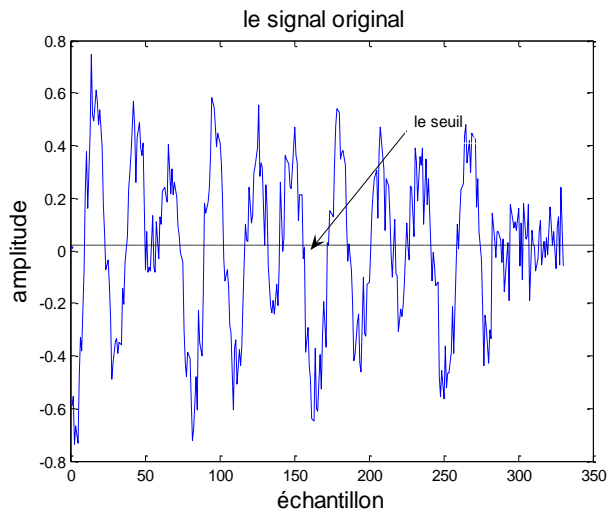


Figure 1 Le signal original bruité avec le seuil DC.

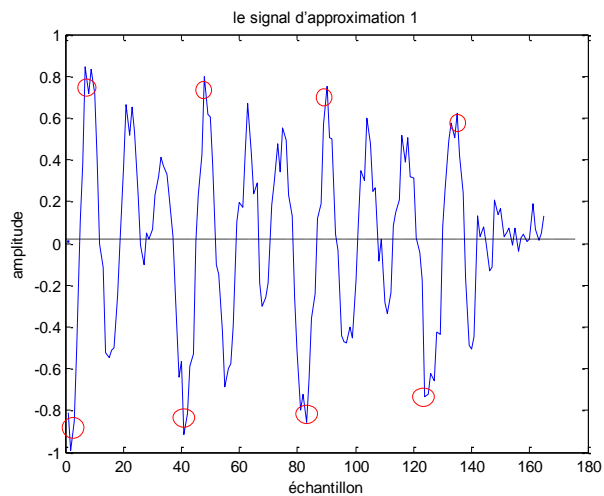


Figure 2 Le signal d'approximation, Le DC, les maxims, minims pour calculer des modes distance.

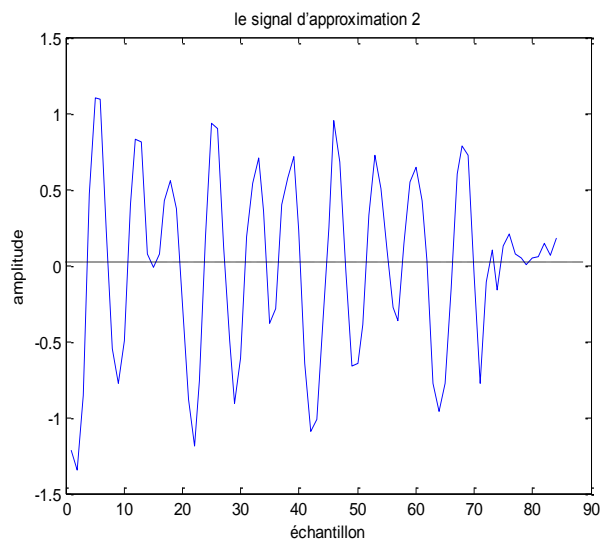


Figure 3 Le signal d'approximation2 et le DC.

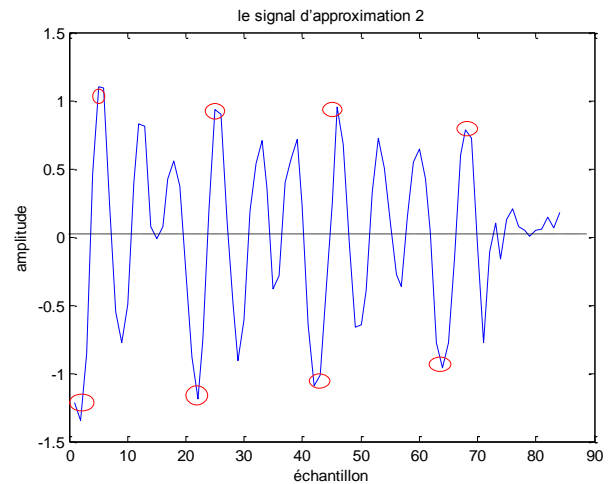


Figure 4 Exprime le signal d'approximation, le DC, les maxims et les minims de signal.

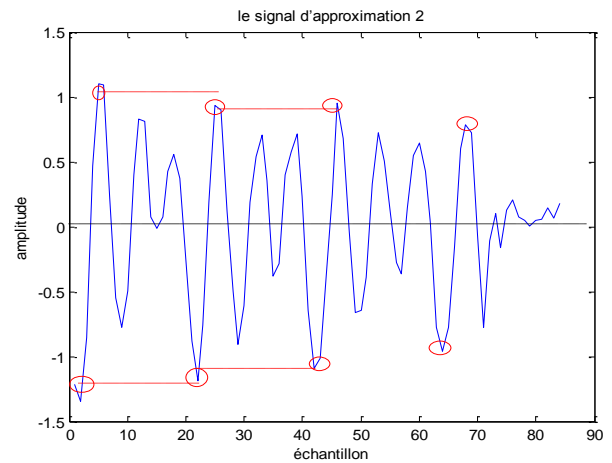


Figure 5 Exprime le signal d'approximation 2, la distance entre les maxims (pour calculer le mode de distance) ainsi la distance entre les minims

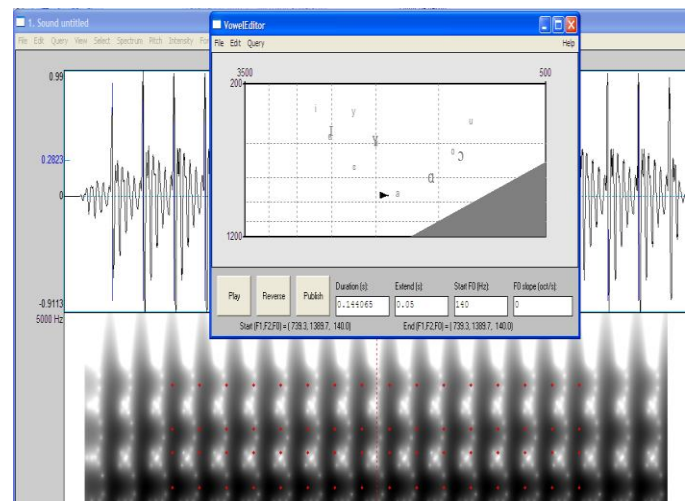


Figure 6 Le logiciel Praat et son éditeur des voyelles

VI. Référence :

- [1] AJGOU Riad, and SBAA Salim, « Algorithme adaptatif de détermination de V/NV basé sur EZR ». First International Conférence on Image and Signal Processing and their Applications, Mostaganem university, ISPA 2009.
- [2] Eric Larson , Ross Maddox « Real-Time Time-Domain Pitch Tracking Using Wavelets » Departments of Mathematics, Physics and Philosophy, Kalamazoo College, Center for Performing Arts Technology University of Michigan School of Music.USA.2004.
- [3] Eric Larson« Real-Time Time-Domain Pitch Tracking Using Wavelets » A paper submitted in partial fulfillment Of the requirements for the degree of Bachelor of Arts at Kalamazoo College. USA. 2005
- [4] Bojan Kotnikl, Harald Höge, Zdravko Kacicl “Evaluation of Pitch Detection Algorithms in Adverse Conditions”, University of Maribor, Slovenia, Siemens AG, Corporate Technology, Germany 2006.
- [5]D.Jonathan, B.Michael, F.S'ébastien " les ondelettes ". Université Libre de Bruxelles Faculté des Sciences , D'épatement de Physique.2002.
- [6] www.winPitch.com (2009).
- [7] Tutoriel Praat Jean-Philippe Goldman Université de Genève Décembre 2006. [Http://www.praat.org](http://www.praat.org). 2009.

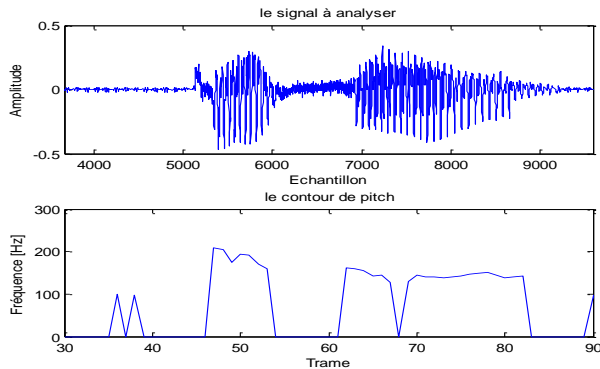


Figure 7 Le signal « égale » et son contour de pitch

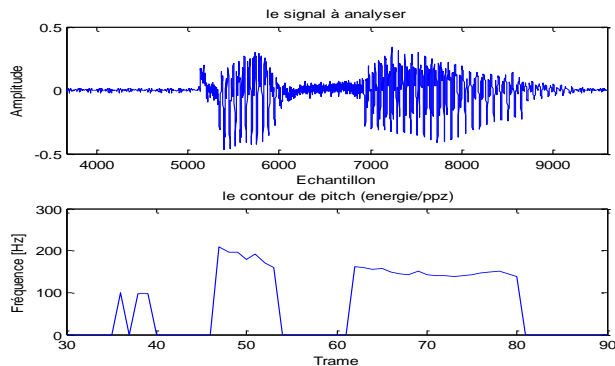


Figure 8 Le signal « égale » et son contour de pitch par EZR

V. Conclusion :

La première motivation d'utiliser les ondelettes est la bonne résolution temps échelle des signaux non stationnaires. L'idée de base de cette méthode est que la transformée d'ondelette expose les maximums locaux aux points de variation du signal ce qui nous permet d'exploiter au maximum pour la détection et l'estimation du pitch.

L'objectif essentiel de cette dernière méthode est l'implantation en temps réel à fin d'extraire le pitch avec son contour en temps réduit. L'approche est basée sur l'utilisation d'une ondelette simple et détection plus précise des piques (maximum et minimum) pour calculer la fréquence fondamentale.

Après analyse de cette méthode on constate une efficacité concernant :

- 1- Un pitch plus exact.
- 2- Capable de donner une bonne résolution en temps et en fréquence.
- 3- Une décision voisé / non voisé précise sans seuils d'amplitude globaux mais un seuil adaptatif.

Notre algorithme débute par une décision voisé /non voisé basé sur un seuil adaptatif. Afin de déterminer la zone voisée où se trouve la fréquence fondamentale, notre méthode élimine l'analyse pour le cas non voisé, ce qui résulte un temps d'exécution réduit. On a une bonne détection robuste aux bruits justifiée par les résultats de simulation.

Efficacité de l'algorithme hybride ACOClust pour le partitionnement des images satellitaires

A. Benyamina and H. Fizazi

Résumé—Dans cet article, nous présentons une nouvelle métaheuristique de partitionnement d'images satellitaires basé sur l'algorithme d'Optimisation par Colonies de Fourmis OCF "Ant Colony Optimization : ACO". Cet algorithme vise à partitionner les images et à découvrir automatiquement les classes thématiques dans une image satellitaire multispectrale.

L'optimisation par colonies de fourmis s'inspire du comportement collectif des colonies de fourmis pour trouver le plus court chemin entre deux points.

L'algorithme affecte initialement chaque fourmi à une partition qui sera modifiée à chaque itération par la sélection aléatoire des éléments qui sont affectés aux classes.

Cette sélection aléatoire dépend de la trace de phéromone liée à la qualité mesurée par l'inertie interclasses et d'une heuristique locale définie à partir des distances originales.

On montrera en dernier lieu que l'algorithme ACOClust peut extraire le nombre de classes et fournit de très bons résultats comparatifs avec les algorithmes AntClust adapté, AntClass et K-means.

Mots clés—Ant Colony Optimization, colonies de fourmis, métaheuristique, partitionnement d'image.

I. INTRODUCTION

La classification automatique a pour but de rassembler les données en classes de façon à ce que les données d'une même classe soient le plus homogène possible.

Il existe de nombreuses méthodes de classification que l'on peut regrouper en deux grandes catégories :

- Classification supervisée qui s'opère à partir d'une base de données d'apprentissage contenant des exemples de cas déjà traités (exemple : K Plus Proche Voisins). [5]
- Classification non supervisée qui vise à séparer automatiquement les classes naturels, c'est-à-dire sans aucune connaissance préalable des classes (exemple : K-Means). [5]

Ce deuxième type de classification est nommé clustering ou partitionnement.

Le partitionnement est une étape de base du traitement d'images qui a pour but de partitionner un ensemble de pixels ayant des niveaux de gris similaires dans une même classe de

pixels. Ces classes obtenues peuvent avoir diverses propriétés en commun (intensité, couleur, texture ...).

Les méthodes de partitionnement de l'image satellitaire, fournissent, en regroupant des pixels dans une même classe, une image thématique.

Pour résoudre ce problème de partitionnement, nous utilisons une méthode d'optimisation par métaheuristique appelée optimisation par colonies de fourmis (Ant Colony Optimization ou ACO, en Anglais). Les métaheurstiques sont des méthodes approchées qui traitent les problèmes d'optimisation difficile. Le but d'un problème d'optimisation est de trouver une solution maximisant ou minimisant une fonction objective donnée. Ainsi, les métaheurstiques constituent une classe de méthodes approchées adaptables à un grand nombre de problèmes d'optimisation combinatoire. Dans notre travail l'algorithme d'optimisation par colonies de fourmis est adapté à être utilisé pour le partitionnement des images satellitaires et est paramétré par un ensemble de caractéristiques pour être capable de retourner le nombre correct de classes.

L'article est organisé comme suit : la section 2 décrit les travaux fondateurs, la section 3 présente l'approche d'optimisation par colonies de fourmis, la section 4 présente l'application de l'ACO en partitionnement "ACOClust", la section 5 fournit les résultats numériques et la section 6 termine avec une conclusion.

II. TRAVAUX FONDATEURS

Les fourmis réelles ont inspirés les chercheurs en informatique dans de nombreux domaines. Cela se justifie particulièrement quand on connaît la richesse comportementale de ces animaux [26] .

Trois domaines s'occupent de près à la modélisation des fourmis en terme mathématique et informatique et à l'utilisation concrète de ces modèles.

La première approche s'intéresse à la modélisation des fourmis dans le domaine du tri d'objets artificielles et par la classification.

La deuxième approche développée et appliquée à de nombreux problèmes d'optimisation combinatoire et numérique.

La troisième approche, qui nous intéresse dans notre travail, est l'exploitation du modèle d'optimisation pour résoudre le problème de partitionnement.

Pour la première approche, les algorithmes de classification automatique sont inspirés du comportement de tri collectif observé chez les fourmis. En effet, certains travaux ont montré que certaines espèces de fourmis parviennent à organiser divers éléments du couvain tels que les œufs, les larves,...etc [1][2][26].

Le principe de base de ce comportement est le suivant:

- Lorsqu'une fourmi rencontre un élément du couvain, plus cet élément est isolé, plus elle a de chance de le ramasser;
- Lorsqu'une fourmi transporte un élément du couvain, la probabilité qu'elle le dépose est d'autant plus grande que la densité d'éléments de même type dans le voisinage est grande.

Deneubourg et son équipe [1] furent les premiers à modéliser ce genre de comportement. Lors des expériences de simulation, les objets à rassembler sont placés aussi aléatoirement sur une grille. Les fourmis sont modélisées par de simples agents qui sont placés eux aussi aléatoirement sur la grille représentant l'environnement dans lequel elles évoluent. Chaque agent fourmi n'a qu'une perception locale de son environnement et a pour tâche de déplacer les objets en fonction de la concentration des objets de même type dans leur environnement proche appelé « voisinage ».

Le principe est de regrouper les objets similaires en des groupes sur une grille. Chaque fourmi peut prendre un objet avec une probabilité fonction de sa similarité avec les objets présents dans son voisinage et le déposer selon la même probabilité. Après un certain nombre d'itérations, des groupes d'objets similaires se forment sur la grille. La principale caractéristique de ces algorithmes est leur côté non supervisé qui permet de découvrir automatiquement le nombre de groupe adéquat sans intervention extérieure comme dans les algorithmes classiques de classification. Les opérations de dépôt et de ramassage des objets sont biaisées par les probabilités P_p et P_d représentées par :

$$P_p = \left(\frac{k_1}{k_1 + f} \right)^2 \quad P_d = \left(\frac{f}{k_2 + f} \right)^2 \quad (1)$$

f est une estimation du nombre d'objets placés dans le voisinage de la fourmi. k_1 et k_2 sont des constantes positives.

Quand f est plus petit que k_1 cela signifie qu'il y a peu d'objets dans le voisinage de l'objet et donc la probabilité de le prendre est élevée (P_p est proche de 1). Inversement quand f est plus grand que k_1 la probabilité de prendre l'objet est faible s'il est entouré de plusieurs objets.

L'algorithme proposé par Deneubourg a été repris et étendu par Lumer et Faieta [7] pour la classification des données numériques [26] [27].

Les travaux de Lumer et Faieta ont inspiré d'autres auteurs pour la résolution de problème de classification par les fourmis. Aussi les travaux de Kuntz et al [3] se sont inspirés pour le partitionnement de graphes. Dans [4] un algorithme de classification basé fourmis est proposé pour la minimisation de communication entre les processeurs dans un système de simulation où les traitements sont répartis sur plusieurs

processeurs. Dans [6] Monmarché introduit AntClass un algorithme de classification utilisant des populations de fourmis. AntClass se base sur l'algorithme de Lumer et Faieta avec des modifications de base. AntClass utilise une grille toroïdale et chaque fourmi a la possibilité de transporter plusieurs objets à la fois et de déposer un tas d'objets sur une même case de la grille. De plus AntClass est une hybridation d'un algorithme de fourmis et d'un algorithme de classification classique de type K-means.

AntClust [11] est une autre reprise de AntClass avec des améliorations concernant le support des objets à classer et le déplacement des fourmis était abordée dans la segmentation des images. Finalement, ANTClust adapté est une amélioration de l'algorithme ANTClust de Ouadfel conçue spécialement pour le partitionnement des images satellitaires[17].

Pour la seconde approche, l'un des modèles les plus connus (ACO pour Ant Colony Optimization) a été introduit par A. Colomi, M. Dorigo, et V. Maniezzo [23] initialement dans le cadre du problème du voyageur de commerce. Les fourmis utilisent des phéromones pour marquer des arcs entre les villes. Ces phéromones représentent en fait une distribution de probabilités qui est mise-à-jour en fonction des résultats observés (longueur totale du chemin par exemple).

Pour la troisième approche, plusieurs travaux ont été réalisés. C.F. Tsai, C.W. Tsai, H.C. Wu et T. Yang [13] ont proposé une méthode de partitionnement originale appelée optimisation de colonie de fourmis avec un algorithme de faveur différent (ACO with different favor algorithm ACODF). Dans cet algorithme, une adaptation directe du métaheuristique "ACO" pour résoudre des problèmes de classification [12].

P.S. Shelokar, V.K. Jayaraman et B.D. Kulkarni [11] ont décrit une méthodologie d'optimisation par colonie de fourmis pour le partitionnement de "N" objets en "K" classes de manière optimale [12].

S. Le Chi et le C.C. Yang [7] ont développé une nouvelle méthode qui intègre la colonie de fourmis SOM et k-means pour l'analyse de partitionnement. Cet algorithme améliore les résultats des méthodes traditionnelles [12].

Fei Wang, Dexian Zhang et Na Bao [8] ont proposé une méthode de partitionnement de documents basé sur l'algorithme ACO et l'algorithme de partitionnement Fuzzy C-means (FCM) [12].

III. L'ALGORITHME D'OPTIMISATION PAR COLONIE DE FOURMIS (ANT COLONY OPTIMIZATION :ACO)

La biologie est la source d'inspiration de plusieurs métaheuristiques. Ainsi, les fourmis artificielles possèdent le moyen d'échange des informations via des pistes construites à l'aide d'une substance appelée « phéromone »[15][16][26] [27].

Les fourmis empruntent généralement le chemin qui contient le plus de « phéromones ». Ce chemin deviendra le plus emprunté et finalement le plus court [18][22] [Figure 1].

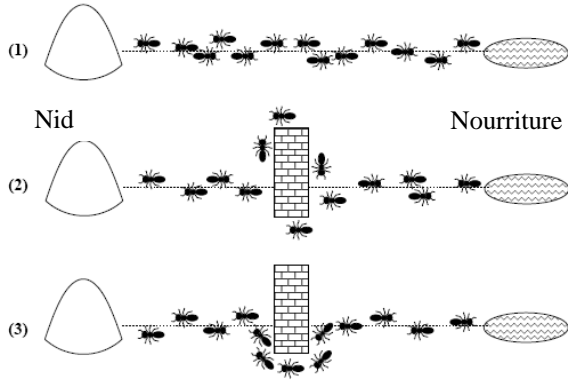


Figure 1 : Faculté d'une colonie de fourmis de retrouver le plus court chemin

1. Des fourmis réelles suivent un chemin entre le nid et une source de nourriture
2. Un obstacle survient sur le chemin, les fourmis choisissent de tourner à gauche ou à droite, avec des probabilités égales; la phéromone est déposée plus rapidement sur le chemin le plus court.
3. Toutes les fourmis ont choisi le chemin le plus court.

De ce modèle est née la métaheuristique d'optimisation par colonie de fourmis (Ant Colony Optimization) qui sert à la résolution des problèmes combinatoires [19] [26][27].

III.1 PARTITIONNEMENT [14]

Nous modélisons le problème de partitionnement de données comme un problème d'optimisation. Étant donné un ensemble d'objets $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ dans \mathbb{R}^p et on cherche une partition $P = (C_1, \dots, C_K)$ de Ω , le nombre K de classes fixé à l'avance, qui minimise l'inertie intra-classe $W(P)$ ou, ce qui est équivalent à maximiser l'inertie inter-classe $B(P)$:

$$W(P) = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} w_i \|x_i - g_k\|^2 \quad (2)$$

Où g_k est le centre de gravité ou un vecteur moyen de la classe C_k et w_i est le poids de l'objet x_i ; dans le cas simple $w_i = 1/n$.

$$B(P) = \sum_{k=1}^K \mu_k \|g_k - g\|^2 \quad (3)$$

$$\mu_k = \sum_{x_i \in C_k} w_i \quad (4)$$

$$g = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (5)$$

Où (4) est le poids de la classe de C_k et (5) est le centre de gravité global, telle que :

$$I = W(P) + B(P); \text{théorème de Huygens} \quad (6)$$

$$I = \sum_{i=1}^n w_i \|x_i - g\|^2 \quad (7)$$

(7) est la variance total de Ω . La méthode k-means est la plus utilisée en partitionnement puisqu'elle est une méthode de

recherche locale. Le choix initial de la partition influe sur le résultat final.

L'application des heuristiques d'optimisation modernes est basée sur le transfert des objets entre les classes. Tout cela est pour décider si le transfert d'un objet d'une classe à une autre est accepté.

L'algorithme proposé doit découvrir une configuration de partition optimale de telle sorte que la somme totale des erreurs des classes pour tous les objets de données peut être minimisée. L'équation (8) est la fonction objective. La contrainte (10) des états que chaque objet de données appartient seulement à une classe et la contrainte (11) des états qu'aucune classe n'est vide.

$$\text{Min } W(P) = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} w_i \|x_i - g_k\|^2 \quad (8)$$

Où :

$$\|x_i - g_k\|^2 = \sum_{j=1}^K (x_{ij} - g_{kj})^2 \quad (9)$$

Tel que :

$$\sum_{j=1}^K w_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^K w_{ij} \geq 1, \quad j=1, \dots, K \quad (11)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'objet } i \text{ est affecté à la classe } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (12)$$

$i = 1, \dots, n \text{ et } j = 1, \dots, K$

$$g_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} X_i}{\sum_{i=1}^n w_{ij}}, \quad j=1, \dots, K \quad (13)$$

Où, x_i est le vecteur des données de l'objet i et $x_i \in \mathbb{R}^p$; x_{ij} est la valeur de l'attribut de la $j^{\text{ème}}$ objet de données, g_j est le vecteur du centre de la classe et $g_j \in \mathbb{R}^p$; g_{kj} est la valeur du $j^{\text{ème}}$ attribut du centre de la classe, w_{ij} est la valeur du poids associée aux x_i avec g_j , X est la matrice de données de taille $n \times K$, et W est la matrice de poids de taille $n \times K$.

III.2 LA MÉTAHEURISTIQUE ACO

Les **algorithmes de colonies de fourmis** sont des algorithmes inspirés du comportement des fourmis et qui constituent une famille de métaheuristiques d'optimisation. L'algorithme d'Optimisation par Colonies de Fourmis (Ant Colony Optimization : ACO) est un cas particulier de ces algorithmes. Initialement proposé par Marco Dorigo *et al.* dans les années 1990 [24][25], pour la recherche de chemins optimaux dans un graphe. Il estime que rechercher une source de nourriture est analogue à rechercher une solution dans un espace de recherche commun.

L'algorithme général d'ACO, dans le cas où les états sont notés par i, j , sur un graphe de n nœuds, est le suivant [9] [10] :

Algorithme ACO

Initialiser $\tau_{ij} = \tau_0$;
 Dépot de chaque fourmi dans un noeud
 Pour $t = 1$ jusqu'à t_{max} faire:
 Pour $m = 1$ jusqu'à M , faire:
 Construire une solution $S^m(t)$
 Calculer le cout $W^m(t)$ de $S^m(t)$
 Finpour
 Pour chaque arc (i, j) faire
 Mise-à-jour τ
 Finpour
 Finpour

L'ACO a été conçue pour résoudre les problèmes d'optimisation discrets. Bien que la métaheuristique soit relativement récente, son applicabilité a été élargie pour résoudre divers problèmes combinatoires statiques. Parmi ceux recensés dans la littérature, nous citons: *coloriage des graphes, assignement quadratique, ordonnancement des tâches* [20] ainsi le problème de partitionnement.

Pour sélectionner le nœud suivant du chemin, la probabilité de l'état de transition est définie comme suit:

$$p_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta} \quad (14)$$

Où τ_{ij} et $1/\eta_{ij}$ sont l'intensité de phéromone et la taille du chemin entre les nœuds i et j , respectivement.

α et β sont des paramètres de contrôle et apportent un équilibre entre la visibilité et l'intensité.

A l'instant t , les fourmis font un compromis entre la visibilité et l'intensité de la trace des phéromones présentes sur tous les chemins pour choisir la prochaine destination j .

Afin de satisfaire la contrainte "*parcourir tous les objets en empruntant le plus court chemin*", on associe à chaque fourmi une structure appelé *liste taboue*. Cette liste va contenir les libellés des objets visités auparavant et permet d'éviter à la fourmi d'atteindre une destination déjà rencontrée durant le cycle. A la fin du cycle cette liste est remise à zéro.

Après le choix du prochain chemin, l'intensité de la trace de phéromone est mise-à-jour comme suit:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (15)$$

tel que:

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} 1/L_k & \text{si la fourmi parcourt un nœud } (i, j) \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (16)$$

Où L_k est la longueur de cycle associée à la $k^{\text{ème}}$ fourmi.

IV. APPLICATION DE L'ACO EN PARTITIONNEMENT:

ACOClust [9] [10] [21]

L'optimisation par colonies de fourmis est inspirée par la façon dont les fourmis cherchent leur nourriture. On propose un algorithme hybride composé des deux algorithmes ACO et k-means et itératif tel qu'à chaque itération on examine toutes les fourmis. Au début, une fourmi m est associée à une

partition P^m générée au hasard, on applique k-means et on converge à un minimum local de W . Pendant les itérations, la fourmi modifiera P^m comme suit: un objet i est choisi au hasard, et un autre objet j est sélectionné au hasard selon une stratégie avec probabilité p_{ij} , où p_{ij} dépend de la trace de phéromone et de l'heuristique locale. On peut dire que la fourmi décide si j sera affecté à la même classe que i .

Si on note t l'itération en cours, la partition associée à la fourmi m sera notée $P^m(t)$. La valeur de la trace de phéromone est modifiée selon la règle:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \tau_{ij}(t) + \rho \sum_{m=1}^M \Delta^m \tau_{ij}(t+1) \quad (17)$$

Où τ_{ij} associe deux objets i, j de Ω , et $\rho \in]0, 1]$ est un coefficient d'évaporation. $\Delta^m \tau_{ij}(t+1)$ est la quantité de phéromone par fourmi dans l'association des objets i et j dans la même classe, définie par $B(P^m(t))/I$ si i et j appartiennent à la même classe de $P^m(t)$, et 0 sinon, $B(P^m(t))$ étant l'inertie interclasses de la partition $P^m(t)$. Deux objets classifiés dans la même classe laissent donc la trace de phéromone. L'heuristique locale ou visibilité à court terme est définie par $\eta_{ij} = 1/|x_i - x_j|$, de façon à ce que deux objets proches ont une influence en la probabilité de les affecter dans la même classe. Soit α et β deux paramètres réels positifs. Si une fourmi m est placée sur un objet i , l'objet j est choisi avec la probabilité (14) et on introduit j dans la même classe que i . Les lignes de la matrice $(p_{ij}(t))_{n \times n}$ somment 1; étant donné i , la valeur $p_{ij}(t)$ est la probabilité de choisir j , qui est modélisée en utilisant la probabilité cumulée et en générant des nombres pseudo-aléatoires.

En considérant les éléments ci-dessus, l'algorithme ACOClust est le suivant:

Algorithme ACOClust

Initialiser $\tau_{ij} = \tau_0$;
 Calculer η
 Initialiser les probabilités p
 Initialiser au hasard les partitions P^1, \dots, P^M associées à chaque fourmi
 Par k-means sur chaque P^m converger vers un minimum local de W
 Pour $t = 1$ jusqu'à t_{max} faire:
 Pour $m = 1$ jusqu'à M , faire:
 Choisir au hasard un objet i
 Choisir un objet j avec probabilité $p_{ij}(t)$
 Affecter j à la classe de i
 FinPour
 Calculer $B(P^1), \dots, B(P^M)$ et garder la meilleure valeur
 Mettre à jour $\tau(t)$ et $p(t)$
 FinPour

L'algorithme ACOClust possède les six (06) paramètres suivants:

- Le nombre de fourmis M ,
- La valeur initiale de phéromone τ_0 ,
- Le nombre maximal d'itérations t_{max} ,
- La puissances α de la phéromone ,
- La puissances β de l'heuristique locale,
- Le coefficient d'évaporation ρ .

Pour déterminer j pour un i sélectionné: Attribution des probabilités aux nœuds des candidats, puis permettre à la fourmi choisie l'un d'entre eux d'une manière stochastique selon l'équation (14). La probabilité du nœud le plus attrayant est la plus grande dont il dispose [14].

V. RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Nous avons fixé des valeurs aux six paramètres de l'algorithme ACOClust $M=12$, $\tau_0=0.001$, $t_{max}=5.10^{E+5}$, $\alpha=1$, $\beta=0.8$, $\rho=0.3$. L'image traitée est acquise en Mars 1993 du satellite Landsat TM, couvre le milieu urbain de la ville d'Oran ouest (Algérie) de 800 lignes et 700 colonnes.

Dans le but d'évaluer les classes obtenues par ACOClust, nous avons utilisé une base de données supervisée dont on connaît le nombre de classes qui sera utilisé pour évaluer les résultats. Nous avons défini deux mesures pour effectuer l'évaluation des résultats. Les deux mesures sont:

1. Erreur de classification (E_c):

$$E_c = \frac{\text{Nombre de pixels mal classés}}{\text{Nombre total de pixels}}$$

2. Taux de classification (T_c):

$$T_c = (1 - E_c) * 100\%$$

$$T_c = \left(\frac{\text{Nombre de pixels bien classés}}{\text{Nombre total de pixels}} * 100 \right) \%$$

	ACOClust	AntClust ad.	AntClass	K-means
Erreur Ec	0.00711	0.00828	0.0691	0.0817
Taux Tc	99.289 %	99.172 %	93.089 %	91.83 %

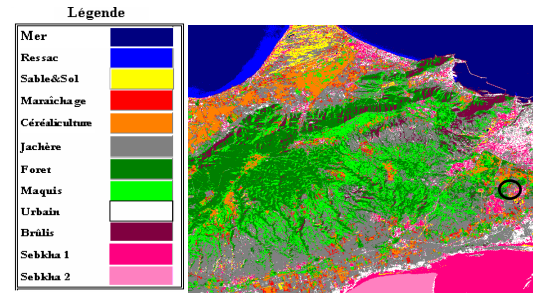
Les résultats de la comparaison entre ACOClust, AntClust adapté, AntClass et K-means ont permis de montrer que les résultats d'ACOClust sont meilleurs des trois autres algorithmes.

Le tableau 1 représente le nombre de pixels pour chacune des classes obtenues par les quatre algorithmes.

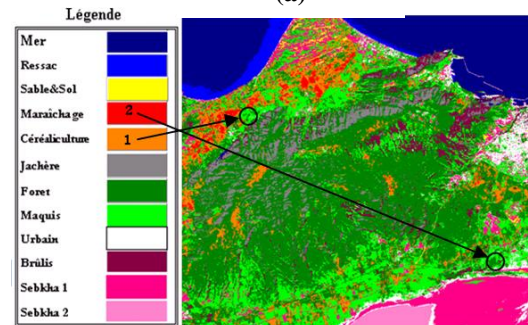
Nombre de pixels				
Nomme class	ACOClust	AntClust ad.	K_Means	AntClass
Méne	75542	74517	72455	71959
Ressak	10102	10039	12345	13203
Sable	4422	3006	87510	93821
Marichage	5511	7029	0	16971
cereaculture	55901	34067	0	0
jachere	67900	27218	27339	44580
foret	126902	216164	75584	107480
maquis	95049	89049	30451	48352
urbain	45121	17016	43691	46277
brulis	12982	23566	15976	42857
sebkha1	51276	50323	57267	65378
sebkha2	9692	8006	8849	9142

Après calcul du nombre de pixels répartis, on obtient le tableau suivant :

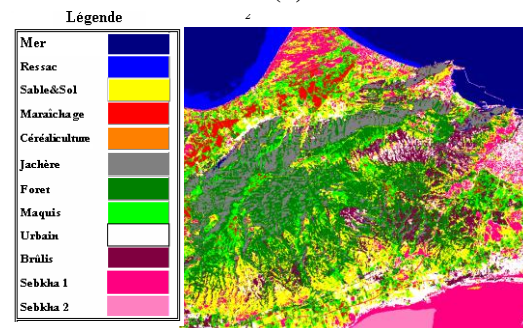
	ACOClust	AntClust ad.	AntClass	K-means
Nb pixel	560000	560000	560000	431437
% expl.	100%	100%	100%	72%



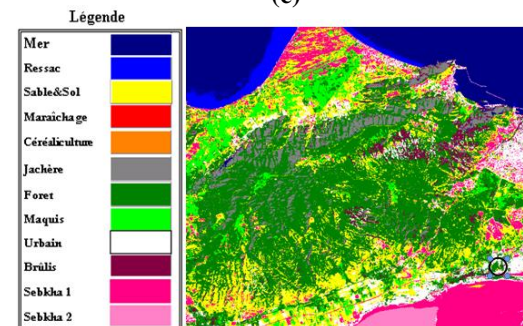
(a)



(b)



(c)



(d)

Tableau 1 : nombre de pixels des classes pour chaque algorithme

Figure 2 : Image classifiée AntClust adapté (a), par K-Means (b), par AntClass (c) et par ACOClust (d)

VI. CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous avons évalué les résultats obtenus par ACOClust sur l'image satellitaire considérée. L'algorithme ACOClust fournit de très bons résultats sur des images satellitaires et s'avère très efficace par rapport aux algorithmes AntClust adapté, AntClass et K-means. A travers les résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'adaptation de l'algorithme ACO pour la partitionnement et son utilisation avec l'algorithme k-means a bien permis d'une part l'obtention des meilleurs résultats et d'autre part l'amélioration de k-means avec ACO.

REFERENCES

- [1] Deneubourg J.-L., Aron, S., Goss, S., et Pasteels, J.-M. «*The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant*». Dans *Journal of Insect Behavior*, 3: 159-168, 1990.
- [2] Deneubourg, J. L., Goss, S., Franks, N., Sendova-Franks, A., Detrain, C. and Chretien, L. [1991]. «*The dynamic of collective sorting robot-like ants and ant-like robots*», in J. A. Meyer and S. W. Wilson (eds), SAB 90 – 1st Conference On Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats, MIT Press.
- [3] P. Kuntz, P. Layzell et Snyers. D. «A colony of ant-like agents for partitioning in vlsi technology». In P. Husbands et I. Harvey, éditeurs, *Proceedings of the Fourth European Conference on Artificial Life*, pages 417-424. MIT Press, 1997.
- [4] A.E. Langham, P.W. Grant, «Using competing ant colonies to solve k-way partitioning problems with foraging and raiding strategies», in: D. Floreano et al. (Eds.), *Advances in Artificial Life, Lecture Notes in Computer Science*, 1674, Springer, 1999, pp. 621–625.
- [5] L. Kaufman, P.J. Rousseeuw, "Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis", Wiley, New York, 1990.
- [6] N. Monmarché, G. Venturini, M. Slimane. «Classification non supervisée par une population de fourmis artificielles». *Actes Coll. Insectes Sociaux*, 13 : 43-52 (2000).
- [7] S. Chi and C.C. Yang. «Integration of Ant Colony SOM and k-means for Clustering Analysis», *Knowledge Based Intelligent Information and Engineering Systems, LNCS*, Springer, Vol. 4251, 2006, pp. 1-8.
- [8] Fei Wang, Dexian Zhang and Na Bao, «Fuzzy Document Clustering Based on Ant Colony Algorithm», *Proceedings of the 6th International Symposium on Neural Networks: Advances in Neural Networks – Part II, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5552, 2009, pp. 709-716.
- [9] J. Trejos, E. Piza, A. Murillo et M. Villalobos. «Partitionnement par colonies de fourmis et essaims particulières». *Université du Costa Rica, San José, Costa Rica. XIVes Rencontres de la Société francophone de classification SFC'2010*. Paris 5,6 et septembre 2007.
- [10] J. Trejos, E. Piza, A. Murillo and E. Piza. «Clustering by Ant Colony Optimization». *University of Costa Rica, San José, Costa Rica*. 2004, Volume 0, Part I, 25-32, DOI: 10.1007/978-3-642-17103-1_3
- [11] P.S. Shelokar, V.K. Jayaraman and B.D. Kulkarni, «An ant colony approach for clustering». *Analytica Chimica Acta*, Vol. 509, Issue 2, 3 May 2004, pp. 187-195.
- [12] O.A. Mohamed Jafar and R. Sivakumar. «Ant-based Clustering Algorithms: A Brief Survey». *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 2, No. 5, October, 2010 1793-8201
- [13] C.F. Tsai, C.W. Tsai, H.C. Wu and T. Yang, «Acof: a novel data clustering approach for data mining in large databases», *Journal of System Software*, 2004, 73(1), pp. 133-145.
- [14] Y. Kao and K. Cheng. "Tatung. «An ACO-Based Clustering Algorithm». University, Taipei, Taiwan. ANTS 2006, LNCS 4150, pp. 340–347, 2006. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
- [15] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulz, «Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems». Oxford University Presse, New York, 1999
- [16] S. Hernane, K. Belkadi. «Deux stratégies parallèles de l'optimisation par colonie de fourmis». Département d'Informatique, *Faculté des Sciences, USTO. SETIT 2007, 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications*, March 25-29, 2007 – TUNISIA
- [17] A. Benyamina, H. Fizazi. «ANTClust adapté pour le partitionnement des images satellitaires par colonies de fourmis». *COST2010*, 18-20 Avril 2010, Ouargla, Algérie
- [18] Coloni, A. Dorigo, M. Maniezzo, V. (1996). «The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents». *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part B*. 26(1). 29-41.
- [19] Coloni, A. Dorigo, M. and Maniezzo, V. (1992). «Distributed Optimization by Ant Colonies». *Proceedings of the European Conference on Artificial Life*. Paris, France, 134-142.
- [20] Jodogn, S. «Optimisation par une colonie d'agents coopérants». Université de Liège, 2001.
- [21] T. Niknam, M. Nayeripour and B. Bahmani Firouzi. «Application of a New Hybrid optimization Algorithm on Cluster Analysis». *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2008.
- [22] Dréo, J., Pérowski, A., Siarry, P., and Taillard, E. «Métaheuristiques pour l'optimisation difficile». Eyrolles, 2003.
- [23] A. Colomi, M. Dorigo, et V. Maniezzo. «Distributed optimization by ant colonies». In *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, pages 134–142, 1991.
- [24] A. Colomi, M. Dorigo et V. Maniezzo, *Distributed Optimization by Ant Colonies*, actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle, Paris, France, Elsevier Publishing, 134-142, 1991.
- [25] M. Dorigo, *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992
- [26] Monmarché N., Guinand F. & Siarry P. (2009). «Fourmis artificielles 1 : des bases de l'optimisation aux applications industrielles ». Lavoisier.
- [27] Monmarché N., Guinand F. & Siarry P. (2009). «Fourmis artificielles 2 : nouvelles directions pour une intelligence collective ». Lavoisier.

Pedestrian Localization: Literature Review and Illustration of a Monocular Vision Based Approach

First A. W. Elloumi, Second B. R. Leconge, and Third C. S. Treuillet

Abstract—Locate our position is one of the tasks we naturally do with our vision and our memory. However, ensuring this task in an artificial way is still a challenge for the whole community of computer vision. This paper presents a detailed literature review of pedestrian localization systems and their technologies. In the context of the visually impaired pedestrian navigation assistance, we also present an innovative solution based on the vision localization for both outdoor and indoor navigation. This new solution is established based on the independence of any collective equipment.

Index Terms—Computer Vision, navigation assistance, pedestrian localization, visually impaired.

I. INTRODUCTION

To move is a vital necessity for every person. In former times, man has developed many technical means to facilitate his movements and increase his autonomy: after the map and the compass, navigation assistance systems have experienced a great progress since the beginning of this new century with the advent of GPS (Global Positioning System). If the GPS is the reference system to locate moving vehicles, ships or aircraft, it is still insufficient for pedestrian localization because of its low accuracy. Besides, it is often ineffective in urban areas or in indoor environments.

Other technologies based on networks of communicating tags (WiFi, Zigbee, RFID, etc.) are being tested. But up until now, none is yet operational. The pedestrian localization remains a challenge because the intended accuracy, reactivity and reliability for a continuous guidance are far more important than robotics. In order to be practical for the visually impaired users (VI), a personal assistive navigation system

needs to be wearable, low cost, and free from collective equipment. The most challenging issue is the instantaneous and accurate spatial localization for guiding the VI indoor/outdoor daily walks, supplementary to obstacle avoidance that they can discern on their own using a long cane. To move safely, VI needs a navigation system with sufficient accuracy to keep the walker in a corridor of one meter wide along few memorized paths.

In this paper, we propose a literature review of recent works on this subject and our innovative approach.

The outline of this paper is as follows: the next section presents the specifications of the pedestrian localization against the ones of vehicles or robots. Section 3 details a review of the most important applications of such a pedestrian navigation system. Section 4 shows a state of the art of proposed researches in this field and distinguish between autonomous systems and those based on an existing infrastructure. Finally, we propose our monocular vision based method, our results and conclusion.

II. DIFFERENCE BETWEEN PEDESTRIAN LOCALIZATION AND ROBOT OR VEHICLE LOCALIZATION

The guided robot or vehicle localization is often based on a GPS as they are meant for outdoor use. The GPS receiver can only identify a position but it is unable to know neither roads or wrong ways nor places. That is why the system must use a digital map that includes the road network. The main and secondary roads have been digitalized by specialists with a few meter precision (from 5 to 20m). This map includes the direction of the traffic and the important infrastructure such as car parks, hotels, hospitals, railway stations, airports, etc.. Thanks to this map we can choose the road that we want to take. To have more accuracy, the system often incorporates a gyroscope which enables it to know some motions of the vehicle and so to identify significant changes in direction as the turns. It includes also an odometer to know the distance traveled by the vehicle which may also be obtained by integrating the velocity measured by the vehicle speedometer. The system performs a recalibration, using map-matching algorithms. It compares information from the gyroscope to the one stored the map data. The whole system can achieve an

Manuscript received October 27, 2011.

Wael Elloumi, Author A is with the Laboratory PRISME, Université d'Orléans, Ecole polytechnique, 12 rue de Blois, 45067 Orléans, France (wael.elloumi@univ-orleans.fr).

Rémy Leconge, Author B is with the Laboratory PRISME, Université d'Orléans, Ecole polytechnique, 12 rue de Blois, 45067 Orléans, France (remy.leconge@univ-orleans.fr).

Sylvie Treuillet, Author C is with the Laboratory PRISME, Université d'Orléans, Ecole polytechnique, 12 rue de Blois, 45067 Orléans, France (sylvie.treuillet@univ-orleans.fr).

accuracy of 10 meters which is reasonable to guide a vehicle driver in an urban environment.

Unlike vehicle localization, pedestrian localization must overcome many scientific and technological gaps such as the latency and reactivity time which must be reduced and the lack of existing map (unlike the road network). To overcome faster and less predictable motions, it must reach a precision better than those of a guided robot or of a vehicle (motion model). Another tough problem is the human step variation. Unlike a wheel, the humans step can vary from one person to another and even for the same person depending on his state and circumstances. This variation can become a significant source of error because it can increase rapidly. For all these previous reasons, take inspiration and adapt the concepts of car navigation to the pedestrian navigation is still a great challenge.

III. PEDESTRIAN LOCALIZATION APPLICATIONS

The Pedestrian localization has many varied fields of application. This section presents the most important fields of pedestrian localization application.

A. Emergency intervention

Entities in charge of emergency services are very interested in navigation systems because the navigation data could greatly improve the security and the exploitation of their agents on the site of intervention. To satisfy the expectations of these emergency organizations, several pedestrian positioning systems have been proposed. [1] propose an indoor pedestrian navigation solution for firefighters' emergency intervention. In [2] a real-time pedestrian localization system has been exposed. It ensures the indoor localization of a policeman.

B. Visually impaired guidance

Substitute the traditional tools of guidance (the white cane and the guide dog) is still an ambition for the whole VI community. Several researches and systems have been proposed to help VI in their moves especially in unfamiliar environments [3], [4], [5], [6]. Several European projects have been also proposed as CASBLiP project that led to the definition of a visual-hearing translation system. There are also other projects that are still ongoing as HAPTMAP (Haptic, Audio and Visual Interfaces for Maps and Location Based Services) and NAVIG (Navigation Assistée par VIsion artificielle et Gnss) which try to increase the autonomy of the VI.

Given the different services they offer, navigation and guidance tools can make VI life easier: daily walk assistance, obstacle avoidance, instantaneous position and orientation, etc..

C. Tourism

Besides its function of guidance, a pedestrian localization system can provide the carrier with required information about a specific place or point of the itinerary. So we can well imagine that such a system can be useful for guided tours in

cities or museums. Current means of mobile telecommunication allow eventual interactive access to further information about the city (points of interest, public transport, etc.) by the geo-referencing of the path on an existing digital map: everytime the tourist goes close to a touristic area, building, sculpture, etc., the system provides him with interesting and useful information.

D. Military

The military sector is a field that gives great importance to the research and development. Indeed, there are many inventions and systems that have emerged thanks to the military researches. Then, they were extended for civilian purposes. For example the GPS is originally a research project of the U.S. Army in the 1960s. The localization of its fleet (vehicles, aircraft, etc.) and each one of its soldiers is strategic and it is of primary importance to all armies. This capacity is already reached for vehicles but it is still scheduled as soon as possible for soldiers.

Each one of the above list of pedestrian localization applications needs some requirements to be respected in terms of accuracy, latency time, reactivity, cost, environment, etc. There are different technologies that can satisfy the needs of these applications: GPS, Bluetooth, Ultra Wide Band (UWB), ultrasound, infrared, wifi, Radio Frequency IDentification (RFID), Microelectromechanical systems (MEMS) and the camera. Most of these technologies were already used in vehicle navigation. Because of lack of space we haven't detailed each one of them. But it is very important to know the advantages and the drawbacks of each one of them to make the best choice.

IV. LITERATURE REVIEW

The diversity of application areas and technologies used in pedestrian localization has led to a multiplicity in systems that have been proposed in the literature. There are mainly two approaches: tag network based systems which are dependant from an existing infrastructure or autonomous systems.

A. Dependant Localization Systems

This family of localization systems is composed of systems using sensors or tag networks as the satellite networks (GPS) or the existing local networks (WiFi, GSM) or Radio Frequency IDentification tags (RFID tag). Such a localization system is expensive because it requires the installation of specific infrastructure in all regions where we want to ensure the localization with a sufficient accuracy. That is why most of these methods have been tested only in indoor environments.

Drishti is a pedestrian navigation system proposed by a team of young researchers [3] from Florida University at Gainesville, to guide VI during their travels in the campus or inside its buildings. This device combines the Differential GPS (DGPS) with a Geographic Information System (GIS) for outdoor localization [7]. It uses an ultrasonic positioning system for indoor localization: the receiver is composed of 2 tags attached to the user's shoulders while the transmitters were

composed of 4 ultrasound pilots mounted in the four corners of the building to provide the position of the person. The results show that this system is able to ensure indoor localization with an error inferior to 22cm from the real position.

An infrared localization system was proposed by [8]. It is composed of three main units: a vest that contains a 4x4 micromotors grid which delivers haptic guidance signals on the back of the user, a laptop for itinerary planning and infrared receiver and transmitters to localize the person. For a consistent detection of infrared radiation, the transmitters were mounted so they cover the whole trajectory to be traveled and the IR receiver was held in height so that the IR signals can be easily detected. This system was tested by 12 students. They used to travel 4 different trajectories inside the laboratory. The results showed that each path requires an average of 1.5 minutes of travel and the mean of error number for each individual and for each path varies from 0 to 3 errors.

Other researchers have used RFID to create a communication network and then to ensure the pedestrian localization. An indoor navigation approach for the VI was presented by [4], [9], [10]. This system (entitled —RG||) is inspired from the navigation guide dog. It is composed of a Pioneer 2DX robot platform, a navigation toolkit, a RFID receiver and radio-tags for localization. The robotic platform is attached to a leash as a substitute for a guide dog. This platform has 3 wheels and 16 ultrasonic sonars, 8 in the front and 8 in the back. The navigation toolkit includes a laptop that is connected to the microcontroller of the robot via an USB cable. The laptop is also connected to a RFID receiver to localize the robot guide. This prototype was tested by VI persons. Results show that it suffers from some gaps like its slow speed (0.5 m/s) and its movement jerkiness.

B. Autonomous Localization Systems

Unlike the first family, such a localization system does not require any existing infrastructure and it is often based on a portable pedestrian navigation system (PNS). This PNS may be coupled with a database map of areas or buildings. [11] are based on graph theory to build the building map using a link/node model. Then, they calculate the person's position using a Pedestrian Navigation Module developed in the EPFL laboratory (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) [12]. The PNM is composed of a GPS receiver, a digital magnetic compass, a gyroscope, a barometer and embedded DR algorithms (dead reckoning). All sensors are installed in a small box so that the weight of this module does not exceed 400g. So it can be attached to the user's belt. The combination of position data with those of the map is made by a dedicated matching algorithm. Preliminary results were encouraging. However, its use is limited to indoors.

An indoor pedestrian localization system for VI people has recently been proposed by [5]. This system is composed of a foot-mounted odometer (to measure the speed) and a white cane in which are attached two sensors: a 3-axis gyroscope and a laser scanner to estimate precisely the attitude of the cane. Information from the 3 sensors is fused in two steps to estimate the user's position. The first step uses the inertial

measurements (from the 3-axes gyroscope) and the relative orientation measurement (from the laser scanner) to accurately estimate the attitude of the white cane. The second step estimates the position of the person: it combines linear speed measurements of the odometer, a filtered version of the cane's motion estimation and extracted features (corners detected by the scanner laser).

A team from EPFL [1] has also exposed an almost self-deployable pedestrian navigation solution for emergency intervention. It is based on the hybridization of MEMS sensors and RFID tags, to increase accuracy and robustness of the system.

All of the systems listed above have either gaps of precision (GPS, MEMS) or they require expensive installation costs (RFID, IR) or they cannot be used in both indoors outdoors (GPS). To overcome these limitations, the computer vision can be considered as an alternative solution to ensure accurate indoor/outdoor localization using a low-cost autonomous system.

In the literature, there are mainly two approaches to deal with the problem of vision based localization: localization without prior information about the environment (SLAM) or localization based on prior knowledge of the environment.

1) Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

The SLAM or the CML (Concurrent Mapping and Localization) approach was developed for robots or autonomous vehicles navigation in an unfamiliar environment. Progressively, the environment's map is enriched with new features. The localization is based on these features and the position of the former primitives is refined taking into account the new observations.

This approach has been used with sonar [13], [14] or telemeter [15], [16] in indoors and more recently with radars in outdoors [17], [18]. The SLAM approach has also recently been applied to stereovision [19] with SIFT's features for a robot localization. Nevertheless, the development of such an algorithm in real time seems to be difficult. Recently, a real-time monocular SLAM approach, combining a particle filter and an extended Kalman filter (EKF), has been presented in [20], [21] and then improved in [22], [23]. A SLAM algorithm on a camera phone has been also exposed in [24]. These approaches are therefore restricted to limited areas and they cannot be efficient for the pedestrian localization without a reliable motion model. One of the proposed solutions to overcome these drawbacks is the multi-sensor fusion.

2) Pre-recorded Mapping (Visual Memory)

Thanks to this approach, the mapping step, which is the most complex part in terms of computing time, can be processed offline. A partial 3D reconstruction of the environment can be established from a recorded video sequence of the reference path. Once this "visual memory" stored, the localization can be ensured in real time by estimating the camera position (6 DOF). That is why we have

adopted this approach to develop our own pedestrian localization system.

It is also possible to build the 3D map using vision alone or by combining vision with other sensors. For example, [25] use a camera mounted in a rotating platform and a laser telemeter to build a set of panoramic images enriched with depth information. [26] also build a 3D map using a trinocular sensor and an odometer. This map includes the position of vertical lines observed during the learning step. A different mapping approach was proposed by [27]. It uses a camera placed on a vehicle to see the road sides. From these views, a motion's segmentation is performed to differentiate the different buildings facades that are classified according to the distance to the camera.

In this section we have introduced different pedestrian localization systems and methods from the literature. In the next section we will detail our own pedestrian localization approach.

V. MONOCULAR VISION BASED PEDESTRIAN LOCALIZATION METHOD

The approach we have adopted takes advantages of recent advances in artificial vision navigation. Originally, it was proposed in the case of mobile robots: with a body mounted camera and a pre-recorded 3D map, it is possible to obtain instantaneous and accurate localization and orientation of the camera along an itinerary. To establish the environment's 3D map, a video sequence of the reference itinerary is acquired. This video sequence is then automatically off-line processed by a computer. The 3D map uses existing natural singular points in the scene (Harris corner) which are automatically detected in images (angular points on buildings, doors, windows, panels, trees, etc.).

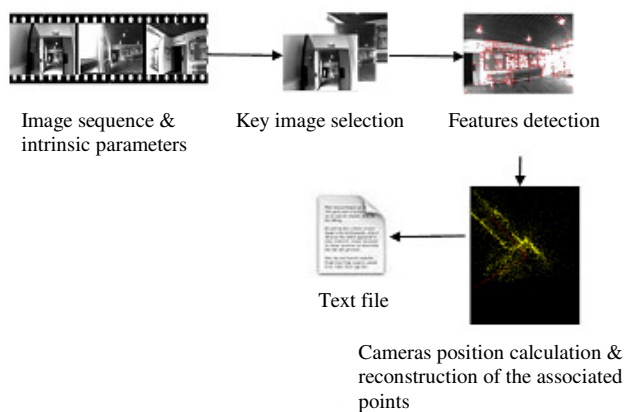


Figure 1: Learning step

This learning step is performed once for each itinerary. The amount of stored data in the visual memory is limited: it includes the positions of some selected key images and the characteristics of 3D features (natural singular points detected in the scene) as shown in Figure 1.

In Figure 2, we can easily observe that the 3D map (the camera positions are represented by cyan squares and reconstructed

3D point cloud is shown in blue) includes not only geometric shapes of the scene but also the traveled path.

In the localization step, when one moves on the same itinerary, the camera position is automatically calculated by matching the points extracted in each new image with the features of the visual memory (environment's 3D map). The figure below shows an example of localization (the position and the current orientation of the camera are shown in magenta).

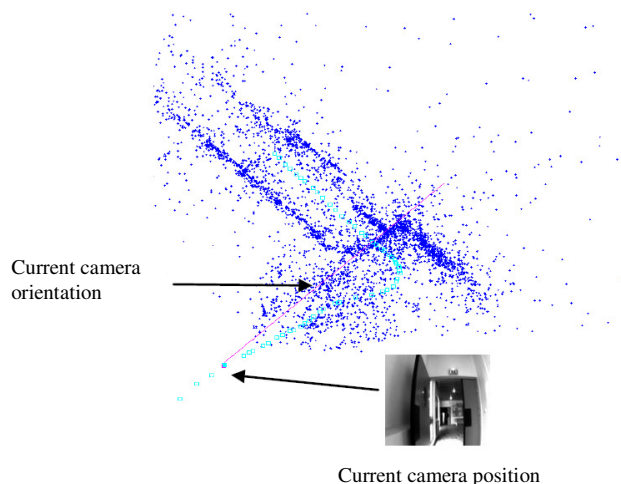


Figure 2: Localization step

This monocular vision based localization seems to have worked in the case of mobile robots. That is why we have decided its transposition to pedestrian navigation. Using an effective guidance interface, this technique should allow the realization of a hand-held and low cost system to significantly increase the mobility and the safety of the VI. The great advantage of such a system is the independence from special infrastructure. It presents serious advantages comparing to current GPS receivers: more accurate, it is effective in indoor/outdoor environments and it is able to calculate the camera position and the movement direction (by calculating the camera position we can retrieve its 6 DOF). Throughout the trip, we have so continuous access to the instantaneous walker position and orientation in relation to the reference itinerary which facilitates its guidance.

VI. RESULTS

Our experimental prototype is composed of a laptop (Intel Core 2 Duo 2.66GHz and 4096MB of RAM) and a 3.5mm lens equipped AVT GUPPY F-033C camera. The camera is previously calibrated to have its intrinsic parameters. The images resolution is 320x240 captured at 25 FPS. Our algorithm is able to process up to 4 fps. This rate is sufficient to ensure the pedestrian localization in real time. Our method has been tested off-line by replaying the same sequence of learning step. The reference itinerary is shown in Figure 2. It is composed of 58 keyframes and 4566 3D points. Off-line localization is perfect (no drift from the reference path). We have also tested the robustness of our algorithm to occlusions

and to scene changes. For this, we have used the "hall_sequence" which is composed of 921 images and captured in the presence of people in the scene. The current camera position and even its orientation are well still onto the reference trajectory (although there is a difference between the two matched images) as shown in Figure 3.

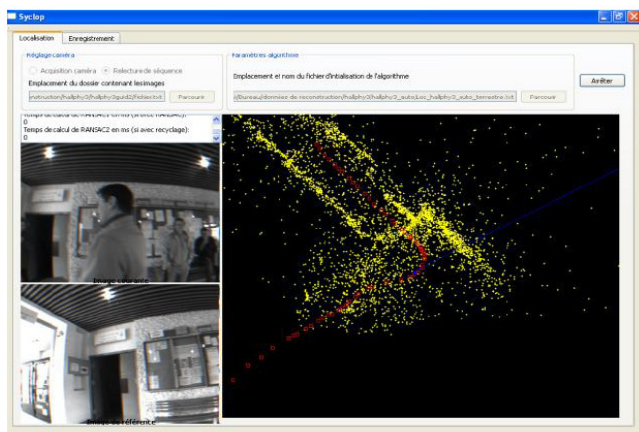


Figure 3: Localization example "hall_sequence"

We have also tested our method on-line. The 3D map of the reference trajectory —lab_sequence|| is shown in Figure 4. It is composed of 37 keyframes and 2291 3D points. During the navigation of the reference trajectory online, 142 images of the video stream were processed. All images have been localized onto the reference trajectory. However, 120 images have been properly localized and 22 images have been localized with a bit drift to the reference trajectory. This is because of the abrupt and rapid motions of the camera which greatly affect the step of features matching. It can be related also to the drifts from the actual trajectory to the reference one (we cannot travel exactly the same path of the learning sequence).

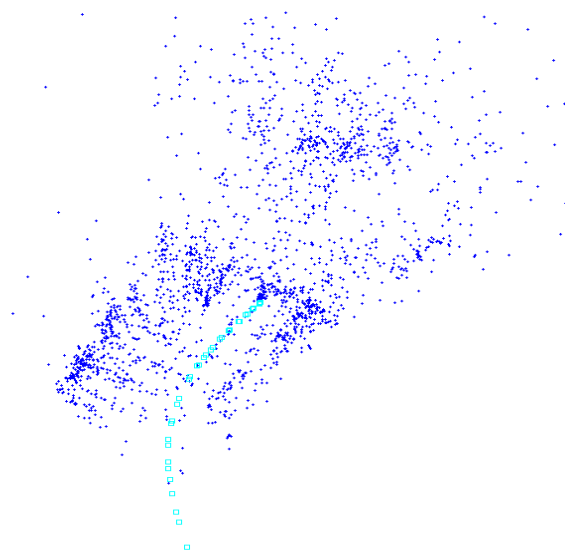


Figure 4: Reference path of the "lab_sequence"

VII. CONCLUSION

We have presented a detailed literature review which has allowed us to highlights the advantages and the drawbacks of the different technologies used for pedestrian localization and hence to select the one that satisfies our purposes.

We have also presented an illustration of our new pedestrian localization prototype. It can be used in indoor/outdoor environments. Moreover, it is interesting since it is independent from any collective equipment. However, the robustness of our system should be improved and this will be investigated in future work.

ACKNOWLEDGMENT

This research program is supported by Heron Technologies (France) and the Conseil Général du Loiret.

REFERENCES

- [1] Renaudin, V., Yalak, O., Tomé, P., and Merminod, B.: Indoor Navigation of Emergency Agents. *European Journal of Navigation*, Vol 5(3), pp. 36–45, (07/2007)
- [2] Gay Bellile, V., Tamaazousti, M., Dupont, R., Naudet Collette, S.: A vision-based hybrid system for real-time accurate localization in an indoor environment. *International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*. Angers (2010)
- [3] Ran, L., Helal, S., Moore, S.: "Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service". *Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04)*, pp. 23. (2004)
- [4] Kulyukin, V., Gharpure, C., Nicholson, J. and Pavithran, S.: —Rfid in robotassisted indoor navigation for the visually impaired. *Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Sep. 28-Oct. 2 (2004)
- [5] Hesch, J.A., Roumeliotis, S.I: "An Indoor Localization Aid for the Visually Impaired". *Proc. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'07)*. (Apr. 2007)
- [6] Treuillet, S., Royer, E.: outdoor/indoor vision-based localization for blind pedestrian navigation assistance. *International Journal of Image and Graphics*. Vol. 10, No 4, pp. 481–496 (2010)
- [7] Helal, A., Moore, S., and Ramachandran, B.: "Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled". *Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Computer*. October (2001)
- [8] Ertan, S., Lee, C., Willets, A., Tan, H., and Pentland, A.: —A wearable haptic navigation guidance system. *Proc. Second International Symposium on Wearable Computers*, pp. 164–165. (1998).
- [9] Kulyukin, V., Gharpure, C., Sute, P., Graw, N. D. and Nicholson, J.: —A robotic wayfinding system for the visually impaired. *Proceedings of the Sixteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference (IAAI-04)*. (2004)
- [10] Kulyukin, V., Sute, P., and Graw, N. D.: —Human- robot interaction in a robotic guide for the visually impaired. *Proc. of the AAAI Spring Symposium on Interaction between Humans and Autonomous Systems over Extended Operation*. March (2004)
- [11] Gilliéron, P.Y., Daniela, Büchel D., Spassov, I., Merminod, B.: Indoor Navigation Performance Analysis. *ENC GNSS*, (2004)
- [12] Ladetto, Q., Merminod, B.: Digital Magnetic Compass and Gyroscope Integration for Pedestrian Navigation. *9th St-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*. (2002)
- [13] Leonard, J.J. & Durrant-Whyte, H.F.: Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot. *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems*. (1991)
- [14] Wijk, O. & Christensen, H.I.: Triangulation Based Fusion of Sonar Data for Robust Robot Pose Tracking. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, pp 740—752. (2000)

- [15] Moutarlier, P. & Chatila, R.: Incremental free-space modeling from uncertain data by an autonomous mobile robot. *International Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1052—1058. Nov. (1991)
- [16] Thrun, S., Burgard, W. & Fox, D.: A Real-Time Algorithm for Mobile Robot With Applications to Multi-Robot and 3D Mapping. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. (2000)
- [17] Guivant, J. & Nebot, E.: Optimization of the Simultaneous Localization and map Building Algorithm for Real Time Implementation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 17, pp. 242—257. June (2001)
- [18] Dissanayake, G., Newman, P. M., Durrant-Whyte, H-F., Clark, S. & Csorba, M.: A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem. *IEEE Transactions on Robotic and Automation*, Vol. 17, pp. 229--241, May (2001)
- [19] Se, S., Lowe, D. & Little, J.: Local and Global Localization for Mobile Robots using Visual Landmarks. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 414--420, October (2001)
- [20] Davison, A. J.: Real-Time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera, In *9th International Conference on Computer Vision*. pp. 1403--1410, October (2003)
- [21] Davison, A. J., Molton, N. D., Reid, I., and Stasse., O.: MonoSLAM:Real-time single camera SLAM, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol. 29(6), pp. 1052--1067. (2007)
- [22] Strasdat, H., M. Montiel, J. M., and Davison, A. J.: Real-time monocular SLAM: Why filter?. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. (2010)
- [23] Strasdat, Hauke, J. Montiel, M., and J. Davison, Andrew: Scale Drift-Aware Large Scale Monocular SLAM. *Robotics: Science and Systems*. (2010)
- [24] Klein, G., and Murray, D. W.: Parallel tracking and mapping on a camera phone. *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. (2009)
- [25] Cobzas, D., Zhang, H., and Jagersand, M.: Image-based localization with depth-enhanced image map. *International Conference on Robotics and Automation*. (2003)
- [26] Ohya, A., Miyazaki, Y., and Yuta, S.: Autonomous navigation of mobile robot based on teaching and playback using trinocular vision. *IEEE Industrial Electronics Conference*. (2001)
- [27] Li, S. and Tsuji, S.: Qualitative representation of scenes along a route. *Image and Vision Computing*, Vol. 17, pp. 685—700. -(1999)

Fractal Analysis of Bone Radiographs Correlated with Histomorphometry

Khaled Harrar, Latifa Hamami and Rachid Jennane

Abstract— The bone fragility in osteoporosis is multifactorial and complex. At present, fracture risk prediction in the individual patient relies chiefly on bone mineral density (BMD) measurements. However, many lines of evidence indicate that the decreased bone strength characteristic of osteoporosis is dependent not only on bone mineral density, but also on other factors, most notably bone microarchitecture. The aim of this paper is the analysis of trabecular bone for osteoporosis detection. Two methods are used, texture analysis based on fractal dimension and histomorphometry based on the bone microarchitecture analysis. A total of 24 images of calcaneus (heel bone) from subjects divided into 2 groups (osteoporotics and controls) were analyzed. Correlations are found between fractal dimension, histomorphometry parameters and osteoporosis, suggesting that these two methods are potentially useful in monitoring bone strength.

Index Terms— Fractal dimension, texture, osteoporosis, histomorphometry, bone mineral density (BMD).

I. INTRODUCTION

Osteoporosis is a condition that is characterized by low bone mass and microarchitectural deterioration of bone tissue, leading to enhanced bone fragility and a consequent increase in fracture risk [1]. The trabecular microarchitecture characterization has been recognized as an important factor [2]. It cannot be routinely obtained by noninvasive methods and requires a bone biopsy with histomorphometric analysis. This is why several attempts have been made to characterize trabecular bone microarchitecture by noninvasive methods [2-3]. A fractal describes a rough or fragmented geometric shape that can be subdivided into parts, each of which is, at least approximately, a reduced-size copy of the whole.

Contrary to classical geometry, fractals are not regular and may have an integer or non-integer dimension. Also, they are generally self-similar and independent of scale. Fractal dimension is a measure of how complicated a self-similar object is [2-4]. Such a property is also of interest in the study of the microarchitecture of trabecular bone.

Different osteoporotic stages cause differently deteriorated trabeculae, i.e. a higher irregularity and holes for a higher degree of osteoporosis.

There are several others digital processing methods to assess bone architecture. In particular, histomorphometry, based on the principles of quantitative histology and stereology, helps evaluating the two-dimensional microarchitecture. This method supply information on trabecular width as well as on its distribution and on the organization of the different trabeculae in a bone section. several studies have been performed to characterize the trabecular bone: Nektarios et al. [2] used Fourier analysis dimension and lacunarity to characterize texture images, they showed that power spectrum intercept correlates well with the overall magnitude of visual roughness, and lacunarity has a discriminating power among the images qualities. Lespessailles et al. [3] worked on direct digital radiographic images, they showed the relationship between the bone texture analysis and bone mineral density. Also, they stated that the use of high-resolution digital X-ray device improves the reproducibility of parameter measurement compared to the indirect digitization of radiologic films previously used. Jennane et al [5] proposed a fractal analysis of bone X-ray tomographic microscopy (XTM) projections. The aim of the study was to establish whether or not there is a correlation between three-dimensional (3D) trabecular changes and two-dimensional (2D) fractal descriptors. The model of fractional Brownian motion (fBm) was used on bone XTM 2-D projections to characterize changes in bone structure that occur during disease, such a simulation of bone loss. Results indicate that fBm is a robust texture model allowing quantification of simulations of trabecular bone changes. The objective of this work is to find correlation between bone microarchitectural parameters and fractal dimension for osteoporosis assessment.

Paper Received October 27, 2011.

K. Harrar is with Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 35000 avenue de l'indépendance Boumerdes, Algérie harrar_k@umbb.dz
& Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Laboratoire signal et communications, 10, Avenue Hassen Badi BP 182 El-Harrach Alger 16200.

L. Hamami is with Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Laboratoire signal et communications, 10, Avenue Hassen Badi BP 182 El-Harrach Alger 16200. latifa.hamami@enp.edu.dz

R. Jennane is with the PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois BP 6744, 45067 Orléans Cedex 2, FRANCE. Rachid.Jennane@univ-orleans.fr

II. METHODS

A. Image Acquisition and preprocessing

The radiographic images of calcaneus are obtained on a Kodak Min R screen-film system. The calcaneus was placed in contact with the film and the distance between the X-Ray focal source and the film was fixed at 1m. The region of interest (ROI) on the radiographs was located in an area of trabecular bone at the tuber calcanei, and defined by anatomic marks. The ROI was digitized with a CCD camera to the format 256 x 256 pixels in grayscale (Fig. 1). Subjects were classified into two groups (normal: for healthy (12 subjects), osteoporotics: for 12 subjects suffering from osteoporosis (i.e. of abnormal loss of calcium).

ROI images were first made binary using the algorithm described by White and Rudolph [6], which was used for measuring the morphologic features of the trabecular architecture. Each ROI image was first smoothed using a low pass Gaussian filter (sigma = 21 pixels, kernel size = 10) to remove large scale variations on the image. The smoothed image was then subtracted from the original, and 128 gray level value was added to each pixel of the subtracted image. The resulting image was then binarized using a global threshold value of 128 (Fig. 2) [6], which segmented the image into the bone (gray level of 255) and marrow (gray level of 0).

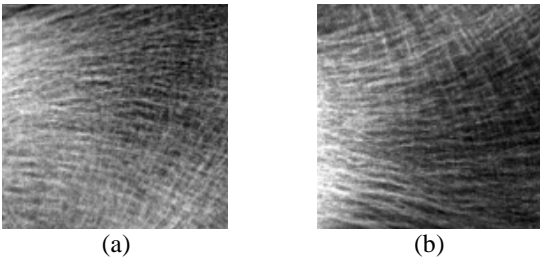


Fig.1. Texture images. (a) control case and (b) an osteoporotic patient (of the calcaneus after the ROI extraction).

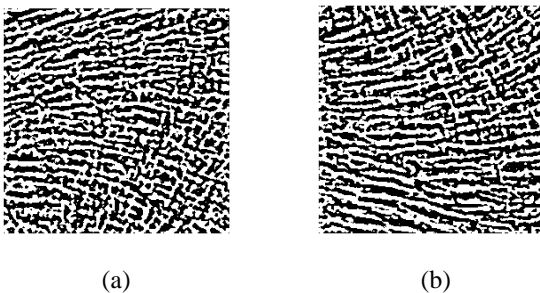


Fig. 2. Binary images related to the previous ROI. (a) control case, b) osteoporotic patient.

B. Fractal dimension

Mathematically, a fractal is a set of points whose fractal dimension exceeds its topological dimension. The notion of

dimension is not very useful since it does not distinguish between rather complex set of elements and a single point, which also has a vanishing topological dimension. To cope with this degeneracy, mathematicians have introduced alternative concepts of dimensions that give useful information for quantifying such sets. The simplest non-trivial dimension that generalizes the topological dimension is the so-called fractal dimension defined as follow:

$$D_c = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln N_n}{\ln \left(\frac{1}{\epsilon_n} \right)} \quad (1)$$

The fractal dimension D_c quantifies the rate at which the number N_n of observable elements proliferate as the resolution $1/\epsilon_n$ increases. One of the widely used methods to calculate fractal dimension is the Box counting method, its widespread use is due mainly to its ease of calculation and well adapted to binary images. The idea is to cover the object S with sets of diameter ϵ . Call N_ϵ the number of such sets needed to cover S . The box dimension is then [7]:

$$D_b(S) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N_\epsilon}{-\ln(\epsilon)} \quad (2)$$

If the limit converges (otherwise replace \lim by $\lim \inf$ or $\lim \sup$, respectively the lower and upper box counting dimensions). The box dimension is therefore the power law behaviour of the measurement of the object at scale ϵ . The number of sets that can cover S is of order $\epsilon^{-D_b(S)}$. The previous definition remains the same if for N_ϵ we consider the smallest number of cubes of diameter ϵ that can cover S [8], hence the name box counting dimension. To obtain an estimate of $D_b(S)$, it suffices to plot $\ln N_\epsilon$ versus $\ln \epsilon$. The estimate by the least squares method of the slope of the group of dots ($-\ln(\epsilon)$, $\ln(N_\epsilon)$), gives the estimate of fractal dimension [9].

C. Histomorphometry

The study of microarchitecture is based on the measure of width, number, and separation of trabeculae as well as on their spatial organization. The measurement of trabecular parameters on the bone sections was initially obtained using a microscope with an ocular equipped with a special grid. What we can measure are the TV (tissue volume), BS (bone surface) and BV (bone volume). The following parameters are determined [10]:

- The Bone Volume Fraction : $\frac{BV}{TV} \times 100$
- The Bone Surface Fraction : $\frac{BS}{TV} \times 100$
- The Tabecular Thickness : $TbTh = \frac{2}{BS/BV}$
- The Trabecular Number : $TbN = \frac{BV/TV}{TbTh}$

- The Trabecular Separation : $TbSp = \frac{1}{TbN} - TbTh$

These parameters describe the basic relationship between space and trabecular network. Conventionally, all these parameters are expressed as volume instead of area, even if they are evaluated in two dimensional sections, because they offer an inferred estimation of the spatial organization of the trabecular network. Similarly, the Trabecular Separation, defined as the distance between the edges of the trabeculae, is expressed in three-dimensional units [10].

D. Statistical analysis

The results are expressed as mean \pm standard deviation (SD) for all subjects. Correlation analysis was done using Pearson's r , where y is the dependent variable and x the predictor variable. When nonlinear relationships between the variables were evident on graphic examination, linear model seemed inappropriate. According to the visual pattern on graphic examination, quadratic (model: $y = ax^2 + bx + c$) was found as the best model of regression to determine coefficients of correlation between Bone volume fraction and fractal dimension.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 illustrate the values of fractal dimension for all subjects. A higher value of fractal dimension corresponds to a higher irregularity of the trabecular structure and a greater loss of bone mass (osteoporosis), which goes well with the expected results (Fig. 3). Also it should be noted there is no overlap in fractal dimension values of healthy and osteoporotic patients, and leaves us to say that fractal analysis is a good predictor of bone loss. The range (side length ϵ) of the box used in the box counting method to calculate the fractal dimension is from 2 to 25 pixels.

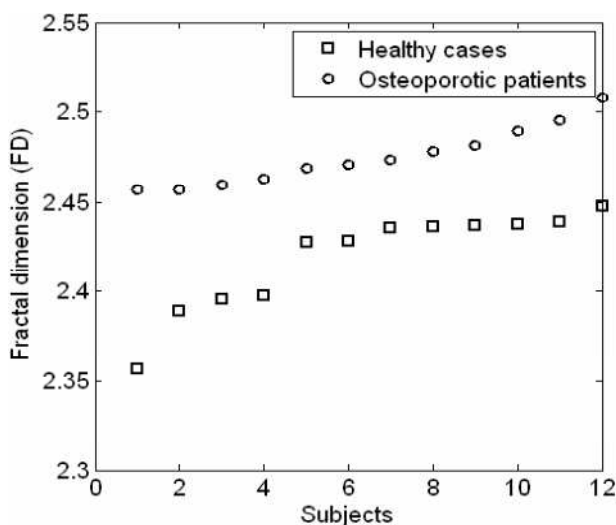


Fig. 3. Fractal dimension of the 24 subjects.

The bone volume fraction (BV/TV) is represented in figure 4. Contrary to fractal dimension, the bone volume fraction values of controls are higher than those of osteoporotic patients, due to stiffer bone structure. Osteoporotic patients present lower bone volume, due to high loss of connectivity bone architecture (Fig. 4).

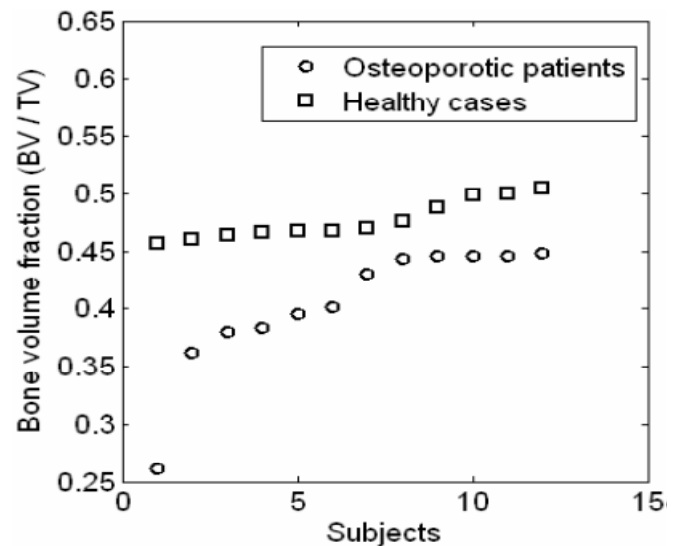


Fig 4. Bone volume fraction for healthy cases and osteoporotic patients.

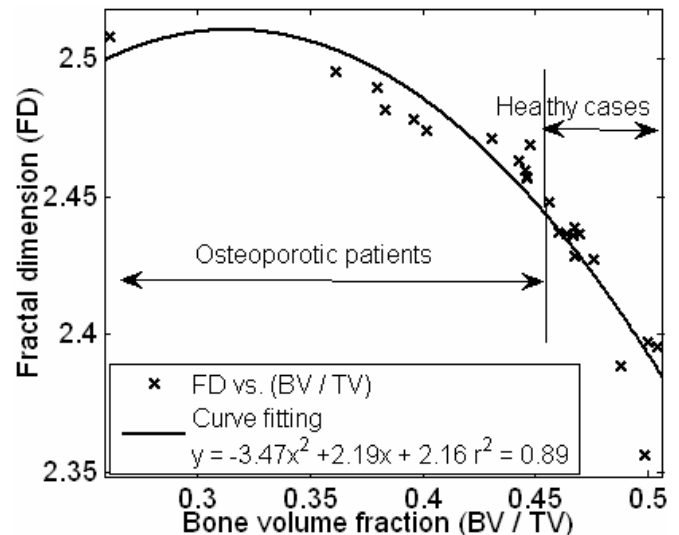


Fig. 5. Fractal dimension (FD) as function of bone volume fraction (BV / TV). Representation of the best curve fitting.

Figure 5 shows the correlation between fractal dimension and bone volume fraction for all the 24 subjects. An inverse correlation between these two parameters is observed on the curves. In fact, the fractal dimension is inversely proportional to bone volume fraction. Regression model is non-linear, quadratic type. The correlation coefficient is $r^2 = -0.89$. Coefficients (with 95% confidence bounds) and goodness of fits are reported on the figure.

Table 1. Correlations between fractal dimension (FD) and histomorphometry parameters in 24 human radiographs.

Parameters	Healthy cases (12 subjects)			Osteoporotic patients (12 subjects)		
	Mean \pm SD	Range	Correlation with FD	Mean \pm SD	Range	Correlation with FD
FD	2.41 \pm 0.02	2.35 – 2.44	r = 1	2.47 \pm 0.016	2.45 – 2.50	r = 1
BV	4765 \pm 166.8	4563 – 5041	r = -0.88	4036 \pm 544.9	2613 – 4477	r = -0.94
BS	2375 \pm 299.6	1708 – 2739	r = 0.85	2315 \pm 241	1658 – 2549	r = -0.82
TV	10000 \pm 0	10000 – 10000	Ns	10000 \pm 0	10000 – 10000	Ns
BV/TV	0.47 \pm 0.016	0.45 – 0.50	r = -0.88	0.40 \pm 0.05	0.26 – 0.44	r = -0.94
BS/TV	0.23 \pm 0.029	0.17 – 0.27	r = 0.85	0.23 \pm 0.02	0.16 – 0.25	r = -0.82
TbTh	4.09 \pm 0.72	3.36 – 5.83	r = -0.92	3.47 \pm 0.18	3.12 – 3.69	r = -0.84
TbN	12 \pm 0.01	8.5 – 13.6	r = 0.85	11.5 \pm 0.01	8.2 – 12.7	r = -0.82
TbSp	4.47 \pm 0.56	3.93 – 5.87	r = -0.78	5.27 \pm 1.25	4.36 – 8.91	r = 0.85

As shown in table 1, there is significant correlation between the fractal parameters and the bone volume, as well as between fractal dimension and such histomorphometry parameters as BS, BV/TV, BS/TV, TbTh, TbTn and TbSp. The best correlation was found with trabecular thickness (TbTh). Furthermore, there is no correlation with tissue volume (TV).

In our study, we have demonstrated a relationship between fractal dimension and histomorphometry parameters in the assessment of osteoporosis. The more fractal dimension increases, the more osteoporosis increase (Fig. 3).

We noticed a decrease of bone volume fraction in osteoporotic patients compared to controls. Such a decrease in this parameter in osteoporosis reflects alterations of the trabecular bone microarchitecture linked to the aging and menopausal (Fig. 4). According to the r^2 value, 89% of the variability of the fractal dimension (FD) parameter was determined by bone volume fraction for all subjects (Fig. 5). The simple correlation between FD and TbTh was also significant, with an r coefficient = -0.92, leading to a r^2 value = 0.84 for controls and r = -0.84, leading to a r^2 value = 0.70 (Table 1). The fractal dimension which provides information about the regularity of bone structure is jointly linked to the histomorphometry parameters. The more the fractal dimension increases, the more the connectivity decreases, which goes well with the expected results and provide a good discrimination of the two groups (Fig. 5 and Table 1).

IV. CONCLUSION

The objective of this paper was to investigate the potential usefulness of two noninvasive methods in 24 subjects for osteoporosis assessment. Measurements were done on calcanei. Relationships between the various histomorphometry and fractal parameters were studied. Correlations between these parameters are found which provide a good discrimination between pathological subjects and controls. Histomorphometry and fractal analysis of bone texture on

calcaneus radiographs, constitutes a new, simple, low radiation and reproducible assessment of bone status. These noninvasive analysis may provide information about the trabecular microarchitecture that is independent of bone density. These methods could be complementary to BMD measurements in assessing bone fragility.

Several techniques (fractal analysis, histomorphometry, structural methods...) need to be used in parallel to appreciate the pathophysiological mechanisms of osteoporotic states.

REFERENCES

- [1] Consensus development conference diagnosis, "Prophylaxis and treatment of osteoporosis", *American Journal of Medicine*, 94, 1993, pp.646–650.
- [2] A. Nektarios, Valous, F. Mendoza, D.W. Sun and P. Allen, "Texture appearance characterization of pre-sliced pork ham images using fractal metrics: Fourier analysis dimension and lacunarity", *Food Research International*, Vol. 42, no 3, 2009, pp. 353–362.
- [3] E. Lespessailles, C. Gadois, G. Lemineur, J. P. Do-Huu and L. Benhamou, "Bone Texture Analysis on Direct Digital Radiographic Images: Precision Study and Relationship with Bone Mineral Density at the Os Calcis," *Calcified Tissue International*, Vol. 80, no 2, 2007, pp. 97-102.
- [4] B.B. Mandelbrot, "The Fractal Geometry of Nature", Freeman, San Francisco, 1983, CA.
- [5] R. Jennane; W.J. Ohley; S. Majumdar; G. Lemineur, "Fractal analysis of bone X-ray tomographic microscopy projections", *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, Vol 20, no 5, 2001, pp. 443-449.
- [6] S. C. White and D. J. Rudolph, "Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis," *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, Vol. 88, no 5, 1999, pp. 628–635.
- [7] J. Li, Q. Du and C. Sun, "An improved box-counting method for image fractal dimension estimation", *Pattern Recognition*, Vol. 42, no 11, 2009, pp. 2460-2469.
- [8] K. J. Falconer, "Techniques in Fractal Geometry". John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 1997.
- [9] K. Harrar and L. Hamami, "Implementation of the box-counting method in radiographic images", in *Advances in Numerical Methods*, Springer Science Media, 2009, Ch.26.
- [10] A. M. Parfitt, "Bone histomorphometry: techniques and interpretation," in *The Physiologic and Clinical Significance of Bone Histomorphometric Data*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1983, pp. 143–224.

A NEW LOCAL SHAPE CLASSIFICATION METHOD FOR TRABECULAR BONE CHARACTERIZATION

Almhdie-Imjabber A., Rozenbaum O., Lespessailles E. and Jennane R.

Abstract— The characterization of porous media has recently been of interest in different domains such as geology, materials science and biomedical. The form primitives of the porous media are often of different shapes. The classification of these primitives helps in simulating the physical or mechanical properties which are usually determined not only by the porosity of object, but also by the arrangement of structure primitives in the 3D space. In this paper, we present a new classification algorithm which consists of three main processes: rapid surface thinning, local topological classification and region growth processes. Using the proposed method, new local parameters are obtained. Results show the ability of the proposed method to provide a powerful tool for local characterization of porous media.

Index Terms— Skeletonization, classification, topological and morphological information, characterization of porous media.

I. INTRODUCTION

THE problems in porous media cover a wide range of applications and scales, such as the exploration of underground entities at the microscopic scale in geology, the investigation of monument degradation [1], the analysis of biological materials such as bones and the synthesis of industrial materials. These porous objects are usually composed of several elements arranged in space as a complex network. The challenge in most of these problems is to study the physical behavior of these objects by characterizing their complex geometry, with an objective to improve and enhance their performance or to understand or predict their behaviors. In this context, the main characteristics (morphology, texture, topology etc.) of these porous media must be determined. Furthermore, the prediction of properties by models and simulations needs a realistic description of the phases

constituting the materials.

The characterization of the porous material gradually switch from classical visual, mechanical or histomorphometric exploration often destructive to a science marked by the imprint of 2D and 3D digital images, non-invasive and more in more precise. The geometric structure of the pore network, the distribution of material in space and the tangle of form primitives in the solid or pore phase of the object are all measurable characteristics in the images with the help of specific algorithms in order to restore physical information which allows the evaluation of the material behavior.

The recent growth of 3D digital imaging techniques, such as the high resolution X-ray Computed Tomography (XCT) [2-3], has opened the way in developing new image processing methods specific to 3D, intended to describe the porous media in a morphological, topological, mechanical, or mineral point of view. This is notably due to continuous improvements in X-ray tubes and XCT devices that have led to laboratory systems which can now achieve resolutions down to 1 μm and even below following the materials and materials sizes [4].

Numerous global techniques have been proposed in literature for the extraction of different approximated structural indices, such as the number of solid forms, spacing and orientation of the form primitives [5-6]. Although these architectural parameters are often enough to characterize the density, morphology or the anisotropy of porous network, they suffer from lack of precision. To overcome this difficulty, local approaches have been recently proposed in order to measure quantitative indices of the structure by the segmentation of the form primitives of the network, i.e., extraction of the internal structures such as beams and plates, which are fundamentally different. The classification of these primitives helps in simulating different physical or mechanical tests in order to estimate certain properties, such as the rigidity, which are usually determined not only by the porosity of object, but also by the arrangement of structure primitives in the 3D space [7-8]. In addition, the classification of the structure primitives allows the measurement of new parameters directly from the images [9-10]. In biomedical field, for example, quantification and understanding of the distribution

A.. Almhdie is with the ISTO Institute, CNRS/Université d'Orléans, 1A, rue de la Férollerie, 45071 Orléans, France (+33 238-255-380, ahmad.almhdie@univ-orleans.fr).

O. Rozenbaum is with the ISTO Institute, CNRS/Université d'Orléans, 1A, rue de la Férollerie, 45071 Orléans.

E. Lespessailles is with the Orleans Hospital, 1 rue Porte Madeleine, BP 2439, 45032 Orléans Cedex 1, France.

R. Jennane is with the PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois, BP 6744, 45067 Orléans Cedex 2, France.

of the structure primitives of a trabecular bone are relevant for both diagnosis and treatment of bone disease.

In general, local-based techniques work locally on the 3D volume, and realize a little or no geometrical approximations by extracting useful information from each voxel or structure primitive. For example, the percolation method of Hoshen-Kopelman [11] allows the isolation and characterization of the connected sets of the object, namely solid or porous clusters in the case of a porous media. It actually performs a local decomposition based on a criterion of neighborhoods. All these algorithms are strictly deterministic and exactly quantify a property of the media. For example, the 3D thinning methods, medial axis and other distance map of Voronoi are all methods allowing the decomposition of the media in primitives based on a simplified representation, while retaining the useful structural information.

Prior to calculate characteristics (e.g. porosity, specific surface, Euler number) or simulate properties (e.g. conductivity, mechanical properties) on 3D images of different porous samples, the different phases have to be distinguished (segmentation step). Unfortunately, the artifacts and/or noises often prevent to segment the 3D raw images [12]. Since the segmentation process is specific to application, imaging modality and nature of object to be studied, this process is often preceded by an image analysis procedure (based on mathematical morphology tools and classical denoising filters in our case). After segmentation, a binarised media (represented only by two phases) is obtained. Mechanical properties and topological and morphological characteristics are usually analyzed using the solid phase of the porous objects, whereas other properties such as the transfer properties are determined using the porous phase.

To assist the local decomposition of porous media, simplified skeleton-based methods have been investigated [13-15]. Shape information has been integrated directly into the models proposed to enhance the efficiency of such methods in terms of accuracy [16-20]. A skeleton is characterized by the following properties [21]: minimum thickness, homotopy equivalence, geometry preservation and reversibility.

Most variants of 3D binary skeletons are based on curve thinning or surface thinning. In this paper, a new classification method based on a recently surface thinning technique is presented and applied to the analysis of real porous objects: the solid phase of trabecular bones.

II. MATERIALS AND PRETREATMENT

To highlight the performance of the proposed method, a human bone is studied in the field of research against osteoporosis. The characterization of its solid phase is imperative to model mechanical properties.

A. Bone sample description

With the help of surgeons of the Hospital of Orleans in France, 9 cylindrical samples were extracted from frozen human femoral heads, see Figure 1(a), and prepared under continuous water irrigation using a precision diamond circular saw. All the samples were defatted chemically in order to conserve only the two main phases: trabeculae and pores.

B. Acquisition of 3D images

A total of 9 frozen human femoral heads were used to derive 9 specimens of trabecular bone with an a priori knowledge of fracture risk of Osteoporosis (OP). The bone structure of the OP patients is characterized by a low bone density and the deterioration in the bone micro architecture which lead to bone fragility. These specimens were obtained during hip surgery, after hip fracture (OP). Several Cylindrical samples were prepared under continuous water irrigation using a precision diamond circular saw. The samples were oriented with respect to anatomic axes and cut to a dimension of 6 mm thickness and 8 mm diameter. All the samples were defatted chemically.

Images were obtained using the Skyscan 1072 high-resolution μ CT. The X-ray source was set at 80 kV and 100 μ A. A total of 209 projections images were acquired during bone rotation, with a voxel size resolution of 12.02 μ m. Using the central part of the 3D image, an isotropic region of interest of 256^3 voxels was selected, as seen in Figure 1(b).

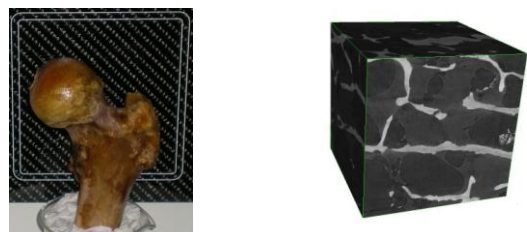


Figure 1: Human femoral head (a) and a selected region of interest of the trabecular bone (b).

C. Image pretreatment

Before applying our classification process, the 3D raw data of bone and stone samples were pretreated (segmented) in order to have a binarised image of the porous object.

The first step consists in filtering the samples with a standard median 3×3 filter to reduce possible artifacts [22].

The second step aims at separating bone tissue from pore voxels. However, the distinction between the two phases in micro-scanner images is not always very intuitive as the borders separating the grey levels are not clear. Innovative techniques have been proposed to solve this problem [23]. We chose a standard method of binarisation using a threshold determined as the local minimum between the two modes of the histogram of each image [24]. If ζ is the binarisation threshold, all voxels of grey level higher than ζ are considered as solid (bone) $V_{out} = 255$, otherwise, as void (pore) ($V_{out} = 0$), where V_{out} is the grey values after the binarisation operation.

The third step takes into account the anatomical constraints of porous objects. Each porous object treated in this study is considered as a binarized object that has one connected structure. In fact, the bone tissues consist of one solid phase (all trabeculae are interconnected). A technique based on Hoshen-Kopelman (HK) algorithm [11] is performed to ensure that the object consists of only one connected structure. At the end of the correction step, the object should have only two phases: a 26-connected solid phase and a 6-connected pore phase.



Figure 2: A trabecular bone sample, after pretreatment

III. PROPOSED CLASSIFICATION METHOD

We aim in this step at classifying each voxel of the porous object as a rod or plate, taking into account the local shape of the porous object corresponding to its propensity to belong to one or the other of geometrical classes as shown in Figure 3. The distinction between these two shapes helps better characterizing the properties of the object. It is also of great interest in the domain of skeletonization. The Surface Model Index (SMI) [25] is one of the first methods for the study of trabecular bone. This method, however, is based on a global analysis of the porous media. Based on the structural role of each voxel, local classification methods were proposed [26-27]. However, these methods can only be applied on skeletons. Based on the local topological analysis of the object Bonnassie et al. [17] proposed a new method to locally classify biphasic porous media. Inspired from this method, we propose a new shape classification method to decompose the object in two sets of plates and rods, taking into account the local shape of the porous object. This classification combines a thinning and a local topological classification processes.

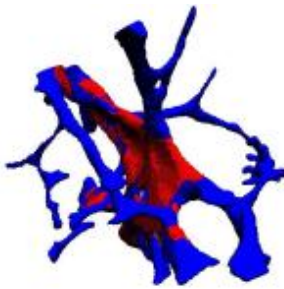


Figure 3: A trabecular bone sample, classified using SCA method

A. Medial Axes Classification (MAC) Method

In this technique, the first step consists in calculating the medial axis of the original binary object using Chanfrein distance [28]. The second step consists in classifying each voxel of the medial axis. To achieve this classification, the maximum ball within the object and centered on each voxel of the medial axis is used to perform a local neighborhood analysis. The diameter of this ball is determined by the distance information contained in the skeleton. In addition, a constant small value ϵ is added to this diameter. All voxels included in this ball are considered as the neighborhoods of the voxel at the center of the ball. A local topological analysis of the neighborhood voxels is performed. In fact, the Betti numbers β_0 (number of connected objects) and β_1 (number of closed loops) are calculated [15]. They allow the determination of the membership of the studied voxel in 4 different classes: rod, plate, border or intersection, as described in Table 1. The last step of this method consists in exploring the reversibility property of the medial axis in order to classify all voxels of the original binary object, using a propagation process inspired from the Hilderbrand thickness-map [29].

$\beta_1 \backslash \beta_0$	1	2	> 2
0	Border	Plate	Intersection rod/plate
1	Rod	Intersection plate/plate	Intersection rod/plate
>1	Intersection rod/rod	Intersection rod/plate	Intersection rod/plate

Table 1: Voxel classification in terms of β_0 and β_1 using the MAC method

Despite its computation cost, the medial axis algorithm is nevertheless efficient since it has a solid mathematical basis. In order to adapt this method to our work, we completed this classification process by a region growth step [19]. This additional step fusion the resulting 4 classes into 2 classes: rod and plate. In this fusion process, iterative 6-connection propagations in the 6 directions of the space are performed. Each voxel labeled rod or plate attributes its label to its neighborhood in the considered direction, unless this neighborhood has already been assigned a label rod or plate. This process is iterated until no more than two classes (rods or plates) are found.

B. Proposed Shape Classification Algorithm (SCA)

To limit the computation cost of the MAC method, we propose an original method called Shape Classification Algorithm (SCA) which consists of three steps: rapid surface thinning, local topological classification and region growth processes.

The first step consists in applying a fast surface thinning [30] on the original binary object. The second step consists in

classifying each skeleton voxel as rod or plate using the local topological classification process described by the MAC algorithm. Since the resulting skeleton is not reversible, the third step consists in propagating the labels rod and plate of the skeleton voxels to all voxels of the original object, using a pseudo-isotropic region growth method.

C. Morphological and topological analysis

Interesting features characterizing the morphology and the topology of each sample can be extracted directly from the skeleton. These features include: object Euler Density (*Eular.D*), bone density or bone volume to total volume (*BV/TV*), mean plate volume (*Pl.V*), mean rod volume (*Rd.V*) and object rod to plate ratio (*R/P*).

Let us define Ω and Ω_c as the set of solid and pore voxels, respectively, TV as the total volume in mm^3 , ρ as the voxel volume in mm^3 and $\text{Card}(\psi)$ as the number of elements in the set ψ . The Betti number β_2 is the number of closed cavities within the solid objects.

$$\text{Eular.D} = \frac{(\beta_0 - \beta_1 + \beta_2)}{\text{Card}\{\Omega \cup \Omega_c\} \times \rho} \quad (1)$$

$$\text{BV} / \text{TV} = \frac{\text{Card}\{\Omega\}}{\text{Card}\{\Omega \cup \Omega_c\}} \quad (2)$$

$$\text{Rd.V} = \frac{\text{Card}\{\Omega_r\}}{\text{Card}\{\Omega \cup \Omega_p\}} \quad (3)$$

$$\text{Pl.V} = \frac{\text{Card}\{\Omega_p\}}{\text{Card}\{\Omega \cup \Omega_p\}} \quad (4)$$

The *Eular.D* is usually used to express the object connectivity. The *BV/TV* parameter reflects the density of the solid part of the object. The more rod-like shapes exist in the sample, the lower values are obtained for the *BV/TV* parameter. Since the classified object consists of a set of rods and plates. Two efficient and complementary values (number of rod and plate voxels) are consequently provided. In this study, these two values are represented as rod and plate volumes normalized by the total volume.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The previously described parameters were calculated for the 9 osteoporotic (OP) samples. Table 2 displays the mean and standard deviation values obtained for each of these features.

	Osteoporotic (OP) bone samples	
	Mean	Standard deviation
BV/TV	0.287	0.049
Euler.D (mm^{-3})	-40.9	15.80
Rd.V	0.121	0.034
Pl.V	0.166	0.034
Table 2: Voxel classification in terms of β_0 and β_1 using the SCA method		

The results reported in Table 2 are compatible to the definition of the osteoporosis where the bone mineral density (BMD) is reduced and bone microarchitecture is deteriorating [31]. The low *BV/TV* value reflects the reduced BMD. The high *Rd.V* (relatively to *Pl.V*) indicates that an important amount of plate-like (normal) shapes were transformed to rod-like (deteriorated) shapes. Such values can be used as an indicator to an increased risk of fracture.

Even if the bone mineral density (BMD) is often considered as the gold standard test for the diagnosis of osteoporosis, this measurement is not sufficient to completely identify the fragility of bones. For this reason, it is necessary to investigate the bone structure. It has been shown in the literature [32] that the Euler-Poincaré characteristic (EPC) for the analysis of the connectivity of the trabecular bone could supply an additional support in identifying the deterioration of the bone structure. In this study the Euler density was estimated. This Euler density can also be used as an indicator to the mechanical resistance of the bone.

V. CONCLUSION

In this paper, we have presented a new classification method that takes into account the local shape structure of the porous media primitives. The method is composed of two main image processes. In the first process, a fast surface thinning method is used to get a reliable skeleton of the porous media. Using the SCA method, the second process, consists of the classification of the skeleton voxels as belonging to a rod or to a plate. Then, the classified skeleton voxels are used to classify all voxels of the original porous media using a region growth method. The proposed technique is applied on real data of osteoporotic trabecular bones. The results showed the ability of the proposed method to provide not only global but also local indicators of the characteristics of the trabecular bones. These primary results should be confirmed by the analysis of a larger set of normal and osteoporotic trabecular samples. The proposed method can be used to provide more reliable skeletons of porous objects which are usually composed to a mix of rod-like and plate-like structures. Having the primitives of the structure divided in two classes, plates and rods, the idea is to apply a surface thinning method on the plate-like primitives and a curve thinning method on the rod-like primitives. By this way, the resulting skeleton describes better the topology of the porous structure. This can also assist the simulation of the mechanical behavior of the porous media.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Region Centre, France, through the FRACTOS project.

REFERENCES

- [1] E. Le Trong, Y. Anguy, "Simplification d'images 3D de matériaux poreux en vue de leur caractérisation physique," *Revue Européenne de Génie Civil*, 2005; 9(3).
- [2] N. Burlion, D. Bernard, and D. Chen, "X-ray microtomography: Application to microstructure analysis of a cementitious material during leaching process," *Cement and Concrete Research*, 2006; 36.
- [3] A. Kaestner, E. Lehmann, and M. Stapanoni, "Imaging and image processing in porous media research," *Advances in Water Resources*, 2008; 31:1174-1187.
- [4] E. Maire, P. Colombo, J. Adrien, L. Babout, and L. Biasetto, "Characterization of the morphology of cellular ceramics by 3D image processing of X-ray tomography," *Journal of the European Ceramic Society*, 1981; 27: 1973-1981.
- [5] C. Chappard, A. Basillais, C. L. Benhamou, A. Bonassie, B. Brunet-Imbault, N. Bonnet and F. Peyrin, "Comparison of synchrotron radiation and conventional x-ray microcomputed tomography for assessing trabecular bone microarchitecture of human femoral heads," *Medical Physics*, 2006; 33(9): 3568-3577.
- [6] F. Chaari, E. Markiewicz and P. Drazetic, "Identification of the spongy bone mechanical behaviour under compression loads: numerical simulation versus experimental results," *International Journal of Crashworthiness*, 2007; 12(3): 247-253.
- [7] G. Aufort, R. Jennane, R. Harba and C. L. Benhamou, "Shape classification techniques for discrete 3D porous media. Application to trabecular bone," *The 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007, Lyon, France.
- [8] G. Aufort, R. Jennane, R. Harba, A. Gasser, D. Soulat and C. L. Benhamou, "Mechanical assessment of porous media using Hybrid Skeleton Graph Analysis and Finite Elements. Application to trabecular bone," *Proc. EUSIPCO*, 2007, Poznan, Poland.
- [9] C. Chappard, A. Marchadier, and C. L. Benhamou, "Side-to-side and within-side variability of 3D bone microarchitecture by conventional micro-computed tomography of paired iliac crest biopsies," *Bone*, 2008; 43: 203-208.
- [10] Consensus, "Development Conference on Osteoporosis," *Am. J. Med.*, 1993; 30(95-5A): 1-78.
- [11] J. Hoshen and R. Kopelman, "Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm," *Phys. Rev. B*, 1976; 14: 3438-3445.
- [12] E. Le Trong, O. Rozenbaum, J. L. Rouet, and A. Bruand, "A simple methodology to segment X-ray tomographic images of a multiphasic building stone," *Image Anal. Stereol.*, 2008; 27: 175-182.
- [13] L. Pothuau, P. Orion, E. Lespessailles, C. L. Benhamou, and P. Levitz, "A new method for three-dimensional skeleton graph analysis of porous media : application to trabecular bone microarchitecture," *Journal of microscopy*, 2000; 199:149-161.
- [14] P. K. Saha, B. B. Chaudhuri, and D. D. Majumder, "A new shape persevering parallel thinning algorithm for 3D digital images," *Pattern Recognition Letters*, 1997; 30:1939-1955.
- [15] D. G. Morgenthaler, "Three dimensional simple points: serial erosion, parallel thinning and skeletonization," *Computer Vision Laboratory, University of Maryland*, 1981; Tech. Report TR-1005.
- [16] L. Pothuau, A. Laib, P. Levitz, C. L. Benhamou, and S. Majumdar, "Three-dimensional-line skeleton graph analysis of high-resolution magnetic resonance images: a validation study from 34-microm-resolution microcomputed tomography," *J Bone Miner Res.*, 2002; 17:1883-895.
- [17] A. Bonassie, F. Peyrin, and D. Attali, "A new method for analyzing local shape in three-dimensional images based on medial axis transformation," *IEEE. Trans. Sys. Man. Cyber.*, 2003; 44: 700-705.
- [18] F. Peyrin, D. Attali, C. Chappard, and C.-L. Benhamou, "Local plate-rod descriptors of 3{D} trabecular bone micro-CT images from medial axis topologic analysis," *Med.Phys.*, 2010; 37: 4364-4376.
- [19] M. Stauber and R. Muller, "Volumetric spatial decomposition of trabecular bone into rods and plates: a new method for local bone morphometry," *Bone*, 2006; 38: 475-484.
- [20] X. Liu, P. Saha, F. Wehrli, P. Sajda, and X. Guo, "A 3D morphological analysis of trabecular bone based on individual trabeculae segmentation," *Trans. Orthop. Res. Soc.*, 2006; 31: 1783.
- [21] A. Sudhalkar, L. Gürsöz, and F. Prinz, "Box-skeletons of discrete solids," *Computer-Aided Design*, 1999; 28: 507-517.
- [22] H. Sadoghi, Yazdi and F. Homayouni, "Impulsive Noise Suppression of Images Using Adaptive Median Filter," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2010; 3(3).
- [23] B. Vasilic and F. W. Wehrli, "A novel local thresholding algorithm for trabecular bone volume fraction mapping in the limited spatial resolution regime of in vivo MRI," *IEEE trans. Med. Imag.*, 2005; 24:1574-1585.
- [24] C. Chappard, A. Marchadier, and C. L. Benhamou, "Side-to-side and within-side variability of 3D bone microarchitecture by conventional micro-computed tomography of paired iliac crest biopsies," *Bone*, 2008; 43: 203-208.
- [25] T. Hildebrand and P. Rueggsegger, "Quantification of Bone Microarchitecture with the Structure Model Index", *Comp. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, 1997; 1(1):15-23.
- [26] P. K. Saha and B. B. Chaudhuri, "3D digital topology under binary transformation with applications," *Comput. Vision and Image Understanding*, 1996; 63(3): 418-429.
- [27] J. Shah, "Skeletons of 3D Shapes," *ScaleSpace05*, 2005; 339-350.
- [28] G. Matheron, "Examples of topological properties of skeletons," *Theoretical Advances*, Academic Press, London", 1988, Vol. 2.
- [29] T. Hildebrand and P. Rueggsegger, "A new method for the model independent assessment of thickness in three-dimensional images," *Journal of Microscopy*, 1997; 185: 65-67.
- [30] J. Mukherjee, P. Das and B. Chatterji, "On connectivity issues of ESPTA," *Pattern Recognition Letters*, 1990; 11(9): 643-648.
- [31] WHO, "Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group," *World Health Organization technical report series*, 1994, 843: 1-129.
- [32] The Euler-Poincaré characteristic applied to identify low bone density from vertebral tomographic images, Waldir L. Roque, Antonio Carlos A. de Souza, Denis X. Barbieri, *Rev Bras Reumatol* 2009;49(2):140-52

Face Detection Using Practical Swarm Optimization and Template Matching

M. Khader, H. Seridi

Abstract— The effectiveness of biometric authentication based on face mainly depends on the method used to locate the face in the image. This paper presents a system for face detection in image with complex background using Particle Swarm Optimization (PSO). The system is based on correlation coefficients between sub-window of input image and the template image. Experimental results demonstrate this face detector provides successful results for the image of individuals.

Index Terms— Face detection, Practical Swarm Optimization, velocities, Correlation coefficients, Template.

I. INTRODUCTION

Practical Swarm Optimisation (PSO) is a new combinatorial heuristic algorithm based on the interaction of social systems such as fish schooling and bird flocking [1].

PSO is a collective, anarchic, iterative method, with the emphasis on cooperation; it is partially random and without selection (as in genetic algorithms) [2].

The PSO algorithm have been employed in a wide variety of problems [3] related to pattern recognition, Image processing, medical image registration, Image segmentation, contour recognition and so on [4].

The problem of detecting the faces in Image sequences has become a popular area of research due to its emerging applications in Human_computer interface, surveillance systems; secure access control, video conferencing, financial transaction, forensic applications, pedestrian detection, driver alertness monitoring system, image database management system and so on.

Different techniques have been introduced recently, for example, Principal component analysis [5], neural network [6], template matching and appearance based [7], [8]. Template-based face localization has proven to be accurate and appropriate for real-time applications in man-machine interfaces [9], [10], [11], [12].

This research explores a face detection system which integrates the detection of human faces in complex backgrounds. On it. Face detection is established bay employing PSO algorithm in the grayscale image of face

area. Experimental results indicate that the system is capable of detecting the face parts from complex backgrounds with a high degree of variability in expression.

II. FACE DETECTION METHODOLOGY

Face detection is concerned with determining which part of an image contains face. This is the first step of face recognition which requires both high and low-level visual and geometric information processing. This study presents PSO searching for detecting human faces in a complex background. Face detection is achieved by employing template matching between a known face image and the input image. The main steps employed for the face detection process is shown in fig.1.

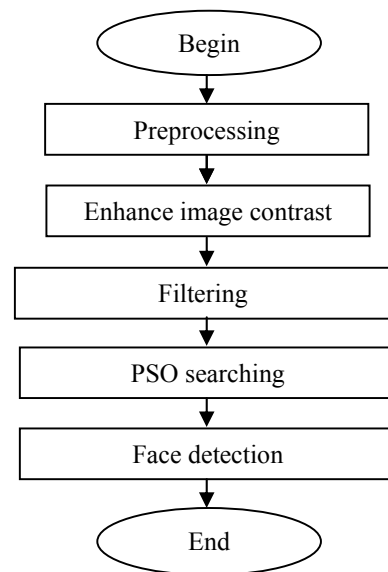


Fig. 1: Processes for face detection

A. Preprocessing

The original image is obviously a color image. It is first converted into gray scale image (fig 2). The normalization is performed by mapping the facial features to some fixed locations an $M \times N$ image. Each normalized image is then subjected to some image processing operations to account for different lighting conditions and contrast.

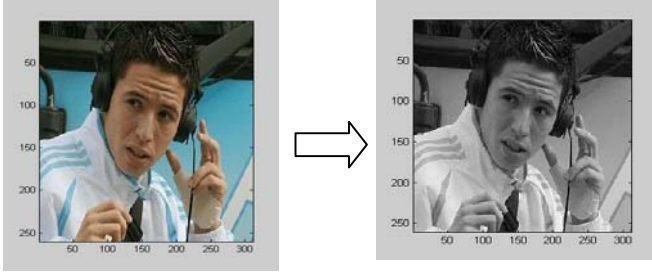


Fig. 2 : Converted color image in gray scale image

B. Enhance image contrast

The face images may be of poor contrast because of the limitations of the lighting condition. So enhance image contrast is used to compensate for the lighting conditions and improve the contrast of the image (fig. 3)



Fig. 3 : Image enhancement

C. Filtering

Various sources of noise may exist in the input image. The fine details of the image represent high frequencies which mix up with those of noise. So low-pass filters are used to obliterate some details in the image. In this experiment, Median filter is used to suppress the noise (fig 4).



Fig. 4 : Filtered image with median filter

D. PSO searching

PSO is a stochastic search method. The PSO algorithm simulates the individual (a particle) social behavior moving in a multidimensional space. Each solution is identified with an individual particle which has specific coordinates in the search space [2]. Each particle has a position and a speed in the multidimensional space. The particle position indicates the possible solution in the multidimensional space and the speed indicates the amount of change between the current position and the previous one [1]. The algorithm also stores the

previous best position of each particle. This information is used to adapt the particle position in the solution space for the next iteration. At initialization, the algorithm generates a random particle population and each particle is initialized with a random position and speed. After the initial population has been generated, a fitness function is evaluated for each particle position. The current result of the fitness function is compared to the best previous result for each particle.

PSO is basically developed through simulation of a flock of birds in twodimension space. The position of each agent is represented by XY-axis position and the velocity (displacement vector) is expressed by vx (the velocity of X-axis) and vy (the velocity of Y-axis). Modification of the agent position is realized by using the position and the velocity information.

Searching procedures by PSO based on the above concept can be described as follows: a flock of agents optimizes a certain objective function. Each agent knows its best value so far (pbest) and its XY position. Moreover, each agent knows the best value in the group (gbest) among pbests, namely the best value so far of the group. The modified velocity of each agent can be calculated using the current velocity and the distance from pbest and gbest as shown below [13]:

$$v_i^{k+1} = w_i v_i^k + c_1 \text{rand} (pbest_i - s_i^k) + c_2 \text{rand} (gbest - s_i^k) \quad (1)$$

Where :

v_i^k : Current velocity of particle i at iteration k

v_i^{k+1} : Modified velocity of particle i

Rand : Random number between 0 and 0 and 1

s_i^k : Current position of agent i at iteration k,

$pbest_i$: pbest of agent i,

$gbest$: gbest of the group,

w_i : Weight function for velocity of agent i,

c_i : Weight coefficients for each term.

Using the above equation, a certain velocity that gradually gets close to pbests and gbest can be calculated. The current position (searching point in the solution space) can be modified by the following equation:

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

The current rayon can also be modified by the following equation:

$$r_i^{k+1} = r_i^k + v_i^{k+1} \quad (3)$$

Fig. 1 shows the above concept of modification of searching

points. Discrete variables can be handled in (1) and (2) with little modification. Discrete numbers can be used to express the current position and velocity

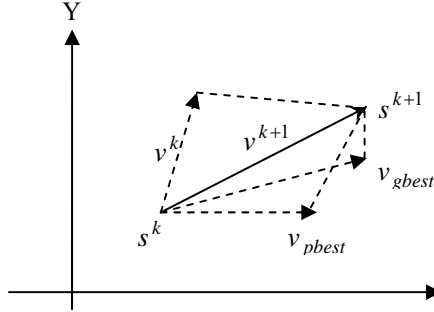


Fig. 5 : Concept of modification of a searching point.

- s^k : Current searching point,
- s^{k+1} : Modified searching point,
- v^k : Current velocity,
- v^{k+1} : Modified velocity,
- v_{pbest} : Velocity based on pbest
- v_{gbest} : Velocity based on gbest

To apply PSO for face detection, a template of the face image obtained from averaging the gradation level of pixels of a number of similar looking face images of several persons is constructed [8] (fig 6). The template face image is to find the location where the most suitable match exists.



Fig. 6 : Examples of template matching

The algorithm starts with an initial set of random solutions called the population. Each individual in the population Known as Particle, represents a particular solution of the problem (fig 7). Each particle is assigned a fitness value depending on how good its solution to the problem is. After fitness allotment, the best previous particle is replaced by the current. A new population is then generated by changing position of each particle. This evolution process is iterated until a near-optimal solution is obtained or a given number of generations is reached. However, different steps employed in the PSO algorithm for face detection scheme is shown in fig 8.



a- Population initialized by 09 particles



b- Population initialized by 36 particles



b- Population initialized by 81 particles

Fig. 7: Initial set of random particle solutions

III. FITNESS FUNCTION

In order to identify the best individual during the evolutionary process, a function needs to assign a degree of fitness to each particle in every generation. So in order to determine whether the assumed region of the input image is a face or not, the fitness value of Correlation coefficients.

The fitness of a particle is defined as the function of the correlation between the the input image and that of the template image measured for the expected location of the particle. That is, for each particle n, fitness function is defined as:

$$f(n) = \left| \frac{\sum_{(x,y) \in W} (f(x,y) - \bar{f})(f_{n,t}(x,y) - \bar{f}_{n,t})}{\delta(f) * \delta(f_{n,t})} \right| \quad (3)$$

And $0 \leq f(n) \leq 1$

Where :

- xsize and ysize are the number of pixels in horizontal and vertical directions of template image.
- f , \bar{f} and $\delta(f)$ are the intensity values, the mean value and the variance value of the original image respectively.
- $f_{n,t}$, $\bar{f}_{n,t}$ and $\delta(f_{n,t})$ are intensity values, the mean value and the variance value of the template image when it is justified for the n-th position of the particle, respectively.

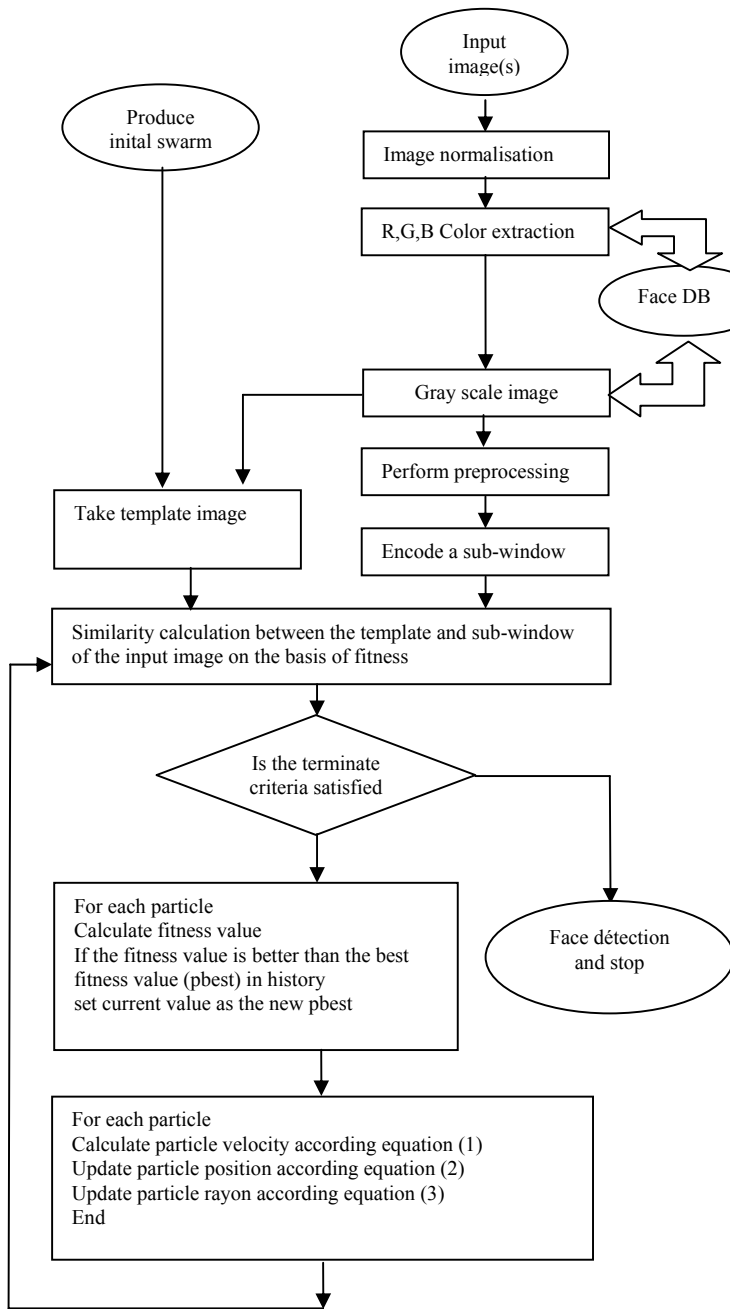


Fig. 8 : PSO algorithm based face detection processus

IV. CODING PARTICLE

Each particle is coding as (fig 9):

X	Y	r
----------	----------	----------

Where :

X : Position in X-axis of the input image.

Y : Position in Y-axis of the input image.

r : rayon of the sub-window

Example :

125	46	50
------------	-----------	-----------

This particle can be interpret as :

The position of particle is 125 in X-axis and 46 in Y-axis with rayon equal 50.

Let L and C represent the number of rows and columns in input image.

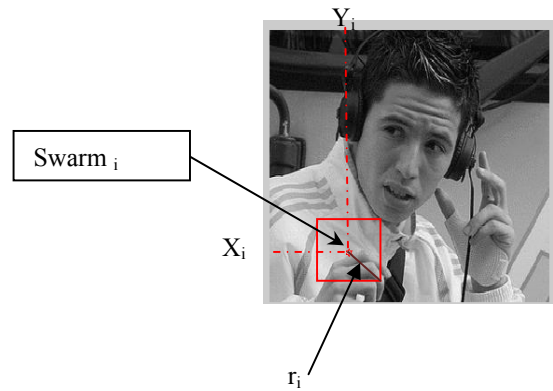


Fig. 9 : Coding particle

The fundamental steps employed for the PSO algorithm are:

Step 1. Initially randomly placing the particles according to a uniform distribution in the input image.

Step 2. Evaluate each particle's position according to the fitness function $f(n)$.

Step 3. If a particle's current position is better than its previous best position, update it.

Step 4. Determine the best particle (according to the particle's previous best positions).

Step 5. New velocities are calculated using (1) for each particle.

Step 6. Move particles to their new positions using (2). Choose the particle with the best fitness value of all the particles as the gbest.

- When the position X of swarm is negative value, the position X will be affected by 0, and same case in Y-Axis (Y will be affected also by 0).
- When the position X over then L, X put to L. when the position Y over value C, Y put to C.

Step 7: Termination test if a predefined termination condition is satisfied, go to step 5, else go to step 2.

Step 8: Preservation: keep the best particle.

Step 9: End

On processing the PSO operation (fig 10), the face area is detected on the image (fig 11). The exact locations of the facial features can be searched.



Fig. 10 : Evolution of particle solution

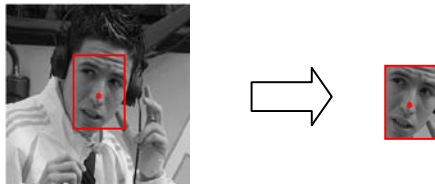


Fig. 11 : Face detection with PSO algorithm

V. EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND RESULTS

The effectiveness and robustness of the algorithm is justified using different images with various kinds of expressions. Experiments are carried out on a Pentium 4 3.6 GHz PC with 2 GB RAM. The algorithm has been implemented using MATLAB. The system can also cope with the problem of partial occlusion of Mouth and wearing sunglasses images of different persons are taken at their own work places and at different environments both in shiny and gloomy weather. Most of the images are taken using a digital camera, but some are from scanner and some from video tapes recorded from different television channels.

The algorithm is capable of detecting single face in an image. For multiple faces, the system finds the dominant face only. A total of 300 images, including more than 100 different persons, are used to investigate the capacity of the proposed algorithm. Among then only 4 faces are fond false. Experimental results demonstrate that the success rate of

approximately $99\% \left(\frac{296}{300} * 100\% = 98.66\% \right)$ is archived.

The main reason behind the failure of those images in finding face regions is the occlusion.

Figure 12 reveals that larger population particle size offer better performance because of the larger pool of diverse schemata available in the particle but the inertia of larger population also boil down a problem of poorer initial. Smaller population size, on the contrary, have the ability to change more rapidly and thus exhibit better initial on line performance.

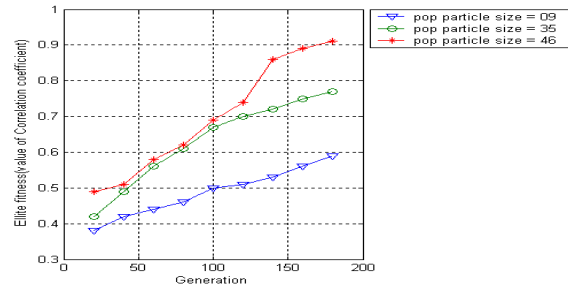


Fig. 12 : Elite fitness versus generation

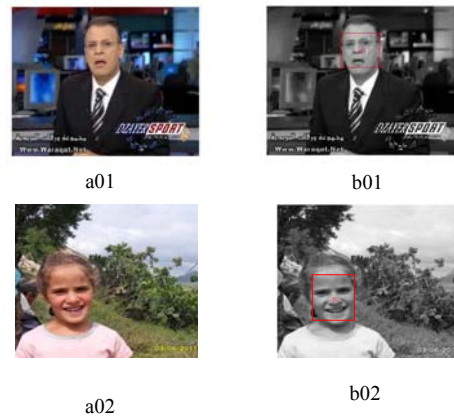


Fig. 13: Face detection for persons at different places:
(a01)-(a02)-original image (b01)-(b02) : detected face image

VI. CONCLUSION

Face localization is one of the most active research areas in image understanding for new applications in security and theft prevention, as well as in the development of human-machine interfaces. Most of the researchers attack this problem with face localization with frontal view faces and without facial expression and normal lighting conditions although the variation between the images of the same face is too large due to facial expression hair style, pose variation, lighting conditions, make-up, etc.

PSO algorithm is a one of the evolutionary computation (EC) techniques. The method is improved and applied to various problems of optimisation.

in this study face detection has been implemented using Practical Particle Optimisation to search for the face of particular individual in an image.

The effectiveness of the face detection algorithm has been tested both in simple and complex backgrounds for different types of face and non-face images of 320*240 resolution. The algorithm is capable of detecting the faces in images with different backgrounds and lighting conditions our next approach is to extend the algorithm for multi-face detection (searching face in segmented image) and 3D-face detection (the position will have XYZ-axis). Our main target is to instruct operations to robots and make them understand the human's intentions and interests over facial expressions so that they would be capable of grasping with more intelligence while working cooperatively with human beings.

RÉFÉRENCES

- [1] M. Clerc, J. Kennedy, *The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space*. IEEE Trans. Evol. Comput. 6 (1), 2002, pp. 58–73
- [2] M. Clerc, "Particle Swarm Optimization". Hermes Science/Lavoisier, 2005.
- [3] T. Blackwell, J. Branke *Multi-Swarm Optimization in Dynamic Environments*", in G.R. Raidl (dir.), Applications of Evolutionary Computing, LNCS, vol. 3005, Springer, 2004, pp. 488-599.
- [4] H. Low, B. Kee, *Face detection. A survey computer Vision and Image Understanding*, 83, 2001, pp. 236-274.
- [5] M. Turk, A. Pentland, *Eigenfaces for recognition Journal cognitive neurosci*, 3, 1991, pp. 71-86
- [6] H. Rowley, P. Beluga, T. Kanade, *Neural network-based face detection. IEEE transactions on Pattern Analysis and machine intelligence*, 20, 1998, pp. 23-37.
- [7] M. H. Yang, D. J. Kriegman, N. Ahuja, *Detecting faces in images: A survey*. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 24 (1), 2002, pp. 34–58.
- [8] L. Liang, A. Haizhou, X. Guangyou, *Face Detection Based on Template Matching and Neural Network Verification*. First International Conference on Image and Graphics, Journal of Image and Graphics (JIG), Vol.5, Supp. 2000, pp. 553-556.
- [9] D. Maio, D. Maltoni, *Real time face location on gray scale static images*. Pattern Recognition 33 (9), 2000, pp. 1525–1539.
- [10] Z. Jin, Z. Lou, J. Yang, Q. Sun, *Face detection using template matching and skin-color information*. Neurocomputing 70 (4-6), 2007, pp. 794–800.
- [11] Y. Kato, T. Hirano, O. Nakamura, *Fast template matching algorithm for contour images based on its chain coded description applied for human face identification*. Pattern Recognition 40 (6), 2007, pp. 1646–1659.
- [12] S. Phimoltares, C. Lursinsap, K. Chamnongthai, *Face detection and facial feature localization without considering the appearance of image context*. Image Vision Comput. 25 (5), 2007, pp. 741–753.
- [13] Y. Hirotaka, K. Kenichi, F. Yoshikazu, T. Shinichi, N. Yosuke, *A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment*. IEEE Trans. on Power Systems, Vol.15, No.4, 2001, pp.1232-1239

Automate cellulaire SMA pour la segmentation des images IRM

Benmazou Sarah, Layachi Soumia et Merouani Hayet Farida

Résumé— Dans cet article nous présentons un automate cellulaire (AC-SEG) pour résoudre un problème de segmentation d'images. L'automate que nous proposons dans cet article est une grille de cellules de structure plane avec un voisinage découlant de cette structure (planaire). deux fonctions de transitions ont servi à faire varier l'automate ayant deux états pour chaque cellule. Les résultats obtenus montrent que la machine virtuelle à calcul parallèle (AC-SEG) regroupe efficacement les pixels homogènes. D'autre part les systèmes multi-agents sont idéals pour modéliser des systèmes complexes car ils offrent la possibilité de simuler un certain nombre de composants autonomes (les agents) pour constater la nature du phénomène étudié dans sa globalité, sans control central. Dans cet article une nouvelle approche de segmentation d'images cérébrales, basée sur un couplage du modèle automate cellulaire (Jeu de la Vie) et les concepts agents sont proposés. Pour la validation du travail la plateforme Netlogo et à été utilisée, les résultats obtenus sur des images IRM sont satisfaisants.

Mots clés— Segmentation d'image, Vie artificielle, Système multi-agents, Automate cellulaire, Agent, Automate Jeu de la Vie, Netlogo, IRM cérébrale.

1. INTRODUCTION

La segmentation d'images est une étape importante dans les systèmes de vision, c'est une opération de traitement d'image qui a pour but de rassembler des pixels/voxels entre eux suivant des critères prédéfinis aboutissant à une partition de l'image traitée. En imagerie médicale, la segmentation permet d'associer une structure anatomique à chaque position dans l'espace. En IRM cérébrale elle permet de différencier les tissus, (MG, MB et LCR) (Matière grise, Matière Blanche, Liquide Cérébro-spinal), les structures anatomiques, et/ou les lésions et tumeurs [1]. Le biomimétisme dans un sens littéraire est l'imitation de la vie. La biologie a toujours été une source d'inspiration pour les chercheurs dans différents domaines. Ces derniers ont trouvé un modèle presque idéal dans l'observation des phénomènes naturels et leur adaptation en vue de résoudre des problèmes. Parmi ces modèles on trouve les algorithmes génétiques, les colonies de fourmis, les essaims particuliers, nuages des insectes volants [2]. Dans cet article on va parler sur les Automates Cellulaires (AC) est avant tout l'automate cellulaire est une machine formelle par contre dans cet article la méthode des automates cellulaires est utilisée comme étant une méthode biomimétique.

Benmazou Sarah is with the Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Equipe SRF, Département d'Informatique, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, bensarahtiva@yahoo.fr

Layachi Soumia is with the Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Equipe SRF, Département d'Informatique, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, Soumia_Layachi@yahoo.fr

Merouani Hayet Farida is with the Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Equipe SRF, Département d'Informatique, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie hayet_merouani@yahoo.fr

La vie artificielle est un domaine récent pour la segmentation d'images. L'approche "vie artificielle" offre pour la segmentation d'images une chance pour découvrir de nouvelles techniques plus efficaces, plus souples [3].

La section 2 présente une brève description des images .section 3 est consacrée aux automates cellulaires et à leurs caractéristiques (domaine, voisinage, ensemble des états, règles de transition, conditions aux bords). La section 4 présente les propriétés du système multi- agents. L'approche proposée est décrite dans la section 5, son implémentation à travers Netlogo est donnée en section 6 .l'article se termine par la présentation et discussion des résultats obtenus.

II. SEGMENTATION IRM

La segmentation en IRM cérébrale constitue une étape de base indispensable à nombreuses applications en neurologie bien que pour décrire les structures de cerveaux [4]. L'imagerie médicale joue un rôle très important dans l'observation in vivo chez l'humain. Elle permet en effet d'observer la structure et le comportement d'organes grâce à un ensemble important de techniques d'acquisition: imagerie par résonance magnétique (IRM), scanographie par rayon X, échographie.

A. Approches de segmentations

Il existe plusieurs travaux traitant de la segmentation des données IRM. Les nombreuses approches proposées pour la segmentation en imagerie de résonance magnétique cérébrale peuvent être regroupées en deux grandes classes .d'une part, les approches de type bas -niveau, n'utilisant pas de connaissance a priori pour guider la segmentation .C'est le cas des approches procédant par classification bayésienne ([5] – [6]) ou par seuillages ([7] – [8]). D'autre part, les approches de type haut-niveau intégrant de la connaissance anatomique pour guider les processus de segmentation. la modélisation de la matière grise par un ruban d'épaisseur constante est exploitée dans [9]–[10]. un modèle global du cerveau est utilisé dans [11]–[12] pour guider une mise en correspondance entre 2 cerveaux. Des graphes sont également utilisés pour modéliser le cerveau [13]–[14].

III. LES AUTOMATES CELLULAIRES

« Automate cellulaire » est un terme mathématique qui fait référence à :

- Un réseau de cellules $\{i\}$ dans un espace à D dimensions
- Un ensemble d'états s_i pour chaque cellule. On a habituellement le même nombre d'états possibles pour toutes

les cellules du réseau; k est un nombre entier supérieur ou égal à 2.

- Une règle F déterminant l'état d'une cellule à l'instant $t+1$ en fonction de l'état de la même cellule et de son entourage à l'instant t .
- où v_i est un ensemble qui comprend la cellule elle-même et son entourage, encore désigné par voisinage tout au long de cet article : le voisinage de la cellule compte très souvent parmi ses éléments la cellule elle-même [3].

$$S_i(t+1) = F(\{S_j(t)\}) \quad j \in V_i \quad (1)$$

A. Le Jeu de la Vie

Un type de CA très particulier a été inventé par John H. Conway (1937-), qu'il a nommé "Le Jeu de la Vie", non pas parce qu'il est capable de simuler des cellules vivantes et les processus génétiques qui en découlent, mais parce que les interactions cellulaires qui en découlent deviennent très vite extrêmement complexes malgré la simplicité (la trivialité) des règles locales de communication.

Le jeu se présente ainsi. Chaque cellule a 8 voisins directs, et possède 2 états possibles : elle est soit vivante soit morte (représentés par 1 et 0).

À chaque instant, l'état de la cellule est modifiée selon les règles suivantes :

- Si une cellule vivante a moins de 2 voisins, elle meurt (de solitude).
- Si une cellule vivante et a plus de 3 voisins, elle meurt (de surpopulation).
- Si une cellule vide (morte) a exactement 3 voisins, elle naît (par reproduction).
- Si une cellule vivante ou vide a exactement 2 voisins, reste dans le même état [15].

IV. SYSTEME MULTI-AGENT

Un agent est une entité informatique qui possède un comportement individuel, caractérisé principalement par quatre propriétés : *Autonomie ou proactivité*, *Sensibilité*, *Localité*, *Flexibilité* [16]. Cette définition est souvent enrichie selon les domaines d'application (informatique, éducation, simulation, jeux, etc.). Concrètement, un agent peut avoir une réalité physique (robot, opérateur humain, etc.) ou logicielle dans le cadre d'un traitement informatique d'un problème complexe (approche distribuée).

V. APPROCHE PROPOSEE

C'est inspiré de ces nombreux travaux et des courants de pensée de manière plus ou moins explicite. En particulier, nous citons quelques uns dans le paragraphe suivant :

L'automate du jeu de la vie [3], à partir duquel nous posons le paradigme biologique en définissant la naissance et la mort des cellules. Les systèmes multi agents, ne sont pas

absents de notre inspiration, puisque nous introduisons l'agent, ayant une vie propre [17].

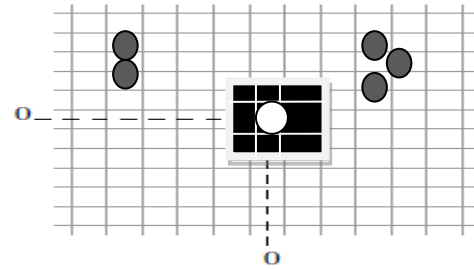


Fig.1. Hybridation automate-agent

L'automate que nous proposons est un réseau de cellules dans un espace à 2D (Fig.1), et appartient à la famille (k,r) où k est le nombre d'états possibles d'une cellule c'est-à-dire le cardinal de l'ensemble d'états et r est l'environnement de la cellule i -e r représente le rayon de voisinage [18].

Cet automate possède 2 états possibles ($k=2$) et le rayon de voisinage est une seule cellule ($r=1$) i-e le voisinage utilisé n'est rien d'autre que le voisinage de Moore (8 cellules voisines autour de la cellule elle-même). Nous utilisons un voisinage de Moore qui est un voisinage utilisé pour les applications à deux dimensions.

Donc une cellule de l'automate est segmentée, non-segmentée, d'où l'ensemble des états de l'automate est (segmentée, non-segmentée). Ce modèle est inspiré de l'automate jeu de la vie mais la différence c'est que il est basée sur les agents dans son évolution. Ce modèle est un automate cellulaire, un automate cellulaire est une machine computationnel basée sur certaines règles. Nous avons utilisés le système multi-agents comme un moyen pour présenter les fonctions de transitions qui permet l'évolution de notre automate. Chaque cellule peuvent être segmenté ou non-segmenté accordés des règles, la particularité d'automate cellulaire nommé "Jeu de la vie" c'est que chaque agents voit son état et l'état des ces voisins. L'idée c'est de déployer un nombre d'agents ou niveau de la région à segmenter, ces agents vont prendre une couleur vert. Lors de lancement de l'automate chaque agent vert va prendre une couleur blanche, les agents qui ont une couleur blanche à une possibilité d'estimer l'homogénéité de cette région (la région veule à segmenter). Les règles à suivre par l'automate:

1: si la cellule sur laquelle il se trouve un agent blanc entouré par 2 ou 3 agents blanc alors l'agent change la couleur vers le gris ensuite meurt.

2: si une cellule entourée par 3 agents blanc alors un nouveau agent se crée.

VI. VERS UNE IMPLIMENTATION NETLOGO

Le monde de NetLogo est constitué d'agents. Les agents sont des êtres capables d'exécuter des instructions. Chaque agent peut avoir sa propre activité, mais tous agissent simultanément [19]. On a combiné les AC et les SMA (Fig.2) et les utilisés dans le but de segmenter une image à niveau de gris. Cette exemple examine la proposition citée dans la section 5, nous

avons utilisés une image de 512*512 présentée dans la (Fig.2). Dans un premier temps nous déployons un nombre d'agents aléatoire où un niveau de la région veule segmentée, se nombre d'agents ont le rôle de marquage des zones pour les agents qui ont une couleur blanche. Lors du lancement de l'automate, les agents qui ont une couleur blanche se crie estime l'homogénéité de la région et dans son développement l'automate suit les règles représenté par les agents sité dans la section 05.

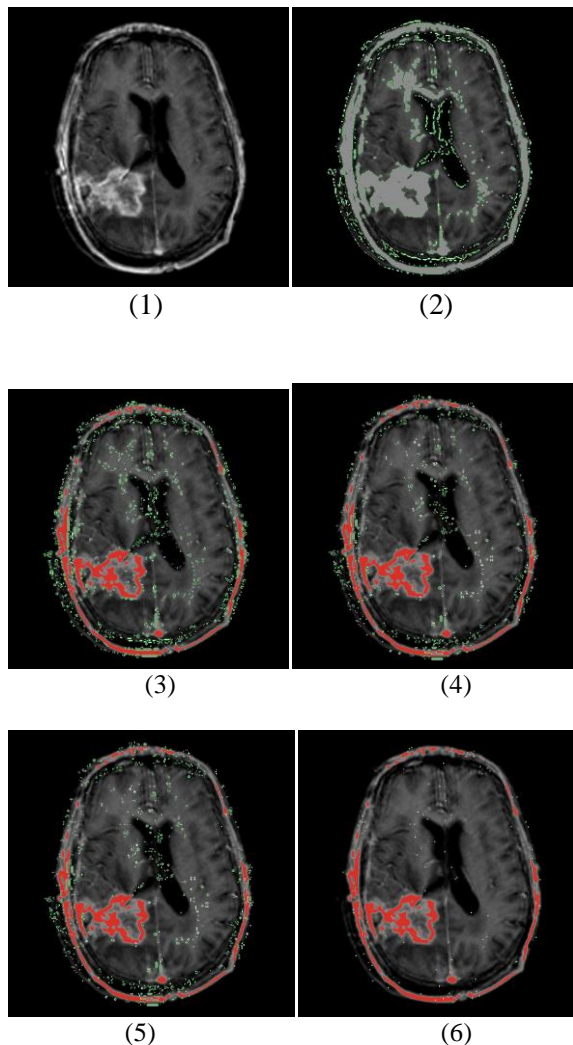


Fig.2.déroulement de processus de Segmentation d'une image IRM

VII. RESULTATS ET DISCUTIONS

Notre système Automate-Multi-agents a été implémenté sur la plateforme NetLogo. Cette dernière constitue un puissant outil car elle permet d'explorer la connexion entre le comportement de l'entité autonome au niveau micro, avec le comportement qui peut émerger de l'interaction entre ces entités au niveau macro. Comme validation de notre approche proposée nous avons utilisé des images IRM cérébral. L'idéal a été d'implémenter cette approche dans des stations

d'imagerie IRM, et créer une base de données. Celle ci permettra l'élargissement du champ d'études aux différentes pathologies cérébrales, et d'avoir en même temps à chaque fois un jugement de la part des radiologues. Après le lancement de l'automate nous voyons que la segmentation converge rapidement vers un segment bien défini dans notre cas nous avons choisie la segmentation d'une région "tumeur ". nous remarquons que sur le plan topographique le résultat est bon.

VIII. CONCLUSION

Dans ce papier nous avons proposé une approche basée automates-agents pour la segmentation d'image. Nous désirons renouveler l'approche traditionnelle de la segmentation, fondée sur une succession d'étapes. Cela nous a conduits à privilégier une approche distribuée où nous allons utiliser les systèmes multi agents ainsi que l'utilisation d'un outil puissant comme les automates cellulaires plus précisément l'automate Jeu de la Vie. Par cette approche, nous voulons montrer que le marquage des régions homogènes est connexe, il n'est pas calculé explicitement par le système multi-agents mais avec l'interaction des AC qui orientent la création ou la mort des agents. On a implémenté cette proposition sur la plateforme Netlogo et les résultats obtenus sont satisfaisants. Ce résultat permet d'illustrer le rôle important de l'automate cellulaire comme une technique de modélisation où les fonctions d'état permettent de caractériser l'évolution de chaque cellule en fonctions de son état et de celui de ses voisines; les aléas sont introduits par les interactions entre éléments. Cependant cette formalisation ne permet pas aisément de prendre en compte des entités qui influencent le comportement des automates cellulaires. c'est pourquoi les systèmes multi-agents (SMA) trouvent un réel engouement dans le domaine de la modélisation appliquée ou problème de la segmentation d'images.

REFERENCES

- [1] Sanae M, «Segmentation des structures cérébrales en IRM : intégration de contraintes topologiques», rapport de stage, Université Louis Pasteur Strasbourg, 2007.
- [2] Azzag H .Picaroune F., «Classification des données par automate cellulaire», Université François-Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique (EA 2101), 64, Avenue Jean Portalis, 37200 Tours, France.
- [3] Agata K, « Automates Cellulaires », Mémoire de maîtrise d'informatique, Université Paris VIII, Septembre 2005, Sous la direction de Pierre Audibert.
- [4] Germond L, Dojat M, Taylor C, Garbay C, «Une approche coopérative pour la segmentation en IRM cérébrale», dix-septième colloque GRETSI, Vannes, 13-17 septembre 1999, pp.1041-1044.
- [5] W.M. Wells, L. Grimson, R. Kikinis, and F.A. Jolesz. Adaptive segmentation of mri data. *IEEE Trans. On Med. Imaging.*, 15(4):429-442, 1996.
- [6] K.W. Fleisher D.H. Laidlaw and A.H. Barr. «Partial volume bayesian classification of material mixtures in mr volume data using voxel histograms», *ITMI*, 17(1):74-86, 1998.
- [7] M.E. Brummer, R.L. Eisner R.M. Mersereau, and R.R.J. Lewine. Automatic detection of brain contours in mri data sets. *12th conference IPM91 Proceedings*, 1991.
- [8] T. Ketter C. Lee, S. Huh and M. Unser. Unsupervised connectivity-based thresholding segmentation of midsagittal brain mr images. *Computers in Biology and Medicine*, 28:309-338, 1998.

- [9] P.C. Teo, G. Sapiro, and B. Wandell. Anatomically consistent segmentation of the human cortex for functional mri visualization. *Hewlett-Packard Labs. Technical Report HPL-97-03*, 1997.
- [10] C. Davatzikos and J.L. Prince. An active contour model for mapping the cortex. *IEEE Trans. on Med. Imaging.*, 14(1):65–80, 1995.
- [11] D.L. Collins, A.C. Evans, C. Holmes, and T.M. Peters. Automatic 3d segmentation of neuro-anatomical structures from mri. *Information Processing in Medical Imaging, 1995 Kluwer Academic Publishers*, pages 139–152, 1995.
- [12] S. Sandor and R. Leahy. Surface-based labeling of cortical anatomy using a deformable atlas. *IEEE Trans. On Med. Imaging.*, 16(1):41–54, 1997.
- [13] J.F. Mangin, J. Regis, I. Bloch, and V. Frouin. A mrf based random graph modelling the human cortical topography. *Proc. First Int.Conf. CVRMed, Nice*, pages 177–183, 1995.
- [14] M. Sonka, S. Tadikonda, and A. M.Collins. Knowledgebased interpretation of mr brain images. *IEEE Trans. On Med. Imaging.*, 15(4), 1996.
- [15] Orseau L, Cornuéjols A, «Automates Cellulaires : Jeu de la Vie », November 15, 2009.
- [16] Ferber, J, « *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective* ». Inter Editions, Paris, 1995.
- [17] Jiming Liu and Yuan Y Tang, “Adaptive image segmentation with distributed behavior-based agents” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 6, pp. 544–551, June 1999.
- [18] Benmazou S, Layachi S, Merouani H.F, «segmentation d’images basée sur un couplage AC-SMA», International Conference on Information Systems and TechnologiesTebessa, Algeria ICIST, 24-26 April 2011.
- [19] manuel de l'utilisateur, netlogo 4.0.1.

Estimation par la courbure du mouvement cardiaque sur des images Ciné-IRM (Novembre 2011)

Boubekeur Mihoubi, Nadia Souag, Younes Amrane

Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP 32 EL ALIA
Bab-Ezzouar, Alger 16111, Algérie

Résumé— Le but de ce travail est d'utiliser la courbure comme descripteur de mouvement pour estimer la cinétique cardiaque sur des séquences d'images ciné IRM. Le contour manuel du Ventricule gauche, dont le tracé a été confié à un cardiologue, a été approximé par des segments de droite construits en utilisant l'approximation polygonale de Freeman dans le but de détecter les points dominants au niveau desquels nous calculons la courbure.

Mots clefs—Code de Freeman, Courbure, Géométrie discrète, IRM cardiaque.

I. INTRODUCTION

La cinétique myocardique est un des éléments essentiels qui caractérisent l'état fonctionnel du muscle cardiaque. Les pathologies ischémiques altèrent cette cinétique. Il en résulte un mouvement anormal à l'endroit atteint par la pathologie. Il est donc important de repérer toute anomalie dans la cinétique du cœur.

L'analyse spatio-temporelle de la déformation du Ventricule Gauche permet la détection des anomalies cardiaques et favorise la mise en évidence et la localisation de pathologies cardiaques ischémiques.

Les anomalies localisées de la cinétique des parois du ventricule gauche se traduisent par une hypokinésie (diminution de l'amplitude du mouvement), une akinésie (absence de mouvement) ou une dyskinésie (mouvements paradoxaux d'expansion en systole segmentaire ou régionale).

Du fait de la complexité du mouvement cardiaque, la fonction contractile est difficile à caractériser. Les paramètres les plus utilisés en routine clinique sont la fraction d'éjection et l'épaississement pariétal. La fraction d'éjection mesure la variation de volume de la cavité ventriculaire au cours du cycle cardiaque. L'épaississement pariétal mesure la variation maximale d'épaisseur de la paroi myocardique dans une région donnée.

Dans la recherche de descripteurs capables de caractériser les formes et leur évolution, les caractéristiques différentielles de surface, comme la courbure ont suscité beaucoup d'intérêt. Le suivi de ces paramètres de forme fournit des lois d'évolution locale.

L'estimation et le suivi de la courbure locale de l'endocarde sur des images 3D ont été proposés par Friboulet et al. (1) et par Clarysse et al. (2), (3).

L'objectif de ce travail consiste à analyser le mouvement du cœur afin de déterminer d'éventuelles anomalies sur des séquences temporelles d'images ciné IRM cardiaques (4). La méthode d'estimation du mouvement de ventricule gauche que nous avons développé consiste à calculer la courbure K .

Une étape préalable de détection des contours du ventricule gauche est nécessaire. Cette étape a été confiée à un médecin cardiologue. Le contour manuel du ventricule gauche a été interpolé par une courbe B-Spline cubique. (5)

Dans le but de réduire la quantité d'information à stocker et à manipuler, le contour manuel du VG a été codé en utilisant le code de Freeman. En effet, Freeman propose donc de ne coder que la frontière de ces formes présentes dans l'image binaire et non plus en donnant les valeurs des niveaux de gris de chacun des pixels composant l'image. Les coordonnées d'un pixel de la frontière de la forme étudiée constituent alors une information absolue, et l'information relative décrit la position relative des pixels du contour de la forme à travers une chaîne de codants formée de huit symboles.

Comme les images utilisées sont manipulées à travers des pixels, la géométrie discrète propose un contexte mathématique qui respecte au mieux les propriétés de la géométrie continue. Son but est d'étudier les formes discrètes formées d'un ensemble fini de pixels, c'est-à-dire les images stockées et exploitables numériquement via un ordinateur.

La géométrie discrète vise à résoudre rigoureusement des problèmes pratiques posés par la non validité de la plupart des théorèmes euclidiens dans un espace discret. Elle permet l'extraction de paramètres géométriques sur des structures discrètes, des paramètres globaux comme l'aire, le périmètre ou des paramètres locaux comme les normales, les tangentes ou la courbure.

Notre article a été structuré ainsi: la section II est dédiée à la géométrie discrète. La méthode de calcul de la courbure est

Manuscrit reçu le 29 Octobre 2011.

Correspondant : MIHOUBI Boubekeur, Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP 32 EL ALIA Bab-Ezzouar, Alger 16111, Algérie (00213 550 187 768, mihoubi_boubekeur@yahoo.fr).

décrite dans la section III. Enfin la section IV contient les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations. Les conclusions de notre travail et les perspectives envisageables sont données dans la dernière section.

II. GEOMETRIE DISCRETE

Tout problème numérique fait référence à un espace de représentation dans lequel sont décrits les données, les structures et les objets. La modélisation des objets est un élément fondamental utilisée pour décrire la géométrie des objets, leur longueur, leur épaisseur et sert également à définir la notion de voisinage.

Dans cette section, nous définissons la notion de droite discrète qui est essentielle en géométrie discrète. Elle est considérée comme un outil de base pour estimer des mesures géométriques sur des objets discrets. Nous nous intéressons à la définition de H. Freeman pour obtenir une représentation approchée du contour d'une forme par une série de segments de droite discrète (approximation polygonale). (6)

En 1961, H. Freeman a introduit une technique pour coder le contour d'un objet. Le code de Freeman est formé du point initial P_0 , qui est souvent le premier point rencontré lors d'un balayage séquentiel de l'image et de la suite $(\alpha_i)_{i=0\dots n}$ de directions de Freeman donnant la position relative du point suivant du contour de l'objet, selon une représentation du codage, utilisant 4 ou 8 directions. (7)

En 1974, H. Freeman énonce trois critères nécessaires à un code pour être celui d'un segment discret, c'est-à-dire un morceau de droite discrète. (8)

Soit $\alpha = (\alpha_k)_{k \in [0,n]}$ un arc discret fini. Alors α est un segment discret, si :

- Son codage ne contient que deux codes différents et ceux-ci ne diffèrent que de 1 modulo 8.
- Un de ces deux codes est toujours isolé dans le codage.
- Ce code isolé apparaît dans le codage le plus uniformément possible.

Les sommets du polygone obtenu (points dominants) définissent alors un nouveau codage de la frontière. Ces points de la courbe, dont les valeurs de courbure sont maximales, contiennent beaucoup d'informations utiles de cette courbe, ce qui permet de concentrer le travail sur les caractéristiques principales de la forme de cette courbe.

III. ESTIMATION DE LA COURBURE

L'accès à l'information fournie par l'approximation polygonale peut se faire par analyse de la courbure. Le contexte pratique d'utilisation nous permettra de faire le choix de l'estimateur approprié ; en effet, en imagerie médicale, dans le contexte de l'estimation du mouvement cardiaque, la caractéristique géométrique utilisée pour le suivi de la déformation du ventricule gauche est la courbure. (9)

La courbure est un paramètre local qui permet de différencier les parties concaves, convexes et plates de la courbe, c'est une propriété importante qui permet de

caractériser une courbe.

A. Courbure issu de l'estimateur du cercle osculateur (7)

L'idée de cette méthode est de construire en chaque point P_i de la courbe la demi-tangente discrète à gauche (respectivement à droite). Cette demi-tangente est définie comme le plus long segment de droite discrète à gauche de P_i (respectivement à droite de P_i). Le pixel extrémité de ce segment est noté P_G (respectivement P_D), ce qui est illustré par la Figure 1.

Ainsi, l'estimation de la courbure discrète au point P_i repose sur le calcul du rayon du cercle circonscrit au triangle $P_G P_i P_D$.

$$\text{On note: } S1 = \|\vec{P_i P_G}\|, \quad S2 = \|\vec{P_i P_D}\| \quad \text{et} \quad S3 = \|\vec{P_D P_G}\|$$

Alors, le rayon du cercle circonscrit est déterminé par :

$$R_c(i) = \frac{S1 S2 S3}{\sqrt{(S1+S2+S3)(S1-S2+S3)(S1+S2-S3)(S2+S3-S1)}} \quad (1)$$

La courbure est donc définie par la relation suivante :

$$K(i) = \frac{S}{R_c(i)} \quad (2)$$

Tel que :

$$S = \text{sign}(\det(\vec{P_i P_D}, \vec{P_i P_G})) \quad (3)$$

$\frac{S}{R_c(i)}$ est le signe du déterminant des deux vecteurs $\vec{P_i P_G}$ et $\vec{P_i P_D}$. Il donne le signe de la courbure. En conséquence, il indique la concavité ou la convexité de la courbe.

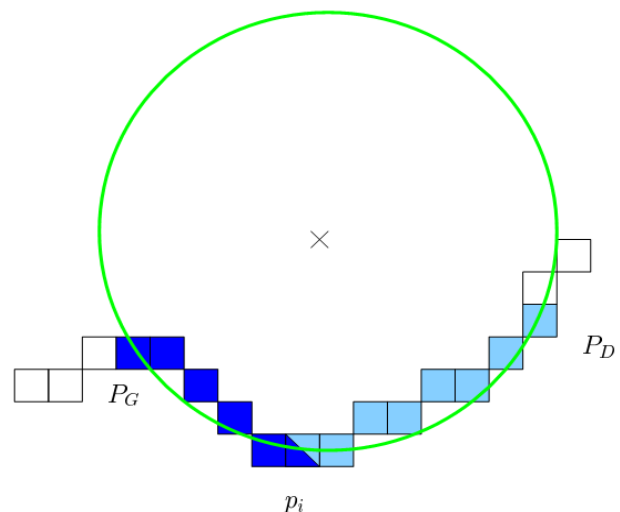


Figure 1 - Estimateur de courbure basé sur les demi-tangentes à droite et à gauche.

IV. RESULTATS

Le tracé manuel des contours du ventricule gauche a été confié à un médecin cardiologue qui a sélectionné 20 points sur le contour du VG. Ces points ont ensuite été interpolés par une courbe B-Spline cubique, comme on peut le voir sur la Figure 2.

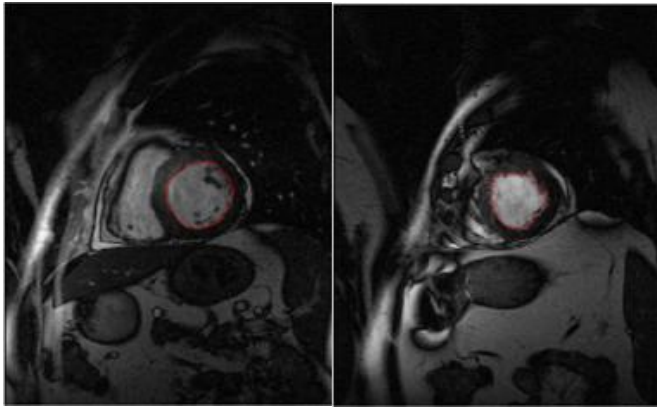


Figure 2 - Segmentation manuelle du contour du ventricule gauche (à gauche pour un cœur sain, à droite pour un cœur pathologique).

Les contours du VG ont été approximés par des segments de droite construits en utilisant l'approximation polygonale de Freeman et cela pour détecter les points dominants au niveau desquels nous calculeront la courbure.

La dynamique de la forme du VG a été analysée à travers une approche globale qui présente l'évolution de la courbure le long du contour sur un cycle cardiaque et une approche locale qui présente le suivi de la courbure par secteur sur le cycle cardiaque, ce qui nécessite une sectorisation du VG en 8 segments, selon un protocole international, en prenant la jointure Ventricule gauche - Ventricule droit comme référence pour construire le secteur n°1, ce qui est illustré sur la Figure 3 qui suit :

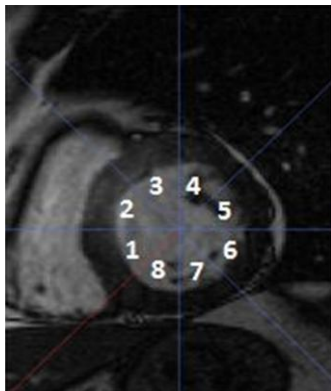
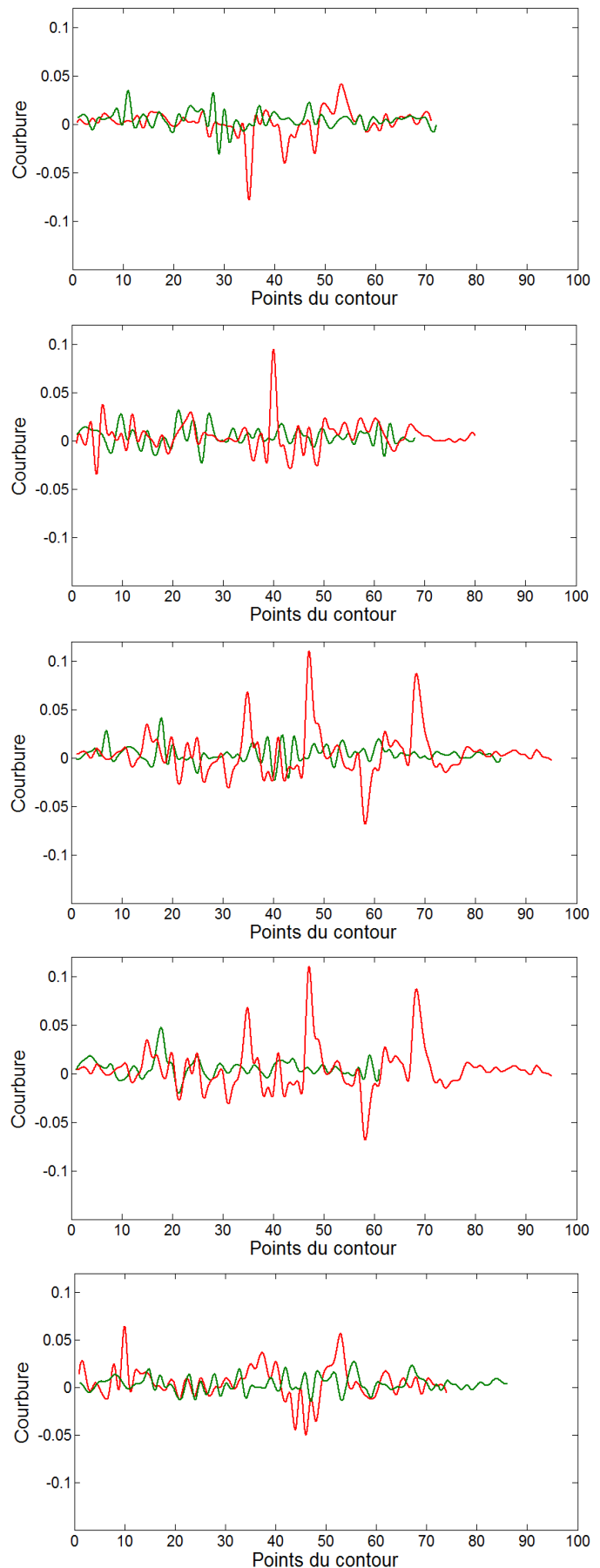


Figure 3 – Sectorisation du Ventricule gauche.

A. Variation de la courbure le long du contour du VG

Les variations de la courbure le long du contour du ventricule gauche, sur un cycle cardiaque pour un cœur sain et pour un cœur pathologique sont données sur la Figure 4 ci-dessous :



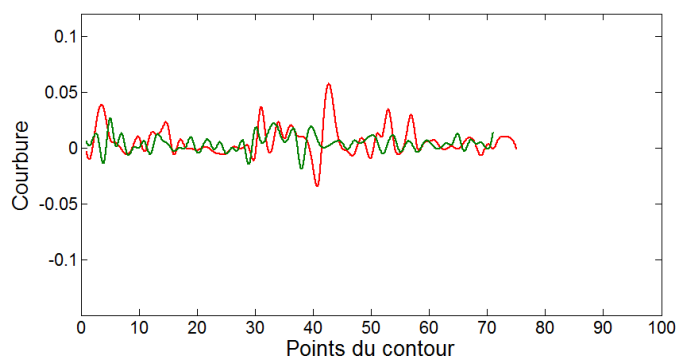
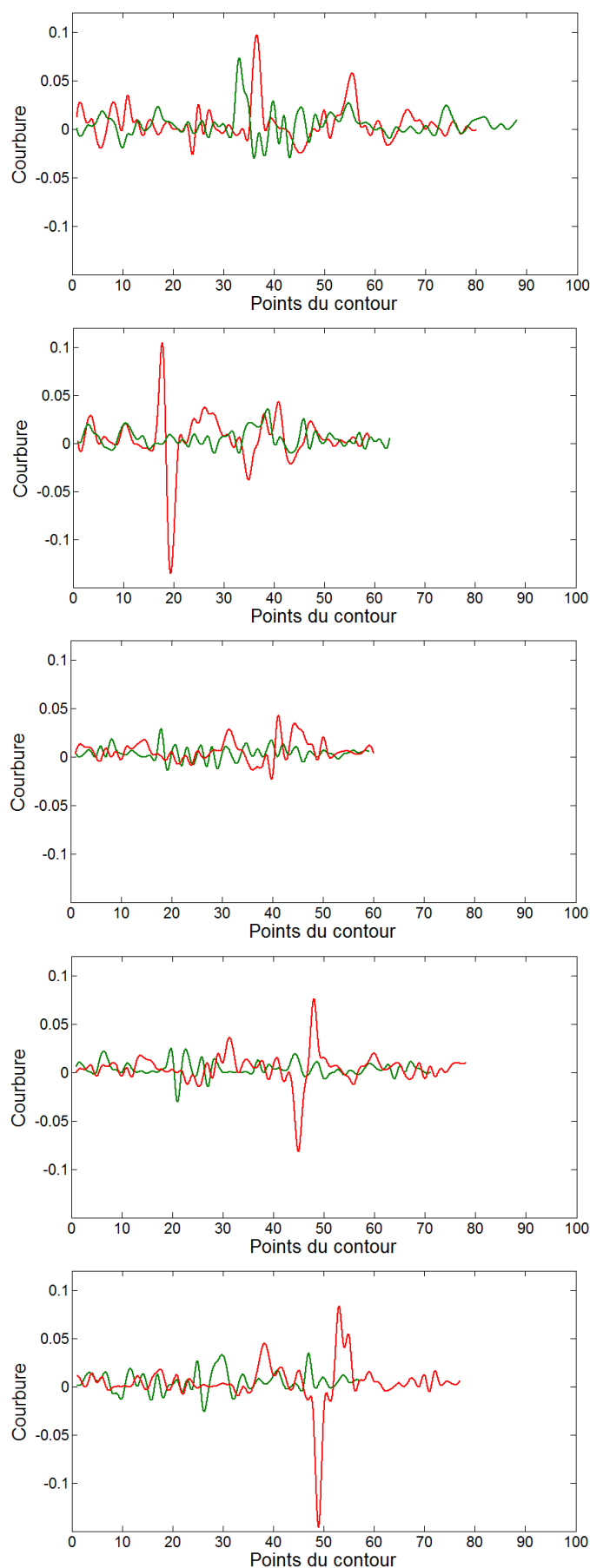
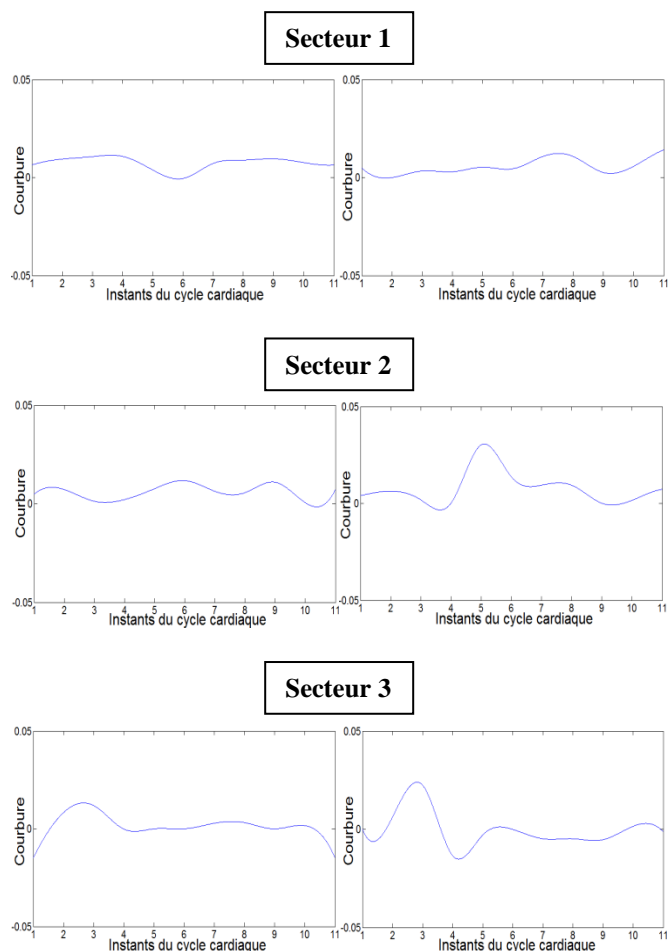


Figure 4 – Variation de la courbure le long des contours du VG sur un cycle cardiaque (le cœur sain en vert, le cœur pathologique en rouge).

B. Variation de la courbure le long du cycle cardiaque

Le calcul de la courbure moyenne de chaque secteur du contour du VG, nous permettra de visualiser la variation de la courbure de chaque secteur sur un cycle cardiaque. Les résultats sont présentés sur la Figure 5 qui suit :



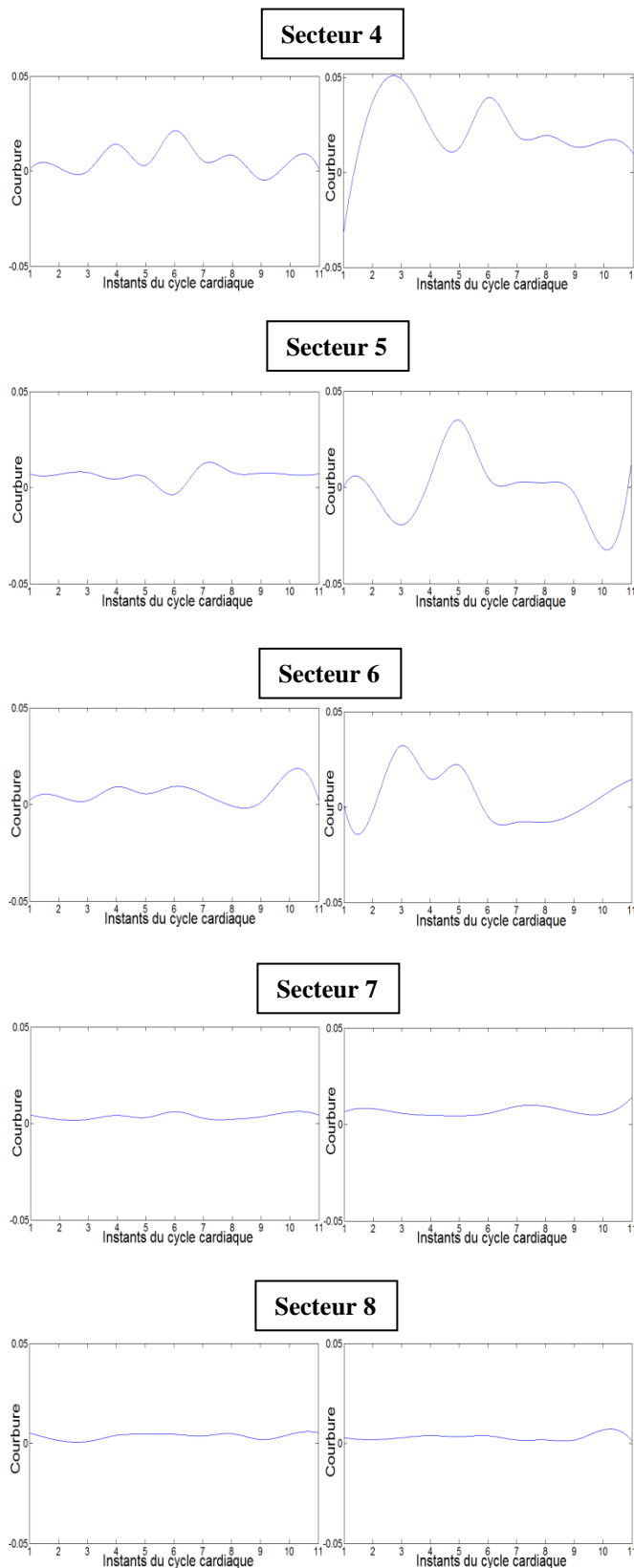


Figure 5 – Variation de la courbure pour chaque secteur le long du cycle cardiaque (à gauche cœur sain, à droite cœur pathologique).

Discussion

Les graphes de la Figure 4 représentent les différentes valeurs de la courbure calculée en chaque point dominant du contour manuel du ventricule gauche. Comme la courbure représente la vitesse de changement de la direction, on peut déduire des graphes ci-dessous les remarques suivantes :

- La déformation du ventricule gauche n'est pas uniforme sur un même contour, ce qui signifie que la cinétique de la paroi du cœur n'est pas uniforme, résultat confirmé par le cardiologue.
- Pour un cœur sain, la déformation est globalement plus élevée en téléstole (image 6 de la Figure 4 pour un cœur sain) correspondant à un maximum de contraction, cette conclusion nous a été confirmée par le médecin.
- La déformation du VG est plus importante dans le cas du cœur pathologique.
- Pour deux images représentant un cœur sain et un cœur pathologique, et situées au même instant du cycle cardiaque, on constate que les variations de la courbure sont différentes, ce qui signifie que le mouvement d'un cœur sain est différent de celui d'un cœur pathologique, en effet une anomalie cardiaque induit un mouvement anormal du cœur.

En ce qui concerne les graphes de la Figure 5, nous constatons que pour les secteurs 1, 7, 8, les variations de la courbure ne sont pas très significatives entre un cœur sain et un cœur pathologique, en revanche, pour les autres secteurs restants, plusieurs points anguleux sont repérables sur les graphes d'un cœur pathologique, correspondant à de fortes valeurs de la courbure (en module).

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le but de ce travail consiste à analyser le mouvement du cœur, principalement du ventricule gauche, sur des séquences d'images ciné IRM cardiaques, afin de déterminer d'éventuelles anomalies.

Nous nous sommes intéressés à l'analyse de l'évolution locale de la forme des parois ventriculaires au cours du cycle cardiaque. Dans la recherche de descripteurs capables de caractériser les formes et leur évolution, les caractéristiques différentielles de surface, comme la courbure ont suscité notre intérêt. Nous avons donc utilisé la notion de courbure pour estimer le mouvement cardiaque. En effet, cette mesure est invariante par transformation rigide, ce qui la rend très attractive pour la reconnaissance de formes.

Une étape préalable de détection des contours du ventricule gauche (VG) est nécessaire. Le contour manuel du VG, tracé par un expert médical a été interpolé par une courbe B-Spline.

La dynamique de la forme du VG a été analysée à travers une approche globale et un suivi régional de la courbure (par secteur). L'approche globale présente l'évolution de la courbure le long du contour sur un cycle cardiaque. Des variations significatives ont été constatées entre le cas sain et le cas pathologique.

Pour analyser localement la déformation du VG, une sectorisation selon un protocole international a été effectuée. Nous constatons que les variations de la courbure par secteur pour un cœur pathologique est non seulement plus importante que pour un cœur sain, mais elles présentent des valeurs négatives.

Le suivi de ce paramètre dans la région du cœur met bien en évidence des différences d'évolution entre les cas normal et pathologique et fournit des lois d'évolution locale. L'étape suivante consiste à identifier ces lois afin d'en extraire des paramètres simples susceptibles de fournir au praticien une description quantitative précise de la dynamique ventriculaire gauche.

Pour vérifier la périodicité et la répétabilité des résultats obtenus, nous envisageons d'utiliser d'une part plusieurs cycles cardiaques, et d'autres parts tester notre algorithme sur d'autres cas pathologiques.

REFERENCES

- [1] Friboulet D, Magnin IE, Mathieu C, Pommert A, Hohne KH. *Assessment and visualization of the curvature of the left ventricle from 3D medical images*. Computerized Medical imaging and Graphics. 1993; 17 (4/5):257-262.
- [2] Clarysse P, Friboulet D, Magnin IE. *Curvature assessment of the heart walls in 3D dynamic imaging*. Proc of computers in cardiology. 1993:607-610.
- [3] Clarysse P, Friboulet D, Magnin IE. *Tracking geometrical descriptors on 3D deformable surfaces. Application to the left ventricle surface of the heart*. IEEE Trans. On Medical Imaging. 1997; 16 (4): 392-404.
- [4] A. DESGREZ, J. BTTUOM et I. IDDY-PRETTY. *Bases physiques de l'IRM : cahiers d'imagerie par résonance magnétique*. Masson, Paris. 1994.
- [5] G. FARIN. *Courbe et surfaces pour la GGAO*. Université d'Arizona, Masson. 1992.
- [6] J.P. COCQUEREZ et S. PHILIPP. *Analyse d'images : filtrage et segmentation*. MASSON, Paris, 1995.
- [7] Xavier TROUILLOT. *Étude de paramètres géométriques à partir du code de Freeman*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines, SAINT-ETIENNE, 2008.
- [8] David COEURJOLLY. *Algorithmique et géométrie discrète pour la caractérisation des courbes et des surfaces*. Thèse de Doctorat, Université Lumière, Lyon, 2002.
- [9] Thanh Phuong Nguyen, *Etude des courbes discrètes : applications et analyse d'image*. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, 2010.

Stereo X-ray Reconstruction of the Proximal Femur

S. Akkoul, R. Leconge, A. Hafiane, E. Lespessailles and R. Jennane

Abstract— The aim of this work is, to propose a stereo X-ray methodology for the 3D reconstruction of the proximal femur using a minimal number of radiographs obtained with a high-resolution digital 2D X-ray device called BMA (Bone Micro Architecture Analysis). The aim is to access the morphometric parameters of the proximal femur, such as its height, its orientation and its depth. Applied on *ex vivo* proximal femur, results demonstrate the limits of the method.

Index Terms—3D reconstruction, low-dose X-ray radiography, proximal femur, osteoporosis.

I. INTRODUCTION

WITH population aging in industrialized countries, pathologies linked with age, such as osteoporosis, are becoming a major public health problem. Clinicians and public health administrations are looking for tools for the diagnosis and screening of fracture risk. Bone Mineral Density (BMD) measured by Dual energy X-ray Absorptiometry (DXA) is an established criterion in the evaluation of hip fracture risk. However, this technique has certain limitations: an overlap exists between BMD measured on fractured and non-fractured subjects. Moreover, several clinical studies showed that while macroarchitectural parameters are determining factors of bone structure strength, these 2D measurements are dependent on 2D projection bias.

The purpose of our study is to design a tool to enable the 3D reconstruction of a macroscopic view of the proximal femur from two or more different projections of the scanned object. This will give access to morphometric parameters of the proximal femur, such as its height, its orientation and its depth. These parameters will make it possible to characterize the mechanical resistance of the proximal femur. Using the same projections, the second aim is to compute the 3D parameters of the bone microarchitecture. These 3D parameters will improve the 2D measures currently performed by BMA.

Accurate knowledge of the proximal femur geometry is of great interest for diagnosis and therapeutic applications as well as for the clinical follow-up linked to hip fracture and hip joint pathologies. Conventional radiographs, CT-scans and MRI are generally used to obtain hip and femoral geometric information.

Conventional radiographs provide only 2D parameters, which are sensitive to the orientation and the complex 3D structure of the femur, thus giving only a rough approximation of femoral geometry. 3D reconstructions are currently available using CT scans or MRI. However, these modalities are somewhat expensive and for CT scans, the accuracy of the 3D models obtained is highly dependent on spatial acquisition parameters and therefore, on the radiation dose received by the patient [5].

Thanks to recent advances in stereoradiographic reconstruction techniques, the 3D bone structure geometry can be obtained from 2D contours identified on bi-planar conventional radiographs. The 3D reconstruction method called Non Stereo-Corresponding Contour (NSCC) has already been applied on the distal femur, using conventional X-rays, with an accuracy close to that obtained using 3D CT-scan reconstruction [2-3].

This algorithm is based on the deformation of a 3D model relative to identified 2D radiographic contours. This technique has also been implemented in software applied on a low-dose digital radiographic device (EOS™, *Biospace Instruments*, Paris, France) based on Charpak's gas detectors, which enables a much lower irradiation dose to be delivered than with conventional radiography. Another property of this device is its capacity to perform the simultaneous acquisition of two orthogonal views in a free standing position [5].

S. Akkoul is with PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois 45067 Orléans Cedex 2, France (Sonia.Akkoul@univ-orleans.fr)

R. Leconge is with PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois 45067 Orléans Cedex 2, France (Remy.Leconge@univ-orleans.fr)

A. Hafiane is with PRISME Laboratory, ENSI of Bourges, 88, Bd Lahitole, 18020 Bourges Cedex, France (Adel.hafiane@ensi-bourges.fr)

E. Lespessailles is with the Hospital of Orleans, 1, rue Porte Madeleine, 45000 Orléans, France (Eric.Lespessailles@chr-orleans.fr)

R. Jennane is with PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois 45067 Orléans Cedex 2, France (Rachid.Jennane@univ-orleans.fr)

The NSCC technique was applied and validated for the 3D geometric reconstruction of the proximal femur by using the low-dose device [4] and used for the 3D reconstruction of the proximal femur using a pre-personalized parametric object [1].

II. MATERIEL AND METHOD

A. Acquisition system and working environment

3D reconstruction from a sequence of images has been the subject of research for several years. Existing methods differ according to the type of object to be reconstructed (shape, dimension, texture) and the knowledge of the system of acquisition or the working environment. A bibliographical study on the 3D reconstruction of the proximal femur was conducted to understand the 3D reconstruction methodology and its applications in medical imaging.

Thanks to the staff of the hospital of Orleans, two acquisition campaigns were carried out. The first one, at the "Porte Madeleine" hospital in Orleans, using a BMA with a sensor of 11.3 * 12cm (2240 * 2368 pixels) and a pixel size of 50 μ m, provided acquisitions on a post mortem proximal femur (Figure 1).

We put the femur on a graduated turntable (Figure1) and we realized an X-ray radiograph every 10 degrees. An example of the X-ray image of the *ex vivo* proximal femur is shown in Figure 2.

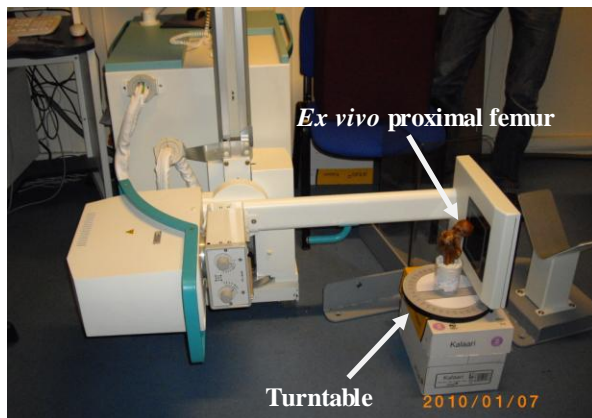


Figure 1: Acquisitions on a post mortem proximal femur.



Figure 2: X-ray image of the Ex vivo proximal femur

The second campaign was conducted using a BMA with a sensor of 17 * 24cm (2016 * 2816 pixels), and a pixel size of 75 μ m. For these acquisitions, we used a phantom (Figure 3) reproducing a fully human pelvis and containing real human bone. The phantom was loaned by the MEDEX company (Belgium), and provided acquisitions corresponding to those that could be done *in vivo* (Figure 4).

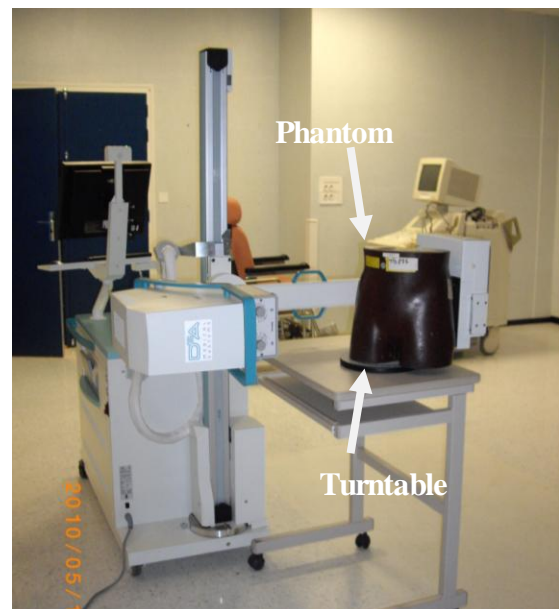


Figure 3: Acquisitions on a phantom reproducing a human pelvis.

As for the *ex vivo* proximal femur, we put the phantom on a graduated turntable (Figure 3) and we realized an X-ray radiograph every 10 degrees. An example of the obtained image is shown in Figure 4.



Figure 4: Image of the X-ray proximal femur from the phantom.

Reconstruction with interest points using Scale Invariant Feature Transform method

The 3D reconstruction of an object from a small number of projections requires several processing steps. First, it is necessary to extract the coordinates of the interest points on the 2D projections and to match the set of images used. This was accomplished using SIFT (Scale Invariant Feature Transform), which detects and describes local features in images. The algorithm was published by David Lowe in 1999. It is applied in many areas including object recognition, robotic mapping and navigation, image stitching, 3D modeling, gesture recognition, video tracking, and match moving.

SIFT is a method used to detect and to extract features which are invariant to image scaling and rotation, and partially invariant to changes in illumination and 3D camera viewpoint. The features are well localized in both the spatial and frequency domains, reducing the probability of disruption by occlusion, clutter, or noise.

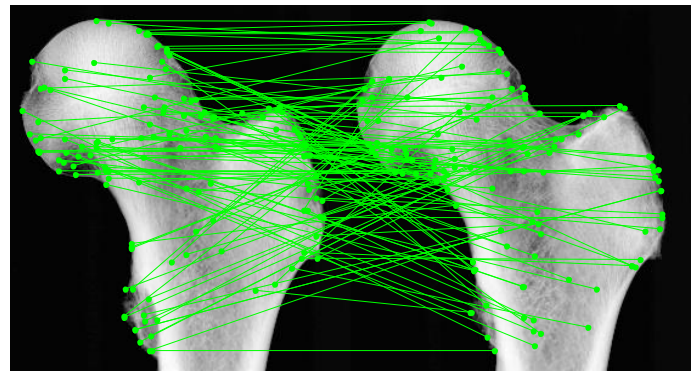
The following are the main stages of computation used to generate the set of image features:

1. **Scale-space extrema detection:** The first stage of computation searches over all the scales and image locations. It is implemented efficiently by using a difference-of-Gaussian function to identify potential interest points that are invariant to scale and orientation.
2. **Keypoint localization:** At each candidate location, a detailed model is fitted to determine location and scale. Keypoints are selected based on measures of their stability.
3. **Orientation assignment:** One or more orientations are assigned to each keypoint location based on local image gradient directions. All future operations are performed on image data that has been transformed relative to the assigned

orientation, scale, and location for each feature, thereby ensuring invariance for these transformations.

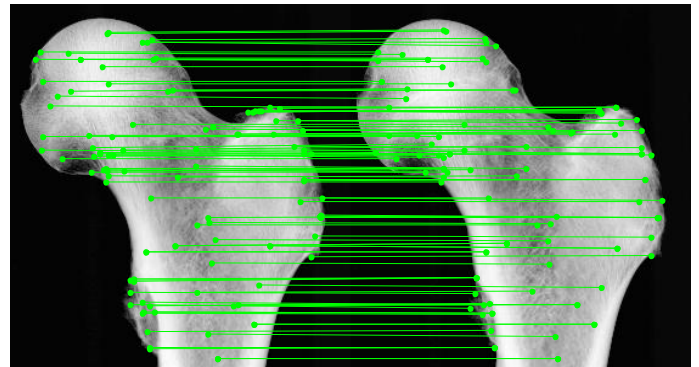
4. **Keypoint descriptor:** The local image gradients are measured at the selected scale in the region around each keypoint. The gradients are transformed into a representation that allows for significant levels of local shape distortion and change in illumination [6].

This method was applied on two images from the first campaign acquired at 90 and 100 degrees. Figure 5 presents the results. There are 131 matches but many of them are "good" false matches.



a) Acquired image at 90 degrees b) Acquired image at 100 degrees

Figure 5: Matches of the corresponding points.



a) Acquired image at 90 degrees b) Acquired image at 100 degrees

Figure 6: Matches of the corresponding points.

To avoid the "good" false matches, an algorithm based on block matching has therefore been developed to eliminate the false matches and to obtain a denser cloud of points (Figure 6). Block matching consists in dividing the image into blocks of size $N * M$ and then make the matching points block by block.

Using the block matching method to match the points gives better results but show that the number of matched points is still insufficient.

The 3D coordinates of the extracted points have therefore to be determined. The literature refers only to the classical

problem concerning two views obtained by stereovision. Our problem is completely different since the detector is situated on the other side of the object. This led us to develop a new algorithm much better adapted to the problem under consideration. This algorithm has been tested and validated on test vectors. The first results obtained on the proximal femur are shown in Figure 7.

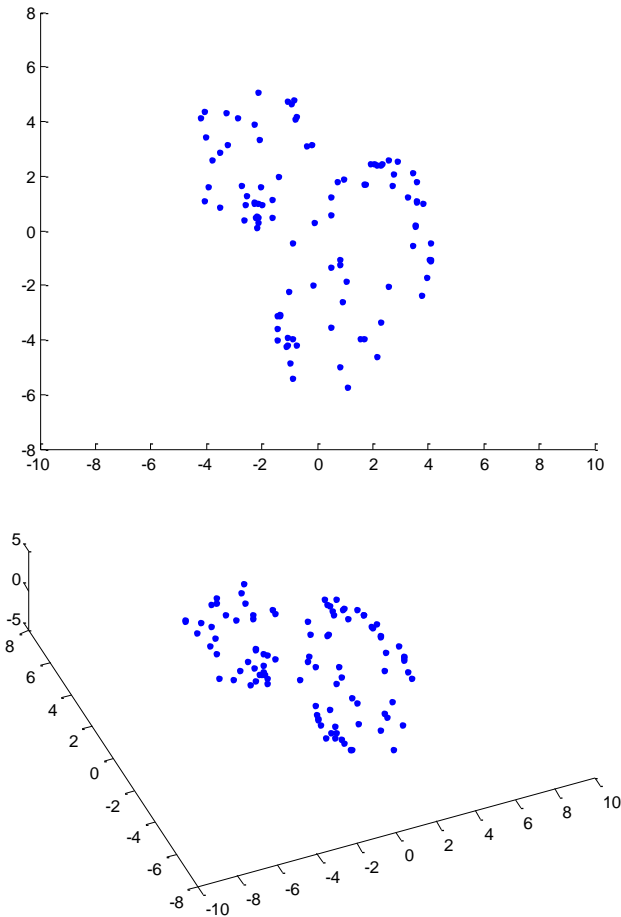


Figure 7: The 3D reconstructed points using the proposed algorithm.

After the matching of the points situated on the contours, we manage to calculate the 3D points corresponding to the obtained pairs of points and the result is encouraging.

However, for the points situated in the middle of the bone, we cannot verify the correct mapping in correspondence of the points as long as the X-ray crosses the bone and since the interests points detected by Sift on the first radio differ from those detected on the second radio.

To address this problem, it is necessary to use another parameter which is the edge detection. In this case, we are interested by the points situated on the board. As it is limited to the board, necessarily, there will not be enough points to have a cloud of points enough dense to reconstruct a 3D

shape. In this case, many studies show the need for an *a priori* (Shape Priors) knowledge of the considered anatomical structure as well as 2D images [7-9].

III. CONCLUSION

This work presents an original method for the 3D reconstruction of the proximal femur from a limited number of 2D radiograph projections. First, after investigating the classical method used in stereovision, results revealed that the problem under study could not be solved using such an algorithm. A new algorithm has therefore been developed and validated on test vectors. The results obtained are promising. The detection algorithm is currently being improved on two or several images using contours and an *a priori* knowledge of the anatomy of the proximal femur (template model). The algorithm will then be applied on the proximal femur and the phantom to determine its efficiency.

REFERENCES

- [1] A. Baudoin, "Analyse en Pré et Post Opératoire de l'Articulation de la Hanche à l'aide de Reconstitutions 3D issues de Radiographies Biplanaires Basse Dose". Doctoral thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, December 2007.
- [2] S. Laporte, W. Skalli, J.A. De Guise, F. Lavaste and D. Mitton, "A biplanar reconstruction method based on 2D and 3D contours: application to the distal femur". *Comput Methods Biomech Engin* 6(1): 1-6, 2003.
- [3] S. Laporte, "Reconstruction 3D du Squelette Humain pour la Biomécanique par Radiographie Biplane à dose Minimale d'Irradiation". Doctoral thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, December 2002.
- [4] A. Le Bras, S. Laporte, V. Bousson, D. Mitton, J.A. De Guise, J.D. Laredo and W. Skalli, "3D reconstruction of the proximal femur with low-dose digital stereoradiography". *Comput Aided Surg* 9(3): 51-7, 2004.
- [5] A. Le Bras, "Exploration des Potentialités du Système EOS™ pour la caractérisation mécanique de Structures Osseuses : Application à L'Extrémité Supérieure du Fémur". Doctoral thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, April 2004.
- [6] G.D. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints". *International Journal of Computer Vision*, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [7] N. Baka *et al.*, "2D-3D shape reconstruction of the distal femur from stereo X-ray imaging using statistical shape models". *Med. Image Anal.(2011)*, doi:10.1016/j.media.2011.04.001.
- [8] G. Zheng *et al.*, "A 2D/3D correspondence building method for reconstruction of a patient-specific 3D bone surface model using point distribution models and calibrated X-ray images". *Med. Image Anal.(2008)*, doi:10.1016/j.media.2008.12.003.
- [9] P. Gamage, S. Q. Xie, P. Delmas, W. L.. Xu, "Diagnostic radiograph based 3D bone reconstruction framework : Application to the femur". *Comput Med Imaging Graph (2011)*, doi:10.1016/j.compmedimag.2010.09.008.

Commande robuste par approche optimale d'un robot manipulateur à 3 d.d.l.

Rochdi BACHIR BOUYADJA, Mohamed Faycel KHELFI

Résumé - Dans cet article une commande robuste par approche optimale est synthétisée. L'approche consiste à transformer un problème de commande robuste en un problème de commande optimale non linéaire. Une majoration de la norme de la fonctionnelle des incertitudes par une forme quadratique permet l'utilisation de la commande optimale linéaire quadratique LQR. La stabilité asymptotique du système de commande est démontrée par la seconde méthode de Lyapunov. Des résultats de simulations pour une poursuite de trajectoire d'un robot manipulateur à 3 degré de liberté montrent la robustesse de la commande.

Mots clés - Commande robuste, Commande optimale, fonction de Lyapunov, Robot manipulateur.

I. INTRODUCTION

LA commande robuste des systèmes linéaires a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs. Plusieurs approches ont été développées, il s'agit de la commande H_∞ avec ces variantes (contrôleur central, mu-analyse et mu-synthèse, loopshaping,...) [1], [2], néanmoins l'utilisation de ces techniques pour des systèmes non linéaires nécessitent une linéarisation du modèle non linéaire autour d'un point de fonctionnement [3], [4]. La commande H_∞ des systèmes non linéaires avec incertitudes et utilisant les équations HJI a été étudié dans [5], [6].

La commande robuste par approche optimale a été développée par Feng [7], [8]. L'auteur a tout d'abord introduit les incertitudes sous différents formes ; les incertitudes qui sont dans le rang de la matrice de commande (Matched Uncertainty), les incertitudes qui ne sont pas dans le rang de la matrice de commande (Unmatched Uncertainty) et finalement les incertitudes qui sont dans la matrice d'entrée. Ensuite une relation d'équivalence entre le problème de la commande robuste et le problème de la commande LQR du système nominal a été établie. La stabilité asymptotique a été démontrée par le biais d'une fonction candidate de Lyapunov qui n'est que la fonction coût minimale de la commande LQR. Le développement est fait pour les deux cas linéaires et non linéaires des systèmes.

Manuscript received October 30, 2011.

R. BACHIR BOUYADJA is with the RIIR Laboratory, University of Oran Es-Senia IGMO- Oran, 31000 and the University of Mascara, Mascara, 29000 Algeria (Phone number: +213 552597916, e-mail: bouyadjra@yahoo.com).

M.F. KHELFI is with the RIIR Laboratory, University of Oran Es-Senia IGMO- Oran, 31000, Algeria.

Dans cet article la commande robuste par approche optimale est appliquée pour la poursuite de trajectoires d'un robot manipulateur. Le modèle des erreurs en position et vitesse du robot est ramené à un système non linéaire où les incertitudes sont supposées dans le rang de la matrice de la commande. Le problème de la commande de tels systèmes est ramené à un problème de commande optimale non linéaire et linéaire quadratique.

Cet article est organisé comme suit; on introduit en premier lieu la commande robuste par approche optimale des systèmes non linéaires. Dans la section 3 on investie le modèle dynamique du robot manipulateur avec charge, puis le modèle des erreurs en positions et vitesses du robot avec les incertitudes, et on établie la loi de commande robuste de ce modèle. Finalement, des résultats de simulation de la commande robuste par approche optimale seront donnés.

II. COMMANDE ROBUSTE

Considérons le système non linéaire suivant

$$\dot{x} = A(x) + B(x)u + B(x)f(x) \quad (1)$$

Où $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^m$ sont respectivement le vecteur d'état du système et le vecteur de commande. $A(x)$, $B(x)$ sont des fonctionnelles non linéaires et $f(x)$ est une fonctionnelle inconnue mais bornée qui modélise les incertitudes du système. Le terme $B(x)f(x)$ signifie que les incertitudes sont dans le rang de $B(x)$.

Les suppositions suivantes sont établies :

H1 : $A(0) = 0$ et $f(0) = 0$, c.à.d. $x = 0$ est un point d'équilibre.

H2 : Les incertitudes $f(x)$ sont bornées : il existe une fonction non négative $f_{\max}(x)$ tel que:

$$\|f(x)\| \leq f_{\max}(x) \quad (2)$$

Notre objectif est de résoudre le problème suivant de la commande robuste du système incertain donné par (1).

A. Problème de la commande robuste

Trouver une loi de commande $u = u_0(x)$ telle que le point d'équilibre $x = 0$ du système en boucle fermé

$$\dot{x} = A(x) + B(x)u_0(x) + B(x)f(x) \quad (3)$$

est globalement asymptotiquement stable pour tout $\|f(x)\| \leq f_{\max}(x)$.

Ce problème de la commande robuste des systèmes non linéaires est généralement difficile à résoudre, néanmoins on

peut le résoudre de façon indirecte en le transformant en un problème de commande optimale.

B. Problème de la commande optimale

Pour le système nominal suivant

$$\dot{x} = A(x) + B(x)u \quad (4)$$

On cherche une loi de commande $u = u_0(x)$ minimisant la fonction coût suivante :

$$\int_0^\infty (f_{\max}(x)^2 + x^T x + u^T u) dt \quad (5)$$

L'équivalence entre le problème de la commande robuste **A** et le problème de la commande optimale **B** est fondé par le théorème suivant :

Théorème : Si la solution du problème de la commande optimale **B** existe, alors c'est une solution du problème de la commande robuste **A**.

Démonstration :

Soit $u = u_0(x)$ la solution du problème de la commande optimale **B**, pour démontrer que le système: $\dot{x} = A(x) + B(x)u_0(x) + B(x)f(x)$ est globalement asymptotiquement stable pour toutes incertitudes satisfaisantes $\|f(x)\| \leq f_{\max}(x)$ on utilise la fonction de Lyapunov suivante :

$$V(x) = \min_{u \in \mathbb{R}^m} \int_t^\infty (f_{\max}(x)^2 + x^T x + u^T u) d\tau \quad (6)$$

$V(x)$ satisfait l'équation de Hamilton-Jacobi-Bellman suivante pour le problème de la commande optimale **B** :

$$\min_{u \in \mathbb{R}^m} (f_{\max}(x)^2 + x^T x + u^T u + V_x^T (A(x) + B(x)u)) = 0 \quad (7)$$

$$\text{Où } V_x^T = \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^T.$$

Puisque $u = u_0(x)$ est une commande optimale, elle vérifie l'équation précédente ; c.à.d:

$$f_{\max}(x)^2 + x^T x + u^T u + V_x^T (A(x) + B(x)u) = 0 \quad (8)$$

$$2u_0(x)^T + V_x^T B(x) = 0 \quad (9)$$

L'équation (9) est obtenue en dérivant la partie gauche de (8) par rapport à u .

On utilisant les équations (8),(9) on démontre facilement que :

$$\dot{V}(x) = V_x^T \dot{x} \leq -f_{\max}(x)^2 + f(x)^T f(x) - x^T x$$

Par l'équation (2) ; $f(x)^T f(x) \leq f_{\max}(x)^2$ on obtient

$$\dot{V}(x) \leq -x^T x \leq 0$$

Donc $V(x)$ est bien une fonction candidate de Lyapunov. Par la seconde méthode de Lyapunov on conclut que le système (3) est globalement asymptotiquement stable.

III. APPLICATION A LA POURSUITE DE TRAJECTOIRE D'UN ROBOT A 3 D.D.L.

A. Modèle du robot avec charge

Le modèle dynamique du manipulateur à n articulations est donné par l'équation différentielle vectorielle non linéaire du second ordre suivante [9]:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + G(q) + H(\dot{q}) = \tau \quad (10)$$

où q est un vecteur $n \times 1$ des positions généralisées, τ est un vecteur $n \times 1$ des forces généralisées appliqués aux articulations, $M(q)$ est la matrice symétrique définie positive d'inertie de dimension $n \times n$. $N(q, \dot{q})$ est le vecteur $n \times 1$ des forces généralisées de Coriolis et centrifuges. $G(q)$ est le vecteur $n \times 1$ dû à la gravitation et $H(\dot{q})$ représente le vecteur des couples qui sont dus aux frottements secs et visqueux. Les éléments de M , N , G et H sont non linéaires et fonction de la configuration du robot et de la charge appliquée à l'élément terminal.

Les vecteurs positions, vitesses et accélérations de l'élément terminal sont reliés aux positions articulaires par les relations suivantes :

$$X = \Lambda(q) \quad (11)$$

$$\dot{X} = J(q)\dot{q} \quad (12)$$

$$\ddot{X} = \dot{J}(q)\dot{q} + J(q)\ddot{q} \quad (13)$$

avec X est le vecteur position de l'élément terminal dans le plan opérationnel (x, y, z).

$\Lambda(q)$ est le modèle géométrique directe du robot.

$J(q)$ est la matrice jacobienne du système.

On considère maintenant la situation dans laquelle l'élément terminal tient une charge de masse m et se déplace dans le champ gravitationnel g avec une accélération \ddot{X} . La force développée par l'élément terminal est donc :

$$f = m[\ddot{X} + g] \quad (14)$$

La force $f(t)$ est reliée au couple additionnel appliqué par l'élément terminal sur la charge par l'équation :

$$\tau_f = J^T(q)f \quad (15)$$

Le couple total du robot manipulateur est donc exprimé par :

$$\tau = J^T(q)f(t) + M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + G(q) + H(\dot{q}) \quad (16)$$

En substituant l'équation (14) dans (15), on obtient :

$$\tau = mL(q, \dot{q}, \ddot{q}) + M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + G(q) + H(\dot{q}) \quad (16.a)$$

$$\text{avec: } L(q, \dot{q}, \ddot{q}) = J^T(q)[\dot{J}(q)\dot{q} + J(q)\ddot{q} + g]$$

L'équation (16.a) montre explicitement l'effet de la charge sur la dynamique du robot manipulateur. Cette équation peut être réécrite sous la forme suivante :

$$M^*(m, q)\ddot{q} + N^*(m, q, \dot{q}) + G^*(m, q) + H(\dot{q}) = \tau \quad (17)$$

$$\text{avec: } M^*(m, q) = M(q) + mJ^T(q)$$

$$N^*(m, q, \dot{q}) = N(q, \dot{q}) + mJ^T(q)\dot{J}(q)\dot{q}$$

$$G^*(m, q) = G(q) + mJ^T(q)g$$

La matrice d'inertie modifiée M^* préserve sa propriété de symétrie et de positivité. L'équation (17) décrit le modèle mathématique complexe du robot manipulateur avec charge. Les éléments de M^*, N^*, G^* et H sont des fonctions non linéaires de la configuration des positions et vitesses articulaires et de la masse m de la charge.

B. Commande robuste du robot manipulateur avec charge

Le modèle du robot avec charge donné par (17) peut être réécrit sous la forme :

$$\tau = M^*(m, q) + W^*(m, q, \dot{q}, p) \quad (18)$$

avec

$$W^*(m, q, \dot{q}, p) = N^*(m, q, \dot{q}) + G^*(m, q) + H(\dot{q}, p)$$

et p est le vecteur des incertitudes correspondant aux coefficients de frottements visqueux des articulations. On définit les erreurs de poursuite en position et vitesse suivantes :

$$\begin{aligned} e_1 &= q - q_{ref} \\ e_2 &= \dot{q} - \dot{q}_{ref} \end{aligned} \quad (19)$$

$q_{ref} \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur des positions généralisées désirées.

On a :

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= e_2 \\ \dot{e}_2 &= M^{*-1}(m, q) \{ \tau - W^*(m, q, \dot{q}) \} - \ddot{q}_{ref} \end{aligned} \quad (20)$$

Si on pose :

$$\tau = M^*(m, q)u + W_0^*(m, q, \dot{q}, p_0) + M^*(m, q)\ddot{q}_{ref} \quad (21)$$

L'équation (20) devienne :

$$\dot{e} = Ae + Bu + Bf(e) \quad (22)$$

avec :

$$e = [e_1 \quad e_2]^T, A = \begin{bmatrix} 0_{n,n} & I_{n,n} \\ 0_{n,n} & 0_{n,n} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0_{n,n} \\ I_{n,n} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\begin{cases} F_1 = (m + m_1 + m_3)\ddot{q}_1 + (m_1 + m_3 - m)g + f_1\dot{q}_1 \\ \tau_2 = ((m_3 + m)q_3^2 + m_3l_2^2/3 - m_3l_2q_3)\ddot{q}_2 + (2(m_3 + m)q_3 - m_3)\dot{q}_2\dot{q}_3 + f_2\dot{q}_2 \\ F_3 = (m + m_3)\ddot{q}_3 - (m + m_3)q_3\dot{q}_2^2 + m_3l_2\dot{q}_2^2/2 + f_3\dot{q}_3 \end{cases} \quad (24)$$

et $f(e) = M^{*-1}(m, q)\{W_0^*(m, q, \dot{q}) - W^*(m, q, \dot{q})\}$

$W_0^*(m, q, \dot{q}, p_0)$ est le vecteur nominal correspondant aux valeurs nominales des coefficients de frottements visqueux des articulations.

L'équation (22) est mise sous la forme de l'équation (1) et donc une commande robuste par approche optimale peut être appliquée pour assurer la stabilité asymptotique du point d'équilibre $e = 0$.

C. Application à un robot 3 d.d.l.

La commande robuste par approche optimale développée dans la section 3.2, va être maintenant appliquée au robot manipulateur PORTOS de classe 4 ($n=3$). Ce manipulateur est caractérisé par une articulation rotationnelle q_2 et deux articulations translationnelles q_1 et q_3 (voir figure 3.1)

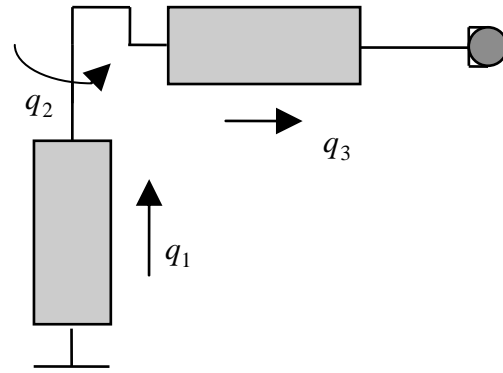


Figure 1. Présentation du robot

Les caractéristiques du robot, telles que les masses et les distances sont : [10]

$m_1 = 20 \text{ kg}$; $m_3 = 10 \text{ kg}$; $l_2 = 0.75 \text{ m}$; $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$; $f_1 = 30 \text{ Nsm}^{-1}$; $f_2 = 7.825 \text{ Nm rad}^{-1} \text{ s}$; $f_3 = 20 \text{ Nsm}^{-1}$.

Le modèle dynamique du robot avec charge obtenu par le formalisme d'Euler-Lagrange est donnée par :

m est la charge que peut transporter l'élément terminale du robot.

Ainsi on a :

$$M^*(m, q) = \begin{bmatrix} m + m_1 + m_3 & 0 & 0 \\ 0 & (m_3 + m)q_3^2 + m_3l_2^2/3 - m_3l_2q_3 & 0 \\ 0 & 0 & (m + m_3) \end{bmatrix}$$

$$W^*(m, q, \dot{q}, p) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_3 - m)g + f_1 \dot{q}_1 \\ (2(m_3 + m)q_3 - m_3)\dot{q}_2 \dot{q}_3 + f_2 \dot{q}_2 \\ -(m + m_3)q_3 \dot{q}_2^2 + m_3 l_2 \dot{q}_2^2 / 2 + f_3 \dot{q}_3 \end{bmatrix}$$

$$p = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \text{ est le vecteur des incertitudes.}$$

Pour $f_i = f_{i0} \pm 30\%$, $i = 1, 2, 3$ on a

$$\|W^*(m, \theta, \dot{\theta}, p) - W_0^*(m, \theta, \dot{\theta})\| \leq \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.34 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{bmatrix} e = w_{\max}(e).$$

On obtient ainsi : $\|f(e)\|^2 \leq \|M^{*-1}(m, q)\|^2 \cdot w_{\max}^2(e) = e^T F e$

Avec

$$F = \|M^{*-1}(m, q)\|^2 \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 81 & 0 & 0 \\ 0_{3 \times 3} & 0 & 5.47 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 36 \end{bmatrix} \text{ et}$$

$$\|M^{*-1}(m, q)\| = 1.1.$$

Cette valeur est calculée pour une trajectoire cycloïde de la position généralisée q_3

La loi de commande u donnée dans l'équation (18) est une commande LQR pour le système nominale : $\dot{e} = Ae + Bu$, A et B sont définies dans (20).

La fonction coût à minimisée est donnée par : $\int_0^\infty (e^T F e + u^T u) dt$.

D. RESULTATS DE SIMULATION

Le robot manipulateur utilisé pour la validation de la partie théorique est celui donné dans la section III.C. Les trajectoires de références sont de type cycloïde qui assure une continuité en position et vitesse pour avoir des couples réalisables [9]. Chaque articulation passe d'une position initiale $\theta_{\text{ref}_i}(t_0)$ vers une position finale $\theta_{\text{ref}_i}(t_f)$ en suivant le profil donné par :

$$q_{\text{ref}_i}(t) = \begin{cases} q_{\text{ref}_i}(t_0) + \frac{\Delta_i}{2\pi} (\omega t - \sin \omega t) & \text{pour } t \leq t_f \\ q_{\text{ref}_i}(t_f) & \text{pour } t > t_f \end{cases} \quad (25)$$

$$\Delta_i = q_{\text{ref}_i}(t_f) - q_{\text{ref}_i}(t_0) \text{ et } \omega = \frac{2\pi}{t_f}$$

Les positions des articulations réelles et désirées ainsi que les erreurs en position sont consignées à la figure 2 pour $d_{\text{ref}_1}(0) = 0$, $d_{\text{ref}_1}(8) = 0.2$, $\theta_{\text{ref}_2}(0) = 0$, $\theta_{\text{ref}_2}(8) = \pi/2$ et $d_{\text{ref}_3}(0) = 0$, $d_{\text{ref}_3}(8) = 0.2$. Cette figure montre une poursuite parfaite de la trajectoire de référence dans le cas d'une variation de 30 % des coefficients de frottements visqueux et pour des conditions initiaux non nulles. La stabilité asymptotique est assurée.

La trajectoire imposée pour le robot PORTOS est spatiale de telle sorte à activer toutes les positions généralisées (fenêtre de Viviani) [10][11], Pour que l'élément terminal décrive la trajectoire de la fenêtre de Viviani, les consignes pour chaque position généralisé sont consignées à la figure 3 A la figure 3

sont illustrées aussi les positions réelles et les erreurs en positions pour des conditions initiaux non nulles. Les mêmes remarques sont maintenues. La trajectoire réelle et désirée de l'élément terminal sur la fenêtre de Viviani est donnée sur la figure 4.a, sa projection sur le plan XOZ est consignée sur la figure 4.b

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article l'approche optimale de la commande robuste des systèmes non linéaires appliquée pour la poursuite de trajectoires des robots manipulateurs. La synthèse directe d'une commande non linéaire robuste est souvent difficile, néanmoins on peut transformer la commande robuste en une commande optimale quadratique ou les incertitudes sont supposées bornées de manière quadratique, c.à.d. $\|f(e)\|^2 \leq e^T F e$. Les simulations faites montrent l'efficacité d'une telle commande dans le domaine de la poursuite de trajectoires des robots manipulateurs. Le travail peut être poursuivi en supposant d'autres types d'incertitudes de modélisation.

REFERENCES

- [1] K. ZHOU, «Essentials of robust control design», PRENTICE Hall, 1999.
- [2] D.-W. GU, P. HR. PETKOV, M. M KONSTANTINOV, "Robust control design with MATLAB", Advanced Textbooks in Control and Signal Processing, Springer, 2005.
- [3] M. JUNG, K. GLOVER, U. CHRISTEN, «Comparaison of uncertainty for H_∞ Robust Control of turbocharged diesel engines", Control Engineering Practice, vol. 13, 2004, 15-25.
- [4] R. FALES, A. KALKAR, "Robust control design for a wheel loader using H_∞ and feedback linearization based methods", ISA Transaction, vol. 48, 2009, 312-320.
- [5] A. VAN DER SHAFT, "L-2 gain and passivity techniques in nonlinear control", Communication and Control Engineering, Springer 2000.
- [6] J.-I. IMURA, T. SUGIE, T. YOSHIKAWA, "A Hamilton-Jacobi Inequality Approach to the strict H_∞ Control Problem of nonlinear systems", Automatica, vol. 32, no. 4, 1996, 645-650.
- [7] FENG LIN, " Robust control of nonlinear system: compensating for uncertainty", Int. J. Control, vol. 25, no.6, 1992, 1453 - 1459.
- [8] FENG LIN, " Robust Control Design: An Optimal Control Approach", John Wheley & Sons Ltd, 2007.
- [9] R. BACHIR BOUYADJRA, "Commande adaptative décentralisée des robots manipulateurs", Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 1998.
- [10] R. BACHIR BOUYADJRA, " Commande adaptative décentralisée via les structures variables des robots manipulateurs ", Conférence CMSES, Saïda-Algérie, Mai 1997.
- [11] L. Gunenfaf, "Etudes des différentes stratégies de commande adaptative : Application aux robots manipulateurs ", Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1995.

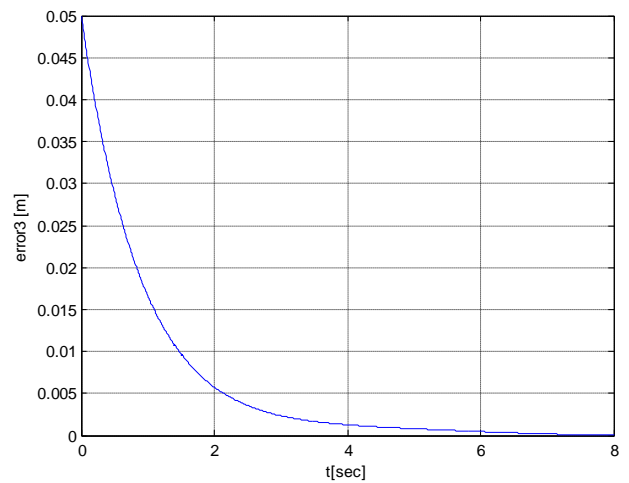
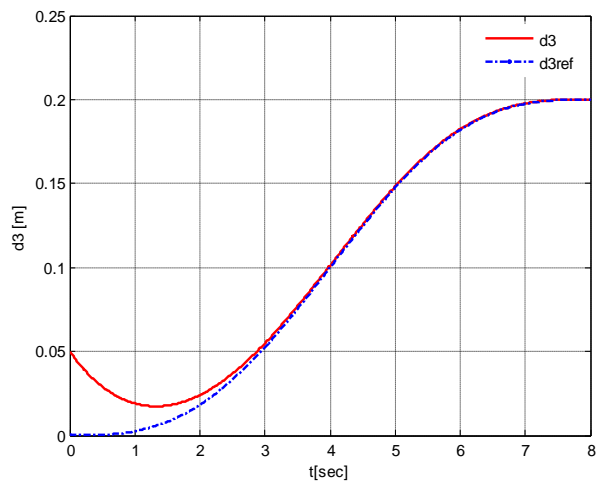
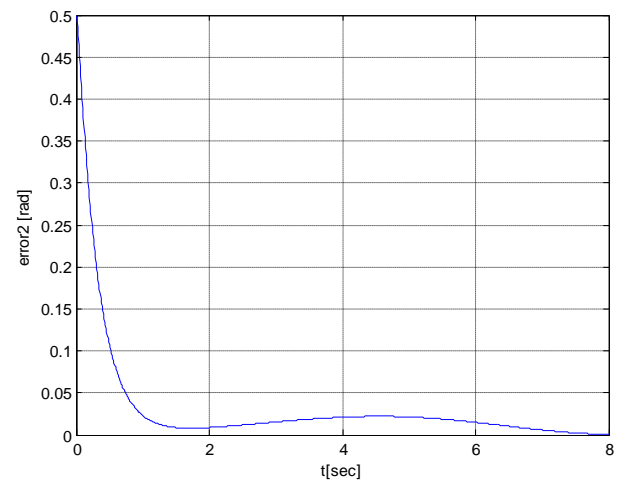
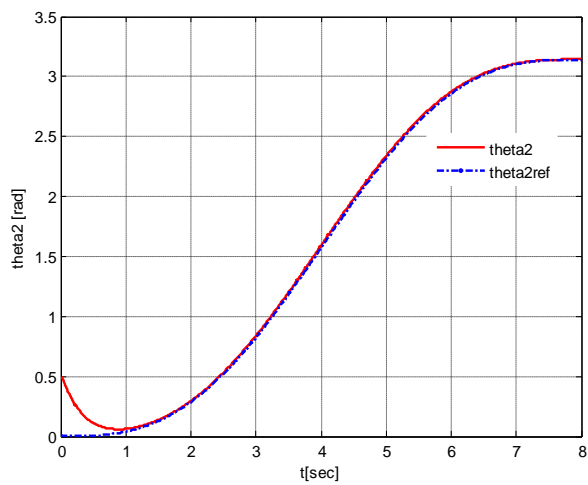
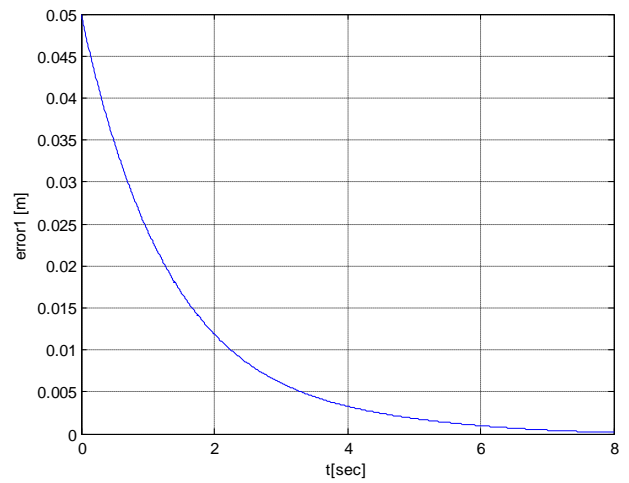
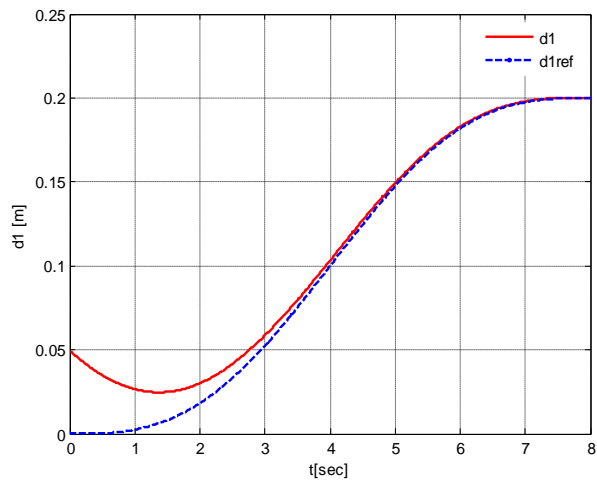


Figure 2.a Positions réelles et désirées pour une variation de 30 % sur f_1 , f_2 et f_3

Figure 2.b Erreurs en poursuite pour une variation de 30 % sur f_1 , f_2 et f_3

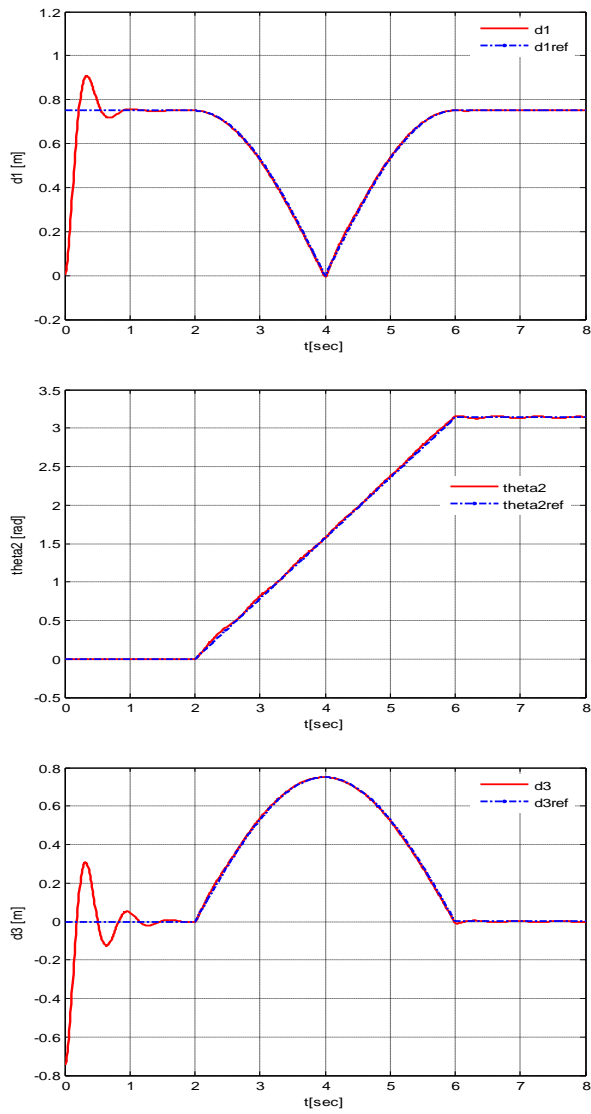


Figure 3.a Positions réelles et désirées des trajectoires de Viviani pour une variation de 30 % sur f_1, f_2 et f_3

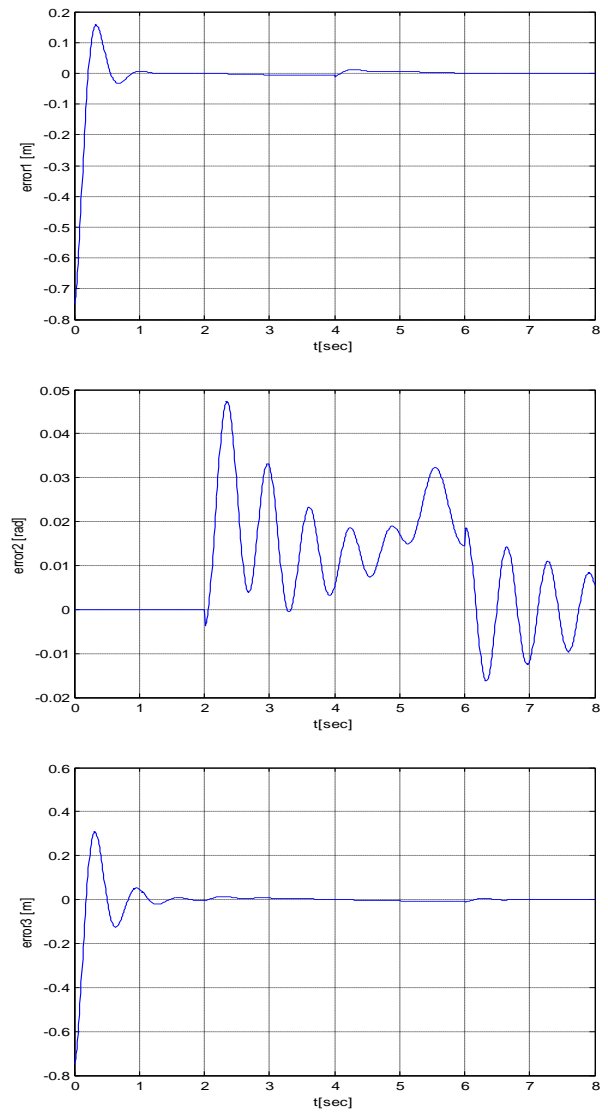


Figure 3.b Erreurs en poursuite des trajectoires de Viviani pour une variation de 30 % sur f_1, f_2 et f_3

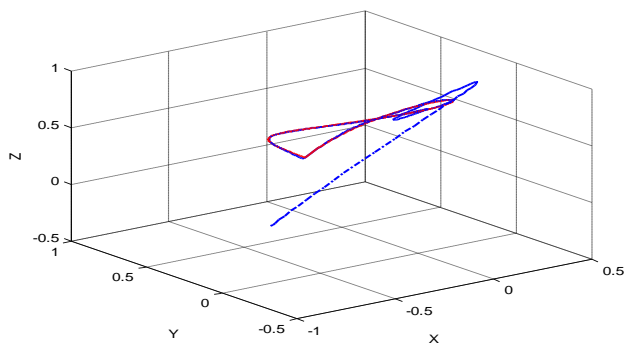


Figure 4.a Positions réelles et désirées de l'élément terminal sur la fenêtre de Viviani

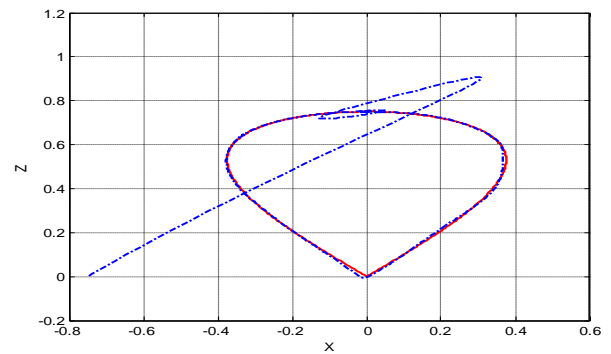


Figure 4.b Projection des Positions réelles et désirées de l'élément terminal sur le plan XOZ

Le Clustering Appliqué aux Traces des Utilisateurs dans une Plateforme E-learning

Larbi Omar

Abstract— Many researches are currently made on the analysis of traces in a digital learning environment. Large volumes of usage tracks are produced from the various actions performed by a user. However, how to exploit these data, and improve the performances? Several like issues are raised. To answer this, several works have seen the light recently. This research studies a series of questions about the format and description of the data and how to exploit them. Our goal is to share our results on these issues by presenting our experience in the analysis of trace-based log files, comparing several approaches used in automatic clustering applied to e-learning platforms. Finally the difficulties encountered are presented.

Index Terms—Approaches, Clustering, elearning platform, Log file.

I. INTRODUCTION

La croissance de l'usage du web et plus spécifiquement les plateformes e-learning fût accompagnée d'un intérêt particulier à l'analyse des données de l'usage des plateformes afin de bien servir les utilisateurs et leur présenter un contenu personnalisé. Récemment, de nouvelles approches ont intégré l'utilisation de techniques de fouille de données dans le domaine d'e-Learning. Le domaine de e-Learning a connu un développement considérable ces dernières années, vu le nombre croissant des visiteurs et des consultations aux documents web.

Dans ce contexte, ce travail consiste en une étude synthétique basée sur l'analyse des différents travaux récents dans ce domaine. Le comportement de l'utilisateur sur un site Web est représenté par une suite de clics de souris et de saisies sur un clavier. Ces informations déclenchent des requêtes qui ont pour résultat l'affichage de certaines pages du site. Ces requêtes sont enregistrées dans le fichier log. L'analyse des fichiers logs permet, de déterminer par exemple, quelles sont les requêtes qui n'aboutissent pas (page manquante, lien erroné...) ou encore quelle est la fréquentation d'une page spécifique.

Cependant cela n'est possible que si la structure et le contenu de ce fichier correspond à un formalisme qui s'y prête. Chaque ligne de ce fichier donne une information sur l'utilisateur, la date et l'heure de la requête, la page ou le cours requis, l'action effectuée ainsi que quelques informations liées au page visitée.

L'objectif final de ce travail est de classer les utilisateurs de cette plateforme dans des classes auparavant inconnues, cette classification est basée sur une classification primaire des pages visitées. Mais, il nous reste quelques questions à poser dans cet écart : comment attribuer un individu à une classe spécifique et quel est l'intérêt et l'utilité de cette classification de point de vue décisionnelle, pour apporter des éléments de réponses à ces questions, plusieurs projets et travaux de recherche ont déjà entamé ce sujet : MULCE¹, KTBS², (TATANIA, UTL) [3], ZIANI [4], CHARRAD [1] et BOUSBIA [2], leur travail est basé sur la réutilisation et le partage des traces.

Chaque travail de ces derniers suit une approche qui répond sur la problématique posée, On a choisi quelques méthodes de clustering utilisées dans ces travaux afin de subir une série de tests comparatifs.

Ce rapport présente une synthèse comparative entre quelques algorithmes de classification appliqués sur les traces d'interaction des utilisateurs avec un système e-Learning.

II. NOTIONS DE TRACE

La notion de trace recouvre diverses pensées, pour se situer entre l'empreinte, la mémoire, l'indice et l'écriture, voire même combiner ces différents rôles. Pour les disciplines scientifiques, les traces sont les «output» de la connaissance, ou les matériaux de la reconstitution de l'activité scientifique. Pour cela, leur étude est devenue importante, surtout avec la numérisation des traces et le développement d'outils spécifiques pour leur traitement. En technologie de l'information et de la communication en particulier, où tout processus communicationnel produit des traces, écrites ou non (textes, données, empreintes, etc.).

Elberichi Zakaria, is with the Laboratoire EEDIS. Université Djillali Liabes de Sidi Belabbes, Algérie, omarlarbi@yahoo.fr

¹ <http://mulce-pf.univ-fcomte.fr/>

² <http://liris.cnrs.fr/sbt-dev/ktbs/>

L'observation de ce processus communicationnel passera nécessairement par la collecte de ces traces, leur tri et même leur organisation en documents. Cela s'applique également à la communication entre un humain et une machine, qui est un peu particulière. C'est dans ce contexte que nous nous intéressons aux traces et à leur exploitation.

Vu l'inexistence d'une définition exacte sur la notion de trace, nous avons choisi la définition de CHAMPIN [3] définissant la trace comme étant une séquence d'états et de transitions représentant l'activité de l'utilisateur : « la séquence temporelle des objets et opérations mobilisés par l'utilisateur lorsqu'il utilise le système est appelée trace d'utilisation ». Et vu l'absence d'un modèle standard de traces, nous avons choisi un modèle standard qui répond à nos besoins au cours de l'analyse.

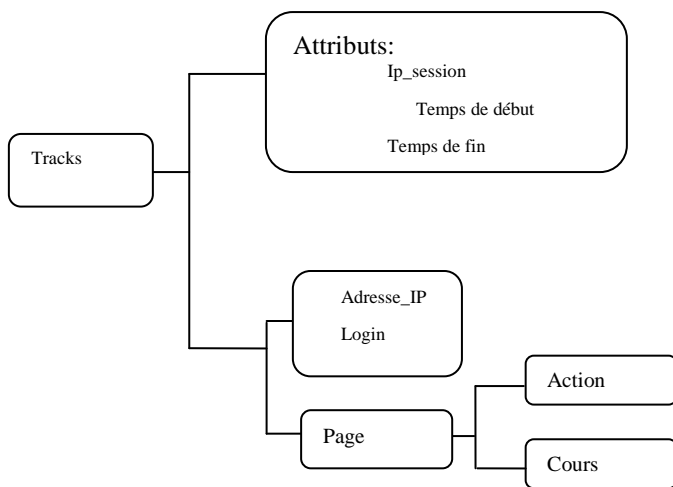


Figure 1 : Modèle proposé de traces

Dans notre expérience, on a utilisé deux fichiers log, l'un est associé à la plateforme e-learning (Figure 2) de l'Université de Béchar (<http://www2.univ-bechar.dz/elearning/>), durant la période du 28/04/2010 au 01/06/2010 et l'autre à la plateforme eFad (<http://www.efad.ufc.dz>). Chacun des deux fichiers a un format des attributs différent, pour résoudre ce problème, on a proposé un modèle de trace commun (Figure 1).

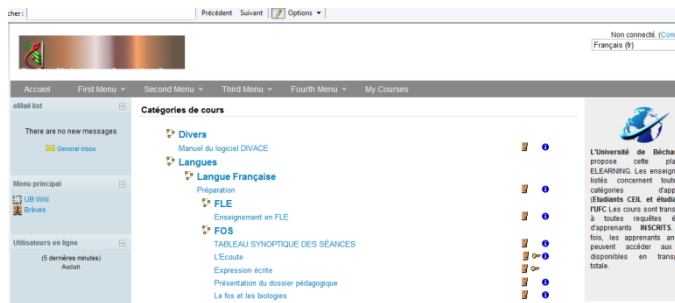


Figure 2 : Plate forme e-learning de l'université de Béchar

La trace informatique, au sens «reste» d'une utilisation, peut être définie comme la conséquence d'une observation faite pour répondre à certains objectifs [7]. Elle peut être le résultat de l'observation et de l'enregistrement même de l'interaction de l'utilisateur avec un système informatique à travers ses actions notées et conservées, pour un traitement ultérieur (fichier log), ou un ensemble de données inscrites par un humain suite à une observation, dans le cadre d'un travail intellectuel. Un exemple simple du deuxième cas est l'annotation d'un document numérique, qui est considérée comme le résultat de l'interprétation d'une observation faite d'un document par des humains, interagissant entre eux et avec des artefacts informatiques, dans le cadre d'une activité de lecture.

Une fois mis en service, un système informatique (un logiciel, un site Web, une plateforme e-Learning etc.) permet souvent de recueillir de nombreuses données à propos des utilisateurs, soit en enregistrant les traces laissées par les utilisateurs lors de leur passage sur l'application (actions effectuées), soit en récoltant les informations que les utilisateurs eux-mêmes prennent l'initiative de laisser explicitement (annotation de document, courrier électronique, etc.).

Dans le cadre de notre travail, on s'intéresse aux traces d'interaction d'un utilisateur avec un système informatique. Ces traces sont abordées sous forme d'un fichier log stocké dans des supports de stockage associé au système étudié.

Tout d'abord, nous commençons par une explication de la notion d'un fichier log :

Un fichier log est un fichier qui stocke toutes les actions dans l'ordre où ils se sont produits avec un serveur, un dispositif, une application, aussi appelés fichiers trace. Il enregistre sur un fichier texte les différentes actions effectuées par les visiteurs d'un serveur Web. Le fichier journal est comme une «boîte noire» dans un avion, mais la seule différence est que les fichiers journaux peuvent être utilisés pour enregistrer un crash d'un serveur en récupérant le détail des actions sur un serveur ou d'un logiciel à l'avance. Ces fichiers peuvent être des Log de transfert, des Log d'erreur, des Log référentiels ou des Log d'agent. On s'intéresse dans notre étude aux fichiers de type Log référentiel. Il enregistre les requêtes reçues par le serveur et indique d'où vient l'utilisateur quand il se connecte sur le site [11].

```

41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:00:27 +0200] "GET /elearning HTTP/1.1" 301 356 "-" "I
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:00:27 +0200] "GET /elearning/ HTTP/1.1" 200 8794 "-"
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:00:29 +0200] "GET /elearning/theme/formal_white/style
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:00:32 +0200] "GET /elearning/pix/spacer.gif HTTP/1.1"
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:00:51 +0200] "GET /elearning/login/index.php HTTP/1.1"
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:01:14 +0200] "POST /elearning/login/index.php HTTP/1.1"
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:01:15 +0200] "GET /elearning/ HTTP/1.1" 200 9650 "ht
41.201.69.110 - - [04/Apr/2010:01:01:17 +0200] "GET /elearning/calendar/overlib.cfg.ph
  
```

Figure 3 : la forme de fichier log

On trouve d'autres termes comme : Log file, Journal de bord des connexions, Historique des requêtes, Fichier de

journalisation, journal [9].

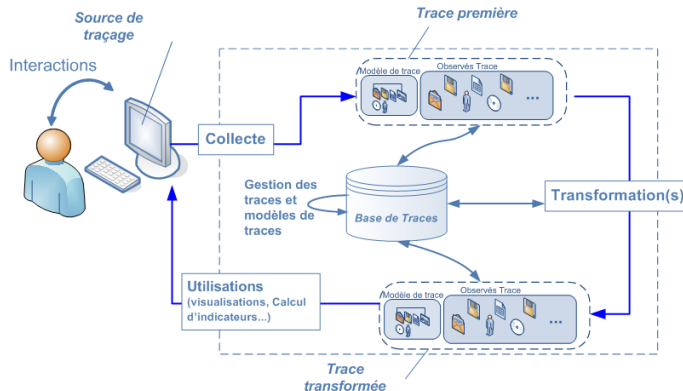


Figure 4 : Principe de fonctionnement du système à base de traces [5]

III. PROCESSUS DU WEB MINING

Il y a trois phases dans le processus du web mining : le prétraitement (preprocessing), la découverte de modèles de navigation (pattern discovery) et l'analyse de ces modèles (pattern analysis). Ce processus générique s'adapte à chacun des axes du Web mining selon la nature des données utilisées (texte, logs, liens...).

* **Prétraitement** : le prétraitement consiste à transformer les informations sur l'usage, le contenu et la structure du contenu à des abstractions de données traitables pour la découverte de modèles.

* **Découverte des modèles** : la découverte des modèles de navigation nécessite l'utilisation de plusieurs méthodes et algorithmes provenant de différentes branches de recherche telles les statistiques, le data mining et le machine Learning.

* **Analyse des modèles** : l'analyse des modèles de navigation est la dernière étape du processus du web mining. Il s'agit d'analyser les résultats et d'en extraire des connaissances.

A. Processus de Prétraitement des Données

Le processus de prétraitement est une phase initiale et importante dans tout travail qui implique les techniques du web usage mining sur les fichiers log. Cette étape est constituée en général de cinq phases :

- Nettoyage.
- Structuration.
- Transformation.
- Retraitement.
- Extension.

En effet, le format des fichiers log que nous avons choisi est différent au format CLF car ces fichiers contiennent les traces des utilisateurs sur une plateforme e-Learning. Leur nettoyage et structuration sont donc nécessaires avant toute analyse. Tout d'abord, on présente une méthodologie de prétraitement ainsi que les résultats de son application sur les fichiers log de la plateforme e-Learning de l'université de Béchar.

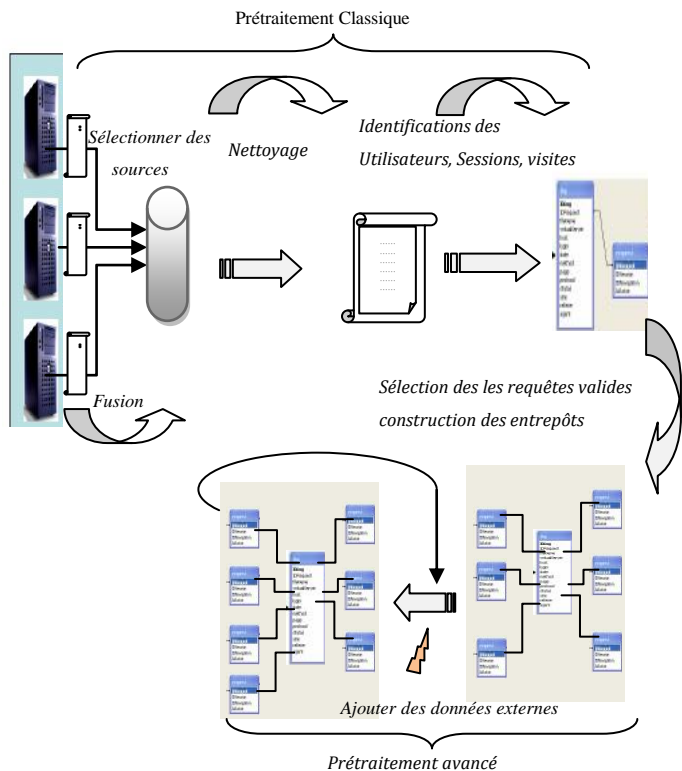


Figure 5 : Processus de prétraitement des fichiers logs

1) Identification des utilisateurs

L'identification des utilisateurs à partir du fichier Log n'est pas une tâche simple. En effet, l'adresse IP et même le nom de l'utilisateur ne permettent pas d'identifier un utilisateur.

Adresse IP: La même adresse IP peut être attribuée à plusieurs utilisateurs accédant à la plateforme via le Web.

Nom d'utilisateur : L'existence d'utilisateurs avec des noms similaires.

Dans ce cas, le couple (nom d'utilisateur, mot_de_passe) est un identifiant d'un utilisateur.

2) Nettoyage des données

Le nettoyage des données consiste à supprimer les requêtes inutiles des fichiers logs, à savoir :

- Les requêtes provenant des visiteurs anonymes :

On élimine ces requêtes car ces utilisateurs n'intéressent pas notre étude.

- Les requêtes provenant d'enseignants ou du webmaster :

La même chose pour les requêtes provenant des enseignants ou de webmaster. Ces requêtes peuvent être extraites en utilisant l'attribut action du fichier log.

- Les requêtes de connexions échouées ou requêtes non valides :

Les requêtes des utilisateurs hors des groupes de travail ou avec des erreurs d'authentifications, nous nous intéressons pas donc ces éléments doivent être supprimés.

- Les requêtes de connexion et de déconnexion des utilisateurs :

Les requêtes des authentifications lors de la connexion et de la déconnexion et même les requêtes d'inscriptions des utilisateurs (saisie des informations au fichier de profil) n'ont aucun intérêt dans notre étude, donc à supprimer.

- Les requêtes aux images :

Nous supprimons les fichiers images dont les extensions sont : .jpg, .gif, .png, etc. et les fichiers multimédia dont l'extension est : .wav, .wma, .wmv, etc.

3) Limites d'utilisation des fichiers log

- L'hétérogénéité des fichiers log.
- La richesse des fichiers log en détails inutiles.
- Le manque d'informations et d'abstraction dans les logs.
- Le manque de lisibilité des fichiers log.

IV. RESULTATS ET EXPERIMENTATION

A. Introduction

Nous allons effectuer des expérimentations sur quelques algorithmes de classification, afin de tester et comparer la performance de ces algorithmes.

Dans notre expérience on a travaillé avec trois algorithmes qui touchent les deux grandes familles de classification (hiérarchique, partitionnement) : K-means et CLARA pour la première famille et BIRCH pour l'autre.

Ces trois algorithmes ont prouvé leurs efficacités à résoudre des problèmes similaires aux notre. En effet, l'un des algorithmes CLARA peut traiter les sources de données volumineuses, ce qui correspond à notre cas. par contre BIRCH ne traite que des extraits importants de la base étudié.

Nous allons tester, en premier lieu, les algorithmes de clustering tel que : K-means, Clara et Birch. Une série de tests individuels seront effectués dans le but de déterminer les meilleurs paramètres pour chaque algorithme. Les performances (temps d'exécution, qualité des résultats...) seront ensuite mesurées pour tous les algorithmes dans le but d'établir un comparatif.

Tous les tests sont effectués sur une machine Toshiba dotée d'un processeur Intel I3, avec une RAM de 2 GO tournant sous le système Microsoft © Windows XP Professionnel.

B. Description des algorithmes

1) L'algorithme k-Means

L'algorithme k-Means est considéré comme un standard dans le domaine de clustering. Sa simplicité de mise en œuvre et sa capacité de traiter des populations de tailles importantes. L'algorithme prend en paramètre k, le nombre de classes voulu, et se résume comme suit :

Entrée : Population de m individus, k
Choisir aléatoirement k centres initiaux c_1, \dots, c_k
Répéter
- Répartir chacun des m individus dans une classe i dont le centre c_i est le plus proche en terme de distance.
- Calculer les nouveaux centres : pour tout i , c_i est la moyenne des individus de la classe i (centroïde).
Jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement.
Sortie : Partition.

Figure 6 : Algorithme de K-means

2) L'algorithme CLARA

CLARA est un algorithme qui applique PAM sur plusieurs échantillons aléatoires. Il prend en paramètre la taille de l'échantillon $tailleEchantillon$, le nombre d'essais $NbEssais$ et le nombre de classes k et se déroule comme suit :

Entrée : Population d'individus $\{O_i\}$, $tailleEchantillon$, $NbEssais$, k
 $CoutMinimum = +\infty$;
Pour i allant de 1 à $NbEssais$
Choisir un échantillon aléatoire e de taille égale à $tailleEchantillon$
 p = Partition résultant de l'application de PAM sur e ;
Calculer le cout c de la partition résultante p
Si $(c < CoutMinimum)$
Meilleure partition = p ;
Retourner Meilleure partition ;
Sortie : Partition.

Figure 7 : Algorithme Clara

3) L'algorithme BIRCH

BIRCH (Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies) est un algorithme de clustering hiérarchique agglomératif. Il a été introduit par Zhang, Ramakrishnan et Livny. La communauté du domaine de classification trouve que BIRCH est l'un des meilleurs algorithmes pouvant traiter de gros jeux de données [6].

L'idée principale est que la classification est effectuée sur un ensemble d'objets compactée et organisée en une structure d'arbre équilibré appelé CF_Tree (Clustering Feature Tree) de taille limitée, au lieu qu'elle s'effectue sur l'ensemble des objets original. CF_Tree est une structure hiérarchique où chaque niveau représente une phase de clustering.

C. Application des méthodes de clustering

La qualité des résultats des algorithmes de clustering ainsi que leurs performances dépendent, éventuellement, de leurs paramètres. Nous allons, tester chacun de nos algorithmes avec différentes valeurs des paramètres. Ces tests, nous permettent d'analyser nos données par chaque algorithme (K-means, Clara, Birch).

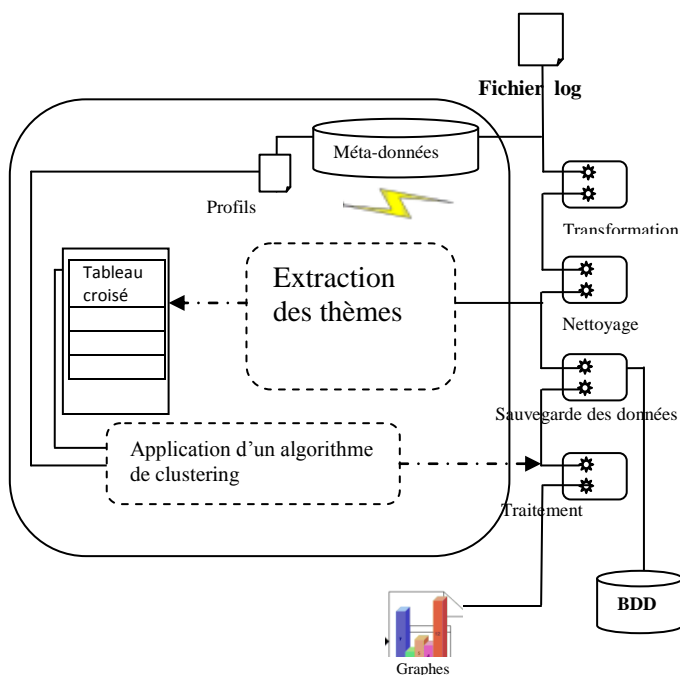


Figure 8. Modèle d'analyse proposée

TABLE I

Tableau Comparatif entre les Différents Algorithme

Algorithme	Nombre de documents classé	Nombre de classes	Temps d'exécution	Inertie Intra/Inter
K-means	1775	6	313	36.57
Clara	1775	6	997	70.20
Birch	1775	6	2871	23.37

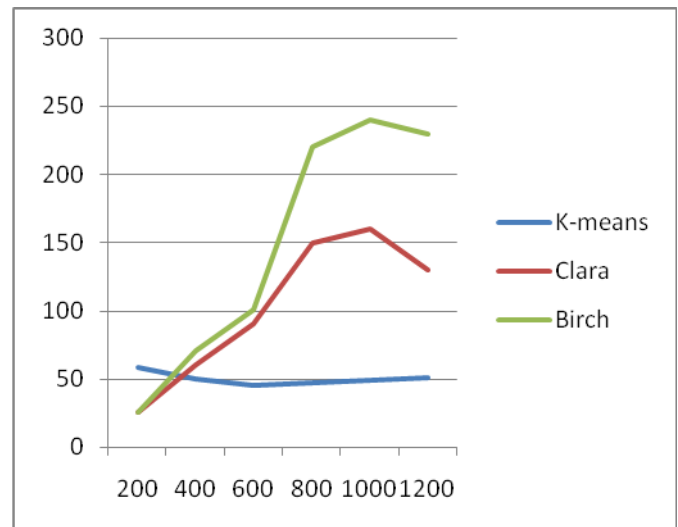


Figure 9 : L'apport de temps d'exécution en fonction de nombre d'itération

1) Discussion

Nous avons fait une série de tests sur quelques algorithmes de data mining, que nous avons programmés, face à différents jeux de données réelles. Ces tests nous ont également permis de déterminer les meilleurs paramètres pour chaque algorithme.

D'abord, les tests effectués sur l'algorithme K-means ont montré que cet algorithme donne des bons résultats aussi bien au niveau temporel qu'au niveau précision. Nous avons également conclu que la taille de la population de solutions ne doit pas être trop grande ni trop faible pour réaliser un bon compromis entre le temps d'exécution et la qualité du résultat.

Nous avons montré, à travers les tests comparatifs, que l'algorithme CLARA présente le meilleur temps d'exécution face à des populations de grande taille. En effet, nous avons été confrontés à différentes difficultés au niveau de l'implémentation de l'algorithme Birch. Enfin, nous avons déduit que le nombre de classes doit être fixé par l'utilisateur en fonction de ses besoins.

V. CONCLUSION

L'enseignement en utilisant les plateformes e-Learning est en pleine expansion, et l'un des facteurs à combattre reste encore le fort taux d'abandons des apprenants. La difficulté d'apprendre seul, et le non adaptabilité de la situation d'apprentissage notamment le contenu pédagogique (cours) sont les principales causes de ces nombreux échecs. C'est dans cette problématique que s'inscrit notre travail, puisque notre proposition consiste à étudier ce domaine à base des traces d'interaction des apprenants avec ces systèmes. De ce fait, deux problèmes majeurs ont été abordés : Le format des fichiers logs est incompatible pour les différents algorithmes de data mining. L'existence des informations inutile au sein de ces fichiers.

Notre travail consistait à développer une étude comparative entre les meilleurs algorithmes de classification automatique. Nous nous sommes attelés, dans un premier temps, à définir les différents concepts liés au data mining et au processus ECD. Nous avons montré que le data mining n'est qu'une étape de traitement au sein du processus ECD.

Dans un second temps, nous avons exécuté quelques algorithmes de data mining. On a vu qu'il en existe une grande variété. Chaque algorithme est adapté à un contexte particulier, il peut donc réussir dans un contexte et échouer dans un autre. On peut conclure que le choix du bon algorithme se fait en fonction des données et des besoins.

Les tests sur les algorithmes de classification non supervisés ont montré la grande sensibilité de l'algorithme k-means, ce dernier s'est avéré être très efficace pourvu qu'il soit bien paramétré. Et comme perspective on propose d'utiliser des solutions hybride afin d'obtenir des bons résultats.

REFERENCES

- [1] M. Charrad, "Une approche générique pour l'analyse croisant contenu et usage des sites Web par des méthodes de bipartitionnement", Présentée Pour L'obtention du Diplôme de Doctorat en Informatique du CNAM (Paris) et de L'ENSI (Université de la Manouba), Mars 2010.
- [2] N. Bousbia, "Analyse des traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation dans une perspective de détection automatique des styles d'apprentissage", Thèse de Doctorat en Informatique, Université Pierre et Marie Curie (France) et L'école Nationale Supérieure D'informatique (Algérie), 2011.
- [3] N. Bousbia, "Traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation sur le Web", Atelier Partage de données de recherche en EIAH – EIAH, 2011.
- [4] ZIANI B, "Etude de cas en Web Usage Mining : Catégorisation des utilisateurs de la connexion Internet de l'UATL", RIST Vol. 17 N° 1-2, 2007.
- [5] J. Laflaquière, L.S. Settouti, "Un environnement pour gérer des traces comme inscriptions de connaissances", Rapport de recherche, 2007.
- [6] H. Wang, Yang & Zeng, "Design and implementation of a web usage mining model based on fpgrowth and prefixspan", Communications Of The LIMA, 2006.
- [7] Settouti, Prié et Marty, J-C., "Système à base de traces pour l'apprentissage humain". Colloque International TICE 2006, Technologies de L'information et de la Communication Dans L'enseignement Supérieur et L'entreprise, Toulouse, 25-27 Octobre 2006.
- [8] A. Brossard, "Personnalisation et prise en compte du contexte dans les modèles conceptuels pour la conception des SI", Prise en Compte de l'Utilisateur dans les Systèmes d'Information, Actes – PeCUSI, Toulouse, Mai 2009.
- [9] Benatchba, "Application de techniques de data mining pour la classification automatique des données", Mémoire de Fin d'Etudes Pour L'obtention du Diplôme D'ingénieur D'état en Informatique, 2010.
- [10] M. Charrad, "Techniques d'extraction de connaissances appliquées aux données du Web", Mémoire de Mastère en Informatique, Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Université de la Manouba, Tunisie, Décembre 2005.
- [11] B. Hassina, "Fichiers logs : preuves judiciaires et composant vital pour Forensics", RIST Vol.15 N°01-02, 2005.
- [12] M. Fieschi, "Data Mining, fouille de données: Concepts et techniques", Faculté de Médecine de Marseille, 2006.

Spectral Analysis of UWB Signal based on Modulation and Multiple Access Scheme

El-Hadi Mehallel and Abdelhani Boukrouche

Abstract— This paper studies the power spectral density (PSD) for two wireless communication systems of the revolutionary technology called ultra wideband (UWB), impulse radio ultra wideband (IR-UWB) and direct sequence ultra wideband (DS-UWB). The performance of both time hopping (TH) IR-UWB and DS-UWB systems with pulse-position modulation (PPM) and pulse-amplitude modulation (PAM) are studied and evaluated by numerical simulation in the proposed FCC (Federal Communication Commission) radio frequency band. It is found that a PAM-DS-UWB system can generally outperforms a time hopping pulse position modulated (TH-PPM) UWB system. We provide a general demonstration of the spectral smoothing characteristics of these techniques without restriction on the definition of the TH sequence, and we discuss how finite sequences impact these results.

Index Terms— Ultra-Wideband (UWB), Power Spectral Density (PSD), Time-Hopping (TH), Direct Sequence (DS), Pulse Position Modulation (PPM) and Pulse Amplitude Modulation (PAM).

I. INTRODUCTION

Since the Federal Communication Commission (FCC) permits that Ultra Wideband (UWB) radio transmission can legally operate in the range from 3.1 GHz to 10.6 GHz, at a transmit power of -41.3 dBm/MHz [1]. The research of UWB is becoming more and more popular recent years. UWB technology is one of the promising solutions for short-range wireless communication applications. UWB utilizes very narrow time-domain pulses to produce a very wideband signal of up to several gigahertz [2][3]. UWB uses low power radio techniques allowing previously designated RF bands to be reused without interfering with the normal low bandwidth channels [3]. Because the power spectral density of such systems is very low, it is inherently difficult to detect and appears like noise to other system. Therefore these allocated RF bands are reutilised by effectively hiding signals under the noise floor. The remainder of this paper is organized as follows. Therefore these allocated RF bands are reutilised by

effectively hiding signals under the noise floor. The remainder of this paper is organized as follows. Therefore these allocated RF bands are reutilised by effectively hiding signals under the noise floor. The remainder of this paper is organized as follows: in Section II we consider generating a UWB signal commonly referred to as Impulse Radio (IR), and define the general Power Spectral Density (PSD) equation that will be used in the remainder of this document. We focus on the issues of single-band techniques by computer simulations of complete TH-PPM, TH-PAM, DS-PPM and DS-PAM UWB systems. In Section III, A simulated system model is then followed, the effect on Power Density Spectrum (PSD) employing data modulation and different pulse position scheme are described and compared. Remarks on finite sequences, a summary and a conclusion end this paper.

II. UWB TRANSMITTER MODEL

A. UWB Pulse-Shape

Pulse shaping is of particular interest for single-band UWB because it affects directly the spectral emission, filter design, antenna selection, and system performance. Different types of pulse shapes, including the basic Gaussian monocycles and modified Hermite polynomials, have been well addressed in literature. The primary objectives of pulse design are to achieve appropriate Power Spectral Density (PSD) for meeting relevant spectral rulings. The second derivate of Gaussian Pulse (also known as Gaussian doublet) [3] is the basic shape commonly adopted for BER analysis at the receiver end because the two differentiation operations model the transmitting and receiving antennas differentiation characteristics respectively. The mathematical representation of a Gaussian doublet is given by

$$p(t) = k_2 \frac{2}{\tau^2} \left(1 - \frac{2t^2}{\tau^2} \right) e^{\frac{t^2}{\tau^2}} \quad (1)$$

where $k_2 = \tau \sqrt{\frac{\tau E}{3\sqrt{\pi/2}}}$ is the pulse amplitude determined by

the pulse energy E , the parameter τ represents the time-scaling factor that determines the pulse width $T_p = 2\pi \cdot \tau$.

El Hadi Mehallel is with the PL:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, e-mail mehallel_elhadi@yahoo.fr

Abdelhani Boukrouche is with the PL:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, e-mail abdelhanib@yahoo.fr

Figures 1(a) and (b) illustrate an example of a Gaussian doublet in its correspond PSD, respectively.

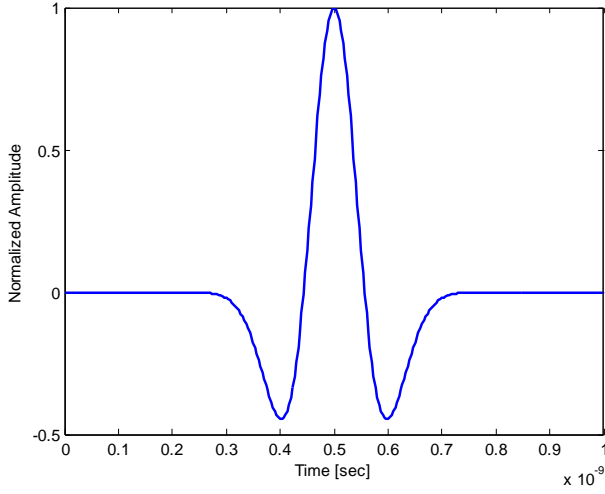


Fig 1. A Gaussian doublet in time domain

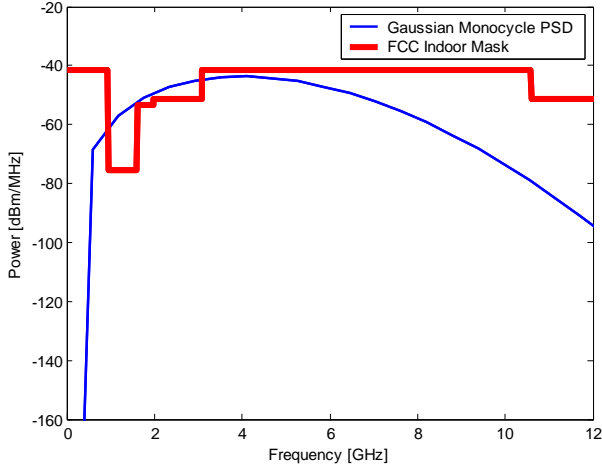


Fig 2. Power Spectral Density a Gaussian doublet

B. TH-UWB Transmitter Model

Following the convention of [5], we generate a TH-IR signal using a finite-length TH sequence that repeats with a repetition period of T_{TH} . The UWB signal, in terms of a single repetition of its TH sequence, is written as

$$x(t) = \sum_{l=0}^{N_b-1} \sum_{h=0}^{N_s-1} a_l \delta(t - lT_b - b_l T_\Delta - c_{l,h} T_c - hT_f) \quad (2)$$

Here, the TH repetition interval T_{TH} is divided into N_b equal size symbol-intervals of length T_b , each of which corresponding to a modulating data symbol. Each symbol-interval is further divided into N_s frames of length T_f . A single frame contains exactly one pulse, the position of which is dictated both by the TH sequence $\{c_{l,h}\}$ and by the

modulating data symbol. The TH sequence adds a pseudo-random delay to each pulse that is equal to an integer multiple of a chip interval T_c . Each frame is divided into N_h chip intervals and, therefore, the TH sequence is a vector of integers from the set $(i.e. (c_{l,0}, c_{l,1}, \dots, c_{l,N_h-1}))$. We refer to the portion of the TH code used to position pulses associated with the l^{th} data symbol as the l^{th} sub-TH code (i.e. $(c_{l,0}, c_{l,1}, \dots, c_{l,N_s-1})$). Thus, a TH code consists of N_b sub-TH codes, each of length N_s .

1) *TH-PPM-UWB Signal*: Time Hopping Pulse Position Modulation (TH-PPM) is considered a time-based technique for modulating the pulse train. It is perhaps the earliest and the most discussed in the literature [6]. The general TH-PPM transmitting signal with multiple users can be represented mathematically by

$$S^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} p(t - jT_f - c_j^{(k)} T_c - d_j^{(k)} \delta) \quad (3)$$

Data is modulated onto the waveform using both Pulse Amplitude Modulation (PAM) and Pulse Position Modulation (PPM).

The former of which is represented by the sequence $\{a_l\}$ and the latter by the sequence $\{b_l\}$. An amplitude of a_l , $a_l \in \{1, -1\}$, and a delay of length $b_l T_\Delta$, $b_l \in \{0, -1\}$, is added to the waveform for all pulses that are modulated by the l^{th} data symbol. Note that the defined UWB signal (1) uses a dirac delta function $\delta(\cdot)$ as the pulse shape, however, any pulse may be realized by filtering the signal $x(t)$ using a filter with an impulse response of the desired shape. The transmitted power spectrum is scaled by a multiplicative factor equal to the squared-magnitude of the pulse's Fourier Transform.

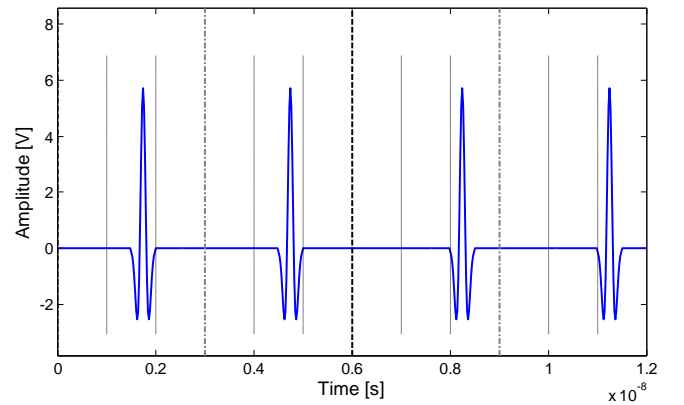


Fig. 3. The TH-PPM-UWB signal with $N_s = 2$, $N_h = 2$, $T_c = 1$ ns and $T_f = 2$ ns.

2) *TH-PAM-UWB Signal*: Figure 4 shows the waveform of TH-PAM symbol represented by five amplitude modulated (or

more precisely bi-phase modulated) pulses with chip time $T_c = 0.4$ ns, time hopping cardinality $N_h = 5$, and the average pulse repetition time $T_f = N_h T_c = 2$ ns. The pulse repetition frequency f_p can be defined as $f_p = 1/T_f = 500$ Mpps.

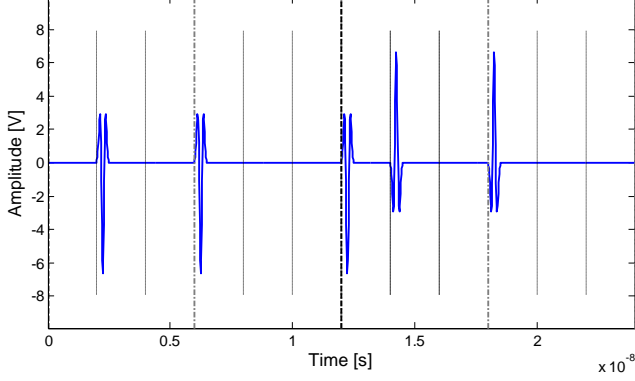


Fig. 4. The TH-PAM-UWB signal with $N_s = 2$, $N_h = 2$, $T_c = 1$ ns and $T_f = 2$ ns.

C. DS-UWB Transmitter Model

1) *DS-PPM-UWB Signal*: the transmitted signal for a UWB DS-CDMA using PPM is defined as

$$S^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N_c-1} d_j^{(k)} c_n^{(k)} p(t - jT_s - jT_c) \quad (4)$$

where $p(t)$ is the transmitted pulse, $\{d_j^{(k)}\}$ is the binary bit stream containing N_s information bits b , $\{c_n^{(k)}\}$ represents the spreading chips with chip time T_c , N_c is the number of chips per symbol period T_s such that $N_c T_c = T_s$. N_c can also be interpreted as the processing gain like that in a spread spectrum system.

Figure 5 shows the waveform of UWB DS-PPM symbol (or a bit in binary modulation here) represented by five position modulated pulses (i.e. $N_s = 5$) with chip time $T_c = 2$ ns, time hopping cardinality $N_h = 5$, symbol period $T_s = 2$ ns. If the bit repetition number N_s is set to 2.

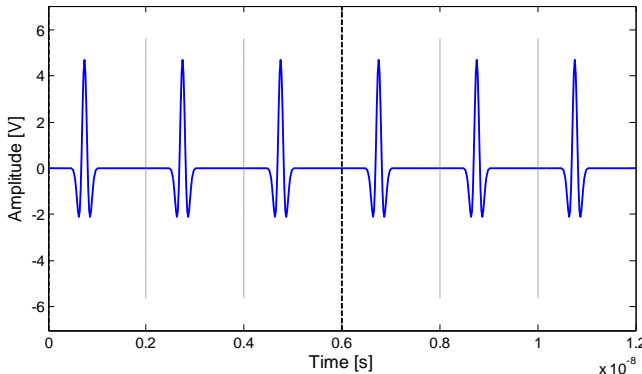


Fig. 5. The DS-PPM-UWB signal with $N_c = 3$, $T_s = 2$ ns and $T_c = 2$

Figure 6 shows the waveform of DS-PPM symbol represented by five amplitude modulated (or more precisely bi-phase modulated) pulses with number of chips per symbol $N_c = 5$, symbol period $T_s = 2$ ns, chip period $T_c = 2$ ns. If the bit repetition number N_s is set to 2.

2) *DS-PPM-UWB Signal*: Direct Sequence Pulse Amplitude Modulation (DS-PAM) is a kind of shape-based modulation. The DS part assigns each user a unique pseudo-noise sequence for multiple access whereas the PAM part modulates the pulse amplitude to represent the information bits either '0' or '1'.

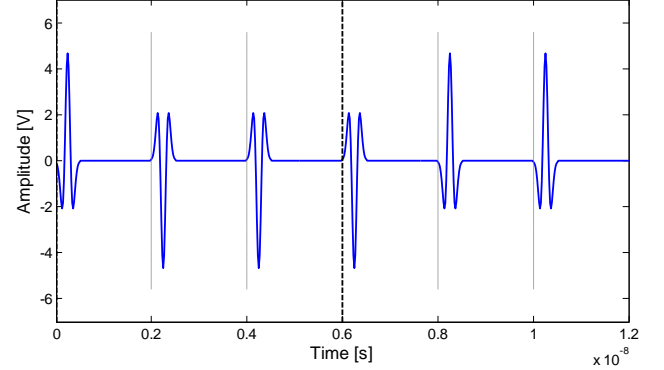


Fig. 6. The DS-PAM-UWB signal with $N_c = 3$, $T_s = 2$ ns and $T_c = 2$ ns

III. UWB POWER SPECTRAL DENSITY (PSD)

The following equation of the PSD of M-ary modulation when the digital input is Markovian will be used for the calculation of the PSDs of UWB signals, [7][8][9]

$$G_s(f) = \frac{1}{T_s^2} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left(\sum_{i=0}^{M-1} P_i S_i \left(\frac{n}{T_s} \right) \right)^2 \delta \left(f - \frac{n}{T_s} \right) \quad (6)$$

$$+ \frac{1}{T_s} \left(\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} P_i S_i(f) S_j^*(f) \left[\sum_{n=-\infty}^{+\infty} (a_{ij}^m - P_i) e^{j2\pi n f T_s} \right] \right)$$

Here, M denotes the number of symbols, T_s the symbol period, $S_i(f)$ the Fourier transform of the i^{th} symbol of the constellation, P_i marginal probability of the i^{th} symbol, and a_{ij}^m the probability that the symbol $s_j(t)$ is transmitted m time units following transmission of $s_i(t)$.

IV. SIMULATION RESULTS

The results presented in this paper, were carried out by using MATLAB simulation. For computing simplicity, a single user case is assumed in all simulations. The simulations using long sequence of Gaussian doublet in a practical time scale with data modulation achieved by changing pulse form were preformed and the consequence on PSD of using time hopping and direct sequence technique in positioning the Gaussian doublet in the pulse train was investigated. The UWB signal

occupies a large portion of the spectrum between 3.1 and 10.6 GHz. the PSD is limited to -41.3 dBm/MHz. The PSD of this TH and DS signals with 2-PPM are given in figures 7 and 10.

Several spectral lines are above the spectral mask provided by the FCC. For comparison purposes, we fixed the power such that it is equal to the maximum power a signal with the same TH sequence and pulse shape but using BPSK could transmit. We notice that the PSD of such PAM signal using the TH sequence will have the same continuous envelope as in figures 8 and 9 but without the spectral lines and with twice the power.

V. CONCLUSION

The analytical expressions for the PSD of UWB signal deploying deterministic TH and DS codes and employing both PPM and PAM modulations are derived. The validity of the expressions is proven by means of comparison with simulation results. This paper shows that PPM and time hopping led to similar spectral characteristics, namely spectral lines. It implies that UWB pulse waveform design is quite a challenging theme for matching with the FCC spectral mask while still achieving interference avoidance as well as high data-rate transmission utilizing those modulations.

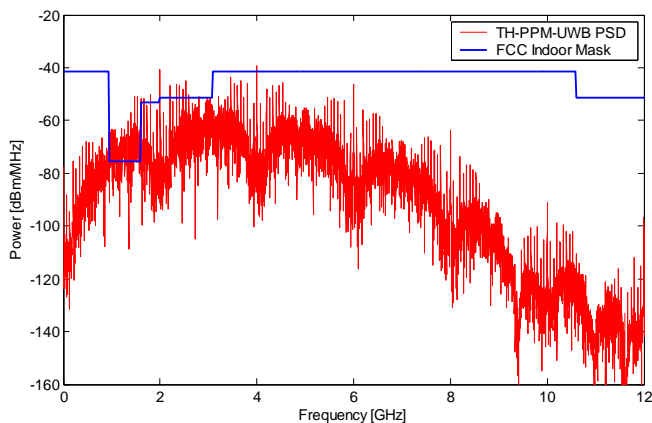


Fig. 7. The PSD of TH-UWB System with 2-PPM.

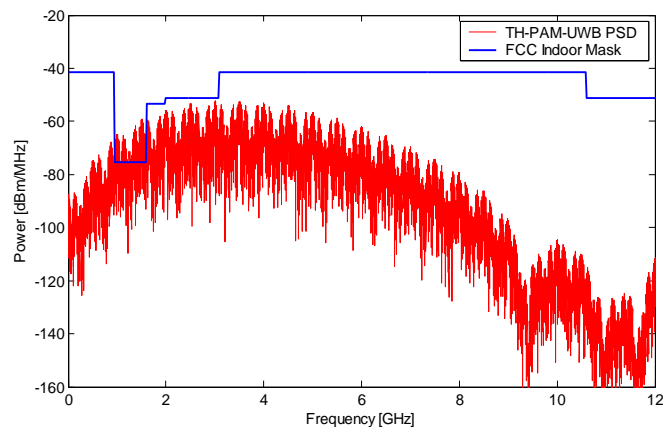


Fig. 8. The PSD of TH-UWB System with 2-PAM.

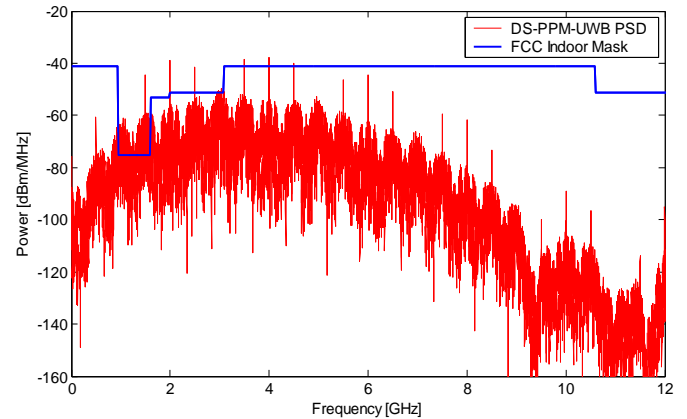


Fig. 9. The PSD of DS-UWB System with 2-PPM.

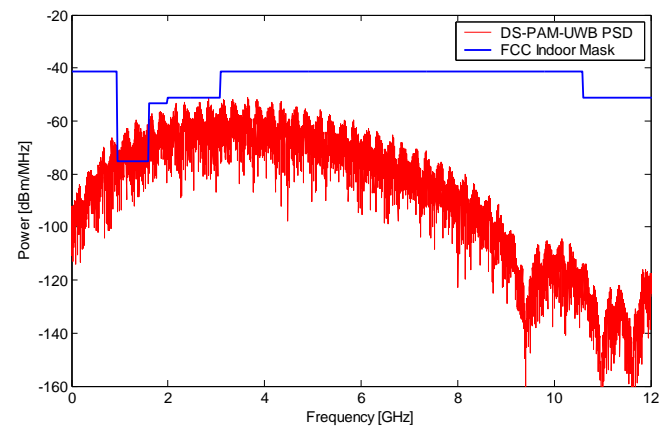


Fig. 10. The PSD of DS-UWB System with 2-PAM.

REFERENCES

- [1] Federal Communication Commission. Revision of Part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. First Report and Order[C]. ET Docket 98-153, FCC 02-48, Apr. 22, 2002.
- [2] J. M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 2, pp. 679-691, Apr. 2000.
- [4] Stephen G. Wilson, "Digital Modulation and Coding", 1996 edition, Power Spectrum for General Memoryless Modulation p 235-236.
- [5] H. Sheng, P. Orlik, A.M.Haimovich, L.J. Cimini Jr., J. Zhang, "On the spectral and power requirements for ultrawideband transmission", IEEE International Conference on Communications 2003 Volume 1, ICC'03, 11-15 May 2003, p738-742.
- [6] A.F. Molisch, Y. G. Li, Y.-P. Nakache, P. Orlik, M. Miyake, Y. Wu, S. Gezici, H. Sheng, S.Y. Kung, H. Kobayashi, H.V. Poor, A. Haimovich, J. Zhang, "A Low-Cost Time Hopping Impulse Radio System for High Data Rate Transmission", *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, JASP, 2005, p397-412.
- [7] J. Romme and L. Piazzo, "On the power spectral density of time-hopping Impulse Radio," in *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies (UWBST)*, (Baltimore, MD), 2002.

- [8] N.H. Lehmann, and A.M. Haimovich, "The Power Spectral Density of a Time Hopping UWB Signal: A Survey," *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, November 2003 , p 234-239.
- [9] Y.P. Nakache, A.F. Molisch, "Spectral shape of UWB signals – influence of modulation format, multiple access scheme and pulse shape", *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, VTC 2003, Spring, April 2003, p 2510-2514.

Image Restoration with Total Variation Regularization

El-Hadi Mehallel, Djalel Drici, Abdelhane Boukrouche

Abstract— This paper proposes and tests a simple algorithmic framework for recovering images from blurry and noisy observations based on total variation (TV) regularization when a blurring point-spread function (PSF) is given. Using a splitting technique, we construct an iterative procedure of alternately solving a pair of easy subproblems associated with an increasing sequence of penalty parameter values. We present numerical results showing that a rudimentary implementation of our algorithm already performs favorably in comparison with two of the existing start-of-the-art algorithms.

Index Terms— Image Restoration, Ill-posed problem, Total variation, Regularization.

I. INTRODUCTION

Image restoration is a classical linear inverse problem, appearing in many application areas such as remote sensing, medical imaging, astronomy, digital photography [2]. The challenge in most inverse problems (linear or not) is that they are ill-posed, i.e., either the direct operator does not have an inverse, or it is nearly singular, with its inverse thus being highly noise sensitive. To cope with the ill-posed nature of these problems, a large number of techniques has been proposed, most of them under the regularization or the Partial Differential Equations (PDE) frameworks. Both the regularization and PDE approaches are supported on some form of *a priori* knowledge about the original image to be estimated. There are many approaches based on statistics [12, 3], Fourier and/or wavelet transforms [17, 18], or variational analysis [24, 5, 10] for this task. Among them the total variation regularization [31] has become one of the standard techniques known for preserving sharp discontinuities. Total variation (TV) regularization was introduced by Rudin, Osher, and Fatemi in [23] and has become popular in recent years [23, 1, 20, 21, 14, 25]. Recently, the range of application of TV based methods has been successfully extended to

inpainting, blind deconvolution [6], and processing of vector-valued images (e.g., color) [9].

good balance between the ability to describe piecewise smooth images and the complexity of the resulting algorithms. In fact, the TV regularizer favors images of bounded variation, without penalizing possible discontinuities. Furthermore, the TV regularizer is convex, though not differentiable, and has stimulated a good amount of research on efficient algorithms for computing optimal or nearly optimal solutions [9, 4].

A. Problem Formulation

this paper, we propose a fast algorithm for reconstructing images from blurry and noisy observations. For simplicity, we assume that the underlying images have square domains, but all discussions can be equally applied to rectangle domains. Let u_0 be an original $N \times N$ gray-scale image, H represent a blurring (or convolution) operator, v be additive noise, and u an observation which satisfies the relationship:

$$u_0 = Hu + v \quad (1)$$

Given u and H , the image u_0 is recovered from the model.

Among all linear blurring operators, many are shift-invariant and can be expressed in the form of convolution [19]:

$$(h * u)(x) = \int_{\Omega} h(x - \tau) u(\tau) d\tau \quad (2)$$

Where h is the so-called point spread function (PSF) associated with H .

There are different approaches based on statistics [12, 3], Fourier and/or wavelet transforms [17, 18], or variational analysis [24, 5, 10] for image deconvolution. Among them the simplest is the Maximum Likelihood estimation, which solves the least square problem $\min_u \|Hu - u_0\|^2$ and is also known as

the inverse filter. However, the solution of this inverse filter, though best matches the probabilistic behaviour of the data, is often unacceptable because the image deconvolution problems are usually severely ill-conditioned and the observed data usually contains noise. To stabilize the restoration process, some *a priori* knowledge about the unknown image is utilized through the addition of a regularization term, resulting in the model

$$\min_{u \in \Omega} J(u) = \frac{\lambda}{2} \|Hu - u_0\|^2 + R(u) \quad (3)$$

El Hadi Mehallel is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, e-mail mehallel.elhadi@yahoo.fr

Djalel Drici is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria

Abdelhane Boukrouche is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, e-mail abdelhanib@yahoo.fr

where $R(u)$ is the regularizer that enforces the priori knowledge and the parameter λ is used to balance the two terms. Two classes of regularizers are well known. One is the Tikhonov-like class [26] including $R(u) = \int_{\Omega} \|\nabla u\|^2$, where

∇u the gradient operator. In these cases, since the resulting objective functions $J(u)$ are quadratic, it is relatively inexpensive to minimize them by solving linear systems of equations. However, since Tikhonov-like regularizers tend to make images overly smooth, they often fail to adequately preserve important image attributes such as sharp edges.

Another well-known class of regularizers are based on total variation (TV), $R(u) = \int_{\Omega} \|\nabla u\|$ which was first proposed for

image denoising by Rudin, Osher and Fatemi in [23], and then extended to image deblurring in [24]. In comparison to Tikhonov-like regularizers, TV regularizers can better preserve sharp edges or object boundaries that are usually the most important features to recover.

The reconstruction of u from u_0 may be attempted by utilizing the known statistics of the noise. L. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi propose in [23] to regularize u by requiring it to be of bounded variation. They propose the following constrained minimization problem, referred to as the ROF model, for reconstructing u from the observed image u_0 :

$$\text{Minimize : } \int_{\Omega} \|\nabla u\|$$

$$\text{subject to : } \int_{\Omega} Hu = \int_{\Omega} u_0 \text{ and } \int_{\Omega} \|Hu - u_0\|^2 = \sigma^2 \quad (4)$$

where $\int_{\Omega} \|\nabla u\|$ is the total variation of u . The first condition

corresponds to the noise having zero mean, and the second to that the variance of the noise is σ^2 .

The space of functions of bounded variation (BV) consists of piecewise smooth functions. Imposing that the reconstructed u belongs to the space (BV) allows u to have discontinuities, i.e. the reconstructed image is allowed to have sharp edges while having spurious oscillations such as noise removed. Then, the objects (which are defined by their edges) will appear sharply in the reconstructed image.

A. Chambolle and P.L. Lions have shown in [5], via the use of the Lagrange multiplier $\lambda > 0$; that problem (3) is equivalent to the following unconstrained problem:

$$\text{Min}_u \int_{\Omega} \|\nabla u\| + \frac{\lambda}{2} \|Hu - u_0\|^2 \quad (5)$$

Following the pioneering work [23, 24], various numerical methods have been developed for solving the total variation regularization model (1), which is known for preserving sharp edges while removing singles of small-scales including noise [8]. Since (1) is a convex minimization problem, a function u is optimal if and only if it satisfies the first-order optimality condition for (3), which is the Euler-Lagrange equation:

$$\nabla \cdot \frac{\nabla u}{\|\nabla u\|} - \lambda H^*(Hu - u_0) = 0 \quad (6)$$

along with the Neumann condition on the boundary. To avoid division by zero, it is common to approximate (6) by:

$$\nabla \cdot \frac{\nabla u}{\|\nabla u\|_a} - \lambda H^*(Hu - u_0) = 0 \quad (7)$$

where $\|\cdot\|_a$ denotes $\sqrt{\|\cdot\|^2 + a^2}$ some small $a > 0$, and

H^* is the adjoint operator of H .

Rudin and Osher [24] applied the artificial time marching method, equivalent to the steepest descent method:

$$u = u + \Delta t \left(\nabla \cdot \frac{\nabla u}{\|\nabla u\|_a} - \lambda H^*(Hu - u_0) \right) \quad (8)$$

For solving (7). This method is easy to implement, but converges slowly due to poor conditioning of the diffusion operator $\nabla \cdot (\nabla(\cdot) / \|\nabla(\cdot)\|_a)$. To address this difficulty, in [28, 7] Vogel and Oman proposed a “lagged diffusivity” procedure that solves the following equations for $u^{(n+1)}$ iteratively,

$$\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u^{(n+1)}}{\|\nabla u^{(n)}\|_a} \right) - \lambda H^*(Hu^{(n+1)} - u_0) = 0 \quad (9)$$

with the Neumann boundary condition. In [7], Chan, Golub and Mulet introduced the primal-dual formulation:

$$\nabla \cdot \vec{w} - \lambda H^*(Hu - u_0) = 0 \quad (10)$$

$$\vec{w} \|\nabla u\| - \nabla u = \vec{0} \quad (11)$$

which is then solved by Newton’s method. Recently, Goldfarb and Yin [13] proposed a unified approach for various total variation models including (3) based on second-order cone programming.

B. Contributions

In this paper, we propose a simple algorithmic framework for solving (3) that does not require any modification to the non-differentiable term $\|\nabla u\|$. We first replace the gradient ∇u by a new variable W , and then penalize the discrepancy between W and ∇u by the quadratic penalty term $(\beta/2) \int_{\Omega} \|W - \nabla u\|^2 dx$. Our method then alternately updates W and u with an increasing penalty parameter β until “convergence”.

C. Organization

The rest of this paper is organized as follows. In section 2, we describe a discrete model of (3) for scalar digital images and present the details of the algorithm proposed. The experimental results are discussed in section 3. Finally, we offer some remarks of conclusion in section 4.

II. AN FFT-BASED ALGORITHM TOTAL VARIATION DECONVOLUTION

A. A new Formulation

We begin by introducing a new variable W to represent the gradient term ∇u in model (1), generating an equivalent, constrained convex minimization problem

$$\text{Min}_{u,W} \left(\int_{\Omega} \|W\| dx + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |Hu(x) - u_0(x)|^2 dx \right) \quad (12)$$

With $W(x) = \nabla u(x)$, $x \in \Omega$

We consider the L_2 -norm-square penalty formulation

$$\text{Min}_{u,W} \left(\int_{\Omega} \|W\| dx + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |Hu - u_0|^2 dx + \frac{\beta}{2} \int_{\Omega} \|W - \nabla u\|^2 dx \right) \quad (13)$$

where $\beta > 0$ is the penalty parameter. It is well-known that as β goes to infinity, the solution of the convex minimization problem (13) converges to that of (12), or of (3).

For practical purposes, it suffices to seek a solution of (13) for a sufficiently large β in order to approximate the solution of (3) to a requested accuracy.

Let us consider the discrete form of the problem. We let matrix $u_0 \in R^{N \times N}$ represent a two dimensional gray-scale digital

image, we let matrix $u \in R^{N \times N}$ represent the unknown image to be restored. For simplicity we have tacitly assumed that the images are square images, though rectangular images can be treated in exactly the same way.

Under the above definitions, the corresponding discrete form of (13) is

$$\text{Min}_{u,W} \left(\sum_i \|W_i\| + \frac{\beta}{2} \sum_i \|D_i u - W_i\|^2 + \frac{\lambda}{2} \|Hu - u_0\|^2 \right) \quad (14)$$

Where $H : R^{N \times N} \rightarrow R^{N \times N}$ is a discrete convolution operator,

and for $i = 1, \dots, N^2$ on pose $W_i = ((w_1)_i; (w_2)_i) \in R^2$ and

$(D_i u) = ((D_1 u)_i; (D_2 u)_i) \in R^2$ represent the two first-order

forward finite difference operators.

B. Alternating Minimization

We will solve problem (14) by alternately minimizing the objective function with respect to w while fixing u , and vice versa. As such, we need to solve two types of subproblems. One is the so-called

“w-subproblem” for a fixed u :

$$\text{Min}_w \left(\sum_i \|W_i\| + \frac{\beta}{2} \sum_i \|W_i - (D_i u)\|^2 \right) \quad (15)$$

where we observe that the objective function, which consists of the first two terms in (14), is separable for each W_j .

The other subproblem is the “u-subproblem” for a fixed w :

$$\text{Min}_u \left(\frac{\lambda}{2} \|Hu - u_0\|^2 + \frac{\beta}{2} \|D_1 u - w_1\|^2 + \frac{\beta}{2} \|D_2 u - w_2\|^2 \right) \quad (16)$$

where $D_i I = [(D_i I)_i] \in R^{N \times N}$ and $w_i = [(w_i)_i] \in R^{N \times N}$, and so on. It is easy to see that the above objective function is just another expression of the last two terms in (14). Obviously, the effectiveness of our alternating minimization approach will largely depend on how fast we can solve the two subproblems. We now show that indeed these two subproblems can be solved by very fast procedures.

It is not difficult to verify that the w-subproblem permits a closed-form solution [16], and for $i = 1, \dots, N^2$

$$W_i = \max \left(\|(D_i u)\| - \frac{1}{\beta}, 0 \right) \frac{(D_i u)}{\|(D_i u)\|} \quad (17)$$

where we follow the convention $0 \cdot (0/0) = 0$.

The u-subproblem is a linear least-squares problem with a special structure, and the minimizer u is given by the normal equations

$$\left(\sum_i D_i^T D_i + \frac{\lambda}{\beta} H^T H \right) u = \sum_i D_i^T w_i + \frac{\lambda}{\beta} H^T u_0 \quad (18)$$

or equivalently,

$$\left((D^{(1)})^T D^{(1)} + (D^{(2)})^T D^{(2)} + \frac{\lambda}{\beta} H^T H \right) u = (D^{(1)})^T w_1 + (D^{(2)})^T w_2 + \frac{\lambda}{\beta} H^T u_0 \quad (19)$$

Under the periodic boundary condition for u , $(D^{(1)})^T D^{(1)}$,

$(D^{(2)})^T D^{(2)}$ and $H^T H$ are all block circulant (see [11, 5], for example). Therefore, the Hessian matrix on the left-hand side of (19) can be diagonalized by two-dimensional discrete Fourier transform FFT . After solving the above problem for $TF(u)$, we take an inverse discrete Fourier transform, TF^{-1} , to obtain the solution to the u-subproblem (19) in the image space, that is,

$$u = TF^{-1} \left(\frac{TF((D^{(1)})^T) TF(w_1) + TF((D^{(2)})^T) TF(w_2) + \gamma (TF(H)^T) TF(u_0)}{TF((D^{(1)})^T) TF((D^{(1)})^T) + TF((D^{(2)})^T) TF((D^{(2)})^T) + \gamma (TF(H)^T) TF(H)} \right) \quad (20)$$

where “*” denotes complex conjugacy, “.” denotes component-wise multiplication, and the division is component-wise as well, and $\gamma = \lambda/\beta$. With a slight abuse of notation, we have used $TF(H)$ for the Fourier transform of the function represented by H in the convolution H (and similarly for $D^{(1)}$ and $D^{(2)}$). Since all quantities but w_1 and w_2 are constant, computing u from (20) involves two FFTs and one inverse FFT , once the constant quantities are computed.

For any given $\beta > 0$, we will solve problem (14) by applying formulas (17) and (20) alternately, starting from an initial u . For our convex program (14), this alternating minimization procedure will have guaranteed convergence (for example, see [27]).

C. A Continuation Algorithm: TVD

How well the solution of (14) approximates that of (3) or its constrained equivalent (12) depends on the magnitude of β which determines the amount of penalty applied to the discrepancy between ∇u and W in the squared L_2 -distance.

In practice, β cannot be too small because it would allow $\nabla u = W$ to be violated excessively. Though it may be tempting to set β to a very large value from outset to force an accurate w-approximation to ∇u , using a single large β value is far from desirable. It should be clear from the w-updating formula (17) that the larger the β is, the less the amount of update applied to W (and subsequently to u), making the algorithm take tiny steps and many more iterations. Therefore, we should choose β in a way that balances the speed and accuracy considerations. We achieve this by a continuation strategy using an increasing sequence of β . That is, we start with a small β value and gradually increase it to a desired level, while using the approximate solution obtained for the current β value as the initial guess for the next β value.

In our numerical experiments, we used the following “default” parameter setting. We set the initial value of β to 4, its terminal value to $\beta_{\max} = 220$, and the inner-loop tolerance to $\text{tol} = 5.0 \times 10^{-4}$ constantly. At the end of each outer iteration, we double the value of β . This very basic version of implementation has proved to be sufficiently effective to serve the purpose of our proof-of-concept experiments.

III. NUMERICAL EXPERIMENTS

A. Parameter values

In model (3), the parameter λ controls the amount of penalty applied to the L_2 -distance square between Hu and u_0 , where u is the true clean image, is equal to the variance of the additive Gaussian noise n . Therefore, an appropriate λ should give a solution u of (3). In our experiments, we have observed, as others have, that when λ was too large the restored images were noisy; when λ was too small, the restored images were blocky and had small-scale details missing. The issue of how to select λ is important but beyond the scope of this work. In our experiments, we used the formula $\lambda = 0.05 / \max(\sigma^2, 10-12)$ for images with intensity scaled to the range $[0, 1]$, where σ is the standard deviation of the Gaussian noise in (3). This formula is based on the observation that λ should be inversely proportional to the noise variance, while the constant 0.05 was determined empirically so that the restored images had reasonable signal-to-noise ratios (SNRs).

B. Test Images and Test platforms

used two images, Lena and Barbara in our experiments, see Figure 1. Image Lena is a good test image because it has a nice mixture of detail, flat regions, shading area and texture. Image Barbara also consists of complex components in different scales, with different patterns and under inhomogeneous illuminations. Both images are suited for our experiments. We tested several kinds of blurring kernels including Gaussian, and motion, and found that the running times of TVD remained essentially constant for different blurring kernels as long as other conditions (e.g., kernel size or image size) were the same. In all tests, the additive noise used was Gaussian noise with zero mean and standard deviation 10^{-3} . This level of noise is substantial in the context of deblurring.

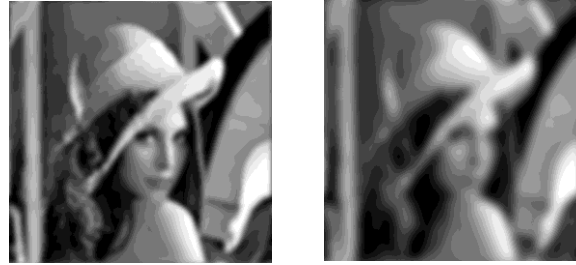
As is usually done, we measure the quality of restoration by the signal-to-noise ratio (SNR), defined by

$$SNR = 10 * \log_{10} \left(\frac{\|u^0 - \tilde{u}\|^2}{\|u^0 - u\|^2} \right)$$

where u^0 is the original image and \tilde{u} is the mean intensity value of u^0 . Generally, the quality of the restored image is expected to increase as β increases (hence, (14) becomes a closer approximation to (5)).



Fig. 1. Test images: Lena (left) and Barbara (right).



a) Image degraded 9.0dB

b) Image degraded 6.2dB.



a) Image restored 12.2dB

b) Image restored 9.0dB.



a) Image restored 13.4dB

b) Image restored 11.0dB.

Fig.2. The first row contains images with medium (left) and severe (right) Gaussian blurrings. The second row contains corresponding restored images by ForWaRD, and the third row by TVD.



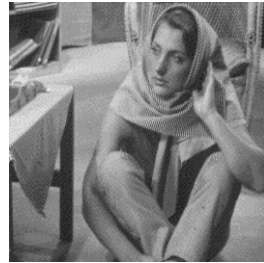
a) Image degraded 7.0dB



b) Image degraded 5.0dB.



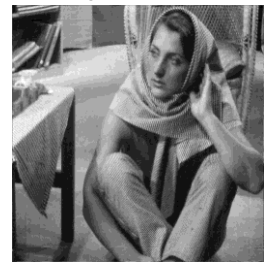
a) Image restored 14.0dB



b) Image restored 11.8dB.



a) Image restored 16.0dB



b) Image restored 13.6dB.

IV. CONCLUSION

We have demonstrated that Total Variation Deconvolution “TVD” is a simple yet computationally efficient algorithmic framework for solving the TV deblurring model (3). The algorithm is based on replacing ∇u in the total variation term by a new variable W and then penalizing the discrepancy between the two, as measured by L^2 -norm square. The resulting functional can be easily minimized with respect to either W or u while fixing the other, leading to our alternating minimization procedure. The convergence of this procedure readily follows from existing results. The restored images give better results compared to other deconvolution algorithms in terms of quality, simplicity, speed, numerical stability and extendibility. We believe that our total variation deconvolution is a promising algorithmic for numerical deconvolution with various total variation regularizations.

REFERENCES

- [1] S. Alliney. “An algorithm for the minimization of mixed L1 and L2 norms with application to Bayesian estimation”. *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 42, pp. 618–627, (1994).
- [2] Bertero. M. and P. Boccacci. “Introduction to Inverse Problems in Imaging”. IOP Publishing, Bristol, UK, (1998)
- [3] A. S. Carasso. “Linear and nonlinear image deblurring: A documented study”. *SIAM J. Numer. Anal.*, 36(6):1659–1689, (1999).
- [4] A. Chambolle, “An algorithm for total variation minimization and applications”. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 20, pp. 89-97, (2004).
- [5] A. Chambolle and P.L. Lions. “Image recovery via total variation minimization and related problems”. *Numerische Mathematik*, 76(2):167–188, (1997).
- [6] T. F. Chan and C. Wong. “Total variation blind deconvolution”. *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, pp. 370–365, (1998).
- [7] T. F. Chan, G. H. Golub, and P. Mulet. “A nonlinear primal-dual method for total variation based image restoration”. *SIAM J. Sci. Comput.*, 20:1964–1977, (1999).
- [8] T. F. Chan, J. Shen, and Vese, L. “Variational PDE models in image processing. *Notice of Amer. Math. Soc.*, 50:14–26, Jan. (2003).
- [9] T. F. Chan and J. Shen “Theory and computation of variational image deblurring”. *IMS Lecture Notes*, (2005).
- [10] T. F. Chan and J. Shen. “Theory and computation of variational image deblurring”, *IMS Lecture Notes*, (2006).
- [11] P. Charbonnier, L. Blanc-Féraud, G. Aubert, and M. Barlaud. “Deterministic edge preserving regularization in computed imaging”, *IEEE Transactions on Image Processing*, 6, pp. 298–311, (1997).
- [12] G. Demoment. “Image reconstruction and restoration. Overview of common estimation structures and problems”. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process*, 37(12):2024–2036, (1989).
- [13] D. Goldforb and W. Yin. “Second-order cone programming methods for total variation-based image restoration”. *SIAM J. Sci. Comput.*, 27(2):622–645, (2005).
- [14] H. Fu, M. Ng, M. Nikolova, and J. Barlow, “Efficient minimization methods of mixed L1-L1 and L1-L2 norms for image restoration”. *SIAM Journal on Scientific Computing*, (2006).
- [15] R. Gonzalez and R. Woods. “Digital Image Processing”. Addison-Wesley, (1992).
- [16] Y. Huang., M. Ng, and Y. Wen. “A fast total variation minimization method for image restoration”. *SIAM Journal on Multiscale Modeling and Simulation*, (2008).
- [17] A. K. Katsaggelos, “Digital Image Restoration”, Springer-Verlag, (1991).
- [18] R. Neelamani. H. Choi and R. G. Baraniuk “ForWaRD: Fourier-wavelet regularized deconvolution for ill-conditioned systems”. *IEEE Trans. signal proc.*, 52:418–433, Feb. (2004).
- [19] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer. “Discrete-Time Signal Processing”. Prentice Hall Inc, New Jersey, (1989).
- [20] S. Osher, A. Solé, and L. Vese. “Image decomposition and restoration using total variation minimization and the L1 norm”. *SIAM Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 1, pp. 349–370, (2003).
- [21] I. Pollak, A. Willsky, and Y. Huang. “Nonlinear evolution equations as fast and exact solvers of estimation problems”. *IEEE Trans. on Signal (Processing)*, vol. 53, pp. 484498, (2005).
- [22] P. Rodriguez and B. Wohlberg. “An iteratively weighted norm algorithm for total variation regularization”. To appear in *IEEE Signal Processing Letters*, (2007).
- [23] L. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi. “Nonlinear total variation based noise removal algorithms”. *Physica D*, 60:259–268, (1992).
- [24] L. Rudin and S. Osher. “Total variation based image restoration with free local constraints”. *Proc. 1st IEEE ICIP*, 1:31–35, (1994).
- [25] E. Tadmor, S. Nezzar, and L. Vese. “A multiscale image representation using hierarchical (BV, L^2) decompositions”. *Multiscale Modeling & Simulation*, vol. 2, pp. 554–579, (2004).

- [26] A.N. Tikhonov. "Regularization of incorrectly posed problems". Soviet. Math. Dokl., 4:1624–1627, (1963).
- [27] P. Tseng. "Convergence of a block coordinate descent method for non differentiable minimization". J. Optim. Theory Appl., 109(3):475–494, June (2001).
- [28] C. R. Vogel and M. E. Oman. "Iterative methods for total variation denoising". SIAM J. Sci. Comput., 17(1):227–238, (1996).
- [29] P. Weiss, G. Aubert, and L. Blanc-Feraud. "Efficient schemes for total variation minimization under constraints in image processing". INRIA Research Report, 6260, (2007).
- [30] Y. Wang, J. Yang, W. Yin and Y. Zhang. "A Fast Algorithm for Image Deblurring with Total Variation Regularization". CAAM Technical Report 07-10, Rice University, June (2007).
- [31] W. Ziemer P. Weakly. "Differentiable Functions: Sobolev Spaces and Functions of Bounded Variation". Graduate Texts in Mathematics. Springer, (1989).

L'UTILISATION DES MACHINES A VECTEURS DE SUPPORT SVM POUR L'IDENTIFICATION DU LOCUTEUR

HOCINE BOUROUBA, M.C. AMARA KORBA ET RAFIK DJEMILI

Resumé — Dans ce travail, nous nous intéressons à une nouvelle méthode d'apprentissage et de classification basée sur la théorie de l'apprentissage artificiel de Vapnik. Cette méthode appelée les Machines à Vecteurs de Support (SVMs pour Support Vector Machines) a été adaptée et appliquée au problème de la reconnaissance de locuteur. L'avantage des SVMs est qu'un nombre restreint d'échantillon suffit à la détermination des vecteurs de support (SVs) permettant la discrimination entre les classes contrairement à l'estimation statistique. Les résultats obtenus sur des locuteurs de la base IVIE sont satisfaisants et très encourageants.

Mots clés — reconnaissance de forme, reconnaissance de locuteur, SVM, GMM

I. INTRODUCTION

La reconnaissance du locuteur c'est le processus de reconnaissance automatique de la personne qui communique à partir de caractéristiques de *l'individu* qui sont contenues dans son signal vocal. Ces systèmes sont fondés sur des critères qui prend en compte la structure physique du signal vocal de la voix d'un individu et les caractéristiques de son comportement (le mouvement de la bouche et la prononciation). La reconnaissance vocale est considérée comme une des formes les moins intrusives de la technologie biométrique, car elle n'exige aucun contact physique avec le capteur (microphone) du système automatique de reconnaissance.

L'**authentification** du locuteur désigne de manière générique toutes les applications de reconnaissance vocale où l'on cherche à obtenir des renseignements concernant l'identité d'une personne à partir d'un enregistrement de sa voix. Pour qualifier plus précisément les différentes applications entrant dans le cadre de l'authentification du locuteur, on distingue en général deux types de tâches : la vérification du locuteur et l'identification du locuteur [1].

La **vérification du locuteur** consiste à déterminer si un locuteur est bien celui qu'il prétend être. Dans ce type d'applications, il s'agit donc de trancher entre les deux hypothèses : soit le locuteur est bien le locuteur autorisé, c'est à dire celui dont l'identité est revendiquée, soit nous avons affaire à un imposteur qui cherche à se faire passer pour un locuteur autorisé.

L'**identification du locuteur** consiste à reconnaître la voix d'un locuteur parmi une population (une base de données) composée de N locuteurs connus. En identification, la réponse apportée n'est plus de type binaire (acceptation ou rejet) comme dans le cas de la vérification puisqu'il est nécessaire de désigner un locuteur parmi un groupe. La sortie du système correspond à l'identité du locuteur de la base de référence qui est la plus "proche" du signal de parole inconnu. Dans cette tâche, on fait l'hypothèse que le signal de parole à identifier est prononcé par l'un des locuteurs de la base de référence (identification en ensemble fermé) [2].

Les SVM (Support Vector Machines) sont de nouvelles techniques d'apprentissage statistique proposées par V. Vapnik en 1995[3]. Elles permettent d'aborder des problèmes très divers comme le classement, la régression, la fusion, etc...[4] Depuis leur introduction dans le domaine de la Reconnaissance de Formes (RdF), plusieurs travaux ont pu montrer l'efficacité de ces techniques principalement en traitement d'image.

L'idée essentielle des SVM consiste à projeter les données de l'espace d'entrée (appartenant à deux classes différentes) non-linéairement séparables dans un espace de plus grande dimension appelé espace de caractéristiques de façon à ce que les données deviennent linéairement séparables. Dans cet espace, la technique de construction de l'hyperplan optimal est utilisée pour calculer la fonction de classement séparant les deux classes.

Dans ce papier, nous avons étudié les SVM comme techniques de classement pour l'identification Automatique du Locuteur (IAL) en mode indépendant du texte. Les études que nous avons réalisées représentent une tentative d'appliquer les SVM dans le domaine de la IAL.

Le choix de l'utilisation des SVM est soutenu par leurs avantages: Ce sont des techniques discriminantes qui permettent de construire des surfaces de décision non-linéaires alors que la plupart des autres techniques utilisées dans le domaine de la RAL sont des solutions non discriminantes comme la quantification vectorielle et le mélange des

gaussiens. En plus elles sont basées sur des techniques d'estimation statistique à partir d'exemples de classes connues (techniques de classement supervisé) unifiant deux théories: Minimisation du risque empirique et Capacité d'apprentissage d'une famille de fonctions.

Notre article est organisé comme suit : nous présentons, dans la section 1, une description des systèmes de reconnaissance automatique du locuteur. Nous décrivons, dans la section 2, la théorie des Supports Vecteurs Machines suivie par une description des algorithmes (un contre un et un contre tout) utilisée par cette technique. Nous abordons, dans la section 3, l'analyse des résultats.

Procédure

II. SYSTEMES DE RECONNAISSANCE DU LOCUTEUR RAL

Un système de reconnaissance du locuteur est un système d'identification d'individus, qui permet de vérifier si une personne appartient à la base de données du système, et de l'identifier si c'est le cas. On peut représenter les systèmes de reconnaissance par le diagramme de la figure (1) : Comme l'indique la figure ci-dessous, un système de reconnaissance passe par plusieurs étapes qui sont:

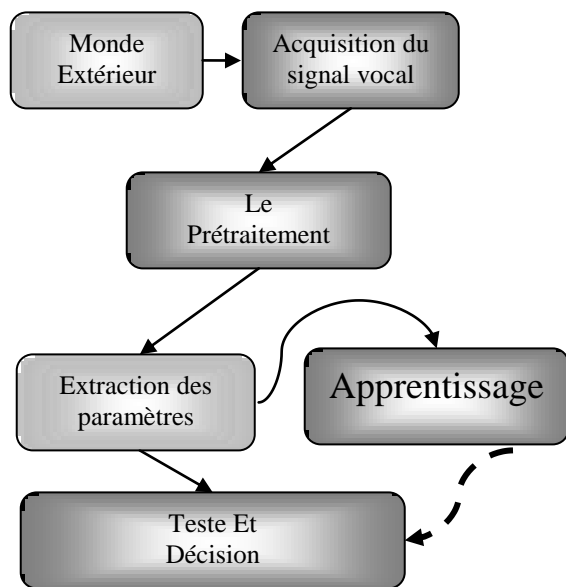


Figure 1 : système de reconnaissance

A. Analyse acoustique et paramétrisation du signal vocal

L'analyse de la parole consiste à extraire l'information pertinente et à réduire au maximum la redondance. On s'intéresse essentiellement à l'information relative à l'identité du locuteur, et pour cela on a choisi d'utiliser les coefficients MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) [5] qui permettent une parfaite déconvolution de la contribution du conduit vocal et celle de la source d'excitation.

Dans nos expériences, une analyse est appliquée toutes les 16 ms sur des fenêtres d'analyse de 32 ms (par glissement et recouvrement des fenêtres d'analyse). A chaque trame, on associe un vecteur de représentation acoustique, composé des 12 premiers coefficients MFCC.

La figure 2 illustre les étapes suivies afin d'extraire les coefficients MFCC.

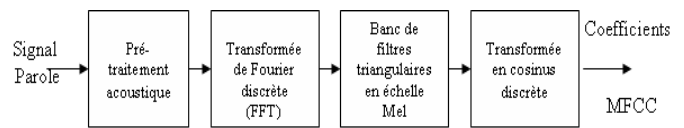


Figure 2: les étapes de calcul MFCC

La phase de pré-traitement acoustique contient deux étapes :

- L'étape de pré-accentuation acoustique qui consiste à filtrer le signal vocal par un filtre passe haut de transmittance $H(z) = 1 - 0.95z^{-1}$.
- L'étape de fenêtrage qui consiste à multiplier le signal vocal par une fenêtre de pondération glissante. Dans notre travail, on a utilisé une fenêtre de Hamming de durée de 32 ms avec déplacement de 16 ms.

Une fois la phase de pré-traitement terminée, on applique aux trames de parole résultantes les traitements suivants :

Transformée de Fourier discrète

Elle permet le passage du domaine temporel au domaine fréquentiel. Pour un traitement rapide, on utilise la transformée de Fourier rapide (FFT).

Banc de filtres triangulaire en échelle Mel

Le spectre du signal est filtré par un banc de filtres triangulaires, dont les bandes passantes sont de même largeur sur une échelle perceptive de type Mel. Chaque filtre opère sur une bande de fréquence bien déterminée.

Transformée en cosinus discrète

Les premiers coefficients cepstraux c_k sont calculés directement à partir du logarithme des énergies E_i à la sortie d'un banc de M filtres par la transformée en cosinus discrète qui permet l'obtention de coefficients fortement décorrélés et qui est définie par :

$$c_k = \sum_{i=1}^M \log E_i \cos \left[\frac{\pi k}{M} \left(i - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (1)$$

B. Apprentissage (Modélisation des locuteurs) et décision

Comme dans le cas de la reconnaissance de la parole, le problème de la reconnaissance du locuteur peut se formuler selon un problème de classification. Différentes approches ont été développées, néanmoins on peut les classer en deux grandes familles [18].

- L'approche générative : VQ, GMM et HMM
- L'approche discriminative ANN, SVM

Dans notre travail on s'intéresse aux SVM qui appartiennent à l'approche statistique

III. SUPPORTS VECTEURS MACHINES (SVMs)

Les Support Vector Machines (SVM) sont des nouvelles techniques discriminantes dans la théorie de l'apprentissage

statistique. Elles ont été proposées en 1995 par V. Vapnik dans son livre « The nature of statistical learning theory » [91].

Elles permettent d'aborder plusieurs problèmes divers et variés comme la régression, la classification, la fusion etc.

Les SVM fournissent une approche très intéressante de l'approximation statistique. Souvent, le nombre des exemples pour l'apprentissage est insuffisant pour que les estimateurs fournissent un modèle avec une bonne précision. D'un autre côté, l'acquisition d'un grand nombre d'exemples s'avère être souvent très coûteuse et peut même mener à des problèmes de sur-apprentissage dans le cas où la capacité du modèle est très complexe. Pour ces deux raisons, il faut arriver à un compromis entre la taille des échantillons et la précision recherchée. Dans ces cas spécifiques comme la reconnaissance de formes, il serait intéressant de trouver une mesure de la fiabilité de l'apprentissage, et d'avoir une mesure du taux d'erreur qui sera commis durant la phase de test. Ces nouvelles techniques unifiant deux théories : Minimisation du risque empirique et Capacité d'apprentissage d'une famille de fonctions. C'est la Minimisation du Risque Structurel.

Le principe des SVM consiste à projeter les données de l'espace d'entrée (appartenant à deux classes différentes) non-linéairement séparables dans un espace de plus grande dimension appelé espace de caractéristiques de façon à ce que les données deviennent linéairement séparables. Dans cet espace, on construit un hyperplan optimal séparant les classes tel que :

- Les vecteurs appartenant aux différentes classes se trouvent de différents côtés de l'hyperplan.
- La plus petite distance entre les vecteurs et l'hyperplan (la marge) soit maximale.

La figure 2.1 représente le principe de la technique SVM.

A. Construction de l'hyperplan optimal

Pour bien décrire la technique de construction de l'hyperplan optimal séparant des données appartenant à deux classes différentes dans deux cas différents : Le cas des données linéairement séparables et le cas des données non-linéairement séparables. Soit l'ensemble D tel que

$$D = \{(x_i, y_i) \in \mathbb{R}^n \times \{-1, 1\} \text{ pour } i = 1, \dots, m\} \quad (2)$$

B. Cas des données linéairement séparables

Dans ce paragraphe nous présentons la méthode générale de construction de l'Hyperplan Optimal (HO) qui sépare des données appartenant à deux classes différentes linéairement séparables. La figure 2 donne une représentation visuelle de l'HO dans le cas des données linéairement séparables.

Soit $H : (w \cdot x) + b$ l'hyperplan qui satisfait les conditions suivantes :

$$\begin{aligned} w^T x_i + b &\geq 1 & \text{si } y_i = 1 \\ w^T x_i + b &\leq -1 & \text{si } y_i = -1 \end{aligned} \quad (3)$$

ce qui est équivalent à :

$$y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \quad \text{pour } i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Comme nous l'avons déjà mentionné, un HO est un hyperplan qui maximise la marge M qui représente la plus petite distance

entre les différentes données des deux classes et l'hyperplan. Maximiser la marge M est équivalent à maximiser la somme des distances des deux classes par rapport à l'hyperplan. Ainsi, la marge a l'expression mathématique suivante :

$$\begin{aligned} M &= \min_{x_i | y_i = 1} \frac{w \cdot x + b}{\|w\|} - \max_{x_i | y_i = -1} \frac{w \cdot x + b}{\|w\|} = \frac{1}{\|w\|} - \frac{-1}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|} \\ M &= \frac{2}{\|w\|} \quad (5) \end{aligned}$$

Trouver l'hyperplan optimal revient donc à maximiser $\frac{2}{\|w\|}$.

Ce qui est équivalent à minimiser $\frac{\|w\|^2}{2}$ sous la contrainte 3.

Ceci est un problème de minimisation

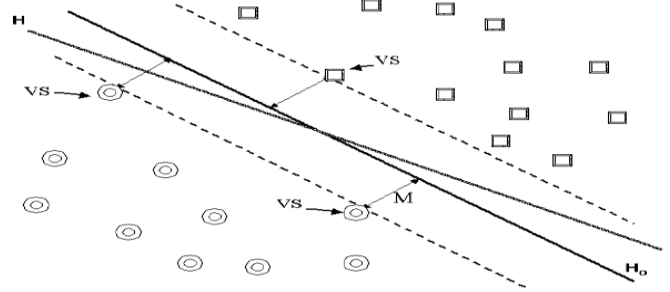


Figure 2: Hyperplans séparateurs cas linéaire

C. Cas des données non-linéairement séparables

Dans ce cas où les données sont non-linéairement séparables figure 2, l'hyperplan optimal est celui qui satisfait les conditions suivantes :

La distance entre les vecteurs bien classés et l'hyperplan optimal doit être maximale.

La distance entre les vecteurs mal classés et l'hyperplan optimal doit être minimale.

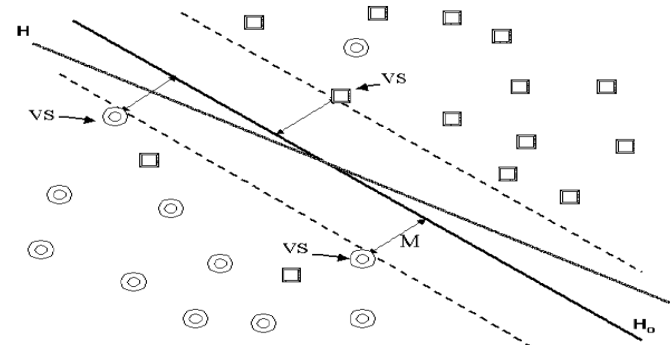


Figure 3 : Hyperplans séparateurs cas non linéaire

Pour formaliser tout cela, on introduit des variables de pénalité non-négatives ζ_i pour $i = 1, \dots, m$ appelées variables d'écart. Ces variables transforment l'inégalité (3) comme suit :

$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \zeta_i$$

L'objectif est de minimiser la fonction suivante :

$$\Psi = \frac{1}{2} w \cdot w - C \sum_{i=1}^m \zeta_i \quad (6)$$

où C est un paramètre de régularisation. Elle permet de concéder moins d'importance aux erreurs. Cela mène à un problème dual légèrement différent de celui du cas des données linéairement séparables. Maximiser le lagrangien donné par l'équation (6) par rapport à α_i sous les contraintes suivantes :

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 1 \quad \text{avec} \quad 1 \leq \alpha_i \leq C \quad \text{pour} \quad i = 1, \dots, m$$

Le calcul de la normale, w_0 du biais b_0 et de la fonction de classification **class(x)** reste exactement le même que pour le cas des données linéairement séparable.

Les classifieurs SVM utilisent l'idée de l'HO (Hyperplan Optimal) pour calculer une frontière entre des nuages de points. Elles projettent les données dans l'espace A caractéristiques en utilisant des fonctions non-linéaires. Dans cet espace on construit l'HO qui sépare les données transformées. L'idée principale est de construire une surface de séparation linéaire dans l'espace des caractéristiques qui correspond à une surface non-linéaire dans l'espace d'entrée. Le problème principal à relever ici est comment bien manipuler la transformation de tous les vecteurs d'entrée dans l'espace des caractéristiques de façon à éviter une augmentation du coût en nombre de paramètres libres. Soit l'ensemble D' l'image de l'ensemble D, par la transformation Φ

$$D = \{(\Phi(x_i), y_i) \in \mathbb{R}^p \times \{-1, 1\} \text{ pour } i = 1, \dots, m\} \quad (7)$$

En construisant un HO dans l'espace des caractéristiques suivant la technique expliquée dans la section précédente. On aura la fonction de classement suivante :

$$\text{class}(x) = \text{sign} \left[\sum_{x_i \in VS} \alpha_i^0 y_i (\Phi(x_i) \cdot \Phi(x)) + b_0 \right]$$

On peut remarquer que la fonction de classement dépend du produit scalaire dans l'espace des caractéristiques. Ainsi, pour que le coût de calcul reste pratiquement inchangé et le nombre de paramètres libres du système n'augmente pas, il faut que la fonction Φ satisfasse la condition suivante :

$$\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) = K(x_i, x_j)$$

C'est à dire le produit scalaire dans l'espace des caractéristiques va être représentable comme un noyau de l'espace d'entrée. Le classifieur est donc construit sans utiliser explicitement la fonction Φ . Plusieurs noyaux ont été utilisés par les chercheurs, en voici quelques uns

Le noyau linéaire : $\Phi(x_i, x_j) = x_i \times x_j$

Le noyau Polynomial $\Phi(x_i, x_j) = (x_i x_j + 1)^d$

Le noyau RBF : $\Phi(x_i, x_j) = e^{-\gamma \|x_i - x_j\|^2}$

IV. VALIDATION EXPERIMENTALE

Après avoir présenté différents algorithmes de paramétrisation (MFCC) et classification (SVM), nous présentons ici leur validation expérimentale sur la base IVIE

A. *Description de la base de données IViE corpus :*

La base de données EVIE CORPUS est une base de données acoustique dédiée à la reconnaissance automatique de la parole, ainsi qu'au développement et évaluation des systèmes de reconnaissance automatique de la parole. Elle contient les enregistrements de 110 locuteurs britanniques, prononçant chacun 5 phrases. Le texte est lu dans de bonnes conditions d'enregistrement et les données sont échantillonnées avec 16 KHz sur 16 bits.

Fréquence d'échantillonnage	16 KHZ
Résolution	16 bit
Nombre de locuteurs	110
Nombre de session par locuteur	5
Type de la parole	Lecture phrase

Tableau 1 : Description de la base de données EVIE corpus

B. *Description de la base de données utilisée :*

Dans ce papier, on a utilisé une base de données composée de 12 locuteurs (6 hommes et 6 femmes) extraite exclusivement de la base de données Corpus IVIE. Pour chaque locuteur, on dispose de 5 phrases, chacune de 60 secondes en moyenne. On a concaténé une phrase pour l'apprentissage et toutes (5) phrases pour le test. Les fichiers d'apprentissage sont étiquetés de (locuteur test 1) à (locuteur test 12) et les fichiers de test de (locuteur test 01) (locuteur test 12).

C. *Les étapes de construction du système :*

Prétraitement :

La préaccentuation du signal échantillonné par un filtre de transmission $(1 - a.z^{-1})$.

Découpage du signal en trame de 256 points, avec un décalage de 128 points.

Pondération de chaque trame par une fenêtre de hamming.

Analyse acoustique par MFCC : 12MFCC plus énergie

Création de classifieur SVM : on utilise l'algorithme un contre tous et le noyau RBF par l'utilisation de plateforme LIBSVM [5]

Phase de test :

Après la détection de frontière le mot de test subit le même traitement que les mots de la base d'apprentissage. Le mot sera comparé au modèle des locuteurs, pour la méthode de SVM une probabilité locale entre un vecteur acoustique et le modèle est calculé.

D. *Résultats expérimentaux :*

Les résultats obtenus dans ce premier cas sont représentés dans des tableaux :

Premier cas :

C variable et le noyau RBF (G) a été fixée à 0.01

Tableau 2 : Les taux d'identification pour des segments de test de 1sec et 0.5 sec

Deuxième cas :

C	Moy pour 1 sec	Moy pour 0.5 sec
1	95.43	91.49
2	95.63	90.49
3	95.63	89.82
4	96.06	90.02
10	96.22	89.70
20	95.76	89.76
100	98.78	95.98
200	98.62	95.74
300	98.47	95.90

Le noyau RBF (G) variable et C a été fixée à 100

TABLEAU 3 les taux d'identification pour des segments de test de 1sec et 0.5 sec

G	Moy pour 1 sec	Moy pour 0.5 sec
G=0.01	98.78	95.98
G=0.1	23.12	26.53
G=1	8.33	8.57
G=0.00	99.84	99.07
1		
G=0.02	100	100
G=0.00	100	99.70
2		

Discussion :

Les résultats du tableau 2 avec le paramètre de régularisation C variable et Gamma fixe égale 0.01 pour un segment de test de taille 1 seconde (c-a-d 125 frames). Le meilleur résultat est obtenu pour une valeur C=100 puisque le taux de reconnaissance (98.78) plus approche a (100), et pour un segment de test de taille 0.5 seconde (c-a-d 125/2) frames), le meilleur résultat est obtenu pour C=100 puisque le taux de reconnaissance (95.98) plus approche a (100).

En comparant aussi les résultats du tableaux (3), ou le noyau RBF (G) variable et le paramètre de régularisation C a été fixée à 100 . Pour un segment de test 1 seconde le meilleur résultat est pour G=0.02 et 0.002 puisque le taux de reconnaissance égale (100%), et pour 0.5 sec, le meilleur résultat G=0.02 a pour taux de reconnaissance égale 100%.

Donc on peut dire que la méthode SVM présente des taux d'identification très importante mais un choix optimale des paramètres C et Gamma. Mais le problème major de cette méthode est le temps de calcul important et la taille de stockage des paramètres du classifieur SVM(les vecteurs de support qui augment avec la taille de la base d'apprentissage c.-à-d. avec le nombre de locuteur et la taille des segments d'apprentissage de chaque locuteur). Donc on peut dire que la

méthode SVM est inapplicable pour des bases de données larges et dans des applications qui nécessitent le temps réel. Nous proposons d'introduire des méthodes de réduction des données telles que le PCA, LDA, ..., etc pour résoudre ce problème

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article les principaux résultats obtenues par les classificateurs SVM multi-classes pour la classification des locuteurs. Les performances atteintes par cette approche sont intéressantes. En effet avec l'utilisation des SVM binaire à base de noyau RBF, nous avons atteint un taux de réussite de 100% dans le cas d'un classifieur SVM construite avec une valeur de Gamma =0.02 du noyau RBF et C=100 quelque soit la taille des segments de test.

REFERENCES

- [1] H. Beigi "Fundamentals of Speaker Recognition", Springer, 2011
- [2] D. Reynolds, "An overview of automatic speaker recognition technology," in *Proc. ICASSP*, Orlando, FL, 2002, pp. 4072-4075
- [3] V. Vapnik. "Statistical Learning Theory". John Wiley and Sons, New York, 1998.
- [4] J. Kharoubi, *Etude de techniques de classement (Machines à Vecteurs de Supports) pour la vérification automatique du locuteur*, thèse de doctorat de l'école nationale supérieure de télécommunication de paris, Juin 2002.
- [5] CHANG C.-C., LIN C.-J., « LIBSVM: a library for support vector machines », rapport technique, national taiwan university, 2001. Logiciel disponible en ligne (<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>).

Application de La transformée en Ondelettes Discrète (TOD) dans L'analyse des Signaux Phonocardiogrammes

F. Meziani , S. M. Debbal.

Abstract— L'objectif escompté de cet article c'est l'application de la transformée en ondelettes discrète (TOD) dans l'analyse des signaux phono cardiogrammes (PCG) : normaux et pathologiques. Ceci peut fournir un large éventail de paramètres statistiques reliés au signal phono cardiogramme susceptibles d'aider le clinicien dans son diagnostic médical.

Index Terms— Phono cardiogramme, transformée d'ondelette (continue et discrète), paramètres, mesures, statistiques.

I. INTRODUCTION

L'exploration de l'activité cardiaque est devenue un domaine très intéressant pour les cardiologues autant que les chercheurs. Cette activité est composée en deux types, une activité électrique représentée par le signal électrocardiogramme (ECG) et un ensemble de bruits acoustiques constituent le signal phono cardiogramme (PCG) [1].

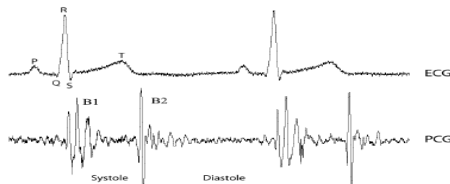


Fig. 1 Le signal électrocardiogramme (ECG) et le signal phono cardiogramme (PCG) d'un sujet sain.

Le signal PCG confirme et affine les données de l'auscultation et apporte des renseignements complémentaires des activités sonores quant à la chronologie des signes pathologiques dans la révolution cardiaque.

La technique de traitement des signaux biomédicaux la plus ancienne est basée sur la transformation de Fourier (TF), qui produit un spectre moyen dans le temps. Ceci convient pour les signaux dont les propriétés statistiques sont invariantes dans le temps « stationnaires ».

Comme le contenu spectral des signaux physiologiques (PCG) évolue en fonction du temps, les techniques de moyennage temporel des amplitudes sont incapables de décrire des phénomènes transitoires et non stationnaires [2]. C'est à cet effet que de nouvelles approches de représentations temps-fréquence (RTF) des signaux ont été proposées.

La transformée de Fourier à court terme (STFT), en tant que méthode d'analyse temps-fréquence peut être également appliquée. Celle-ci consiste à faire coulisser une fenêtre d'analyse le long du signal étudié mais les dimensions de cette fenêtre doivent être fixées de façon à garantir les conditions de stationnarité. Malheureusement ces contraintes ne peuvent permettre une bonne résolution en temps et en fréquence simultanément [3].

La transformée d'ondelettes (TO), reste ainsi tout indiquée pour l'analyse des bruits cardiaques (normaux et pathologiques). Cette technique a montrée son efficacité dans l'analyse temps-fréquence, qui est due à sa fenêtre d'analyse de dimensions souple et adaptative ce qui lui permet d'avoir une bonne résolution temporelle pour les composantes hautes fréquences et une bonne résolution fréquentielle pour les composantes basses fréquences [4-5-6].

II. LA TRANSFORMEE D'ONDELETTES

La transformation d'ondelettes (TO), permet d'appliquer une analyse multi résolution sur le signal étudié. Cette analyse qu'il conviendrait d'appeler temps-échelle, utilise une gamme très étendue d'échelles pour analyser le signal. L'analyse multi résolution de la transformation d'ondelettes équivaut à une décomposition atomique temps-échelle.

Chacun des atomes peut s'interpréter comme étant une projection locale du signal analysé et est obtenu à partir d'une ondelette $\Psi(t)$ unique par une translation en temps et une dilatation.

A partir d'une fonction bien localisée ; dans le plan temps-échelle, on lui associe la famille d'ondelettes $\Psi_{s,\tau}(t)$ générées par des translations et des dilatations de $\Psi(t)$:

$$\Psi_{s,\tau}(t) = (1/\sqrt{s}) \Psi(t - \tau)/s \quad (1)$$

$$S \in \mathbb{R}, \tau > 0$$

Manuscript received October 30, 2011.

F. Meziani : Laboratoire de Génie Biomédical (GBM), Université Aboubekr Belkaid, BP 119, Tlemcen, Algérie. (univ.tlemcen@yahoo.fr).

S.M. Debbal : Laboratoire de Génie Biomédical (GBM), Université Aboubekr Belkaid, BP 119, Tlemcen, Algérie. (adebbal@yahoo.fr).

Avec:

S = coefficient d'échelle (coefficient de dilatation de l'ondelette) = $1/f$.

τ = coefficient de translation (déplacement de la fenêtre le long du signal).

Les ondelettes sont de forme constante mais de taille variable, proportionnelle au paramètre de dilatation (ou contraction) par S (facteur d'échelle) et translation par τ . La transformation en ondelettes est aussi interprétée comme étant un processus de filtrage du signal analysé par un filtre passe-bande de bande passante variable. C'est le paramètre « τ » qui fixe la valeur de cette bande [4].

La transformée continue d'ondelette (TOC) est définie donc par le calcul des coefficients :

$$W_X(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt \quad (2)$$

La discrétisation de la TOC : est la transformée d'ondelettes discrète (TOD), passe, en fait, par la discrétisation des facteurs d'échelle S et de translation τ sous la condition que celle-ci permet la construction d'une base orthonormal dans $L^2(\mathbb{R})$ ($s = 2^j, \tau = k2^j$ avec j et $k \in \mathbb{Z}$).

La transformée discrète d'ondelette basée beaucoup plus sur l'utilisation de la complémentarité des deux filtres, passe-haut et passe-bas, va servir à l'extraction d'informations caractérisant les transitions rapides du signal (Détails).

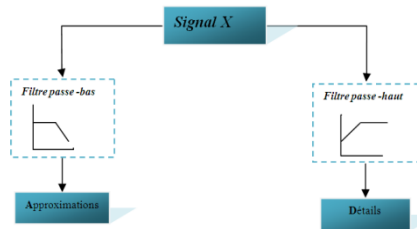


Fig. 2 Décomposition du signal X en approximations et détails.

Dans ce travail, l'ondelette analysante la plus adéquate pour la réalisation de ce filtrage est : l'ondelette **daubechies** du 7ème niveau (**db7**). Cette dernière est la plus appropriée pour analyser les signaux phono cardiogrammes (PCG) normaux et pathologiques, puis qu'elle présentera la plus faible erreur de reconstruction (**db7**). [7]

III. ANALYSE DU SIGNAL PHONO CARDIOGRAMME PAR LA TRANSFORMÉE DISCRÈTE D'ONDELETTES (TOD)

La version **TOD** est utilisée en tant qu'élément de filtrage permettant une séparation des différentes composantes constituant le signal PCG. Elle est basée beaucoup plus sur l'utilisation de la complémentarité des deux filtres, passe-haut (**détails**) et passe-bas (**approximations**). La figure.3, montre le résultat de l'application de la transformée discrète en ondelettes sur un cycle d'un signal phono cardiogramme normal (N).

Nous remarquons que :

- 1) L'approximation **a6** fait apparaître clairement les quatre composants du bruit **B1** dont les deux principales (**M1** et **T1**) et les deux composantes principales du bruit **B2** (**A2** et **P2**).
- 2) Les détails **d1** à **d2** par contre fournissent les variations haute fréquence (**HF**) de la ligne de base du signal originale.
- 3) Le niveau **d3** montre ainsi que le bruit **B2** est plus fréquentiel que le bruit **B1**.

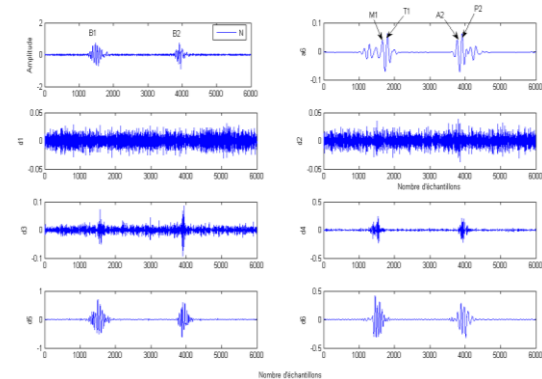


Fig. 3 Analyse par la transformée discrète d'ondelettes d'un cycle PCG normal.

L'analyse des signaux pathologiques par l'utilisation de la transformée discrète en ondelette peut faire apparaître des dissemblances plus ou moins importantes selon la sévérité pathologique ou bien de l'existence des souffles ou clicks. De ce fait il faut d'établir un certain nombre de grandeurs susceptibles de faire ressortir facilement et de façon très visibles toute variation du signal PCG analysé par rapport au signal PCG normal pris comme référence. [7]

Les signaux PCG étudiés peuvent être classés en deux groupes distincts :

- les signaux ayant une morphologie similaire à celle du signal PCG normal : **Figure.5. (a)** ;
- les signaux à click : souffle réduit : **Figure.5. (b)** ;

La fréquence d'échantillonnage et l'abréviation de différents signaux PCG, est donnée par le tableau : **Table1**.

A. Les paramètres d'analyse des signaux phono cardiogrammes

1) *L'erreur de reconstruction* : L'erreur de reconstruction calculée entre le signal original et le signal de synthèse peut être employée comme un paramètre pour estimer le degré de sévérité pathologique. [8]

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$\epsilon_{\text{ermoy}} = \frac{\sum_{i=1}^N |S_o(i) - S_r(i)|}{N} \quad (3)$$

Avec :

S_o = signal original.

S_r = Signal de synthèse, il est généré par l'application de la transformée discrète en ondelettes **TOD**.

L'analyse du signal phono cardiogramme par l'application de la transformée discrète en ondelettes (**Figure.3**), montre que le

6ème niveau d'approximation : **a6**, apparaît comme le meilleur niveau qui peut donner une reconstruction exacte du signal original (En respectant les particularités du signal normal : les deux composantes principales du bruit **B1** (**M1**, **T1**) et celles du bruit **B2** (**A2** et **P2**).

Les figures suivantes présentent les résultats de l'application de la **TOD** sur deux divers signaux **PCG** avec l'ondelette analysante (**db7**).

À partir de cette analyse, on peut montrer la variation d'erreur selon le type du signal **PCG** étudié:

Les signaux **PCG** du premier groupe qui n'ont pas de souffles surajoutés ont des valeurs d'erreur les plus réduites. La figure : **Figure.5. (a)**, montre que l'erreur de reconstruction du cas normal « **N** » et plus proche à celle du cas « **IM** », mais elle est différente à celle du cas « **CA** » qui possède une erreur supérieure ; ceci signifie que l'**IM** est une pathologie moins sévère que le cas « **CA** ».

En second lieu, la première remarque à constater c'est que les signaux du deuxième groupe qui se distinguent par un léger souffle supplémentaire (les signaux à click (**Figure.5. (b)**) ont des valeurs d'erreurs un peu plus grande que celles du premier groupe, en plus que les deux signaux à click peu important : « **OS** et **S** » possèdent une erreur supérieure à celle du cas « **AG** ».

Ces résultats confirment bien que l'importance de ce paramètre est immédiatement lié à l'importance croissante du click, et que vraiment le cas « **AG** » est une pathologie moins sévère que les « **OS** » et « **S** ».

D'après cette analyse on peut dire que la validité du choix de l'erreur de reconstruction comme étant un paramètre de classification est confirmée par sa variation qui est immédiatement liée à l'importance croissante du souffle donc à la sévérité mais pas de la pathologie étudiée elle-même.

TABLE I
ABREVIATIONS DE DIFFERENTS SIGNAUX PCG ETUDIES AVEC LEURS FREQUENCES D'ECHANTILLONNAGES.

Type de signaux PCG	Abréviation	Fréquence d'échantillonnage (Hertz)
Normal	N	8012
Innocent Murmur	IM	8012
Coarctation of the Aorta	CA	8012
Opening Snap	OS	11025
Arial Gallop	AG	11025
Split diastolic	S	11025

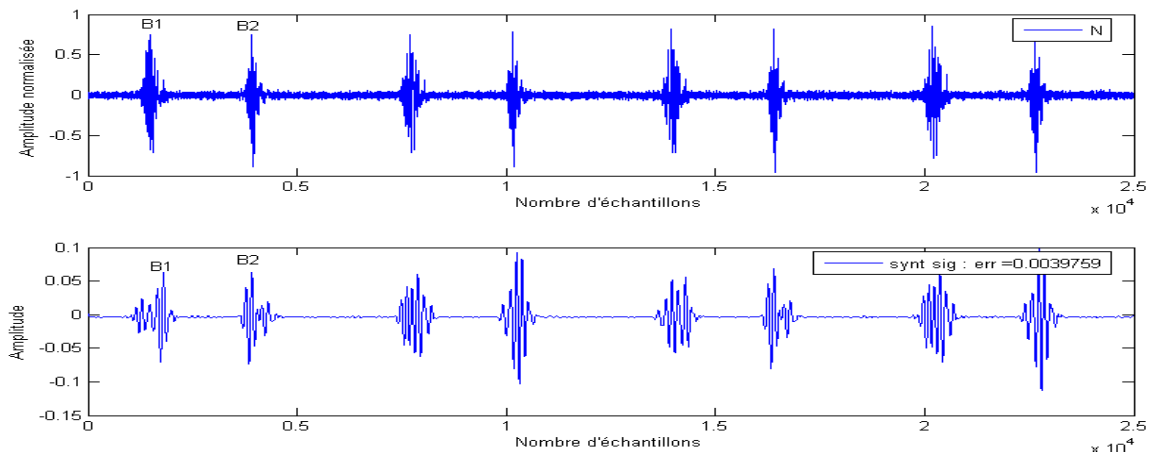


Fig. 4 Analyse multi-résolution des signaux **PCG** (**N**), à l'aide de l'ondelette (**db7**).

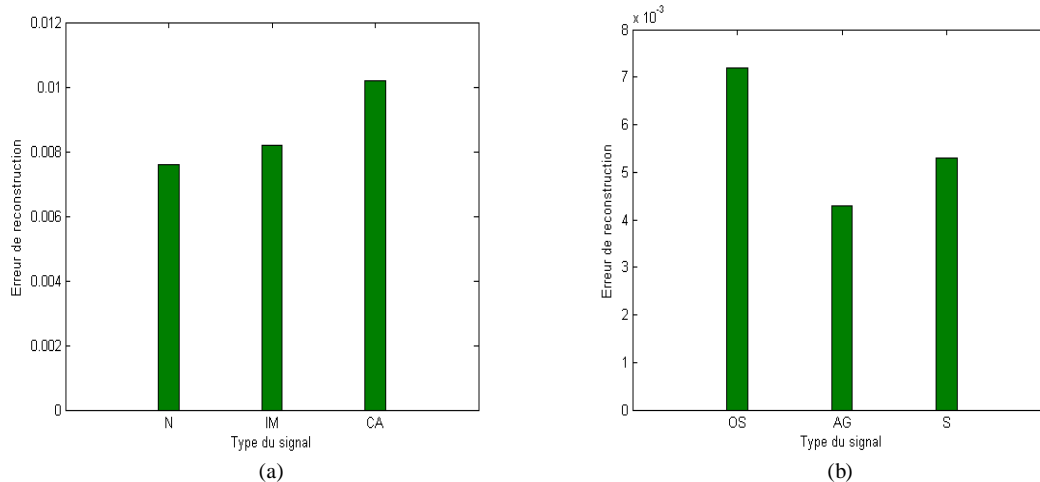


Fig. 5 Variation de l'erreur de reconstruction des signaux PCG.

2) La variance moyenne des coefficients de détails

« *Md* » : La variance moyenne des coefficients de détails (*Md*) obtenus après application de la transformée discrète (TOD), est un paramètre important considéré pour procéder à une différenciation entre les signaux PCG.

Pour tous les trois types des signaux PCG étudiés nous allons procéder au calcul de la variance moyenne de tous les coefficients de chaque niveau de détail (*d1* à *d7* ou *d8*). Une courbe représentant la variation de ces moyennes de variance en fonction des différents niveaux de détail sera tracée. Une comparaison entre les courbes obtenues pour les différents signaux PCG permettra de distinguer la différence existant entre ces signaux et par suite de s'assurer de la sévérité pathologique.

On pose :

$$Md = \frac{\sum_{i=1}^N d_{ij}}{N} \quad (4)$$

Avec : d_{ij} ième Coefficient de détail parmi *N* du niveau « *j* ».

Md : Moyenne des coefficients de détail le long du niveau *j*.

Dans ce contexte la figure suivante : **Figure. 6** représente la variation de la variance moyenne des coefficients des détails pour deux types des signaux PCG étudiés.

Les résultats fournis par cette figure, font ressortir clairement les différences pouvant exister entre ces signaux. La courbe du cas « *IM* », figurée sous la figure : **Figure. 6. (a)**, se rapproche beaucoup plus du cas normal « *N* » que celle du cas « *CA* ».

Ces résultats confirment bien ce qui a été trouvé par l'erreur de reconstruction, est donc le cas « *IM* » est une pathologie moins sévère que le cas « *CA* ».

Du même la variation de la variance moyenne des coefficients des détails pour les trois signaux PCG à click est présentée sous la figure : **Figure. 6. (b)**, font procéder clairement les dissimilarités pouvant exister entre ces trois signaux.

Les deux signaux (*OS* et *S*) qui présentent un click peu sévère, possèdent des courbes qui se rapprochent beaucoup

plus que celle du cas (*AG*) qui a un click léger. Ainsi ils possèdent des valeurs maximales de la moyenne de la variance estimées environ de **0.0056** et **0.0043** sous le même niveau *d7*. Ceci signifie que ces deux signaux (*OS* et *S*) peuvent être classifiés sous le même groupe et par conséquent possèdent le même degré de sévérité.

Donc l'analyse par le calcul de la moyenne de la variance des coefficients de détails (*Md*), confirme la validité du choix de ce paramètre comme étant un paramètre d'analyse et de classification puisqu'il est lié en même temps à la nature et à l'importance du souffle étudié.

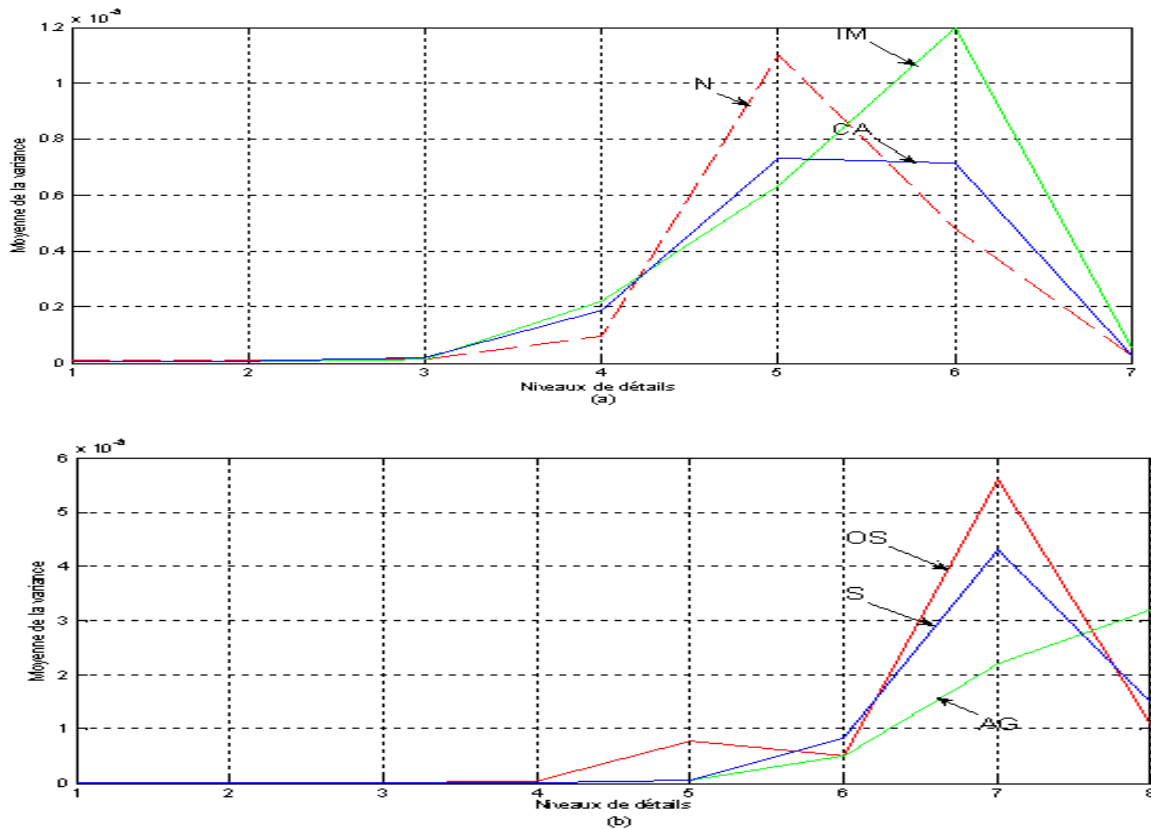


Fig. 6 Moyenne de la variance des coefficients de détails pour chaque niveau de décomposition par application de la transformée d'ondelette discrète : TOD.

V. CONCLUSION

L'application de la transformée discrète en ondelettes dans l'analyse des signaux phono cardiogrammes (**PCG**), peut s'avérer être très satisfaisante vu qu'on a pu grâce aux différents paramètres analysés mettre en évidence les différences des caractéristiques des deux groupes sous études. Le calcul de : la moyenne de la variance des coefficients de détails et l'erreur de reconstruction, et selon les mesures effectuées et obtenues apparaissent comme étant des paramètres très important à prendre en considération dans la classification des signaux **PCG**, leurs variations sont immédiatement liées à l'importance croissante du souffle donc à la sévérité mais pas de la pathologie étudiée elle-même.

REFERENCES

- [1] Beya, O. Bushra, J. Fauvet, E. and Laligant, O. Lew, L. Application de l'EMD sur des signaux cardiaques, CNRIUTLille, 2009.
- [2] landrin Patrick Flandrin, Temps-fréquence, Edition Hes, collection traitement du signal, 1998.
- [3] S. Mallat, Multiresolution approximations and wavelets orthonormal bases of $L_2(\mathbb{R})$, Trans Amer.Math. Soc., 315 : 69-87, septembre 1989.
- [4] Landrin Patrick Flandrin, Temps-fréquence, Edition Hes, collection traitement du signal, 1998.
- [5] Yves Meyer. Les ondelettes : Algorithmes et applications. Edition Armand Colin, 1994.
- [6] Bruno Toresani, Analyse continue par ondelettes. CNRS Editions, 1995.
- [7] S.M DEBBAL – F BEREKSI-REGUIG, Second cardiac sound: in Medicine and Biology (JMMB), ISSN: 0219-5194, Vol 5, N° 3, September 2005.
- [8] S.M DEBBAL – F BEREKSI-REGUIG, Time-frequency analysis of the second cardiac sound in phonocardiogram, Journal of Medical Physics; 32(9); pp 2911-2917, September 2005.

LOCAL COMPARISON OF MULTIMODAL MEDICAL SURFACES USING A COMPOUND REGISTRATION-RECONSTRUCTION ALGORITHM

Ahmad Almhdie-Imjabber, Mohamed Deriche, Ahmad B. Aburrrhman and Christophe Léger

Abstract— In this paper, we propose a compound registration-reconstruction algorithm for the local comparison of medical surfaces. The registration step is required since the two surface absolute orientations are not known. In this step, the comprehensive iterative closest point (CICP) registration algorithm is used. The CICP provides more reliable estimation of the transformation parameters, compared to the original ICP algorithm. The reconstruction step is essential because of the irregularity of the data or the limited number of the data available from certain imaging systems. In this step, the modified variational splines fitting (MVSF) algorithm is used. The MVSF algorithm presents the advantage to use high precise and low complex approximation of the equations of energy in the discrete temporal domain, compared to previously presented methods. It also takes into account the periodicity constraints encountered when reconstructing sphere-like shape closed surfaces. Moreover, it gives straightly the mean square error (MSE) between the original data and the reconstructed data, which is useful to quantify the local differences between the 3D surfaces. The developed model has been successfully applied for real biomedical data; in particular for the comparison of the left ventricle of human heart, acquired by SPECT and ultrasound imaging modalities.

Index Terms— Local comparison, multimodal, surface registration, surface reconstruction.

I. INTRODUCTION

LOCAL comparison of 3D surfaces is a major area of research in medical imaging, including the validation of new imaging techniques, the fusion of images from different imaging modalities ...etc. Surface reconstruction is a step generally carried out before comparing or representing/

visualizing discrete data sets. It is essential when the two data sets to be compared present dissimilar numbers of samples, different sampling processes, or missing samples (sparse data). These cases are commonly encountered in medical imagery, and particularly in the comparison of data obtained from several imaging modalities [1]. Hence, it is necessary to carry out resamplings, using interpolation and/or smoothing methods.

Surface reconstruction and smoothing methods are widely used in practice to best estimate the original surface represented by a scattered noisy point. For instance, the number and the distribution of the initial samples of an organ surface lead to incomplete meshes. Stacks of two-dimensional contours can also be used to reconstruct three-dimensional surfaces [2].

The problem of surface reconstruction can be solved using a variety of techniques. The finite element method is one of these techniques. An example of this method is the use of Voronoi diagram and Delaunay triangulation [3] to find the topological connection of the sample points. Fourier-based interpolation methods [4], to mention a few, are also used in the domain of surface reconstruction.

Another type of reconstructing smooth surfaces relies on the finite difference methods using deformable models [5] such as thin plate model [6]. The main idea is to create an initial mesh and deform it to best match the range input data. This is usually expressed as an energy minimisation problem. There are two forces that formulize the final shape of the reconstructed surface. One attracts the surface towards the input data and the other tries to keep the surface smooth. These methods are generally computationally inexpensive but comparably more sensitive to number of missing points. The former approach was selected for further study in this work as it is generally more appropriate for smooth surfaces such as surfaces of left ventricle (LV) of heart. In general, methods based on deformable models give nice smooth surfaces but are computationally expensive and complex. We present in this work a faster and less complex algorithm compared to a

Ahmad. Almhdie-Imjabber is with University of Sebha, Libya. He is also a member of the ISTO Institute, CNRS, 1A, rue de la Férollerie, 45071 Orleans, France (+33 238-255-380, ahmad.almhdie@univ-orleans.fr).

Mohamed Deriche is with the EE Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, 31261, Saudi Arabia.

Ahmed B. Aburrrhman is with EE Departement, University of Sebha, Libya.

C. Leger is with the PRISME Laboratory, University of Orleans, 12 rue de Blois, BP 6744, 45067 Orléans Cedex 2, France.

previous algorithm proposed by Richard Szeliski. The reconstruction step makes it easier to compare medical surfaces obtained by different modalities or at different time or position.

The surfaces should commonly be registered before they can be compared. Variants of the ICP algorithm have widely been used for the estimation of rigid transformation parameters of 3D closed surfaces, such as the envelope of the left ventricle of heart. For instance, the CICP has been proven to be robustness to Gaussian noise and efficiency in terms of precise estimation of registration parameters.

II. DESCRIPTION OF LV DATA

In this work, data consist of two sequences of surfaces of the left ventricle (LV) of the heart reconstructed within a cardiac cycle. Examinations were carried out on the same patient using successively two medical imaging modalities within a short period of time, in order to assume that the LV deformations are reproducible and hence medical comparisons would be applicable. The first sequence is composed of eight LV surfaces obtained after automatic segmentation from nuclear medicine imaging (NMI), known to be a "gold standard" examination for cardiac observation.

The second LV sequence is provided by a multidimensional ultrasound technique (US) called LV4D for Left Ventricle in 4 Dimensions [4] [9], previously proposed by the authors. The objective was to use the NMI examination to validate this ultrasound method. The closed incomplete LV surfaces are first developed to a rectangular domain of size (I, J) , with $I = [-\pi/2, +\pi/2]$ and $J = [0, 2\pi]$. The transformation between the two domains, spherical $S(x, y, z)$ (Figure 1a) and rectangular $D(\theta, \varphi)$ (Figure 1b), is obtained by using the following relations: $x = \cos(\theta) \cos(\varphi)$, $y = \cos(\theta) \sin(\varphi)$, $z = \sin(\theta)$.

The associated surface of the spherical representation is identical to that of the rectangular surface. The samples of the developed surface are duplicated in (θ, φ) and placed in a doubly periodic grid according to these two variables. When the number of samples is too high (or the sampling grid is of reduced size), several samples $\{p_i(\theta_i, \varphi_i)\}$ may correspond to the same element (i, j) in the grid. In this case, the average of these samples is taken at this position. By the same way, to reduce artefacts in $\theta = \pm\pi/2$, the average of samples available for each of these values of θ is assigned to all values of corresponding φ . In fact, the radius at the vertices of the closed surface are the same whatever the values of φ . In contrast, a sampling grid of large size, or a poor distribution of the initial samples of the reconstructed surface generates an incomplete grid. Each missing value is then set to zero and its position is saved.

III. METHOD

In order to locally compare the given LV surfaces, two

processes should be applied: registration and interpolation.

A. Registration using CICP algorithm

The registration step is required since the two surface absolute orientations are not known. The registration of the two sequences was performed by estimating the parameters of translation and rotation for each pair of corresponding surfaces of the two data sets using the CICP algorithm [10]. The sequence of surfaces obtained by scintigraphy served as a « reference », while the sequence of surfaces generated by ultrasound constructed the « target » data.

The CICP algorithm is recently developed in our institution as a method of surface registration. Although more details on this variant of the well-known ICP algorithm can be found in [10], we recall here its general functionality. Let us assume that the given two surfaces to be registered can be described as point sets; the scene data points, P , with N_p points, $\{p_i, i=1, \dots, N_p\}$, and the reference data points, M , with N_m points, $\{m_j, j=1, \dots, N_m\}$. Depending upon the sampling of the surfaces, N_p is not necessarily equal to N_m . Furthermore, the point p_i of the scene surface does not necessarily represent exact 3D correspondence to the point m_i of the reference surface. However, the search space is determined by the size of the scene data set; i.e., N_p . The CICP algorithm can be summarized as follows:

Initialization:

- 1) Let the initial scene surface P_0 , be equal to P .
- 2) Define the maximum number of iterations k_{max} .
- 3) Initialize the translation vector T and the rotation matrix R

with the initial coefficient of the translation vector and rotation matrix set as follows: $t_u = 0$, $r_{u,v} = 0$ if $u \neq v$, and $r_{u,u} = 1$, $u = 1, 2, 3$, $v = 1, 2, 3$. This corresponds to zero translation and no rotation.

Iterations:

- 1) For each point $p_i \in P$, ($i = 1, \dots, N_p$), the algorithm computes the Euclidian distance $d_{i,j}$ to each point $m_j \in M$, ($j = 1, \dots, N_m$). Then, for N_p times, the algorithm:
 - a. looks for the location (i, j) that corresponds to the minimum distance $d_{i,j}$ in the current look up matrix,
 - b. assigns p_i to m_j as a correspondence pair j ,
 - c. removes this correspondence pair from future consideration.
- 2) Using the selected correspondence pairs, compute the transformation parameters (rotation (R) and translation (T)) that minimize the mean square error (MSE) of the estimated correspondence pairs.

Different close-form solution techniques such as quaternion [11] or single value decomposition [12] can be used for the estimation of the transformation parameters. The resulting transformation from the minimization of the above equation at step k will be denoted R_k and T_k . This step also provides the

minimum distances which correspond to the matched pairs.

3) Compute $\mathbf{P} = \mathbf{R}_k \times \mathbf{P}_0 + \mathbf{T}_k$ and restart a new iteration if the change in the MSE is above a predefined threshold and if the maximum number of iterations k_{max} is not reached. If not, stop the iterations and exit.

B. Interpolation using MVSF algorithm

In [7], the author proposed to use a deformable model (here we call it VSF) to estimate the missing points. In this model, the problem is formulated as an optimization one. The function to be minimized is written.

$$E(\mathbf{x}) = E_d(\mathbf{x}) + \lambda E_s(\mathbf{x}) \quad (1)$$

where $\mathbf{X} = [\mathbf{X}_{i,j}]$, ($i = 0 : N-1$, $j = 0 : M-1$) are the mesh regular points of the reconstructed surface, i and j indicate spatial positions. This function includes two constraints: the data compatibility constraint $E_d(\mathbf{X})$, and the smoothness constraint $E_s(\mathbf{X})$. The above formulation is usually expressed as an energy minimisation problem where an attracting force draws the mesh towards the sparse data « $E_d(\mathbf{x})$ » and a tension in the mesh keeps the surface smooth « $E_s(\mathbf{x})$ » [2]. λ ($\lambda > 0$) is the regularization parameter which is used to adjust the closeness of the fit between the surface and the sparse data set. This parameter depends on the sparse data set and can be estimated using a generalised cross validation technique. In general, as λ increases, the reconstructed surface becomes smoother. However, the probability of error between the original sparse samples and their corresponding estimated ones becomes higher. For very high values of λ , ($\lambda \rightarrow \infty$), the fitted surface tends towards a flat one. As λ tends to zero, this probability becomes smaller, but the reconstructed surfaces might no longer be smooth.

The data compatibility constraint measures the distance between the original sparse points and the interpolated smooth surface. The energy expression corresponding to the data compatibility constraint can be written as:

$$\epsilon_d(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_i w_i (f(u_i, v_i) - d_i)^2 \quad (2)$$

The discrete form is:

$$E_d(\mathbf{x}, \mathbf{d}) = \frac{1}{2} \sum_{(i,j)} \mathbf{w}_{i,j} (\mathbf{x}_{i,j} - \mathbf{d}_{i,j})^2 \quad (3)$$

where $\mathbf{x}_{i,j}$ stands for the discrete values of $f(u, v)$: $\mathbf{x}_{i,j} = f(u_i, v_j)$, $\mathbf{d}_{i,j}$ ($\mathbf{d}_{i,j} = 0$ at missing points) are the sparse samples of the original incomplete surface and the weights $w_{i,j}$ ($w_{i,j} = 0$ at missing points) are inversely related to the variance of the measurements. The higher the weights, the better the reconstructed surface fits the original sparse samples. In this case, the data compatibility constraint over influences the overall energy function and the reconstructed surface become no longer smooth.

Reassembling all mesh points into a vector \mathbf{x} , one can rewrite equations (3) in a matrix form. The energy corresponding to the data compatibility constraint becomes:

$$E_d(\mathbf{x}, \mathbf{d}) = \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{d})^T \mathbf{A}_d (\mathbf{x} - \mathbf{d}) \quad (4)$$

where \mathbf{d} is a zero-padded vector of data values and the diagonal matrix \mathbf{A}_d has entries w_i at which the data coincide with the sparse data points and zeros elsewhere. In particular, this allows treating problems with missing or unknown data. Using the thin plate model, the energy function corresponding to the smoothness constraint can be written in continuous form as:

$$\epsilon_s(f) = \frac{1}{2} \iint (f_{uu}^2 + f_{vv}^2 + 2f_{uv}^2) du dv \quad (5)$$

where $f: f(u, v)$ is the smoothed continuous functional of the interpolated surface in u and v directions; and the subscripts uu , vv and uv indicate partial derivatives.

In this work, a more accurate derivation process is proposed to get the discrete energy corresponding to the above continuous function (5). In particular, we propose to take into consideration higher element components of the corresponding two-variable Taylor formula. The discrete corresponding function is obtained by:

$$E_s(\mathbf{x}) = \frac{h_u h_v}{2} \sum_{i,j} \left[\left(\frac{\mathbf{x}_{i+1,j} - 2\mathbf{x}_{i,j} + \mathbf{x}_{i-1,j}}{h_u^2} \right)^2 + \left(\frac{\mathbf{x}_{i,j+1} - 2\mathbf{x}_{i,j} + \mathbf{x}_{i,j-1}}{h_v^2} \right)^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{\mathbf{x}_{i+1,j+1} - \mathbf{x}_{i+1,j-1} - \mathbf{x}_{i-1,j+1} + \mathbf{x}_{i-1,j-1}}{h_u h_v} \right)^2 \right] \quad (6)$$

where $h_u = |\Delta u|$ and $h_v = |\Delta v|$ are the step sizes of the regular mesh of the reconstructed surface in the u and v directions respectively.

Compared to Szeliski's approximation which is a biased forward approximation, the main advantage of the expression given in equation (6) is its accuracy in using the 4 diagonal points to approximate the crossed second-order derivative at position (i, j) .

Reassembling all mesh points into a vector \mathbf{X} , we can rewrite equation (6) in a matrix form. The energy corresponding to the thin plate model can also be written in compact form as:

$$E(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{A}_s \mathbf{x} \quad (7)$$

where the *stiffness* matrix \mathbf{A}_s is a sparse matrix block diagonal matrix. The matrix \mathbf{A}_s has at most 13 non-zero entries per row, as discussed in [7].

However, when periodicity is imposed upon the stiffness matrix \mathbf{A}_s , all rows would then have 13 non-zeros entries. Note that such periodicity constraint is appropriate when

considering spherical coordinates used in describing human organs. The resulting stiffness matrix has a homogeneous structure and can be easily coded. It has been constructed following the method proposed by [8].

Using equations (4) and (6), the combined discrete energy expression can hence be written in matrix form as:

$$E(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{x}^T \mathbf{b} + c \quad (8)$$

where $\mathbf{A} = \lambda \cdot \mathbf{A}_s + \mathbf{A}_d$, $\mathbf{b} = \mathbf{A}_d \cdot \mathbf{d}$ and c is a constant that may be omitted in the minimization process. This energy function has a minimum at $\mathbf{x} = \mathbf{x}^*$, which is the solution of the following linear system that is obtained via the Euler equation:

$$\mathbf{A} \mathbf{x}^* = \mathbf{b} \quad (9)$$

since \mathbf{A} is a strictly positive matrix. The above set of linear equations is, hence, a high dimension homogeneous positive definite system, that can be solved using the conjugate gradient method, thanks to the strict positivity of the matrix \mathbf{A} . Our approximation is found to lead to better performance compared to that used in original VSF algorithm.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The previously described registration and interpolation methods were used in order to locally compare the sets of LV surfaces.

First, the registration step is required since the two surface absolute orientations are not known. The registration of the two sequences was performed by estimating the parameters of translation and rotation for each pair of corresponding surfaces of the two data sets using the CICP algorithm [10]. The sequence of surfaces obtained by scintigraphy served as a «reference», while the sequence of surfaces generated by ultrasound constructed the «target» data.

The second step consists in interpolating the registered LV surfaces. This step is essential because of the irregularity of the data, the limited number of the available data, or even the absence of certain samples. The resampling of data was implemented to visualize the local differences of the compared surfaces. It was produced by the MVSF algorithm, Figure 1c, after transformation of the Cartesian coordinates of the samples of original surfaces into spherical coordinates, Figure 1b.

Figure 2c presents an NM reconstructed surface of the left ventricle of heart using the proposed MVSF algorithm, before and after registration using CICP algorithm. A color coding allows cartographing the distances between the surfaces obtained by the two modalities by visually local differences between the two registered surfaces.

From the medical point of view, the results presented in this study show that the surface provided by the LV4D method are close to the reference gated SPECT surface. Actually, for all considered surfaces, the coding of colors remains in average around the homogeneous light blue – green – yellow colors,

indicating low radial distance between the two LV surfaces. These results validate the ultrasound LV4D method as an alternative to the reference gated SPECT examination.

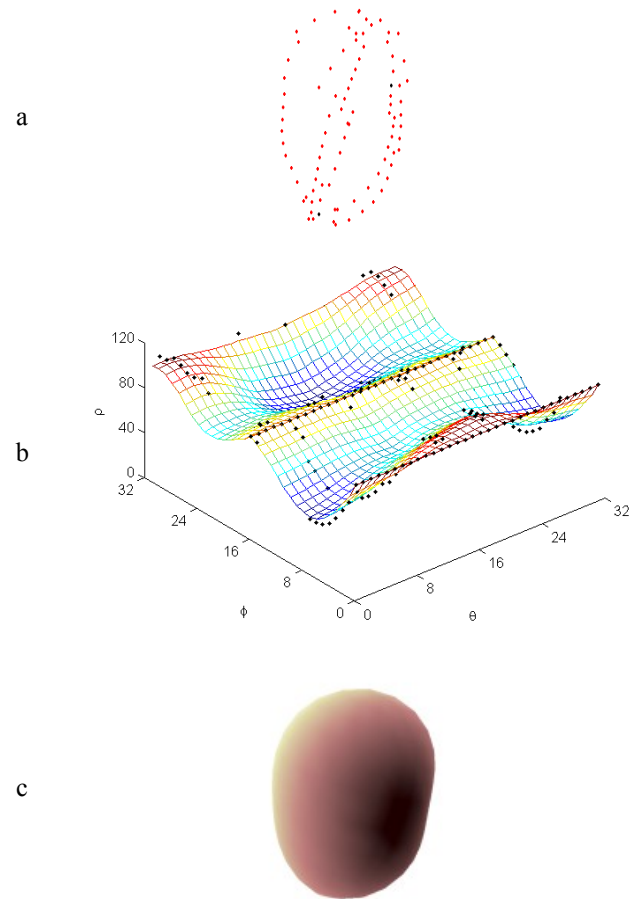


Figure 1: Samples of a closed surface of a LV of heart (a). Reconstruction of surfaces by MVSF algorithm (b). Corresponding closed surface (c).

V. CONCLUSION AND PERSPECTIVES

The MVSF algorithm can be used to reconstruct closed surfaces of an organ of the human body, such as the left ventricle of the heart. It gives more precise surface reconstructions and is faster compared to its original VSF algorithm. However, the major drawback of both methods is the size of the rigidity matrices which increases in proportional to the square of the desired mesh. In fact, moving from a mesh of samples of 32×32 to a mesh of 64×64 results in moving from a dimension of stiffness matrix of 1024×1024 ($\sim 10^6$) elements to 4096×4096 ($\sim 16 \times 10^6$). The size of the handled matrices, for a relatively small number of samples (4096) compared to the possibilities offered today by the medical imaging equipment, is an obstacle to the use of these variational splines based methods.

There exist already multi-scale methods to address this

problem. Concerning the structure matrix presented in this work, it seems interesting to investigate whether a direct method, which would not require intermediate excessive storage, could not be developed to solve the linear system of equation (9).

Another research perspective could be to develop a 3D version of the MVSF algorithm in order to eliminate the step of converting Cartesian coordinates into spherical coordinates to convert closed surfaces into developed surfaces. Finally, it would be interesting to implement automatic methods to estimate the parameters of considered algorithms.

Using a reliable extension of the classical splines smoothing SVF method, the work presented in this paper describes a comparison technique based on color representation of the radial distances between two corresponding surfaces, projected on the surface of reference. It has been successfully applied to highlight differences between corresponding LV surfaces obtained starting from ultrasound and gated SPECT examinations. Finally, it was shown that the original LV4D method provides reconstructions of the LV surfaces equivalent to the surfaces obtained from gated SPECT, "gold standard" examination in the field of dynamic cardiac reconstruction. This result has a great medical interest, since the new method could be used as a promising alternative to the gated SPECT examination, taking all the benefits of the ultrasound modality: non invasive method, no radioisotope exposition, no contraindication, cost less expensive, mobile system.

The study presented can be extended to measure the differences between closed or developed corresponding surfaces (images). Then, it can be used to compare different reconstructions of a unique surface, or to compare a unique reconstruction of different surfaces. Additional work must be carried out to confirm the preliminary promising results. Particularly, focus should be done to improve the accuracy of samples that characterize the observed surfaces.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank Dr. Long-Dang Nguyen, The cardiology service of the Regional Hospital of Orleans, for his interest and involvement in this study.

REFERENCES

- [1] [1] O. Garcia and A. Susin, "Left ventricle's surface reconstruction and volume estimation", Terceres jornadas de recerca en Enginyeria Biomèdica, Spain, 2002.
- [2] [2] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, and W. Stuetzle, "Surface reconstruction from unorganized points", the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1992.
- [3] [3] S. Gao and H.-Q. Lu, "A Fast Algorithm for Delaunay based Surface Reconstruction", the 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, China, 2003.
- [4] [4] C. Bonciu, R. Weber, and C. Léger, "4D reconstruction of the left ventricle during a single heart beat from ultrasound imaging", Image Vision Computing., 2001, vol. 19, pp. 401-412.
- [5] [5] Y. Wang and J. Wang, "Surface reconstruction using deformable models with interior and boundary constraints", IEEE Transaction. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1992, vol. 14, pp. 572-579.
- [6] [6] R. Enciso, J. P. Lewis, U. Neumann, and J. Mah, "3D Tooth Shape from Radiographs using Thin-Plate Splines", the 11th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference, Newport Beach, California, 2003.
- [7] [7] R. Szeliski, "Fast surface interpolation using hierarchical basis functions", IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1990, vol. 12, pp. 513-528.
- [8] [8] L. Sainsaulieu, Calcul Scientifique: Masson, 1996.
- [9] [9] C. Léger, "Contribution à l'échocardiographie multidimensionnelle", Habilitation à Diriger des Recherches, Université d'Orléans, 2004.
- [10] [10] A. Almhdie, C. Léger, M. Deriche, and R. Lédée, "3D Registration Using a New Implementation of the ICP Algorithm Based on A Comprehensive Lookup Matrix: Application to Medical Imaging", Pattern Recognition Letters, 2007, vol. 28, pp. 1383-1592.
- [11] [11] B. Horn, "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions," Optical Society of America, vol. 44, pp. 629-642, 1987.
- [12] [12] Arun, T. Huang, and S. Blostein, "Least-squares fitting of two 3-D point sets," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 9, pp. 698-700, 1987.

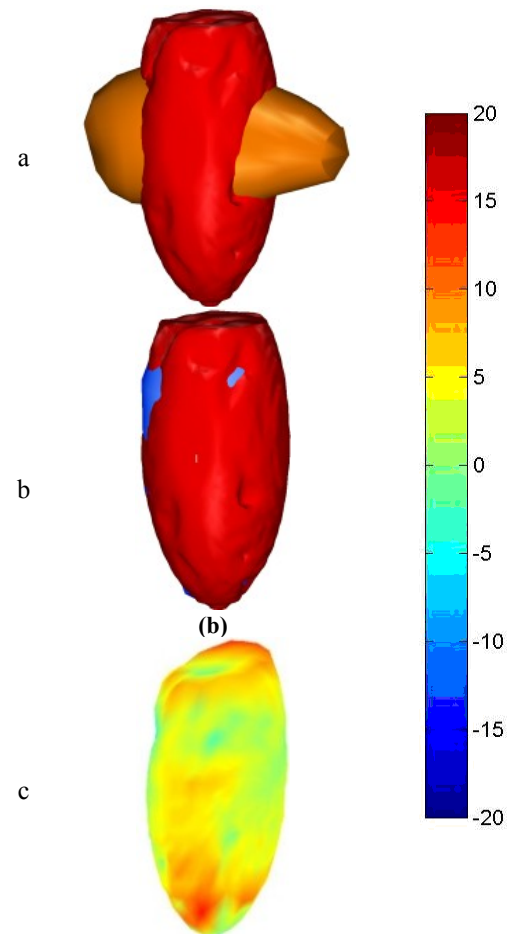


Figure 2: Local comparison of two LV registered surfaces (c), acquired from gated SPECT (in red color) and ultrasound (in brown color before registration (a) and in blue color after registration (b)).

Système de détection et de suivi des objets en mouvement dans une vidéo de surveillance

B. FAROU and H. SERIDI

Abstract—Nous allons présenter dans ce papier un système de détection et de suivi des objets en mouvement dans une vidéo de surveillance utilisant une modélisation de l'arrière-plan basée sur une mixture de gaussienne. Cependant, les variations locales, les variations dans la luminosité ainsi que la complexité de l'arrière-plan influencent sur les performances de cette méthode. Pour cela, une démarche qui permettra de réduire considérablement ces variations a été proposée. L'image sera d'abord divisée en plusieurs fragments de taille égale. Chaque fragment sera affecté à un agent qui permettra de signaler les changements d'environnement en se basant sur l'analyse des histogrammes. Les parties signalées par les agents guetteurs subiront une mise à jour au niveau du modèle de l'arrière-plan.

Index Terms— vidéo surveillance, mixture de gaussienne, modélisation de l'arrière-plan, traitement d'images.

I. INTRODUCTION

AFIN de combattre le crime et le terrorisme, la vidéo surveillance est devenue un outil très utilisé dans les banques, les administrations, les stations de service et même dans les rues et les parcs publics [1] [2]. Les infrastructures existantes des systèmes de surveillance actuelles offrent seulement la possibilité de capturer, de sauvegarder et de distribuer les vidéos [3] afin de les traiter manuellement par des policiers ou par des agents spécialistes dans la détection des anomalies et des comportements suspects des humains. Ce domaine a connu une expansion en termes de méthodes utilisées pour résoudre le problème de la vidéo surveillance dans ses différents niveaux [4] [5], à savoir la segmentation, la détection, la reconnaissance et le suivi des objets en mouvement. Ce processus commence d'abord par l'extraction des objets qui n'appartiennent pas à l'arrière-plan [6]. Pour cela la méthode la plus couramment utilisée est la modélisation de l'environnement [7]. Dans la littérature ces approches se divisent en trois parties : les méthodes d'extraction de l'arrière-plan qui sont basées sur la comparaison entre l'image actuelle et l'image de référence [8], la différence temporelle qui permet de découper la vidéo en un ensemble de fragments

séparés dans un laps de temps constant et l'utilisation du flot optique qui permet d'estimer les mouvements grâce à un ensemble de points similaires d'un objet à travers plusieurs fragments [8] [9]. La deuxième étape consiste à classer les objets extraits de la première étape. Cette phase utilise des techniques telles que la détection des contours et les descripteurs spécifiques d'un objet [8] [9]. La troisième étape est le suivi des objets à travers la scène.

Les mixtures de gaussiennes sont parmi les méthodes les plus utilisées pour la modélisation de l'environnement [10]. Elles permettent de donner des résultats extraordinaires dans le cas où la vidéo ne contient pas de variation locale où un changement de luminosité [10]. L'apprentissage d'un arrière-plan encombré et contenant plusieurs objets en mouvement reste le problème majeur de cette méthode [10] [11].

Dans ce papier, nous allons nous intéresser à la détection et le suivi des objets en mouvement dans une vidéo de surveillance à travers une caméra fixe et en utilisant les mixtures de gaussiennes. Pour pallier le problème de la variation locale, nous avons proposé un système qui permet d'abord la segmentation de l'image initiale en plusieurs zones de taille égale. Chaque zone sera affectée à un agent qui permet de détecter les changements au niveau de la zone. Seuls les segments qui ont subi un changement seront mis à jour par les GMM.

II. PROPOSITION DU SYSTEME

Dans cette partie nous allons présenter notre système et détailler et les modules qui le compose.

A. Prétraitement

Cette phase permet de transformer la vidéo capturée en un ensemble de frames ou chaque frame représente une séquence de la vidéo. Les images extraites de la vidéo sont en mode RGB, mais cette représentation n'est pas adéquate à cause de l'influence de la luminosité sur la description des objets [12]. Pour cela nous avons effectué un transfert vers le modèle HSV reconnue d'être le modèle le plus proche de la perception humaine et qui garantit un meilleur résultat vue que la luminosité n'affecte qu'un seul composant [12]. Ensuite, une transformation au niveau de gris est effectuée afin de créer une image de couleur uniforme pour les traitements ultérieurs.

Manuscript received October 30, 2011.

B. FAROU is with LabSTIC Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, farou@ymail.com.

H. SERIDI is with the LabSTIC Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria, seridihamid@yahoo.fr.

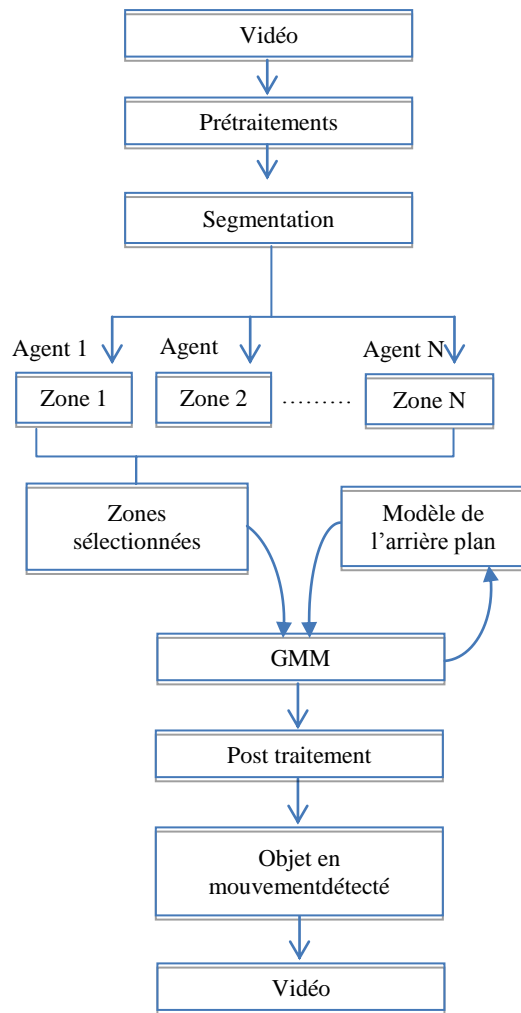


Figure.1 Schéma du système propose

B. Segmentation

Dans cette partie du système, l'image est divisée en N segments de même taille pour minimiser les variations locales et pour simplifier la tâche des agents guetteurs. Le choix du nombre de segments varie selon la taille initiale des images, de l'environnement, et du domaine d'utilisation. La sur segmentation inflige une baisse des performances et une sous segmentation une baisse de qualité ce qui implique que le choix du nombre de segments doit être un compromis entre la performance et la qualité.

C. Les agents

Nous avons utilisé les agents pour accélérer les opérations et pour simplifier les actions. En effet, chaque agent aura comme rôle la surveillance du comportement de la zone à laquelle il a été affecté. Dès l'attribution d'un agent à une zone celui-ci va créer et sauvegarder l'histogramme de cette dernière dans sa mémoire. Ainsi à chaque nouveau traitement, l'agent permet de détecter les changements au niveau de la zone en comparant l'état actuelle de l'histogramme avec l'état mémorisé. Si la comparaison est inférieure à un certain seuil T,

l'agent déclenche un signal indiquant la détection d'un changement au niveau de la zone.

D. Les mixtures de gaussiennes

Nous allons donner dans cette partie une brève description de la méthode des mixtures de gaussiennes. Cette méthode décrit la probabilité d'observer la valeur d'un pixel P_t dans le temps t suivant la formule suivante [13] :

$$P(P_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} \eta(P_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

Où

k : est le nombre de gaussiennes associées à chaque pixel.

$w_{i,t}$: Le poids calculé pour la $i^{\text{ème}}$ gaussienne dans le temps t .

$\mu_{i,t}$: La moyenne de la $i^{\text{ème}}$ gaussienne dans le temps t .

$\Sigma_{i,t}$: La matrice de covariance de la $i^{\text{ème}}$ gaussienne dans le temps t .

Pour la mise à jour du modèle, on utilise l'algorithme d'approximation K-Means[13] [14]. Chaque valeur d'un nouveau pixel est vérifiée à travers les k distributions de gaussiennes pour déterminer si la distance entre le pixel et chacune des gaussiennes est inférieure à 2.5 selon la formule suivante :

$$\frac{|P_t - \mu_i|}{\sigma_i} < 2.5 \quad (2)$$

L'opérateur $<$ est vrai si toutes les composantes du vecteur à gauche sont inférieures pour toutes les distributions. Cette mesure représente le fond si la $i^{\text{ème}}$ gaussienne explique le fond de l'image, alors les poids des k distributions dans le temps t sont mis à jour selon la formule suivante :

$$w_{k,t} = (1 - \alpha) \cdot w_{k,t-1} + \alpha M_{k,t} \quad (3)$$

Où

α : est le pas d'apprentissage qui permet de déterminer la vitesse d'adaptation du modèle.

$M_{k,t}$: est égal 1 pour la gaussienne qui correspond à l'arrière-plan et 0 pour les autres.

Après la mise à jour des poids, une étape de normalisation est effectuée pour garantir que la somme des poids est toujours égale à 1. Les autres paramètres sont mis à jour selon les formules suivantes :

$$\mu_{k,t} = (1 - \varphi_k) \cdot \mu_{k,t-1} + \varphi_k \cdot P_t \quad (4)$$

$$\sigma_{k,t}^2 = (1 - \varphi_k) \cdot \sigma_{k,t-1}^2 + \varphi_k (P_t - \mu_{k,t})^T (P_t - \mu_{k,t}) \quad (5)$$

Où

$$\varphi_t = \alpha \eta(P_t / \mu_k \sigma_k)$$

Les paramètres des autres distributions restent les mêmes. Si aucune distribution ne vérifie la formule 2 le pixel est associé au 1^{er} plan. La gaussienne ayant le plus petit poids est

remplacé par la moyenne, la variance et le poids du pixel courant suivant les formules suivantes :

$$\sigma_k^2 = \sigma^2 \quad (7)$$

$$w_k = \varphi_t \quad (8)$$

$$\mu_k = P_t \quad (9)$$

Pour décider si P_t est inclus dans l'arrière-plan, les distributions sont ordonnées selon la valeur $w_{k,t}/\sigma_{k,t}$ est les premières β distributions qui vérifions la formule 10 sont choisis.

$$\beta = \arg \min(\sum_{k=1}^b w_{k,t} > T) \quad (10)$$

Où T détermine la proportion de données minimum correspondant à l'arrière-plan.

Pour obtenir un arrière-plan stable, nous avons utilisé les 100 premiers frames pour l'apprentissage des mixtures de gaussiennes.

E. Post traitement

Le post traitement permet de corriger les erreurs commises dans l'étape précédente. En effet, l'extraction de l'arrière-plan laisse un nombre important de bruit et de trous, ce qui influence sur les algorithmes de segmentations et sur le comportement du système. Pour cela nous avons proposée comme post traitement une dilatation et une érosion. La dilatation permet de boucher les trous laissés à l'intérieur des objets, tandis que l'érosion permet d'éliminer les points indésirables générés par la présence de poussière ou par un changement infime de luminosité.

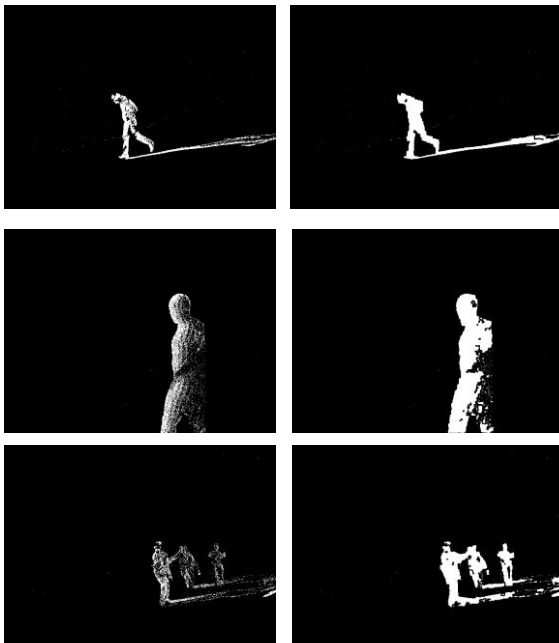


Figure.2 Résultat des opérations morpho mathématique sur les objets.

La figure 2 montre que ces opérations sont nécessaires pour améliorer les images après l'extraction de l'arrière-plan permettant de mieux détecter les contours des objets et simplifiant les autres tâches du système.

F. Suivi des objets en mouvement

C'est la localisation spatiale et temporelle d'un objet au cours d'une séquence vidéo, où un objet est un ensemble de pixels dépeignant la même représentation sémantique (ex : une voiture, un visage, un personnage...). Schématiquement, le principe consiste à extraire de l'objet des caractéristiques que l'on va s'efforcer de retrouver à chaque image de la séquence vidéo. Pour réaliser le suivi, nous avons effectué une localisation et un cadrage des objets à travers l'analyse des histogrammes de projection horizontale et verticale. En utilisant un processus itératif, nous essayons à chaque étape de segmenter l'image en partie suivant le nombre de pics entre deux minimums d'un histogramme. Nous appliquons à chaque partie le même processus jusqu'à l'obtention d'une tranche non segmentale. Chaque pic entre deux minimums représentera un objet en mouvement.

III. TESTS ET RESULTATS

Les algorithmes présentés dans ce papier sont implémentés sur un ordinateur possédant un processeur Intel Celeron de puissance 1.6 GHz et une capacité mémoire de 1GB.

Cette section cherche à mettre en évidence les résultats obtenus suite aux tests réalisés sur la base de vidéos. Les vidéos utilisées se diffèrent par rapport au contexte, aux fluctuations d'intensité lumineuse, à la richesse en objets, au nombre et nature des personnes, aux mouvements provoqués par les éléments actifs de la nature tels que le vent, les nuages, les poussières, les bruits et aux mouvements de bousclement de la camera.

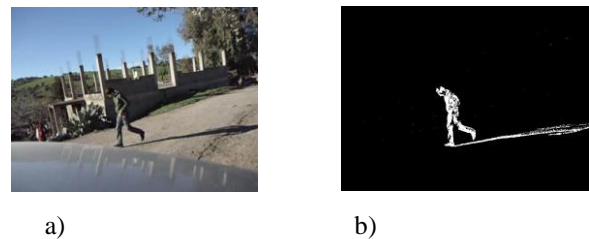


Figure.3 Résultat du système dans un environnement extérieur complexe. a) représente l'image initiale. b) représente l'image après l'extraction de l'arrière-plan.

La figure 3 a été prise dans une maison située dans la montagne où il y a un très grand mouvement de vent et une agitation fréquente des arbres ainsi que l'apparition des objets volants et des animaux. La figure 3 montre que le système donne de très bons résultats dans les milieux naturels où la luminosité et les effets de vents et de poussière influencent sur les autres approches d'extraction.

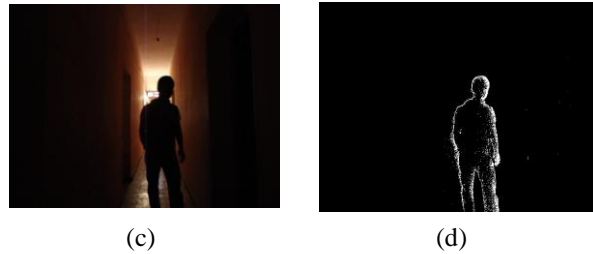


Figure.4 Résultat du système dans un environnement simple et partiellement sombre. c) représente l'image initiale. d) représente le résultat de l'extraction de l'arrière-plan.

La figure 4 a été prise dans un couloir d'une maison avec une lumière très faible. Cette figure montre l'efficacité de notre système dans les environnements partiellement sombre avec de très grandes variations de luminosité causées par les reflets de lumière dans un environnement étroit. Les parties du corps non touchées par la lumière restent non détectées mais la qualité des contours nous permet de récupérer l'objet en mouvement.

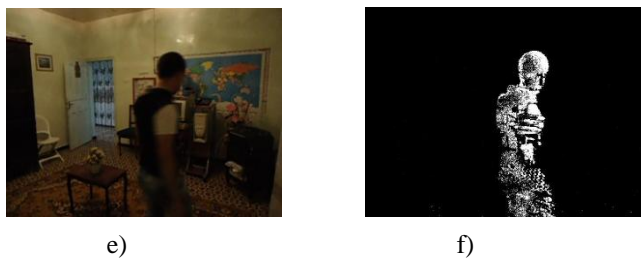


Figure.5 Résultat du système dans un environnement administratif. e) représente l'image originale. f) représente le résultat de l'application de notre approche sur l'image.

La figure 5 a été prise dans une maison avec une décoration similaire à un bureau d'administration. Elle montre que le système est aussi performant dans les environnements administratifs où plusieurs objets immobiles partagent l'espace avec les employeurs.

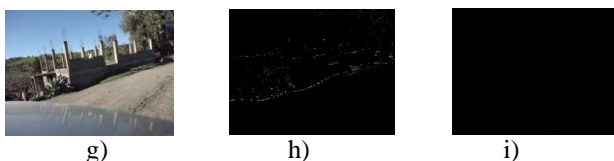


Figure.6 Comparaison entre l'extraction de l'arrière-plan d'une modélisation GMM normale et notre système. g) image originale. h) résultat de l'extraction de l'arrière-plan utilisant un modèle GMM. i) résultat de l'extraction de l'arrière-plan de notre système.

La figure 6 montre clairement l'apport de notre approche par rapport à l'utilisation d'un GMM simple. En effet, l'image de la (fig 6h) montre un ensemble de pixels non traités même après une étape de post traitement. Cet ensemble vient du fait

que les variations locales de luminosité ont influencé sur le modèle d'où la faiblesse des GMM.

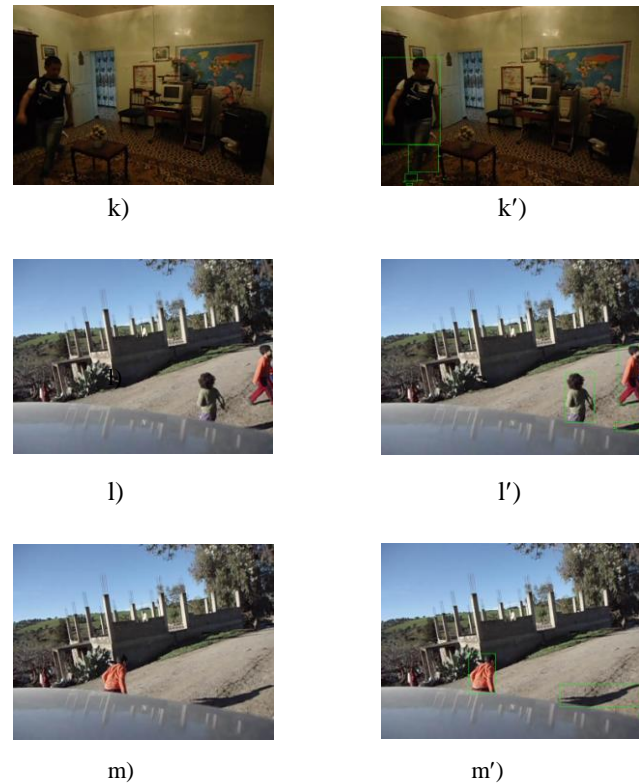


Figure.7 Résultat du suivi d'un individu en mouvement dans un environnement complexe avec des mouvements aléatoires. k, l, m) images originales. k', l', m') suivi des l'objets

La figure (fig 7k) et (fig 7m) montre le suivi d'un individu en mouvement par le système. La figure (fig 7l) montre le suivi de plusieurs individus. Le découpage du triangle qui borne l'individu dans la figure (fig 7k) est provoqué par l'algorithme de localisation des points qui constituent un segment. Les fausses détections sont présentées clairement dans la figure (fig 7m) ou le système détecte l'ombre d'un individu comme un objet en mouvement.

IV. Conclusion

Nous avons présenté dans ce papier un système de détection et de suivi des objets en mouvement en utilisant les mixtures de gaussiennes précédées par une segmentation en zones d'intérêt où chaque zone est surveillée par un agent. Les agents utilisés se comportent comme des threads qui exécutent un algorithme de comparaison des histogrammes des zones pour lesquelles ils sont affectés. Cette proposition de segmenter l'image en un ensemble de zone est due à l'inconvenant majeur des mixtures de gaussiennes à savoir les variations de luminosité et les variations locales. Nous pouvons dire que notre système a obtenu des résultats encourageant par rapport à une modélisation avec une pure GMM, mais il reste encore du chemin à faire pour obtenir un système de perfection similaire à un être humain. Comme

perspective, nous allons essayer d'éliminer les ombres pour un meilleur rendement et de proposer de nouvelles idées.

REFERENCES

- [1] Jinhao Deng; Juan Zhu; , "Research on pedestrian detection algorithms based on video," *Computer Design and Applications (ICDDA)*, 2010 International Conference on , vol.5, no., pp.V5-474-V5-478, 25-27 June 2010 doi: 10.1109/ICDDA.2010.5541031
- [2] Ping Gao; Xiangju Sun; Wei Wang; , "Moving object detection based on kirsch operator combined with Optical Flow," *Image Analysis and Signal Processing (IASP)*, 2010 International Conference on , vol., no., pp.620-624, 9-11 April 2010 doi: 10.1109/IASP.2010.5476045
- [3] Jin-Cyuan Lai; Shih-Shinh Huang; Chien-Cheng Tseng; , "Image-based vehicle tracking and classification on the highway," *Green Circuits and Systems (ICGCS)*, 2010 International Conference on , vol., no., pp.666-670, 21-23 June 2010 doi: 10.1109/ICGCS.2010.5542980
- [4] Bishop, A.N.; Savkin, A.V.; Pathirana, P.N.; , "Vision-Based Target Tracking and Surveillance With Robust Set-Valued State Estimation," *Signal Processing Letters, IEEE* , vol.17, no.3, pp.289-292, March 2010 doi: 10.1109/LSP.2009.2038772
- [5] Woo, H.; Jung, Y.; Kim, J.; Seo, J.; , "Environmentally Robust Motion Detection for Video Surveillance," *Image Processing, IEEE Transactions on* , vol.PP, no.99, pp.1-1, 0 doi: 10.1109/TIP.2010.2050644
- [6] Zhen Li; Zhiqiang Wei; Bo Yin; Xiaopeng Ji; Ruobing Shan; , "Pedestrian Detection Based on a New Two-Step Framework," *Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 2010 Second International Workshop on , vol.3, no., pp.56-59, 6-7 March 2010 doi: 10.1109/ETCS.2010.160
- [7] Hedayati, M.; Zaki, W.M.D.W.; Hussain, A.; , "Real-time background subtraction for video surveillance: From research to reality," *Signal Processing and Its Applications (CSPA)*, 2010 6th International Colloquium on , vol., no., pp.1-6, 21-23 May 2010 doi: 10.1109/CSPA.2010.5545277
- [8] Gyu-Jin Kim; Ki-Yeol Eom; Moon-Hyun Kim; Jae-Young Jung; Tae-Ki Ahn; , "Automated measurement of crowd density based on edge detection and optical flow," *Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA)*, 2010 2nd International Conference on , vol.2, no., pp.553-556, 30-31 May 2010 doi: 10.1109/ICINDMA.2010.5538248
- [9] Saleemi, Imran; Hartung, Lance; Shah, Mubarak; , "Scene understanding by statistical modeling of motion patterns," *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 IEEE Conference on , vol., no., pp.2069-2076, 13-18 June 2010 doi: 10.1109/CVPR.2010.5539884
- [10] Jin Yu; Xuan Zhou; Feng Qian; , "Object kinematic model: A novel approach of adaptive background mixture models for video segmentation," *Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2010 8th World Congress on , vol., no., pp.6225-6228, 7-9 July 2010 doi: 10.1109/WCICA.2010.5554402
- [11] Lijing Zhang; Yingli Liang; , "Motion Human Detection Based on Background Subtraction," *Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 2010 Second International Workshop on , vol.1, no., pp.284-287, 6-7 March 2010 doi: 10.1109/ETCS.2010.440
- [12] Haq, Anwaar-ul; Gondal, I.; Murshed, M.; , "Automated multi-sensor color video fusion for nighttime video surveillance," *Computers and Communications (ISCC)*, 2010 IEEE Symposium on , vol., no., pp.529-534, 22-25 June 2010 doi: 10.1109/ISCC.2010.5546791
- [13] Charoenpong, T.; Supasuteekul, A.; Nuthong, C.; , "Adaptive background modeling from an image sequence by using K-Means clustering," *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2010 International Conference on , vol., no., pp.880-883, 19-21 May 2010
- [14] Huazhong Xu; Pei Lv; Lei Meng; , "A people counting system based on head-shoulder detection and tracking in surveillance video," *Computer Design and Applications (ICDDA)*, 2010 International Conference on , vol.1, no., pp.V1-394-V1-398, 25-27 June 2010 doi: 10.1109/ICDDA.2010.5540833

Diagnostic des systèmes dynamiques en temps réel par MSPCA.

Chakour Chouaib, Ayech Nabil, Harkat Mohamed Faouzi.

Résumé— Dans cet article nous allons présenter une méthode statistique pour le diagnostic des éventuelles défauts en temps réel fondue sur la combinaison de l'analyse en composantes principales et la transformée en ondelette. Ces approches sont potentiellement très efficaces pour la détection et la localisation des défauts et des perturbations dans les processus. Nous présentons dans ce papier l'algorithme de base de modélisation par l'analyse en composantes principale multi-échelles (MSPCA : Multi-Scale PCA) en temps déferé et en temps réel. Ainsi la MSPCA permet d'améliorer nettement la détection des défauts par rapport à l'ACP classique. L'approche MSPCA nous donne la possibilité d'utiliser une méthode souple, simple à mettre en oeuvre pour la localisation des défauts, c'est la MSPCA partielle sans dégradation des signatures expérimentales. La MSPCA est utilisée pour la détection et la localisation des défauts, de tel sorte que les données mesurées sont décomposés en approximation et de détails à différentes échelles. Pour les systèmes dynamiques, l'adaptative MSPCA (utilisant une fenêtre glissante) est développés pour mettre à jour la structure du modèle MSPCA à chaque échelle. Pour illustrer les approches proposées, les résultats de l'application de ces techniques sur le processus chimique Tennessee Eastman (TECP) seront présentés.

Mots clés: Diagnostic, Détection, Localisation, L'analyse en composantes principales multi- échelles, Transformé en ondelette, processus chimique Tennessee Estman.

INTRODUCTION

Il est bien connue que l'accroissement de la complexité sans cesse croissante des systèmes automatique, est accompagnée d'une demande toujours plus forte de la disponibilité et de la sécurité des installations industrielles. Ainsi, cette évolution technologique a contribué au développement de nouvelles procédures de surveillance qui permettent la détection, la localisation et le diagnostic des éventuels défauts. Dans le domaine du diagnostic, des méthodes basées sur le concept de redondance de l'information ont été développées.

Manuscript received September 27, 2011. (Write the date on which you submitted your paper for review.) Paper titles should be written in uppercase and lowercase letters, not all uppercase. Full names of authors are preferred in the author field, but are not required. Put a space between authors' initials.

F. A. Author A is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria (corresponding author phone number and e-mail).

F. A. Author B is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria.

Leur principe repose généralement sur un test de cohérence entre un comportement observé du processus fourni par les capteurs et un comportement prévu fourni par une représentation mathématique du processus. Parmi ses méthodes on trouve l'analyse en composantes principales (ACP), est très intéressantes pour la mise en évidence des corrélations linéaires significatives entre les variables du processus sans formuler de façon explicite le modèle du système. La surveillance avec des modèles de L'ACP linéaire statique et dynamique se limite la détection du défaut mineur. Pour surmonter les limitations de l'ACP statique et dynamique une autre approche appelée l'analyse en composante principale multi-échelles (MSPCA), définie sous forme d'une combinaison entre l'analyse en composantes principales et la transformée en ondelette.

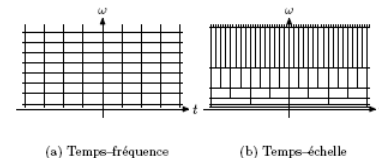
1. TRANSFORMEE EN ONDELETTE

2.1 Qu'est-ce que c'est une ondelette ?

Une ondelette est une forme d'onde de la durée limitée qui a une valeur moyenne zéro, ou les ondelettes sont des ondes localisées par temps court.

2.2 Introduction de l'ondelette

D'un point de vue historique, l'analyse d'ondelette est une nouvelle méthode, après la théorie de base de **Joseph Fourier** au dix-neuvième siècle. L'attention des chercheurs a graduellement tourné de l'analyse basée fréquence à l'analyse basée échelle quand elle a commencé à apparaître clairement que les fluctuations moyennes de mesure d'une approche à différentes échelles pourraient prouver moins sensible au bruit.



La transformée en ondelettes utilise des translations et des dilatations d'une fonction fixe, l'ondelette. Dans le cas de la transformée continue, les paramètres de translation et de dilatation varient de manière continue. En d'autres mots, la transformée utilise les fonctions :

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

Avec $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$, où a sert à dilater (comprimer ou étendre) la fonction, et b sert à la translater (la déplacer selon l'axe des temps).

Quand on analyse un signal $f(x)$ avec ces ondelettes, on le transforme en une fonction de deux variables (le temps et l'échelle d'analyse du signal) qu'on peut appeler $W(a; b)$

$$W(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle$$

que l'on peut également noter :

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\psi_{a,b}(x)} dx$$

2. PRINCIPE DE L'ACP

Initialement, l'Analyse en Composantes Principales est une méthode statistique qui permet de réduire la dimension d'une matrice de données. En effet, elle transforme un premier jeu de données en un second jeu de plus petite dimension composé de nouvelles variables qui sont des combinaisons linéaires des variables originales.

Principe : Le but de l'analyse en composantes principales est d'identifier les relations linéaires existantes parmi les différentes variables du système, en utilisant les entrées et de sorties du système. En considérant le vecteur :

$X_s(k) = [X_s/1(k) \ X_s/2(k) \ \dots \ X_s/m(k)]$ avec m variables associées à une observation k la matrice Z_s est alors constituée de N observations du vecteur $X_s(k)$. L'indice S de cette matrice est lié à la prise en compte de décalages temporels entre les différentes variables. Généralement pour appliquer l'ACP, on centre les données, puis afin de rendre le résultat indépendant des unités utilisées pour les différentes variables. On réduit ces dernières par rapport à leur variance respective. Dans la suite la matrice X_s a subi ces deux transformations.

$$T = X_s^T P$$

$$X_s = P T^T$$

Avec $T = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_{ds}] \in \mathbb{R}^{N \times m}$, où les t_i , sont les composantes principales et la matrice $P = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_{ds}] \in \mathbb{R}^{m \times m}$, où les vecteurs orthogonaux P_i sont les vecteurs propres correspondant aux valeurs propres λ_i de la décomposition en valeurs et vecteurs propres de la matrice de covariance (corrélation) \sum de $X_s(k)$:

$$\sum = (X_s \cdot X_s^T) / (N-1)$$

$$\sum = P \psi P^T \quad \text{avec} \quad PP^T = P^T P = I_m$$

Avec $\psi = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_{ds})$ la matrice diagonale des valeurs propres où les termes diagonaux sont ordonnés dans l'ordre décroissant des amplitudes : $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$. Partitionnons les matrices des valeurs propres, des vecteurs propres et des composantes principales :

$$X_s = \hat{P} \hat{T}^T + \hat{B} \hat{T}^T$$

$$\text{En posant : } \hat{X}_s = \hat{P} \hat{T}^T = \sum_{i=1}^l P_i t_i^T$$

$$E_s = \hat{B} \hat{T}^T = \sum_{i=l+1}^m P_i t_i^T$$

La décomposition suivante de la matrice des données, on obtient :

$$X_s = \hat{X}_s + E_s$$

ou les matrices \hat{X}_s et E_s représentent, respectivement les variations modélisées à partir de l composantes ($l < m$) et les variations non modélisées de X_s . On peut aussi montrer que les matrices \hat{X}_s et E_s sont données par :

$$\text{et} \quad \hat{X}_s = \hat{C} X_s$$

$$E_s = \tilde{C} X_s$$

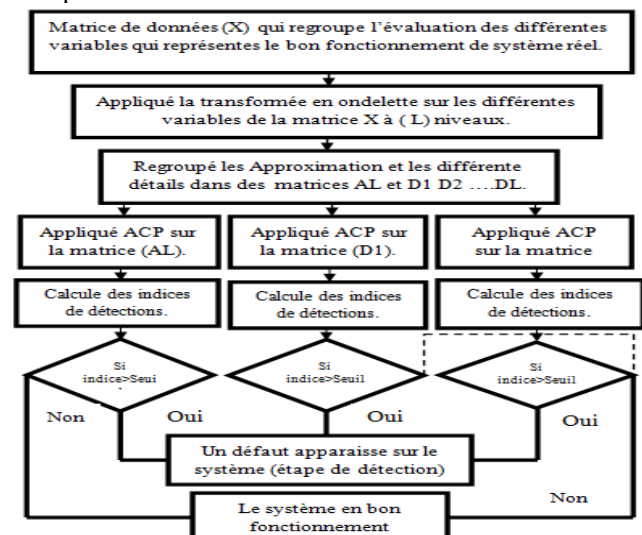
où $\hat{C} = \hat{P} \hat{P}^T$ et $\tilde{C} = I_m - \hat{C}$ constituent le modèle ACP du système. Les l premiers vecteurs propres $\hat{P} \in \mathbb{R}^{m \times l}$ constituent l'espace principal des données alors que les $(d_s - l)$ derniers vecteurs propres $\tilde{P} \in \mathbb{R}^{m \times (m-l)}$ constituent l'espace résiduel.

3. L'ACP MULTI-ECHELLES

En 1998 Bakshi a développé la formulation (MSPCA) et il a montré son efficacité pour surveiller les processus multi variables. La première motivation de faire une combinaison entre l'ACP et les ondelettes c'est que dans l'ACP, la corrélation entre les différentes mesures des capteurs est utilisée pour transformer l'espace multi variables à un sous espace qui conserve la variance maximale de l'espace original. Cependant, l'ACP ne permet pas d'utiliser la corrélation dans la même mesure et pour le même capteur le long de temps. D'une autre part, l'ondelette élimine la corrélation des différentes mesures de chaque capteur tandis que l'ACP extrait la corrélation travers les capteurs. Donc les ondelettes et l'ACP présentent deux extrêmes dans l'analyse des données multi variables. L'une sert pour l'évolution ou la tendance du signal (temps-échelle) alors que l'autre pour la corrélation entre les différents signaux.

Procédure de base de la modélisation par la MSPCA :

- Obtenir les données de référence (représentent le bon fonctionnement du système).
- Appliquer la transformée en ondelette sur chaque variable et extraire les nouvelles matrices d'Approximation (AL) et de détails (DL...D1).
- L'ACP est appliquée à chaque niveau pour extraire la corrélation à travers les différents capteurs.
- Calculer les indices de détection pour chaque niveau de la décomposition en ondelette.



4. LA MSPCA EN LIGNE

Cette partie est décomposée en deux grandes lignes, tel que la première est la modélisation hors ligne et la seconde en ligne (mise à jour des paramètres du modèle ACP de chaque échelles) qui nécessite une fenêtre glissante :

Procédure de la MSPCA en ligne basée sur une fenêtre glissante :

1) Phase d'identification (étude Préalable) :

- Acquérir un premier jeu de donnée issue des déférentes capteurs du système l'orque ce dernier est en bon fonctionnement (un premier jeu de données d'identification).
- Appliqué la transformée en ondelette sur chaque variable et extraire les nouvelles matrices d'Approximation(AL) et de détails(DL...D1).
- Normaliser les matrices d'approximation et de détails, et faire l'étape d'identification de modèle pour chaque matrice .
- Calculer les indices de détection et leurs seuils respectif.

2) Phase de surveillance en ligne :

- Choisir la taille de la fenêtre glissante à utiliser.
- Glissé la fenêtre glissante avec un seule échantillon et répéter l'étape de la transformé en ondelette pour chaque signal, et l'étape de normalisation de chaque matrice (AL et DL ..D1) mais on utilisant les facteurs de normalisation (moyennes et écarts types) des matrices précédentes (en absence de défaut).
- Calculer de nouveaux les indices de détection et les testé par rapport au seuils du modèle.
- S'il y'a pas un dépassement de seuil, mettre à jour les premières modèles de chaque niveau (maitre à jour la matrice d'identification du modèle 'C', les indices et les Seuils pour chaque niveau).
- Si on à un dépassement de seuil, garder les valeurs du modèle précédent.

Répéter la 2 phase jusqu'au dernier échantillons.

Une foie le système est bien modélisé, on passent à l'étape d'évaluation des résidus puis l'étape d'isolation. Dans ce travail en utilisant l'indice de détection SPE (Squared Prediction Error),ainsi pour la localisation en utilisant la Localisation par MSPCA partielles.

5. DETECTION ET LOCALISATION DES DEFAUTS

1. Detection des défauts :

Indice SPE : L'indicateur de détection SPE (Squared Prédiction Error) réalise la détection de défauts dans l'espace résiduel. A l'instant k, il est donné par :

$$SPE = E^T E = \| \tilde{F}(k) \|^2$$

Le processus est considéré en fonctionnement anormal

(présence d' un défaut) à l' instant k si : $SPE(k) > \delta_\alpha^2$ Où

δ_α^2 est le seuil de détection du $SPE(k)$ déterminé théorique par BOX(1954) . Pour quantifier le seuil théorique , il faut

supposer que les données suivent une distribution multivariable normale. En posant $\theta_i = \sum_{j=\ell+1}^m \lambda_j^i$ ou λ_j^i est la

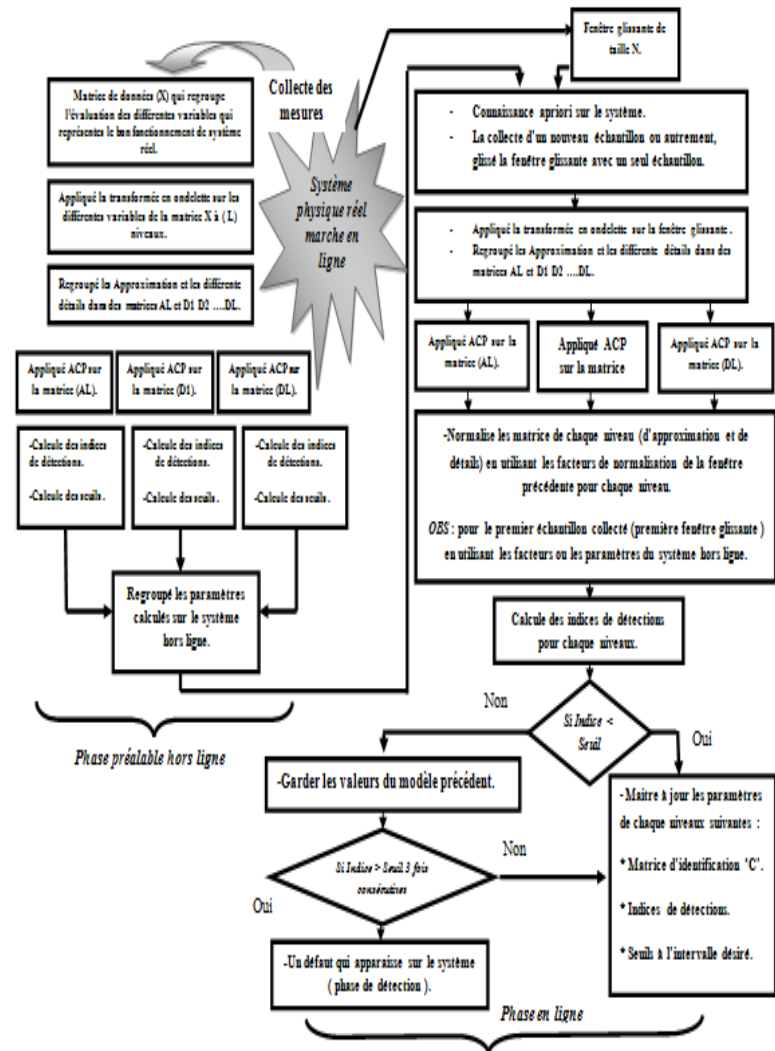
j^{ème} valeur propre de la matrice Σ à la puissance i , le seuil de détection théorique pour un seuil de confiance a donné , est alors : $\delta_\alpha^2 = g X_{h,\alpha}^2$ où $g = \theta_2/\theta_1$ et $h = \theta_1^2/\theta_2$.

b) Localisation des défauts :

Approche MSPCA partielle :

Une autre façon de structurer des résidus est d'utiliser ce que l'on appelle l'ACP partielle . L'ACP offre une autre possibilité qui consiste à utiliser des modèles partiels. On sous entend par ACP partielle une ACP effectuée sur un vecteur de données réduit où quelques variables sont écartées par rapport au vecteur originel.

Donc, les résidus vont être sensibles uniquement aux défauts associés aux variables qui forment le vecteur réduit. Les défauts associés aux variables éliminées n'affecteront pas les résidus correspondants. L'idée de l'ACP partielle a été décrite en premier par Gertler et Meters.



Algorithme de la MSPCA en ligne.

6. APPLICATION

Tennessee Eastman Challenge Process a été publié par le Tennessee Eastman Compagnie (Downs et Vogel, 1993) comme une simulation du processus pour la recherche académique. Le simulateur du processus chimique Tennessee Eastman Challenge Process (TECP), considéré comme une installation pilote de l'industrie chimique connue par Eastman company, est largement utilisé par la communauté scientifique pour évaluer les performances des algorithmes de commande et de diagnostic. Le TECP est un réacteur chimique multi variables non linéaire, de grande dimension et instable en boucle ouverte. Ce processus fournit les produit chimique finis G et H à partir de quatre réactif A, C, D et E. L'installation possède 7 mode de fonctionnement opératoire, 41 variables mesurées et 12 variables manipulées. il existe en plus 20 perturbations IDV1 IDV20 qui peuvent être simulée pour perturber le fonctionnement. Le TECP offre une opportunité pour les étude qui concernent la commande, la détection et le diagnostic des défauts. Un diagramme simplifié du processus est montré dans la figure(6.1).

Les 41 variables mesuré sont un mélange de continu et discret et de dynamiques rapides et lentes incluent le niveau, pression, température, courant et indicateurs de la composition. Chaque mesure est corrompue par bruit additif ; les propriétés statistiques du bruit sont inconnu. Dans notre cas on choisie que 21 variables parmi 41 qui sont mesuré d'une façon continu (chaque seconde). A la fin de la description on peut dire que Les Tennessee Eastman Challenge Process a fourni une 'étude des cas provocatrices pour beaucoup d'applications de contrôle des processus.

Raich et Inar a évalué des techniques du diagnostic de défaut pour le processus TE. Ils ont développé des méthodes innovatrices pour discriminer entre différents types de défauts et bruits utilisant la méthode PCA standard qui repose sur les indicateurs ou les indice de détection T2 et Q statistique (SPE). MSPCA est utilisé pour modélisé ces données et diagnostiqué les défaut qui apparaisse sur 21 variables parmi ces dernières car dans notre application on choisie de surveiller 21 variables parmi les 22 autres avec la méthode de modélisation et diagnostic : l'Analyse en Composantes Principales Multi-échelles[10].

Modélisation par MSPCA : Dans cette application 21 variables ont été considérées. La matrice X contient donc 21 variables, x_1, \dots, x_{21} . Ces variables sont représentés dans le tableau suivant. Pour bien illustrer ces variables on va présenté quelques unes sur la figure (6.3). Ces figures représente l'évolution des mesure de capteur de pression et niveau et température du réacteur pendant 10 heures de mesure avec une période d'échantillonnage $T = 1$ seconde.

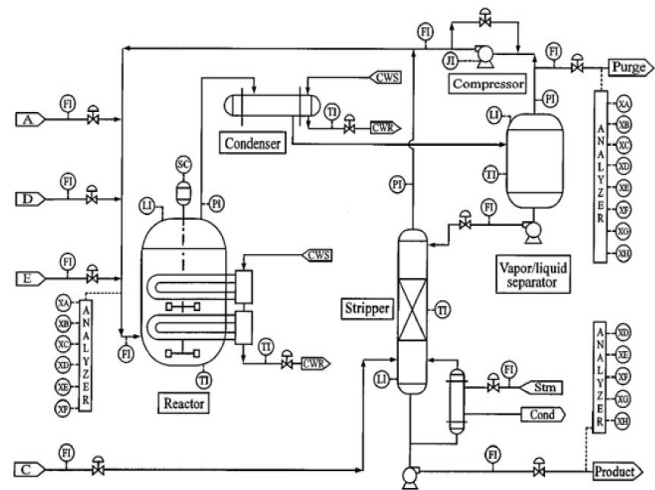


Figure 6.1: Diagramme du processus TECP

Les variables	Nom des variables (Capteurs de mesures)	Unité de mesure
X1	'D Feed'	'kg/hr'
X2	'E Feed'	'kg/hr'
X3	'A and C Feed'	'kscmh'
X4	'Recycle Flow'	'kscmh'
X5	'Reactor Feed Rate'	'kscmh'
X6	'Reactor Pressure'	'kPa gauge'
X7	'Reactor Level'	'%
X8	'Reactor Temperature'	'Deg C'
X9	'Purge Rate'	'kscmh'
X10	'Product Sep Temp'	'Deg C'
X11	'Product Sep Level'	'%
X12	'Product Sep Pressure'	'kPa gauge'
X13	'Product Sep Underflow'	'm3/hr'
X14	'Stripper Level'	'%
X15	'Stripper Pressure'	'kPa gauge'
X16	'Stripper Underflow'	'm3/hr'
X17	'Stripper Temp'	'Deg C'
X18	'Stripper Steam Flow'	'kg/h'
X19	'Compressor Work'	'kW'
X20	'Reactor Coolant Temp'	'Deg C'
X21	'Separator Coolant Temp'	'Deg C'

Figure 6.2: La description des variables du processus

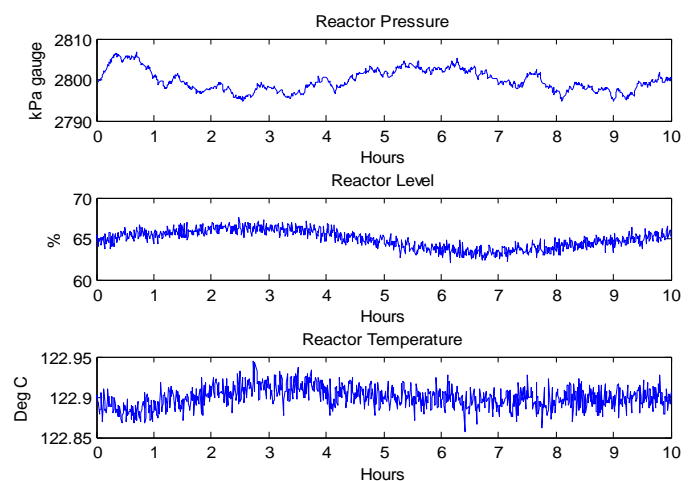


Figure 6.3: L'évaluation des mesures des 3 capteurs (Température, pression et niveau)

D'après la procédure de la MSPCA, on effectue une décomposition en ondelettes de toutes les variables, chaque variable sera transformée en $L = 3$ niveaux. Une fois la décomposition en ondelettes terminée, on regroupe des différentes approximations des différentes variable dans une matrice que l'on appelle matrice des approximations. De même les détails de chaque niveau ou échelle des différentes variables sont regroupés dans des matrices de détails. Ainsi, cette première phase permet de générer un certain nombre de matrices de données que l'on va chercher à modéliser par analyse en composantes principales. On applique le modèle ACP sur chaque niveau de décomposition en ondelette (approximation et détail) figure(6.4).

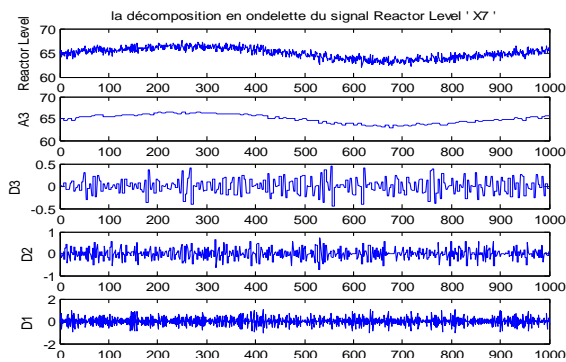


Figure 6.4: Décomposition en ondelette de la variable X7 en 3 niveaux (Approximation A3) et (Détail :D3,D2, D1).

identification du modèle MSPCA Pour notre application un modèle MSPCA à sept (7) composantes a été retenu pour faire la modélisation des quatre matrices trouvée après la transformation en ondelette des signaux surveillé (A3, D3, D2 et D1), comme il est illustré sur la figure (03) pour la variable X7 qui représente la variation du niveau du réacteur. Cette partie est faite hors ligne juste pour montré l'efficacité de l'identification par la MSPCA ; mais dans le cas en ligne on choisie une fenêtre glissante de taille 500 échantillons .

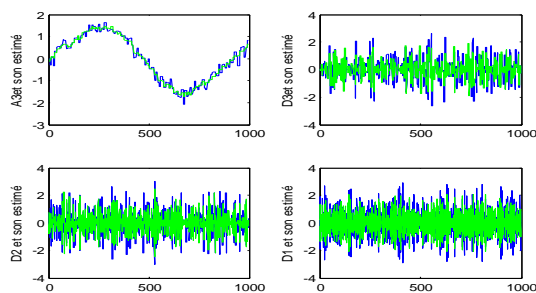


Figure 6.5: :L'évolution des différentes échelles du capteur du niveau et leur estimé.

Une fois le modèle MSPCA identifier, nous allons passer à l'application de la procédure de détection et de localisation de défauts. Dans un premier temps, un défaut a été simulé sur la variable x_7 entre les instants 800 et 1000, avec une amplitude qui s'élève à environ 25 % de la plage de variation de cette variable. Nous calculons l'indices de détection *SPE*. (Fig 4) et (Fig5) présentes l'évolution de l' indice *SPE* en absence et en présence du défaut simulé.

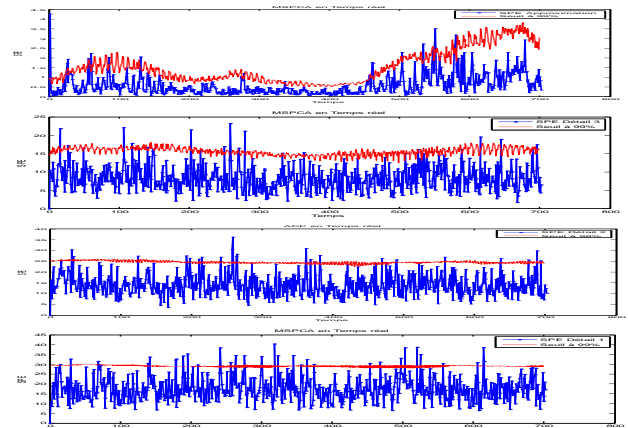


Figure 6.6: L'évolution des *SPE* des différents niveaux (A3 et D3, D2, D1) dans le cas sans défaut.

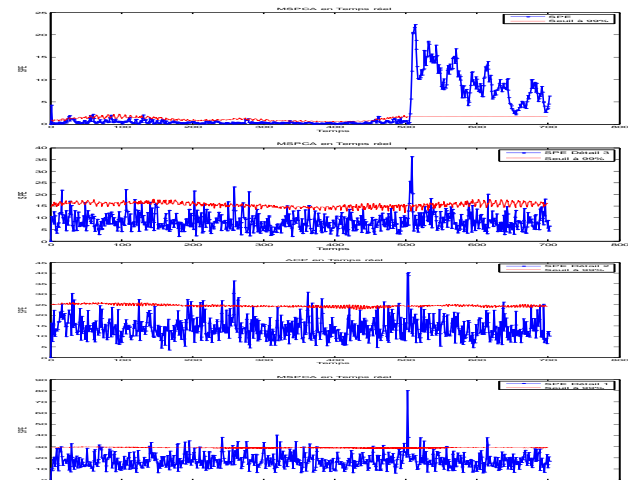
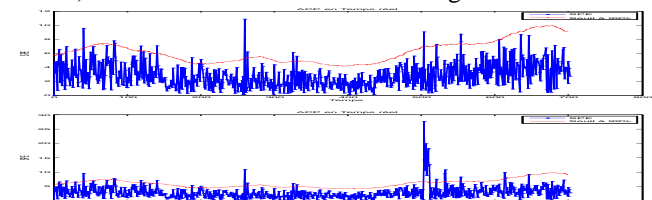


Figure 6.7: L'évolution des *SPE* des différents niveaux (A3 et D3, D2, D1) dans le cas d'un défaut.

On remarque que le défaut est bien détecté clairement sur l'*SPE* de l'approximation A3.

7. COMPARAISON ENTRE ACP ET MSPCA ADAPTATIVE.

Pour metre en évidence l'intérêt de l'application de la MSPCA en temps réel , nous concéderons le même exemple précédent avec le même défaut simulé (même amplitude, même variable, même instant) comme il est bien illustré sur la figure 7.1.



On remarque que le modèle ACP en ligne n'arrive pas à détecter le défaut, par contre le modèle MSPCA en ligne détecte ce défaut, ce qui nous amène à dire que la détection par la MSPCA est plus performante et efficace que l'ACP classique.

Une fois le défaut a été bien détecté, il est intéressant de savoir quel est l'organe en défaut dans notre système afin de pouvoir corriger ces mesures en proposant des valeurs de remplacement. Pour cela, on applique l'approche consiste à exploiter la procédure de la MSPCA partielle.

LOCALISATION PAR MSPCA PARTIELLES :

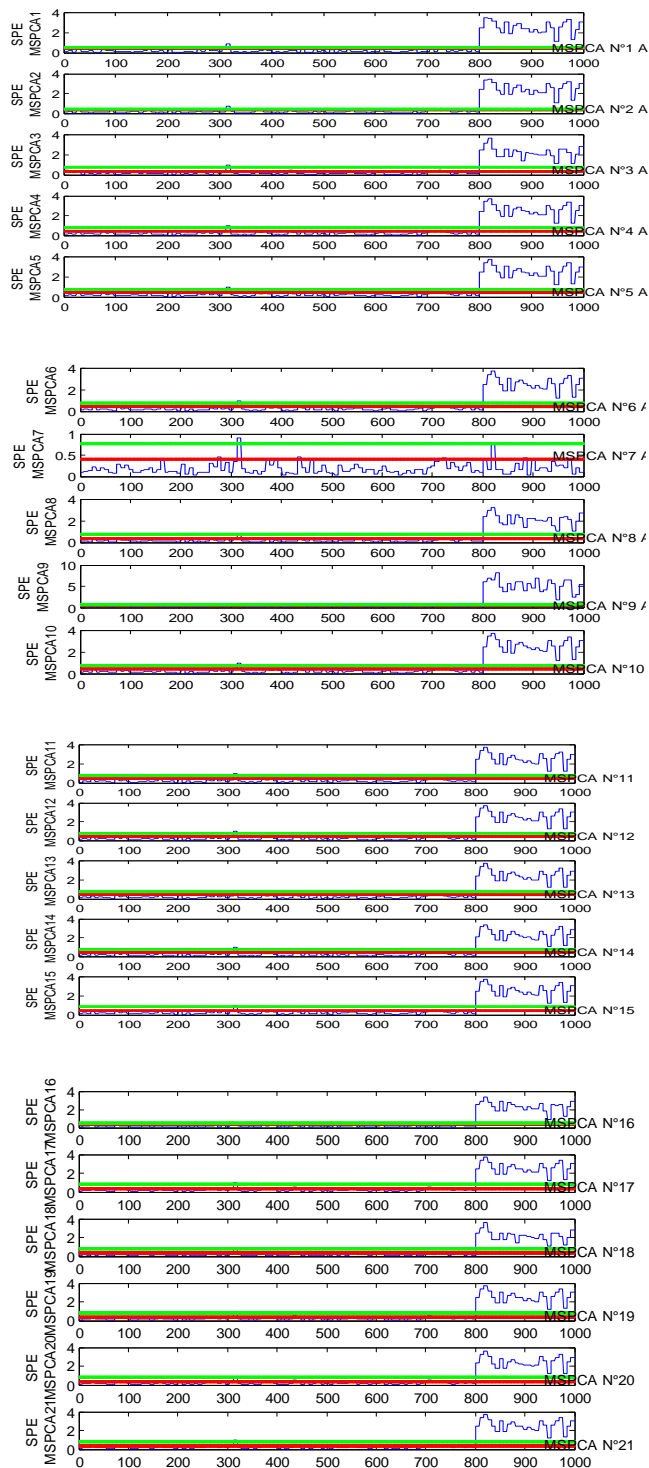


Figure 7.2: L'évolution des SPE d'Approximations des différents modèles partiels.

Dans cette approche on a construit 21 modèles, chaque modèle est insensible à une seule variable comme par exemple (MSPCA1) est insensible à X1 et ainsi de suite pour toutes les autres, donc on peut dire que l'SPE du modèle insensible à la variable en défaut est statistiquement nul par contre l'SPE des autres MSPCA qui sont sensibles à la variable en défaut ne sont pas nuls (dépassement de seuil). On remarque sur la figure(7.2) que l'SPE du modèle ACP7 est statistiquement nul ce qui implique que la MSPCA7 est insensible au défaut entacher par X7(capteur de niveau). En effet la localisation par MSPCA partiel est très claire conforme l'énoncé qui décrit les signatures théoriques. Par analogie avec l'ACP partielles, on trouve que les deux approches nous donne pas les mêmes résultats (signatures expérimentales dégradé), conforme pas aux signatures théoriques car l'ACP partiel classique a le problème de la faiblesse de l'indicateur de détection utilisé au défaut mineurs qui revient à plusieurs causes. Ce problème est résolu par un autre indice proposé par (Harkat 2003) mais aussi on peut dire que l'apparition des ondelette et la utilisé à côté de l'ACP a aussi la possibilité de résoudre cette faiblesse comme il est bien clair sur la figure précédente.

8. CONCLUSION

La MSPCA possède une grande sensibilité pour la détection des défauts mineurs ainsi une grande robustesse aux fausses alarmes. Dans ce travail nous avons présenté le principe de base de la modélisation par la MSPCA, nous avons structuré la démarche pour la mise en place d'un système de diagnostic basé sur la MSPCA. Une fois que la modélisation est faite par l'application du modèle ACP sur chaque bande de fréquence séparément. Ceci donne une meilleure séparation des erreurs du signal fondamental et la détection des défauts à des échelles différentes des systèmes dynamiques. En effet les résultats obtenus dans ce travail sur le simulateur Tennessee Eastman sont appliqués avec succès pour bien montrer l'intérêt d'utiliser la MSPCA en ligne et son performance de détection par rapport aux autres approches classiques.

9. REFERENCE

- [Har, Mou, Rag 01] Mohamed Faouzi Harkat and Grille Morot and José Ragot. *Déférentes méthodes de localisation*. (CIFA), Nantes, 6-8 juillet 2002.
- [Diou02] Camille Diou. Contribution à l'intégration de la transformée en ondelette Application au traitement d'image. Doctorat de l'université de Montpellier2.
- [Arar,Tad 03] Arar Khalil and Tadjine Samir. Modélisation et diagnostic par MSPCA. Mmoire fin d'étude 2007 de l'université Badji Mokhtar ANNABA.
- [Xuan04] Doan Xuan Tien. Moving PCA for process fault detection. Mmoire fin d'étude de Master de l'université de Singapore.
- [Lia,Chi 05] Kwo-Liang Wu, and Cheng-Ching Yu Interaction between Design and Operation with Application to

the Tennessee Eastman Challenge Process. Subscriber access
provided by NATIONAL TAIWAN UNIV.

Un outil visuel basé sur la réalité virtuelle pour la génération d'énoncés en langue des signes.

⁽¹⁾ Abdelaziz Lakhfif, ⁽²⁾ Mohamed Tayeb Laskri

⁽¹⁾ Département Informatique Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 19000 Annaba

⁽²⁾ LRI-GRIA - Département Informatique Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie BP 12, 23000 Annaba

⁽¹⁾ aziz_lakhfif@yahoo.fr ⁽²⁾ laskri@univ-annaba.org

Résumé— Dans cet article nous présentons un outil visuel destiné à la génération d'énoncés gestuels 3d exécutés par des Humanoïdes 3D (Avatars) conforme H-Anim 2.0 dans un environnement VRML/X3D. Nous proposons une nouvelle représentation flexible et ouverte de la transcription des entités gestuelles sous format XML réutilisable.

Ce travail représente le module génération des énoncés gestuels dans un projet de traduction automatique de textes arabes vers la langue des signes algérienne (LSA) destiné à la communauté des sourds-muets afin de leur faciliter l'accès à l'information textuelle écrite en langue arabe standard.

Mots-clés: Réalité Virtuelle, X3D, H-Anim, Avatar, Langue des Signes Algérienne.

Abstract— in this paper we present a virtual reality based visual tool in order to generate 3D gesture entity performed by three-dimensional (3-d) humanoid (avatars) compliant with H-Anim 2.0 in VRML/X3D-based environments. We propose a new open and flexible representation of the gestural entities transcriptions under reuse XML format.

This work represents the gestural expression generation module in machine translation project of the Arabic text into Algerian sign language. The project aims to assist deaf-mute peoples to access to the textual information written in Arabic language.

Key-Words: Virtual Reality, X3D, H-Anim, Avatar, Sign Dictionary.

I. INTRODUCTION

LE succès incontestable de la réalité virtuelle (RV) dans l'internet ainsi que l'émergence des standards régissant ce domaine de technologie comme le X3D [13] et le H-Anim [14] ont rendu ces dernières années la réalité virtuelle un environnement de communication et d'interactivité idéal, dans lequel les objets du monde réel peuvent être présentés, explorés et partagés d'une manière interactive. La plupart des applications 3d dans les domaines d'interactions et de la communications homme-machine tel que les agents virtuels [23], la simulation 3d [27], les univers virtuels en ligne [15], les outils de communication en langue des signes [20] et la visualisation du langage naturel [17] utilisent les technologies de la réalité virtuelle (RV) dans leurs implémentations. Dans cet article nous présentons l'utilité de cette technologie dans

la conception et l'implémentation d'un outil visuel de modélisation et de génération des entités gestuelles 3d servant comme des entrées dans un dictionnaire bilingue arabe - langue des signes. Le prototype a été expérimenté sur la langue des signes pan-arabe ArSL [32] (un dictionnaire arabe unifié des signes approuvé par la Ligue des Nations Arabes), la langue des signes française LSF et la langue des signes algérienne (LSA). Les entités gestuelles sont exécutées par des personnages virtuels (avatars) conformes aux standards VRML/X3D et H-Anim 2.0.

A l'instar de la langue des signes américaine (ASL) et la langue des signes française (LSF), la langue des signes algérienne (LSA) est reconnue officiellement en 2002 en tant que première langue de la communauté des sourds-muets en Algérie, cette reconnaissance est traduite par le nombre croissant des écoles destinées à l'enseignement des enfants malentendants en utilisant la langue des signes et par le travail en cours de réalisation afin d'élaborer un dictionnaire algérien des signes. La langue des signes est exprimée à travers un canal de communication visuel-gestuel pour la production et la réception des messages qui doivent être instanciés dans l'espace.

Les problèmes liés au traitement de la langue des signes sont attachés à la représentation de l'espace de signation, on peut citer quelques problèmes majeurs à prendre en considération (la notation $[X]_{LS}$ désigne le signe X en LS) :

- 1) *L'aspect flexionnel des signes* : certains signes peuvent être formés à partir de plusieurs signes élémentaires (figure 3.). Le signe $[tante]_{LS}$ est le résultat de la concaténation du signe $[oncle]_{LS}$ avec le signe marquant le féminin équivalent d'une information flexionnelle dans la langue arabe.
- 2) *L'aspect articulatoire des signes* : la transition dans une phrase signée est un problème pour la phase génération, le signe suivant commence à partir de la fin du signe précédant et non pas de la position neutre.
- 3) *L'aspect cliticisation ou accord spatial des verbes* : les verbes directionnels incorporent leurs arguments. Le chemin du mouvement encode les relations thématiques spatiales qui lient le verbe avec ses arguments (figure 6.).

Beaucoup de travaux de modélisation des aspects linguistiques de la langue des signes basés sur des technologies graphiques 3d ont été réalisés ces dernières

années [1]-[2]-[3]-[4]. Ces systèmes adoptent des descriptions paramétriques dans leurs modélisations des signes en se basant sur les études des chercheurs en linguistiques des langues des signes tels que Stokoe [8], Liddell [9], Sandler[28] et Sutton [10].

D'autres travaux [24]-[25] ont proposé des langages de script sous format XML permettant de donner à l'avatar des comportements prédéfinis (marcher, courir, allonger, tourner à droite, etc.). Ces descriptions sont simples et générales lorsqu'il s'agit de la description des entités en langue des signes qui nécessitent un détail de description très approfondi. Néanmoins il ya quelques travaux ayant proposés des approches innovantes telles que l'approche de représentation à contraintes géométrique des signes, Filhol [5] qui propose une description géométrique pour décrire la forme spatiale des signes en se basant sur un langage de description formel. Une autre approche intéressante pour la représentation du comportement verbal présentée par Huenerfauth [6] basée sur la définition des paramètres des emplacements en cas de spatialisation tels que les localisations des signes et les notions de transferts. Cependant et malgré que ces derniers travaux ont abordés les aspects de la scène de signation et de la spatio-temporalité de la langue des signes, ne présentent pas un système de traduction complet et manquent de généralisation et de moyen de réutilisation et partage des paramètres des signes.

Dans cet article nous présentons la conception et l'implémentation d'un outil visuel d'acquisition des signes en 3d capable de représenter la sémantique spatiale présente dans la langue des signes en utilisant le standard X3D [13] et la spécification H-Anim 2.0 [14]. La transcription des entités gestuelles en format XML facilite la modification dynamique des paramètres. Le choix de ces technologies est motivé par leurs intégrations et réutilisations à travers les technologies du web. L'accès à ces contenus 3d et l'animation de l'humanoïde sont faites à travers une interface développée en Java avec l'API Xj3D [15].

Nous visons par ce travail à atteindre les objectifs suivants : (i) offrir un outil visuel interactif facile à utiliser pour l'acquisition des signes 3d qui doivent ressembler parfaitement au signes réalisés par un signeur naturel. (ii) Permettre un partage, une réutilisation et un déploiement facile des connaissances en langue des signes via les technologies Web les plus adaptées. (iii) offrir un prototype de représentation multi-niveaux des entités LS ouvert et paramétrable sous format XML.

Ce travail entre dans le cadre d'un projet de traduction automatique de texte arabe vers la langue des signes algérienne (LSA).

II. LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Le Web est devenu accessible via des documents 3d dynamique grâce au VRML (Virtual Reality Modeling Language), un langage de description des scènes 3d

dynamiques, devenu un standard pour la modélisation des univers 3d sur le Web, avec un objectif qui consiste au partage des objets virtuels à des fins de réutilisation. Avec l'utilisation des contenus 3d dans des applications informatiques, l'interactivité avec l'utilisateur est devenue une exigence majeure. Dans [21], l'auteur énumère quatre aspects clés de cette interactivité : (1) *Le mouvement* des objets dans la scène, (2) *La navigation* dans la scène, sans être désorienté où "perdu dans l'espace virtuel", (3) *La sensibilité* des comportements et des mouvements intégrés dans la scène et (4) *Les modèles du monde* disponibles à travers une base de données où via un réseau de partage.

À travers ces caractéristiques, l'observateur n'est pas contraint à rester passif vis-à-vis de la rendue de la scène, mais peut devenir aussi un participant actif [21].

Notre choix de l'environnement virtuel est porté sur le standards X3D ("eXtensible 3D"). L'encodage de X3D en XML (*ISO/IEC-19776*) pour les applications Web est une nouveauté potentielle permettant une large opérabilité et partage des objets 3d. L'API Xj3D est un projet multiplateforme en open source proposé par le consortium Web3D [13] permettant la génération du contenu VRML/X3D. Xj3d a pour but de mettre en œuvre des spécifications X3D et VRML97 en s'appuyant sur le Java-3D.

Les signeurs virtuels (Avatars) sont conformes avec le standard H-Anim 2.0 (*ISO/IEC FCD 19774:200x*) destiné à rendre les personnages virtuels. Le personnage H-Anim, (Figure1.) est constitué de racine humanoïde, joints, segments, displacers, et des sites. Le niveau d'articulation (LOA) correspondant au nombre de joints de l'humanoïde. Dans notre projet nous utilisons le niveau d'articulation LOA3 (l'humanoïde est représenté via 81 joints et 89 sites). Ce standard permet de généraliser les gestes générés pour les avatars basés sur le X3D et H-Anim.

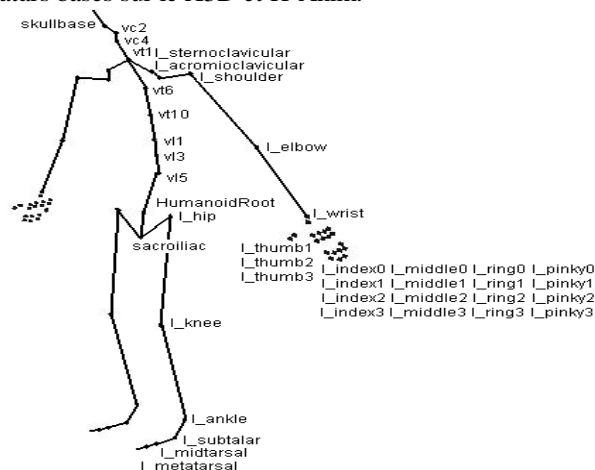


Figure 1. La spécification H-Anim (actuellement en version 2.0) normalisée les noms des articulations et des segments.

Au delà de la capacité du VRML/X3D à représenter des scènes 3D partageables et standards, sa capacité de gérer des événements en temps réel et d'établir des connexions avec d'autres langage standards offre la possibilité de partage des

documents 3d et rend possible les applications 3d collaboratives temps réel à travers le Web [17]-[18]-[19].

Le langage Java permet des accès externes interactifs dynamiques (SAI) aux scènes X3D via les primitives de la bibliothèque Xj3d. Les accès via l'interface SAI sont capables de modifier le graphe de scène et d'ajouter une dynamique à la scène 3d via les primitives d'animation de la scène.

III. ELEMENTS DESCRIPTIFS ET THEORIQUES DES LANGUES DES SIGNES

Les langues des signes sont pourvues d'un lexique standards, ensemble d'unité discrète, d'une iconicité référentiel variable (un quantum iconique) [7]. La langue des signes est une véritable langue à part entière, son lexique et sa syntaxe ont leurs propres règles de construction et constitue de ce fait la forme la plus évoluée en communication gestuelle.

A. Spécificités linguistiques à prendre en compte en vue d'une génération gestuelle

L'expression de phrases en LS se fait via les gestes produits par les paramètres suivants : (1) La configuration manuelle (figure 5.), (2) Le lieu d'articulation, (3) Le mouvement, (4) L'orientation de la paume et (6) Le comportement non manuel impliqué dans la production d'un signe (tronc, tête, visage, yeux, etc.).



Figure 2. Changement de configuration entre le début et la fin du signe [مشمئز | dégoûté] _{ArSL}

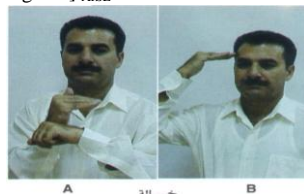


Figure 3. Le signe [tante] _{ArSL} est composé du signe [oncle] _{ArSL} et du signe [Feminin] _{ArSL} marquant le féminin.



Figure 4. Morphologie des Signes: la configuration d'une main change le sens du signe.



Figure 5. Quelques configurations manuelles (bouche, index, cône, clé)

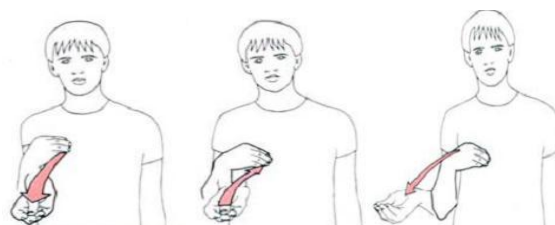


Figure 6. Le verbe directionnel [Donner] _{LSF}: de gauche à droite : je te donne, tu me donne, je lui donne.

1) Classes des verbes en langues des signes

Les LS affichent une forte tendance à la cliticisation. En effet, elles présentent certaines ressemblances avec certaines langues vocales comme l'arabe. Selon [29], des conjonctions de subordination, des conjonctions de coordination et des prépositions sont procliticisées, et le pronom complément d'objet est encliticisé, comme l'illustre l'exemple suivant.

- wa-li-ya>kuluw-haA (translatération buckwalter)
(coord)-(conjonction)-(v)subjonctif-(pro)
et-pour-mangent-elle
'et pour la manger' (وليأكلوها)

En LS, la cliticisation ou l'accord verbal spatial prend les formes suivantes: Les points de départ et d'arrivée du verbe signé sont associés avec des points établis dans l'espace de signation pour instancier les arguments du verbe (Figure 7. et 8.). Ces points sont appelés des R-loci selon [30]. Il ya trois classes de verbes en LS:

- 1) Les verbes simples ont des points de départ et d'arrivée invariants, la direction du chemin du mouvement ne dépend pas des arguments du verbe.
- 2) Les verbes d'accord spatial communiquent la notion de transfert (donner, enseigner, aider), les points de départ et d'arrivée sont déterminés par le R-Loci représentant la position grammaticale de l'argument (Figure 9.).
- 3) Les verbes spatiaux dénotent la notion de mouvement, les points de départ et d'arrivée sont liés avec des locations (source, destination) ancrées dans l'espace.

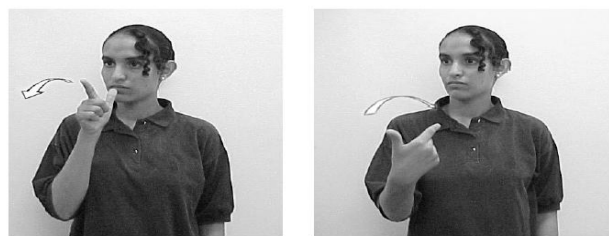


Figure 7. MOI-DIRE-TOI 'je te dis' TOI-DIRE-MOI 'tu me dis' en langue des signes jordanienne LIU (Loghat el Ichara Urdonia)

B. Rôle de l'espace dans le Traitement des Langues des Signes.

L'espace tridimensionnel dont dispose le signeur pour construire le discours est utilisé pour marquer les relations grammaticales qu'entretiennent les éléments du discours entre eux. Nous segmentons l'espace de signation (figure 8.) en plusieurs zones cubiques, chaque zone peut être une

localisation d'instanciation d'un argument (Figure 9.).

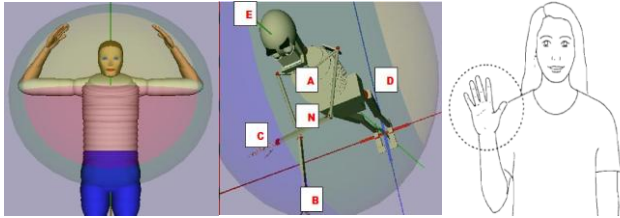


Figure 8. Espace de signation, localisation et d'épellation manuelle (à droite).

R- loci	Zone	Référence
Neutre	N	Signes isolés
Poitrine	A	1 ^{ère} personne
En face	B	2 ^{ème} personne
A droite	C	3 ^{ème} personne, Source, fournisseur
A gauche	D	but, destination, récepteur
En haut	E	Notions de supériorité

Figure 9. Le tableau des correspondances entre les champs sémantiques et les

IV. ARCHITECTURE ET IMPLEMENTATION DE L'OUTIL VISUEL

L'animation des avatars dans un environnement VR peut être décomposée en trois niveaux [22] : (1) le *niveau articulaire* où le control du joint, une couche basse qui contrôle les mouvements des joints de l'avatar, (2) le *niveau comportement* qui définit les comportements et les aptitudes de base de l'avatar (tel que marcher, courir et sauter) et (3) le *niveau énoncé* sous forme de langage de scénario à base de comportement qui peut être utilisé pour décrire des histoires décréées par les avatars.

En langue des signes, nous nous intéressons à la représentation articulaire de l'avatar, les signes seront générés à partir des rotations successives des joints. La difficulté réside dans l'imagination est la réalisation 3d des signes vu l'utilisation des rotations en axe-et-angle (axis-angle) par le VRML/X3D. Cette représentation consomme beaucoup de temps et d'effort pour arriver à concevoir un signe simple. Afin de palier à cette contrainte nous avons intégrés un module d'animation permettant plusieurs méthodes de rotations plus naturelles et faciles à maîtriser.

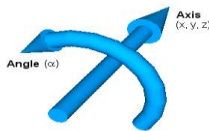


Figure 10. Rotation en axe et angle.

A. Les Rotations en VRML/X3D

La constitution d'un signe est réalisée via la combinaison d'un ensemble fini de rotations de joints selon un planning déterminé.

1. *Rotation Axe et Angle (Axis-Angle)* : chaque rotation est définie par le triplet *Rotation(joint, axe, angle)* appelé rotation axe-angle (Axis-Angle figure 10.). Le VRML/X3D utilise cette méthode de rotation qui reste moins intuitive dans la conception d'une rotation en 3D.
2. *Rotation en Angle d'Euler* : la représentation des

rotations par les angles d'Euler décompose la rotation 3d en trois rotations successives chacune sur un axe unique. Elle utilise trois angles pour définir trois degrés de liberté (figure .11).

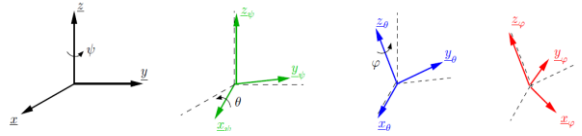


Figure 11. Rotations successives par les angles d'Euler, les rotations ne sont pas commutatives et doivent se faire dans l'ordre.

Afin de rendre la tâche d'acquisition des signes facile, nous avons ajouté un module d'animation en 3d avec une interface utilisateur (figure 13.) permettant la réalisation des rotations en se basant sur le modèle utilisé par l'aviation (modèle de Cardon) qui consiste à appliquer trois rotations successives appelés respectivement : Azimut (rotation autour de l'axe Y), Tilt (rotation autour de l'axe X) et l'Elévation (rotation autour de l'axe Z) où angles de *roulis*, *tangage* et *lacet* (figure 12.). Afin d'appliquer cette méthode efficace sur les rotations VRML/X3D nous devons convertir ces trois rotations/angles vers une rotation angle-Axe (Axis-Angle) utilisée par le langage VRML/X3D.

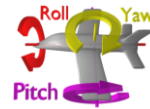


Figure 12. Azimut-Tilt-Elévation (Yaw-Pitch-Roll) rotation utilisée par l'aviation, l'ordre des rotations est important.

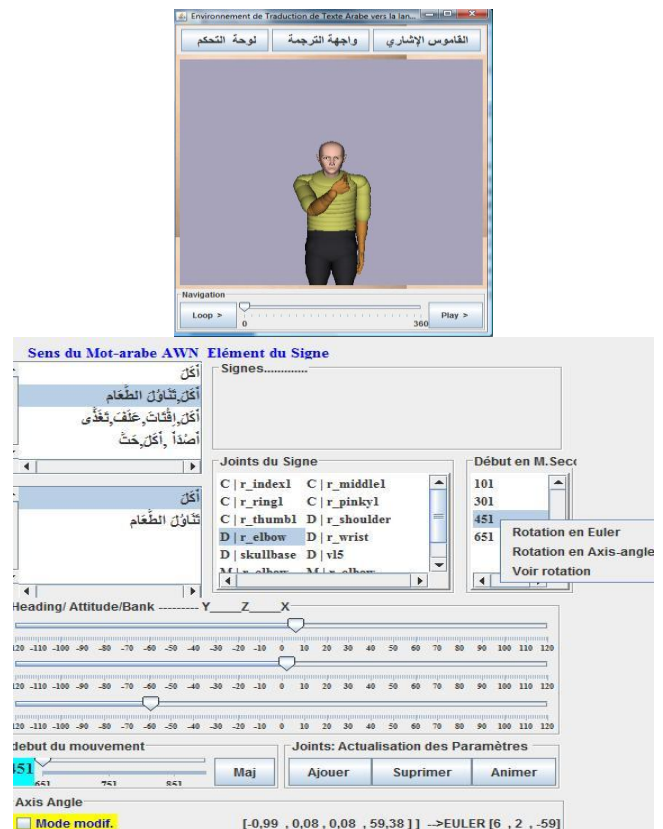


Figure 13. Module de constitution des entités gestuelles (signes)

Pour faire face à ce problème nous avons opté pour une représentation intermédiaire des rotations en utilisant les quaternions. Les quaternions ont été introduits en informatique pour leurs propriétés intéressantes dans le rendu de graphismes par Ken Shoemake [11]. Les quaternions sont une extension des nombres complexes représentés par quatre scalaires généralement notés (w, x, y, z) .

$$q = w + xi + yj + zk = w + \vec{u} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \cos(\alpha/2) + \vec{u} \sin(\alpha/2) \quad (1)$$

Où \vec{u} est un vecteur unitaire. Dans ce dernier cas, les symboles i, j et k sont des nombres purement imaginaires définis par les relations suivantes :

$$i^2 + j^2 + k^2 = -1 \quad (2)$$

$$i * i + j * j + k * k = -1 \quad (3)$$

La conversion des rotations Axe et angle vers des rotations en quaternion se fait selon la formule (4).

$$q = \cos(\alpha/2) + i(x * \sin(\alpha/2)) + j(y * \sin(\alpha/2)) + k(z * \sin(\alpha/2)) \quad (4)$$

Les angles de cardon sont en fait 3 rotations Axe/Angles (figure 12.). On peut donc convertir ces 3 rotations en quaternions et ensuite additionner les rotations en multipliant les quaternions.

B. Dictionnaire des Signes

La démarche adoptée dans la phase de constitution des signes standards (neutres) afin de les exploiter dans notre génération des séquences gestuelles LS prend en considération les caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques de la langue des signes.

Afin de prendre en compte les spécificités linguistiques des LS, nous avons proposé une transcription en XML des entités gestuelles de sorte que les constituants structurels peuvent être modifiés pour réaliser certains aspects comme la flexion (figure 3.), la durée, la répétition et l'accord verbal (figures 6. et 7.). La représentation XML des entités contient une couche supplémentaire contenant des paires de forme et sens représentant les éléments constituants le signe. La figure 14. Montre un exemple d'une annotation sémantique du signe [Manger/أَكَل]LSA. avec la description dans le tableau de la figure 16.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<meta_signe>
  <arabe texte="أَكَل"/>
  <duree temps="800"/>
  <config id="config_bouche_D" sens="ingestible"/>
  <location id="l1" sens="source"/>
  <motion id="m1" sens="duration"/>
  <location id="l2" sens="ingestor.BP.mouth"/>
  <motion id="m2" sens="duration"/>
  <location id="l2" sens="source"/>
  <motion id="m3" sens="duration"/>
  <location id="l2" sens="ingestor.BP.mouth"/>
  <motion id="m4" sens="duration"/>
  <location id="l2" sens="source"/>
</meta_signe>
```

Figure 14. Représentation annotée (méta) en XML du Signe [Manger/أَكَل]LSA.

Chaque entrée du dictionnaire représente un Signe stabilisé désignant une entité (Humaine, Animale, Objet, Notion Abstraite, Action, .etc.) noté [SIGNE]LS. Afin de donner une représentation flexible permettant une reproduction fidèle des signes notre approche est définie comme suit : chaque entité (signe) est représentée par trois parties, à savoir:

1. Début du signe: *comporte un ensemble constitué de: {configuration manuelle, orientation, lieu d'articulation, contact, arrangement, configuration non manuelles}* de démarrage.
2. Mouvements ou trajectoires empruntés.
3. Fin du Signe: *comporte un ensemble constitué de: {configuration manuelle, orientation, lieu d'articulation, contact, arrangement, configuration non manuelles}* d'arrêt marquant la fin du signe.

Un signe peut être composé de plusieurs (deux dans la majorité des cas) signes élémentaires (figure 2.).

Cette démarche nous permet d'économiser le temps et l'espace de stockage dans la construction des gestes et décompose le signe en plusieurs parties (configuration, position, mouvement...etc.) élémentaires, favorisant ainsi une modélisation de la morphologie du signe en classes morphologiques, par exemple les signes ayant la même configuration manuelle où les mêmes mouvements seront regroupés dans une seule classe.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<signe>
  <arabe texte="أَكَل"/>
  <duree temps="700"/>
  <R-loci id="neutre"/>
  <debut>
    <signe_base id="config_bouche_D"/>
    <location id="l1">
      <joint id="l1" ncm="r_shoulder" x="-1" y="8" z="4" rotation="50" debut="0" fin="100"/>
      ...
    </location>
    <conf_nm id="nm1">
      <joint id="nm1" ncm="skullbase" x="1" y="0" z="0" rotation="10" debut="0" fin="100"/>
      ...
    </conf_nm>
  </debut>
  <motion>
    <joint id="m1" name="r_elbow" x="-9" y="0" z="-1" rotation="100" debut="101" fin="150"/>
    ....
  </motion>
  <fin>
    <signe_base id="config_bouche_D"/>
    <location id="l2">
      <joint id="l2" ncm="r_shoulder" x="-1" y="8" z="4" rotation="0" debut="700" fin="700"/>
      ...
    </location>
    <conf_nm id="nm2">
      <joint id="nm2" ncm="skullbase" x="1" y="0" z="0" rotation="0" debut="700" fin="700"/>
      ...
    </conf_nm>
  </fin>
</signe>
```

Figure 15. Représentation intermédiaire (niveau articulatoire) en XML du Signe [Manger/أَكَل]LSA. Les lignes en points sont des lignes supprimées par manque d'espace et pour lisibilité.

Forme	Sens
configuration bouche	Objet mangeable
Location (l1)	Source de l'objet
Location (l2)	Destination de l'objet, ici la bouche de l'agent (ingestor)
Motion (m1,...,m4)	La durée du processus

Figure 16. Le tableau des correspondances entre les formes et leurs sens

L'avantage de cette décomposition réside dans le fait que tout signe (qui correspond à une entrée du dictionnaire de l'avatar) est modélisé de façon à ce que certains traits puissent être modifiés. Le standard H-Anim laisse la forme des segments non spécifiée, par conséquent, le système d'animation et de contrôle de l'avatar signeur peut être réutilisé par d'autres avatars conformes au standard H-Anim sans modification nécessaire, cela rend notre plateforme un outil de partage idéal pour les systèmes de traitement des langues des signes.

V. CONCLUSION

Dans le cadre de ce projet, nous avons développé un outil visuel avec une interface utilisateur bilingue (Français-Arabe) d'élaboration du dictionnaire des signes qui pourra servir comme un outil de partage des connaissances en LS pour la communauté des sourds-muets accessible via le Web. Le module de l'animation du personnage virtuel peut fonctionner séparément du système. Il est capable de piloter le personnage virtuel et de générer un fichier X3D visualisable par n'importe quels logiciels de visualisation des scènes X3D comme Octaga Player, Flux, Vivaty Player...Etc.

Cette partie de travail représente le moteur de génération des sorties signées dans notre système de traduction automatique de textes Arabes vers la langue des signes algérienne. Les futures perspectives d'amélioration de cette partie du projet consistent en la réalisation d'une modélisation approfondie de l'espace de signation et de la représentation sémantique des entités LS afin de bien représenter les relations spatiales.

REFERENCES

- [1] J. Furst, K. Alkoby, A. Berthiaume, P. Chomwong, M. J. Davidson, B. Konie, G. Lancaster, S. Lytinen, J. McDonald, L. Roychoudhuri, J. Toror, N. Tomuro, R. Wolfe, *Database Design for American Sign Language*. Proceedings of the ISCA 15th International Conference on Computers and their Applications (CATA-2000). 427-430. 2000
- [2] J. Francik, P. Fabian, *Animating Sign Language in the Real Time*, 20th IASTED International Multi-Conference AI 2002 Innsbruck, Austria, pp.276-281. 2002
- [3] S. Gibet, T. Lebourque And P. F. Marteau, *High-level Specification and Animation of Communicative Gestures*. Journal of Visual Languages and Computing 12, 657-687. 2001
- [4] J. Yi, C.H. Frederick, S.M. Dascalu, *From Creating Virtual Gestures To 'Writing' in Sign Languages*, Extended abstracts on human Factors in computing systems.1885-1888.ACM Press, New York, NY USA. 2005
- [5] M. Filhol "Modele Descriptif des signes pour un traitement automatique des signes" PhD thesis, Université Paris 11. 2008
- [6] M. Huenerfauth *Generating American Sign Language Classifier Predicates For English-To-ASL Machine Translation*. Doctoral dissertation, University of Pennsylvania. 2006
- [7] C. Cuxac, *La Langue des Signes Française (LSF) – Les voies de l'iconicité*, Faits de Langues, , vol. 1516, Ophrys. 2000
- [8] W. Stokoe, C. Casterline & C. Croneberg, *A dictionary of American Sign Language on linguistic principles*, Silver Spring, MD : Linstok Press 1976.
- [9] V. Sutton, *Lessons in SignWriting: textbook and workbook*, La Jolla, CA: The Deaf Action Committee for SignWriting and the Center for Sutton Movement Writing, Inc.1995.
- [10] S.K Liddell & R.E Johnson, *American Sign Language: the phonological base*, *Sign Language Studies*, vol. 64, Gallaudet University Press. 1998
- [11] K. Shoemake, *Animating rotation with quaternion curves*. 1985 In ACM Press, editor, Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 1985
- [12] C. Fellbaum, M. Alkhalifa, W. J. Black, S.i Elkateb, A. Pease, H. Rodríguez, P.Vossen (2006). *Introducing the Arabic WordNet project*. Proceedings of the 3rd Global Wordnet Conference, Jeju Island, Korea, January, 2006.
- [13] Web3d consortium www.web3d.org. (dernière visite: 20/09/2011),
- [14] H-Anim Working Group: www.h-anim.org .(dernière visite: 20/09/2011),
- [15] L'API XJ3D www.xj3d.com .
- [16] S. Ulrich S, Brüggmann K, Prendinger H & M. Ishizuka: *Extending MPML3D to Second Life*, Proceedings 8th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'08). Tokyo, Japan. 2008.
- [17] C. Bouras, K. Chatziprimou, V. Triglianios, Th. Tsiatsos. GRAPP a framework for h-anim support in nves.2009
- [18] M. Minhua and P. Kevitt, *Virtual Human Animation in Natural Language Visualisation*, Special Issue on Research in Artificial Intelligence and Cognitive Science, Artificial Intelligence Review (25): 37-53, Creaney, N. (Ed.), Dordrecht, The Netherlands: Springer.2006
- [19] C. Babski, D. Thalmann, *3D on the WEB and Virtual Humans* 2000.
- [20] J. Fourie, the development of a generic signing avatar 2006
- [21] C. Blais, D. Brutzman, D. Horner and S. Nicklaus, *Web-Based 3D Technology for Scenario Authoring and Visualization: The SAVAGE Project*" Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (IITSEC) 2001.
- [22] X. Yang, Member, IEEE, D. C. Petriu, Senior Member, IEEE, T. E. Whalen, and E. M. Petriu, Fellow, *IEEE. Hierarchical Animation Control of Avatars in 3-D Virtual Environments*, IEEE transactions on instrumentation and measurement, vol. 54, no. 3, june 2005
- [23] D. Lourdeaux, *Réalité virtuelle et formation : conception d'environnements virtuels pédagogiques* . 2001, Ecole des Mines de Paris, <http://pastel.nrk.com/archive/00000019/00/MEMOIRE.pdf>
- [24] D. C. Petriu, X. L. Yang, and T. E. Whalen, *Behavior-based script language for anthropomorphic avatar animation in virtual environments*, présenté dans "the IEEE Intl. Symp. Virtual and Intelligent Measurement Systems, Anchorage, AK, 2002.
- [25] X. L. Yang, D. C. Petriu, T. E. Whalen, and E. Petriu, *Script language for avatar animation in virtual environments* Proc. IEEE Intl. Symp. Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, Lugano, Switzerland, Jul. 2003, pp. 101–106. 2003
- [26] *H-Anim Examples*, <http://www.ballreich.net/vrml/h-anim/h-anim-examples.html>
- [27] N. Wittwer, N. Goerger, J. Weekley, D. Brutzman, D. H. Nelson, M. Pace *rendering dynamic deformation structures in military simulations*, SIW 2002.
- [28] F. Buttussi, L. Chittaro, and D. Nadalutti, *H-animator: a visual tool for modeling, reuse and sharing of x3d humanoid animations*, web3D '2006: Proceedings of the eleventh international conference on 3D web technology. New York, NY, USA: ACM Press, pp. 109–117. 2006
- [29] W. Sandler & D. Lillo-Martin *Sign Language and Universals*. Cambridge University Press. 2006.
- [30] D. El Kassas *Etude contrastive du français et de l'arabe dans une perspective de génération multilingue*, thèse de doctorat, Université Paris VII – Denis Diderot, Paris, 2005.
- [31] D. Lillo-Martin and E. Klima. *Pointing out differences: ASL pronouns in syntactic theory*. In Fischer and Siple (eds.) Theoretical Issues in Sign Language Research. Chicago and London: The University of Chicago Press., pp. 191-210. 1990
- [32] K. Al-Fityani, Arab sign languages: A lexical comparison. CRL Technical Reports. 19, 3-13. 2007

Régularisation d'un problème mal posé des images omnidirectionnelles

H. Doghmane, A. Boukrouche

Abstract— Nous présentons dans ce papier, une approche qui permet de régulariser un problème mal posé sur la sphère. Ce travail s'adresse au problème inverse du traitement d'images sphériques. On décrit une nouvelle méthode de régularisation des images sphériques qui ont été dégradées par des gaussiennes sphériques invariantes par rotation. A cet effet, on propose d'introduire le filtre de Wiener et la régularisation de Tikhonov pour la restauration de ces images qui ont été dégradées par un flou et bruitées par un bruit blanc gaussien.

Keywords: convolution sphérique, filtre de Wiener, harmoniques sphériques, image omnidirectionnelle, projection stéréographique, Tikhonov régularisation.

I. INTRODUCTION

Augmenter le champ de vue des systèmes de vision pour le rendre panoramique, voire omnidirectionnel, tel est l'objectif de la vision omnidirectionnelle. Dans les systèmes artificiels, auxquels nous nous intéressons ici, l'omnidirectionnalité est obtenue par l'association d'une caméra CCD et d'un miroir de révolution qui en réfléchissant les rayons lumineux provenant de toutes les directions. Ces dispositifs se nomment des capteurs catadioptriques : dioptriques pour la réfraction (lentilles) et catoptrique pour la réflexion (miroirs). Du fait que ces miroirs introduits des distorsions, les méthodes que nous allons présenter consistent à utiliser un espace intermédiaire pour effectuer les traitements. Cet espace est appelé « sphère d'équivalence » (figure.1) qui permet un traitement uniforme quelque soit la position de l'opérateur de traitement sur la sphère. On propose dans ce papier d'adapter le filtre de Wiener sphérique et la régularisation de Tikhonov pour la déconvolution des images sphériques qui ont été dégradées par une gaussienne sphérique. Puis, on fait une comparaison entre les résultats obtenus.

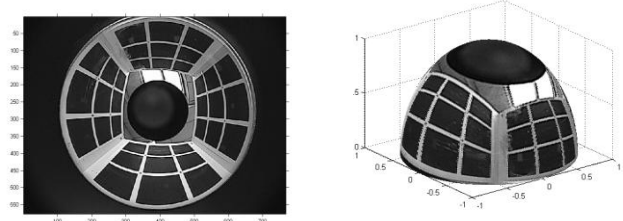


Figure 1 : Image sphérique obtenue à partir de la projection stéréographique inverse de l'image omnidirectionnelle

II. Outils mathématiques

Dans cette section, on présente les différents outils nécessaires à l'implémentation de ces techniques décrites précédemment :

A. Projection stéréographique et stéréographique inverse

Baker et Nayer [1] ont classé les capteurs catadioptriques en deux catégories en fonction du nombre de points de vue. Ainsi, les capteurs avec un point de vue unique, nommés capteurs catadioptriques centraux, permettent une reconstruction géométriquement correcte de l'image perspective à partir de l'image omnidirectionnelle originale. Cette catégorie est constituée des miroirs paraboliques associés à une caméra orthographique et des miroirs hyperboloïdes, ellipsoïdes ou plans avec une caméra perspective. La seconde catégorie comportant plusieurs points de vue différents possède des caractéristiques géométriques beaucoup moins remarquables et se compose de toutes les autres possibilités d'association miroir-caméra [2], [3]. Nous nous intéressons ici aux capteurs centraux pour lesquels Geyer et Daniilidis [4] ont démontré que la projection des capteurs catadioptriques avec un point de vue unique est équivalente à une projection sur une sphère d'unité suivie d'une autre projection (stéréographique) sur le plan selon le pôle nord de la sphère (cas miroir parabolique).

B. Transformée de Fourier Sphérique

Rappelons que l'on paramètre la sphère unité, plongée dans \mathbb{R}^3 , en utilisant les coordonnées sphériques, soit $\eta \in S^2 : \eta(\theta, \phi) = (\cos(\phi) \sin(\theta), \sin(\phi) \sin(\theta), \cos(\theta))$ avec $\phi \in [0, 2\pi]$ angle de longitude et $\theta \in [0, \pi]$ angle de colatitude.

H. Doghmane is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria email: doghmane_hakimdz@yahoo.fr
A./H. Boukrouche is with the PI:MIS laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria email: hani.Boukrouche@gmail

Les harmoniques sphériques $Y_m^l : S^2 \rightarrow \mathbb{C}$ sont les fonctions propres de l'opérateur de Laplace sphérique (opérateur de Laplace-Beltrami) Δ_{S^2}

$$\Delta_{S^2} = \frac{1}{\sin(\theta)} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin(\theta) \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2(\theta)} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad (1)$$

Les harmoniques sphériques Y_m^l de degré l ($l \in \mathbb{N}$) et d'ordre m ($|m| \leq l$) sont :

$$Y_m^l(\theta, \phi) = \begin{cases} \sqrt{\frac{(2l+1)(l-m)!}{4\pi(l+m)!}} P_m^l(\cos(\theta)) e^{im\phi} & \text{pour } m \geq 0 \\ (-1)^m \overline{Y_{-m}^l(\theta, \phi)} & \text{pour } m < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Où $P_m^l(\cdot)$ sont les polynômes de Legendre associés pour degré l et un ordre m .

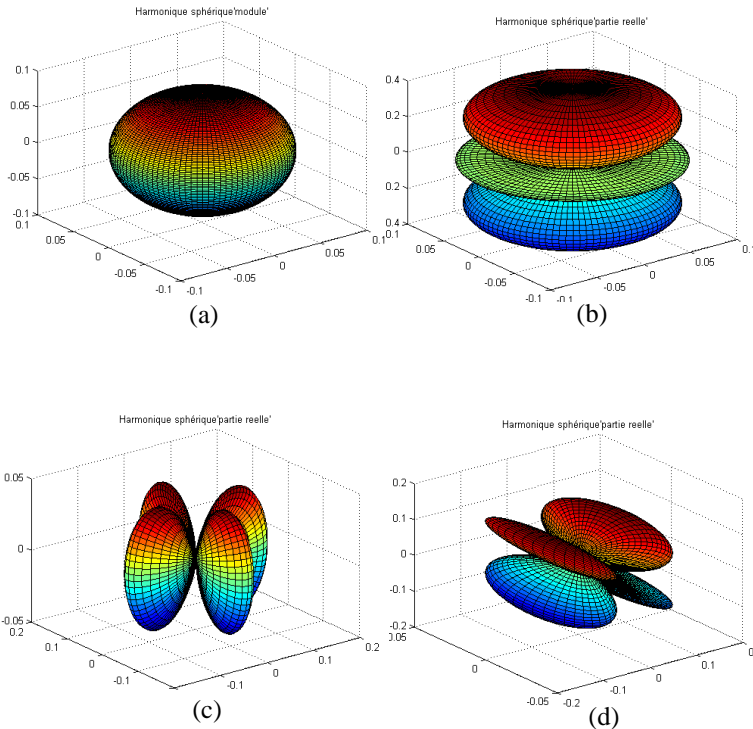


Figure 2 : Les harmoniques sphériques. (a) $Y_0^0(\eta)$ (b) $\text{Re}\{Y_0^2\}$ (c) $\text{Re}\{Y_2^2\}$ (d) $\text{Re}\{Y_1^2\}$

Les harmoniques sphériques Y_m^l forment une base orthonormale dans $L^2(S^2)$. Toute fonction $f(\eta) \in L^2(S^2)$ peut être écrit dans cette base comme [5]:

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l \in \mathbb{N}} \sum_{|m| \leq l} \hat{f}(l, m) Y_m^l(\theta, \phi) \quad (3)$$

$$\hat{f}(l, m) = \int_{\eta \in S^2} f(\eta) \overline{Y_m^l(\eta)} d\eta \quad (4)$$

L'ensemble des coefficients \hat{f}_m^l sont appelés la transformée

de Fourier sphérique.

On dit qu'une fonction $f \in L^2(S^2)$ est à bande limitée de largeur de bande $B \geq 0$ si $\hat{f}_m^l = 0 \quad \forall l \geq B$

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{B-1} \sum_{m=-l}^l \hat{f}_m^l Y_m^l(\theta, \phi) \quad (5)$$

$$\hat{f}_m^l = \frac{\sqrt{2\pi}}{2B} \sum_{j=0}^{2B-12B-1} \sum_{k=0}^{2B-1} f(\theta_j, \phi_k) \overline{Y_m^l(\theta_j, \phi_k)} \quad (6)$$

$$\text{Avec : } \theta_j = \frac{\pi(2j+1)}{4B} \text{ et } \phi_k = \frac{\pi k}{B}$$

III. La convolution sphérique

Dans la littérature, ils existent deux définitions qui ont été implémentées pour effectuer un produit de convolution sur la sphère : celle proposée par Driscoll et Healy et celle utilisée entre autre par Wandelt [6], [7]. Commençons par quelques notations, on représente la sphère S^2 comme le quotient $SO(3)/SO(2)$ où $SO(3)$ est le groupe des rotations qui agit sur la sphère. La rotation d'une fonction f définie sur la sphère par un élément $g \in SO(3)$ est définie avec l'opérateur \wedge_g tel que :

$$\wedge_g f(\eta) = f(g^{-1}\eta) \quad \forall \eta \in S^2 \quad (7)$$

Soit $f \in L^2(S^2)$ et $h \in L^1(S^2)$, la convolution entre f et h est une fonction sur $SO(3)$ définie par :

$$(f \tilde{*} h)(g) = \int_{\eta \in S^2} f(g^{-1}\eta) h(\eta) d\eta \quad (8)$$

Un problème important se pose alors, est que les fonctions f et h sont définies sur la sphère, tandis que le produit de convolution est défini sur le groupe des rotations $SO(3)$, par conséquent il est évident que le produit de convolution n'est pas associatif.

Voyons maintenant une autre définition de convolution introduite par Driscoll et Healy [8].

Soit $f, h \in L^2(S^2)$, on a :

$$(f * h)(\eta) = \int_{g \in SO(3)} f(g\eta_0) h(g^{-1}\eta) dg \quad (9)$$

Où $\eta_0 = (0,0,1)$ est le pôle nord de la sphère unité.

En utilisant la deuxième définition (équation (9)), Driscoll et Healy ont montré que :

$$(f \hat{*} h)_m^l = 2\pi \sqrt{\frac{4\pi}{2l+1}} \hat{f}_m^l \hat{h}_0^l \quad (10)$$

On peut remarquer seuls les coefficients h_m^l avec $m=0$ interviennent dans l'expression précédente. Ces coefficients correspondent aux harmoniques zonales Y_0^l [9], [10] et représente la partie invariante par rotation du filtre h . Notons également que cette définition montre que la convolution n'est pas commutative, mais elle est associative.

IV. La gaussienne sphérique

On se propose de trouver l'équivalent de la gaussienne sur la sphère. Plusieurs constructions sont disponibles dans la littérature.

A. Le noyau de Green

Thomas Bülow [11] a proposé de déterminer la fonction de Green en tant que solution de l'équation de diffusion sphérique.

$$\Delta_{S^2} u(\theta, \phi, t) = \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial t} u(\theta, \phi, t) \quad (11)$$

Rappelons que les harmoniques sphériques sont les fonctions propres de l'opérateur de Laplace sphérique :

$$\Delta_{S^2} Y_m^l = -l(l+1) Y_m^l \quad (12)$$

Par conséquent, on montre que :

$$u_m^l(\theta, \phi, t) = Y_m^l(\theta, \phi) e^{-l(l+1)kt} \quad (13)$$

Sont les solutions de l'équation de diffusion sphérique. Pour obtenir la fonction de Green G , on impose la condition initiale :

$$u(\theta, \phi, 0) = G(\theta, \phi, 0) = \delta_0(\theta, \phi)$$

$$\text{Où } \delta_0 \text{ est défini par: } f(\eta_0) = \int_{\eta \in S^2} f(\eta) \delta_0(\eta) d\eta$$

Par la décomposition Dirac sphérique $\delta_0(\eta)$ dans la base des harmoniques sphériques, on obtient:

$$G(\theta, \phi, 0) = \delta_0 = \sum_{l \in \mathbb{N}} \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} Y_0^l(\eta) = \sum_{l \in \mathbb{N}} \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} u_0^l(\theta, \phi, 0)$$

Finally, the Green function is

$$G(\theta, \phi, t) = \sum \frac{2l+1}{4\pi} P_0^l(\cos(\theta)) e^{-l(l+1)kt} \quad (14)$$

Thus, the spectrum of G is given by

$$\hat{G}_m^l(\theta, \phi, t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} e^{-l(l+1)kt} & \text{si } m = 0 \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \quad (15)$$

B. Le noyau Guassien sur la sphère

En partant de la définition de la gaussienne sur le plan, on peut obtenir la gaussienne sphérique, en opérant une projection stéréographique inverse, on obtient :

$$G(\theta, \phi, t) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \cot^2(\frac{\theta}{2})} \quad (16)$$

V. La déconvolution sphérique

La procédure de la convolution sphérique est décrite par la configuration suivante :

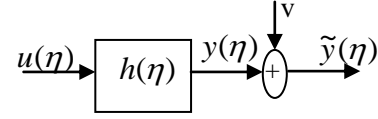


Figure 3: Principe de convolution sphérique

$u(\eta)$: Image sphérique originale

$h(\eta)$: Le flou sphérique est invariant par rotation

v : Bruit blanc gaussien de variance σ

$\tilde{y}(\eta)$: L'image sphérique dégradée et bruitée

La déconvolution consiste à estimer l'image originale u à partir de l'image enregistrée \tilde{y} . Pour réaliser ce travail, on va décrire dans les paragraphes suivants deux techniques pour la déconvolution sphérique, la première est basée sur la synthèse d'un filtre optimum (filtre de Wiener) tandis que la deuxième est basée sur la régularisation de Tikhonov.

A. Filtre de Wiener adapter à la déconvolution sphérique

Dans ce cas, on cherche à obtenir la meilleure estimation possible $\tilde{u}(\eta)$ de $u(\eta)$ à partir des données $\tilde{y}(\eta)$. Pour cela, on cherche d'obtenir le maximum du SNR (Signal to Noise Ratio)

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{E(\|u\|^2)}{E(\|u - \tilde{u}\|^2)}$$

Ce qui revient à minimiser l'erreur quadratique moyenne $e = E(\|u - \tilde{u}\|^2)$. Où $\|\cdot\|$ représente la norme de $L^2(S^2)$. L'image originale u et l'image estimée \tilde{u} sont des fonctions de $L^2(S^2)$, dont les harmoniques sphériques forment une base orthonormale. Par conséquent, on peut utiliser le théorème de Riesz-Fisher :

$$e = E(\|u - \tilde{u}\|^2) = E\left(\sum_{l \in \mathbb{N}} \sum_{|m| \leq l} |\hat{u}(l, m) - \hat{\tilde{u}}(l, m)|^2\right) \quad (17)$$

Avec :

$$\begin{cases} y = \frac{1}{2\pi} u * h \\ \tilde{y} = y + v \\ \tilde{u} = \frac{1}{2\pi} \tilde{y} * g \end{cases} \quad (18)$$

* est l'opérateur de convolution

On utilise la définition de convolution sur la sphère donnée précédemment, on obtient :

$$\hat{\tilde{u}}(l, m) = \sqrt{\frac{4\pi}{(2l+1)}} \hat{\tilde{y}}_{lm} \hat{g}(l, 0)$$

Par conséquent:

$$e = E \left(\sum_{l \in N} \sum_{|m| \leq l} \left| \hat{u}(l, m) - \sqrt{\frac{4\pi}{(2l+1)}} \hat{y}_{lm} \hat{g}_{l0} \right|^2 \right)$$

Cela revient à déterminer $\hat{g}(l, 0)$, en minimisant l'erreur e :

$$\frac{\partial e}{\partial \hat{g}(l, 0)} = E \left(\frac{\partial}{\partial \hat{g}(l, 0)} \left\{ \sum_{|m| \leq l} \left| \hat{u}(l, m) - \sqrt{\frac{4\pi}{(2l+1)}} \hat{y}_{lm} \hat{g}_{l0} \right|^2 \right\} \right)$$

Finalement, on trouve:

$$\hat{g}(l, 0) = \frac{2l+1}{4\pi} \frac{\hat{h}(l, 0)}{\left(\hat{h}(l, 0) \right)^2 + \frac{2l+1}{4\pi} E \left\{ \hat{y}(l, m) \right\}^2} \quad (19)$$

$$\text{Où: } g(\eta) = \sum_{l \in N} \hat{g}(l, 0) Y_{l0}(\eta)$$

B. Régularisation de Tikhonov sur la sphère

Cette méthode est utilisée pour régulariser un problème mal posé pour le rendre bien posé. Arsenin et Tikhonov ont proposé une formulation qui permet d'estimer l'image originale à partir de l'observation de l'image dégradée. Il s'agit d'estimer u , en minimisant la fonctionnelle J :

$$\min J(y) = \min_{S^2} \int |\nabla y|^2 + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 \quad (20)$$

λ est un paramètre d'attache aux données. Pour une fonction y lisse à support compact, on a :

$$\int |\nabla y|^2 = - \int y \Delta y$$

D'où:

$$\int_{S^2} |\nabla y|^2 + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 = - \int_{S^2} y \Delta y + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 \quad (21)$$

On sait que les harmoniques sphériques, qui forment une base orthonormale de $L^2(S^2)$, sont les valeurs propres de l'opérateur de Laplace-Beltrami :

$$\Delta Y_{lm} = -l(l+1) Y_{lm}$$

Par conséquent, on obtient:

$$\begin{aligned} \int_{S^2} |\nabla y|^2 + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 &= - \int_{S^2} \left(\sum_{l \in N} \sum_{|m| \leq l} \hat{y}(l, m) Y_{lm} \right) \Delta \left(\sum_{p \in N} \sum_{|q| \leq p} \hat{y}(p, q) Y_{pq} \right) + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 \\ &= \left(\sum_{l \in N} \sum_{|m| \leq l} \hat{y}(l, m) \right) \left(\sum_{p \in N} \sum_{|q| \leq p} \hat{y}(p, q) p(p+1) \right) \int_{S^2} Y_{lm} Y_{pq} + \lambda \|y - \tilde{y}\|^2 \\ &= \sum_{l \in N} \sum_{|m| \leq l} (\hat{y}^2(l, m) l(l+1)) + \lambda \sum_{l \in N} \sum_{|m| \leq l} (\hat{y}(l, m) - \hat{\tilde{y}}(l, m))^2 \end{aligned}$$

Il suffit de trouver le minimum de la fonctionnelle $J(y)$ suivant les $\hat{y}(l, m)$, alors :

$$\begin{aligned} \frac{\partial J(y)}{\partial \hat{y}(l, m)} &= 2l(l+1) \hat{y}(l, m) + 2\lambda (\hat{y}(l, m) - \hat{\tilde{y}}(l, m)) = 0 \\ \Rightarrow \hat{y}(l, m) &= \frac{\lambda}{\lambda + l(l+1)} \hat{\tilde{y}}(l, m) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\text{Comme: } \hat{y}(l, m) = \sqrt{\frac{4\pi}{2l+1}} \hat{u}(l, m) \hat{h}(l, 0)$$

On déduit que $\hat{\tilde{u}}$ l'estimée de u est donnée par l'équation :

$$\hat{\tilde{u}}(l, m) = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} \frac{\lambda}{(\lambda + l(l+1))} \hat{h}(l, 0) \hat{\tilde{y}}(l, m)$$

D'après l'équation (22), on trouve :

$$\hat{g}(l, 0) = \frac{2l+1}{4\pi} \frac{\lambda}{(\lambda + l(l+1))} \hat{h}(l, 0) \quad (23)$$

$$\text{Où: } g(\eta) = \sum_{l \in N} \hat{g}(l, 0) Y_{l0}(\eta)$$

VI. Résultats et Discussions

Dans un premier temps, nous allons comparer les différents opérateurs de lissage que nous avons développés sur la sphère. Pour ce faire, nous ajoutons un bruit blanc gaussien additif sur l'image floue (dégradée par la réponse du système) et nous cherchons le filtre qui permet de restaurer le mieux l'image originale. Etant donnée que les différentes méthodes dépendent chacune d'un paramètre de lissage, on cherche à obtenir le paramètre qui optimise la restauration, c'est-à-dire celui qui fournit le meilleur rapport signal à bruit (SNR).

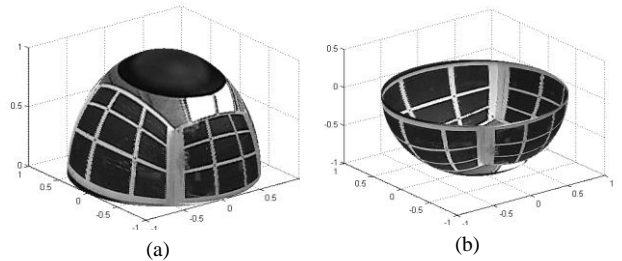


Figure 4: image Mire. (a) hémisphère supérieure, (b) hémisphère inférieure

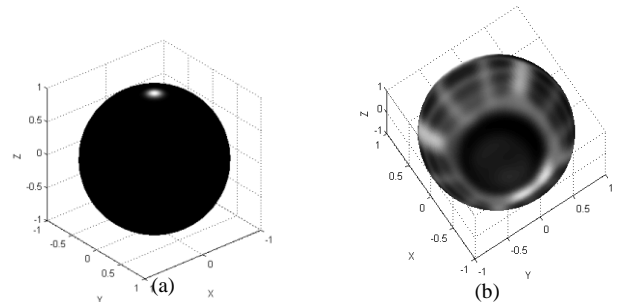


Figure 5: (a) flou gaussien, (b) image floue et bruitée SNR=20dB

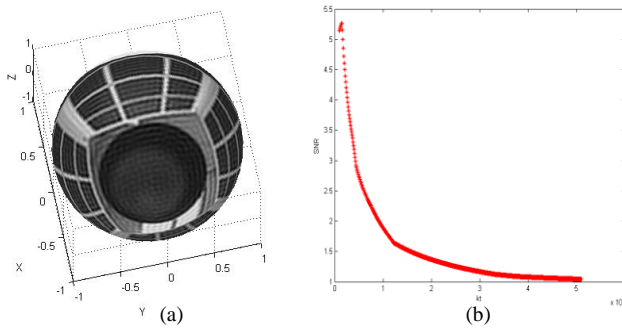


Figure 6: (a) image restaurée par filtre de Wiener pour le paramètre $l=1,5.10^6$, (b) L'évolution de SNR en fonction de l'échelle

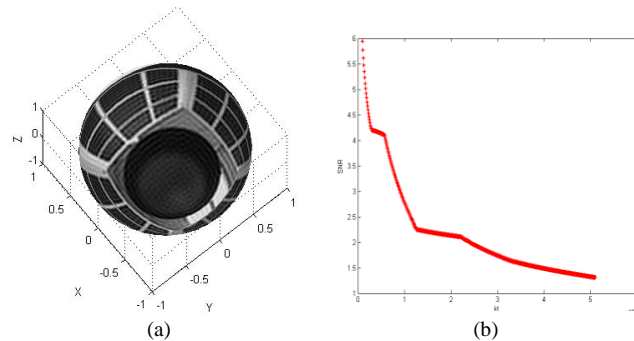


Figure 7: (a) image restaurée par la régularisation de Tikhonov pour le paramètre $l=10^6$, (b) L'évolution de SNR en fonction de l'échelle

D'après les résultats obtenus, on peut vérifier que ces filtres possédant une propriété de lissage uniforme sur la sphère, ce qui était l'intérêt recherché initialement lors de leur construction. En effet, comme on peut le voir sur les figures (6) et (7).

De plus, en ce qui concerne précisément la comparaison des différents filtres, on peut constater qu'il n'y a pas de grandes différences de résultat entre les méthodes, puisque les SNR ne varient qu'à quelques dixièmes de point. Cependant, globalement, on remarque que le filtre de Wiener et la méthode de Tikhonov fournissent des contours plus nets.

VII. CONCLUSION

Traiter les images omnidirectionnelles comme des images planes classiques aboutit à des erreurs puisque la géométrie du capteur n'est pas prise en compte. En effet, une image omnidirectionnelle présente une résolution plus faible au centre de l'image qu'à la périphérie. Nous avons proposé dans ce travail de projeter l'image omnidirectionnelle sur un espace homogène, une sphère, et de procéder aux traitements de l'image obtenue par des outils adaptés. Puis nous avons d'une part présenté un panorama sur les outils de traitement des images sphériques et d'autre part adapté le filtre de Wiener et la régularisation de Tikhonov pour le cas de déconvolution des images omnidirectionnelles. Les filtres sont invariables par

rotation, les résultats sont ainsi indépendants de la position sur la sphère.

Pour la suite de notre travail, nous proposons de développer une combinaison entre le filtre optimal (Wiener) et une technique de régularisation pour la déconvolution des images omnidirectionnelles.

REFERENCES

- [1] G. S. Baker and S. K. Nayar "A theory of single view point catadioptric image formation". International Journal of Computer Vision, 35(2):1-22, November 1999.
- [2] K. Daniilidis and A. Makadia "Image processing in catadioptric planes: spatiotemporal derivatives and optical flow computation". In proceeding of the IEEE workshop on omnidirectional visio, pages 3-12, 2002.
- [3] Drocourt C.P. Vasseur C. Cauchois, E. Brassart « Calibration of the omnidirectional vision sensor » : Syclop., pages 1287-1292, (1999).
- [4] C. Geyer and K. Daniilidis "A unifying theory for central panoramic systems and practical implications", In European Conference on Computer Vision, volume 29, pages 159-179, Dublin, Ireland, May 2000.
- [5] D.N. Rockmore P.J. Kostelec D.M. Healy, Jr. and S. More "FFTS for 2-sphereimprovements and variations". The journal of Fourier Analysis and Applications, vol. 9, No. 4, pages 341-385, (2003).
- [6] Peter J. Kostelec and Daniel N. Rockmore. S2kit "A lite version of spharmonic kit". Jhttp://www.cs.dartmouth.edu/geelong/sphere.
- [7] Wandelt B. D., Gorski K.M: "Fast convolution on the sphere". Physical review D63 (2001) 123002.
- [8] James R. Driscoll and JR Dennis M. Healy. "Computing Fourier transforms and convolutions on the 2-sphere". Advances in Applied Mathematics, vol.15, pages 202-250, (1994).
- [9] L. Jacques Y. Wiaux and P. Vandergheynst « Corresponding principle between spherical and euclidean wavelets ». Submitted to Astrophysics, 2005.
- [10] Martin Bohme. "A fast algorithm for filtering and wavelet decomposition on the sphere". Thesis (Diploma), June 2002.
- [11] Bülow T., Spherical Diffusion for 3D Surface Smoothing, 3D Data Proc. Vis. And Transm., Juin 2002

Segmentation des Signaux Phonocardiogrammes par l'Enveloppe de la Transformée d'Hilbert

A. Atbi, S.M.Debbal

Résumé — La segmentation du signal phonocardiogramme (PCG) est la première étape de l'analyse et la plus importante procédure dans le diagnostic automatique des bruits cardiaques. Cet article présente l'implémentation d'un algorithme de segmentation basé sur la détection d'enveloppe par la transformée d'Hilbert du signal (PCG), dans le but de procéder à une possible discrimination entre les bruits, les souffles systoliques, diastoliques et les clicks cardiaques.

Mot clés — Segmentation, phonocardiogramme, signal analytique, transformée d'Hilbert, seuil, click, souffle.

I. INTRODUCTION

LE cœur est l'organe principal qui assure la circulation sanguine ; en conditions normales il produit deux bruits (B1 et B2) pendant chaque cycle cardiaque. Deux autres bruits (B3 et B4) ayant des amplitudes nettement moins importantes que les deux premiers apparaissent parfois au niveau du cycle cardiaque par effet de pathologie ou d'âge. [1]

Le bruit B1 correspondant au début de la systole ventriculaire est dû à la fermeture des valves auriculo-ventriculaires. Ce bruit est composé de quatre composantes internes dont deux principales ; la composante mitrale (M1) associée à la fermeture de la valvule mitrale et la composante tricuspide (T1) associée à la fermeture de la valve tricuspide. Le bruit B2 marque la fin de la systole ventriculaire et signifiant le début de la diastole est composé quand à lui de deux composantes principales ; la composante aortique (A2) correspondant à la fermeture de la valve aortique et la composante pulmonaire (P2) correspondant à la fermeture de la valve pulmonaire. [2]

Les pathologies valvulaires induisent des modifications considérables sur la morphologie du signal phonocardiogramme en termes de durée, d'amplitude et de fréquence [3]. D'un autre côté, des souffles systoliques et diastoliques de

différentes formes peuvent s'ajouter au signal PCG pour constituer un tracé résultant d'une anomalie donnée. Le signal PCG constitue alors un support d'information à valoriser par un traitement numérique afin de mieux apprécier les pathologies et de pouvoir les traiter plus aisément.

L'énergie du signal PCG peut donc s'avérer très importante dans l'étude du cycle cardiaque. Dans le domaine temporel, une telle représentation permet d'apprécier la durée de chaque bruit cardiaque, des phases systolique et diastolique ainsi que du cycle cardiaque.

Les méthodes de séparation des bruits cardiaques proposées par R.J. Lehner et R.M. Rangayyan se basent sur les signaux Electrocardiogramme (ECG) et Carotidogramme comme références afin de localiser les instants d'apparition des vibrations d'ouvertures et de fermetures des valvules cardiaques [4].

Une approche de séparation des phases systoliques et diastoliques consistant à détecter l'enveloppe d'énergie temporelle des bruits cardiaques, a été proposée par Mr R. Benali et K. Bouziani, permet de délimiter les débuts et fins de chacun des bruits B1 et B2 au moyen d'un seuil fixé à partir de la valeur maximale de l'enveloppe de Shannon, afin de donner une appréciation de leurs durées moyennes [5].

Cette approche a été exploitée et développée par Mr L. Hamza Cherif, dans le but de procéder à une possible détection et identification des clicks et souffles pathologiques [6].

En se basant sur cet algorithme de la détection d'enveloppe d'énergie temporelle du signal PCG, nous allons essayer dans cette étude de développer une approche de séparation des bruits cardiaques consistant à détecter l'enveloppe temporelle des bruits cardiaques issue de la transformée d'Hilbert, qui permet d'atténuer l'effet des faibles bruits tout en prenant en compte les artéfacts de fortes amplitudes.

II. SEGMENTATION PAR ENVELOPPE DE LA TRANSFORMÉE D'HILBERT

Cette méthode de segmentation fonctionne en créant une séquence complexe hélicoïdale, appelé le signal analytique, en utilisant un transformateur d'Hilbert. Un signal analytique est un signal complexe, où la partie réelle est le signal original et

Manuscrit reçu le 30 Octobre 2011.

A.Atbi, Laboratoire de Génie Biomédical(GBM), Université Aboubekr Belkaid, BP 119, Tlemcen, Algérie (aminaatbi@yahoo.fr).

S.M. Debbal, Laboratoire de Génie Biomédical(GBM), Université Aboubekr Belkaid, BP 119, Tlemcen, Algérie.

la partie imaginaire contient la Transformée d'Hilbert du signal original. Le signal analytique est donc :

$$x = x_r + i * x_i \quad (1)$$

Avec : x_r la partie réelle du signal et x_i la partie imaginaire qui est une version de la séquence originale avec un décalage de phase de 90 degrés et contient la transformée d'Hilbert [7].

Pratiquement après avoir trouvé la transformée d'Hilbert du signal, cette dernière est multipliée par i (l'unité imaginaire) et ajouté ensuite au signal original. Le signal original est temporisé avant d'être ajouté à la transformée d'Hilbert pour correspondre au retard causé par la transformée d'Hilbert. L'enveloppe du signal peut être détectée en prenant la valeur absolue du signal analytique. Afin d'éliminer les bourdonnements et lisser l'enveloppe, le résultat est soumis à un filtre

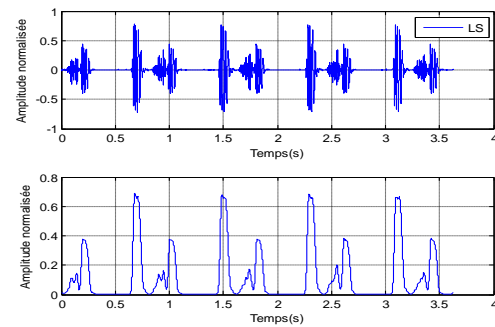


Fig. 1 Détection d'enveloppe de la transformée d'Hilbert d'un signal PCG pathologique (LS)

La morphologie de cette enveloppe nous permettra par la suite d'appliquer les tests nécessaires pour la localisation des bruits cardiaques B1 et B2.

II. ALGORITHME DE SEGMENTATION

L'organigramme donné par la "Fig.2" décrit les différentes étapes de l'algorithme de segmentation des bruits cardiaques.

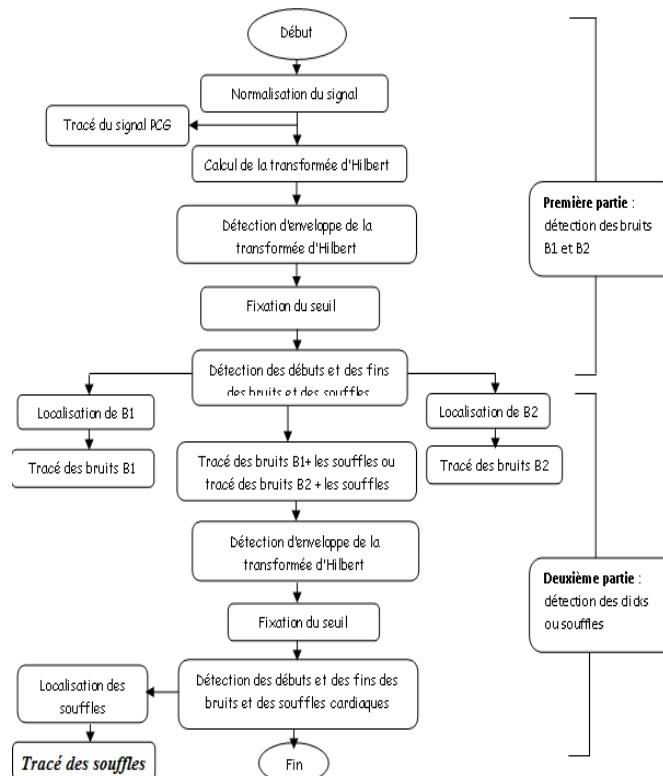


Fig. 1 Algorithme de segmentation par la transformée d'Hilbert.

La séparation des bruits et des souffles cardiaques est basée sur l'enveloppe calculée par la transformée d'Hilbert. Un seuil est fixé à partir de la valeur maximale selon le choix de l'opérateur pour éliminer l'effet des bruits et des très faibles intensités du signal. L'application de ce seuil permettra aussi de détecter les minima latéraux de chaque pic de l'enveloppe, les instants de ces points seront déterminé par la suite pour pouvoir localiser les bruits et les souffles cardiaques.

L'identification des bruits est accomplie par la comparaison des écarts entre deux consécutifs, basée sur les critères suivants :

- Le bruit B1 se trouve entre deux bruits dont l'écart avec le suivant est inférieur à l'écart du précédent.
- De même pour le deuxième bruit B2, il se trouve entre deux bruits dont l'écart avec le suivant est supérieur à l'écart du précédent, comme illustré sur la figure suivante :

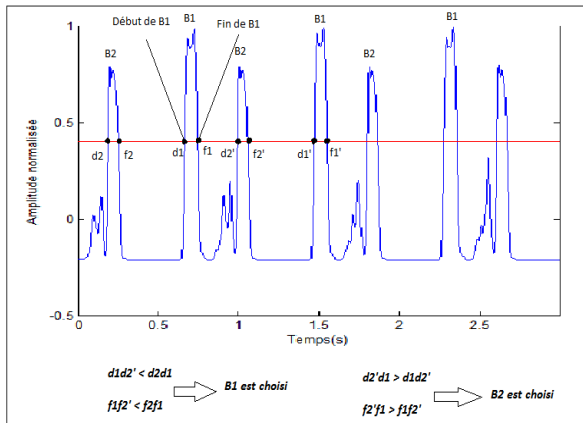


Fig. 3 Identification des bruits cardiaques.

Le choix du seuil est très important pour avoir des résultats fiables ; en effet, la durée du bruit ou du souffle cardiaque peut changer en fonction du seuil choisi. Comme ce sera aussi important pour la détection des souffles ou des clicks cardiaques. En effet, les pics dont leurs niveaux dépassent le seuil sont pris en considération et assumés pour être le premier bruit B1 ou le deuxième B2 ou bien souffle ou click cardiaques. Donc, il doit être choisi de manière à prendre en considération tous les pics représentatifs, ainsi pour chaque souffle ou click cardiaque on choisira un seuil précis. En suite leur identification sera la même utilisée pour l'identification des bruits B1 et B2.

IV. RESULTATSET DISCUSSION

Dans le but de distinguer les bruits cardiaques B1 du B2, ainsi les bruits pathologiques des normaux afin d'apprécier

leurs durées et celle du cycle cardiaques, nous avons validé notre algorithme de segmentation des bruits et des souffles sur différents signaux PCG (normaux et pathologiques).

A. Segmentation Sur Signal Ayant Une Morphologie Similaire à Celle du Signal PCG Normal

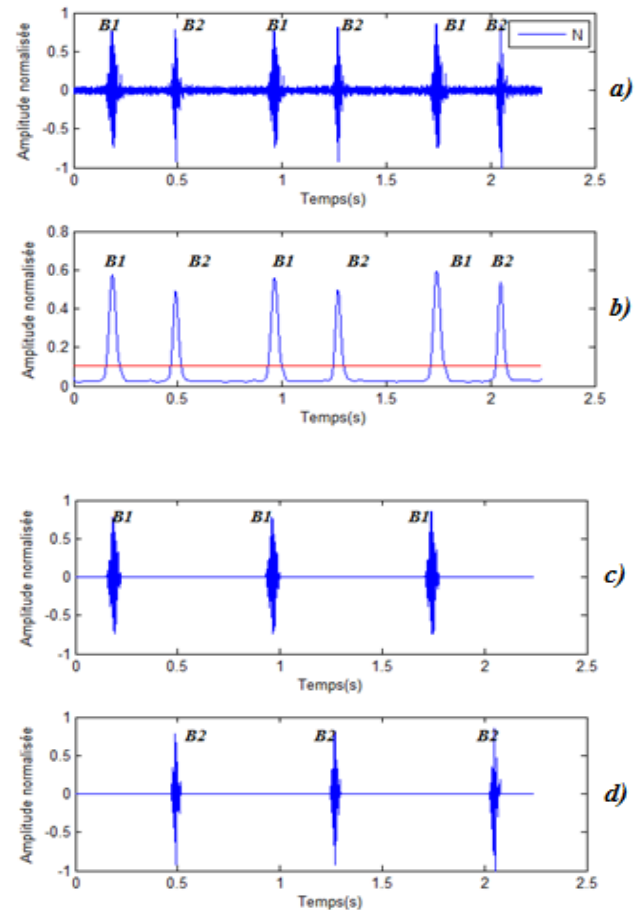


Fig. 4 Séparation des bruits cardiaques B1 et B2 :

- a) Signal PCG ayant une morphologie similaire à celle d'un signal PCG normal (N), b) enveloppe normalisée de la transformée d'Hilbert avec un seuil de 80% de la valeur maximale, c) bruits cardiaques B1, d) bruits cardiaques B2.

B. Segmentation Sur Signaux PCG Pathologiques

La segmentation des clicks et des souffles pathologiques peut être réalisée d'une manière analogue à celle de la séparations des bruits cardiaques B1 et B2 ; par la détection des minima latéraux de chaque pic d'enveloppe de la transformée d'Hilbert à partir d'un seuil fixé à partir de la valeur maximale, puis détecter les instants de ces points pour localiser et identifier les clicks et les souffles cardiaques.

1) Segmentation sur signal PCG à souffles systoliques

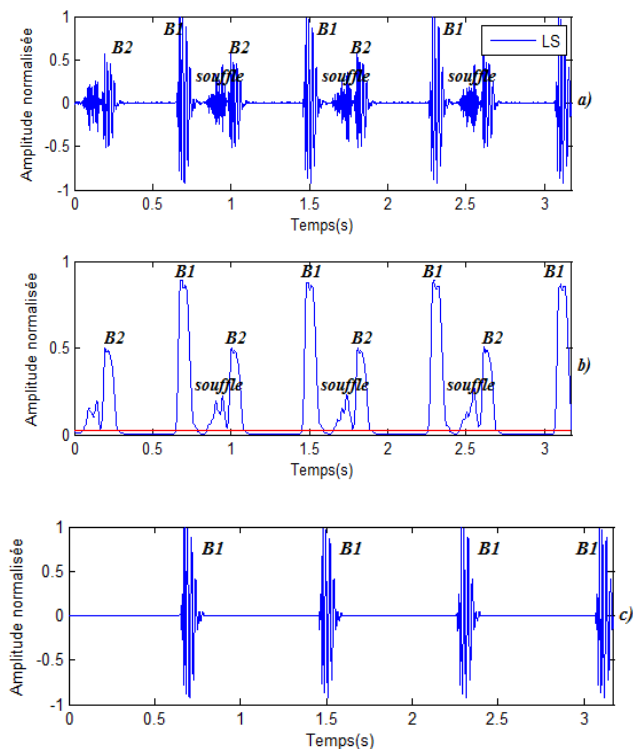


Fig. 5 Séparation des bruits cardiaques B1 du signal PCG (LS) :

- a) Signal PCG à click (LS), b) enveloppe normalisée de la transformée d'Hilbert avec un seuil de 98% de la valeur maximale, c) bruits cardiaques B1

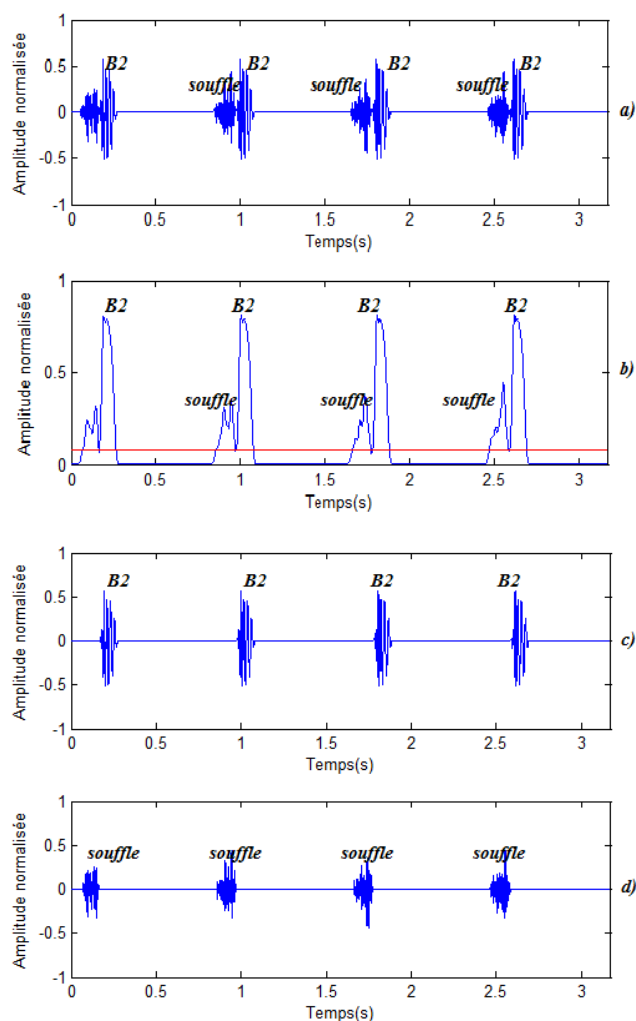


Fig. 6 Séparation des bruits B2 et souffles systoliques cardiaques du signal PCG (DR) (deuxième partie de l'algorithme) :

- a) bruits B2 et souffles systoliques cardiaques, b) enveloppe normalisée de la transformée d'Hilbert avec un seuil de 90% de la valeur maximale, c) bruits B2, d) souffles systoliques cardiaques

Dans cet exemple, afin de bien localiser les instants de début et de fin de chaque souffle, nous avons abaissé le seuil de l'enveloppe des bruits cardiaques à une valeur de (90%), remarquons aussi que selon cette valeur du seuil nous avons perdu une portion du click

TABLE I

LES ABREVIATIONS, FREQUENCES D'ECHANTIonnAGES ET LE NOMBRE D'ECHANTILLONS D'UN SEUL CYCLES DE DIFFERENTS SIGNAUX PCG

Type des signaux PCG	Abréviation	Fréquence d'échantillonnage (Hertz)	Nombre d'échantillons
Normal	N	8012	25000
Later systolic	LS	11025	32000

TABLE II

RESULTATS DE SEGMENTATION EXECUTEE SUR DIFFERENTS SIGNAUX PCG

Signaux PCG utilisés	Durée du bruit B1(seconde)	Durée du bruit B2 (seconde)	Durée du souffle cardiaque	Durée du cycle cardiaque (seconde)	S1(%)	S2(%)
PCG sans souffle N	0.0623	0.0481		0.7779	80	
PCG à souffle systolique LS	0.0916	0.0723	0.1077	0.8086	98	90

La séparation des bruits pathologiques s'effectue en deux parties, avec deux différentes valeurs de seuil (S1 pour l'isolation des bruits B1 des B2 ou le contraire et S2 pour la détection des souffles ou clicks cardiaques.

D'après les résultats qui figurent sur le tableau ci-dessus, on remarque que les signaux étudiés présentent une durée du bruit B1 légèrement supérieur à celle du bruit B2.

Les durées des bruits B1 et B2 du signal PCG à souffles systoliques sont nettement supérieur par rapport à celles du signal PCG normal, (tableau III), cela peut être dû à la pathologie elle-même.

Comme nous pouvons voir aussi que la durée du cycle cardiaque augmente en cas d'existence de pathologie cardiaque.

V. CONCLUSION

L'algorithme de séparation des bruits cardiaques que nous avons développé permet de segmenter le signal Phonocardiographique et de calculer par la suite différents paramètres temporels : les durées des bruits cardiaques B1 et B2 et le rythme cardiaque.

Cet algorithme est basé essentiellement sur la détection d'enveloppe issue de la transformée d'Hilbert du signal donc il dépend de la morphologie de ce dernier, et de la valeur du seuil fixée à partir de la valeur maximale de l'enveloppe, ce qui ne confirme pas des résultats satisfaisants dans tous les cas ; notamment pour les signaux pathologiques quand les

bruits sont complètement immergés dans le souffle ou il s'avère difficile de les séparer.

Comme perspectives à ce travail, il convient de penser à développer un algorithme de segmentation des signaux PCG indépendant du seuil afin d'améliorer ce modeste travail.

REFERENCES

- [1] A.Donant, J.Bournef, Nouveau Larousse Médicale, Edition Larousse, 1981.
- [2] Obaidat.M.S, Phonocardiogram signal analysis : Techniques and performance comparison. Journal of Medical Engineering & Technologie, vol 17, n° 6, pp221-227, 1993.
- [3] France Boudrealt, Michel Boyer, Marie claud, Désorey. Principe d'anatomie et de physiologie. De Boeck University. TORTORA, pp 271-277,2002.
- [4] Lehner RJ, Rangayyan JR, Erwin WD, "A new heart sounds gattting devices for medical imaging". IEEE Trans. On biomedical engineering 1992; 39;307;310.
- [5] R. Benali, K Bouziani, « Analyse temporelle et spectral du signal phonocardiogramme » Mémoire de magister en électronique biomédicale, Univ, de Tlemcen, Algérie, 2005.
- [6] L. Hamza Cherif, « Analyse du signal phonocardiogramme par la transformée d'ondelette discrète et par paquet d'ondelettes » Mémoire de magister en électronique biomédicale, Univ, de Tlemcen, Algérie, 2009.
- [7] Saad Daoud Sulaiman, Omar Ahmed Hardan and Mouhamed Chyad, "A PC based electronic stethoscope with analysis and diagnosis capabilities". E-MEDISYS 2010. Third International Conference: E-Medical system, Marroco 2010.

Synthèse d'un Contrôleur Fractionnaire par l'Algorithme d'Essaim Particulaire

Moussa Sedraoui, Sofiane Gherbi, and Samir Abdelmalek

Résumé— Dans ce travail, nous allons synthétiser un contrôleur robuste d'ordre non entier à partir de la résolution d'un problème d'optimisation multi-variable sous contraintes qui devra le transformer, à l'avance, en un autre problème d'optimisation dont la fonction de coût sera une fonction scalaire à plusieurs variables. Cette méthode de commande devra assurer, au système bouclé, une meilleure marge de robustesse de stabilité et performance non seulement pour le régime nominal mais également en présence des incertitudes paramétriques non structurées affectant le modèle synthèse. L'efficacité de cette méthode de commande sera examinée sur une colonne de distillation à haute pureté où sa dynamique a été modélisée par un modèle incertain à retard pur multiples.

Mots clé— Commande Robuste d'ordre non entier, Méthodes d'Optimisation pluridimensionnelle, Algorithme d'essaims particuliers (PSO).

I. INTRODUCTION

Dans la plupart des applications industrielles, le but principal de la commande des systèmes multi-variables, est de pouvoir satisfaire les objectifs imposés par le cahier de charges de la manière la plus performante possible [1]. Il s'agit de contrôler des signaux de sorties par actions sur d'autres signaux d'entrées de sorte qu'il soit possible de satisfaire les objectifs en présence des incertitudes paramétriques du processus et des restrictions sur les variables opérationnelles. Il s'agit là d'un problème pratique car les processus réels présentent ces caractéristiques. Les actionneurs ont souvent un champ limité d'opération (position totalement ouverte ou fermée d'une vanne). En tenant compte des raisons de sécurité, d'environnement ou de propres limitations des capteurs, et des limites sur les variables des processus, (e.g. des niveaux, des flux, des températures et des pressions). Tout ceci rend nécessaire la prise en considération des contraintes dans l'étape de conception du contrôleur afin d'obtenir une meilleure performance du système bouclé [2]. La synthèse de la commande sans prendre en compte les restrictions mentionnées ci-dessus peut écarter les réponses du système commandé de celles désirées. La technique robuste d'ordre non entier constitue un outil puissant pour affronter le

problème de commande avec restrictions. Pratiquement, la conception d'un contrôleur fractionnaire à partir de la résolution d'un problème d'optimisation pluridimensionnelle non linéaire sous contraintes peut poser de sérieux problèmes, en particulier les cas suivants [2-5] : Une haute dimension de l'espace de recherche qui dépend du nombre de fonctions objectives à minimiser, Un choix de la phase d'initialisation de l'algorithme utilisé, un nombre élevé des spécifications à satisfaire ...etc. L'état de l'art de notre travail s'est fixé comme objectif de remédier à ces anomalies, et ceci par une proposition d'un algorithme d'optimisation très efficace appelé : le *PSO* où en anglais « *Particle Swarm Optimization* ». Cet algorithme va être amélioré de telle façon que sa solution assure une convergence vers un optimum global.

II. SYNTHESE DU CONTROLEUR FRACTIONNAIRE [5]

La matrice de transfert du contrôleur proposé dans cette étude s'est basée sur l'utilisation de l'ordre fractal sur la puissance de l'opérateur de Laplace. La puissance des actions intégrales et dérivées sont donc définies par : $\{ {}_a D_t^\rho e(t) \}$: représente la transformation intègro-dérivée fractale, elle est définie selon les deux mathématiciens : *Grünwald–Letnikov (GL)* et *Riemann–Liouville (RL)* par

$$\text{Selon (GL)} : {}_a D_t^\rho e(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-\rho} \sum_{j=0}^{\lceil \frac{t-a}{h} \rceil} (-1)^j \binom{\rho}{j} e(t-jh) \quad (1)$$

$$\text{Selon (RL)} : {}_a D_t^\rho e(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\rho)} \frac{d^n}{dt^n} \int_{\phi=a}^{\phi=t} \frac{e(\phi)}{(t-\phi)^{\rho-n+1}} d\phi \quad (2)$$

Avec: $\Gamma(\cdot)$ représente la fonction gamma d'Euler. Par convention, la transformée de Laplace décrivant l'opération intègro-différentielle au sens de *RL* est définie, pour la condition initiale $t = 0$ et $\rho \in \{ 0 < \rho < 1 \}$, par [5]:

$$L({}_a D_t^{\pm\rho} f(t)) = s^{\pm\rho} F(s) \quad (3)$$

À partir des définitions précédentes, la méthode de synthèse proposée dans cet article utilise le formalisme particulier de la matrice de transfert du contrôleur comme suit :

$$K(s, x) := K_1 \cdot K_2 \cdot K_3(s, x) \cdot K_4(s, x) \quad (4)$$

Avec $K_1 \in \mathbb{R}^+$ représente le gain de cette structure proposée. C'est un paramètre déterminé par l'optimisation non linéaire afin d'ajuster la bande passante de la fonction de sensibilité et de sensibilité complémentaire. $K_2 \in \mathbb{R}^{m \times m} := G^{-1}(0)$ est une

Moussa Sedraoui is with the PI:MIS Laboratory, Guelma University, Box 401, 24000 Guelma, Algeria (e-mail msedraoui@gmail.com).
Sofiane Gherbi is with the 'Laboratoire d'Automatique de Skikda' (LAS), Skikda University, Algeria. (e-mail sgherbi@gmail.com)
Samir Abdelmalek is with the PI:MIS Laboratory..

matrice réelle inversible dont ses éléments sont déterminés via l'inversion de la matrice des gains statiques du système à commander. Cette matrice présente un rôle important dans le transfert du contrôleur fractionnaire, elle découple d'un côté, les sorties du système bouclé en régime stationnaire. D'un autre côté, elle minimise la sensibilité du système bouclé face aux perturbations paramétrique du modèle. Le choix du bloc K_2 était justifié comme suit: Etant donné le schéma général d'un système bouclé comme l'indique la figure suivante [6] :

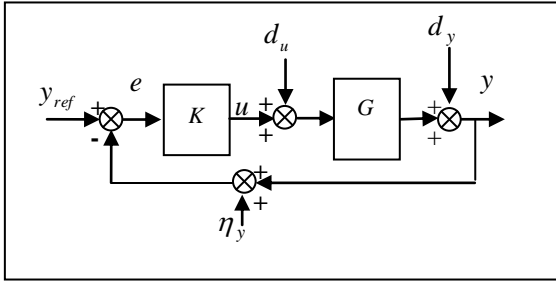


Fig.1. Structure générale d'un système bouclé

Avec $y_{ref} := (y_{ref_1}, \dots, y_{ref_m})^T$, $y := (y_1, \dots, y_m)^T$ représentent respectivement, les signaux de consignes et de sorties du système bouclé. $d_u := (d_{u_1}, \dots, d_{u_m})^T$, $d_y := (d_{y_1}, \dots, d_{y_m})^T$ sont les perturbations affectant les entrées et les sorties du système à commander respectivement, $\eta_y := (\eta_{y_1}, \dots, \eta_{y_m})^T$ représente les entrées de bruits de mesures affectant les sorties du système bouclé. Notons ici que la notation $T_{x \rightarrow y}$ représente le transfert de la sortie (y) vers l'entrée (x). On aura donc les transferts suivants:

$T_{d_y \rightarrow y} := (I_{m \times m} + G(s) \cdot K(s, x))^{-1}$ Le transfert de la sortie globale vers l'entrée de perturbation en sortie. Elle définit ainsi le transfert de la fonction de sensibilité directe en sortie.

$T_{y_{ref} \rightarrow y} := G(s) \cdot K(s, x) \cdot (I_{m \times m} + G(s) \cdot K(s, x))^{-1}$ Le transfert de la sortie globale du système bouclé vers l'entrée de consigne. Elle représente à la fois deux différents transfert, le premier est celui qui représente la fonction de sensibilité complémentaire et l'autre représente le transfert de la boucle fermée du système bouclé.

$T_{d_u \rightarrow y} := G(s) \cdot (I_{m \times m} + G(s) \cdot K(s, x))^{-1}$ Le transfert de la sortie globale du système bouclé vers l'entrée de perturbation en entrée. Selon Shinskey, 1983; Nie & Linkens, 1995, le découplage du système boucle de la figure ci-dessus est parfaitement réalisé si l'une de sa sortie doit être identique à la consigne correspondante. Pour aboutir cette condition, le contrôleur à synthétiser doit fournir une commande satisfaisante l'identité suivante :

$y_{ref} \cong y$. Celle-ci traduit par, suivant les théorèmes de la valeur finale et de faible gain, l'obtention d'une fonction de sensibilité complémentaire (et qui coïncide ici par le transfert de la boucle fermée) proche de l'unité en basse fréquences, i.e.

$T_{y_{ref} \rightarrow y} \cong I_{m \times m}$. Suivant la figure ci-dessus, la sortie globale du système bouclé est définie, en absence d'entrées de bruits de mesures, par :

$$y := T_{y_{ref} \rightarrow y} \cdot y_{ref} + T_{d_y \rightarrow y} \cdot d_y + T_{d_u \rightarrow y} \cdot d_u \quad (5)$$

Pour avoir un contrôleur robuste capable de découpler le transfert de la boucle fermée, il est nécessaire de fournir une commande parfaite vérifiant la condition:

$$K(s=0, x) := \Lambda \cdot G^{-1}(s=0) \quad (6)$$

Selon (6), les sorties globales du système bouclé vaut donc cette expression:

$$y := [I_{m \times m}] \cdot y_{ref} + [0_{m \times m}] \cdot d_y + G(0) \cdot [0_{m \times m}] \cdot d_u \quad (7)$$

Avec $[0_{m \times m}]$ représente la matrice nulle. $K_3(s, x)$ représente l'action intégrale du contrôleur à synthétiser, l'objectif de cette action est d'éliminer l'erreur statique de chaque voie du système à commander. Elle est proposée suivant le formalisme:

$$K_3(s, x) := \begin{bmatrix} \frac{1}{s^{\lambda_{11}}} & \dots & \frac{1}{s^{\lambda_{1m}}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{s^{\lambda_{m1}}} & \dots & \frac{1}{s^{\lambda_{mm}}} \end{bmatrix}$$

$n \leq \lambda_{ii(i=1,2,\dots,m)} \leq n+1, n \in \mathbb{N}$. Notant ici que les puissances fractales de cette action sont obtenues via l'optimisation d'un problème d'optimisation que l'on donnera dans la suite de ce travail non lisse. Pour illustrer pourquoi on a choisi cette forme de $K_3(s, x)$, on se réfère à la Fig.1 qui représente un système bouclé par un contrôleur robuste en présence des différentes entrées de références, de perturbations, et de bruits de mesures. D'après cette figure, on peut constater que le transfert entre l'entrée de bruits de mesure et la sortie globale du système bouclé coïncide à celui de la boucle fermée. Un contrôleur vérifiant la condition (6) doit vérifier, par conséquent, la relation suivante: $T_{y_{ref} \rightarrow y} := T_{\eta \rightarrow y} \cong I_{m \times m}$.

D'où on peut conclure que les entrées de bruits de mesures se découplent entre eux grâce à l'action K_2 du contrôleur. A cet effet, on doit introduire des intégrateurs dans la diagonale de K_3 afin d'éliminer séparément l'effet de ces entrées dans chaque voie du système à commander. Notant ici que le nombre de ces intégrateurs dépend de la classe du système et la puissance $\lambda_{ii} = 1$ donne la forme particulière d'un intégrateur pur. De plus, la contrainte $n < \lambda_{ii} < n+1$, avec $n \in \mathbb{N}^*$ doit assurer une apparition simultanée de deux intégrateurs: pur et fractionnaire dans le transfert du contrôleur à synthétiser.

$K_4(s, x)$ un transfert représente l'action dérivée du contrôleur fractionnaire. Il doit vérifier la condition $K_4(0, x) = I_{m \times m}$ afin d'assurer la commande parfaite fournie par l'inverse de gains statique du contrôleur. Les paramètres de cette action, notant ici par μ_{ij} pour la puissance fractale de l'action dérivée du contrôleur et β_{ij} pour la constante du temps correspondante,

sont obtenus par optimisation. On propose donc cette action le formalisme suivant:

$$K_4(s, x) := \begin{bmatrix} 1 + \beta_{11}s^{\mu_{11}} & \beta_{12}s^{\mu_{12}} & \dots & \beta_{1m}s^{\mu_{1m}} \\ \beta_{21}s^{\mu_{21}} & 1 + \beta_{22}s^{\mu_{22}} & \dots & \beta_{2m}s^{\mu_{2m}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{m1}s^{\mu_{m1}} & \beta_{m2}s^{\mu_{m2}} & \dots & 1 + \beta_{mm}s^{\mu_{mm}} \end{bmatrix}$$

Les paramètres de cette action doivent être limités à priori par l'utilisateur avec des bornes minimales et maximales, en tenant comptes les puissances fractales de l'action intégrale qui doivent être supérieures ou égales à celles de l'action dérivée afin d'assurer la causalité du contrôleur à synthétiser.

Les variables de décision qu'on a proposés ici par le vecteur $x = (K_1 \ \beta_{ij} \ \mu_{ij} \ \lambda_{ij})_{i=1 \dots m, j=1 \dots m}^T$ sont déterminées par la

résolution d'un problème d'optimisation sous contraintes, ce problème sera détaillé dans la section suivante de ce travail.

III. FORMULATION DU PROBLEME D'OPTIMISATION [7]

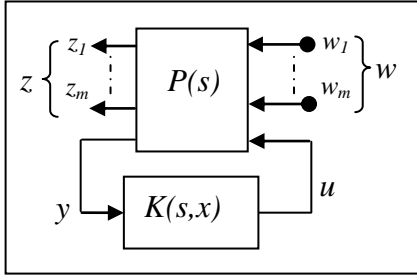


Fig.2. Blocs diagramme du système augmenté.

Considérons la forme de la contre réaction de la Fig2, dans laquelle $P(s)$ représente le transfert du système augmenté d'entrées exogènes (w, u) vers les sorties exogènes correspondantes (z, y) . avec les relations suivantes:

$$\begin{pmatrix} z \\ y \end{pmatrix} := P(s) \cdot \begin{pmatrix} w \\ u \end{pmatrix}, \quad u := K(s, x) \cdot y \quad (8)$$

Où $K(s, x) \in C^{m \times m}$ représente le contrôleur fractionnaire à élaborer, Il dépend de l'opérateur de Laplace (s) et les paramètres $x \in \mathbb{R}^{q \times 1}$ qui doivent déterminer par la suite par l'optimisation non linéaire.

$w := (w_1 \ \dots \ w_m)^T$ représente le vecteur d'entrées exogènes telles que les trajectoires de références, les perturbations affectant les entrées et les sorties du système à commander et finalement les entrées de bruits de mesures.

$z := (z_1 \ \dots \ z_m)^T$ représente le vecteur de sorties du système augmenté. L'objectif ici est de garantir une stabilité interne du système bouclé tout en assurant une bonne marge de robustesse de stabilité et/ou des performances en présence des différentes entrées de perturbations et des bruits de mesures, ces dernières peuvent être réalisées s'il existe un algorithme d'optimisation efficace pour minimiser le critère suivant dans une plage fréquentielle donnée à priori par l'utilisateur. On obtient donc :

$$\text{Min } J_\infty := \left(\|J_{w_1 \rightarrow z_1}(x)\|_\infty \dots \|J_{w_m \rightarrow z_m}(x)\|_\infty, \text{Re}[\lambda_{\max}(\sum(x)) \right]^T \quad (9)$$

$$\text{S.t: } \underline{x}_j \leq x_j \leq \bar{x}_j, \quad j = 1, \dots, q \text{ avec}$$

$$x := (x_1, x_2, \dots, x_q)^T \quad s : j \cdot \omega \quad \omega := (\omega_{\min}, \omega_2 = \omega_{\min+1}, \dots, \omega_\nu = \omega_{\min})^T$$

$J_\infty(x) : \mathbb{R}^{q \times 1} \rightarrow \mathbb{R}^{q \times 1}$ représente la fonction vectorielle à minimiser (la fonction de coût). $\Omega := (\underline{x}_j, \bar{x}_j) :$ représente

l'espace de recherche initial de $x \in \mathbb{R}^{q \times 1}$ contenant les paramètres optimaux du contrôleur fractionnaire $x_j^* (j = 1, 2, \dots, q)$. $\underline{x}_j, \bar{x}_j :$ représentent

respectivement, les bornes : minimale et maximale limitant la variable x_j . $\text{Re}[\lambda_{\max}(\sum(s, x))]$ représente la partie réelle de

la plus grande valeur propre du système bouclé. La minimisation de cette expression, à chaque fréquence, permet de garantir la stabilité interne du système bouclé. La détermination des paramètres d'un contrôleur fractionnaire à partir de la résolution du problème d'optimisation (9) est très difficile à cause de la haute dimension de l'espace de recherche qui dépend du nombre de fonctions objectives à minimiser. De plus, la convergence de la solution de ce problème vers un optimum global (au sens de Pareto) est difficile à atteindre due au nombre élevé des spécifications à satisfaire [8,9]. Deux transformations du problème (9) seront proposées afin de remédier à ces anomalies, La première transformation consiste à changer le problème d'optimisation pluridimensionnelle cité précédemment afin d'obtenir un problème d'optimisation décrit par une fonction scalaire à plusieurs variables avec des contraintes d'inégalités non linéaires. Basant sur ce problème, la seconde transformation consiste à définir un nouveau formalisme permettant de changer le problème précédent afin d'obtenir un problème d'optimisation sans contrainte, ce problème est défini par une fonction scalaire à plusieurs variables. La solution de ce problème sera déterminée par l'algorithme du PSO. La première transformation du problème (9) est donc donnée par [10, 11, 12]:

$$\begin{aligned} & \underset{x \in \Omega}{\text{minimise}} \quad f(x) := \text{Re}[\lambda_{\max}(\sum(s, x))] \\ & \text{S.t:} \quad \begin{bmatrix} h_1(x) := \bar{\sigma}(J_{w_1 \rightarrow z_1}(j\omega, x)) - \gamma_1 < 0 \\ h_2(x) := \bar{\sigma}(J_{w_2 \rightarrow z_2}(j\omega, x)) - \gamma_2 < 0 \\ \vdots \\ h_m(x) := \bar{\sigma}(J_{w_m \rightarrow z_m}(j\omega, x)) - \gamma_m < 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

Et la seconde transformation s'effectue en deux étapes, on détermine, pour la première étape, une fonction virtuelle telle

$$\text{que: } f_v(x) := \begin{cases} f(x) & \text{if } f(x) < 0 \\ \arctan\{f(x)\} - \pi/2 & \text{autrement} \end{cases}$$

Dans la seconde étape, on définit la fonction objective à minimiser du problème d'optimisation à partir de la fonction virtuelle citée ci-dessus et les contraintes d'inégalités du problème (10) avec [12]:

$$\min_{x \leq x \leq \bar{x}} f_m(x) := \begin{cases} h_{\max}(x) & \text{if } h_{\max} \geq 0 \\ f_v(x) & \text{autrement} \end{cases} \quad (11)$$

Avec: $h_{\max}(x) := \max[h_1(x) \dots h_m(x)]$. Le contrôleur fractionnaire est donc élaboré à partir de la solution optimale du problème (10) obtenue par l'algorithme du PSO, le principe de ce dernier est détaillé dans [14].

3.1. Algorithme du PSO:

La version de base du PSO peut facilement être formalisée et programmée. L'espace de recherche, qui représente ici la région de faisabilité, est de dimension q .

Pour la $i^{\text{ème}}$ voie du système à commander, la position courante d'une particule dans cet espace à l'itération ℓ , ($\ell \leq \ell_{\max}$) est donnée par le vecteur [14], [15]:

$$x_i(\ell) := (x_{i,1}(\ell) \ x_{i,2}(\ell) \ \dots \ x_{i,N_p}(\ell))^T,$$

à N_p composantes, donc. Sa vitesse courante est donnée par le vecteur [14], [15]

$\psi_i(\ell) := (\psi_{i,1}(\ell) \ \psi_{i,2}(\ell) \ \dots \ \psi_{i,N_p}(\ell))^T$. Ces deux vecteurs sont initialisés aléatoirement dans l'étape d'initialisation du PSO. La fonction de coût de (11) est évaluée pour chaque ensemble de vecteurs constitués à partir des particules de m voies du système à commander. La meilleure position trouvée pour chaque voie de cette particule (notée ici par le vecteur $H_i^{\text{best},\ell}$) doit vérifier la condition suivante [15]:

$$H_i^{\text{best},\ell} := \arg \min_{\Delta u_i^r} \{J(\Delta u_i^r), \ 0 \leq r \leq \ell\} \quad (12)$$

Enfin, la meilleure position trouvée par les informatrices de la particule est indiquée par le vecteur $h_i^{\text{best},\ell}$ avec [17]:

$$h_{\text{swarm}}^{\text{best},\ell} := \arg \min_{\Delta u_i^r} \{J(\Delta u_i^r), \ \forall i\} \quad (13)$$

Les équations de mouvement d'une particule de chaque voie sont définies par [14, 15]:

$$\psi_i^{\ell+1} := c_0 \psi_i^\ell + c_1 r_{1,i}^\ell (H_i^{\text{best},\ell} - \Delta u_i^\ell) + c_2 r_{2,i}^\ell (h_{\text{swarm}}^{\text{best},\ell} - \Delta u_i^\ell) \quad (14)$$

$$\Delta u_i^{\ell+1} := \Delta u_i^\ell + \psi_i^{\ell+1} \quad (15)$$

Avec $r_{1,i}^\ell$ et $r_{2,i}^\ell$ deux valeurs aléatoires choisies dans l'intervalle $]0 \ 1]$. Pour une bonne convergence de PSO, les coefficients de confiance c_0 , c_1 et c_2 ne doivent pas être choisis indépendamment. En pratique, le premier coefficient c_0 doit être un peu inférieur à 1 suivant la proposition de Shi et Eberhart en 1999 comme suit [20]:

$$c_0 := \theta_{\max} - \left(\frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{\ell_{\max}} \right) \cdot \ell, \text{ avec } \theta_{\max} = 0.9, \text{ et } \theta_{\min} = 0.4.$$

Les autres coefficients de confiance assurant la stabilité de PSO peuvent être choisis selon la proposition de Perez et

Behdian énoncée en 2007 avec [15]: $0 \leq c_1 + c_2 < 4$, et $\left(\frac{c_1 + c_2}{2} \right) - 1 < c_0 < 1$

IV. RESULTATS ET SIMULATION [13]

IV.1. Application sur une colonne de distillation [13]

La distillation est une opération de base dans les industries pétrochimiques et pharmaceutiques, qui permet de séparer les constituants d'un mélange liquide en se basant sur la différence de leurs points d'ébullition. Le modèle du procédé utilise ainsi les performances de conception de la commande qui ont été proposées par [Perng 95]. La dynamique de cette colonne est modélisée par le modèle [13]

$$G(s) := \begin{bmatrix} \frac{-0.1349 \cdot e^{-0.0135s}}{0.0135s + 1} & \frac{8.643 \cdot e^{-0.0005s}}{0.0105s + 1} \\ \frac{-0.1288 \cdot e^{-0.017s}}{0.018s + 1} & \frac{11.674 \cdot e^{-0.0001s}}{0.018s + 1} \end{bmatrix}$$

Les incertitudes affectant ce processus est de type multiplicatif en sortie majorant par la fonction [13]:

$$\|\Delta_m(s)\| < 0.6 \left| \frac{0.007s + 1}{0.0001s + 1} \right|. \text{ Ce procédé possédant alors deux}$$

entrées qui sont le flux et le débit de vapeur notées par $u = [u_1 \ u_2]^T$, et deux sorties qui représentent les deux compositions, distillat et résidu notées par $y = [y_1(t) \ y_2(t)]^T$. Les spécifications fréquentielles exigées par le cahier de charges sont données par les trois conditions suivantes:

C1: $\|W_T \cdot T_{y_{\text{ref}} \rightarrow y}\|_{\infty} \leq 1$: elle représente la condition de robustesse sur la stabilité du système bouclé avec $W_T(s) := \text{diag}[\Delta_m(s)]$ représente les spécification sur la stabilité du système bouclé. Notant ici qu'un système est dit robuste en stabilité si le lieu des valeurs singulières maximales de la sensibilité complémentaire $T_{y_{\text{ref}} \rightarrow y}$ se situe au-dessous du lieu des valeurs singulières de l'inverse de la matrice $W_T(s)$.

C2: $\|W_s \cdot T_{d \rightarrow y}\|_{\infty} \leq 1$: elle représente la condition de robustesse sur les performances du système bouclé avec $W_s(s) := \text{diag}\left(\frac{1 + 0.09s}{0.09s}, \frac{1 + 0.09s}{0.09s}\right)$ représente les spécification sur les performances du système bouclé. Un système est dit robuste en performance si le lieu des valeurs singulières maximales de la sensibilité $T_{d \rightarrow y}$ se situe au-dessous du lieu des valeurs singulières de l'inverse de la matrice $W_s(s)$.

C3: Le contrôleur à synthétiser doit assurer une stabilité interne du système bouclé, cette dernière est mathématiquement interprétée par la contrainte suivante:

$$\text{Re}[\lambda_{\max} \left(\sum (s, x) \right)] < 0$$

A partir de ces conditions on peut définir le problème d'optimisation pluridimensionnelle avec:

$$\text{Min: } J_{\infty}(x) := \left\| \begin{bmatrix} W_1 \cdot T_{d_y \rightarrow y} \\ W_3 \cdot T_{y_{ref} \rightarrow y} \\ \text{Re}[\lambda_{\max}(\sum(s, x))] \end{bmatrix} \right\|_{\infty} \quad \begin{aligned} x &:= [x_1, x_2, \dots, x_{11}]^T, \\ s &:= j\omega, \\ \omega &:= 0.01 \text{ to } 100 \end{aligned}$$

$$\text{s.t: } \Omega := \begin{cases} 1 < x_1 := K_1 < 30, & 0 < x_2 := \lambda_{11} < 1 \\ 0 < x_3 := \lambda_{22} < 1, & 0 < x_4 := \beta_{11} < +\infty \\ 0 < x_5 := \beta_{12} < +\infty, & 0 < x_6 := \beta_{21} < +\infty \\ 0 < x_7 := \beta_{22} < +\infty, & 0 < x_8 := \mu_{11} < 1 \\ 0 < x_9 := \mu_{12} < 1, & 0 < x_{10} := \mu_{21} < 1 \\ 0 < x_{11} := \mu_{22} < 1 \end{cases}$$

$$K(s) := K_1 \cdot G^{-1}(j\omega) \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{s^{\lambda_{11}}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{s^{\lambda_{22}}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 + \beta_{11}s^{\mu_{11}} & \beta_{12}s^{\mu_{12}} \\ \beta_{21}s^{\mu_{21}} & 1 + \beta_{22}s^{\mu_{22}} \end{bmatrix}$$

et le vecteur des paramètres à déterminer est donc donné par:

$$x := (K_1 \quad \lambda_{11} \quad \lambda_{22} \quad \beta_{11} \quad \beta_{12} \quad \beta_{21} \quad \beta_{22} \quad \mu_{11} \quad \mu_{12} \quad \mu_{21} \quad \mu_{22})^T$$

Le bloc K_2 de ce contrôleur est déterminé à partir de l'inverse des gains statiques du système à commander, on obtient:

$$G^{-1}(j\omega) := \begin{bmatrix} -25.290064 & 18.7238 \\ -0.279026 & 0.292241 \end{bmatrix}. \quad \text{La première}$$

transformation de ce problème d'optimisation est donnée par:

$$\text{Min } J_{\infty}(x) := \left\| \text{Re}[\lambda_{\max}(\sum(s, x))] \right\|_{\infty},$$

$$x := [x_1, x_2, \dots, x_{11}]^T, \quad \gamma := 0.01 \quad s := j\omega, \quad \omega := 0.001 \text{ to } 1000$$

La structure du contrôleur proposé est donc donnée par la matrice de transfert suivante:

$$\text{Sujet à } \begin{cases} h_1 := W_1(s) \cdot T_{d_y \rightarrow y}(s, x) - \gamma < 0 \\ h_2 := W_3(s) \cdot T_{y_{ref} \rightarrow y}(s, x) - \gamma < 0 \end{cases}$$

Le problème d'optimisation à résoudre par le PSO est obtenu à partir du précédent et les paramètres du PSO sont donnés par:

$$N_p := 200, \quad \ell_{\max} := 50, \quad c_0 := 0.85, \quad \text{et } c_1 := c_2 := 0.75.$$

On obtient le contrôleur fractionnaire suivant:

$$K = 5.9 \begin{bmatrix} -25.29 & 18.72 \\ -0.27 & 0.29 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{s^{0.97}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{s^{0.86}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 + 2.15s^{0.15} & 0.15s^{0.33} \\ 0.241s^{0.17} & 1 + 2.88s^{0.32} \end{bmatrix}$$

La Fig.3 représente la robustesse des performances et de stabilité dans le plan fréquentiel. D'après cette figure, on peut remarquer la satisfaction des robustesses de stabilité et des performances du système bouclé, ceci est traduit par une bonne dynamique de rejection des perturbations et de bonne minimisation de l'effet des bruits de mesures dans le plan temporel. Ces résultats montrent explicitement la validité des deux transformations proposées du problème d'optimisation.

De plus, elle montre l'efficacité de l'algorithme du PSO pour résoudre le problème d'optimisation. Maintenant, pour confirmer les résultats obtenus dans le plan temporel, on injecte à la sortie du système bouclé des perturbations d'amplitudes 0.5 (*Overshoot=50 %*) à partir de l'instant $t=32,5 \text{ secondes}$ ceci pour examiner la dynamique de rejection de perturbations ainsi la dynamique de poursuite et d'interaction des sorties pour les deux entrées de consignes $y_{ref} := (1 \ 0)^T$ et $y_{ref} := (0 \ 1)^T$. On obtient la Fig.4.

D'après cette, le système bouclé est bien découplé pour les deux entrées de consignes citées précédemment, de plus, la dynamique de poursuite et d'interaction des sorties est assurée avec une rejection des perturbations dans une plage du temps très réduite. Les commandes fournies par le contrôleur proposé convergent vers l'inverse des gains statiques pour l'entrée de consignes $y_{ref} := (1 \ 0)^T$ suivant la relation $u := G^{-1}(0).y_{ref}$

V. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons proposé une méthodologie de commande basant sur la structure fractale d'un contrôleur robuste. Les paramètres de ce contrôleur sont obtenus à partir d'une résolution d'un problème d'optimisation non lisse par l'algorithme du PSO. Ce problème d'optimisation doit le concevoir après le passage par deux transformations a priori. La méthode de commande proposée dans cet article est appliquée sur un système incertain à retard pur multiples est les résultats obtenus sont très encourageants.

REFERENCES

- [1] S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, & V. Balakrishnan: Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory, vol.15 of SIAM Studies in Applied Mathematics.SIAM, Philadelphia, PA, 1994.
- [2] P. Apkarian & H.D. Tuan: Robust Control Via Concave Minimization-Local and Global Algorithm. IEEE.trans. Autom. Control 45(2), 299-305, 2000.
- [3] P. Apkarian, D. Noll & J.B. Thevenet: A Spectral Quadratic SDP Method with Applications to Fixed-Order H_2 and H_{∞} Synthesis. Eur.J. Control 10(6), 527-538, 2004.
- [4] P. Apkarian & D.Noll: Non-smooth H_{∞} Synthesis. IEEE trans. Autom. Control 51(1), 71-86, 2006.
- [5] C.A. Monje & al : Tuning and Auto Tuning Of Fractional Order Controllers For Industry Applications. Control Engineering Practice. © Elsevier Ltd, 2007.
- [6] V. Bompard, P. Apkarian & D.Noll: Non-smooth Techniques For Stabilizing Linear Systems. American Control Conference, New York City, 2007.
- [7] G.W.M. Coppus, S.L. Shah & R.K. Wood: Robust Multivariable Control of a Binary Distillation Column. IEE proceedings, vol. 130, pt. d, no. 5, Sep. 1983.
- [8] J. Nie & D.A. Linkens: Fuzzy-Neural Control Principles Algorithms and Applications. Europe Prentice, 1995.

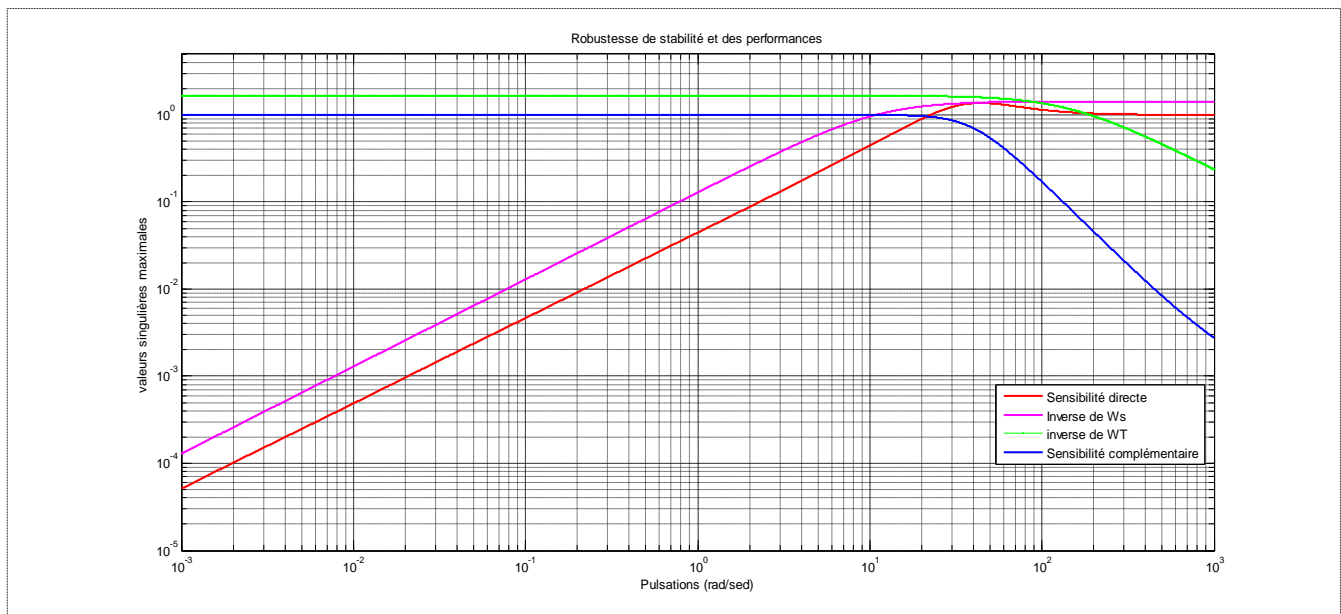


Fig.3. Satisfaction des robustesses: stabilité / performances

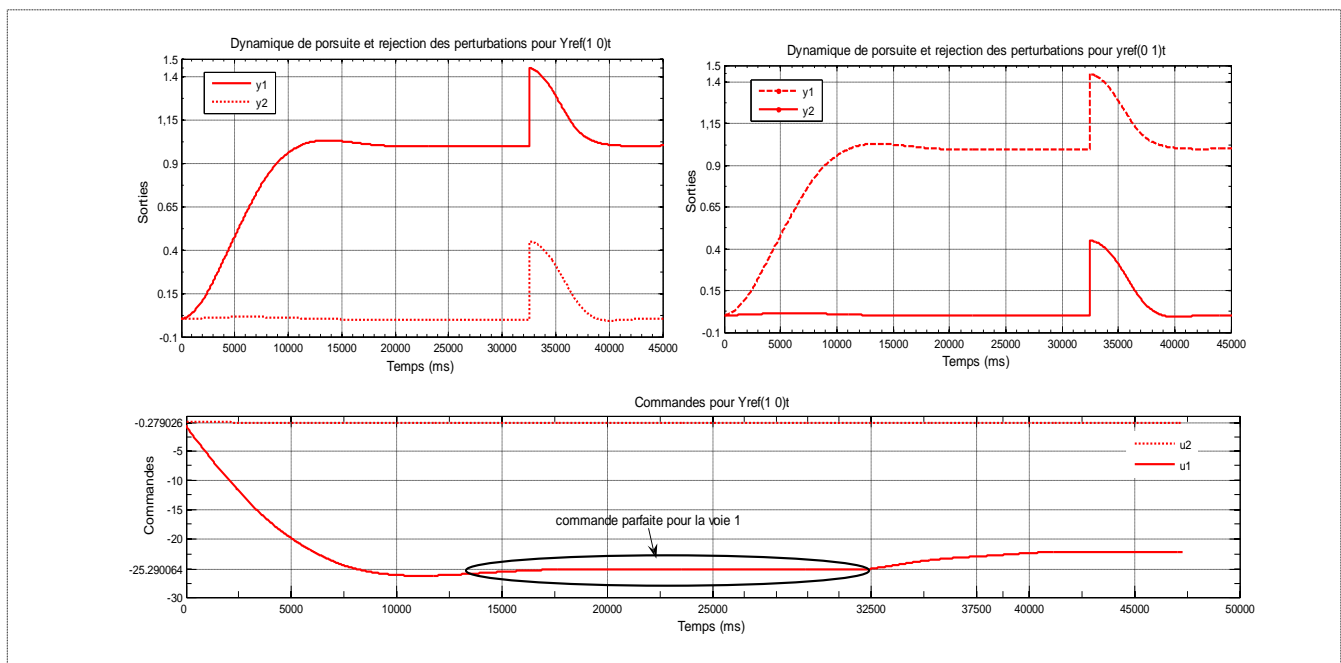


Fig.4. Sorties et commandes du système bouclé

- [9] T.Coleman, M.A.Branche & A.Grace: Optimization Toolbox Design With Matlab®2006b, © Springer-version2.pp:4-43 to 4-51, The MathWorks, Inc. 1999.
- [10] S. R. Singiresu: Engineering Optimization: Theory and Practice, Fourth Edition, by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. pp:708-714, & pp:761-768, 2009.
- [11] A. Megretski: Multivariable Control Systems.Vers. of February 4, 2004.
- [12] I.Maruta, T.Hyoung & T.Sugie: Fixed-Structure H_∞ Controller: A Meta-Heuristic Approach Using Simple Constrained Particle Swarm Optimization. pp: 553-559.Automatica 45(2009).

- [13] M.H. Perng & al: Optimally Decoupled Robust Control of MIMO Plants with Multiple Delays. IEE proc. Control Theory Appl., Vol.141. Number1. January 1994.
- [14] D.W. Gu, P. Hr. Petkov & M. M. Konstantinov: Robust Control Design With Matlab®2006b, © Springer-Verlag London Limited.pp:27 to 29, 2005.
- [15] P. Gahinet, A. Nemirovski, A.J. Laub & M. Chilali: LMI Control Toolbox For Use With Matlab®2006b. User's Guide

New Adaptive Moving Window PCA for Process Monitoring

N. AYECH, C. CHAKOUR, M.-F. HARKAT

Department of Electronics, Badji-Mokhtar University, ANNABA, ALGERIA
ayech.nabil@yahoo.com, chakourc@yahoo.fr, mharkat@univ-annaba.org

Abstract— while principal component analysis (PCA) has found wide application in process monitoring, slow and normal process changes often occur in real processes, which lead to false alarms for a fixed-model monitoring approach.

In this paper, two recursive PCA algorithms for adaptive process monitoring are studied. The first algorithm is based on moving window «Moving Window PCA» and the second are based on forgetting factors «Recursive Weighted PCA». Furthermore, by changing the size and the shift of the window, also for the forgetting factor, we will see the influence of that change on the monitoring performance. Then, adaptive forgetting factors will be used, for increasing the robustness against outliers. Using the same concept of varying forgetting factors, we propose a new recursive algorithm for adaptive process monitoring based on moving window. By using the current model and the updated mean and covariance structures and an adaptive moving window, a new model is derived recursively. Based on the updated PCA representation, one monitoring metric, the Q-statistic (SPE) is calculated and their control limits are updated.

The feasibility and advantages of each algorithm is illustrated by application to Tennessee Eastman process.

Index Terms— multiple operation modes, Diagnosis, Modeling, Dynamic Principal Components Analysis, robustness, adaptive moving window, adaptive forgetting factor.

I. INTRODUCTION

Principal component analysis (PCA) has been successfully applied to the monitoring of industrial processes, including chemical and microelectronics manufacturing processes [1, 2]. Formulated as a multivariate statistical process control (MSPC) task, these applications use PCA to extract a few independent components from highly correlated process data and use the components to monitor the process operation. Typically, two major monitoring indices are calculated, the squared prediction error (SPE) and the Hotelling T^2 index. An abnormal situation will cause at least one of the two indices to exceed the control limits. Multi-way PCA, as a variation of PCA, was successfully applied to batch

monitoring, in which the data have three dimensions: batches, variables, and samples in a batch [3].

A major limitation of PCA-based monitoring is that the PCA model, once built from the data, is time-invariant, while most real industrial processes are time-varying [4]. The time-varying characteristics of industrial processes include: (i) changes in the mean; (ii) changes in the variance; and (iii) changes in the correlation structure among variables, including changes in the number of significant principal components (PCs). When a time-invariant PCA model is used to monitor processes with the aforementioned normal changes, false alarms often result, which significantly compromise the reliability of the monitoring system.

For the online/real-time parameter estimation problem, several aspects are important: i) the estimation algorithm should be robust; ii) it should converge to an estimate close to the true value; iii) its computational requirements should be moderately low or very low; and iv) the algorithm should be numerically reliable and stable so that condition (i) is assured.

Approaches which update the PCA model in order to take into account mode changes, has so far been explored the most extensively and is also applicable to time-varying processes. Wold [7] proposed a scheme which uses the exponentially weighted moving concept for the updating of both PCA and PLS models. However, one limitation with this algorithm is that it requires all the historical data to be used in the updating of the model, every time as a new sample becomes available. Dayal and MacGregor [8] described a recursive exponentially weighted PLS algorithm, using the PLS kernel algorithm, based on recursively updating of the covariance matrices as opposed to using the total historical data set. Qin [11] developed an alternative sample-wise and block-wise recursive PLS algorithm that only utilizes the loading matrix and the regression coefficients between the input and output score vector pairs in the PLS model, instead of the covariance matrices, materializing in more rapid updating of the model. More recently, Li et al. [10] proposed two efficient learning algorithms for recursive PCA for the monitoring of time-varying processes. Choi [9] proposed an adaptive multivariate statistical process monitoring (MSPC) approach for the monitoring of a process which incurs changes in the operating conditions. Sample-wise and block-wise recursive formulae for updating the mean and covariance matrix are derived.

By utilizing, the current model and the updated mean and covariance structures, a new model is derived recursively.

The study reported in this paper focuses on the approaches of this last class, more exactly a new recursive PCA algorithm for adaptive process monitoring based on moving window principle component analysis (Moving Window PCA) is proposed. By using the current model and the updated mean and covariance structures and an adaptive moving window, a new model is derived recursively.

The conventional PCA model is presented in section 1. Section 2 presents two algorithms for adaptive PCA model, the Moving Window PCA (MWPCA) algorithm and the Recursive Weighted PCA (RWPCA) algorithm.

A comparison study of the performance between the moving window based approach MWPCA presented by Li et al. [10], and Recursive Weighted PCA presented by Choi et al. [9] and the proposed approach is illustrated in this paper.

II. CONVENTIONAL PCA

In the conventional PCA, the raw data matrix $X \in \mathcal{R}^{N \times p}$, after normalization, i.e. reducing the data to zero mean and unit variance, the normalized matrix X is decomposed as follows:

$$X = TP^T + E \quad (2.1)$$

T is a matrix (principal components $N \times l$) and P (loading $m \times l$) plus a matrix of residuals E ($N \times m$). Where l is the number of factors ($l < m$). The Euclidean norm of the residual matrix E must be minimized for a given number of factors. This criterion is satisfied when the columns of P are eigenvectors corresponding to the l largest eigenvalues of the covariance matrix of X . PCA can be viewed as a linear mapping from \mathcal{R}^n to a lower dimensional space \mathcal{R}^l . The mapping has the form:

$$t = P^T x \quad (2.2)$$

Where x^T represents a single row of X and t^T represents the corresponding row of T . The loadings P are the coefficients for the linear transformation. The projection can be reversed back to \mathcal{R}^n with:

$$\hat{X} = Pt \quad (2.3)$$

Where \hat{X} is the estimated vectors of data. The residual matrix E is the difference between X and \hat{X} :

$$E = X - \hat{X} \quad (2.4)$$

A. Fault detection and isolation

A.1 Fault detection

In general, a PCA-based MSPC scheme uses one monitoring statistic, the Q-statistic (SPE):

$$SPE(k) = \sum_{i=1}^m (e_i(i))^2 \quad (2.5)$$

Alternatively, the upper control limit for Q-statistic (SPE), with a significance level α is:

$$SPE_{\alpha} = g\chi_{h,\alpha}^2 \quad (2.6)$$

Where:

$$g = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (2.7)$$

$$h = \frac{\theta_1^2}{\theta_2} \quad (2.8)$$

A.2 Fault isolation

Once the fault is detected, it's necessary to identify the location of that fault. For that, we present one method based on reconstruction concept. This method assumes that each sensor (or group of sensors) is faulty and reconstructed from other sensors based on the PCA model [23].

III. ADAPTIVE PCA ALGORITHMS

In adaptive PCA algorithms, new measurements are used to update the PCA model. The updating scheme should include: mean, covariance, principal components and the confidence limits for SPE (Q) statistic, where the SPE statistic defines the Euclidean distance of the position of an observation from the hyperplane formed by the PCA representation.

A. Moving Window PCA

In MWPCA algorithm, a data window of fixed length (Figure.1) is moved in real time to update the PCA model once a new normal sample is available. The following procedure is adopted from [5]:

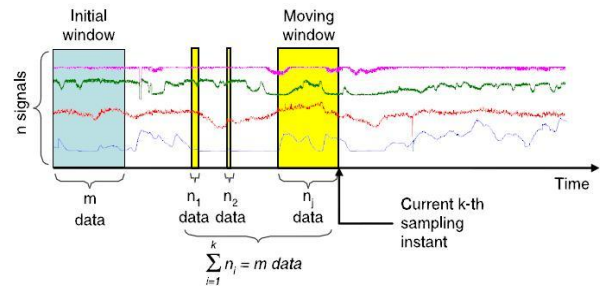


Figure.1 the moving window for online monitoring using WMPCA

1. Acquire training data, which represents normal process operations for initializing the moving window;
2. Scale the moving window data using its mean and standard deviation. Then carry out SVD to obtain a PCA model. Calculate of number of principal components to retain. Determine the control limits for SPE;
3. Obtain the next test sample x . Scale x using scaling factors from Step 2. Evaluate the monitoring indice (SPE) for the scaled test sample using the current

PCA model. Check the monitoring indices with the corresponding control limits. If the control limits are not exceeded, the sample x is considered normal;

4. If x is normal, update the moving window by deleting the oldest data sample and concatenating the new one x to the moving window. Repeat from Step 2.

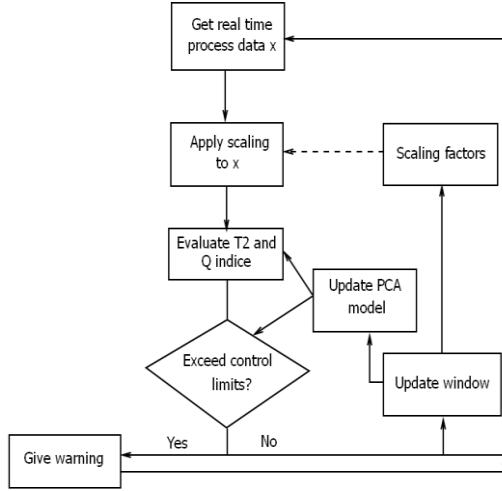


Figure.2 MWPCA implementation

B. Recursive Weighted PCA

When the process operating conditions change either gradually or abruptly, the mean vector and covariance matrix will not be constant and will need to be updated. Each time a sample or a sample block become available, both the mean and covariance are updated with the degree of change in the model structure being dependent on the magnitude of the forgetting factors. Consequently the PCA representation should accordingly be updated.

$$m_t = \frac{\sum_{i=1}^t \alpha^{t-i} X_{B(i)}^T 1_{B(i)}}{\sum_{i=1}^t \alpha^{t-i}} \cong (1 - \alpha) X_{B(i)}^T 1_{B(i)} + \alpha m_{t-i}$$

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^t \beta^{t-i} n_{B(i)}^{-1} \tilde{X}_{B(i)}^T \tilde{X}_{B(i)}}{\sum_{i=1}^t \beta^{t-i}} \cong (1 - \beta) \tilde{X}_{B(i)}^T \tilde{X}_{B(i)} + \beta S_{t-i}$$

Where $X_{B(t)} \in R^N \times m$ is the i^{th} sample block (m is the number of measurements), $1_{B(i)} = [1 \ 1 \dots 1]^T \in R^N$, $n_{B(i)}$ is the sample number in the i^{th} block, and $\tilde{X}_{B(i)} = X_{B(i)} - 1_{B(i)} m_{B(i)}$. The recursive calculation for the sample correlation matrix is given by:

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^t \beta^{t-i} n_{B(i)}^{-1} D_{B(i)}^{-1/2} \tilde{X}_{B(i)}^T \tilde{X}_{B(i)} D_{B(i)}^{-1/2}}{\sum_{i=1}^t \beta^{t-i}} \quad (3.3)$$

Where $D_{B(i)}^{-1/2} \tilde{X}_{B(i)}^T \tilde{X}_{B(i)} D_{B(i)}^{-1/2}$ is the correlation matrix of the current sample block and $D_{B(t)} = (1 - \beta) \text{Diag}(\tilde{X}_{B(i)}^T \tilde{X}_{B(i)}) + \beta D_{B(t-1)}$ is a diagonal matrix whose diagonal elements are identical to those of $S_{B(t)}$.

As we can see, the calculation of the weighted mean and covariance requires the weighting parameters (termed

forgetting factors) α and β , to be determined. If both forgetting factors are unity, they are the maximum likelihood estimates calculated from all the data. By using a forgetting factor that is less than one, previous samples are automatically weighted out without deleting data from the process model. As the value gets close to unity, the process has a long-term memory, that is, the number of previous samples that have an effect on the current model increases.

IV. RECURSIVE PROCESS MONITORING

When PCA is used to monitor an industrial process, the squared prediction error SPE and the Hotelling T^2 are usually used. For slowly time-varying processes, the confidence limits for those detection indices will change with time, making adaptation of these limits necessary for on-line monitoring. In this section, we discuss the recursive calculation of the confidence limits for these two statistics. SPE and T^2 using the Recursive PCA models. Since our objective is to use recursive PCA for adaptive process monitoring in real time, we must consider the presence of outliers and missing values. A complete monitoring algorithm that handles these practical issues will be discussed in this section.

A. Adaptation of the confidence limits

The Q-statistic (SPE) is given by:

$$SPE(k) = x^T (I - P_k P_k^T) \quad (4.1)$$

Where x is a new observation vector to be monitored. The Q-statistic (SPE) indicates the extent to which each sample conforms to the PCA model. It is a measure of the amount of variation not captured by the principal component model. Based on the work by Jackson and Mudholkar[24], the upper limit for the Q statistic is given by:

$$SPE_{k,\alpha} = \theta_1 \left[\frac{n_\alpha \sqrt{2\theta_2 h_0^2}}{\theta_1} + 1 + \frac{\theta_2 h_0 (h_0 - 1)}{\theta_1^2} \right]^{1/h_0} \quad (4.2)$$

Where:

$$h_0 = 1 - \frac{2\theta_1 \theta_3}{2\theta_2^2} \quad (4.3)$$

and n_α is the normal deviate corresponding to the upper $(1 - \alpha)$ percentile. The calculation of θ_1 , θ_2 , θ_3 is given by:

$$\theta_j = \sum_{i=l_k+1}^m \lambda_i^j \quad (4.4)$$

In the recursive implementation, θ_1 , θ_2 , θ_3 and h_0 are updated using the l_k largest eigenvalues after each new data block, making the limit $SPE_{k,\alpha}$, time-varying.

B. Monitoring algorithm

The overall strategy for time-varying monitoring is as follows:

B.1 Offline mode

1. Obtain the initial values of the sample mean m_0 , the

variance D_0 , the loading matrix P_0 , and the eigenvalue matrix Λ_0 based on the training data block;
 2. Obtain the two control limits T^2 and $SPE_{lim,0}$, and the number of principal components, p_0 ;
 3. Determine the values of the two forgetting factors α and β , for RWPCA, and the initial size for moving window, for MWPCA.

B.2 Online mode

At time point t , using the previous values of m_{t-1} , D_{t-1} , Λ_{t-1} , P_{t-1} , $SPE_{lim,t-1}$, p_{t-1} .

1. Calculate $SP E_t$, for a new sample x_t (or block) after mean centering and auto-scaling using m_{t-1} , D_{t-1} ;
2. If $SP E_t > SPE_{lim,t-1}$ go to step 3, else go to step 5;
3. Check if the new sample is an outlier. For instance, if $SPE_{lim,t-s} > SPE_{lim,t-s-1}$ ($s=1,2$) (i.e. if three consecutive out-of control signals have been generated), the new sample is not an outlier. Otherwise, it is an outlying sample;
4. If it is an outlier, go to step 5. Otherwise, consider the current condition to be abnormal. Typically the current process condition cannot be determined by examining one sample. In this case, the model is retained without updating and the current sample is stored. Then, if the process condition is proven to be normal subsequently, the model can be updated in a block-wise manner;
5. Recalculate SPE_t ;
6. Calculate m_t , D_t , Λ_t , P_t ;
7. Find the number of principal components to retain, and $SPE_{lim,t}$.

Variable Factor for RWPCA

Briefly, based on the variable nature of the process, and the dependance of the optimal value of the forgetting factor on the rate of process change, instead of using a fixed forgetting factor, it can be adjusted according to the current process conditions as proposed Choi and al.[8]. In the updating algorithm, two forgetting parameters α and β are used to update the sample mean vector and covariance (or correlation) matrix, respectively. The forgetting factors α and β for updating the mean vector and the covariance (or correlation) matrix is calculated as:

$$\alpha_t = \alpha_{max} - (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \left[1 - \exp \left(-k \left(\frac{\|\Delta m_{t-1}\|}{\|\Delta m_{nor}\|} \right)^n \right) \right] \quad (4.5)$$

And:

$$\beta_t = \beta_{max} - (\beta_{max} - \beta_{min}) \left[1 - \exp \left(-k \left(\frac{\|\Delta R_{t-1}\|}{\|\Delta R_{nor}\|} \right)^n \right) \right] \quad (4.6)$$

Where α_{max} , α_{min} , β_{max} and β_{min} are the maximum and minimum forgetting values, respectively, k and n are function

parameters, and $\|\Delta x\|$ is the Euclidean vector norm of the difference between two consecutive mean vectors or covariance (or correlation) matrix. Here, $\|\Delta x_{nor}\|$ is the averaged $\|\Delta x\|$ obtained using historical data. For more details read the paper written by Choi and al.[8].

Adaptive Moving Window

When the process changes rapidly, the updating rate should be high, whereas when the change is slow and thus the essential process information is valid for a long period, it should be low. However, it is likely that the rate of process change or variation in real processes vary with time. Instead of using a fixed moving window, it can be adjusted according to the current process conditions. Dayal and MacGregor[8] used the algorithm developed by Fortescue and al [21] to adjust the forgetting factor in their recursive PLS algorithm. The same concept of the variable forgetting factor has been applied in Recursive Weighted PCA by Choi[9]. In this study, a new algorithm for adapting the moving window is proposed. Fundamentally it differs from the previous algorithm, by the fact that, it depends only on the variation between the current correlation matrix and the initial one (calculated from the training data) as follow:

$$T_t = \text{fix} \left[T_{max} - (T_{max} - T_{min}) [1 - \exp(-k(\|\Delta R_{t-1}\|))] \right] \quad (4.7)$$

Where T_t is the size of the moving window calculated at instant t , T_{max} and T_{min} are the maximum and minimum of the size of the moving window. $\|\Delta R_{t-1}\|$ is the Euclidean vector norm of the difference between R_{t-1} and R_{nor} , where R_{nor} is the correlation matrix calculated from the training data.

There are three function parameters that require being determined, T_{max} , T_{min} , and k . Both T_{max} and T_{min} affect the range of the change, i.e. the moving window varies within the limits of T_{max} and T_{min} . Also, T_{max} and T_{min} regulate the maximum and minimum rate of model adaptation, respectively. The parameter k controls the sensitivity of the change in T_t . The larger the value of k , the faster T_t decreases as $\|\Delta R_{t-1}\|$ increases, indicating that the model can be updated more rapidly by a change in the correlation matrix if k is large (as Choi[9] prove it).

”fix” is a MatLab command that gives the integer part of a number, for getting an integer number of the moving window.

V. CASE STUDY

The Tennessee Eastman Process data set and an industrial process data set are used to evaluate the methods studied earlier, as well as to demonstrate the ability of the proposed method following process changes.

A. Tennessee Eastman Process (TEP) data

The TEP was developed by Downs and Vogel of the Eastman Company to provide a realistic simulation for evaluating process control and monitoring methods [12]. It has become perhaps the most important and commonly used benchmark simulation for the development of plant-wide control[13]. There are five major units in TEP simulation (as shown in figure.3 a reactor, a separator, a stripper, a condenser, and a compressor).

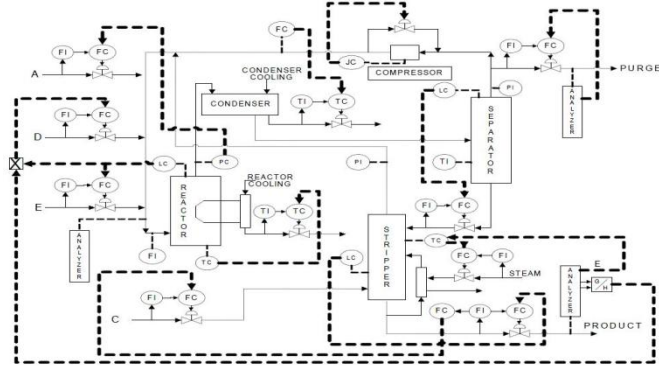


Figure.3 Tennessee Eastman Process

The process has 12 manipulated variables, 22 continuous process measurements, and 19 composition measurements sampled less frequently. which all have Gaussian noise. Corresponding to different production rates, there are six modes of process operation. As TEP is unstable on its own, a control system is required to stabilize the plant. This study makes use of the control scheme proposed in [14]. Detailed description about the operation of the TEP process can be found in [15].

The TEP process was run for 2 hours, and we collected 2000 samples from 20 measurements. The training data comprises 500 samples. For each method, we use the parameters described earlier. Using 20 selected continuous process measurements, we will study robustness of the approaches studied earlier against outliers.

Adaptive Recursive Weighted PCA

By using the algorithm for updating the forgetting factors on this application, we going to illustrate the ability of this method. We will choose these values of parameters, required for the algorithm: $\beta_{max} = \alpha_{max} = 0.995$, $\beta_{min} = \alpha_{min} = 0.95$, $k = 0.3961$, and $n = 1$. Figure.5 shows the simulation with this algorithm. To study the robustness of the PCA model against outliers using this formula:

$$robustness = \frac{\text{number of outlier} \times 100}{\text{total points}} \quad (5.1)$$

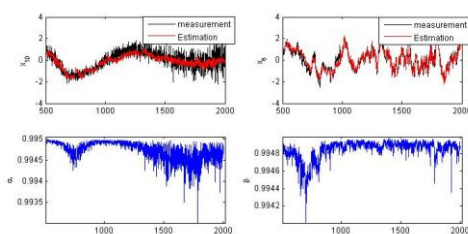


Figure.5 (a) estimation of x_{10} ; (b) estimation of x_6 ; (c) evolution of α ; (d) evolution of β

Calculating the robustness against outliers using eq (5.1), we found that is equal to 1.77%, which is representing the optimal value compared with table in Figure.4. From above, we conclude that this algorithm seem to perform better.

Fixed Moving Window PCA

This method use a moving window to updates PCA model parameters, most model updating approaches have used an empirical constant window [5], [15], [16], [17], [18]. But the size and the shift of the window, as we will illustrate (figure.6), influence on the performances of the method. Starting from 40 measurements as size of the window, and 1 measurement as shift.

Performances Shift	Robustness (%) against outliers						
	1	2	4	8	10	20	30
Size (measurement)							
40	7.06	8.02	8.33	10.6	14.9	19.2	21.1
60	3.33	4.13	5.22	5.26	6.8	8.9	8.24
80	4.06	4.13	4.66	4.46	5	5.2	7.1
100	4.33	4.8	4.33	3.80	4.13	4.6	5.2
140	5.73	5.6	5.6	5.53	5.4	5.6	4.5
180	5.53	5.73	5.6	5.73	5.46	5.5	5.6
220	5.80	5.46	5.6	5.87	6	6.2	6.2
260	5.60	5.46	5.2	5.33	5.46	5.4	5.2

Figure.6 Performance study of MWPCA

We can see that, as the size of the window change, as the robustness change. The same for window's shift, as it change, as the robustness change but with a low rate. To get the optimal size of window, we can use two ways. First, we select iteratively the optimal size from a training data. Or, we use a window varies significantly depending on the rate of process change. When the process changes rapidly, the updating rate should be high, whereas when the change is slow and thus the essential process information is valid for a long period, it should be low. However, it is likely that the rate of process change or variation in real processes vary with time. If this is the case, the window size should be determined according to the underlying objective of the process monitoring scheme.

Adaptive Moving Window PCA

As we saw previously, we can vary the size of the moving window to get a better pursuit of the change in the process. To illustrate the performances of this method, we use variable moving window whose vary between [50,250] samples (chosen arbitrary), with $k=0.5$ (figure.6) (Experimentally). Figure.7 shows the modeling results using the proposed algorithm.

Calculating the robustness against outliers using eq (5.1), for the proposed algorithm, we found that is equal to 2.73%,

which is representing the optimal value compared with table in Figure.6. From above, we conclude that this algorithm seem to perform better.

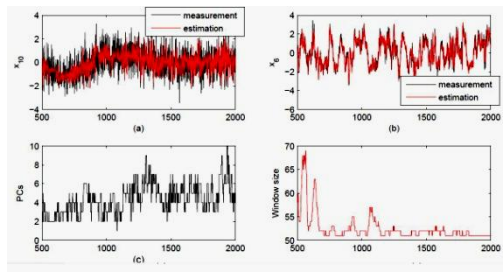


Figure.7 (a) estimation of x_{10} ; (b) estimation of x_6 ; (c) evolution of PCs; (d) adaptive moving window

Monitoring results

The monitoring results, with fault absence, of Recursive Weighted PCA are illustrated in Figure.8 (a) and (b), for both with fixed and adaptive forgetting factors. The chart for SPE, taking from the confidence limits 95% and 99%. In similar, Figure.8 (c) and (d), shows monitoring results using Fixed Moving Window PCA and Adaptive Moving Window PCA.

By comparing the two methods (MWPCA and RWPCA) in matter of robustness, it seems that RWPCA is more perform than MWPCA. But, when we use the proposed algorithm, the robustness against outlier appears to be close to RWPCA method, as we mentioned before.

By injected a fault contained 500 samples after 1500th samples, in x_3 . The monitoring results, as described before, for Recursive Weighted PCA are illustrated in Figure.9, using Adaptive Moving Window PC. The charts for Hotellings T^2 and SPE, taking from the confidence limits 95% and 99%.

After detecting the fault, we have to isolate this fault, to find which measurement is infected. There are several methods employed to isolate faults [20], [21], and [22]. We will use the Variance of reconstruction error, Qin and Dunia[23]. Figure.11 illustrate the isolation using that method, it is obvious that the fault is in x_3 (because SPE_3 is insensible to fault in x_3).

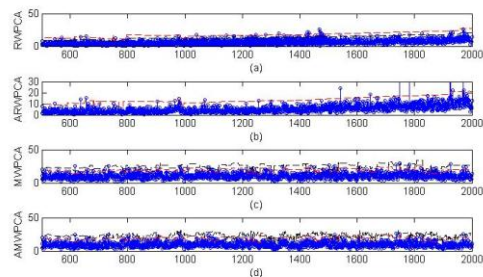


figure.8: Monitoring statistics of different Adaptive methods

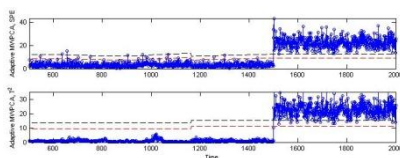


Figure.9 Fault detection using Adaptive MWPCA

VI. CONCLUSION

It has been confirmed that the performance of conventional PCA is unreliable in the cases of process changes and MWPCA and RWPCA separately studied in terms of performance.

In addition, we illustrate the dependance of the performance with the size and the shift of the window using MWPCA, and with forgetting factors using RWPCA. This dependance is related with the rate of process change or variation in real processes varies with time.

Then, by using two algorithms for updating the forgetting factors, and moving window, to find the optimal value at each sample. We prove the ability of those algorithms to perform the robustness, as better as possible.

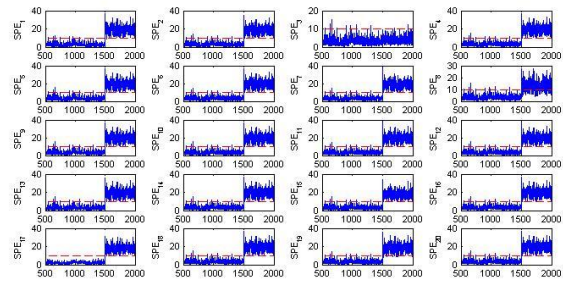


figure.10 Isolation of fault using Variance of reconstruction error

one monitoring metrics, Q-statistic (SPE) was calculated and its control limits are updated, for fault presence and absence, of all methods studied. Then, an isolation work for fault was done on the Adaptive MWPCA. That work was applied on Tennessee Eastman Process.

Further works remains to be done on the classes for time-varying monitoring using PCA. Especially, the class that develop a local monitoring model for each mode.

REFERENCES

- [1] B.M.Wise, N.L. Ricker (1991). Recent advances in multivariate statistical process control: Improving robustness and sensitivity. *Proceedings of the IFAC, ADCHEMSymposium, 1991, pp. 125-130.*
- [2] J.F. MacGregor, M. Koutodi(1995). Statistical process control of multivariate process. *Control Engineering Practice 3 (1995) 403-414.*
- [3] P. Nomikos, J.F. MacGregor (1995), Multivariate SPC charts for monitoring batch processes, *Technometrics 37 (1) (1995) 41-59.*
- [4] V.B. Gallagher, R.M. Wise, S.W. Butler, D.D. White, G.G.Barna (1997) Development and benchmarking of multivariate statistical process control tools for a semiconductor etch process; improving robustness through model updating., *Proc. of ADCHEM 97, Banff, Canada, 9-11 June 1997, pp. 78-83.*

- [5] DOAN XUAN TIEN (2005) Moving PCA for process fault detection - a performance and sensitivity study. *Master Thesis. National university of Singapore.*
- [6] Hwang D. and Han C. (1999), Real-time monitoring for a process with multiple operating modes, *Control Engineering Practice*, (7):891-902, 1999.
- [7] S. Lane, E.B. Martin, A.J. Morris and P. Gower (2003) Application of exponentially weighted principal component analysis for monitoring of a polymer film manufacturing process. *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 25,1 (2003) pp. 17-35.
- [8] Dayal, B.S.; MacGregor, J.F (1997), Recursive exponentially weighted PLS and its applications to adaptive control and prediction. *Journal of Process Control* 1997, 7(3), 169-179.
- [9] Sang Wook Choi, Elaine B. Martin, A. Julian Morris, and In-Beum Lee. (2006) Adaptive Multivariate Statistical Process Control for Monitoring Time-varying Processes. *Centre of Process Analytics and Control Technology, University of Newcastle.*
- [10] Li W., Yue H. H., Valle-Cervantes S., and Qin S. J. (2000) Recursive PCA for adaptive process monitoring. *Journal of Process Control. The University of Texas at Austin.*
- [11] Qin, S.J. (1998), Recursive PLS algorithms for adaptive data monitoring, *Computers and Chemical Engineering* 1998, 22, 503-514.
- [12] Downs J. J. and Vogel E. F (1993), A plant-wide industrial process control problem, *Computers and Chemical Engineering*, (3):245-255, 1993.
- [13] James J. Downs and Ernest F. Vogel (1993), A Plant-wide Industrial Process Control Problem, *Computers and Chemical Engineering*, 1993, 17(3), pp. 245-255.
- [14] Larsson T., Hestetun K., Hovland E., and Skogestad S (2001), Self-optimizing control of a large-scale plant: the Tennessee Eastman process, *Ind. Eng. Chem. Res.*, (40):4889-4901, 2001.
- [15] Zhenhua Mao, Yuhong Zhao, Lifang Zhou (2008), A Flexible Principle Component Analysis Method for Process Monitoring, *Fourth International Conference on Natural Computation, University, Hangzhou, China*
- [16] M. Kompany-Zareh (2011), On-Line Monitoring of a Continuous Pharmaceutical Process Using Parallel Factor Analysis and Unfolding Multivariate Statistical Process Control Representation, *J. Iran. Chem. Soc.*, Vol. 8, No. 1, March 2011, pp. 209-222.
- [17] A. Simoglou, P. Georgieva, E.B. Martin, A.J. Morris, S. Feyerherm (2005), On-line monitoring of a sugar crystallization process, *Computers and Chemical Engineering* 29 (2005) 1411-1422
- [18] F. Baggiani and S. Marsili-Libelli (2009), Real-time fault detection and isolation in biological wastewater treatment plants, *Water Science and Technology WST* - 60.11 - 2009.
- [19] S.Wold (1978), Cross validatory estimation of the number of components in factor and principal component analysis, *Technometrics* 20 (1978) 397-406..
- [20] D.W. Oste (1988), Selection of optimal regression models via cross-validation, *Journal of Chemometrics* 2 (1988) 39-48.
- [21] F.R. Malinowski (1991), Factor Analysis in Chemistry, *Wiley-Inter-science, New York, 1991.*
- [22] R. Dunia, J. Qin (1998), A subspace approach to multidimensional fault identification and reconstruction, *AIChE Journal* 44 (1998) 1813-1831.
- [23] J. Rissane (1987), Modeling by shortest data description, *Automatica* 14 (1978) 465-471..

Identification Biométrique par Fusion Multimodale du Visage et de la Démarche

Fatima MESSAOUDI, and Mohamed BENYETTOU

Résumé— L'identification par la biométrie multimodale consiste à combiner plusieurs systèmes biométriques, elle permet de réduire certaines limitations des systèmes basés sur une seule modalité tout en améliorant de manière significative leurs performances. Dans cet article, des systèmes d'identification multimodaux sont implémentés en combinant les informations issues de deux sources biométriques à savoir le visage et la démarche aux niveaux des caractéristiques et des scores. Une étape de modélisation basée sur un algorithme hybride qui englobe les règles sociales dérivées de l'intelligence en essaim (*Optimisation à Essaim de Particules*) et les concepts de la sélection et l'évolution naturelle (*Algorithme Génétique*) est testée, de bonnes performances ont été obtenues.

Index Termes— identification, biométrie multimodale, algorithme génétique (AG), optimisation à essaim de particules (OEP).

I. INTRODUCTION

LA capacité remarquable de notre système visuel humain nous permet de se reconnaître en utilisant les caractéristiques du corps visuellement perçues comme le visage et la démarche. Construire un système automatisé pour reconnaître des individus à partir d'images faciales et de démarches capturées revient à construire un système biométrique multimodal. Un tel système combine plusieurs systèmes biométriques monomodaux en fusionnant les informations fournies par ces derniers. Cette fusion se fait par diverses méthodes, à plusieurs niveaux du système [1]. La fusion avant la correspondance, correspond à la fusion des informations issues de plusieurs données biométriques au niveau du capteur (*données brutes*) ou au niveau des caractéristiques extraites, ce genre de fusion nécessite une homogénéité entre les données. La fusion après la correspondance comprend la fusion au niveau des scores fournis par chaque système et la fusion au niveau des décisions qui consiste en une confrontation des résultats de classification qui aboutit à une décision finale.

Dans cet article, nous étudions deux niveaux de fusion : la

fusion au niveau des caractéristiques où les caractéristiques des deux modalités biométriques (*visage et démarche*) sont intégrées, et la fusion au niveau des scores de correspondance. Cependant, le processus des systèmes d'identification biométrique comporte deux phases : l'enrôlement au cours duquel l'information biométrique d'une personne est ajoutée au système et l'identification au cours de laquelle une nouvelle information biométrique est comparée à celles déjà enregistrées. La phase de l'enrôlement nécessite plusieurs échantillons de la biométrie c'est pourquoi une étape de modélisation (*classification*) est nécessaire pour modéliser les paramètres extraits des échantillons. Le modèle doit être un ensemble d'informations utiles, discriminantes et non redondantes. Dans ce travail, nous testons l'efficacité d'un algorithme hybride OEP-AG qui englobe les règles sociales dérivées de l'intelligence en essaim (*Optimisation à Essaim de Particules*) et les concepts de la sélection et l'évolution naturelle (*Algorithme Génétique*).

II. ALGORITHMES GENETIQUES

Introduit en 1975 par John Holland, les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection en se basant sur l'idée que seuls les plus forts subsistent dans une population.

Les algorithmes génétiques travaillent sur une population composée d'individus, tous différents, qui sont des solutions potentielles du problème à résoudre. Chaque individu (*solution*) est évalué. Cette évaluation permet de juger de la pertinence des solutions par rapport au problème considéré. Ceci conduit à éliminer les solutions jugées inutiles ou très mauvaises (*mettre à l'écart les individus les plus faibles pour favoriser les plus performants*). Une fois cette élimination effectuée, les gènes des solutions sélectionnées sont combinés pour obtenir une nouvelle population qui doit être, mieux adaptée à la résolution du problème que la population précédente. La population initiale donne ainsi naissance à des générations successives, mutés et hybridés à partir de leurs «*parents*». Ce processus est réitéré jusqu'à ce que l'on obtienne une solution que l'on juge satisfaisante [2].

III. OPTIMISATION A ESSAIM DE PARTICULE

L'optimisation à essaim de particules (*PSO pour Particle Swarm Optimisation*) est développée par Eberhart

F. MESSAOUDI. Département d'Informatique, Faculté des Sciences, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), Algérie (fat_messaoudi@yahoo.fr).

M. BENYETTOU. Département d'Informatique, Faculté des Sciences, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), Algérie (med_benyettou@yahoo.fr).

et Kennedy en 1995 [3]. Dans l'algorithme OEP, chaque particule dans l'essai représente une solution candidate au problème d'optimisation. Cette particule se déplace dans l'hyperespace de recherche, ajustant sa position selon sa propre expérience et celle des particules voisines. Le déplacement s'effectue selon un trajet défini par une fonction de fitness qui encapsule les caractéristiques du problème d'optimisation.

La formule originale OEP définit chaque particule comme solution potentielle à un problème dans l'espace D-dimensionnel. La position de la particule i est représentée comme suit

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}) \quad (1)$$

Chaque particule retient tout au long de son déplacement la position de la meilleure solution, représentée comme suit :

$$P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}) \quad (2)$$

La meilleure position est mise à jour à chaque itération selon l'équation suivante :

$$P_i(t+1) = \begin{cases} P_i(t) & \text{si } f(X_i(t+1)) \geq f(P_i(t)) \\ X_i(t+1) & \text{si } f(X_i(t+1)) < f(P_i(t)) \end{cases} \quad (3)$$

Où le symbole f désigne la fonction de fitness; $P_i(t)$ représente la meilleure valeur de fitness et la coordonnée où la valeur a été calculée, t désigne l'étape de génération.

Une particule dans un essaim est en mouvement; par conséquent, il y a une vitesse, qui peut être représentée comme suit :

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}) \quad (4)$$

Pour le modèle *gbest*, la meilleure particule est déterminée à partir de l'essai entier. Si la position de la meilleure particule est dénotée par le vecteur P_g alors:

$$P_g \in \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$$

$$f(P_g(t)) = \min \{f(P_1(t)), f(P_2(t)), \dots, f(P_N(t))\} \quad (5)$$

Où N est le nombre total de particules dans l'essai.

A chaque itération, les particules modifient leur vecteur de déplacement en direction de la position de *lbest* (P_i) et de la position de *gbest* (P_g) selon les équations suivantes:

$$V_i(t+1) = w * V_i(t) + c_1 * rand_1 * (P_i - X_i(t)) + c_2 * rand_2 * (P_g - X_i(t)) \quad (6)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (7)$$

Où w est le facteur d'inertie, c_1 et c_2 sont les constantes d'accélération positive, avec $c_1 + c_2 \leq 4$, $rand_1$ et $rand_2$ sont deux variables aléatoires uniformément distribuées dans l'intervalle $[0,1]$. L'algorithme OEP s'exécute jusqu'à un nombre d'itérations fixe ou une variation de vitesse proche de zéro. [4]

modèle géométrique basé sur un ensemble de points caractéristiques extraits à partir de l'image du visage. L'extraction de ces points a été faite manuellement par FGNET¹ sur la base de données BioID². Une vingtaine de points caractéristiques ont été définis sur un visage humain permettant son identification. Nous construisons un vecteur de caractéristiques faciales de 14 composants qui peuvent caractériser chaque image de visage par des distances géométriques en se basant sur le modèle proposé par [5]. Ces distances sont calculées entre les 20 points caractéristiques du visage et 2 autres points déduits à partir des ces derniers. Les points choisis sont liés à la structure osseuse sous-jacente (*le crâne*), nous avons ignoré les caractéristiques qui varient trop selon l'expression du visage comme la largeur de la bouche.

Notre deuxième système d'identification de visage repose sur une approche globale qui se base sur l'information pixel. Nous optons pour l'utilisation de la Transformée en Cosinus Discrète (DCT) afin d'extraire les paramètres nécessaires à la modélisation. Les images utilisées dans nos expérimentations sont issues de la base de données ORL (*Olivetti Research Laboratory*), conçue par AT&T laboratoires de l'université de Cambridge en Angleterre. Le principe de la DCT est de transformer l'image d'origine en une décomposition fréquentielle. La transformation DCT est réalisée sur des blocs de 8×8 pixels de l'image. Si x et y désignent les dimensions spatiales de l'image, u et v les dimensions dans le domaine des fréquences de l'image, N le nombre d'échantillons en x et y ($N=8$), I l'image (*ou matrice*) originale et J l'image transformée, la DCT fait correspondre à chaque valeur de $I(x,y)$ une valeur de $J(u,v)$ donnée par la formule :

$$J(u,v) = \frac{2}{N} c(u) c(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x,y) \cos\left(\frac{\pi}{n} u \left(x + \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(\frac{\pi}{n} v \left(y + \frac{1}{2}\right)\right) \quad (8)$$

Pour $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\text{Avec } c(w) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{si } w = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

La matrice J transformée par DCT regroupe les valeurs les plus élevées dans le coin supérieur gauche de la matrice et les valeurs les plus faibles dans le coin inférieur droit (*hautes fréquences*). Ainsi le maximum d'informations sur l'image se trouve concentré sur la partie supérieure gauche de la matrice [6]. Nous récupérons pour chaque bloc un vecteur de coefficients DCT selon un ordre décroissant en appliquant un parcours zigzag puis nous insérons le nouveau vecteur des coefficients DCT triés dans la matrice des coefficients DCT globale qui représente le modèle d'un individu.

IV. SYSTEME BIOMETRIQUE COMPLET

A. Identification du visage

Nous proposons de concevoir deux systèmes d'identification de visage (*vu de face*). Le premier système repose sur une approche locale où nous développons un

¹Groupe européen qui travaille sur la reconnaissance faciale et la reconnaissance du geste. <http://www.prima.inrialpes.fr/FGnet/html/>

²<http://www.bioid.com/support/downloads/software/bioid-face-database.html>

B. Identification de la démarche

Nous proposons de concevoir un système d'identification biométrique de la démarche en se basant sur l'approche Model-based qui consiste en une technique d'analyse de la démarche qui décrit la démarche du sujet en tant que modèle, ou les paramètres du modèle sont utilisés pour créer un ensemble de caractéristiques pour la reconnaissance. Les images utilisées dans nos expérimentations sont issues de la base de données CASIA, créée par Chinese Academy of Sciences, Institute of Automation ou l'extraction de l'arrière plan est déjà faite.

En se basant sur les propriétés anatomiques du corps [7], la hauteur (H) du corps humain est divisée selon la position verticale du cou (0.87H), l'épaule (0.818H), la poitrine (0.72H), la taille (0.535H), le bassin (0.48H), et genou (0.285H). Dans la région supérieure du corps incluant la tête, le cou, l'épaule et la poitrine, la coordonnée horizontale est calculée à partir de deux points de bordure comme suit [8]:

$$x_{centre} = x_s + (x_l - x_s)/2 \quad (9)$$

Où x_s et x_l représentent respectivement la position horizontale du premier et dernier pixel de la ligne balayée.

Les coordonnées de la taille et du bassin sont calculées en fonction des coordonnées de l'épaule et de la poitrine comme suit [8]:

$$x_{taille} = x_{poitrine} + \frac{(x_{poitrine} - x_{épaule})}{y_{poitrine} - y_{épaule}} * (y_{taille} - y_{poitrine}) = x_{bassin} \quad (10)$$

Les coordonnées horizontales des genoux sont définies comme suit :

$$x_{centre 1} = x_{s1} + (x_{l1} - x_{s1})/2 \quad (11)$$

$$x_{centre 2} = x_{s2} + (x_{l2} - x_{s2})/2 \quad (12)$$

Où x_{s1} et x_{l2} représentent respectivement la position horizontale du premier et dernier pixel la ligne balayée. x_{l1} représente le dernier pixel avant $(x_{s1} + x_{l2})/2$ et x_{l2} représente le premier pixel après $(x_{s1} + x_{l2})/2$.

Comme résultats, nous déterminons huit coordonnées dans le corps humain : (x_{tete}, y_{tete}) , (x_{cou}, y_{cou}) , $(x_{épaule}, y_{épaule})$, $(x_{poitrine}, y_{poitrine})$, (x_{taille}, y_{taille}) , (x_{bassin}, y_{bassin}) , (x_{genou1}, y_{genou1}) , (x_{genou2}, y_{genou2}) . Maintenant nous pouvons calculer quatre angles associés à ces jointures : θ_{neck} , θ_{back} , θ_{thigh1} , θ_{thigh2} . En général, θ_l de la location (l_x, l_y) est calculée par

$$\theta_l = \tan^{-1}((l_x - x_c)/(l_y - y_c)) \quad (13)$$

Nous proposons de construire un vecteur de 8 composants qui peuvent caractériser chaque image par les jointures d'angles et les distances géométriques suivantes :

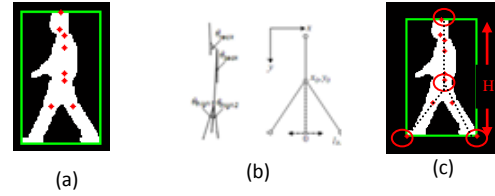


Figure1. (a) Signatures. (b) Jointures d'angles. (c) Distances géométriques

C. Modélisation

Afin de construire un modèle représentant mieux un individu pour la phase d'identification, nous proposons l'évaluation de l'algorithme hybride OEP-AG. Notre algorithme est basé sur le mouvement des centres des classes dans un espace multidimensionnel et l'affectation des individus au plus proche centre. Chaque chromosome (*ou particule de l'essaim*) représente une solution potentielle pour la classification des individus, cependant la population initiale représente un nombre de candidats d'individus classifiés.

Une matrice $X_i = (C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_K)$ est associée à chaque solution, où C_j représente le vecteur de centroïde de la classe j et k est le nombre de classes. A chaque itération une solution ajuste ses vecteurs de centroïdes des classes dans l'espace de recherche. Sa qualité est mesurée par la fonction de fitness suivante :

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{P_i} d(O_i, m_{ij})}{R_i} \right\}}{N_c} \quad (14)$$

Où m_{ij} est le $j^{ème}$ vecteur individu appartenant à la classe i ; O_i se rapporte au vecteur des centroïdes de la $i^{ème}$ classe; $d(O_i, m_{ij})$ est la distance entre le vecteur individu m_{ij} et le centroïde de la classe O_i . R_i nombre d'individus appartenant à la classe C_i ; N_c nombre de classes.

L'Algorithme génétique appliqué à la classification est résumé comme suit :

- (1) Générer une population d'individus (solutions potentielles) de façon aléatoire
- (2) Evaluer l'adaptabilité $f(x)$ de chaque solution selon l'équation (14).
- (3) Sélectionner $n/2$ individus de la population selon la méthode "élitiste"
- (4) Croiser les parents pour obtenir des enfants selon la fonction $c=F(a,b)=(\min_fit(a,b)+(a+b)/2)/2$
- (5) Evaluer l'adaptabilité $f(x)$ de chaque enfant selon l'équation (14).
- (6) Sélectionner $n/2$ des enfants selon la méthode "élitiste" et les concaténés avec les parents sélectionnés précédemment
- (7) Muter la population obtenue par alternance (Muter, non, Muter)
- (8) On réitère les opérations précédentes (2--7) à partir de la nouvelle population jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit satisfait.
- (9) On sélectionne l'individu le plus adapté.

L'algorithme OEP appliqué à la classification est résumé comme suit :

- (1) A l'étape initiale, chaque particule choisit aléatoirement k vecteur d'individu de la base de signature comme des vecteurs des centroïdes des classes.
- (2) Pour chaque particule :
 - a) Assigner chaque vecteur d'individu de la base des signatures au vecteur centroïdes le plus proche sur la base du minimum de distance.
 - b) Calculer la fitness de la particule selon l'équation (14).
 - c) Mettre à jour la meilleure position d'une particule selon l'équation (3).
 - d) Choisir la meilleure particule dans l'essaim.
 - e) Utiliser la vitesse et la position de la particule pour mettre à jour les équations (6) et (7) pour générer les solutions suivantes.
- (3) Répéter l'étape (2) jusqu'à un nombre d'itérations fixe.

Dans l'algorithme hybride OEP-AG, le concept de stratégie d'élite est adopté, où la moitié des individus (*les plus performants*) de la population est considérée comme des élites. Le groupe constitué par ces élites est considéré comme un essaim et chaque élite correspond à une particule. À cet égard, les élites sont traitées par l'algorithme OEP et constituent la moitié de la population dans la nouvelle génération, tandis que l'autre moitié est produite par l'algorithme génétique. La figure suivante illustre le fonctionnement de notre algorithme hybride :

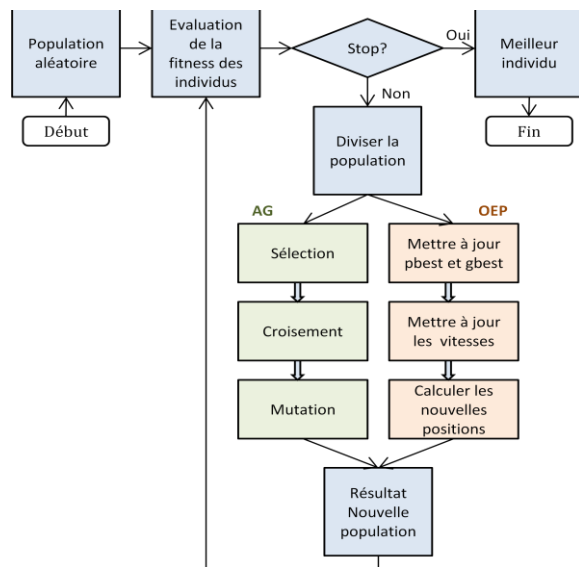


Figure2. L'Algorithme hybride OEP-AG

D. Fusion multimodale

Nous avons implémenté des systèmes biométriques multimodaux avec fusion au niveau des caractéristiques et fusion au niveau des scores. La fusion des caractéristiques consiste en une simple concaténation des deux vecteurs de caractéristiques normalisés (*visage et de la démarche*). Dans

la fusion au niveau des scores, les résultats obtenus des M modules de comparaison sont M ensembles de N scores, où N représente le nombre de clients enregistrés dans la base de données des modèles. Ces scores de correspondance individuels sont combinés ensuite utilisés pour prendre la décision finale. La chaîne de traitement présentée dans figure suivante illustre notre choix de fusion.

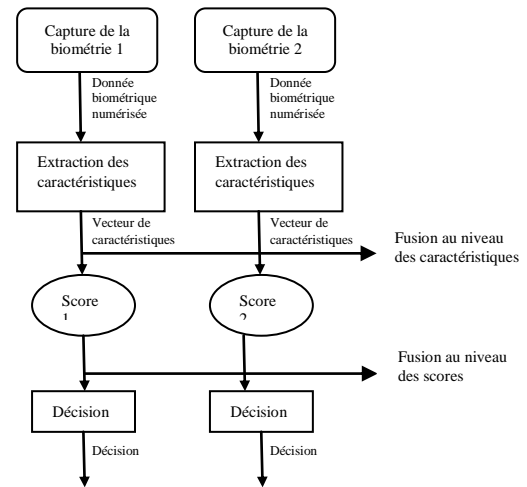


Figure3. Niveaux de fusion

V. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous disposons des bases de données suivantes : la base BIOD qui contient des images de visage de 20 personnes, avec 20 images (*vue de face*) pour chacune. La base ORL contenant des images de visage de 40 personnes, avec 10 images (*vue de face*) pour chacune. Nous proposons de diviser cette base en deux sous bases de 20 personnes: ORL_A, ORL_B. La base de la démarche CASIA, elle contient des images de silhouette de 20 personnes, avec 20 séquences pour la personne. Une séquence contient 10 images de silhouettes (*direction parallèle*). Le tableau suivant montre la répartition des images entre la phase d'enrôlement et de test:

TABLE I. REPARTITION DES IMAGES ENTRE LA PHASE D'ENROLEMENT ET DE TEST

Base	Phase	
	Enrôlement	Test
BIOD	10 images/personnes	10 images/personnes
ORL_A	5 images/personnes	5 images/personnes
ORL_B	5 images/personnes	5 images/personnes
CASIA	10 séquences/personnes	10 séquences/personnes

Un modèle visage BIOD permet de représenter chaque personne par un vecteur caractéristique de 14 composants, le modèle visage ORL permet de représenter chaque personne par sa matrice des coefficients DCT globale. Tandis qu'un modèle démarche représente chaque personne par un vecteur caractéristique de 8 composants qui désigne la moyenne d'une séquence. Pour appliquer notre algorithme un certain nombre

de paramètres doit être contrôlés, ces paramètres affectent directement la qualité du résultat de la classification :

TABLE II. PARAMÈTRES OEP-AG

Taille de l'essai	20
Coefficients d'accélération c_1	1.5
Coefficients d'accélération c_2	1.5
Facteur d'inertie w	0.75
Nombre d'itérations	100
Nombre de classes	20
Pas de mutation	0.025

Nous avons testé plusieurs distances, nous choisissons d'utiliser la distance cosinus pour l'identification faciale et la distance chebychev pour l'identification par la démarche.

Durant les différents tests que nous avons menés, la meilleure classification que nous avons pu avoir a été obtenue en sélectionnant $n/2$ individus de la population selon la méthode "élitiste" qui représente l'essai initial de l'algorithme OEP le reste sert de population initiale pour l'algorithme génétique. Comme résultat nous obtenons la meilleure solution (*l'individu le plus adapté*). Chaque vecteur de la meilleure solution est considéré comme le prototype de sa classe (*modèle d'un individu*). Le taux de classification obtenu pour les bases de visage et de démarche est donné par le tableau suivant :

TABLE III. RESULTATS DE LA CLASSIFICATION OEP-AG

	Base			
	BIOID	ORL_A	ORL_B	CASIA
AG	85%	87%	69%	53%
OEP	93%	92%	75%	59.5%
OEP-AG	94.5%	95%	80%	62.5%

Les résultats montrent que l'algorithme OEP-AG permet d'améliorer le taux de classification pour les différents systèmes. La solution donnée par cet algorithme est meilleure que les solutions données par l'algorithme génétique et l'algorithme OEP.

Dans la phase de test, nous avons calculé le taux de bonne identification des personnes pour nos différents systèmes unimodaux et multimodaux. Nous avons utilisé des bases virtuelles pour des raisons de non disponibilité de bases réelles adaptées à nos besoins. Les différentes bases multimodales sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

TABLE IV. BASES DE DONNÉES VIRTUELLES

Etiquette BD	Modalité visage	Modalité démarche
BC	BIOID	CASIA
OAC	ORL_A	CASIA
OBC	ORL_B	CASIA

Nous avons fusionné les caractéristiques extraites des deux vecteurs de caractéristiques normalisées du visage BIOID et de la démarche. La normalisation est donnée par :

$$S'_{ik} = \frac{1}{2} \left[\tanh \left(0.01 \frac{(S_{ik} - \mu)}{\sigma} \right) + 1 \right] \quad (15)$$

Où μ est la moyenne arithmétique, σ l'écart-type des données et \tanh est le tangent hyperbolique. Le tableau suivant illustre le taux de classification après la fusion des caractéristiques :

TABLE V. TAUX DE CLASSIFICATION

Etiquette BD	AG	PSO	OEP-AG
BC	92.5%	95%	96.5%

D'après les résultats, nous constatons que la fusion au niveau des caractéristiques améliore le taux de classification des différents algorithmes. La courbe suivante permet de visualiser les performances des différents systèmes d'identification implémentés en utilisant l'algorithme OEP-AG :

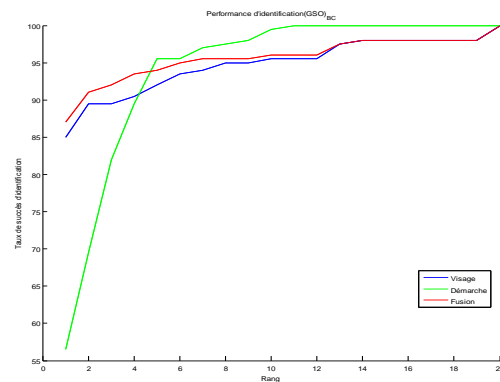


Figure4. Courbes CMS pour les différents systèmes d'identification

Le graphe montre bien que la modalité visage est plus performante que la démarche. Quant à la fusion au niveau des caractéristiques, elle permet toujours de surpasser les performances du visage et de la démarche pour les rangs valables 1 et 2.

Nous avons appliqué aussi une fusion au niveau des scores. Les résultats obtenus des deux modules de comparaison sont deux ensembles de 20 scores normalisés (15) et combinés de manière à former un seul ensemble qui est ensuite utilisé pour prendre la décision finale. Nous avons testé les techniques de combinaisons de scores : maximum, minimum, somme, moyenne et la somme pondérée, pour cette dernière nous affectons au module de comparaison 1 celui du visage un poids optimal w_1^* et au module de comparaison de la démarche un poids $w_2^* = 1 - w_1^*$. Les poids optimaux w_1^* et w_2^* sont déterminés empiriquement.

Les performances de l'identification des différentes méthodes de fusion des scores sont visualisées par les courbes CMS suivantes :

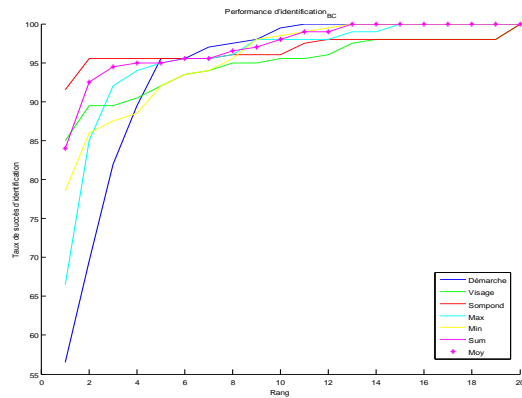


Figure5. Courbes CMS pour les différentes méthodes de fusion des scores (BC)

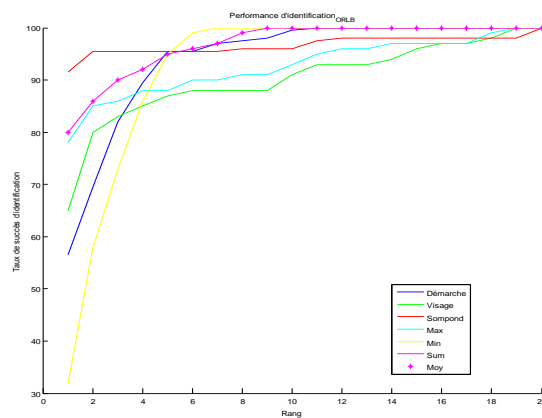


Figure6. Courbes CMS pour les différentes méthodes de fusion des scores (OBC)

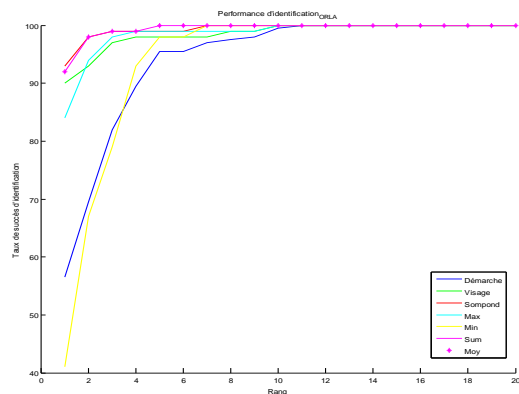


Figure7. Courbes CMS pour les différentes méthodes de fusion des scores (OAC)

Les différentes courbes montrent que l'attribution des poids proportionnels entrain toujours une amélioration des performances des systèmes multimodaux.

Les performances de l'identification des différents systèmes monomodaux (*visage et démarche*) et les systèmes multimodaux (*fusion des caractéristiques et fusion des scores*) appliquée sur le corpus BC sont visualisées par la courbe CMS suivante :

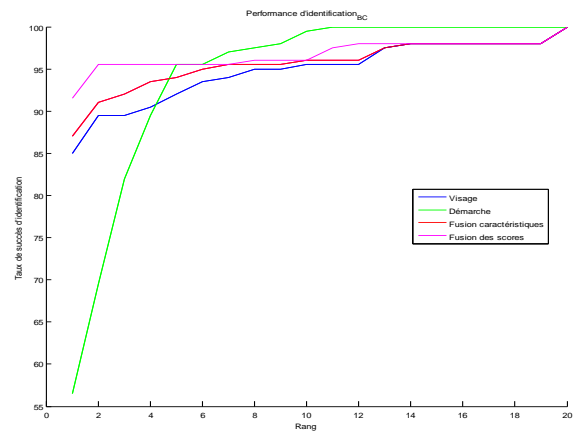


Figure8. Courbes CMS pour les différents systèmes d'identification (BC)

D'après ces courbes, nous remarquons que l'intégration des données au niveau des scores de correspondances par la méthode somme pondérée donne le meilleur résultat et permet d'améliorer significativement la performance du système multimodal.

VI. CONCLUSION

Nous avons présenté des systèmes d'identification multimodaux qui combinent les informations issues de deux sources biométriques : le visage et de la démarche au niveau des caractéristiques et des scores. En termes de taux de succès de l'identification, les performances sont améliorées pour les deux niveaux de fusion. Nous avons testé un algorithme hybride OEP-AG, les résultats obtenus sont satisfaisants.

L'ensemble des tests effectués nous permet de conclure qu'on peut tirer partie de la complémentarité des deux modalités visage et démarche et que la fusion permet d'augmenter les performances.

REFERENCES

- [1] N. Morizet, "Reconnaissance biométrique par fusion multimodale du visage et de l'iris". Thèse de doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris. Mars 2009.
- [2] G. Balmisse, "Les algorithmes génétiques". Septembre 2002.
- [3] J. Kennedy, R. Eberhart, *Particle Swarm Optimization*, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, vol. 4, 1942-1948, 1995.
- [4] A.Sharma, and C.W. Omlin: *Determining Cluster Boundaries using Particle Swarm Optimization*. International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences 1:2 © www.waset.org Spring 2005.
- [5] Kamel. M. S., Shen H. C,Wong A. K. C. and Campeanu R. I: *System for the recognition of human faces*. IBM Systems Journal, Vol. 32, No 2, p. 307-320, 1993.
- [6] B. Roue, P. Bas et N. Le Bihan, "Décomposition et codage hypercomplexes des images couleur". Stages_dea_theses. 2003.
- [7] W. Dempster and G. Gaughan. *Properties of body segments based on size and weight*. American Journal of Anatomy, 120(1):33-54, 1967.
- [8] J. Yoo, M.S. Nixon and C. J. Harris: *Extracting Gait Signatures based on Anatomical Knowledge*. (2002) In: BMVA Symposium on Advancing Biometric Technologies.

Détection des Structures Linéaires sur des Images RADAR SAR

M. Baadeche, Y. Smara

Résumé— Dans l'objectif est l'extraction du réseau routier à partir des images radar SAR, deux détecteurs de lignes prenant en compte les statistiques du speckle sont étudiés et réalisés ainsi la fusion de leurs réponses, l'un de ces détecteurs est fondé sur un détecteur de contours rapport et l'autre sur un détecteur de contours corrélation. Finalement des post-traitements (suppression des pixels isolés, transformée de Hough) sont appliqués.

I. INTRODUCTION

L'EXTRACTION du réseau routier sur des images optiques ou radars tient une place particulière pour la variété de ses applications (navigation automatique, recalage d'images multi-sources, mise à jour de cartes...). L'avènement de plusieurs radars satellitaires à haute résolution a suscité un vif intérêt dans l'imagerie du radar à vision latérale. Bien sûr, sa capacité à fournir des informations sur le sol par tout temps et indépendamment de la couverture nuageuse, mais d'autres avantages sont aussi très appréciés: sa sensibilité à la fois à la nature et à la structure de la zone observée, en relation avec la longueur d'ondes utilisée et la polarisation choisie.

De façon pratique, le problème de détection des tronçons de routes est souvent ramené à un problème de détection de structures linéaires de radiométrie claire ou foncée, et contrastées avec le voisinage directe.

Nous présentons dans cet article une méthode de détection des structures linéaires sur deux images radar SAR *PRI*: la première acquise par le capteur spatioporté ERS-1 sur une zone urbaine d'Alger et la deuxième acquise par le capteur aéroporté AIRSAR sur une zone non-urbaine d'une ville de Costa Rica (selon la longueur d'onde et l'angle d'incidence des deux capteurs, les structures linéaires sont considérées comme lisses), cette méthode consiste à fusionner les réponses des deux détecteurs de lignes, l'un basé sur le rapport des radiométries moyennes et l'autre basé sur le coefficient de corrélation centré et normalisé. En suite, une transformée de Hough locale est appliquée pour réduire l'effet des autres surfaces spéculaires dans la scène (fausses alarmes).

Y. Smara is with the Laboratoire de Traitement d'Image et Rayonnement Faculté d'Electronique et d'Informatique. Université des sciences et technologie Houari Boumediene, yousmara@yahoo.com

M. Baadeche the Laboratoire de Traitement d'Image et Rayonnement Faculté d'Electronique et d'Informatique. Université des sciences et technologie Houari Boumediene (corresponding author baadechemohamed@yahoo.fr).

II. LE DETECTEUR DE LIGNE D1

Une solution pour s'affranchir du problème de chatoiement associé à l'imagerie radar, consiste à considérer non plus la différence des valeurs radiométriques, mais leur rapport [1]. Partant de ce principe, Touzi, Lopes et Bousquet [2] ont obtenu un détecteur de contours à probabilité de fausse alarme constante. Le détecteur de lignes D1 est obtenu en couplant deux détecteurs de contours « rapport » de part et d'autre d'une région centrale [3] (Figure 1).

Nous définissons La réponse d'un détecteur de contours entre les deux régions i et j par:

$$r_{ij} = 1 - \min\left(\frac{A_i}{A_j}, \frac{A_j}{A_i}\right) \quad (1)$$

Et la réponse à une structure linéaire par r :

$$r = \min(r_{12}, r_{13}) \quad (2)$$

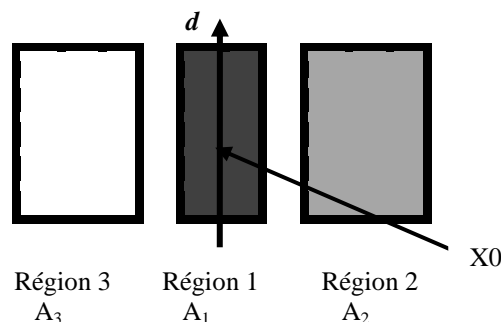


Figure 1. Masque pour la détection des structures linéaires.

Ce détecteur de lignes conserve la valeur correspondant au « moins bon contour ». Cette contrainte stricte assure que seules les lignes (et non les contours) seront détectées.

Un pixel est considéré comme appartenant à une ligne si sa réponse r est suffisante (plus grande qu'un seuil r_{\min} choisi a priori).

Pour étudier le comportement du détecteur, les probabilités de fausse alarme et de détection sont estimées, sous les hypothèses de Goodman [4].

La densité de probabilité f_A de l'amplitude pour une région homogène d'intensité moyenne \bar{I} et L vues est donnée par l'équation (3):

$$f_A(t/\bar{I}) = \frac{2}{\Gamma(L)} \left(\frac{L}{\bar{I}}\right)^L t^{2L-1} \exp\left(-\frac{Lt^2}{\bar{I}}\right) \quad (3)$$

La densité de probabilité de \mathbf{r} dépend de celles des \mathbf{r}_{12} (4) et \mathbf{r}_{13} (5) :

$$f_r(t) = f_{r_{12}}(t)F_{r_{13}}(t) + F_{r_{12}}(t)f_{r_{13}}(t)$$

Sachant que le contraste entre la zone centrale et la zone

adjacent i est $C_i = \sqrt{\frac{C_1}{C_i}}$

$$f_{r_{12}}(r_{12}/C_2) = 2 \frac{\Gamma(n_1 L + n_2 L)}{\Gamma(n_1 L) \Gamma(n_2 L)} (n_1)^{n_1 L} (n_2)^{n_2 L} \cdot \left(\frac{C_2^{2n_2 L} r_{12}^{2n_1 L - 1}}{(r_{12}^{2n_1} + n_2 C_2^2)^{L(n_1 + n_2)}} + \frac{\left(\frac{1}{C_2^2}\right)^{n_1 L} r_{12}^{2n_2 L - 1}}{\left(r_{12}^{2n_2} + \left(\frac{n_1}{C_2^2}\right)^{L(n_1 + n_2)}\right)} \right) \quad (4)$$

$$f_{r_{13}}(r_{13}/C_3) = 2 \frac{\Gamma(n_1 L + n_3 L)}{\Gamma(n_1 L) \Gamma(n_3 L)} (n_1)^{n_1 L} (n_3)^{n_3 L} \cdot \left(\frac{C_3^{2n_3 L} r_{13}^{2n_1 L - 1}}{(r_{13}^{2n_1} + n_3 C_3^2)^{L(n_1 + n_3)}} + \frac{\left(\frac{1}{C_3^2}\right)^{n_1 L} r_{13}^{2n_3 L - 1}}{\left(r_{13}^{2n_3} + \left(\frac{n_1}{C_3^2}\right)^{L(n_1 + n_3)}\right)} \right) \quad (5)$$

Donc la densité de probabilité de \mathbf{r} est donnée par (6):

$$f_r(t/C_2, C_3) = 4 \frac{\Gamma((n_1 + n_2)L) \Gamma((n_1 + n_3)L)}{\Gamma(n_1 L) \Gamma(n_3 L)} (n_1)^{2n_1 L} (n_2)^{2n_2 L} (n_3)^{n_3 L} \cdot \left(g\left(\frac{t}{C_2}\right) \int_t^1 g\left(\frac{x}{C_3}\right) dx + g\left(\frac{t}{C_3}\right) \int_t^1 g\left(\frac{x}{C_2}\right) dx \right) \quad (6)$$

Avec :

$$g(x/C_i) = \frac{(C_i)^{2n_i L} (1-x)^{2n_i L - 1}}{\left((1-x)^2 n_i + n_i C_i^2\right)^{(n_1 + n_i)L}} + \frac{\left(\frac{1}{C_i}\right)^{n_i L} (1-x)^{2n_i L - 1}}{\left((1-x)^2 n_i + \frac{n_i}{C_i^2}\right)^{(n_1 + n_i)L}}$$

Ce détecteur a une probabilité de fausse alarme constante indépendante de la radiométrie d'une région.

La probabilité de détection s'obtient pour un seuil r_{\min} donné par:

$$P_d(r_{\min}, c_2, c_3) = \int_{r_{\min}}^1 f_r(t/c_2, c_3) dt \quad (7)$$

Les fausses alarmes ou fausses détections peuvent se présenter dans deux cas: la détection d'une structure linéaire sur une zone homogène ($C_2 = C_3 = 1$), ou la détection d'une ligne alors qu'il ne s'agit que d'un contour ($C_2 = 1$ et $C_3 = C$, ou $C_2 = 1$ et $C_3 = 1$). Dans ces deux cas nous pouvons déduire la probabilité de fausse alarme:

$$p_{fa}(r_{\min}, c) = \int_{r_{\min}}^1 f_r(t/1, c) dt \quad (8)$$

La détection est effectuée avec des masques de 7*7 pixels et orientés dans 8 directions différentes uniformément réparties

entre $[0, \pi]$ avec une largeur de 1 à 3 de la zone central. Pour chaque pixel 24 réponses sont calculées, Une fusion, par opérateur maximum généralement, est finalement opérée [5] afin de détecter toutes les structures de la scène. Le résultat est testé au seuil qui correspond:

- Si $r > r_{\min}$ le point est assimilé appartenant à une structure linéaire.
- Sinon à une zone homogène.

III. LE DETECTEUR DE LIGNE D2

Ce détecteur de ligne s'appuie sur le détecteur de contour basé sur le coefficient de corrélation centré et normalisé [3], [6] de la même façon qu'on a fait avec le premier détecteur.

Le principe de ce détecteur de contour est de chercher en un pixel \mathbf{x}_0 le contour qui approximerait au mieux la radiométrie de son voisinage.

Dans l'espace continue un contour idéal est défini comme une marche d'escalier, c'est donc une ligne qui sépare deux zones i et j d'amplitudes constantes et passé par \mathbf{x}_0 .

Dans l'espace discret, le contour idéal correspondant à une direction d a pour valeurs les moyennes \bar{A}_i et \bar{A}_j délimité par la droite (d, \mathbf{x}_0) , par convention cette droite appartient à la région j , une fois ce contour idéal défini, nous mesurons la pertinence de l'hypothèse: il existe un contour de direction d passant par \mathbf{x}_0 .

La comparaison entre le contour idéal et la zone de l'image dont il a été déduit se fait en évaluant le coefficient de corrélation ρ_{ij} entre ces deux populations (Figure .2).

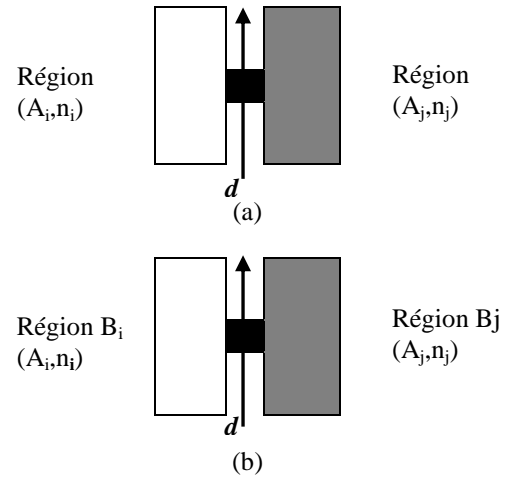


Figure 2. Principe du cross-corrélation détecteur (a) Population A (n pixels) de l'image (b) Population B (n pixels).

$$\rho_{ij} = \frac{1}{\sigma_A \sigma_B} \frac{1}{n} \left(\sum_{V \in X_0} AB - n \bar{A} \bar{B} \right) \quad (9)$$

$$\rho_{ij}^2 = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_A^2}$$

Avec

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n^2} \left[n_i n_j (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2 + n(n_i \sigma_i^2 + n_j \sigma_j^2) \right]$$

$$\rho_{ij}^2 = \frac{\sigma_B^2 = \frac{n_i n_j}{n} (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2}{1 + (n_i + n_j) \frac{n_i \gamma_i^2 c^2 + n_j \gamma_j^2}{n_i n_j (c-1)^2}} \quad (10)$$

$c = \frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_j}$: Le contraste.

$\gamma = \frac{\sigma}{A}$: Le coefficient de variation.

σ : L'écart type.

$n = n_i + n_j$

Le détecteur de ligne D2 est défini par la réponse minimum ρ de part et d'autre de la structure linéaire.

$$\rho = \min(\rho_{12}, \rho_{13}) \quad (11)$$

Là aussi la moins bonne réponse des deux détecteurs de contours est sélectionnée, ceci nous assure que seules les lignes seront détectées.

Comme pour le détecteur de lignes D1, les réponses sont calculées dans 8 directions sur des masques 7x7, et pour 3 largeurs différentes de la zone centrale, et le maximum des réponses est à retenu [5].

Le résultat est testé à un seuil choisi ρ_{\min} :

- Si $\rho > \rho_{\min}$ le point est assimilé appartenant à une structure linéaire.
- Sinon à une zone homogène.

IV. FUSION DES REPONSES DE D1 ET D2

Chaque détecteur présente des avantages et des inconvénients. En effet la présence du coefficient de variation dans le détecteur D2 permet d'obtenir une réponse plus précise que celle de D1. Le détecteur D1 donne des réponses moins précises, mais il est moins sensible à l'hypothèse de régions homogènes.

Pour conserver les informations délivrées par les deux détecteurs D1 et D2, nous avons choisi de fusionner leurs réponses en utilisant une somme associative symétrique:

$$f(x, y) = \frac{xy}{1 - x - y + 2xy} \quad x, y \in [0, 1] \quad (12)$$

Cet opérateur a une attitude disjonctive (indulgente) pour de fortes valeurs des mesures et conjonctive (sévère) pour de faibles valeurs et adaptative en fonction des valeurs de x et y dans les autres cas (Figure 3).

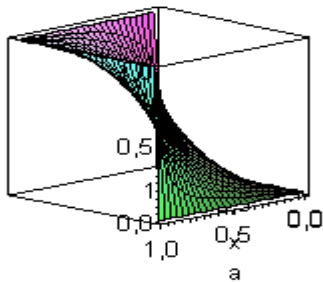


Figure 3. L'allure de $f(x, y)$

Comme le comportement de cet opérateur dépend de la position des variables par rapport à 0,5, nous avons d'abord recentré les réponses obtenues autour des seuils de décision des deux détecteurs, et ensuite sont utilisées dans l'équation (12). Une fusion par opérateur maximum sur toutes les directions est finalement opérée et ensuite seuillée automatiquement par rapport à 0,5.

V. POST-TRAITEMENTS

Afin de supprimer une partie du bruit et des fausses alarmes, le résultat obtenu après l'étape de fusion est soumis à des post-traitements:

A. Suppression des pixels isolés

Cette étape consiste à supprimer les pixels classés éléments de structures qui sont 'isolés', pour chaque pixel conservé avec une direction d_k , les pixels contenus dans un faisceau angulaire de 45° autour de d_k et sélectionnés avec une direction de d_k ou avec les deux plus proches directions voisines (d_{k-1} ou d_{k+1}) sont recensés. Si le nombre des pixels sélectionnés est supérieur à un seuil le pixel est considéré comme non isolé, sinon il est supprimé.

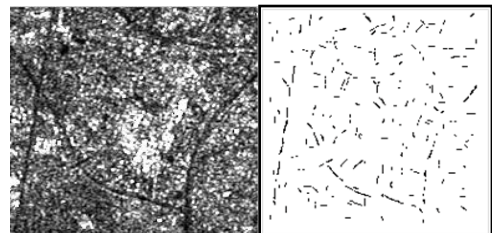
B. Transformée de Hough

La transformée de Hough qui permet de rechercher des courbes paramétrique dans une image binaire est largement utilisée pour détecter les droites [7]. Pour une deuxième étape, une transformée de Hough locale est appliquée afin d'avoir une nouvelle réduction des pixels isolés :

- 1) L'image est divisée en blocs de 20*20 pixels avec un recouvrement de moitié.
- 2) L'accumulateur est simplifié et ne tient compte que des droites ayant l'une des 8 directions utilisées pour D1 et D2 et passant par la fenêtre d'étude.
- 3) La droite qui contient le maximum des pixels ayant la même direction de cette droite est sélectionnée et les pixels lui appartenant sont conservés, les autres étant supprimés.
- 4) Pour atténuer les problèmes liés à la discrétisation les droites retenues sont élargies sur trois pixels (la parallèle de part et d'autre de la droite sélectionnée).

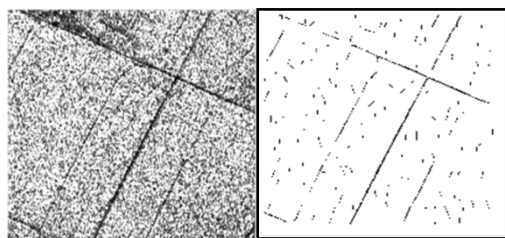
VI. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les testes des différents détecteurs ainsi les autres traitements d'amélioration (suppression des pixels isolés, transformée de Hough) sont effectués sur les deux images (Figure 4 et 5).



(a) (b)

Figure 4. Résultat de la détection des structures linéaires. (a) image (200*200 pixels) d'ERS1 sur une zone urbaine d'Alger. (b) résultat de la détection après la transformée de Hough.



(a) (b)

Figure 5. Résultat de la détection des structures linéaires. (a) image (200*200 pixels) d'AIRSAR sur une zone non-urbaine d'une ville de Costa Rica. (b) résultat de la détection après la transformée de Hough.

VII. CONCLUSION

Le problème de la détection des structures linéaires sur les images radar est un problème rendu particulièrement difficile par le phénomène de chatoiement. Devant l'échec des détecteurs classiquement utilisés en traitement d'images qui supposent des bruits blancs gaussiens, nous présentons dans cet article une réponse à la détection des structures linéaires dans un voisinage local de chaque pixel, en proposant la fusion de deux détecteurs de lignes adaptés aux statistiques des images radar, cette étape est suivie par une transformée de Hough ; cette dernière est utilisée (dans le contexte des structures linéaire) pour réduire l'effet des autres surfaces au comportement spéculaires dans la scène (fausses alarmes).

En continuité de ce travail, nous envisageons l'implémentation d'une méthode d'extraction du réseau routier sur des images radar SAR à partir des segments candidats obtenus par cette méthode de détection en appliquant une des méthodes dites globales qui permet d'extraire la totalité du réseau routier, tel que la programmation dynamique, les graphes de Markov, etc.

REFERENCES

- [1] A. C. Bovik. "On detecting edges in speckle imagery". *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, ASSP-vol. 36, no. 10, pp. 1618-1627, October 1988.
- [2] R. Touzi, A. Lopes, and P. Bousquet. "A statistical and geometrical edge detector for SAR images". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, no. 6, pp. 764-773, November 1988.
- [3] F. Tupin, H. Maitre, J.-F. Mangin, J.-M. Nicolas and E. Pechersky, "Detection of linear features in SAR images: Application to road network extraction". *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, no. 2, pp. 434-453, Mar. 1998.
- [4] J.W. Goodman, "Some fundamental properties of speckle", *Journal Optical Society of America*, vol. 66, no. 11, pp. 1145-1150, 1976.
- [5] V. Amberg. "Analyse de scènes péri-urbaines à partir d'images radar haute résolution, Application à l'extraction semi-automatique du réseau routier". PhD thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.

[6] G. Xu, J. Sun, J. Yanwei, Z. Huang, "A Fast Interactive Road Extraction Algorithm From SAR Imagery", *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, pp. 1-4, avril. 2009.

[7] R. C. S. Costa, F. N. S. Medeiros, "Linear Features Detection in SAR Images for Urban Analysis", in *Proc. IEEE Bra. Symp. Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI'02)*, Fortaleza, Ce, Brazil, pp. 1530-1834, 2002.

Conception de la technique des chauves-souris pour la classification des images

H.Fizazi, S.Benmostefa

Résumé— Cet article, propose une nouvelle approche de classification automatique non supervisée des images. Ce traitement, consiste à rechercher les différents thèmes constituant une scène représentée. Parmi les différentes méthodes pouvant être utilisées, nous nous intéressons à la technique des chauves-souris, cette dernière est une métaheuristique biologique visant à modéliser le comportement d'écholocation des chauves-souris. Elle combine les avantages de plusieurs métaheurstiques telles que l'optimisation par essaims particulaires et les algorithmes génétiques.

Mots clés— *Algorithme des chauves-souris; Segmentation des images; Classification non-supervisée des images; Bat Algorithm.*

I. INTRODUCTION

La classification joue un rôle prépondérant dans le traitement d'image. Elle est réalisée avant les étapes d'analyse et de prise de décision dans plusieurs processus de traitement d'image, tel que la télédétection. Elle aide à localiser et à délimiter les entités présentes dans l'image [1]. Plusieurs techniques de classification existent [2] et deux grandes catégories peuvent se distinguer : la classification supervisée et non supervisée. La première catégorie, nécessite la connaissance du nombre de classes ainsi que leurs étiquettes et des échantillons d'apprentissage. Quant à la classification non supervisée dite aussi automatique ou encore segmentation, consiste à affecter chaque pixel à un groupe, sans aucune connaissance préalable sur le nombre de catégories ni leurs signification. Notre choix s'est porté sur la deuxième catégorie.

De nombreuses méthodes ont été conçues pour résoudre le problème de la classification automatique d'images. Les méthodes les plus anciennes utilisent la distance (Kmeans et ses dérivées) mais leurs principaux inconvénients sont leur grande sensibilité à la configuration initiale ainsi que la convergence prématurée vers un optimum local. En raison de la complexité du problème de segmentation et afin de pallier aux inconvénients des méthodes classiques, les efforts de la recherche ont permis à l'adapter un problème d'optimisation, ce point de vue a offert une possibilité d'appliquer la catégorie la plus puissante dans la résolution des problèmes d'optimisation dite métaheuristique, s'inspirant des systèmes et des phénomènes biologiques, tel que, l'optimisation par essaim particulaires (PSO) basée sur le comportement d'essaim d'oiseaux ou de poissons à la segmentation d'images.

Les PSO se rapprochent de l'algorithme des chauves-souris, sur lequel s'est penché tout notre intérêt et qui a été appliqué récemment à la segmentation des images, le premier article la concernant a été proposé par Omran et al. [3]. Ses résultats ont prouvé qu'une segmentation à base des PSO s'est avérée plus performante que k-means, FCM et quelques autres méthodes dédiés à la segmentation. De ce fait elle est née l'idée d'appliquer l'algorithme des chauves-souris à la segmentation d'images.

Cet article est organisé comme suit: dans la première section, nous formulons le problème de classification automatique des images, et présentons le comportement biologique des chauves-souris. Dans la deuxième nous énonçons l'algorithme des chauves-souris. La troisième section est la partie principale de cet article consacrée à l'application de l'algorithme des chauves-souris à la segmentation d'images. Les expérimentations et interprétations de l'approche seront discutées à la dernière section.

II. FORMALISATION DU PROBLEME DE CLASSIFICATION

Dans le cadre d'une classification des images, et d'un point de vue mathématique, soit $P \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ l'ensemble de 'm' pixels de dimension 'd=3', correspondant respectivement aux couleurs Rouge, Vert et Bleu. Ce pixel peut être aussi représenté par la matrice $Z_{m \times d}$. le i ème vecteur

Octobre 30, 2011.

FIZAZI Hadria, Dept. Informatique, Équipe Imagerie et Décision. Laboratoire SIMPA, USTO, Oran, Algérie, hadriaifizazi@yahoo.fr

BENMOSTEFA Soumia, Dept. Informatique, Équipe Imagerie et Décision. Laboratoire SIMPA, USTO, Oran, Algérie, soumiabenmostefa@gmail.com

\vec{Z}_i caractérise le $i^{\text{ème}}$ pixel de l'ensemble ' P ' et chaque élément $z_{i,j}$ dans \vec{Z}_i correspond à la $j^{\text{ème}}$ valeur de la composante ($j = 1, 2, \dots, d$) du $i^{\text{ème}}$ pixel ($i = 1, 2, \dots, m$). Un algorithme de classification tente de trouver une partition $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ tel que la similarité entre les pixels du même groupe C_i est maximale, et entre les pixels de groupes différents est minimale. A partir de l'image originale plusieurs partitions peuvent être proposées, d'où la nécessité de définir une fonction d'évaluation. En effet, résoudre le problème de classification consiste à trouver une partition optimale C^* après l'avoir comparée avec toutes les autres partitions possibles $C = \{C^1, C^2, \dots, C^{N(m,k)}\}$ tel que $N(m,k)$ est le nombre de partitions possibles. Ce qui correspond à

$$\text{optimiser}_C (f(Z_{m^*d}, C)) . \quad (1)$$

où ' C ' est une partition de l'ensemble ' C ' et ' f ' est une fonction objective qui doit évaluer une partition en se basant sur les mesures de similarité et dissimilarité des pixels. Cette dernière est calculée par la Distance Euclidienne (2) entre deux vecteurs. Le pixel est affecté au groupe duquel il est le plus proche, i.e. ayant une distance minimale.

$$d(\vec{Z}_u, \vec{Z}_v) = \sqrt{\sum_{i=1}^d (z_{u,i} - z_{v,i})^2} = \|\vec{Z}_u - \vec{Z}_v\| \quad (2)$$

III. COMPORTEMENT D'ÉCHOLOCATION DES MICROCHIROPTÈRES

La chauve-souris est l'un des mammifères les plus méconnus. Elle a cependant fasciné les plus grands chercheurs et intéressé jusqu'aujourd'hui les scientifiques, pour sa capacité de vol actif, unique chez les mammifères et celle de voler la nuit, en évitant les obstacles, et cela même à très grande vitesse grâce à un système d'écholocation très perfectionné [4]. La plus part des chauves-souris utilisent l'écholocation jusqu'à un certain degré ; parmi toutes les espèces, les microchiroptères disposent d'une capacité d'écholocation très avancée, dont les Mégachiroptères n'en disposent pas [5, 6].

La majorité des microchiroptères sont des insectivores. Elles émettent des pulsations sonores très fortes par la bouche ou le nez (ultrason). Dès que cet ultrason rencontre un obstacle (proie, végétation...), il rebondit vers la chauve-souris. Celle-ci capte l'écho grâce à ses oreilles, son cerveau va alors calculer la distance, la vitesse, la position et la forme de l'objet détecté [4].

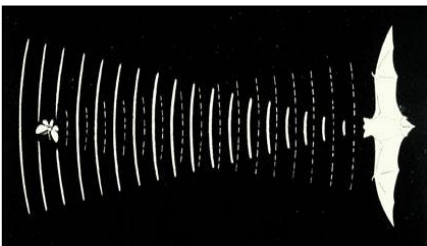


Figure 1. Echolocation chez les chauves-souris

Bien que chaque pulsation ne dure que quelques millièmes de seconde (jusqu'à environ 8 à 10 ms), elles ont des fréquences constantes qui sont habituellement dans la région 25kHz et 100 kHz pour la plus part des espèces des chauves-souris. Toutefois, certaines espèces peuvent émettre des fréquences plus élevées jusqu'à 150 KHz [7]. Chaque cri ultrasonique peut durer moyennement 5 à 20 ms, typiquement les microchiroptères émettent de 10 à 20 cris par seconde. En cas de chasse, le taux d'émission peut être accéléré jusqu'à environ 200 pulsations par seconde quand celles-ci volent à proximité de leurs proie. Ces cris sonores trop courts marquent la capacité étonnante du traitement puissant du signal des chauves-souris.

La pulsation émise pourrait être aussi forte que 110 dB, appartenant à la région des ultrasons. L'intensité varie également de la plus forte lors de la recherche de proie, et qui diminue en la poursuivant [5]

IV. L'OPTIMISATION PAR ALGORITHME DES CHAUVES-SOURIS

L'algorithme des chauves-souris est une méthode d'optimisation qui tente de modéliser le comportement d'écholocation des microchiroptères. Elle repose essentiellement sur le scénario suivant : Des chauves-souris volent aléatoirement en vue de trouver de la nourriture, celles-ci n'ont aucune connaissance sur l'endroit où se trouvent leurs proies, cependant elles peuvent calculer la distance qui sépare chacune d'elles de la cible au moyen de l'écholocation. Leur objectif commun est non seulement d'atteindre leurs proies mais aussi de trouver la meilleure stratégie de chasse. La stratégie la plus efficace consiste à suivre la chauve-souris la plus proche de la volée. Cette dernière est similaire à résoudre un problème d'optimisation.

Formellement, chaque chauve-souris ' i ' est considérée comme une solution dans l'espace de recherche, et possédant les propriétés suivantes :

- Une position dans l'espace de recherche : x_i
- Une vitesse : v_i
- Une fréquence : f_i
- Une intensité : A_i
- Un taux d'émission : r_i

L'algorithme des chauves-souris, est essentiellement composé des trois étapes suivantes, et qui seront répétées jusqu'à atteindre un certain nombre d'itérations :

1. Evaluer la fitness de chaque chauve-souris
2. Mettre à jour les meilleures solutions locales et globales.
3. Mettre à jour les positions, les vitesses et les fréquences de chacune des chauves-souris.

Les deux premières étapes sont assez simples. L'évaluation de la fitness de chacune des chauves-souris s'effectue à l'aide de

la fonction objective. Tandis que la mise à jour des meilleures solutions locales et globales s'effectue en comparant la fitness courante de chacune des chauves-souris avec la fitness de la meilleure solution qu'elle a rencontré jusqu'ici, puis choisir la meilleure d'entre elles. Quant à la recherche de la solution globale, il suffira de comparer toutes les meilleures solutions locales puis de choisir la meilleure.

La troisième étape est la plus cruciale, en effet, le mouvement des chauves-souris est responsable de l'efficacité de l'algorithme. Les règles définissant la nouvelle solution et mettant à jour la position et la vélocité de chacune des chauves-souris dans un espace de ' d ' dimensions sont les suivantes :

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta, \quad (3)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*)f_i, \quad (4)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t, \quad (5)$$

Tel que,

- f_i est la fréquence d'émission de la chauve-souris x_i , et qui appartient à la gamme $[f_{min}, f_{max}]$. Afin de simplifier l'implémentation, il a été supposé que $f \in [0, f_{max}]$.
- $\beta \in [0,1]$ est un vecteur aléatoire tiré à partir d'une distribution uniforme.
- r_i le taux d'émission de pulsations peut être de la gamme $[0, 1]$ ou 0 signifie qu'il n'a aucune pulsation, et 1 signifie le taux maximale d'émission de pulsations.
- x_* est la meilleure location (solution) courante globale, qui sera calculée par comparaison de toutes les solutions obtenues par chacune des n chauves-souris.
- Pour la recherche locale, une fois une solution est sélectionnée parmi les meilleures solutions courantes, une nouvelle solution pour chaque chauve-souris est générée localement en utilisant le parcours aléatoire :

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t, \quad (6)$$

d'où $\epsilon \in [-1,1]$ est un nombre aléatoire. Tandis que $A^t = < A_i^t >$ est la moyenne d'intensité de toutes les chauves-souris à l'instant t . En outre, l'intensité $A_i \in [A_0, A_{min}]$ et le taux d'émission r_i doivent être mis à jour à chaque itération de l'algorithme. Plus l'intensité diminue ce qui indique que la chauve-souris a trouvé sa proie, plus que le taux d'émission augmente et cela durant la poursuite de la proie. Par exemple en utilisant $A_0 = 1$ et $A_{min} = 0$, tel que $A_{min} = 0$ indique que a trouvé sa proie et a arrêté temporairement d'émettre des pulsations, en effet nous avons

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)], \quad (7)$$

Tel que α et γ sont des constantes. Pour chaque $0 < \alpha < 1$ et $\gamma > 0$, nous avons

$$A_i^t \rightarrow 0, \quad r_i^t \rightarrow r_i^0, \quad \text{quand } t \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Afin de simplifier l'implémentation, il est possible de supposer que $\alpha = \gamma$.

V. CLASSIFICATION PAR ALGORITHME DES CHAUVES-SOURIS

Dans le contexte d'une segmentation d'images, on va faire correspondre chacune des chauves-souris à un vecteur ' B ' de dimension " $d*k$ ". tel ' d ' est la dimension de l'espace de recherche qui est égale à trois en sorte qu'un pixel dispose de trois coordonnées, rouge, vert et bleu. Et ' k ' étant le nombre de groupes ou de régions présentes sur l'image. En effet, chaque chauve-souris est composée d'un représentant ' ui ' de chaque classe, appelé aussi centre.

Par conséquent, une volée de chauves-souris représente plusieurs segmentations possibles de l'image. Donc des solutions candidates, d'où la nécessité de les évaluer pour qu'enfin garder une seule qui a été jugée comme une meilleure selon une fonction objective prédéfinie. Cette dernière est décrite par "(11)", connue dans la littérature sous le nom, DB (The Davis-Bouldin Index), très employée en télédétection spécifiquement en traitement segmentation d'images satellitaires, dont il est notre domaine d'intérêt.

Afin d'aboutir à une meilleure segmentation, il est nécessaire de minimiser la fonction objective (DB). Une valeur minimale de l'indice correspond à une segmentation avec une distance minimale entre les pixels appartenant à la même région (inertie intra-classe) tout en maximisant la distance entre deux pixels de régions différentes (inertie interclasses). Premièrement, nous définissons respectivement la dispersion du j ème groupe et la distance entre le i ème et le j ème groupe par les équations suivantes :

$$S_i = \left[\frac{1}{N_i} \sum_{\vec{x} \in C_i} \|\vec{Z} - \vec{m}_i\|^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

$$d_{ij} = \|\vec{m}_i - \vec{m}_j\|_2 \quad (10)$$

Tel que, \vec{m}_i est le centre du i ème groupe, N_i étant le nombre de pixels appartenant au groupe ' i ' et ' C_i ' le centre du i ème groupe.

La valeur R_i est définie par :

$$R_i = \max_{j \in K, j \neq i} \left\{ \frac{S_i + S_j}{d_{ij}} \right\} \quad (11)$$

Finalement, nous définissons l'indice DB par :

$$DB(K) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R_i \quad (12)$$

Dans le cadre de ce projet, une version itérative de l'algorithme a été mise en œuvre. L'algorithme prend une image en entrée. Notons que la distance entre deux pixels est calculée en utilisant la distance euclidienne. Les étapes principales de l'algorithme peuvent se résumer ainsi :

1. Initialiser la population des chauves-souris aléatoirement
2. Pour ($t < \text{nombre maximale d'itérations}$)
 - Pour chacune des chauves-souris

- a. Générer des nouvelles solutions par l'ajustement des fréquences et la mise à jour des vitesses.
- b. Pour chaque pixel
 - calculer les distances entre le pixel et les centres des groupes
 - Assigner le pixel au groupe avec une distance minimale
- c. Si ($\text{rand} > r$) alors
- d. Mettre à jour solution locale
- e. Calculer la fitness et tester si la solution si augmente ou pas l'intensité
- f. Mettre à jour la solution globale

VI. RESULTATS ET EXPERIMENTATIONS

Un nouvel algorithme de classification d'image automatique a été appliqué sur deux types d'images, dit synthétiques et satellitaires. Des images de chaque type ont été sélectionnées pour tester l'approche proposée.

- **Images synthétiques** : la Figure.2 représente une image synthétique, obtenue d'une base de données composée de trente images, ces dernières contiennent des objets polyédriques, entre un et cinq objets sur chaque vue. Les objets et les régions figurant sur les images sont distinguables à l'œil nu, cela permet d'évaluer l'exactitude des résultats obtenus.

- **Images satellitaires** : la Figure.3 représente une image de la région d'Oran (l'Ouest de l'Algérie) acquise par le satellite LANDSAT5 TM (Thematic Mapper) datée du 15 mars 1993. Cette zone d'étude a été choisie pour notre maîtrise thématique de la région ainsi que son paysage varié pouvant présenter un intérêt pour l'évaluation de notre approche. Avant d'appliquer la nouvelle approche de classification proposée sur l'image satellitaire dont nous disposons, il a été nécessaire d'effectuer les prétraitements suivants :

1. Chargement des trois images correspondantes aux trois aux trois canaux ;
2. Rehaussement de contraste ;
3. Composition colorée en associant les filtres bleu, vert et rouge aux trois canaux.

Pour toutes les expérimentations, nous avons fixé les paramètres comme suit : $A_i = r_i = 0.25 \forall i = 1, n$ (ces valeurs ont été déterminés après plusieurs expérimentations, et qui garantissent une bonne convergence, selon la littérature [8]), et le nombre d'itérations à 30. D'un autre côté, nous avons varié le nombre des chauves-souris 'n', les fréquences minimale et maximale f_{min} et f_{max} et le nombre d'itérations, afin d'évaluer leur contribution à la qualité de la classification, la fitness (DB), et le temps d'exécution (TE). Les différents résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

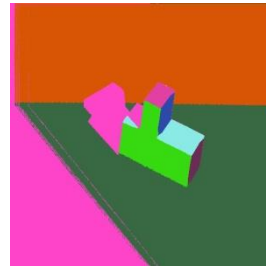


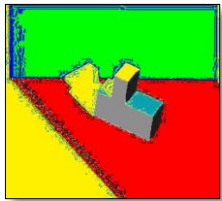
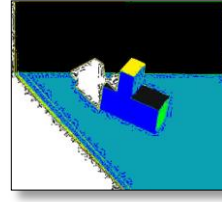
Figure 2. Image synthétique

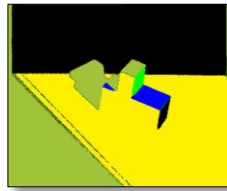
A partir des résultats obtenus nous avons déduit que plus on augmente le nombre de chauves-souris plus il apparaît des confusions entre les différentes classes et parfois même l'absence de certaines régions et plus le temps d'exécution accroît. En revanche la valeur de DB reste stable. Il est aussi important de noter que nous avons fait varier le nombre d'itérations et conclu qu'au bout de 30 itérations l'algorithme nous offre les meilleurs résultats.



Figure 3. Image satellitaire

TABLE I. IMAGE SYNTHETIQUE CLASSIFIEE PAR ALGORITHME DES CHAUVES-SOURIS

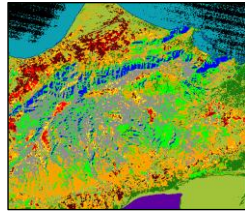
Tests	Résultats obtenus
$n = 10$	 <p>DB = 0.2015598269315736 TE = 620766 m.s</p>
$n = 20$	 <p>DB = 0.14589022712166563 TE = 303969 m.s</p>

$n = 30$ 

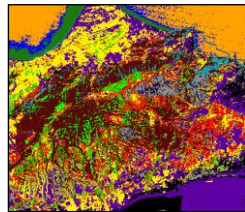
DB = 0.3501517705672222 TE = 1052922, m.s

TABLE II. IMAGE SATELLITAIRE CLASSIFIEE PAR ALGORITHME DES CHAUVES-SOURIS

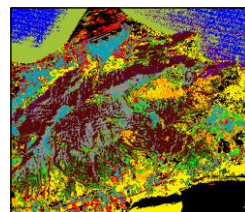
Tests	Résultats obtenus
-------	-------------------

 $n = 10$ 

DB = 0.216 TE = 707484 m.s

 $n = 20$ 

DB = 0.217 TE = 1676453 m.s

 $n = 30$ 

DB = 0.216 TE = 2685406 m.s

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article a proposé une nouvelle approche de classification non supervisée d'images satellitaires basée sur le comportement d'écholocation des chauves-souris. Ce dernier s'est montré performant. D'après les tests effectués, on a déduit que le choix des paramètres influe fortement sur la qualité de classification, tel que la taille de la volée, les fréquences minimale et maximale ainsi que le nombre d'itérations.

Une extension intéressante est d'utiliser plusieurs longueurs d'ondes ou des variations de fréquences au lieu de les fixer. De surcroît, le taux d'émission et l'intensité peuvent aussi être variés. Une autre extension est d'utiliser un délai entre la pulsation d'émission et l'écho rebondit en retour.

VIII. REFERENCES

- [1] I. Sebari et D. He, "Les approches de segmentation d'image par coopération régions-contours," *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 499-506, Avril 2007.
- [2] N. R. et Pal, S. K, "A review on image segmentation techniques," *Pattern Recognition*, vol. 26, n° 9, p. 1277-1294, 1993.
- [3] Omran. M, Salman. A, Engelbrecht. A.P, "Image classification using particle swarm optimization", *Conference on Simulated Evolution and Learning*, vol. 1, pp. 370-374, 2002.
- [4] Van Laere. P, "L'écholocation chez les chauves-souris", (10501154), Université Paris 13, 2007-2008.
- [5] Richardson. P, "Bats. Natural History Museum", London, 2008.
- [6] Richardson. P, "The secrete life of bats". <http://www.nhm.ac.uk>.
- [7] Grinnell. A. D, "Hearing in bats: An overview", A. N. Popper & R. R. Fay, eds, 'Hearing by bats', Springer-Verlag, 1995.
- [8] Xin-She. Y, "A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm", Department of engineering, University of Cambridge, 2010.
- [9] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references)

Vol en formation d'un groupe de Quadrotors basée sur la technique de commande coopérative $L - \phi$ et les saturations imbriquées.

B. Kellalib et M. Bouchoucha

Laboratoire de Contrôle et Commande EMP Bordj-El-Bahri, Alger, 16111, Algérie

E-mail : billel.kellalib@gmail.com, mouloud_bouchoucha@yahoo.fr

résumé— Dans ce papier, nous allons présenter la conception d'une commande coopérative pour la coordination et le suivi de trajectoire d'un système Multi-UAV : un groupe de Quadrotors. Le modèle dynamique de ce dernier est présenté en utilisant le formalisme de Newton-Euler. Notre approche pour la commande de la formation est basée sur une structure Leader-followers. Un contrôleur non linéaire basé sur des fonctions de saturations imbriquées est combiné avec une commande multi-agent pour obtenir une commande de vol en formation du système Multi-UAV. Les coordonnées du centre de gravité du Quadrotor (Leader) sont utilisées pour le suivi de trajectoire de la formation. Les résultats analytiques sont soutenus par des résultats de simulation.

Mot clés—modélisation du Quadrotor, saturations imbriquées, les techniques de commande coopérative Leader-followers, méthode $L-\phi$.

I. INTRODUCTION

Les systèmes multi-agents et la commande coopérative sont devenus de nos jours des thèmes de recherche de popularité croissante, particulièrement au sein de la communauté de robotique et de la commande [1], [2], [3]. Il y a plusieurs approches qui sont proposées dans la littérature pour le vol en formation d'un système Multi-UAV, à savoir principalement trois approches: leader-followers, structure virtuelle et l'approche comportementale.

Dans l'approche leader-followers, un agent de la formation est désigné comme le leader du groupe tel que les autres agents le suivent en gardant une formation donnée. Des applications de cette approche sur les UAV ont été présentées dans [4], [5] et [6]. Dans l'approche structure virtuelle, la formation entière est traitée comme un corps rigide simple. Le concept de la structure virtuelle a été introduit dans [7]. L'approche structure virtuelle est typiquement utilisée pour le contrôle de vol en formation des avions et la constellation des petits satellites [8]. Les approches comportementales dans [9] et [10] sont basées sur la décomposition de la commande globale sur des tâches ou des comportement (évitement des collisions, maintien de la formation, poursuite de cible, etc.).

Dans [11] et [12], les auteurs utilisent la théorie des graphes afin de représenter l'échange de l'information entre les éléments du groupe. Généralement, pour l'analyse de la communication entre les agents un graphe orienté ou non orienté est utilisé. Chaque nœud dans un graphe est considéré en tant qu'agent qui peut avoir l'échange de l'information avec tout ou quelques agents de la formation.

Dans ce papier, nous nous sommes intéressés par le problème du vol en formation d'un système Multi-UAV (Quadrotor), présenté dans la figure 1; pour la commande et la stabilisation de chaque Quadrotor seul, on utilise une commande non linéaire basée sur des saturations imbriquées inspirée des travaux de Guerrero [6] dans lesquels la commande coopérative de la formation est basée sur l'approche leader-follower avec une topologie cyclique d'échange d'information et un suivi de trajectoire en utilisant le centre de gravité de la formation. Cependant, les résultats obtenus confirment que la direction de la formation ne change pas avec le changement de direction du déplacement du leader.

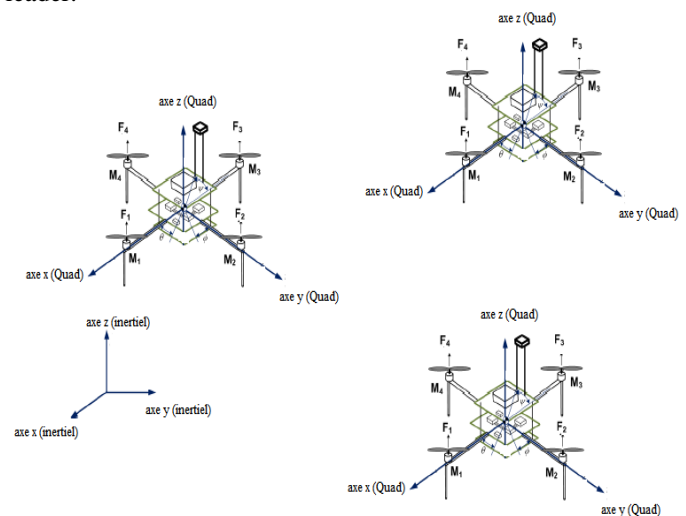


Fig.1. Multi-UAV vol en formation

Notre contribution est d'utiliser une technique de commande coopérative leader-followers qui est la méthode $L - \phi$. L'idée est de garder une distance L désirée entre le

leader (chef) et le follower (suiveur) de même pour l'angle relatif ϕ , et d'utiliser l'agent leader pour le suivi de trajectoire, contrairement à la méthode présentée dans [6], la direction de la formation change avec le changement de direction du déplacement du leader, ce qui est plus réaliste.

Le papier est organisé comme suit : La section II présente quelques résultats préliminaires sur la théorie des graphes. La section III présente le modèle dynamique du Quadrotor. Dans la section IV, une commande non linéaire est conçue pour le vol en formation d'un groupe de Quadrotors. Les résultats de simulation sont présentés dans la section V, en fin des conclusions et les travaux futurs sont présentés dans la section VI.

II. THEORIE DES GRAPHES

L'interaction entre les Quadrotors peut être modélisée par un groupe de systèmes dynamiques qui a une topologie d'échange d'information représentée par des graphes d'information. Un graphe G s'écrit comme une paire $G(N, E)$ qui se compose d'un ensemble de nœuds (agents) $N = \{n_i; n_i \in N, \forall i = 1, \dots, n\}$ ainsi que leurs interconnexions E . Chaque paire (n_1, n_2) s'appelle une arête. Un graphe non orienté se réalise quand les agents i et j peuvent obtenir l'information entre eux. Dans un digraphe, le $i^{\text{ème}}$ agent peut obtenir l'information du $j^{\text{ème}}$ agent mais pas nécessairement le contraire. La connectivité des graphes c'est la caractérisation la plus importante. Un graphe est dit connecté, si pour chaque paire (n_1, n_2) de nœuds distincts il y'a un chemin de n_1 à n_2 . Un graphe connecté permet la communication entre tous les agents par le réseau. Un graphe orienté est dit fortement connecté si quel que soit le couple de nœuds, ils peuvent être reliés par un chemin [6].

III. MODELE DYNAMIQUE DU QUADROTOR

Pour obtenir le modèle dynamique du Quadrotor, on assume qu'il vol au-dessus d'un repère lié à la terre. Commenant par la seconde loi de Newton et en utilisant la figure 1, les équations du mouvement peuvent être exprimées sous la forme [6]:

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{V}_E \quad (1)$$

$$\Sigma \vec{M} = I_b \vec{\omega}_b + \vec{\omega}_b \times I_b \vec{\omega}_b \quad (2)$$

Dans ces deux équations, \vec{V}_E est la vitesse du Quadrotor exprimé dans le repère inertiel qu'on note $[u, v, w]^T = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]^T$, $\vec{\omega}_b$ est la vitesse angulaire exprimée dans le repère lié au corps du Quadrotor qu'on note $[p, q, r]^T$, m est la masse du Quadrotor. I_b est la matrice d'inertie.

L'équation (1) donne:

$$m \vec{V}_E = F_G + F_f \quad (3)$$

Tel que F_f et F_G sont respectivement les forces générées par les moteurs et la force de gravité, $G = [0 \ 0 \ -g]^T$ est le vecteur de gravité. La force F_f générée par les moteurs du

Quadrotor décrite dans le repère fixe est donnée par l'équation 4:

$$F_f = R_{b \rightarrow E} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum_{i=1}^4 F_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi \\ S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi \\ C\theta C\phi \end{pmatrix} \sum_{i=1}^4 F_i \quad (4)$$

$R_{b \rightarrow E}$ est la matrice de passage du repère lié au corps du Quadrotor au repère fixe lié à la terre avec $C\alpha, S\alpha$ et $T\alpha$ notent le $\cos\alpha, \sin\alpha$ et $\tan\alpha$ respectivement.

$$\vec{\zeta} = J \vec{\omega}_b \quad (5)$$

L'équation (5) exprime les vitesses angulaires d'Euler $[\phi, \theta, \psi]^T$ en fonction de la vitesse angulaire du Quadrotor exprimé dans le repère lié au corps $[p, q, r]^T$. En se basant sur la séquence de rotation XYZ on aura :

$$\begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & S\phi T\theta & C\phi T\theta \\ 0 & C\phi & -S\phi \\ 0 & \frac{S\phi}{C\theta} & \frac{C\phi}{C\theta} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} \quad (6)$$

Ce qui donne le modèle dynamique suivant sachant que $\vec{p} = [x, y, z]^T$.

$$\vec{V}_E = \frac{1}{m} (F_G + F_f) \quad (7)$$

$$\vec{\omega}_b = I_b^{-1} [\Sigma \vec{M} - \vec{\omega}_b \times I_b \vec{\omega}_b] \quad (8)$$

$$\vec{\zeta} = J \vec{\omega}_b \quad (9)$$

$$\vec{p} = \vec{V}_E \quad (10)$$

Pour que la commande des Quadrotors consomme moins d'énergie, on a utilisé une commande basée sur des saturations imbriquées.

La commande basée sur les saturations imbriquées exige une présentation du modèle du Quadrotor sous forme des intégrateurs en cascade. Pour cela on dérivant l'équation (9), on trouve [6]:

$$\dot{\vec{\zeta}} = J \dot{\vec{\omega}}_b + J \vec{\omega}_b \quad (11)$$

Ce qui donne :

$$\dot{\vec{\zeta}} = J \dot{\vec{\omega}}_b + J I_b^{-1} [\Sigma \vec{M} - \vec{\omega}_b \times I_b \vec{\omega}_b] \quad (12)$$

En prenant:

$$\Sigma \vec{M} \triangleq \vec{\omega}_b \times I_b \vec{\omega}_b + I_b J^{-1} (\vec{\tau} - J \vec{\omega}_b) \quad (13)$$

Tel que $\vec{\tau} = [\tau_\phi \ \tau_\theta \ \tau_\psi]^T$. Alors (11) peut être écrite comme suit :

$$\begin{cases} \ddot{\phi} = \tau_\phi \\ \ddot{\theta} = \tau_\theta \\ \ddot{\psi} = \tau_\psi \end{cases} \quad (14)$$

A partir de l'équation (7), on aura :

$$\begin{cases} m\ddot{x} = (\cos\psi \sin\theta \cos\phi + \sin\psi \sin\phi) \sum_{i=1}^4 F_i \\ m\ddot{y} = (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi) \sum_{i=1}^4 F_i \\ m\ddot{z} = (\cos\theta \cos\phi) \sum_{i=1}^4 F_i - mg \end{cases} \quad (15)$$

IV. CONCEPTION DE LA COMMANDE DE LA FORMATION

A. La stabilisation d'un seul Quadrotor

Dans cette section, une commande non linéaire avec une stratégie de commande coopérative est développée. On va montrer que la commande proposé stabilise le Quadrotor dans le vol stationnaire. Afin de stabiliser la position, on propose

les entrées de commande suivantes :

$$\sum_{i=1}^4 F_i \triangleq \left(\frac{mg - a_1 \dot{z} - a_2(z - z^d)}{\cos\theta \cos\phi} \right) \quad (16)$$

$$\tilde{\tau}_\psi \triangleq -a_3 \dot{\psi} - a_4(\psi - \psi^d) \quad (17)$$

Tel que a_1, a_2, a_3 et a_4 sont des constantes positives, z^d est l'altitude désirée et ψ^d est le lacet désiré. En utilisant l'équation (16) dans le système d'équations (15), on aura :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \left(\cos\psi \tan\theta + \frac{\sin\psi}{\cos\theta} \tan\phi \right) (mg - a_1 \dot{z} - a_2(z - z^d)) \\ m\ddot{y} &= \left(\sin\psi \tan\theta - \frac{\cos\psi}{\cos\theta} \tan\phi \right) (mg - a_1 \dot{z} - a_2(z - z^d)) \\ m\ddot{z} &= -a_1 \dot{z} - a_2(z - z^d) \end{aligned} \quad (18)$$

Notons que pour t assez grand, les termes $(-a_1 \dot{z} - a_2(z - z^d))$ et ψ sont arbitrairement petits et on suppose que $|\theta| < \frac{\pi}{10}$ et $|\phi| < \frac{\pi}{10}$ et faisant la normalisation, on trouvera le modèle de la dynamique longitudinale comme suit:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} &= \theta \\ \ddot{\theta} &= \tilde{\tau}_\theta \end{aligned} \quad (19)$$

De même pour le modèle de la dynamique latérale :

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} &= -\phi \\ \ddot{\phi} &= \tilde{\tau}_\phi \end{aligned} \quad (20)$$

Ce qui présente quatre intégrateurs en cascade pour chaque modèle dynamique (longitudinale et latérale). Cette représentation nous permet d'utiliser la commande basée sur les saturations imbriquées (bornées) développée en [13].

Définition 1:

Étant donné deux constantes positives L et M avec $L \leq M$, la fonction de saturation σ est une fonction croissante définie par :

1. $\sigma(s) > 0$ pour tous $s \neq 0$.
2. $\sigma(s) = s$ pour $|s| \leq L$.
3. $|\sigma(s)| \leq M$ pour tous $s \in \mathbb{R}$.

Théorème 1 :

Il existe des fonctions linéaires $y_i : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ telles que, pour toutes constantes positives (M_i, L_i) avec $L_i \leq M_i$ et $M_i \leq \frac{1}{2}L_{i+1}$, et pour n'importe quelle fonctions $\sigma_i(\cdot)$: saturations linéaire pour (M_i, L_i) , la commande bornée :

$$u = -\sigma_n(\mu_n(x) + \sigma_{n-1}(\mu_{n-1}(x) + \dots + \sigma_1(\mu_1(x))) \dots) \quad (21)$$

Permet d'avoir la globale asymptotique stabilité du modèle dynamique (longitudinale et latérale)[13].

Considérant le changement de variable suivant :

$$\mu_1 = \mu_2 + \theta + 2\dot{x} + x \quad (22)$$

$$\mu_2 = \mu_3 + \theta + \dot{x} \quad (23)$$

$$\mu_3 = \mu_4 + \theta \quad (24)$$

$$\mu_4 = \dot{\theta} \quad (25)$$

La loi de commande appropriée est montrée dans (21). Considérant maintenant l'évolution de l'état μ_n , et la fonction

de Lyapunov :

$$V_n = \frac{1}{2} \mu_n^2 \quad (26)$$

Sa dérivée est donnée par :

$$\dot{V}_n = -\mu_n(\sigma_n(\mu_n + \sigma_{n-1}(\mu_{n-1} + \dots + \sigma_1(\mu_1))) \dots) \quad (27)$$

De la définition 1 (la condition 1 appliquée sur σ_n et la condition 3 appliquée sur σ_{n-1}) et du fait que $M_{n-1} < \frac{1}{2}L_n$, on voit que $\dot{V}_n < 0$ pour tout $\mu_n \notin \mathbb{Q}_n = \{\mu_n : |\mu_n| \leq \frac{1}{2}L_n\}$. En conséquence, μ_n entre dans l'ensemble \mathbb{Q}_n dans un temps fini et il reste dedans. Alors l'argument de σ_n est borné :

$$|\mu_n + \sigma_{n-1}(\mu_{n-1} + \dots + \sigma_1(\mu_1))| \leq \frac{1}{2}L_n + M_{n-1} \leq L_n \quad (28)$$

Par conséquent, on a :

$$\dot{\mu}_{n-1} = -\sigma_{n-1}(\mu_{n-1} + \dots + \sigma_1(\mu_1)) \dots \quad (29)$$

En appliquant la même procédure pour μ_{n-1} , On voit que μ_{n-1} entre dans l'ensemble \mathbb{Q}_{n-1} dans un temps fini et il reste dedans. En continuant cette procédure, on trouvera qu'après un temps fini, l'argument de toutes les fonctions σ_i (dans notre cas $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ et σ_4) entre dans sa partie linéaire. Ce qui donne le système suivant :

$$\begin{aligned} \dot{\mu}_1 &= -\mu_1 \\ \dot{\mu}_2 &= -\mu_1 - \mu_2 \\ \dot{\mu}_3 &= -\mu_1 - \mu_2 - \mu_3 \\ \dot{\mu}_4 &= -\mu_1 - \mu_2 - \mu_3 - \mu_4 \end{aligned}$$

On remarque qu'après un temps fini les dynamiques sont asymptotiquement stables. Alors, de (25) on aura $\dot{\theta} \rightarrow 0$, de (24) on aura $\theta \rightarrow 0$, de (23) on aura $\dot{x} \rightarrow 0$ et de (22) on aura $x \rightarrow 0$.

On utilisera la même procédure pour la dynamique latérale. Ce qui donnera les lois de commande longitudinale et latérale suivantes :

$$\tilde{\tau}_\theta = -\sigma_4(\dot{\theta} + \sigma_3(\dot{\theta} + \theta + \sigma_2(\dot{\theta} + 2\theta + \dot{x} + \sigma_1(\dot{\theta} + 3\theta + 3\dot{x} + x)))) \quad (30)$$

$$\tilde{\tau}_\phi = -\sigma_4(\dot{\phi} + \sigma_3(\dot{\phi} + \phi + \sigma_2(\dot{\phi} + 2\phi - \dot{y} + \sigma_1(\dot{\phi} + 3\phi - 3\dot{y} - y)))) \quad (31)$$

B. La commande de la formation

Maintenant, on considère le cas où on a un groupe de Quadrotors avec une topologie d'échange d'information comme présenté dans la figure 2.

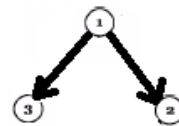


Fig.2. La topologie d'échange d'information

Alors, le modèle cinématique longitudinal du système Multi-UAV est présenté comme suit :

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -\mathcal{L}x + bu \\ y &= c^T x\end{aligned}\quad (32)$$

\mathcal{L} est la matrice Laplacienne du graphe d'échange d'information ayant les propriétés suivantes:

1. \mathcal{L} a une seule valeur propre à 0, $\lambda_1(\mathcal{L}) = 0$ avec le vecteur propre $w_1^T = [1 \ 1 \dots 1]$.
2. le reste des valeurs propres sont toutes positives, alors $\lambda_i(\mathcal{L}) > 0$ et $\mathcal{L} w_i = \lambda_i w_i$.

On va assumer que dans la commande coopérative, les gains multipliés par les signaux transmis entre les Quadrotors sont égales à 1. Pour la $i^{ème}$ ligne de \mathcal{L} , l'entrée $l_{ij} = -1$ pour $i \neq j$ correspond aux gains multipliant les signaux des autres Quadrotors qui arrivent au Quadrotor i . Pour la $i^{ème}$ colonne de \mathcal{L} , les entrées $l_{ji} = -1$ pour $i \neq j$ correspond aux gains multipliant les signaux qui sortent du Quadrotor i vers les autres Quadrotors.

3. w_1 est également la valeur propre gauche de \mathcal{L} correspondante à la valeur propre 0, c.à.d. $w_1^T \mathcal{L} = 0$ [6].

De la dynamique (32), on peut écrire :

$$\dot{x}_i = \bar{u}_i \quad (33)$$

$$\bar{u}_i = -\sum_{j \in \mathcal{N}_i} (x_i - x_j) + u_i \quad (34)$$

Où \mathcal{N}_i est l'ensemble des Quadrotors qui transmettent leurs informations vers le Quadrotor i .

En se basant sur la propriété que la commande basée sur les saturations imbriquées permet de tendre tout les états du système (suivant l'axe x et y) vers zéro, on propose le changement de variable suivant :

$$\begin{aligned}x &\triangleq \tilde{x}_i - \tilde{x}_i^d \\ y &\triangleq \tilde{y}_i - \tilde{y}_i^d\end{aligned}\quad (35)$$

Telle que \tilde{x}_i, \tilde{y}_i sont les coordonnées du Quadrotor i , et $\tilde{x}_i^d, \tilde{y}_i^d$ sont les coordonnées désirées. Alors la commande longitudinale et latérale du $i^{ème}$ Quadrotor dans la formation que ce soit le leader ou les followers s'écrit comme suit :

$$\tilde{\tau}_{\theta,i} = -\sigma_4(\dot{\theta}_i + \sigma_3(\dot{\theta}_i + \theta_i + \sigma_2(\dot{\theta}_i + 2\theta_i + \dot{x}_i + \sigma_1(\dot{\theta}_i + 3\theta_i + 3\dot{x}_i + \tilde{x}_i - \tilde{x}_i^d)))) \quad (36)$$

$$\tilde{\tau}_{\phi,i} = -\sigma_4(\dot{\phi}_i + \sigma_3(\dot{\phi}_i + \phi_i + \sigma_2(\dot{\phi}_i + 2\phi_i - \dot{y}_i + \sigma_1(\dot{\phi}_i + 3\phi_i - 3\dot{y}_i - (\tilde{y}_i - \tilde{y}_i^d)))))) \quad (37)$$

Ce qu'il fait qu'après un temps t on aura: $\tilde{x}_i \rightarrow \tilde{x}_i^d$ et $\tilde{y}_i \rightarrow \tilde{y}_i^d$ pour l'ensemble des Quadrotors.

C. La commande de la formation par l'approche L- ϕ

La formation se compose d'un seul Quadrotor (Leader) qui va diriger le groupe et suivre une trajectoire désirée et un ou plusieurs Quadrotors suiveurs (followers) qui le suivent.

Comme décrit dans la première section, l'idée principale de la méthode L- ϕ pour garder une formation donnée est de:

1. maintenir une distance désirée (D_d) entre le suiveur et le leader.
2. maintenir un angle relatif désiré (φ_d) entre le suiveur et le leader.

Dans notre cas, l'angle relatif est l'angle entre la direction de déplacement du leader (φ_L) et la direction de la droite joignant le Leader au suiveur (φ_{Dr}). Voir la figure 3.

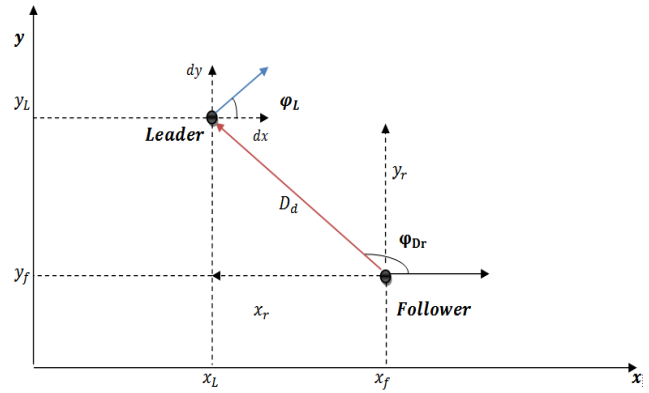


Fig.3.Le positionnement du Quadrotor Leader et le follower

En utilisant la figure 3, la position longitudinale et latérale du Quadrotor follower est donnée comme suit :

$$\begin{aligned}x_f &= x_L - x_r \\ y_f &= y_L - y_r\end{aligned}\quad (38)$$

Telle que (x_L, y_L) les coordonnées du leader, (x_f, y_f) les coordonnées du follower et x_r, y_r la position relative longitudinale et latérale du leader par rapport au follower respectivement. En plus, on a:

$$\begin{aligned}D_d^2 &= y_r^2 + x_r^2 \\ \varphi_d &= \varphi_{Dr} - \varphi_L\end{aligned}\quad (40)$$

Telle que D_d la distance désirée entre le Leader et le follower, Alors :

$$\varphi_d = \text{Arctg}\left(\frac{y_r}{x_r}\right) - \text{Arctg}\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (41)$$

A la fin, on trouvera la position désirée du Quadrotor follower comme suit:

$$\begin{aligned}x_f^d &= x_L - \left(\text{signe}(\cos(\varphi_{Dr})) \cdot \sqrt{\frac{D_d^2}{1+R^2}} \right) \\ y_f^d &= y_L - \left(\text{signe}(\sin(\varphi_{Dr})) \cdot \sqrt{D_d^2 - \left(\frac{D_d^2}{1+R^2}\right)} \right)\end{aligned}\quad (42)$$

Telle que : $R = \text{tg}\left(\varphi_d + \text{Arctg}\left(\frac{dy}{dx}\right)\right)$

V. RESULTATS DE SIMULATION

Pour illustrer la méthodologie proposée, cette section présente les résultats de simulation concernant la commande coopérative d'une formation de Quadrotors. On va considérer trois Quadrotors qui se déplacent dans l'espace.

Au début, les trois Quadrotors de la formation ont des

positions initiales arbitraires dans l'espace (leader (3, 0, 0)m, follower1(4, 0, 0)m, follower2(2, 0, 0)m), vitesse initiale du leader (-0.3, 0.2, 0.01) (m/s), follower1 (-0.2, 0.05, 0.04)(m/s) et Follower2 (-0.1, 0.1, 0.02)(m/s). Notre but est que la formation atteigne sa configuration voulue (triangle) telle que l'angle relatif entre le leader et le follower1 est ($\pi/3$) et entre le leader et le follower2 est ($-\pi/3$) avec des distances voulues des Followers par rapport au Leader (follower1 :3m, follower2 :4m). La trajectoire de référence de la formation est une ligne droite de pente égale à 2 et d'altitude 1m (voir fig.9.). Les résultats de simulation sont présentés comme suit :

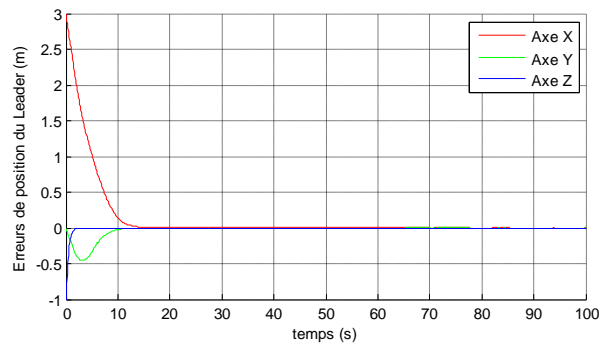


Fig.4. Erreurs de position du leader

On remarque dans la figure 4 que le leader converge vers la trajectoire désirée dans un temps acceptable de 10 s telle que l'erreur statique est nulle.

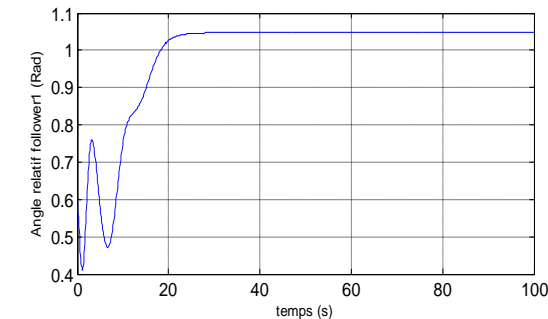


Fig.5. Angle relatif follower1

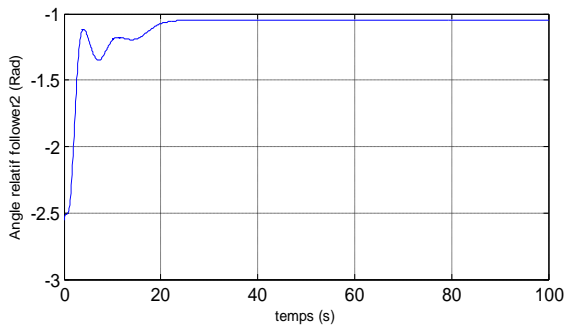


Fig.6. Angle relatif follower2

La figure 5 montre des bons résultats de la convergence de l'angle relatif, telle que l'angle relatif entre le leader et le follower1 converge vers la valeur désirée qui est $\pi/3$ (Rad) après 20 s. de même pour l'angle relatif entre le leader et le

follower2 qui converge vers $-\pi/3$ (Rad) (figure 6).

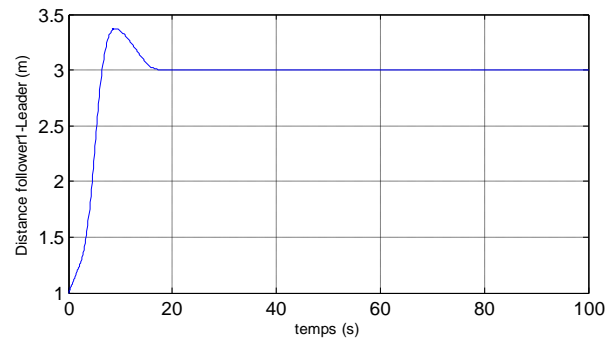


Fig.7.Distance follower1-leader

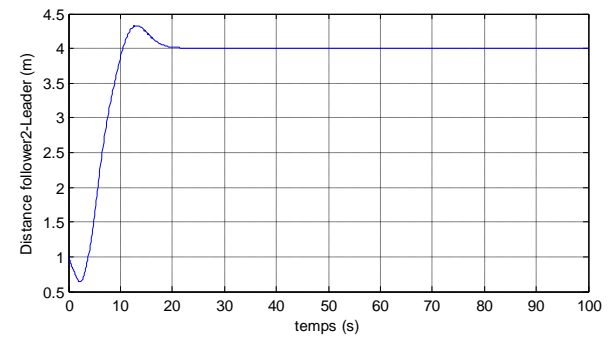


Fig.8.Distance follower2-leader

Les figures 7 et 8 montrent que la distance entre le leader et les followers converge vers la valeur désirée dans un temps acceptable de 20 s (follower1: 3m, follower2: 4m) avec un dépassement de 0.3m au maximum et erreur statique nulle. Le déplacement du groupe de Quadrotors dans l'espace est présenté dans la figure 9.

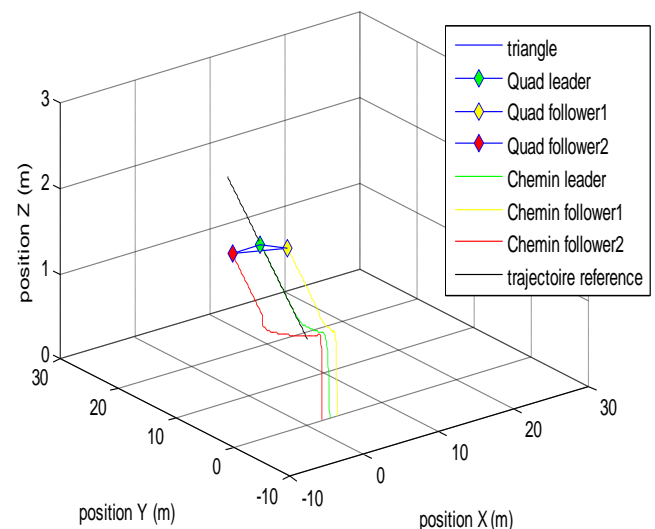


Fig.9.déplacement du groupe dans l'espace

VI. CONCLUSIONS ET TRAVAIL FUTURE

Dans ce travail, on a présenté un modèle non linéaire du Quadrotor. Une commande non linéaire basée sur les saturations imbriquées et une commande coopérative leader-followers (méthode $L-\phi$) pour la commande du vol en

formation ont été développées. Le suivi de trajectoire est achevé en utilisant la position du leader.

Des simulations ont été faites afin de montrer les performances de la commande développée, commençant par le temps pour que le groupe atteigne la formation et qui est bon, de même pour l'erreur statique de la distance entre le leader et les followers et l'erreur statique de l'angle relatif entre le leader et les followers.

Les travaux futurs prévus est l'utilisation d'une autre approche de commande coopérative comme les approches comportementales telles que la méthode NSB et ceci afin de pouvoir faire une comparaison de performances entre ces deux approches (méthode $L - \phi$ et méthode NSB).

REFERENCES

- [1] R. Olfati-Saber, *et al.*, "Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems," 2007, pp. 215-233.
- [2] R. Murray, "Recent Research in Cooperative Control of Multivehicle Systems," *ASME J.Dyn.Syst. Meas. Contr.*, vol. 129, pp. 571-583, 2007.
- [3] F. Bullo, *et al.*, "Distributed Control of Robotic Networks," *Applied Mathematics Series. Princeton University Press*, 2009.
- [4] P. J. Seiler, "Coordinated control of unmanned aerial vehicles," Thèse de doctorat, University of California, Berkeley, 2001.
- [5] B. Vanek, *et al.*, "Practical Approach to Realtime Trajectory Tracking of UAV Formations," 2005.
- [6] J. A. Guerrero and R. Lozano, "Flight Formation of Multiple Mini Rotorcraft based on Nested Saturations," Taipie, Taiwan, octobre 2010.
- [7] K. Tan and M. Lewis, "High Precision Formation Control of Mobile Robots Using Virtual Structures," *Autonomous Robots 4*, vol. 4, pp. 387-403, 1997.
- [8] W. Ren and R. Beard, "Decentralized Scheme for Spacecraft Formation Flying via the Virtual Structure Approach," *AIAA J. Guid. Contr. Dynam.* 27, vol. 1, pp. 73-82, 2004.
- [9] F. Arrichiello, *et al.*, "Formation Control of Marine Vessels using the Null-Space-Based Behavioral Control", LNCIS 336 Group Coordination and Cooperative Control, Springer-Verlag, Germany, 2006.
- [10] T. Balch and R. C. Arkin, "Behavior-based Formation Control for multirobot teams," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 14, p. 6, 1998.
- [11] R. W. Beard, *et al.*, "A Coordination Architecture for Spacecraft Formation Control," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 9, p. 6, 2001.
- [12] H. G. Tanner, *et al.*, "Stable Flocking of Mobile Agents, Part I: Fixed Topology," *Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, 2003.
- [13] A. R. Teel, "Global stabilization and restricted tracking for multiple integrators with bounded controls," *Systems and Control Letters*, pp. 165-171, 1992.

Classification floue par considération du contexte Spatial. Application aux images IRM du cerveau.

N.NASRI, K.MOKRANI

Laboratoire de technologie industrielle et de l'information (LTII), Université A.MIRA de Bejaia.

bnasri_b@yahoo.fr, mokrani_k@yahoo.fr

Abstract

Image segmentation is one of the most important research topics, in the last years. It is an important step in image analysis, especially in medical image understanding. In this work, we are interested by FCM (fuzzy C-means) algorithm which has been widely used in automated image segmentation. The FCM algorithm is sensitive to noise and to intensity inhomogeneities, since it does not incorporate spatial information. To overcome this problem, PDI (Population Diameter Independent), RFCM (Robust FCM) and FCM_S (Spatial FCM) can be used. Test on synthetic and IRM images show that these algorithms succeed to minimize the effect of noise and intensity inhomogeneities.

I - Introduction :

L'algorithme FCM [1] est largement utilisé en traitement d'images, en particulier, médicales. Sa complexité réduite, son implémentation facile, notamment pour les données de taille importante, mais aussi son aspect flou (l'intégration du degré d'appartenance), sont les points forts qui lui ont attiré plus d'attention. Néanmoins cet algorithme ne prend pas en compte la disposition spatiale des pixels et ne considère que le vecteur de caractéristiques utilisé. Négligeant ainsi les propriétés du voisinage du pixel considéré, ce qui induit à une sensibilité au bruit et aux inhomogénéités d'intensité. Plusieurs modifications sont à apporter à FCM afin d'améliorer la qualité de la classification. Une des solutions proposée est de modifier la fonction objective en multipliant par un facteur comme le propose l'algorithme PDI [2] (Population Diameter Independent); une seconde solution est d'incorporer les informations locales de l'image initiale dans l'algorithme de segmentation. C'est l'objet de l'algorithme RFCM (Robust FCM) [3] et l'algorithme FCM_S (FCM with Spatial constraints) [4].

II - Classification floue par FCM : [1][5]

L'aspect graduel des niveaux de gris fait qu'un pixel n'appartient pas à une classe unique, la séparation entre classes n'est pas nette. La classification floue modélise, justement, ce problème par l'introduction des degrés d'appartenance sous l'hypothèse que chaque pixel appartient à chacune des classes avec un coefficient d'appartenance U .

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|y_j - v_i\|}{\|y_j - v_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (\text{II-1})$$

Avec m l'indice de flou généralement égal à 2, C est le nombre de classes, y_j est le pixel d'indice j appartenant à l'ensemble Ω qui représente l'image considérée. v_i est le $i^{\text{ème}}$ centre de classe.

En effet FCM n'est qu'une généralisation des K-means [8]. Cet algorithme non supervisé est devenu très populaire.

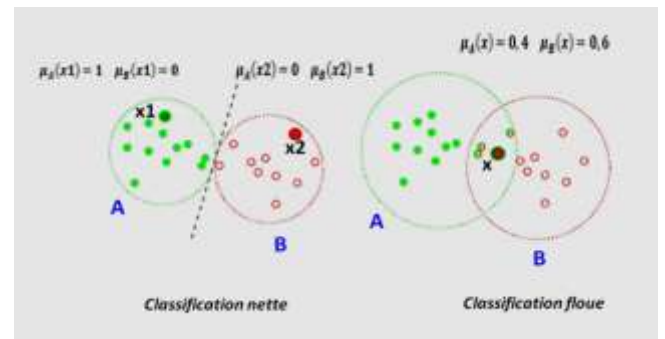


Figure II-1 : Classification nette et classification floue.

L'algorithme tend à minimiser la fonction coût suivante :

$$J_{FCM} = \sum_{j \in \Omega} \sum_{k=1}^C u_{jk}^m \|y_j - v_k\|^2 \quad (\text{II-2})$$

Avec m l'indice de flou généralement égal à 2, C est le nombre de classes, y_j est le pixel d'indice j appartenant à l'ensemble Ω qui représente l'image considérée.

Ici, la fonction objective J_{FCM} est minimisée lorsque les degrés d'appartenance élevés sont obtenus dans les zones proches des centres de classes.

II.1 - Influence du bruit et de l'inhomogénéité :[1]

En imagerie numérique, plusieurs imperfections peuvent apparaître : le bruit qui provient principalement lors de l'étape d'acquisition, les inhomogénéités d'intensité (variation d'intensité au sein d'une même région) liées à la lumière ou aux

reflets et les artefacts de mouvements (apparition d'images fantômes).

Le problème que l'on retrouve souvent en imagerie IRM est les inhomogénéités d'intensité (variation d'intensité au sein d'une même région) liées à la lumière ou aux reflets, qui sont considérées comme des bruits locaux.

Nous avons utilisé une image synthétique de dimension 128x128, qui a deux niveaux de gris 0,7 et 0,3 respectivement, avec un bruit gaussien additif localisé au centre. Ceci afin de simuler ces inhomogénéités.

On fait varier le niveau du bruit de 1%, 4%, 9% et 25% et on observe le résultat de la classification.

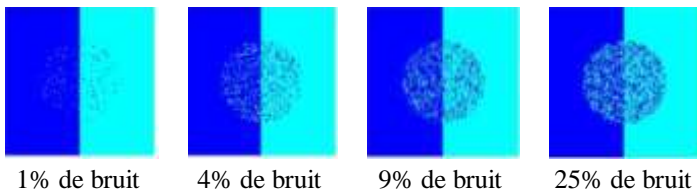


Figure II-3 : Résultat de la classification de l'image synthétique par FCM.

II.2 - Taux de classification [6]:

Les critères d'évaluation utilisés dans ce qui suit sont le MCR (taux de classification) et le SA [7] (Segmentation Accuracy) :

- Le MCR est parmi les critères les plus utilisés. Il est défini comme suit :

$$MCR = \frac{\text{Nombre de pixels mal classés}}{\text{Nombre total des pixels}} \times 100 \quad (\text{II-3})$$

- Le SA traduit le pourcentage des pixels appartenant à une classe (LCR par exemple) classés correctement à cette classe (LCR). Il est défini de la même manière que le MCR :

$$SA = \frac{\text{Nombre de pixels correctement classés à la classe } i}{\text{Nombre total de pixels de la classe } i} \times 100$$

Pour l'image synthétique précédente, ce tableau montre le MCR calculé à différents niveaux de bruit :

Bruit (%)	1	4	9	25
Nombre de pixels non classés	132	636	1030	1370
MCR (%)	0,80	3,88	6,28	8,36

Tableau II-1 : MCR obtenu pour la classification de l'image synthétique par FCM.

Les résultats montrent que FCM est sensible au bruit et aux inhomogénéités d'intensité. D'après le tableau, le nombre de

pixels mal classés est de 132 pour une image avec 1% de bruit, tandis qu'il est de 1370 pixels pour une image avec 25% de bruit. Ceci représente un MCR relativement important de 8,36%.

III - Classification par PDI [2] :

L'algorithme PDI a pour idée de normaliser FCM, en divisant par un facteur ρ . Ceci permet de ne pas favoriser une classe à une autre, car en présence d'un fort bruit, les classes les moins « peuplées » (qui ont un nombre de pixels inférieur) sont mal retrouvées, notamment en présence d'inhomogénéités d'intensité. Ce qui induit à un mauvais résultat.

L'algorithme PDI a pour fonction objective [2] :

$$J_{PDI} = \sum_{k=1}^C \frac{1}{\rho_k^r} \sum_{j=1}^N u_{jk}^m \|y_j - v_k\|^2 \quad (\text{III-1})$$

Avec m l'indice de flou généralement égal à 2, C est le nombre de classes, y_j est le pixel d'indice j appartenant à l'ensemble Ω qui représente l'image considérée. N est le cardinal de Ω . U_{jk} est la matrice de degrés d'appartenance dont les éléments sont considérés positifs, avec la contrainte :

$$\sum_{k=1}^c u_{jk} = 1 \quad (\text{III-2})$$

ρ_k est le terme qui normalise la fonction objective sous la contrainte :

$$\sum_{k=1}^c \rho_k = 1 \quad (\text{III-3})$$

L'influence du ρ_k varie en fonction de r ($r > 0$). Généralement, r est pris égal à 1.5.

$$\rho_k = \frac{\left[\sum_{j=1}^N u_{jk}^m \cdot d_{ik}^2 \right]^{1/r+1}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^N u_{jk}^m \cdot d_{ik}^2 \right]^{1/r+1}} \quad (\text{III-4})$$

La fonction d'appartenance est modifiée, elle est définie par [2]:

$$u_{jk} = \frac{\left(\rho_k^r / d_{ik}^2 \right)^{1/m-1}}{\sum_{k=1}^c \left(\rho_k^r / d_{ik}^2 \right)^{1/m-1}} \quad (\text{III-5})$$

III.1 - Influence du bruit et de l'inhomogénéité :

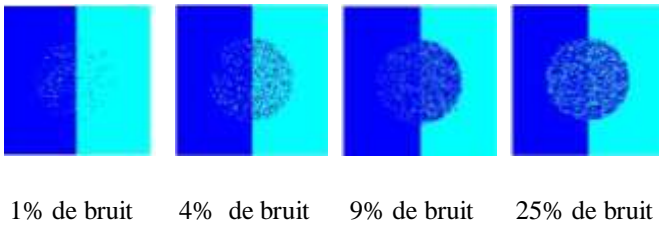


Figure III-1 : Résultat de la classification de l'image synthétique par PDI.

Le calcul du MCR a donné le tableau suivant :

Bruit (%)	1	4	9	25
PDI	0,48	2,01	2,25	5,98
FCM	0,80	3,88	6,28	8,36

Tableau III-1 : MCR obtenu pour la classification de l'image synthétique par PDI.

Il est clair que ces résultats sont meilleurs en comparant avec FCM. Le MCR est de 5,98 pour l'image corrompue avec 25% du bruit alors qu'il est de 8,36% pour le FCM. Mais le problème est la forte dépendance de l'algorithme PDI de l'initialisation.

IV - Classification par RFCM [3] :

Cet algorithme exploite l'appartenance des pixels voisins à la classe actuelle. Du fait que la transition d'une région à une autre est graduelle.

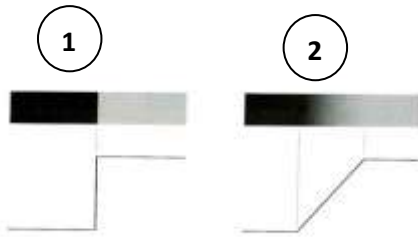


Figure IV-1 : 1- transition directe 2- transition graduelle.

La fonction objective est donnée par :

$$J_{RFCM} = \sum_{j \in \Omega} \sum_{k=1}^c u_{jk}^m \|y_j - v_k\|^2 + \frac{\beta}{2} \sum_{j \in \Omega} \sum_{k=1}^c u_{jk}^m \cdot \sum_{l \in N_j} \sum_{q \in M_k \dots q \neq k} u_{lq}^m$$

Avec m est l'indice de flou généralement égale à 2, C est nombre de classes, y_j est le pixel d'indice j appartenant à l'ensemble Ω qui représente l'image considérée. M_k est l'ensemble des centres de classes. β est un paramètre qui contrôle l'effet du voisinage sur un pixel donné. U_{jk} est matrice de degrés d'appartenance dont les éléments sont considérés positifs, avec la contrainte :

$$\sum_{k=1}^c u_{jk} = 1 \quad (IV-2)$$

La fonction d'appartenance est définie comme [3] :

$$u_{jk} = \frac{(\|y_j - v_k\|^2 + \beta \sum_{l \in N_j} \sum_{q \in M_k} u_{lq}^m)^{-1/(m-1)}}{\sum_{i=1}^c (\|y_j - v_i\|^2 + \beta \sum_{l \in N_j} \sum_{q \in M_i} u_{lq}^m)^{-1/(m-1)}} \quad (IV-3)$$

IV.1 - Choix du paramètre β :

Zung et Pham [3] ont étudié l'influence du paramètre β , ils ont remarqué qu'un bon choix de ce dernier est d'une grande importance, pour retrouver une solution optimale.

Quand on pose $\beta=0$, on obtient exactement l'algorithme FCM. Quand $\beta>0$, la fonction d'appartenance est dépendante des pixels voisins.

Il faut noter qu'il est difficile de retrouver le β adéquat d'une image qu'après avoir fait plusieurs tests. Ceci est dû au fait que la valeur optimale de ce paramètre varie d'une image à une autre.

IV.2 - Influence du bruit et de l'inhomogénéité :

On a opté pour une initialisation par histogramme. En variant le niveau du bruit, on observe les résultats suivants :

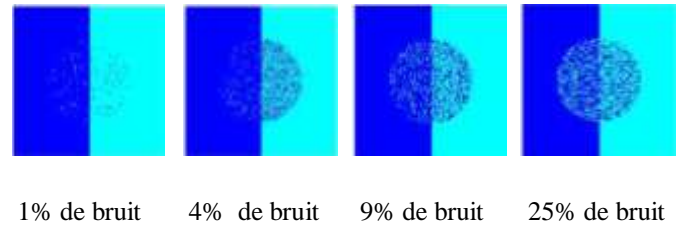


Figure IV-2 : Résultat de la classification de l'image synthétique par RFCM.

Le tableau suivant donne le MCR correspondant à chaque image.

Bruit (%)	1	4	9	25
PDI	0,48	2,01	2,25	5,98
RFCM	0,69	1,31	4,25	6,20
FCM	0,80	3,88	6,28	8,36

Tableau IV-1 : MCR obtenu pour la classification de l'image synthétique par RFCM.

Cet algorithme donne des résultats nettement meilleurs que FCM. Pour 9% du bruit, par exemple, on a un MCR de 4,25% au lieu de 6,28% pour FCM.

Bien que RFCM est plus robuste au bruit, mais il présente un inconvénient majeur : le choix du paramètre β .

La sensibilité à l'initialisation, est moins importante, car on peut toujours compenser par le réglage de β . Un autre problème paraît lorsque l'image est fortement inhomogène. Un MCR de 6,20% est loin d'être bon pour une image à deux niveaux de gris.

V – Classification par FCM_S [4] :

La fonction objective est donnée par [4]:

$$J_{FCM_S} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^c u_{jk}^m \cdot \|y_j - v_k\|^2 + \alpha \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^c u_{jk}^m \cdot \|\bar{y}_j - v_k\|^2$$

La fonction d'appartenance est donnée par :

$$u_{jk} = \frac{(\|y_j - v_k\|^{2+\alpha} \|\bar{y}_j - v_k\|^\gamma)^{\frac{-1}{m-1}}}{\sum_{k=1}^c (\|y_j - v_k\|^{2+\alpha} \|\bar{y}_j - v_k\|^\gamma)^{\frac{-1}{m-1}}} \quad (V-2)$$

Et les centres de classes sont donnés par :

$$v_k = \frac{\sum_{j=1}^N u_{jk}^m (y_j + \alpha \bar{y}_j)}{(1 + \alpha) \cdot \sum_{j=1}^N u_{jk}^m} \quad (V-3)$$

V.1 – Fonctionnement du FCM_S

On considère la portion d'image suivante :

123	124	120	120	119
130	120	120	10	117
127	120	P_i	119	120
128	120	120	122	122
120	121	110	119	120

Figure V-1 : Voisinage d'un pixel.

Le pixel **P_i** actuel n'est affecté à une classe donnée que si la moyenne (respectivement la médiane) des intensités des voisins est très proche de l'intensité du centre de cette classe.

Le calcul de la **moyenne** \bar{y} des voisins représentés par la fenêtre **3x3** donne la première variante de l'algorithme Spatial FCM appelé FCM_S1 [4] et le calcul de la médiane des voisins \tilde{y} donne la seconde variante FCM_S2 [4]. Analogie à l'application du FCM avec un vecteur d'attributs {niveau de gris, moyenne} (ou {niveau de gris, médiane}).

V.2 - Influence des inhomogénéités sur FCM_S:

Voici les résultats obtenus pour l'image synthétique par la première variante FCM_S:

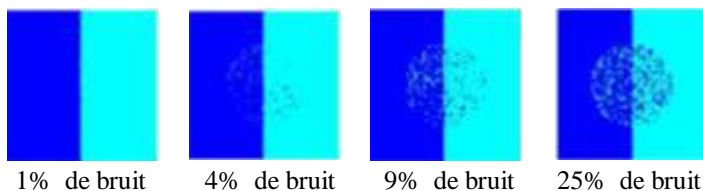


Figure V-2 : Résultat de la classification de l'image synthétique par FCM_S1.

L'inconvénient majeure pour l'algorithme FCM_S et ses variantes est de trouver une valeur optimale du paramètre α . La variation de ce paramètre affecte énormément la qualité de la segmentation.

D'après les résultats, cet algorithme n'est pas seulement plus robuste au bruit, mais aussi traite mieux les inhomogénéités d'intensité. Pour l'image à 1% de bruit, la classification est presque parfaite, elle est très bonne aussi pour 4% du bruit. Le calcul du MCR illustre mieux ces résultats:

Bruit (%)	1	4	9	25
FCM_S2	0.042	0.32	1.07	2.96
FCM_S1	0.05	0.45	1.58	3.90
RFCM	0,69	1,31	4.25	6,20
PDI	0,48	2,01	2,25	5,98
FCM	0,80	3,88	6,28	8,36

Tableau V-1 : MCR obtenu pour la classification de l'image synthétique par FCM_S.

On remarque que l'intégration des deux propriétés (moyenne et médiane) a amélioré d'avantage la qualité de la classification et donne nettement meilleurs aux algorithmes FCM et RFCM.

VI - Application à des images IRM :

L'objectif de la segmentation des images IRM est de retrouver les trois régions qui représentent les tissus principaux du cerveau : la substance blanche (**MB**), le cortex cérébral ou substance grise (**MG**) et le liquide Céphalo-rachidien (**LCR**).

VI.1 – Base de données Braiweb

Nous avons utilisé, dans ce travail, des images IRM, issues de la base de données **Brainweb**¹, une base de données mise en ligne par le centre d'imagerie cérébrale McConnell de l'institut neurologique de Montréal à l'université McGill.

Les images utilisées sont de pondération **T1**, de dimension (181x217x181), et comme nous travaillons en 2D, nous avons utilisé la coupe transversale n°79 (slice79).

Le niveau de bruit est de 5% et les niveaux d'inhomogénéités sont de 20%, 40% et 60%.

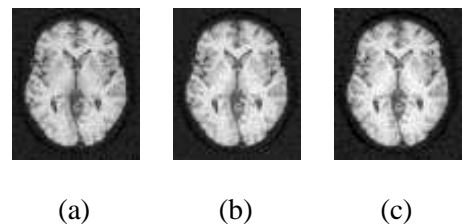


Figure VI-1 : Images IRM à 5% de bruit et à (a) 20%, (b) 40% et (c) 60% d'inhomogénéités.

¹ <http://mouldy.bic.mni.mcgill.ca/brainweb/>

VI.2 - Etape d'initialisation :

Pour l'algorithme FCM, l'initialisation des centres de classes est aléatoire, pour l'algorithme FCM_S et IFCM, l'initialisation est faite par l'algorithme K-means [8].

Le vecteur d'attributs est constitué des différents niveaux de gris constituant l'image et pour la mesure de similarité, la distance Euclidienne [9] est utilisée.

Le degré de flou m est choisi égal à 2, le nombre de classes est de 3 (LCR, MG et MB), l'erreur (critère d'arrêt) ε égale à 0.01 et pour les propriétés statistiques des pixels voisins, nous avons utilisé une fenêtre 3×3 .

VI.3 - Résultats de la segmentation :

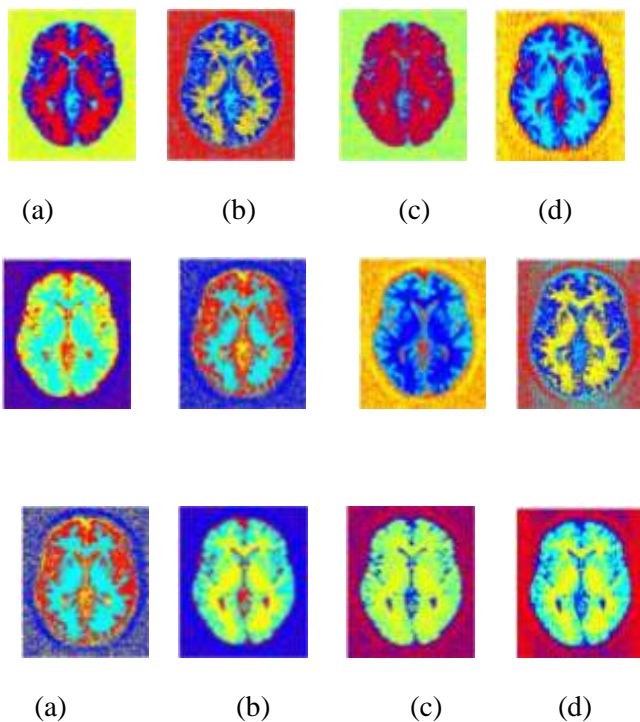


Figure IV-2 : Résultats de la segmentation par : (a)FCM, (b) PDI, (c) RFCM, (d) FCM_S, pour des images à 5% de bruit et 20%, 40% et 60% d'inhomogénéité.

Les taux de classification (MCR) obtenus pour les différents algorithmes sont réunis dans le tableau suivant :

Algorithme	Bruit et taux d'inhomogénéité		
	(a)	(b)	(c)
FCM_S2	10.16	10.59	10.91
FCM_S1	09.12	10.68	11.17
RFCM	09.42	10.89	11.80
FCM	12.27	12.63	13.20

Tableau VI-1 : MCR calculé pour les différentes images.

L'algorithme FCM_S résiste mieux aux inhomogénéités d'intensité comparé à FCM. Le calcul des caractéristiques statistiques du voisinage à induit une meilleure classification,

car cet algorithme, en prenant compte de l'influence du voisinage, agit comme un filtre moyenneur (pour FCM_S1) et médian (pour FCM_S2) sur l'image.

VI.4 - Influence du bruit et de l'inhomogénéité sur les classes :

Nous allons présenter le SA obtenu pour la segmentation d'une image corrompue de 5 % du bruit et 40 % d'inhomogénéités.



Figure VI-3: Classes de l'image originale (Brainweb).

On a calculé le SA obtenu de chaque algorithme pour les différentes classes. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Algorithme		LCR	MG	MB
FCM_S	LCR	85.15	14.84	0
	MG	00.73	87.84	11.43
	MB	0	12.42	87.58
RFCM	LCR	84.79	15.21	0
	MG	00.19	76.38	23.42
	MB	0	02.94	97.06
PDI	LCR	57.29	39.58	03.13
	MG	00.50	90.96	08.54
	MB	0	10.77	89.23
FCM	LCR	53.54	41.16	04.84
	MG	00.18	85.06	14.75
	MB	0	06.07	93.92

Tableau VI-2 : Le SA des différentes classes (LCR, MG et MB) Obtenues par FCM, PDI, RFCM et FCM_S pour une image à 5% bruit et 40% inh.

Les résultats précédents sont représentés dans l'histogramme suivant :

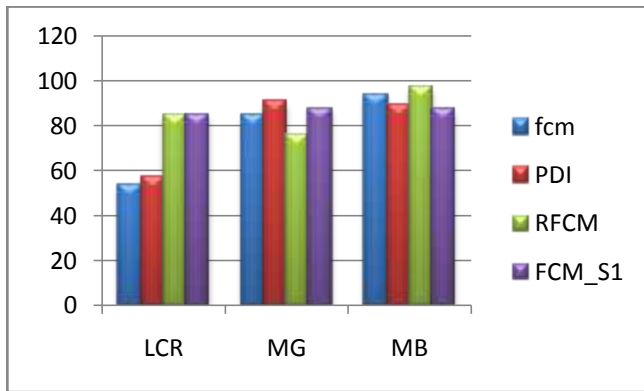


Figure VI-4 : Le SA des différentes classes (LCR, MG et MB) Obtenues par FCM, PDI, RFCM et FCM_S1 pour une image à 5%bruit et 40% inh.

On remarque qu'un nombre important de pixels appartenant au LCR sont mal classés pour FCM et PDI (près de 46% pour FCM et environ 43% pour PDI). RFCM, par contre, a réussi à identifier plus de 85% des pixels appartenant au LCR, mais échoue de classer près de 25% des pixels appartenant à MG. L'algorithme FCM_S prouve une fois de plus son efficacité en donnant de meilleurs taux de classification pour les trois tissus. Nous remarquons aussi pour les méthodes considérant le contexte spatial (RFCM et FCM_S), qu'aucun pixel appartenant à LCR n'est classé à MB.

VI - Conclusion :

Pour l'instant la famille FCM_S a montré une robustesse au bruit, même en présence d'inhomogénéité. Mais le choix des paramètres α_1 et α_2 constitue un inconvénient. Même chose pour RFCM qui est sensible aux fortes inhomogénéités, du fait que β varie d'une image à une autre. L'importante dépendance de l'algorithme PDI à l'initialisation constitue une limite majeure. En plus, les inhomogénéités d'intensité crée une confusion entre les pixels du LCR et ceux du MG, en effet ces deux tissus ont des niveaux de gris proche l'un de l'autre.

Références :

- [1] : J.C. Bezdek, **Fuzzy mathematics in pattern classification**, PH.D dissertation, Cornell Univ., Ithaca, NY, 1973.
- [2] A.I Shihab, **fuzzy clustering algorithms and their application to medical image analysis**, PH.D dissertation, department of computing, imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, LondonSW7 2AZ. December 2000.
- [3] D. Zung, L.Pharm, **Spatial models for fuzzy clustering**, Computer vision and Image Understanding 84, 285-297, Elsevier Science (USA), 2001.
- [4] A. Farag, M.N. Ahmed, N. Mohamed, S.M. Yamany, T. Moriarty, **A modified fuzzy C-means algorithm for bias field**

estimation and segmentation of MRI data, IEEE Trans. Med. Imaging 21, 193-199, 2002.

- [5] K. Honda, H. Ichihashi, S. Miyamoto, **Algorithms for Fuzzy Clustering Methods in c-Means Clustering with Applications**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.
- [6] J.P.Cocquerez, P. Foliguet, S.Maitre, **Analyse d'images : Filtrage et segmentation**, Collection Enseignement de la physique : mathématiques pour la physique, Masson, Paris, 1995.
- [7] J.P.Nakache, J.Confais, **Approche pragmatique de la classification : arbre hiérarchique, partitionnement**, Editions Technip, Paris, 2005.
- [8] E. Diday, **La méthode des nuées dynamiques**, Revue de Statistique Appliquée, vol. 19, n. 2, pp. 19-34, 1971.
- [9] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, **Digital Image Processing**, Second Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2002.

Réglage optimal d'un contrôleur basé sur le principe de Smith Predictor

Sofiane Gherbi, Moussa Sedraoui

Abstract— Dans cet article, on aborde le problème de commande d'un système à retard, sous la forme d'un problème d'optimisation dans le domaine fréquentiel, en se basant sur la méthode du Smith Predictor. Par cette démarche on pourra améliorer les performances et surtout la robustesse des contrôleurs obtenus (principal défaut de la méthode du Smith predictor classique). L'application de notre méthode sur le modèle d'un système de barrage sur rivière et la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la méthode classique confirme l'intérêt de notre démarche.

Index Terms— Systèmes à retards, Smith Predictor, Optimisation, Robustesse.

I. INTRODUCTION

LA plupart des processus industriels (notamment dans l'industrie pétrochimique) comportent des retards de transmission dans les chaînes d'action et/ou de mesure qui les compose, en effet : toutes transmissions d'information s'accompagne inévitablement d'un certain retard temporel, dû au temps de propagation [1]. La présence de retards introduisent beaucoup de difficultés pour la commande des systèmes, et parfois ils peuvent même être fatales (mener à l'instabilité du système). Vers la fin de l'année 1950, Smith a proposé un schéma de commande des systèmes à retards connu sous le nom de "Prédicteur de Smith" [2]. Le principal avantage de cette méthode est que le contrôleur est conçu en prenant en compte la fonction de transfert du système sans retards seulement, occultant de ce fait toutes les difficultés inhérentes à ce dernier. Seulement la robustesse du contrôleur

ont été effectués ces dernières années [3], [4], [5], afin d'améliorer la robustesse de la méthode du Smith Predictor. Cet article se propose de montrer l'apport de l'optimisation dans le domaine fréquentiel en termes de performances et robustesse pour la commande des systèmes à retards, il est organisé comme suite : Dans la première partie, on présentera

la méthode classique du Smith predictor à travers son schéma de commande de base, ainsi qu'un schéma de commande à modèle interne équivalent. Des notions de marges de robustesse seront également introduites modifiées. Dans la deuxième partie, on se basera sur la méthode de Smith predictor classique, pour le réglage optimale du contrôleur, en posant le problème de commande des systèmes à retards, sous la forme d'un problème d'optimisation dans le domaine fréquentiel. Un exemple d'application de cette méthode ainsi que sa comparaison avec la méthode classique, sera apporté dans la troisième partie et les résultats obtenus seront commentés. Enfin, la quatrième partie sera consacrée à la conclusion et les perspectives.

II. CONTROLEUR-PREDICTEUR DE SMITH :

La présence de retard dans une boucle de régulation, rend le système à déphasage non minimale et peut même mener à l'instabilité du système, en effet : La fonction de transfert d'un retard pur est d'ordre infini, introduisant un nombre de pôles à l'origine important et donc, des transferts d'ordre élevé à manipuler [6]. Afin de contourner l'effet du retard sur la boucle de régulation, Smith a proposé le schéma suivant

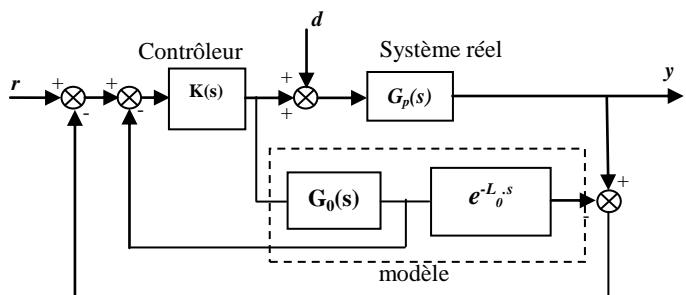


Fig.1 Schéma de principe du contrôleur-prédicteur de Smith

L'idée du correcteur-prédicteur de Smith est de : Dans un premier temps : déterminer un contrôleur $K(s)$ en se basant sur un modèle du système réel sans retard $G_0(s)$, ensuite dans la deuxième phase : implémenter le régulateur trouvé dans le schéma de commande "Contrôleur-prédicteur de Smith" donner par la Fig.1. On constate que l'effet du retard est éliminé en utilisant comme rétroaction la différence entre le signal de sortie du système réel et celle du modèle (la prédiction). Ainsi l'intérêt du correcteur – Prédicteur de Smith est que le retard intrinsèque (qu'on ne peut compenser) apparaît hors de la boucle (Fig. 1).

Manuscript received November 30, 2011

Sofiane Gherbi is with the LAS Laboratory, Université 20 août 1955, Route el Hadaiek, BP 26, 21000 Skikda, Algeria (sgherbi@gmail.com).

Moussa Sedraoui is with the PI:MIS Laboratory, University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria.

A. Contrôleur-predicteur de Smith sous forme IMC

La figure suivante, montre la forme IMC (internal model control) du schéma de principe du contrôleur-predicteur de Smith [7],[8].

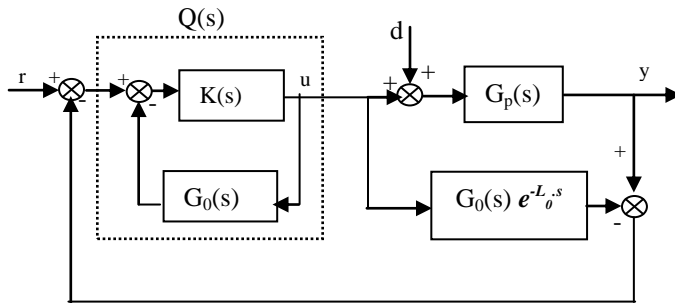


Fig. 2 Contrôleur – Prédicteur de Smith sous la forme « IMC »

Cette forme est plus appropriée pour développer la méthode de réglage du régulateur $K(s)$, écrivant la fonction de transfert du système en boucle fermée :

$$\frac{y}{r}(s) = \left(\frac{K(s)G_p(s)}{1 + K(s)(G_0(s) + G_0(s)e^{-L_0 s} - G_p(s))} \right) \quad (1)$$

Si la fonction de transfert du modèle $G_0(s)e^{-L_0 s}$ est très proche du système réel $G_p(s)$, alors l'équation caractéristique ne comportera plus le terme de retard annulant ainsi son effet. Par contre si les paramètres du système réel $G_p(s)$ change, alors l'effet néfaste du retard apparaîtra dans la boucle fermée, d'où la faible robustesse de cette méthode.

Le Contrôleur – Prédicteur de Smith est obtenu en minimisant la norme H_2 de l'erreur : $\min \|r - y\|_2$, analytiquement ceci donnera [4] :

$$Q(s) = \frac{J(s)}{G_0(s)} \quad (2)$$

Avec : $J(s)$ est un filtre choisi par l'utilisateur, il est donné par :

$$J(s) = \frac{1}{(1 + \lambda s)^n} \quad (3)$$

Où :

- n = degré de $G_0(s)$, afin de rendre $Q(s)$ propre.
- λ est un nombre réel positif, il est varié arbitrairement jusqu'à la satisfaction des performances nominales.

Enfin le régulateur $K(s)$ est déduit comme suite :

$$K(s) = \frac{Q(s)}{1 - G_0(s).Q(s)} \quad (4)$$

III. METHODE PROPOSEE :

Le but principal de tout asservissement, est la minimisation de l'erreur de poursuite ainsi que l'effet du signal de perturbation d (voir fig.1). Partant de ce constat on peut formuler le problème de commande d'un système à retard sous forme

optimale, en posant le problème comme suite : essayer d'obtenir le paramètre optimal λ , du contrôleur-predicteur Smith predictor, qui minimise l'erreur de poursuite et l'effet du signal de perturbation du système en boucle fermée.

Il s'agit donc d'un problème de commande optimale dans le domaine fréquentiel, mathématiquement, il peut être posé comme suite :

$$\min_{\lambda} \left\{ \begin{array}{l} r(s) - y(s) \\ \frac{y}{d}(s) \end{array} \right. \quad (5)$$

D'après (1), si le modèle du système est parfait, c'est à dire : $G_p(s) = G_0(s)e^{-L_0 s}$, alors la fonction de transfert du système en boucle fermée est donnée par :

$$\frac{y}{r}(s) = \left(\frac{K(s)G_p(s)}{1 + K(s).G_0(s)} \right) \quad (6)$$

L'erreur de poursuite pour un échelon de consigne en entrée sera donc donnée par :

$$r(s) - y(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s} \cdot \left(\frac{K(s)G_p(s)}{1 + K(s).G_0(s)} \right) \quad (7)$$

L'effet du signal de perturbation d sur le système en boucle fermée est exprimé par la fonction de transfert suivante :

$$\frac{y}{d}(s) = \left(\frac{G_p(s)}{1 + K(s).G_0(s)} \right) \quad (8)$$

IV. APPLICATION

Afin d'illustrer les deux méthodes évoquées dans cet article à savoir : la méthode de Smith predictor classique et l'approche par l'optimisation proposée, nous allons les appliquer sur un système à retard représentant un système de barrage sur rivière.

A. Présentation du système

Le système de barrage sur rivière est généralement conçu afin de gérer le niveau d'eau d'une rivière, c'est-à-dire : satisfaire la demande en eau des fermiers, tout en préservant un niveau d'eau appréciable pour des considérations écologiques évidentes. L'eau est écoulee depuis le barrage le long de la rivière où des utilisateurs potentiels peuvent le pomper, la variable de commande est le débit en amont de la rivière et la variable contrôlée est le débit en aval, ce dernier doit être maintenu dans une plage donnée afin de contrôler le niveau d'eau de la rivière. (Voir la figure ci-après).

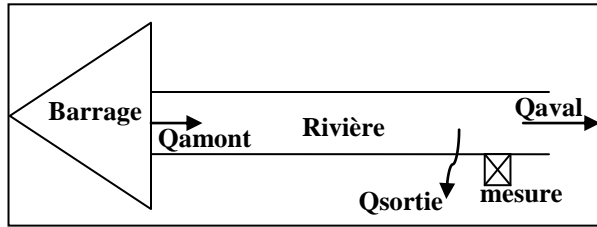


Fig. 3 Représentation simplifiée du système de barrage sur rivière

Le système est modéliser par une fonction de transfert du deuxième ordre plus un retard : [9]

$$G(s) = \frac{\exp(-s\tau)}{(1+sK_1)(1+sK_2)} \quad (9)$$

Avec :

$$K_1 = 9995.1 + 3310.5j, K_2 = 9995.1 - 3310.5j, \tau = 24463 \text{ sec.}$$

B. Application de la méthode de Smith predicteur classique

Dans [6], la valeur de λ est trouvée arbitrairement de façon itérative en procédant à plusieurs essais et vérification des résultats, jusqu'à la satisfaction des performances.

A la fin, la valeur trouvée est : $\lambda = 18577$, donc :

$$Q = \frac{J(s)}{G_0(s)} = \frac{1.109e008.s^2 + 1.999e004.s + 1}{3.451e008.s^2 + 37154.s + 1} \quad (10)$$

C. Application de la méthode optimale

De notre part, nous avons utilisé la toolbox (Optimisation toolbox) de MATLAB, afin de résoudre le problème d'optimisation (5). La solution optimale est donnée par :

$$\lambda_{\text{opt}} = 15175$$

Donc :

$$Q_{\text{opt}} = \frac{1.109e008.s^2 + 1.999e004.s + 1}{2.303e008.s^2 + 30350.s + 1} \quad (11)$$

D. Réponses indicielles

La figure suivante, montre les réponses indicielles à un échelon unitaire en entrée, des deux systèmes commandés par Smith Predictor classique (bleu) et la méthode optimale (rouge).

On remarque que les deux réponses indicielles sont assez satisfaisantes, en effet le temps de réponse est appréciable et le dépassement est nul, toutefois, la réponse indicielle du système bouclé commandé par la méthode optimale possède un temps de réponse plus rapide.

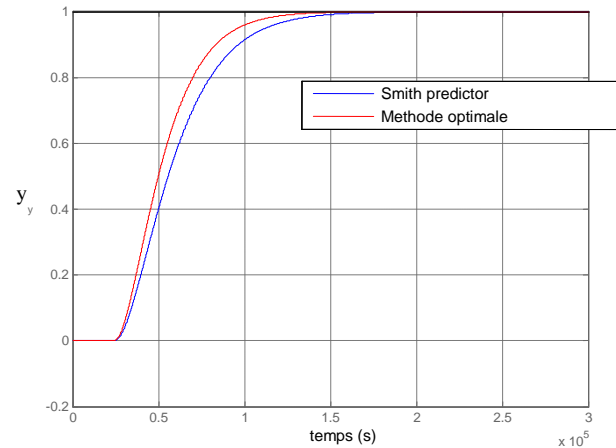


Fig. 4 Réponses indicielle à un échelon unitaire en entrée

E. Réponses à un signal de perturbation en échelon d'amplitude - 0.1

Afin d'apprécier le rejet de perturbation pour les deux méthodes, nous avons tracé les deux réponses à un signal de perturbation en échelon d'amplitude - 0.1 (-10% de l'amplitude de la consigne) à partir de $t = 18000$ secondes, les figure suivante montre le résultat obtenu

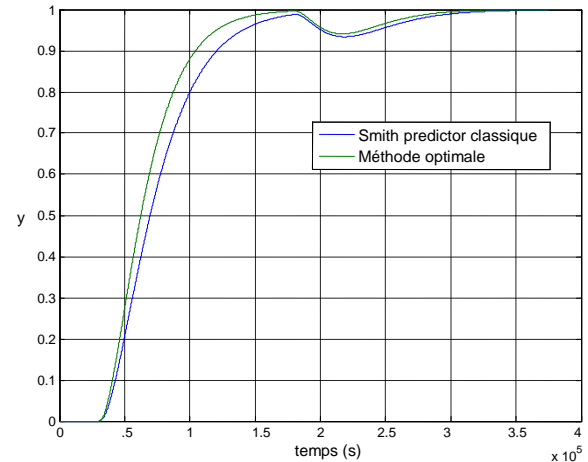


Fig.6 Rejet de la perturbation (Smith predictor classique)

On remarque le rejet systématique du signal de perturbation pour les deux méthodes, le rejet de la méthode optimale s'effectue plus rapidement.

F. Marges de robustesse :

La robustesse des systèmes face aux incertitudes peut être mesurée par la détermination des marges de gains (mesures de robustesse classique) [10]. Hors, ces mesures ne sont pas bien adaptées à l'évaluation de la robustesse dans le cas de la variation du retard. Les marges de retard et de module sont

plus utiles, ces marges offrent une méthode simple pour évaluer la robustesse des systèmes contrôlés, dans le cadre des variations acceptables dans le gain, la phase, et le retard [11]. Sois la boucle de régulation suivante :

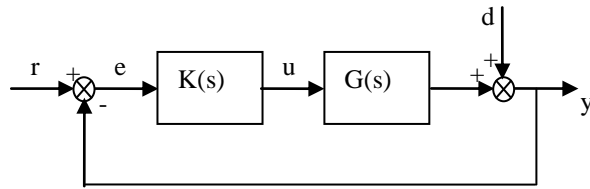


Fig.6 boucle de régulation classique

Les marges de robustesse sont définies comme suite :

1. marge de module :

Soit la fonction de transfert en boucle ouverte du système :

$$L(s)=K(s).G(s) \quad (12)$$

2. marge de module (M_m):

C'est la distance minimale entre la fonction L et le point $(-1,0)$ dans le plan de Nyquist. [6]

$$M_m = \inf \left\{ |1 + L(j\omega)|, \omega \in \mathbb{R} \right\} \quad (13)$$

3. Marge de retard

La M_d est le maximum de temps de retard τ qui permet à la boucle fermée de tous les processus perturbés de rester stable.

$$M_d = \frac{Q}{W_c \tau} \quad (14)$$

Où Q est la marge de phase (rad), et $W_c \tau$ est la fréquence d'intersection de L avec le cercle unitaire dans le plan de Nyquist (rad/sec).

Le tableau comparatif suivant montre les différentes marges de robustesse pour le système commandé par le Smith predictor classique et la méthode optimale.

CONTRÔLEURS	PRÉDICTEUR DE SMITH	METHODE OPTIMALE
Marge de gain	3.24	3.35
Marge de phase	66 degré	66.45 degré
Marge de retard	19.6 heure	21.67 heure
Marge de module	0.66	0.68

Tableau. I Comparatif des marges de robustesses

Le tableau précédent montre clairement la supériorité de la méthode optimale en termes de robustesse.

V.CONCLUSION

La méthode du Smith predictor reste parmi les meilleures méthodes de commande des systèmes à retard, cependant si on ne possède pas un modèle parfait, cette méthode perd de sa robustesse. La détermination du contrôleur-predictor de Smith de manière optimale (en résolvant un problème d'optimisation) donne plus de robustesse à la méthode du Smith predictor classique. La méthode optimale est d'autant plus intéressante qu'on peut ajouter des contraintes pour assurer plus de robustesse et de meilleures performances (problème d'optimisation avec contraintes).

REFERENCES

- [1] F.G. Shinskey, *Process Control Systems*, McGraw-Hill Book Company, 1979.
- [2] O.J.Smith, *Closer control of loops with dead times*, Chem. Eng. Prog. Trans. 53 (5) 1957.
- [3] Q. G. Wang, Q. Bi, Y. Zhang, *Redesign of Smith Predictor systems for performance enhancement*, ISA Trans. 39 (1) 2000.
- [4] W. Zhang, X. Xu, *Analytical design and analysis of mismatched Smith predictor*, ISA Trans. 40 2001.
- [5] T. Liu, Z. Hu, R. Yin and X. Xu, *New analytical design of the Smith predictor controller for high-order systems*, Proc. IMechE Vol. 219 Part I: J. Systems and Control Engineering. 2005.
- [6] X. Litrico, D. Georges, *Robust continuous – time and discrete – time flow control of a dam – river system. (II) Controller design*, APPLIED MATHEMATICAL MODELLING, Elsevier, France, 1999.
- [7] I.Kaya, *IMC based automatic tuning method for PID controllers in a Smith predictor configuration*, Computers and Chemical Engineering 28 (2004) 281–290
- [8] L. Keviczky, Cs. Banyasz, *Future of the Smith Predictor Based Regulators Comparing to Youla Parametrization*, Proceedings of 15th Mediterranean conference on control and automation, July 27-29, 2007, Athens, Grece.
- [9] X. Litrico, D. Georges, *Robust continuous-time and discrete-time flow control of a dam-river system. (I)*, Modelling, Appl. Math. Modelling 23 (1999) 809.
- [10] D. Alazard, C. Cumer, P. Apkarian, M. Gauvrit, G. fereres, *Robustesse et Commande optimale*, Cepadues 1999
- [11] D. R Lewing, *Robust performance specifications for uncertain stable SISO systems*, Int. J. Control 1989.

Une Approche Globale pour la Représentation et la Mise en Correspondance d'Objets de Forme Libre

Saliha Bouagar, Slimane Larabi

Résumé— Dans ce papier nous proposons une méthode efficace pour la représentation et la mise en correspondance de formes avec des contours fermés. L'idée est très simple, elle se base sur le calcul de la surface d'un objet relativement au rectangle d'aire minimum qui l'englobe. Dans cette approche nous n'avons pas besoin d'information sur la structure de l'objet, ni sur les détails de ses frontières ou son contour externe, comme dans la plupart des méthodes de mise en correspondance d'objet. Le point clef de notre méthode réside dans l'exploitation d'une propriété très importante du rectangle d'aire minimum associé à une forme, qui est l'unicité. Cette caractéristique nous garantit l'invariance de la représentation par rapport à la translation, la rotation, le changement d'échelle et la réflexion, et la méthode résiste même à certaines déformations légères. Les tests expérimentaux ont été effectués sur la base d'image standard MPEG-7, les résultats obtenus sont très satisfaisants relativement au cout très bas de la méthode.

Mots Clés — Rectangle d'aire minimum, Surface, Transformations Géométriques, silhouette.

I. INTRODUCTION

Dans les méthodes de recherche d'objets par la forme, le problème se pose comme suit: étant donnée une image requête contenant un objet donné et une base d'image, l'objectif principal est de retrouver les images similaires à la requête suivant une représentation ou modélisation prédéfinie. Le défi consiste à retirer les images les plus similaires à la requête dans les premiers résultats, tout en optimisant le temps de réponse.

Dans la littérature, les méthodes de représentation de formes les plus célèbres peuvent être classées en deux catégories : les méthodes basées sur la structure de l'objet et les méthodes basées sur la forme du contour externe.

Dans le premier cas, c'est l'information topologique qui est utilisée, comme la transformation par l'axe médian ou medial axis transform (MAT) pour l'extraction du squelette de l'objet, représenté par un graphe.

En se basant sur le squelette, plusieurs approches ont été développées pour la mise en correspondance de forme. Liu et Geiger [1] ont proposé de mettre en correspondance l'arbre

En se basant sur le squelette, plusieurs approches ont été développées pour la mise en correspondance de forme. Liu et Geiger [1] ont proposé de mettre en correspondance l'arbre des axes d'un objet en utilisant les correspondances optimales

des points de contours orthogonaux aux axes de l'objet au point du milieu. Cependant, leur algorithme ne préserve pas la cohérence de la forme.

Une variante de l'axe médian est connue sous le nom du shock graph. Cette approche a été utilisée par Sharvit et al. [2] pour la reconnaissance d'objets. Dans un autre travail, Siddiqi et al. [3] ont convertis le shock graph en arbres avec des racines différentes. Par la suite, ces arbres sont utilisés dans la comparaison des objets en mettant en correspondances les graphes qui leurs sont associés, en se basant sur la notion d'isomorphisme de sous-graphes. Cependant, le choix des racines des arbres est arbitraire, ce qui conduit à des mises en correspondance erronées dans certains cas.

Une représentation hiérarchique utilisant la description axiale des objets a été proposée dans [4,5]. Dans cette approche, l'hiérarchie correspond à une représentation multi-échelle de l'objet, en associant à chaque échelle le squelette correspondant.

Pour les méthodes de représentation d'objets basées sur le contour, un ensemble très riche d'attributs présents tout au long de la chaîne de contour est exploité. Dans la littérature on trouve une grande variété de travaux qui s'intéressent aux caractéristiques de la chaîne de contour. Beaucoup de méthodes [6,7] utilisent les attributs géométriques locaux comme la courbature et les angles comme marqueurs mathématiques de la frontière de l'objet.

La représentation par l'espace d'échelles de courbature ou the curvature scale space (CSS) [8] a démontré sa robustesse dans le domaine de la représentation d'objets. En se basant sur la technique de filtrage de l'espace d'échelles appliquée à la courbe d'un contour fermé d'un objet, la méthode de représentation proposée reste invariante aux transformations perspectives. Cependant, cette approche est coûteuse en terme de complexité des calculs et en temps de recherche des correspondances.

Davies et al. [9] ont proposé d'appliquer la description de la longueur minimale : the minimum description length (MDL). Ils considèrent que le problème de mise en correspondance de

points revient à trouver une paramétrisation de chaque objet. Cependant, comme dans la plupart des approches de mise en correspondance globale [10], la méthode basée sur le MDL utilise des fonctions non-linéaires très compliquées et très coûteuses.

Dans notre contribution, nous représentons l'objet par des paramètres globaux discriminants la forme. La méthode exploite les caractéristiques du rectangle d'aire minimum [11] pour effectuer la mise en correspondance. Grâce à l'unicité du rectangle d'aire minimum englobant un objet, nous pouvons représenter la silhouette par la surface occupée par la forme par rapport à la surface de son rectangle. Il est évident que cet attribut ne fournit aucune connaissance sur la forme comme dans les autres méthodes, mais les résultats expérimentaux montre son efficacité dans mise en correspondance d'images même en présence des translation, rotation, changement d'échelle, réflexion et quelques déformations modérées. Un autre avantage de la méthode est sa simplicité et son coût très réduit.

Le papier est organisé comme suit : dans le prochain paragraphe nous expliquerons le principe de la méthode de représentation, dans la section 3 nous donnerons le schéma de l'algorithme de mise en correspondance, les résultats expérimentaux seront fournis dans la section 4 et nous terminerons par une discussion et une conclusion.

II. REPRESENTATION PAR LE RECTANGLE D'AIRES MINIMUM

Le rectangle d'aire minimum ou the minimum area rectangle (MAR) associé à une silhouette est défini comme le plus petit rectangle minimisant l'aire entre lui et l'enveloppe convexe englobant l'objet[11].

L'enveloppe convexe est le plus petit polygone convexe pour lequel chaque point de la silhouette touche ses cotés ou y est inclus [12, 13], pour chaque silhouette, il existe une enveloppe convexe unique qui lui est associée. De la même manière le MAR est unique pour chaque silhouette (voir figure 1).

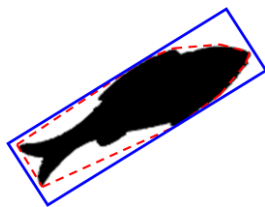


Fig. 1. Le MAR et l'enveloppe convexe (polygone en pointillé correspond à l'enveloppe convexe, le rectangle qui l'englobe est son MAR)

A. Propriétés du MAR

Le MAR dépend uniquement de la forme globale de l'objet, par conséquent, il est invariant à la translation, la rotation, le changement d'échelle et même le mirroring. Ces propriétés sont détaillées ci-dessous:

- Translation : la transformation en translation n'affecte pas le MAR, car l'enveloppe convexe ne dépend pas de la position de l'objet mais seulement de la disposition des points de contour.
- Rotation : en opérant une rotation planaire sur un objet, le nouveau rectangle d'aire minimum englobant l'objet roté aura les mêmes dimensions que le rectangle initial, obtenu en opérant la même rotation que celle de l'objet.
- Facteur d'échelle : une opération d'homothétie ou de redimensionnement de l'objet affecte la surface occupée par l'objet et donc celle du rectangle d'aire minimum. Cependant, l'objet ne sera pas déformé, les proportions de la forme globale sont toujours préservées. Par conséquent, on peut inférer une relation entre les différents rectangles correspondants aux différentes échelles d'un objet donné. Cette relation est définie par la conservation du rapport entre la longueur et la largeur des rectangles associés aux différentes dimensions d'un objet.
- Mirroring : quand une opération miroir (vertical ou horizontale) est appliquée à un objet, la surface de l'objet est préservée et donc celle de son MAR aussi. C'est uniquement l'orientation qui changera, mais de la même manière pour l'objet et son rectangle.

B. Représentation d'objet par le MAR

Dans notre représentation, nous associons à l'objet deux attributs :

- Le rapport entre la longueur et la largeur du rectangle d'aire minimum qui l'englobe,
- Le rapport entre la surface occupée par l'objet et celle de son rectangle.

On peut formuler cette représentation comme suit :

Soit S une silhouette d'un objet donné, S est représentée par le couple (WL,FS), tel que WL=width/length représente le rapport entre la largeur et la longueur du rectangle associé à S. et FS =(surface of S)/(surface of MAR) qui représente le pourcentage de la surface occupée du rectangle.

$$S \rightarrow (WL, FS) \quad (1)$$

D'après la définition de cette représentation, il est très facile de démontrer que les valeurs (WL, FS) associées à une forme S restent inchangées, quand l'une des transformations citées dans le paragraphe précédent est appliquée à l'objet. Cette invariance est obtenue grâce aux propriétés du rectangle d'aire minimum comme le montre la figure 2. De plus, toute la richesse de l'information sur la forme sera condensée dans deux paramètres globaux, ce qui nous permet de stocker des objets de forme complexe d'une taille importante sur un descripteur d'une taille insignifiante.

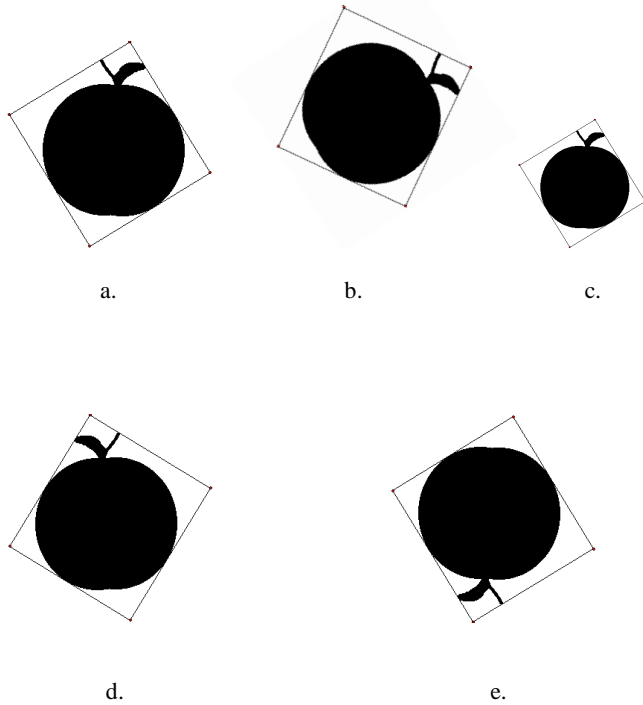


Fig. 2. un exemple d'invariance de la représentation sous différentes transformations : a. l'objet initial $S(97.29,69.69)$, b. rotation planaire $S(97.29,69.69)$, c. homothétie $S(97.21,69.48)$ d. miroir horizontal $S(97.25,69.64)$, e. miroir vertical $S(97.24,69.68)$.

III. ALGORITHME DE MISE EN CORRESPONDANCE

La procédure de mise en correspondance d'un objet requête avec les objets de la base de données s'effectue en deux phases :

- une phase offline, dans laquelle la représentation proposée est associée à chaque objet de la base de données, et ce en calculant et stockant les attributs (WL, FS) pour chaque entrée dans la base de données,
- une phase online, dans laquelle on calcule seulement la représentation (WL, FS) de l'objet requête. Par la suite, ces deux attributs sont soumis à une opération de comparaison avec toutes les entrées de la base de données d'images dans le but de retirer les images les plus similaires au sens de notre modélisation.

A. Mesure de similarité

La mesure de similarité SM définie entre deux formes $S1(WL1, FS1)$, $S2(WL2, FS2)$ correspond à la distance euclidienne entre les deux attributs WL_i et FS_i , elle est donnée par la formule suivante :

$$SM = |S1-S2| = (|WL1-WL2|, |FS1-FS2|) \quad (2)$$

Deux formes identiques correspondent à une mesure de similarité $SM = (0,0)$. Par conséquent, les formes les plus similaires à une forme donnée sont celles qui ont les mesures de similarité les plus petites.

B. Algorithme de mise en correspondance

Les objets retirés de la base d'images lors du processus de comparaison avec l'image requête, sont triés dans un ordre ascendant allant de la valeur de similarité la plus petite vers la plus grande. L'algorithme qui nous donne les résultats de la mise en correspondance d'une image requête avec la base d'images, peut s'écrire comme suit :

Initialisation

Objet requête := $S_q(WL_q, FS_q)$;

Objet base de données := $S_i (WL_i, FS_i) / S_i \in BD, \forall i:=1$
à n,

n: nombre d'images de la base d'images

Begin

For $i:=1$ **to** n **do**

$SM_i := |S_q - S_i|$;

For $i:=1$ **to** n **do**

TRIER (SM_i);

End.

À l'issue de cet algorithme, on obtient le vecteur SM_i dont les premières cases correspondent aux objets les plus similaires à notre requête.

D'après le processus de mise en correspondance, il s'avère que notre algorithme est très simple à mettre en œuvre avec un coût très faible.

C. Complexité

Le temps de réponse du retrait des images similaires est un temps réel (tend vers 0). En effet, la taille du descripteur de chaque objet se limite à deux valeurs et l'appariement des objets consiste à comparer deux paires de valeurs à chaque passage, contrairement à beaucoup de méthodes de représentations et de matching de formes qui font appel à des fonctions très complexes et coûteuses en temps machine, que ce soit pour la génération du modèle ou même la recherche d'objets similaires, ce qui nécessite dans certains cas de faire intervenir des méthodes méta-heuristiques ou même le parallélisme [15, 16].

La complexité de notre algorithme de mise en correspondance de deux objets est linéaire, elle est égale à $O(2)$, ce qui met en évidence la simplicité et la rapidité de la méthode, tout en ayant des résultats d'une précision acceptable, vu le coût de la solution.

IV. EXPERIMENTATION

La validation de notre approche a été effectuée en utilisant la fameuse base d'image standard MPEG-7 shape database [14], utilisée actuellement dans la majorité des travaux qui s'intéressent à la représentation et mise en correspondance des formes. Cette base est composée de 70 classes d'objets différents, chacune contenant 20 instances, en tenant compte des transformations géométriques, déformations et changement du point de vue. Dans la figure 3, nous avons extrait un échantillon de quelques objets de cette base.

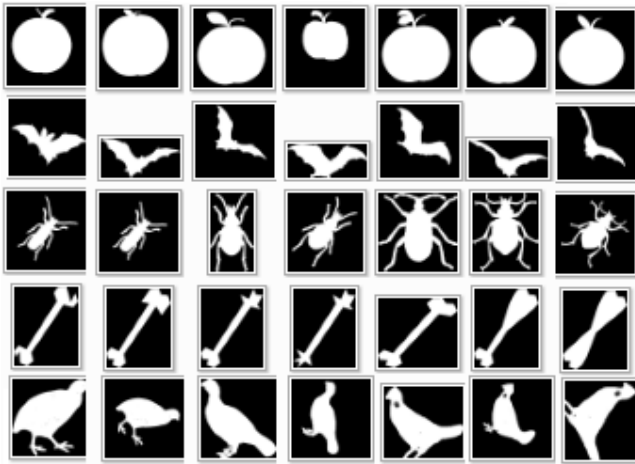


Fig. 3. Quelques objets de MPEG-7 shape database.

Deux types d'expérimentations ont été réalisés pour la validation des résultats : la mise en correspondance d'un objet requête avec les objets appartenant à la même classe, et l'appariement de l'objet requête avec l'ensemble des objets appartenant à toutes les classes confondues.

Le premier test consiste à choisir un objet requête appartenant à une classe donnée, et le mettre en correspondance avec le reste des objets de la même classe en calculant la distance minimale les séparant. Dans la figure 4, un exemple de ce test est illustré, l'objet qui se trouve dans le coin supérieur gauche représente l'objet requête, le reste des objets sont les objets restant de la classe soit 19 (20- l'objet requête). L'objet le plus similaire à la requête est celui entouré par des pointillés.

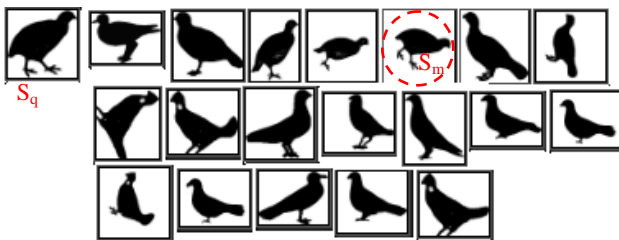


Fig. 4. Appariement des objets de la même classe : l'objet requête $S_q(74.67,46.69)$ et l'objet le plus similaire $S_m(74.72,46.47)$

Le résultat obtenu par cet exemple montre clairement que l'objet encadré est celui le plus similaire à l'objet requête. En

effet, ce n'est rien d'autre que l'objet requête auquel a été appliqué une rotation et un changement d'échelle, ce qui démontre l'invariance à ces transformations.

Le second test consiste à retirer les objets similaires à une requête à partir de l'ensemble des objets de la base. Dans la figure 5, nous avons dans la première colonne les images requêtes, et dans la seconde colonne, on trouve les cinq premiers résultats les plus similaires obtenus par notre méthode (triés par ordre décroissant de ressemblance).

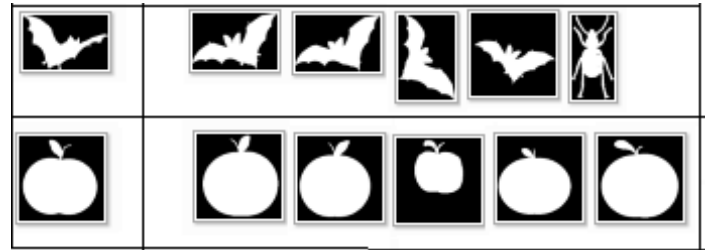


Fig. 5. Retrieval of shapes from different classes

Les résultats en chiffre des deux exemples précédents sont donnés dans la table 1, pour chaque exemple nous donnons les valeurs (WL, FS) correspondants à la requête (deuxième ligne), et aux objets résultants de la mise en correspondance dans l'ordre (3eme – 5eme ligne).

Table 1. Les valeurs (WL, FS) pour les exemples de la figure 5

	Expl 1	Expl 2
Query	(47.01, 40.11)	(97.31, 69.70)
Match 1	(46.23, 39.63)	(97.29, 69.69)
Match 2	(47.93, 40.73)	(97.56, 69.87)
Match 3	(47.95, 40.87)	(96.74, 69.15)
Match 4	(47.99, 39.66)	(98.11, 71.79)
Match 5	(46.06, 39.15)	(98.02, 71.13)

DISCUSSION

D'après les résultats montrés par le premier test, on peut conclure que la méthode proposée donne des résultats d'une grande précision quand il s'agit d'une transformation géométrique comme la rotation, l'homothétie ou le miroir. Cependant, en cas de déformation, les premiers résultats ne correspondent pas systématiquement aux objets les plus similaires au sens de l'appréciation d'un être humain, car notre représentation est globale et ne tient pas compte des détails fins de la forme.

Les résultats obtenus par la deuxième expérimentation sont très encourageants, vu que les objets retirés en tête de liste sont dans la plupart des cas des objets appartenant à la même classe que l'objet requête (pour l'ensemble des tests effectués, au moins 2 objets de la même classe que la requête figurent sur la liste des 5 premiers résultats).

Par conséquent, les résultats empiriques confirment la puissance de la représentation par le rectangle d'aire minimum (auquel nous avons associé la surface), et démontrent son pouvoir de distinguer des formes différentes sans faire appel aux détails de la forme.

V. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons proposé une méthode très simple et très optimale pour la représentation et la mise en correspondance d'objet de forme libre.

La méthode se base sur deux attributs uniquement qui nous fournissent des informations cruciales sur l'objet sans passer par une modélisation complexe comme la représentation par les graphes structuraux ou la représentation multi-échelle d'une liste volumineuse d'attributs, comme tel est le cas de plusieurs travaux récents.

De plus la représentation est invariante aux différentes transformations. Elle permet d'obtenir des résultats d'une précision appréciable avec un temps de réponse très rapide.

Les tests effectués sur la célèbre base d'images (MPEG-7 shape database) sont très convaincants et valident la représentation.

Les résultats obtenus nous paraissent très intéressants pour utiliser l'approche proposée dans l'indexation.

REFERENCES

- [1] T.-L. Liu, D. Geiger, Approximate tree matching and shape similarity, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, 1999, pp. 456–462.
- [2] D. Sharvit, J. Chan, H. Tek, B.B. Kimia, Symmetry-based indexing of image databases, *J. Visual Commun. Image Representation* 9 (4) (1998) 366–380.
- [3] K. Siddiqi, S. Bouix, A. Tannenbaum, S.W. Zucker, The Hamilton–Jacobi skeleton, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, 1999, pp. 828–834.
- [4] S. Pizer, W. Olivier, S. Bloomberg, Hierarchical shape description via the multiresolution symmetric axis transform, *IEEE Transactions on PAMI*, 9:505–511, 1987.
- [5] H. Rom, G. Medioni, Hierarchical decomposition of axial shape description, *IEEE Transactions on PAMI*, 15:973–981, 1993.
- [6] Y. Gdalyahu, D. Weinshall, Flexible syntactic matching of curves and its application to automatic hierarchical classification of silhouettes, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 21 (12) (1999) 1312–1328.
- [7] E.G.M. Petrakis, A. Diplaros, E. Milios, Matching and retrieval of distorted and occluded shapes using dynamic programming, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 24 (11) (2002) 1501–1516.
- [8] F. Mokhtarian, Silhouette-based isolated object recognition through curvature scale space, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 17(1995)539–544.
- [9] R. Davies, C. Twining, T. Cootes, J. Waterton, C. Taylor, A minimum description length approach to statistical shape modeling, *IEEE Trans. Med. Imag.* 21 (5) (2002) 525–537.
- [10] A. Hill, C. Taylor, A. Brett, A framework for automatic landmark identification using a new method of nonrigid correspondence, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 22 (3) (2000) 241–251.
- [11] Philip J. Schneider, David H. Eberly, *Geometric Tools for Computer Graphics*, Ed. Textbook Binding, 2002.
- [12] Sedgewick, R. *Algorithms*. Addison-Wesley- the classic in the field. 1983.
- [13] R.L. Graham, An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set, *Information Processing Letters*, 1:132–133, 1972.
- [14] L.J. Latecki, R. Lakämper, U. Eckhardt, Shape descriptors for non-rigid shapes with a single closed contour, in: *Computer Vision and Pattern Recognition: CVPR2000*, 2000, pp. 1424–1429.
- [15] S. Belongie, J. Malik, J. Puzicha, Shape matching and object recognition using shape contexts, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 24 (2002) 509–522.
- [16] F. Mokhtarian, S. Abbasi, and J. Kittler, “Efficient and robust retrieval by shape content through curvature scale space,” presented at the Int. Workshop on Image Databases and MultiMedia Search, Aug. 1996, pp. 35–42.

Application de l'Analyse en Ondelettes au Diagnostic de Défauts d'une Machine Asynchrone

I. Atoui, A.Omeiri And A.Bouraiou

*Centre de recherche en soudure et contrôle CSC, Unité de recherche en technologie industrielle URTI Annaba

**Laboratoire d'électromécanique Annaba, Université Badji Mokhtar-Annaba

*** Département d'électrotechnique Skikda

E-mail : atoui_article@yahoo.fr

Résumé — Le problème étudié dans ce papier est le diagnostic de défaut d'une génératrice asynchrone à double alimentation installée dans une chaîne de conversion éolienne. Pour cela, nous développerons une technique maintenant répandue qu'est l'«analyse de la signature de la tension statorique de la GADA» en vue de la détection d'une panne électrique ou mécanique. Nous mettrons l'accent sur la détection d'un défaut au rotor, excentricité statique, dynamique ou mixte, par l'analyse en fréquence FFT et également en ondelettes de la tension statorique créée par la génératrice. Un autre problème est étudié dans ce travail concernant la construction d'un modèle de simulation qui, partant de la structure physique de la machine, soit capable de prendre en compte différents types de défauts (l'excentricité statique, dynamique et mixte). Alors il est essentiel de connaître la mise en équations du comportement dynamique de la chaîne éolienne pour en déduire les schémas fonctionnels à partir desquels la technique de diagnostic peut être conçue. À cet effet, nous avons essayé d'éclaircir le mieux possible la modélisation de la chaîne de conversion éolienne pour obtenir un modèle analytique qui imite au mieux le comportement du système à diagnostiquer.

Mots clés — Diagnostic, Chaîne éolienne, Excentricité, FFT, Ondelettes.

I. INTRODUCTION

La chaîne de conversion éolienne est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice [1]. Ces installations sont de nos jours en pleine extension et sont d'une importance très considérable que ce soit du point de vue nécessité en énergie électrique qu'économique. Cependant, un arrêt intempestif d'une chaîne éolienne cause inévitablement des pertes inestimables [2]. Alors, pour éviter qu'un tel arrêt soit causé par des défaillances d'ordre électrique ou

mécanique tel que une excentricité statique, dynamique ou mixte du rotor de la génératrice, il est important de détecter ces défauts d'une manière précoce. Ce travail présente, une contribution qui s'inscrit dans le domaine de la détection et du diagnostic des défauts d'excentricité statique, dynamique ou mixte d'une génératrice asynchrone à double alimentation d'une chaîne éolienne. L'intérêt de l'analyse par FFT ou par Ondelettes de la tension statorique pour le diagnostic de défaut rotorique réside dans la simplicité du capteur utilisé. En effet la mesure de la tension statorique puis son traitement sont plus simple et moins onéreux qu'une analyse des vibrations ou flux axial [3] – [4].

II. MODÉLISATION DU SYSTÈME ÉOLIEN

Le système étudié est constitué de pales de longueur R_p pour capter l'énergie du vent, d'un ensemble arbre - réducteur, d'une génératrice asynchrone à double alimentation triphasée et d'une charge RL. Le schéma de principe de ce système est présenté par la figure 1:

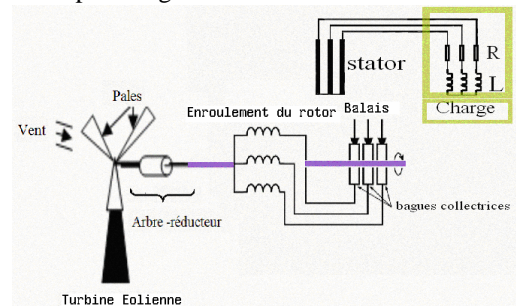


Fig. 1. Synoptique d'une chaîne éolienne.

A. Modélisation de la Turbine

L'expression de la puissance mécanique récupérée par la turbine [5] est :

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R_p^2 V^3 \quad (1)$$

Avec:

ρ :masse volumique de l'air($\rho= 1.3Kg / m$),
 V : vitesse du vent,
 C_p : coefficient de puissance.

Selon [6]–[7] ce dernier coefficient est approché par la formule suivante :

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.4233 \sin\left(\frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta}\right) - 0.0184(\lambda - 3)\beta \quad (2)$$

Où

λ : vitesse spécifique ;
 β : angle d'orientation des pales.

Alors le couple aérodynamique s'écrit [8]:

$$C_{aero} = \frac{P_{turbine}}{\Omega} = \frac{1}{2} \frac{C_p \rho \pi R^2 V^3}{\Omega} \quad (3)$$

Le multiplicateur adapte la vitesse lente des pales à la vitesse rapide de la machine par le gain G . Le couple mécanique C_m et la vitesse de la machine Ω_r sont exprimés respectivement dans (4) et (5) :

$$C_m = C_{aero} / G \quad (4)$$

$$\Omega_r = G\Omega \quad (5)$$

L'équation dynamique est donnée par :

$$J \frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{J}{p} \frac{d\omega_r}{dt} = C_m - C_{em} - f\Omega_r \quad (6)$$

Où

J : inertie totale qui apparaît sur l'arbre de la génératrice.

C_{em} : couple électromagnétique ;

p : nombre de paires de pôles ;

Ω_r : vitesse angulaire électrique du rotor ;

f : coefficient de frottement visqueux.

B. Modélisation de la Génératrice Asynchrone

La forme générale de l'équation des tensions de la génératrice asynchrone à double alimentation est obtenue par la somme de la chute ohmique et de la chute inductive due au flux total qui traverse l'enroulement.

$$\begin{bmatrix} V_{as} - V_{s-n} \\ V_{bs} - V_{s-n} \\ V_{cs} - V_{s-n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_{as} \\ \psi_{bs} \\ \psi_{cs} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{ar} - V_{r-n} \\ V_{br} - V_{r-n} \\ V_{cr} - V_{r-n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_r & 0 & 0 \\ 0 & r_r & 0 \\ 0 & 0 & r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_{ar} \\ \psi_{br} \\ \psi_{cr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tel que:

$$V_{s-n} = -\frac{1}{3} \left(\frac{d}{dt} \psi_{as} + \frac{d}{dt} \psi_{bs} + \frac{d}{dt} \psi_{cs} \right) \quad (8)$$

$$V_{r-n} = -\frac{1}{3} \left(\frac{d}{dt} \psi_{ar} + \frac{d}{dt} \psi_{br} + \frac{d}{dt} \psi_{cr} \right)$$

L'équation de flux est donnée par :

$$\begin{bmatrix} \psi_{abs} \\ \psi_{abcr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{sr}]^T & [L_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Avec:

$$\begin{aligned} i_{as} + i_{bs} + i_{cs} &= 0 \\ i_{ar} + i_{br} + i_{cr} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Le couple électromagnétique se calcule en dérivant cette dernière par rapport à la position Θ que prend le rotor vis à vis du stator. L'expression du couple

électromagnétique (C_e) peut finalement être déterminée grâce à la relation ci-dessous

$$C_{em} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i_{abs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix}^T \frac{d}{d\theta} \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{sr}]^T & [L_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Où, $[L_{ss}]$, $[L_{rr}]$ et $[L_{sr}]$, $[L_{rs}]$ sont respectivement les matrices des inductances propres et mutuelles des bobinages statoriques et rotoriques.

L'équation de mouvement du rotor de la machine asynchrone à double alimentation est donnée par la relation suivante :

$$C_r - C_{em} = J \frac{d\omega_r}{dt} + f\omega_r \quad (12)$$

$$C_{acc} = J \frac{d\omega_r}{dt} + f\omega_r$$

Avec C_{acc} , C_{em} et C_r désignent respectivement les couples d'accélération, électromagnétique et extérieur (ou résistant). (ω_r) est la vitesse de rotation mécanique, et f et J sont les caractéristiques mécaniques de la machine (respectivement le coefficient de frottement visqueux et le moment d'inertie des masses tournantes).

Le modèle finalisé de la simulation de la génératrice asynchrone à double alimentation est représenté par le model matriciel suivant [9]:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{abs} &= r_s [E] \bar{i}_{abs} + [L_{ss}] \bar{p} \bar{i}_{abs} + p [L_{ss}] \bar{i}_{abs} + [L_{sr}] \bar{p} \bar{i}_{abcr} + p [L_{sr}] \bar{i}_{abcr} \\ \bar{V}_{abcr} &= r_r [E] \bar{i}_{abcr} + [L_{rr}] \bar{p} \bar{i}_{abcr} + p [L_{rr}] \bar{i}_{abcr} + [L_{sr}]^T \bar{p} \bar{i}_{abs} + p [L_{sr}]^T \bar{i}_{abs} \end{aligned} \quad (13)$$

Tel que :

$$[E] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1) *L'excentricité Statique*: Pour une excentricité purement statique, la première approximation de l'ordre inverse de l'entrefer peut être exprimée en [10],

$$g^{-1}(\phi_s) = a_0 + a_1 \cdot \cos(\phi_s - \alpha) \quad (14)$$

Tel que $a_0=1/g_0$ et a_1 est appelée la facteur de perméabilité à l'excentricité statique,

$$a_1 = \frac{2(1 - \sqrt{1 - \delta_s^2})}{\delta_s \sqrt{1 - \delta_s^2}} \quad (15)$$

Où δ_s représente le degré d'excentricité statique.

2) *L'excentricité Dynamique*: Pour une excentricité dynamique, la première approximation de l'inverse de l'entrefer peut être exprimée comme suite [11], $g^{-1}(\phi_r) = a_0 + a_2 \cdot \cos(\phi_r - \beta)$ (16)

3) *L'excentricité Mixte*:

Dans le cas d'excentricité mixte [12]–[13], on a considère simultanément les deux défauts d'excentricités statique et dynamique dont la fonction correspondante est présentée par l'expression suivante:

$$g^{-1}(\phi_s, \phi_r) = a_0 + a_1 \cdot \cos(\phi_s - \beta) + a_2 \cdot \cos(\phi_r - \beta) \quad (17)$$

Les matrices d'inductances pour une excentricité mixte s'écrivent sous la forme matricielle suivante :

La matrice inductance des phases statoriques

est:

$$[L_{st}] = \begin{bmatrix} L_{s1} & 0 & 0 \\ 0 & L_{s2} & 0 \\ 0 & 0 & L_{s3} \end{bmatrix} + L_{sm} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ -1/2 & 1 & -1/2 \\ -1/2 & -1/2 & 1 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s^2}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1^2 & a_1 a_2 & a_1 a_3 \\ a_2 a_1 & a_2^2 & a_2 a_3 \\ a_3 a_1 & a_3 a_2 & a_3^2 \end{bmatrix} - \frac{\xi_d^2}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} b_1^2 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2^2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3^2 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 b_1 & a_1 b_2 & a_1 b_3 \\ a_2 b_1 & a_2 b_2 & a_2 b_3 \\ a_3 b_1 & a_3 b_2 & a_3 b_3 \end{bmatrix} - \frac{\xi_d \xi_s}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 b_1 & a_2 b_2 & a_3 b_3 \\ a_2 b_1 & a_3 b_2 & a_1 b_3 \\ a_3 b_1 & a_1 b_2 & a_2 b_3 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Tel que:

$$a_1 = \cos(\alpha), \quad a_2 = \cos(\alpha - 2\pi/3), \quad a_3 = \cos(\alpha - 4\pi/3)$$

$$b_1 = \cos(\theta_r + \beta), \quad b_2 = \cos(\theta_r + \beta - 2\pi/3), \quad b_3 = \cos(\theta_r + \beta - 4\pi/3)$$

La matrice des inductances mutuelles $[L_{sr}]$ mixed entre les trois phases statoriques et les trois phases rotoriques se met sous la forme matricielle suivante :

$$[L_{sr}] = L_{sm} \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_3 & c_1 & c_2 \\ c_2 & c_3 & c_1 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 d_1 & a_1 d_2 & a_1 d_3 \\ a_2 d_1 & a_2 d_2 & a_2 d_3 \\ a_3 d_1 & a_3 d_2 & a_3 d_3 \end{bmatrix} - \frac{\xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} b_1 e_1 & b_1 e_2 & b_1 e_3 \\ b_2 e_1 & b_2 e_2 & b_2 e_3 \\ b_3 e_1 & b_3 e_2 & b_3 e_3 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} d_1 e_1 & d_1 e_2 & d_1 e_3 \\ d_2 e_1 & d_2 e_2 & d_2 e_3 \\ d_3 e_1 & d_3 e_2 & d_3 e_3 \end{bmatrix} - \frac{\xi_d \xi_s}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 e_1 & a_1 e_2 & a_1 e_3 \\ a_2 e_1 & a_2 e_2 & a_2 e_3 \\ a_3 e_1 & a_3 e_2 & a_3 e_3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Tel que:

$$c_1 = \cos(\theta_r), \quad c_2 = \cos(\theta_r - 2\pi/3), \quad c_3 = \cos(\theta_r - 4\pi/3)$$

$$d_1 = \cos(\alpha - \theta_r), \quad d_2 = \cos(\alpha - \theta_r - 2\pi/3), \quad d_3 = \cos(\alpha - \theta_r - 4\pi/3)$$

$$e_1 = \cos(\beta), \quad e_2 = \cos(\beta - 2\pi/3), \quad e_3 = \cos(\beta - 4\pi/3)$$

La matrice des inductances du rotor est :

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & L_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & L_{r3} \end{bmatrix} - \frac{\xi_s}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} e_1^2 & e_1 e_2 & e_1 e_3 \\ e_2 e_1 & e_2^2 & e_2 e_3 \\ e_3 e_1 & e_3 e_2 & e_3^2 \end{bmatrix} + L_{rm} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ -1/2 & 1 & -1/2 \\ -1/2 & -1/2 & 1 \end{bmatrix} - \frac{\xi_d^2}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} d_1^2 & d_1 d_2 & d_1 d_3 \\ d_2 d_1 & d_2^2 & d_2 d_3 \\ d_3 d_1 & d_3 d_2 & d_3^2 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} d_1 e_1 & d_1 e_2 & d_1 e_3 \\ d_2 e_1 & d_2 e_2 & d_2 e_3 \\ d_3 e_1 & d_3 e_2 & d_3 e_3 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$d[L_{sa}]/d\theta_r = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{\xi_s^2}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} k_{11}^2 & k_{22} k_{11} & k_{33} k_{11} \\ k_{11} k_{22} & k_{22}^2 & k_{33} k_{22} \\ k_{11} k_{33} & k_{33} k_{22} & k_{33}^2 \end{bmatrix} + \frac{\xi_d \xi_s}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 b_{11} & a_1 b_{22} & a_1 b_{33} \\ a_2 b_{11} & a_2 b_{22} & a_2 b_{33} \\ a_3 b_{11} & a_3 b_{22} & a_3 b_{33} \end{bmatrix} + \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 b_{11} & a_1 b_{22} & a_1 b_{33} \\ a_2 b_{11} & a_2 b_{22} & a_2 b_{33} \\ a_3 b_{11} & a_3 b_{22} & a_3 b_{33} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$d[L_{sr}]/d\theta_r = d[L_{rs}]/d\theta_r = -L_{sm} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{22} & c_{33} \\ c_{33} & c_{11} & c_{22} \\ c_{22} & c_{33} & c_{11} \end{bmatrix} - \frac{\xi_s}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} a_1 d_{11} & a_1 d_{22} & a_1 d_{33} \\ a_2 d_{11} & a_2 d_{22} & a_2 d_{33} \\ a_3 d_{11} & a_3 d_{22} & a_3 d_{33} \end{bmatrix} - \frac{\xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} b_1 e_{11} & b_1 e_{22} & b_1 e_{33} \\ b_2 e_{11} & b_2 e_{22} & b_2 e_{33} \\ b_3 e_{11} & b_3 e_{22} & b_3 e_{33} \end{bmatrix} - \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{sm} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 \\ s_3 & s_1 & s_2 \\ s_2 & s_3 & s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Tel que :

$$k_{11} = \sin(2\theta_r + 2\beta), \quad k_{22} = \sin(2\theta_r + 2\beta - 2\pi/3), \quad k_{33} = \sin(2\theta_r + 2\beta - 4\pi/3)$$

$$b_{11} = \sin(\theta_r + \beta), \quad b_{22} = \sin(\theta_r + \beta - 2\pi/3), \quad b_{33} = \sin(\theta_r + \beta - 4\pi/3)$$

$$c_{11} = \sin(\theta_r), \quad c_{22} = \sin(\theta_r - 2\pi/3), \quad c_{33} = \sin(\theta_r - 4\pi/3)$$

$$d_{11} = \sin(\alpha - \theta_r), \quad d_{22} = \sin(\alpha - \theta_r - 2\pi/3), \quad d_{33} = \sin(\alpha - \theta_r - 4\pi/3)$$

$$s_1 = \sin(\alpha - \beta - 2\theta_r), \quad s_2 = \sin(\alpha - \beta - 2\theta_r - 2\pi/3), \quad s_3 = \sin(\alpha - \beta - 2\theta_r - 4\pi/3)$$

$$d[L_{rr}]/d\theta_r = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \frac{\xi_s^2}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} s_{11} & s_{22} & s_{33} \\ s_{22} & s_{33} & s_{11} \\ s_{33} & s_{11} & s_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{\xi_s \xi_d}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} d_{11} e_{11} & d_{11} e_{22} & d_{11} e_{33} \\ d_{21} e_{11} & d_{21} e_{22} & d_{21} e_{33} \\ d_{31} e_{11} & d_{31} e_{22} & d_{31} e_{33} \end{bmatrix} + \frac{\xi_d \xi_s}{2} L_{rm} \begin{bmatrix} d_{11} e_{11} & d_{11} e_{22} & d_{11} e_{33} \\ d_{21} e_{11} & d_{21} e_{22} & d_{21} e_{33} \\ d_{31} e_{11} & d_{31} e_{22} & d_{31} e_{33} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Ainsi que :

$$s_{11} = \cos(2\alpha - 2\theta_r), \quad s_{22} = \cos(2\alpha - 2\theta_r - 2\pi/3), \quad s_{33} = \cos(2\alpha - 2\theta_r - 4\pi/3)$$

Où ξ_s et ξ_d sont respectivement les coefficients d'excentricité statique et dynamique.

C. Modélisation de la Charge Triphasée(R L) de la Génératrice Asynchrone à Double Alimentation

Les charges étant connectées aux bornes statorique

de la génératrice, le système d'équations dans le repère triphasé dans le cas ou les charges étant connectées en étoile sans neutre est s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{cases} U_{ab} = R_{ch} i_{as} + L_{ch} \frac{di_{as}}{dt} - R_{ch} i_{bs} - L_{ch} \frac{di_{bs}}{dt} \\ U_{bc} = R_{ch} i_{bs} + L_{ch} \frac{di_{bs}}{dt} - R_{ch} i_{cs} - L_{ch} \frac{di_{cs}}{dt} \\ U_{ca} = R_{ch} i_{cs} + L_{ch} \frac{di_{cs}}{dt} - R_{ch} i_{as} - L_{ch} \frac{di_{as}}{dt} \end{cases} \quad (24)$$

Tel que

$$\begin{pmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} U_{ab} - U_{ca} \\ U_{bc} - U_{ab} \\ U_{ca} - U_{bc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{as} + V_{bs} + V_{cs} \\ V_{as} + V_{bs} + V_{cs} \\ V_{as} + V_{bs} + V_{cs} \end{pmatrix} \quad (25)$$

D. Limitation de la Vitesse Mécanique

La figure 3, montre la structure de la commande maximale pour le contrôle de la vitesse de rotation par orientation des pales (variation de β) [14].

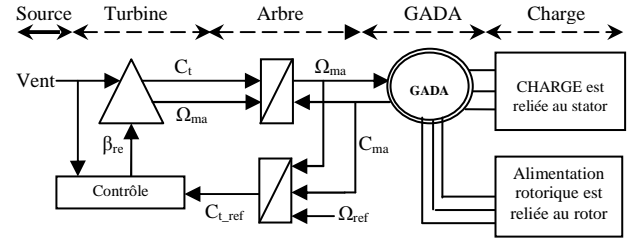


Fig. 3. Structure de la commande.

Le correcteur de vitesse est de type proportionnel avec une non linéarité.

Le couple Ct a été supposé proportionnel à la vitesse de rotation de la turbine wt.

La stratégie de command est implantée selon l'algorithme suivant :

$$\begin{cases} \beta_{ref} = \beta_0 = -2 & \text{Si } 0 < \omega_i < \omega_m \\ \beta_{ref} = \frac{\Delta\beta}{\Delta\omega} (\omega_i - \omega_m) + \beta & \text{Si } \omega_i > \omega_m \end{cases} \quad (26)$$

III. SIMULATION ET INTERPRETATION

Le schéma global de simulation du système Eolien est représenté selon la figure suivante.

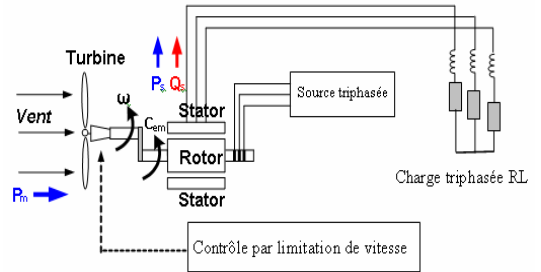


Fig.4 Représentation schématique de model de simulation

Dans cette application, nous considérons les données selon le Tableau N°:1.

TABLE 1:
DONNEE DE L'APPLICATION.

Vitesse de référence (Ω_{ref})	301.6 rd/s
Vitesse de vent (V)	12 m/s
Fréquence rotorique	2 Hz
16	200 Ω
Inductance de la charge (L_{ch})	500mH

1er Cas : génératrice sans défaut (saine)

Les résultats des simulations, montrés par la figure 4, présentent le comportement de la GADA pour un fonctionnement sain. Ils montrent, la vitesse de rotation Figure 4.a qui après un régime transitoire d'environ 0.7 seconde, elle atteint un régime permanent en se stabilisant à la vitesse de référence.

Au démarrage, la tension Figure 4.b et le courant Figure 4.c générés croient d'une façon exponentielle pendant quelques secondes, puis ils se stabilisent respectivement à 550 V et à 6A en régimes totalement établis à $t=1.2s$, en même temps la fréquence Figure 8.a se stabilise à 50Hz, puis poursuivent leurs évolutions avec des amplitudes constantes sachant que la fréquence rotorique est maintenue constante, à $t=2.5s$ nous augmentent la vitesse de référence à 360 rd/s, la vitesse de rotation suit bien la référence, la tension et le courant statorique augment en amplitude et en fréquence (Figure 8.b). Les figures précédentes montre aussi l'évolution de la tension et du courant rotorique de la GADA. L'allure de cette tension montre que celle-ci évolue d'une façon périodique avec une fréquence de 2 Hz.

L'allure du courant rotorique se stabilise à la deuxième alternance. Puis il évolue d'une manière sinusoïdale d'amplitude constante égale approximativement à 7A, et de fréquence identique à celle de la tension rotorique. À l'instant $t=3.5s$ nous augmentant l'amplitude de la tension rotorique à 50V, instantanément la tension statorique augment à une valeur de 1000V, ainsi que les courants statorique et rotorique augmentent respectivement à des valeurs de 10 et 11A.

La Figure 3.7.d présente l'évolution du couple électromagnétique qui après une période transitoire d'environ 0.7 seconde, il atteint un régime permanent en se stabilisant à un couple de 19N.m, puis à $t=3.5s$ il augmente à 50Nm grâce à l'augmentation de la tension rotorique.

2^{ème} Cas: génératrice asynchrone à double alimentation avec défaut d'excentricité statique.

Dans le but de déterminer les limites de fonctionnement du système, nous avons réalisé un essai avec un défaut d'excentricité statique au rotor de la GADA à l'instant $t=2s$ sur la même chaîne de conversion. En revanche, lorsqu'une excentricité statique est créée, des ondulations apparaissent nettement sur les tensions (Figure 5.b) et les courants statorique (Figure 5.c). Ceci nuit au fonctionnement

global du système puisque ces ondulations peuvent être responsables d'oscillations de couple de la machine (Figure 5.d) et peuvent générer des perturbations sur le fonctionnement de la GADA et donc sur le système éolien.

Nous pouvons aisément en conclure que l'analyse directe de l'amplitude de la tension est difficile et qu'il est par conséquent conseillé ou plus judicieux de traiter le signal afin d'en ressortir des données plus représentatives. C'est donc en utilisant la transformée de Fourier Rapide (FFT) que nous allons pouvoir mettre en évidence des critères plus représentatifs telles que l'apparition de raies de fréquences [17]: $f_d = \{(k*N_r)*(1-g)/p \pm n_w\} fs$, où $n_w=1, 3, 5...$

3^{ème} Cas : génératrice asynchrone à double alimentation avec défaut d'excentricité dynamique.

Les résultats de simulations, montrés par la figure 6, présentent le comportement de la même chaîne de conversion avec un défaut de d'excentricité dynamique au rotor de la GADA à l'instant $t=2s$.

Au démarrage, les mêmes essais de simulation que le 2^{ème} cas. En revanche, lorsqu'un défaut rotorique d'excentricité dynamique est créé, des ondulations apparaissent sur les tensions et les courants statorique dues au défaut survenu sur le rotor.

Grâce à l'analyse spectrale de la tension statorique (figure 8.d), nous pourrions observer la présence des raies autour du fondamental dont les fréquences correspondent à la relation mathématique suivante [15]: $f_d = \{(k*N_r \pm 1)*(1-g)/p \pm n_w\} fs$ où $k=1, 2, 3...$, N_r : nombre d'encoche au rotor.

4^{ème} Cas : génératrice asynchrone à double alimentation avec défaut d'excentricité mixte

Les résultats de simulation avec l'application d'un défaut d'excentricité mixte au rotor de la GADA sont présentés par la figure 7, après l'application de ce défaut à $t=2s$, des ondulations apparaissent nettement sur les tensions (Figure 7.b) et les courants statorique et rotorique (Figure 7.c). Ce type de défaut crée des perturbations au fonctionnement global du système.

La figure 8.e présente le continu spectral de la tension statorique de la génératrice asynchrone à double alimentation avec défaut d'excentricité mixte.

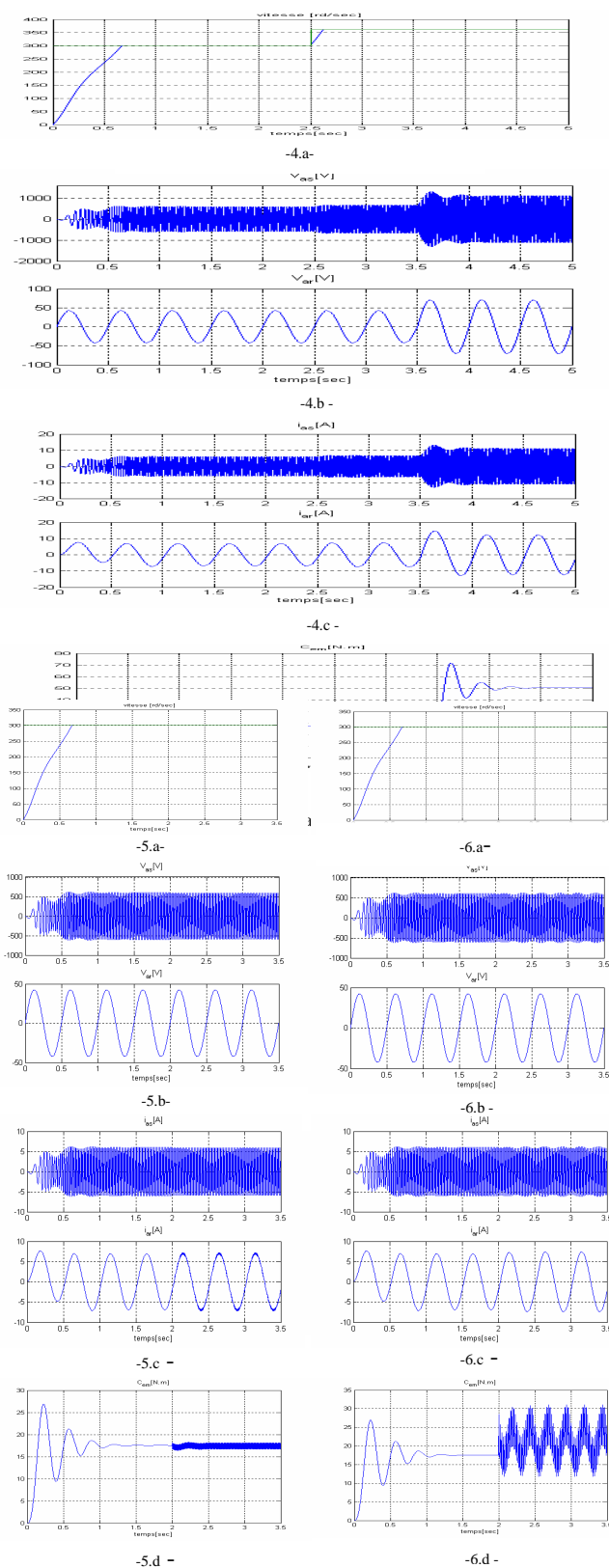
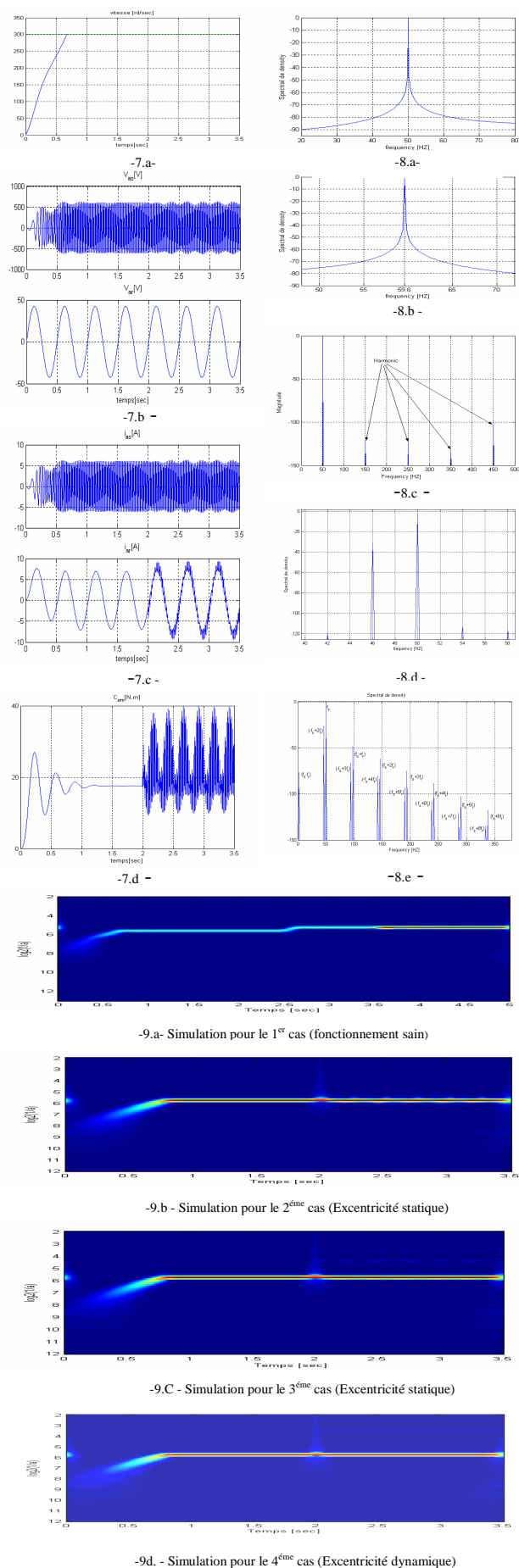

Fig. 5. Simulation pour le 2^{ème} Cas.


Fig. 9. Analyse temps fréquence de la tension statorique de la GADA par les Ondelettes

Pour le premier cas (génératrice saine) et grâce à l'application de l'analyse en ondelette sur la tension statorique de la génératrice asynchrone à double alimentation, nous pourrions observer la variation de la fréquence fondamentale en fonction du temps, donc cette technique donnera l'information de temps que nous manquons lors de l'application de l'analyse FFT.

Pour les autres cas (génératrice défaillante) et avec l'application de l'analyse en ondelette, sur la tension statorique de la GADA nous pourrions détecter les défauts de cette machine et également de savoir l'instant où le défaut se manifeste.

IV. CONCLUSION

A l'issue de ce travail, nous avons mis en évidence que l'analyse spectrale FFT de la tension statorique de la génératrice asynchrone à double alimentation d'une chaîne éolienne permet de détecter et diagnostiquer les défauts d'excentricité statique, dynamique ou mixte au rotor de cette génératrice en régime permanent. L'outil temps – fréquence (STFT) permet d'effectuer une surveillance en temps réel pendant les deux régimes transitoire et permanent. Cette technique nécessite de faire le bon choix de fenêtrage par rapport à l'allure du signal. En effet, si on réduit la largeur de la fonction d'analyse afin d'augmenter la résolution temporelle, on va créer artificiellement un signal de durée limitée, donc à spectre large.

Cette technique de diagnostic permettra de fournir des informations sur le fonctionnement de la chaîne. Elle est capable aussi de provoquer dans les cas graves un arrêt de l'installation ou de permettre au système de production de continuer de fonctionner en mode dégrade en cas de problème ne nécessitant pas un arrêt immédiat.

REFERENCES

- [1] S. El Aimani, "Modélisation de Différentes Technologies d'Eoliennes Intégrées dans un Réseau de Moyenne Tension," Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, Décembre 2004.1
- [2] L. Krichen and A. Ouali, "Voltage Stability and Dynamic Performances Analysis of Wind Turbine Induction Generator Unit," Electrimacs 2005, Hammamet, Tunisie, 17-20 Avril 2005.3
- [3] L.Krichen,B. François et A.Ouali, "Modélisation, commande et interaction de deux éoliennes à vitesse variable,"Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 225 – 230.
- [4] E.S. Abdin and W. Xu, "Control Design and Dynamic Performance Analysis of a Wind Turbine Induction Generator Unit,"IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 15, N°1, pp. 91 – 96, March 2000.
- [5] O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed, " Modélisation d'une chaîne de conversion éolienne de petite puissance," Electrotechnique du Futur 2001 – Nancy 14-15 novembre 2001.
- [6] A.Menacer,M.Said,N.Said, "Stator Current Analysis Of Incipient Fault Into Asynchronous Motor Rotor Bars Using

- Fourier Fast Transform," Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 55, NO. 5-6, 2004, 122-130.
- [7] E. Merabet, R. Abdessemed, H. Amimeur, F. Hamoudi, L.Abdelhamid, "Influence de la Charge sur une Génératrice Asynchrone Double Etoile (GASDE)," International Conference on Renewable Energy ICRE'07, University of Bejaia, 25-27 Nov. 2007, pp. 63-68 (CDROM).
- [8] L.Leclercq, "Apport du stockage inertiel associé à des éoliennes dans un réseau électrique en vue d'assurer des services systèmes,"Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, Décembre 2004.
- [9] M. Blodt, J. Regnier, and J. Faucher, "Distinguishing load torque oscillations and eccentricity faults in induction motors using stator current wigner distributions," Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference, Oct. 2006.
- [10] D. G. Dorrell, W. T. Thomson, S. Roach, "Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors," IEEE Transactions on Industrial Applications, vol. 33, no. 1, pp. 24-34, Jan.-Feb. 1997.
- [11] S. Nandi, R. M. Bharadwaj, H. A. Toliyat, "Mixed eccentricity in three phase induction machines: analysis, simulation and experiments," Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference, vol. 3, pp.1525-1532, Oct. 2002.
- [12] S. Nandi, R. M. Bharadwaj, H. A. Toliyat, "Performance analysis of a three-phase induction motor under mixed eccentricity condition," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 17, no. 3, pp. 392-399, Sep. 2002.
- [13] J. Antonino-Daviua, P. Joverb, M. Riera, A. Arkkio, J. Roger-Folcha, "DWT analysis of numerical and experimental data for the diagnosis of dynamic eccentricities in induction motors," Mechanical Systems and Signal Processing 21 (2007) 2575–2589.
- [14] B. Singh, M. V. Verma, A. K. Tandon, "Rating Reduction of Static Compensator for Voltage Control of Three-Phase Self-Excited Induction Generator," in IEEE ISIE, Montréal, Québec, Canada, July 9–12 2006, pp. 1194–1199.
- [15] M.H. Benbouzid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," IEEE Transactions on Industrial Electronics 47 (5) (2000).

ESTIMATION DES PRECIPITATIONS PAR UNE APPROCHE BASEE SUR LA DUREE DE VIE DES NUAGES A SOMMETS FROIDS

Slimane Hameg, Zohra Ameer, Mourad Lazri, Fethi Ouallouche

Résumé — Dans ce travail, nous présentons une méthode d'estimation des précipitations basée sur le calcul des durées du nuage à sommet froid. Le traitement consiste d'abord à définir un seuil de température pour le canal infrarouge, et par la suite à comptabiliser sur chaque image les pixels dont les comptes numériques indiquent des températures inférieures à ce seuil. Puis on cumule les comptages réalisés sur des périodes à savoir, journalières, décadaires et mensuelles. On tire le coefficient d'estimation après que les comptages soient confrontés aux données pluviométriques du même moment et issues des stations météorologiques. Ensuite, une régression linéaire sera établie pour déterminer deux coefficients a_1 et a_0 respectivement pente et ordonnée à l'origine de la ligne de régression. Ceci est appliqué sur toute la zone d'étude, pour différentes échelles temporelles et pour différents seuils de température, entre les données brutes de pluie d'une part et les fréquences d'apparition de nuages à sommets froids d'autre part.

Mots clés — Images Météosat, Estimation des Précipitations, Traitement d'images, Nuages.

I. INTRODUCTION

La télédétection se présente comme l'unique moyen permettant une couverture continue dans le temps et dans l'espace de l'atmosphère. L'estimation des précipitations par télédétection a fait l'objet de recherches déjà anciennes. L'objectif de ces recherches est d'explorer les possibilités d'estimation de la pluie. Pour cela, différentes méthodes d'estimations de précipitations en utilisant les données satellitaires ont été mises en œuvre [2], [3].

De nombreuses méthodes ont montré l'existence d'une forte corrélation entre la quantité de pluie contenue dans les cellules convectives, et les propriétés spectrales des nuages (température de brillance) et également ses propriétés structurelles (altitude, surface et épaisseur).

Slimane Hameg, Zohra Ameer, Mourad Lazri and Fethi Ouallouche are with the Laboratoire d'analyse et de Modélisation des Phénomènes Aléatoires, Faculté de Génie Electrique et Informatique Université Mouloud Mammeri, BP 17 RB 15000 Tizi-ouzou Algérie, hamegslimane@hotmail.fr

En général, Ces techniques se basent principalement sur des relations statistiques assignant un taux de pluie à chaque type de nuage, selon les caractéristiques des nuages déduites à partir des mesures IR.

II. DONNÉES UTILISÉES

Les données satellitaires utilisées dans cette étude sont des images Météosat collectées par le satellite Météosat-4 dans le canal infrarouge (Figure 1) durant la période allant de 12 Novembre 1994 au 08 Janvier 1995. La région d'étude concerne le nord de l'Algérie. Elle se situe entre 34° nord et 37° nord, et entre 9° est et 2° ouest. Ces images sont fournies en unités de comptes numériques (CN) pour chaque pixel. Ces comptes numériques sont obtenus par la numérisation du signal électrique mesuré par les capteurs sur 8 bits (256 valeurs) pour le Météosat de première génération. La relation entre le compte numérique d'un Pixel et la température est donnée par la relation suivante :

$$T (^{\circ}\text{C}) = 55 - \text{CN}/2 \quad (1)$$

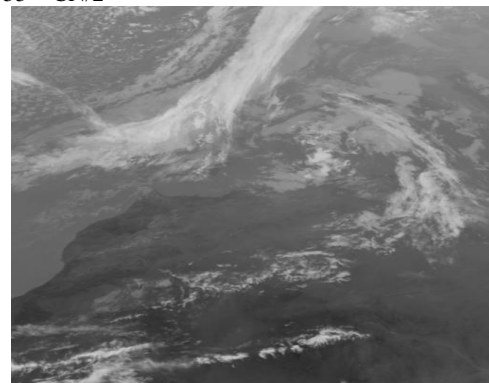


Figure1 : Image infrarouge prise le 27 /11/1994

Ces images satellitaires sont couplées aux mesures au sol collectées aux mêmes instants par les différentes stations pluviométriques. La répartition des stations météorologiques en Algérie est illustrée par la figure suivante:

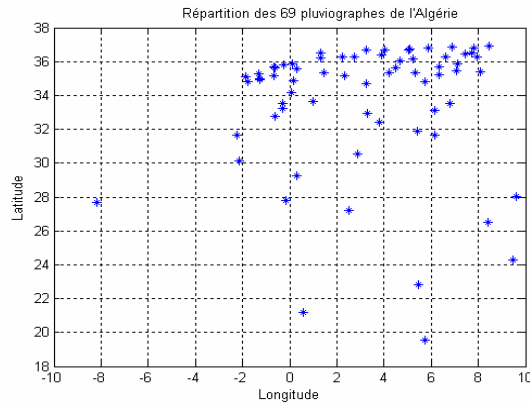


Figure 2 : Réseau des stations météorologiques en Algérie.

III. MÉTHODOLOGIE

A. Calcul de la fréquence d'apparition

Un nuage pluvieux et à grand développement vertical tel qu'un Cumulonimbus se distingue, dans l'infrarouge, par son sommet très froid d'un stratus bas, dense mais chaud. L'utilisation de ce type d'analyse permet une cartographie des genres nuageux [1]. On isole, par ce moyen, les nuages responsables de la grande partie des précipitations comme les Cumulonimbus et on établit une statistique. Divers obstacles empêchent cependant de procéder de la sorte, les principaux obstacles étant la variabilité extrêmement rapide de ces nuages et leur grande abondance en soirée et de nuit, à un moment où la donnée visible fait défaut. Après diverses tentatives et de nombreux tests, il a été constaté qu'il est possible de discriminer de façon satisfaisante, dans l'infrarouge et le visible, les nuages pluvigènes (cumulonimbus) à sommet froid, des autres nuages (cirrus) en utilisant des seuils de température, dans une fourchette comprise entre -35°C et -45°C . Le recensement des nuages à sommets froids est réalisé sur des images infrarouges. On comptabilise sur chaque image les comptes numériques indiquant des températures inférieures à un seuil préalablement défini pour le canal infrarouge. Ce seuil peut varier selon la zone d'étude. Par la suite, on cumule les comptages sur des périodes à savoir, journalière, décadaire et mensuelle. Ces résultats sont confrontés aux données disponibles dans les différentes stations pluviométriques du pays, une relation qui fournit les coefficients de l'estimation sera ensuite tirée.

Sachant que le réseau pluviométrique de l'Algérie ne couvre pas la totalité de la région étudiée, cela engendre la difficulté qui consiste dans la coïncidence spatio-temporelle (ou localisation) des stations météorologiques aux images satellitaires. Pour résoudre cette contrainte, nous avons pris une carte climatique où figurent presque la totalité des stations météorologiques en Algérie que nous superposerons par la suite sur l'image satellitaire dans le but de repérer les stations sur cette image. Ainsi, seuls les pixels qui couvrent des zones contenant des stations pluviométriques seront pris en considération dans le traitement.

B. Différentes échelles utilisées

Nous avons traité les mêmes images infrarouges pour différents seuils de températures (-40°C , -38°C , -35°C). Rappelons que pour notre étude trois échelles temporelles ont été considérées, à savoir l'échelle journalière, l'échelle décadaire et enfin l'échelle mensuelle.

IV. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Les figures suivantes donnent les résultats obtenus pour le seuil de température (-38°C) et pour les différentes échelles temporelles. Ces figures représentent des couples de points (A, T), où A représente la donnée au sol et T la fréquence d'occurrence. D'après la méthodologie élaborée, on remarque que le seuil de Température (-38°C) convient à l'estimation des précipitations dans la zone d'étude. Dans ce qui suit, on présentera uniquement les résultats obtenus pour ce seuil.

1). Échelle journalière

L'expérience faite à partir des comptages cumulés pendant une journée pour un seuil de température de -38°C donne un coefficient de corrélation de 0,8994. Comme la période d'étude est courte, on observe d'importantes fluctuations des points. Toutefois, la dispersion des points autour de la droite de régression est relativement constatée (voir Figure 3).

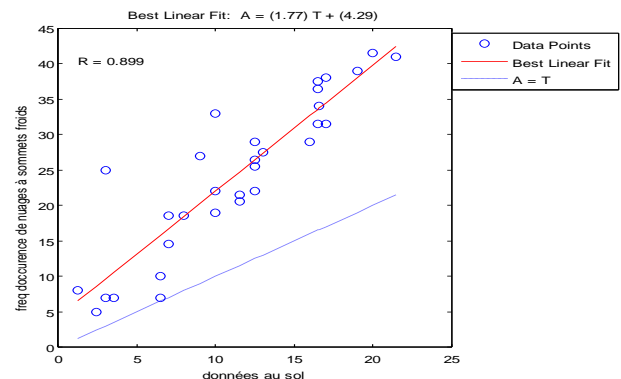


Figure 3. Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol

2). Échelle décadaire

Pour le même seuil et dans le cas de l'échelle décadaire, une légère amélioration de la corrélation est observée. Cette dernière est passée à 0,916 (figure 4). Contrairement aux fréquences allant 200 à 250, on remarque que la dispersion des points autour de la droite de régression est importante pour quelques fréquences de l'intervalle [300,400]. L'augmentation de la corrélation est due à l'étalement de la période d'étude, ce qui nous permet de comptabiliser plus de nuages à sommets froids. La liaison entre les données au sol et la fréquence d'occurrence de nuages à sommet froid est acceptable.

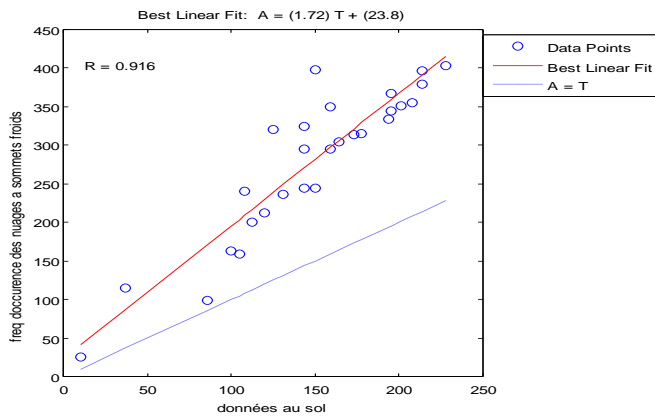


Figure 4. Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol

3). Échelle mensuelle

Une nette amélioration de la corrélation entre la fréquence d'occurrence de nuages à sommets froids et les données au sol est observée, pour l'échelle mensuelle et pour le même seuil de température (Figure 5). Cette corrélation vaut 0.957. La dispersion des points autour de la droite de régression est faible. L'importante amélioration des points est due à la longue période d'étude qui engendre la considération de plus. Il en résulte une bonne liaison entre les données au sol et la fréquence d'apparition des nuages à sommets froids.

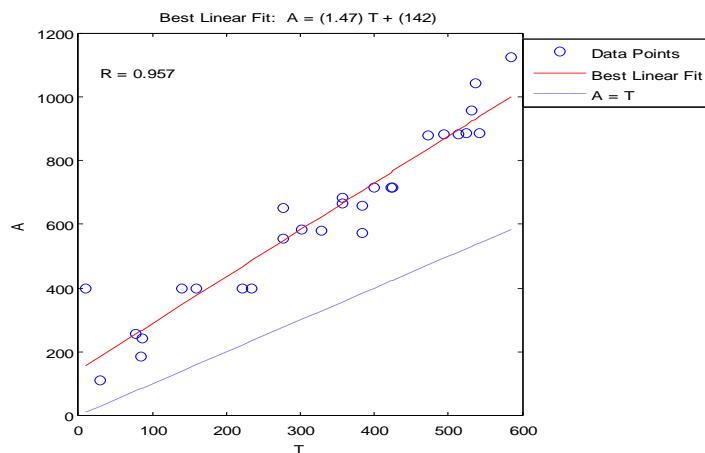


Figure 5 : Régression linéaire entre fréquence d'apparition de nuage à sommet froid et données sol

V. CONCLUSION

D'après l'ensemble des résultats obtenus, il existe une forte corrélation entre fréquence d'occurrence de nuage à sommet froid (nuage précipitant) et l'intensité des la précipitation reçues au sol. Toutefois, cette méthode présente quelques limitations dans la discrimination des nuages stratiformes et convectif. Pour y remédier, il serait intéressant de mettre à notre disposition un nombre de stations beaucoup plus important que celui que nous avons utilisé afin de bien exploiter précipitations reçues au sol peut être envisagée à partir des données MSG (Meteosat Seconde Generation).

Muni de 12 canaux, d'une résolution de 3 Km et d'une fréquence de prise de 15 minutes, les erreurs seront certainement revues à la baisse.

REFEENCES

- [1] Guillot. B. L'utilisation des satellites météorologiques pour l'estimation de la pluie en zone sahelo-soudanienne au centre de météorologie spatiale de Lannion. Atlas des îles et Etats du pacifique sud. *ORSTOM Actualités.*, pp I-IV, France, 1990.
- [2] Jobard. I. et Debois. M., Télédétection spatiale des précipitations. *Rapport de laboratoire de météorologie dynamique-CNRS. Ecole polytechnique*, France, 2002.
- [3] Nauss. T and Kokhanovsky. A. A. Assignment of rainfall confidence values using multispectral satellite data at mid-latitude: first results. *Advances in Geosciences, Copernicus GmbH on behalf of the European Geosciences Union*, 2007.

LES MOUCHES SYSTEME MULTI AGENTS EVOLUTIONNAIRE CLASSIFICATION NON SUPERVISEE DES IMAGES

H. Fizazi Izabatene , S. Ghardaoui

Résumé— Afin de réaliser une classification non supervisée des images nous allons faire appel à un système multi-agent résultant d'une vision de l'intelligence collective tout s'inspirant des mouches comme nuage d'insectes volants qui collabore entre eux pour accomplir des tâches qu'ils ne sauraient exécuter individuellement. Ce système dit algorithme des mouches suit un processus évolutif en bénéficiant de la bonne codification des systèmes immunitaires artificiels, ce qui mène à une minimisation remarquable du temps d'exécution ainsi que l'espace mémoire utilisée.

Mots Clés— classification non supervisée, image, algorithme des mouches système multi agents, algorithme évolutif.

I. INTRODUCTION

Depuis longtemps, l'être humain a toujours eu l'ambition d'imiter des actions humaines en mettant en œuvre des méthodes bio-inspirées afin de résoudre des problèmes complexe. Parmi ces problèmes on trouve la classification non supervisée des images consiste à rechercher des groupes homogènes dans un ensemble de données, sachant que le nombre de classes et leurs significations ne sont pas connus [1] [2].

L'actualité dans ce domaine est l'utilisation des métaheuristiques qui sont réputées plus robustes et plus efficaces (tel que les algorithmes génétiques dans [7] et les systèmes immunitaires artificiels dans [8]). Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'algorithme des mouches qui associe avec l'aspect collectif des systèmes multi agents [19] avec les opérateurs de variation des algorithmes évolutionnaires tout en utilisant la codification des classes des systèmes immunitaires artificiels. Cela a été déjà appliqué avec succès dans quelques domaines tel que la robotique et la stéréovision [6]. Ainsi nous allons voir qu'il est même

possible de l'utiliser pour résoudre le problème de la classification non supervisée des images[15] [16], tout en essayant plusieurs fonctions d'évaluation (fitness) pour pouvoir juger laquelle est la plus appropriée à notre application.

II. SYSTEMES MULTI-AGENTS (S.M.A.)

Mettre en œuvre des simulations multi-agents consiste à concevoir, construire et modéliser un système complexe comme constitué d'entités individualisées disposant d'un certain degré d'autonomie et interagissant les uns avec les autres. Une telle approche est proposée, aujourd'hui, à la fois pour la résolution de problèmes en intelligence artificielle et pour la représentation de processus en économie, écologie, géographie, ou physique. Elle est de plus en plus utilisée pour représenter des dynamiques spatialisées [19].

III. ALGORITHME DES MOUCHES A ASPECT COLLECTIF

Ce nouvel algorithme sous forme de système multi-agent évolutionnaire qui permet de laisser le système développer sa propre évolution. Cette évolution s'appuie sur la création, à l'aide d'opérateurs dérivés des algorithmes évolutionnaires (croisement, mutation et y ajoute la migration) d'une suite de populations d'agents dits mouches qui "converge" vers une population dont le comportement sera jugé optimal.

Les principaux intérêts de l'algorithme des mouches [5] avec sont la représentation réduite des agents et une convergence rapide, et ce en utilisant l'Approche Parisienne. D'où leur utilité et leur popularité dans le traitement en temps réel que nécessite certaines applications robotiques. Nous allons voir qu'il est cependant possible de les utiliser pour résoudre le problème de classification non supervisée.

A. Approche Parisienne

Dans la plupart des approches évolutives, chaque agent de la population représente une solution potentielle au problème traité. Cette approche s'est révélée efficace pour les algorithmes génétiques, mais présente un problème si la solution encodée en agent est de grande taille. Manipuler une population d'un nombre important

Article reçu le 30octobre2011 . Université des sciences et technologie d'ORAN . Laboratoire SIMPA, équipe imagerie et décision .

H. Fizazi Izabatene : maître de conférence, département informatique, faculté des sciences Université des Sciences et Technologie d'ORAN MB. Directrice de recherche de l'équipe "imagerie et décision "laboratoire SIMPA. (e-mail: hadriaifizazi@yahoo.fr).

S. Ghardaoui : magistère département informatique, faculté des sciences Université des Sciences et Technologie d'ORAN MB. Membre de l'équipe "imagerie et décision "laboratoire SIMPA (e-mail: ghasar85@gmail.com).

d'individus qui sont eux-mêmes volumineux peut s'avérer très couteuse en espace et en temps. Ce problème a rendu difficile l'utilisation des approches évolutives dans des environnements où les contraintes de ressources et de temps sont grandes, notamment dans les systèmes embarqués et la robotique.

L'approche Parisienne, explore une nouvelle possibilité de codage de la solution. Tout agent (mouche) n'est donc plus une solution, mais un fragment de celle-ci, c'est-à-dire la solution est la combinaison de tous les agents.

Il y a deux conditions nécessaires à la mise en œuvre de cette approche :

- La solution peut être décomposée en éléments séparés.
- Les agents (fragments de solution) peuvent être jugés séparément par une fonction de fitness (ou fonction objectif), et cette fonction doit être représentative de la « qualité » de la solution générale. [6]

Par la suite nous verrons comment le problème de la classification non supervisée peut satisfaire ces conditions.

IV. APPLICATION DE L'ALGORITHME DES MOUCHES A LA CLASSIFICATION

Pour adapter l'algorithme des mouches avec Approche Parisienne au problème de la classification non supervisée des images, d'abord il faut satisfaire les deux conditions citées précédemment : à savoir coder les agents de façon à ce que toute la population soit une solution potentielle au problème, et trouver une fonction qui évalue ces agents de façon à ce que la qualité de la classification soit bonne.

A. Initialisation de la population

Pour la codification, on a exploité celle des Systèmes Immunitaires. On crée aléatoirement une population de 'u' anticorps, qui vont être les agents de la population P_t . Chaque agent (encodé avec des nombres réels positifs) représente une classe. La taille de la population est déterminée par le nombre maximal de classes.

B. Croisement

Il est important de noter que la méthode de croisement choisie dépend de la représentation des agents (dans notre travail la représentation est réelle). Ainsi, pour calculer les nouveaux agents (les enfants) P_{t+1} il suffit de choisir un point de coupure (c'est-à-dire une position dans la chaîne) à partir de laquelle les données sont échangées entre les deux parents.

C. Mutation

La mutation est le deuxième opérateur de variation utilisé juste après le croisement. Elle consiste à modifier les agents issus du croisement.

Dans le cas d'une représentation réelle, la manière la plus simple est d'ajouter à chaque composante de l'agent une réalisation d'une loi normale centrée (d'espérance nulle et d'écart-type fixé par l'utilisateur).

D. Migration

Pour La migration consiste à introduire un nombre prédéfini de nouveaux agents P_{γ} créés aléatoirement dans la population courante, afin d'assurer la diversité de la population.

E. Evaluation des agents et sélection pour le remplacement de la population

Après avoir obtenu une population P' (les parent P_t , ainsi que de P_{β} enfants à partir du croisement de u parents, P_{α} des mutations des enfants et P_{γ} issu de la migration; on doit évaluer les agents. Pour cela on va utiliser plusieurs fonctions, afin de les comparer pour pouvoir choisir la fonction la plus adéquate à notre algorithme.

Erreur quadratique moyenne(E)

La première fonction est l'erreur quadratique moyenne, c'est la plus couramment utilisée pour mesurer la compacité des groupes, la fonction est défini par l'équation suivante :

$$E = \left(\sum_i \sum_k d(x_i, u_k) \right) / N \quad (1)$$

Où ' x_i ' les objets à classer, ' u_k ' agents 'd' est une distance normalisée quelconque et 'N' nombre total de pixels.

Une bonne partition est indiquée par une petite valeur de E.

Davies-Bouldin (DB)

Cette fonction tient compte à la fois de la compacité et de la séparabilité des groupes [9][11]. D'abord, chaque x_n pixel de l'image entière est attribué à l'agent le plus proche, voir équations(2):

$$\mu_{kn} = \begin{cases} 1; & \|x_n - u_k\| \leq \|x_n - u_j\|, \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad 1 \leq k, j \leq K; j \neq k; 1 \leq n \leq N \quad (2)$$

Où

x_n = n ième objet.

N = nombre total de pixels.

u_k = k ième agent de la précédente itération (= génération).

K = nombre maximal de classes.

μ_{kn} = fonction d'appartenance de chaque x_n pixel appartenant à la k ième classe.

Ensuite, on calcule la moyenne et l'écart type pour chaque classe, équation (3) et (4) :

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^N (\mu_{i,k}) x_i}{\sum_{i=1}^N (\mu_{i,k})} = \frac{\sum_{x_i \in X_k} x_i}{M_k} \quad 1 \leq k \leq K \quad (3)$$

$$S_k = \left(\frac{1}{M_k} \sum_{x_i \in X_k} \|x_i - v_k\|^2 \right)^{1/2} \quad 1 \leq k \leq K \quad (4)$$

Et on détermine de la distance euclidienne entre les classes équation (5):

$$d_{kj} = \|v_k - v_j\| \quad 1 \leq k, j \leq K ; j \neq k \quad (5)$$

Par la suite, la valeur R est calculée pour chaque classe comme indiqué dans l'équation. (6) :

$$R_k = \max_{j, j \neq k} \left\{ \frac{S_k + S_j}{d_{kj}} \right\} \quad 1 \leq k \leq K \quad (6)$$

La valeur DB est alors définie par la moyenne des 'k' valeurs de R, équation (7):

$$DB = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K R_k \quad (7)$$

Ainsi de faibles valeurs du DB sont indicatives de la présence de groupes compacts et bien séparés.

Xie-Beni indice (XBI)

Cette fonction cherche à mesurer la séparabilité des groupes [9][10]. Pour commencer on reprend les équations (1) et (2) de la fonction DB.

Par la suite, on calcule la distance entre chaque deux agents, ainsi on prend la distance minimale voir équation (8) :

$$d_{\min} = \min_{\substack{k, j=1 \dots K \\ \text{and } k \neq j}} \{d_{kj}\} \quad (8)$$

Le XBI est exprimé par l'équation (9) :

$$XBI = 1 / \left(\frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \mu_{ik} \|x_i - v_k\|^2}{N * (d_{\min})^2} \right) \quad (9)$$

Donc, une grande valeur de cet indice indique une forte séparabilité des groupes.

Après l'évaluation des agents, il faut appliquer une stratégie pour sélectionner les 'u' agents qui feront partie de la population de la génération suivante (c'est-à-dire à la prochaine itération). Plusieurs remplacements existent, Celui qui a été jugé efficace pour notre application est le remplacement élitiste et qui a pour principe de garder les parents qui sont plus performants que les enfants, sans faire de distinction entre parents et enfants et de garder les μ meilleurs agents parmi les P'.

Algorithme des mouches

1. Initialiser une population Pt de μ agents.
2. Tant que (condition d'arrêt = Faux) faire

- Créer β agents par croisement à partir de Pt pour former la population P β
- Créer une population P α avec ces agents mutés.
- Générer aléatoirement γ agents pour former la population P γ
- P' \leftarrow Pt + P β + P α + P γ
- Evaluer tous les agents de P' grâce à une fonction de fitness et choisir les μ meilleurs (Pt \leftarrow meilleurs agents de P') Š

Fin tant que.

Une fois la condition d'arrêt est vérifiée (nombre de générations atteint), on aura en sortie les 'u' meilleurs agents représentatifs des classes. A ce stade, on calcule la distance entre chaque pixel de l'image et les 'u' meilleurs agents, ainsi l'affectation sera à l'individu le plus proche.

V. MISE EN ŒUVRE

L'application de l'algorithme des mouches, comme tout algorithme évolutif, est influencé par des facteurs tel que la forme du codage (binaire ou nombre réel), la taille de la population, la fonction de remise en forme, les opérateurs génétiques (croisement, mutation)... Dans ce qui suit nous allons discuter les paramètres fixés en expliquant les raisons, ainsi que ceux qu'on va varier.

A. Discussion des paramètres

Pour fixer le nombre maximal de classes on estime (de façon visuelle) le nombre de classes constituant l'image, et par la suite on le multiplie par deux.

Le modèle de croisement utilisé est la généralisation de la méthode de croisement de chaînes binaires avec un seul point de coupure pour sa simplicité d'implémentation.

En ce qui concerne l'écart type de la loi normale (mutation), il est important de noter que malgré la différence existante entre les agents, leur performance soit à peu près égale ; ce phénomène induit à une convergence prématurée. Pour palier ce risque, il vaut mieux réduire la variance en utilisant la loi normale centrée réduite (espérance=0, écart type = 1).

Un autre paramètre à fixer, le nombre d'agents migrés, ce paramètre influe sur la convergence de l'algorithme en cas de migrer un nombre élevé d'agents; dans le cas contraire, la diversité de la population s'affaiblie. Pour cette raison, il est préférable de migrer 'u' agents.

Le nombre de générations 'It' est le seul paramètre qui reste à varier pour savoir ce que cela donne.

Remarque

Il est important de noter que l'agent est un vecteur de trois éléments (RVB).

B. Discussion des résultats

Nous allons appliquer l'algorithme des mouches avec l'approche parisienne pour la classification non supervisée des images. Les images utilisées sont illustrées par la Figure 1.

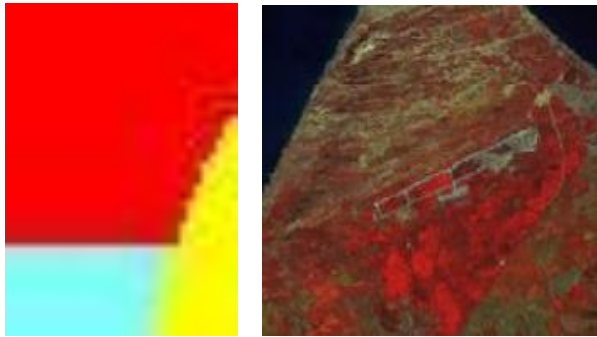


Fig. 1. Images utilisées image test, image satellitaire (de gauche à droite)

Essai 1

Comme premier essai on va appliquer notre algorithme sur l'image test tout en variant la fonction fitness (E, DB, XBI) avec le nombre de génération = 1.

Et puisque notre algorithme se base sur une initialisation aléatoire, donc pour évaluer les résultats de la classification obtenus avec différentes fonctions fitness, nous avons effectué pour chaque fonction dix exécutions ; par la suite on a calculé la moyenne des inerties intra classe ainsi que le temps d'exécution nécessaire.

	<i>E</i>	<i>DB</i>	<i>XBI</i>
Moyenne des inerties intra classe	2.74437	3.62872	3.17857
Temps des dix exécutions	28 s	53 s	34 s

Comme le tableau I l'indique, la fonction fitness E (erreur quadratique moyenne) donne de meilleurs résultats (inertie minimale, temps d'exécution rapide) par rapport aux deux autres.

Ainsi pour le reste des essais nous avons choisi l'erreur quadratique moyenne comme fonction fitness.

Essai 2

Dans cet essai, on va garder la même population initiale en variant le nombre de générations 'It' à 1, 10 puis à 40.

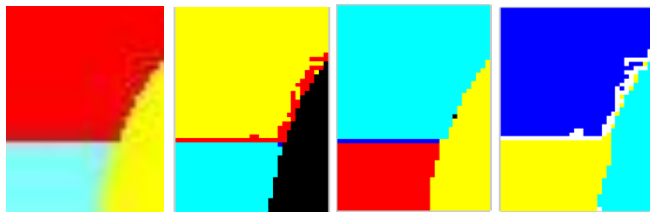


Fig. 2. Résultats de la classification avec It=1, It=10, It=40 (de gauche à droite)

TABLE II
RESULTATS DE LA CLASSIFICATION EN VARIANT LE NOMBRE DE GENERATIONS.

	IT = 1	IT =10	IT =40
Moyenne des inerties intra classe	2.7443	1.674	2.08075
Temps des dix exécutions	2s	3.6 s	7.3s

Les résultats de la Figure 2 et le tableau II montrent que la variation du nombre de générations influe sur les résultats obtenus de deux façons différentes; plus on augmente le nombre de générations on obtient une meilleure classification (It = 10) mais arrivant à un certain nombre de générations (It = 40) la performance de notre algorithme commence à dégrader. Cette dégradation est due à l'opérateur de migration qui consiste à intégrer des agents de manière uniforme à chaque génération.

Essai 3

Pour mieux évaluer la performance de notre algorithme, nous allons l'appliquer sur une image satellitaire de la région d'ORAN qui a été prise comme site d'étude pour la variété des thèmes. Cette image est de type LANDSAT5 capteur TM (Thematic Mapper) acquise le 25 Mars 1993, à partir des trois canaux TM1, TM3 et TM4.

De la même façon on varie le nombre de générations It à 1, 20, 50 et 100.

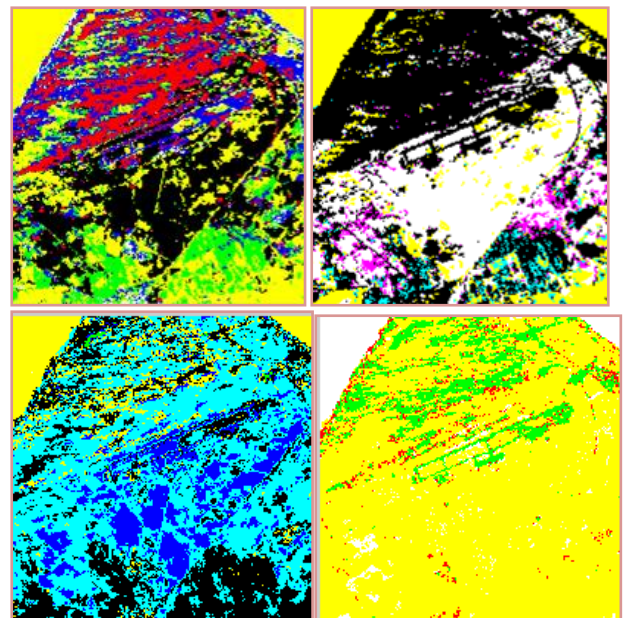


Fig. 3. Résultats de la classification non supervisée de l'image satellitaire avec It=1, It=20, It=50, It=100 (de gauche à droite)

TABLE III
RESULTATS DE LA CLASSIFICATION DE L'IMAGE SATELLITAIRE EN VARIANT
LE NOMBRE DE GENERATIONS.

	IT = 1	IT =20	IT =50	IT =100
Moyenne des inerties intra classe	3.3652 10^4	2.9760 10^4	2.2148 10^4	3.1346 10^4
Temps des dix exécutions	43.67 s	77.233 s	145.01s	359.55 s

L'interprétation des résultats est la même que celle de l'essai 2, plus on augmente le nombre de générations on obtient une meilleure classification (inertie intra classe minimale), mais arrivant à un certain nombre de générations (plus de 50 générations) la performance de notre algorithme commence à se dégrader.

Cette dégradation est du à la façon dont on applique la migration (on intègre des mouches de manière uniforme à chaque génération) ce qui empêche les pixels de se regrouper en classes. Donc il serait certainement plus efficace de faire en sorte que cet opérateur introduise des nouvelles mouches à partir des mouches existantes.

Essai 4

Pour tester cette façon de faire la migration on va reprendre les essais 2 et 3 mais en appliquant la nouvelle façon de faire la migration et comparer les résultats obtenus avec ce qui ont été obtenus. Les résultats obtenus sont illustrés par les tables IV et V.

TABLE IV
RESULTATS DE LA CLASSIFICATION EN VARIANT LE NOMBRE DE
GENERATIONS.

	IT = 1	IT =10	IT =40
Moyenne des inerties intra classe	1.9352	1.689	1.592
Temps des dix exécutions	2.13 s	2.45 s	4.1 s

TABLE V
RESULTATS DE LA CLASSIFICATION DE L'IMAGE SATELLITAIRE EN VARIANT
LE NOMBRE DE GENERATIONS.

	IT = 1	IT =20	IT =50	IT =100
Moyenne des inerties intra classe	2.5031 10^4	1.8353 10^4	9.3265 10^3	9.3166 10^3
Temps des dix exécutions	18.110 s	60.78 s	145.01 s	326.18s

On constate que l'application de notre algorithme en utilisant la nouvelle migration empêche la dégradation de la qualité de la classification même après 100 itérations et la qualité de la classification jusqu'à stabilité (Fig. 4).

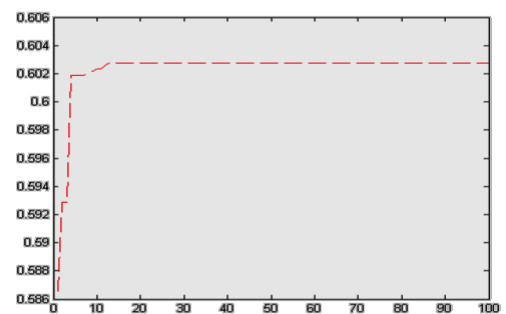


Fig. 4. L'évolution de la fonction fitness avec la nouvelle migration (IT=100) de l'image satellitaire

Essai 5

Puisque notre algorithme a été conçu dont le but est de réduire le temps d'exécution ainsi que la taille en espace mémoire, notre curiosité nous a mené à le comparer (en terme de performance et de temps d'exécution) avec un algorithme appliqué au niveau de notre laboratoire (colonies de fourmis "AntClust") [12] pour la classification non supervisée des images.

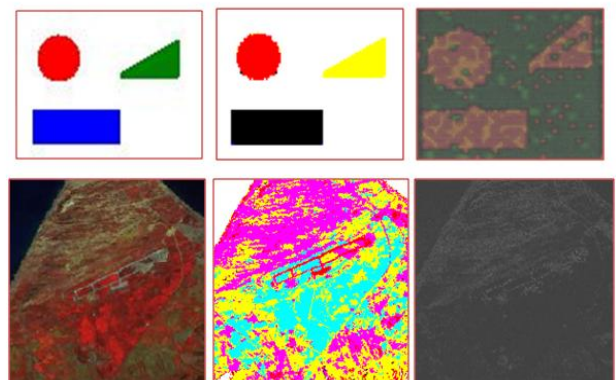


Fig. 5. Image originale, classification par les mouches, classification par AntClust (de gauche à droite).

Cette figure montre que la qualité de la classification en utilisant l'algorithme des mouches est nettement meilleures qu'en utilisant l'algorithme AntClust (4 classes détectées pour l'image naturelle avec de grandes confusions et 9 classes détectées pour l'image satellitaire), sachant que l'exécution de ce dernier est trop lente (4heurs pour cette image naturelle et 2 jours pour l'image satellitaire) en la comparant avec celle de notre algorithme (1 seconde pour l'image naturelle et 198.89 seconde pour l'image satellitaire).

VI. CONCLUSION

L'algorithme des mouches à aspect collectif est une méthode évolutionnaire récente qui présente l'avantage d'une convergence rapide et d'une population de taille réduite en espace mémoire. Les résultats obtenus se sont révélés globalement meilleurs que ceux des algorithmes évolutionnaires utilisant des codifications classiques. Néanmoins, il existe quelques classes non significatives ainsi que des petites confusions.

Ce problème peut être résolu en variant le nombre de générations, mais cette variation peut mener à une divergence causé par l'opérateur de migration en introduisant des individus de manière uniforme à chaque génération ce qui les empêche de se regrouper en classes ; donc il serait certainement plus efficace de faire en sorte que cet opérateur introduit des agents autour des groupes et non pas de manière uniforme.

Enfin il est important de noter que le choix de la fonction fitness influe de manière significative sur les résultats obtenus d'où le choix de cette fonction doit être pris en considération.

REFERENCES

- [1] L. Admane, et K. Benatchba, et M. Koudil, et L. Siad, et S. Maziz, "AntPart : an algorithm for the unsupervised classification problem using ants." Laboratoire LMCS. INI. 2006.
- [2] A. Belaïd, "Implémentation d'une méthode de classification non supervisée de données à l'aide des AG évolutionnaires". Mémoire d'ingénieur. INI. 2008.
- [3] D. Bhandari, et C. A. Murthy, et S. K. Pal, « Genetic algorithm with elitist model and its convergence ». International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 10(6). Pages : 731-747. 1996.
- [4] M. Glickman, et J. Balthrop, et S. Forrest, "A Machine Learning Evaluation of an Artificial Immune System". Evolutionary Computation Journal, Vol 13, n° 2, pages 179-212. 2005.
- [5] M. Lamali, "Approches évolutives pour la classification non supervisée de données" Ecole nationale Supérieure d'Informatique (ESI), Oued-Smar, Alger, 2009.
- [6] J. Louchet, et M. Guyon, et M.-J. Lesot, et A. Boumaza, "L'algorithme des mouches dynamiques : guider un robot par évolution artificielle en temps réel". Extraction des Connaissances et Apprentissage : Apprentissage et Evolution, vol.1–N.3. Pages 115-130. 2001.
- [7] F.Y. Yang, et P. Lohmann, et C. Heipke, "Genetic Algorithms For Multi-Spectral Image Classification" Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz University of Hannover, springer2006.
- [8] L. Zhang, et Y. Zhong, et P. Li, "An Unsupervised Artificial Immune Classifier for Multi/Hyperspectral Remote Sensing Imagery" IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, VOL. 44, NO. 2, FEBRUARY 2006

- [9] Xie, X.L., and Beni, G., 1991. A Validity Measure for Fuzzy Clustering. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(8), pp. 841-847.
- [10] Yang, M.S., and Wu, K.L., 2001. A new validity index for fuzzy clustering. IEEE International Fuzzy Systems Conference, pp.89-92.
- [11] Yang, M.S., and Wu, K.L., 2001. A new validity index for fuzzy clustering. IEEE International Fuzzy Systems Conference, pp.89-92.
- [12] A. Mahiddine, N. Benamara, "Segmentation Des Images Par Colonies De Fourmis Approche Antclust" mémoire d'ingénieur département informatique 2009.
- [13] C. E. Bichot, "Élaboration d'une nouvelle métaheuristique pour le partitionnement de graphe : la méthode de fusion-fission. Application au découpage de l'espace aérien." Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. 2007.
- [14] R. Lefébure, G. Venturi, "Le Data Mining." Editions Eyrolles. 1998.
- [15] U. Maulik, S. Bandyopadhyay, "Genetic algorithm-based clustering technique." The Journal of the Pattern Recognition Society, n° 33, pages 1455-1465. 2000.
- [16] R. Lang, G. Shao, B. C. Pijanowsky, R. L. Farnsworth, "Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data-assisted labeling approach." Computers & Geosciences, Volume 34, Issue 12, pages 1877-1885. 2008.
- [17] J. B. MacQueen, "Some methods for classification analysis of multivariate observations." Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. Pages 281-297. University of California Press. 1967.
- [18] K. J. Cios, W. Pedrycz, R. W. Swinnarsky, L. A. Kurgan, "Data Mining : A Knowledge Discovery Approach ." Editions Springer Science. 2007.
- [19] J.-P. Treuil, C. Mullon, E. Perrier, M. Piron, "Simulations multi-agents de dynamiques spatialisées" école thématique CNRS, 2001.

Pachinko Allocation Model with Local Features for Image Indexing and Retrieval

Ahmed Boulemden, Yamina Tlili

Abstract—Pachinko Allocation Model, Latent Dirichlet Allocation and other topic models are popular tools used in text modeling and also increasingly in image processing field, especially for object recognition and image retrieval tasks. We present in this paper the experiment on which we are working under the domain of image indexing and retrieval. This experiment consists on using Pachinko Allocation Model (PAM) with local image features extracted by Scale Invariant Feature Transform (SIFT) technique in content-image retrieval task. The experiment is a part from our work which focuses on the use of Pachinko Allocation Model with local, global, and a fusion of local/global features of images in image indexing and retrieval field.

Index Terms— Image Indexing and retrieval, Pachinko Allocation Model, Scale Invariant Feature Transform.

I. INTRODUCTION

THE problem of managing a huge quantity of information including images is occurred due to the expansion of computer science and multimedia, retrieval tasks become more and more difficult with insufficient results for users. Many models have been proposed in the field of image retrieval, among them topic models which have been originally developed in the context of text modeling. Topic models try to find and use latent (hidden) semantic spaces that are more accurate to model documents in the context of retrieval tasks and overcome problems such as synonymy and polysemy due to count vector representation of documents, instead, each document is generally assumed to consist of multiple hidden topics that are responsible of generating words in the document. The use of topic models in image retrieval remains to the fact that they allow us explicitly to represent an image as a mixture of topics i.e., as a mixture of one or more object/object parts.

Latent semantic analysis LSA [1] was the first model to apply in image indexing and retrieval, in [2] they use LSA to construct an image search engine on the web called ImageRover, LSA uses a Singular Value

Decomposition (SVD) for mapping into the semantic space. The pLSA [3] is the probabilistic variant of LSA. Instead of using SVD, it assumes a probabilistic model where each document is represented by a mixture of topics (hidden topics), each topic denotes a distribution over the discrete words (visual words in image retrieval context).

Latent Dirichlet Allocation LDA [4] is a generative probabilistic model which is similar to pLSA. The main difference is that topic probabilities can be easily assigned to new documents which not the case for pLSA. Correlated Topic Model CTM [7] is another topic model which is similar to LDA but with some differences concerning topic proportions. Pachinko Allocation Model (PAM) [6] is a topic model which has been used for object recognition tasks [8], and it mainly differs from previous models by the possibility of capturing correlation between topics. pLSA, LDA, and CTM have been studied and compared in [9] which represent an important reference in the use of topic models in both object recognition and retrieval tasks, another important point of [9] is that his work focus on the use of topic models in real-world noisy databases and for this purpose she used a database consist of more than 240,000 images which have been downloaded from the public Flickr repository.

We will try in this experiment to study PAM model in the context of image retrieval task using local features of images extracted by Scale Invariant Feature Transform (SIFT) technique, note that PAM was absent from [9]. Paper overview is as follow. We will first present the technique used for extracting features from images, then we will speak about the appropriate representation of these feature in order to use them in topic models. PAM will be presented in the 3rd section.

II. IMAGE FEATURES EXTRACTION

We work in this experiment on local features like in [9], those features are calculated at interest points in images, we use DoG (Difference of Gaussian) detector to detect such

Manuscript received October 30, 2011.

Ahmed Boulemden is with the University of Badji Mokhtar Annaba; e-mail: a.boulemden@yahoo.com.

Yamina Tlili is with the LRI laboratory, University of Badji Mokhtar Annaba; e-mail: guiyam@yahoo.fr

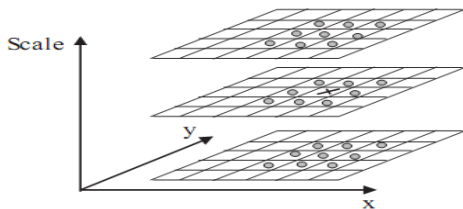
interest points and their associated regions. The DoG is scale-invariant region detector which first detects a set of interest points, then it filters this set to preserve only points that are stable under a certain amount of additive noise. Firstly, keypoints (interest points) are identifying by scanning the image over location and scale. It detects localization and scale of keypoints as scale-space extrema of the function $D(x, y, \sigma)$, which is the difference-of-Gaussian function convolved with the input image $I(x, y)$:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y)$$

Where k indicates a constant multiplicative factor and

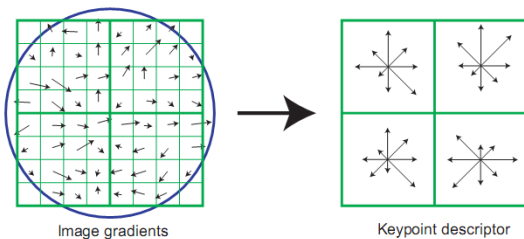
$$G(x, y, \sigma_i) = \frac{1}{2\pi\sigma_i^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_i^2}$$

is a Gaussian kernel.



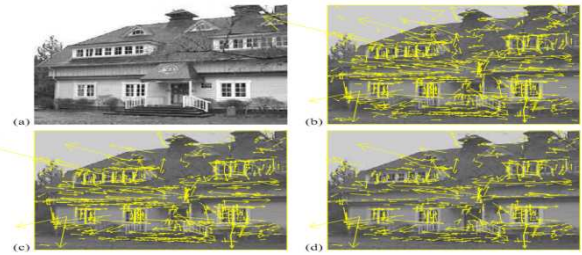
- I. Detection of extrema in scale-space by comparing a pixel(x) to its neighbors (\circ) in the current and adjacent scales [5].

Local 3D extrema of $D(\cdot)$ are detected by comparing each pixel to its 26 neighbors, 8 neighbors in the current scale space level and 9 from both above and below space levels (see figure). A point is selected only if it is larger or smaller than any of these neighbors. Then to accurately determine location and scale, a detailed model is fitted to each candidate location. The function value $D(\hat{x})$ at the extremum \hat{x} , is used for rejecting unstable extrema with low contrast. All extrema with a value of $|D(\hat{x})|$ less than a certain threshold (determined empirically through experiments) are discarded. However, to ensure stability it is not sufficient to reject interest point candidates with low contrast, but also points with unstable localization along edges must be eliminated. That is done by discarding interest points that have a ratio of principal curvatures greater than a certain threshold, as interest points on edges will have a large principal curvature across the edge but a small one perpendicular to it [9].



- II. 2x2 descriptor array computed from an 8x8 set of samples [5].

Computation of features for keypoints detected by DoG detector is realized with the Scale Invariant Feature Transform SIFT [5]. First, an orientation, scale, and location are assigned to keypoints. The scale and location are determined by DoG detector, while one or more orientation are assigned to the keypoint based on the dominant gradient orientation of the local image patch surrounding the interest point. Dominant gradient directions are identified by selecting peaks within an orientation histogram. This histogram is formed from the gradients' angles of sample points within a region around the keypoint, weighted by each gradients' magnitudes. For each dominant orientation an interest point is created with that orientation, i.e., multiple interest points might be created for the same location and scale, but with different orientations [9]. The descriptor is formed from a vector containing the values of all the orientation histogram entries, corresponding to the lengths of the arrows on the right side of Figure 2. The Figure 2 shows a 2x2 array of orientation histograms, however we use 4x4 array of histograms with 8 orientation bins in each, that means $4 \times 4 \times 8 = 128$ element feature vector for each keypoint [5]. Finally, the vector is normalized to ensure invariance to illumination conditions. SIFT features are also invariant to small geometric distortions and translations due to location quantization [9]. definition.



III. Stages of keypoints selection [5].

Since we have calculated the local features for images, we need to define an appropriate representation to use with topic models. Thus, an equivalent to word as elementary parts in documents has to be found for images known as visual words. SIFT descriptors extracted are high dimensional and their entries are continuous, thus a vector quantization is applied to derive discrete visual words. We apply k-means clustering on SIFT features vectors of each image and we keep the mean (cluster's centroid) of resulting clusters as a visual word and the dimension of its cluster as the term frequency. We need also to cluster again all the centroids extracted by the first clustering in order to construct the corpus vocabulary and thus a bag-of-words model can be derived.

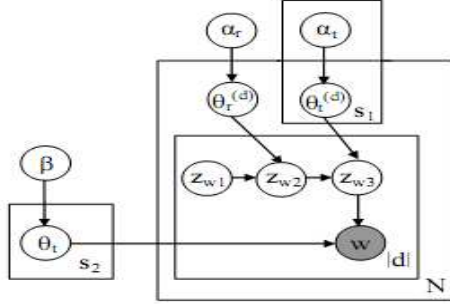
Next, Pachinko Allocation Model will be presented.

III. PACHINKO ALLOCATION MODEL

The Pachinko Allocation Model (PAM) [6] is a probabilistic topic model which uses a Discrete Acyclic Graph

(DAG) structure to present and learn possibly sparse topic correlations. In PAM, the concept of topics is extended to be distribution not only over words, but also over other topics. PAM connects words in V and topics in T with an arbitrary DAG, where topic nodes occupy the interior levels and the leaves are words.

Graphical model of PAM is presented in figure 3.



IV. Graphical Model of PAM

To generate a document in PAM model we follow the process:

- Sample $\theta_{t_1}^{(d)}, \theta_{t_2}^{(d)}, \dots, \theta_{t_s}^{(d)}$ from $g_1(\alpha_1), g_2(\alpha_2), \dots, g_s(\alpha_s)$, where $\theta_{t_i}^{(d)}$ is a multinomial distribution of topic t_i over its children.
- For each word w in the document,
 - Sample a topic path z_w of length $L_w: < z_{w1}, z_{w2}, \dots, z_{wL_w} >$. z_{w1} is always the root and z_{w2} through z_{wL_w} are topic nodes in topics T . z_{wi} is a child of $z_{w(i-1)}$ and it is sampled according to the multinomial distribution $\theta_{z_{w(i-1)}}^{(d)}$.
 - Sample the word w from $\theta_{z_{wL_w}}^{(d)}$.

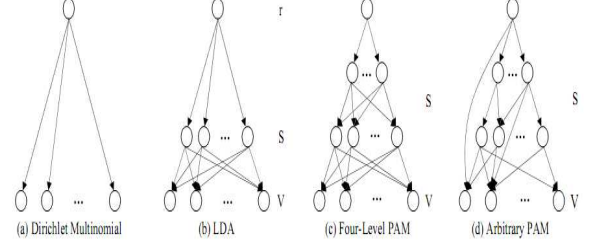
The joint probability of generating a document d is:

$$P(d, z^{(d)}, \theta^{(d)} | \alpha) = \prod_{i=1}^s P(\theta_{t_i}^{(d)} | \alpha_i) \times \prod_w \left(\prod_{i=2}^{L_w} P(z_{wi} | \theta_{z_{w(i-1)}}^{(d)}) P(w | \theta_{z_{wL_w}}^{(d)}) \right)$$

And a marginal probability of document d is:

$$P(d | \alpha) = \int \prod_{i=1}^s P(\theta_{t_i}^{(d)} | \alpha_i) \times \prod_w \sum_{z_w} \left(\prod_{i=2}^{L_w} P(z_{wi} | \theta_{z_{w(i-1)}}^{(d)}) P(w | \theta_{z_{wL_w}}^{(d)}) \right) d\theta^{(d)}$$

Four level PAM is often used, and it differs from PAM which allows arbitrary DAGs to model topic correlations. PAM has been used in [8] under the context of object recognition task.



V. Model structure for four topic models [6].

IV. SIMILARITY MEASURE

For similarity measurement, we can calculate the cosine between topic distributions of images d_a and d_b . The cosine $\cos(a, b)$ between two vectors a and b (representing topic mixtures of d_a and d_b) is defined by:

$$\cos(a, b) = \frac{a \cdot b}{\|a\| \cdot \|b\|}$$

Thus, similarity is defined as the cosine of the angle between the two vectors in the topic space. We can also use the $L1$ distance defined by:

$$L1(a, b) = \sum_{k=1}^K |a_k - b_k|$$

V. STATE OF THE EXPERIMENT

We have completed the extraction of local image features using DoG/SIFT method and also the construction of the visual words representation, the package of [10] was used for this phase of the experiment. Actually, we are applying the Pachinko Allocation Model on the extracted data. For the experiment, we are using 986 images from a subset of Corel image database [11], images are dispersed on 10 classes: butterfly (100 images), mountain (99), space (100), sunset (100), flowers (99), forest/trees (100), people (101), cars (100), boats (100), water/river (87). For those 986 images, we have used 6 visual words per image, and a vocabulary of 400 visual words.

VI. CONCLUSION

The experiment is a part from our work which focuses on the use of Pachinko Allocation Model with local, global, and a fusion of local/global features of images in image indexing and retrieval field. We are trying to complete this

experiment and to continue with the two other parts of the work in order to provide a frame comparison between their results which are useful in Content-Based Image Retrieval systems (CBIR), the comparison will offer the possibility of judging the most appropriate approach to apply and also an evaluation of features fusion influence on results. The work will be compared also with other topic models which have been used in image retrieval field.

REFERENCES

- [1] S. Deerwester, S.T. Dumais, G.W. Furnas, T.K. Landauer, and R. Harshman, "Indexing by Latent Semantic Analysis", *Journal of the American Society of Information Science*, 41(6), 1990, pp. 391-407.
- [2] M. LaCascia, S. Sethi, and S. Sclaroff, "Combining Textual and Visual Cues for Content-Based Image Retrieval on the World Wide Web", *IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries*, (6), 1998.
- [3] T. Hofmann, "Unsupervised Learning by Probabilistic Latent Semantic Analysis", *Machine Learning*, 42(1-2), 2001, pp. 177-196.
- [4] D.M. Blei, A.Y. Ng, and M.I. Jordan, "Latent Dirichlet Allocation", *Journal of Machine Learning Research*, 3, 2003, pp. 993-1022.
- [5] D.G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", *International Journal of computer vision*, 60(2), 2004, pp. 91-110.
- [6] L. Wei, and A. McCallum, "Pachinko Allocation: DAG-Structured Mixture Models of Topic Correlations", *International Conference on Machine Learning*, Pittsburg, 2006.
- [7] D. Blei, and J. Lafferty, "Correlated Topic Models", *Advances in Neural Information Processing Systems*, 18, 2006.
- [8] Y. Li, W. Wang, and W. Gao, "Object Recognition Based on Dependent Pachinko Allocation Model", *IEEE ICIP*, 2007, pp. 337-340.
- [9] E. Horster, *Topic Models for Image Retrieval on Large-Scale Databases*, University of Augsburg, 2009.
- [10] A. Vedaldi "An implementation of SIFT detector and descriptor". Available: <http://www.vlfeat.org/~vedaldi/code/sift.html>
- [11] J. Wang, Corel Image database. Available: <http://wang.ist.psu.edu/docs/related.shtml>.

Condition Monitoring of Rotating Machines Using Artificial Neural Networks and Wavelet Transform

A. Boudiaf, A. K. Moussaoui and S. E. A. Seddiki

Abstract— This paper deals with the application of Artificial Neural Network (ANN) and Wavelet Transform (WT) for the prediction of the effect of unbalance fault on the frequency components of vibration signature of rotating machines. The suggested Technique is applied to real vibratory signals resulting from sensors placed on a test rig interfaced to a multi-channel data acquisition system OROS 25. The characteristic features of frequency domain vibration signals have been used as inputs to the ANN. The suggested ANN prediction model was implemented using Bayesian Evidence based training algorithm. It is found that the Bayesian Evidence based approach is much more efficient than other techniques, which results in an accurate detection of unbalance fault signals in the considered rotating machine.

Index Terms— Condition monitoring, Fault diagnosis, ANN, Wavelet, vibration analysis, unbalance.

I. INTRODUCTION

IN industrial plants, a number of signatures like vibrations, noise, acoustic emission, lubricant degradation, temperature, corrosion, performance parameters etc., are monitored continuously or periodically, to give an idea of the health of the machine by proper diagnosis of faults which can, if not attended to in time, result in catastrophic failures and down time. Vibration measurement and analysis has been applied with success [1] to machines like steam and gas turbines, pumps, compressors, induction motors etc. Faults like unbalance, misalignment, looseness, rub, cracks etc., generate vibration signals. Fault identification and diagnosis has become a vigorous area of work during past decade. Vibration monitoring has been widely reported as being a useful technique for the analysis of rotating machines [2]; it can help by detecting faults early, allowing parts to be replaced before

significant damage occurs. Vibration response measurements yield a great deal of information concerning any faults in a rotating machine. The use of machine condition monitoring can provide considerable cost savings in many industrial applications especially where large rotating machines are involved, for example generators in power stations. The monitoring of vibration of rotating machines has been reported as being a useful technique for their analysis of their condition [3]. Many condition-monitoring techniques require extensive analysis of large amounts of data. These data can be used to produce estimates of the vibration spectra. Although often the measured vibration signatures of frequency domain features are adequate to identify the faults, there is a need for reliable, fast and automated procedure of diagnostics. Unbalance is an important cause of vibration in rotating machinery and the reduction of such vibration is ensured by balancing. Usually, rotor unbalance can be detected by spectral analysis. The vibration frequency of rotor unbalance is synchronous since the unbalance force rotates at the shaft running speed. Artificial neural network techniques, used in conjunction with signal analysis, are useful tools for classification or prediction of fault purposes [4]-[5]. As a signal analysis tool, the wavelet transform have the ability to extract information in both time and frequency domain as well as it provides a sensitive means to the diagnosis of faults if compared to other signal processing methods. In fact, the inability of Fourier Transform to detect non-stationary signals makes Wavelet Analysis an alternative for machinery fault diagnosis as Wavelet Analysis can detect both stationary and non-stationary signals [6]. The Wavelet transform can be continuous or discrete. The continuous wavelet transform reveals more details about a signal but its computational time is enormous. For most applications, however, the goal of signal processing is to represent the signal efficiently with fewer parameters and less computation time. The discrete wavelet transform (DWT) can satisfy these requirements.

In the present work experimental study has been carried out for transient response of the rotor for individual fault of unbalance on the rotor test rig. The vibration frequency components are recorded in the horizontal and vertical directions. As a condition monitoring scheme, the study consists of artificially create unbalances at various rotating speeds in order to predict the change in the vibration behaviour due to unbalance.

Manuscript received October 26, 2011.

A. Boudiaf is with Iron and steel applied research unit-CSC, BP 196 Annaba, 23000, Algeria (T  l: 0661770454, email: adelboudiaf@yahoo.fr).

A.K. Moussaoui and S. E. A. Seddiki are with the Electrical Engineering Laboratory of Guelma (LGEG), University of Guelma, BP 401, 24000 Guelma, Algeria.

II. METHODOLOGY

This paper describes use of wavelet transform to decompose the vibration signal into several frequency ranges at different level of resolution. The strength root mean square (RMS) of selected decomposed signals is then calculated under healthy and fault of unbalance mass conditions. The root mean square (RMS) value of a vibration signal is a measure of the power content in the vibration signature. To calculate the RMS value the following expression is used:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N x_k^2}{N}} \quad (1)$$

The artificial neural network is then trained with the generated database (RMS) to automate the fault diagnostic process.

A. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Often called Multi-resolution analysis, this method consists of the introduction of the signal to be analyzed into low-pass and high-pass filters. At this level, two vectors will be obtained. The vector elements $A_{k,j}$ are called approximation coefficients; they correspond to the lowest frequency signal, while the vector elements $D_{k,j}$ are called detail coefficients; they are corresponding to the highest of them. The procedure can be repeated with the elements of the vector and successively with each new vector obtained. The decomposition process can be repeated j times, with j the maximum number of levels. This is the principle of pyramidal decomposition algorithm as shown in figure 1.

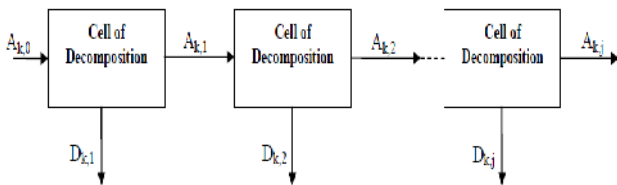


Figure 1. Principle of the pyramid decomposition algorithm

The wavelet transforms acts as a Mathematical microscope in which one can observe different paths of the signal by adjusting the focus [7]. A frequency domain of the vibration signal can indicate sufficient difference for health and fault condition. The wavelet transform approach allows the detection of short-lived frequency component in the signals. The method is logical since high frequency components such as short bursts need high frequency resolution as compared with low-frequency components, which require low-frequency resolution.

B. Bayesian trained Artificial Neural Networks Model

We seek to use a Bayesian implementation of Multilayer perceptron modelling to generate an efficient unbalance fault prediction model. Such an approach is useful as network weight regularization falls naturally into the framework; and additionally it is possible to estimate confidence bounds on the output predictions based on the widths of the posterior probability functions for the weight matrix [8]. The MLP unbalance fault prediction model can be represented by the following expression:

$$MLP_{Output} = \sum_{j=1}^M w_{kj} \tanh \left[\sum_{i=1}^d w_{ji} x_i + b_j \right] + b_k \quad (2)$$

Where w_{ji} was the weight matrix of the first layer, w_{kj} the weight matrix of the second layer, b_j the bias vector of the first layer, b_k the bias vector of the second layer, d the number of input nodes and M was the number of hidden nodes. The non-linear capability of the network was implemented using the \tanh transfer function between the first and second layers. The Bayesian Evidence based training is investigated. When implementing Bayesian Evidence training [8], the error function is given by:

$$E_{BE} = \frac{\beta}{2} \sum_{n=1}^N (t_n - y_n)^2 + \frac{\alpha}{2} \sum_{i=1}^W w_i^2 \quad (3)$$

Where E_{BE} is the (Bayesian Evidence) error function and the parameter describing the inverse variance of the noise model for the target data (predicted unbalance fault).

If interest lies only in minimizing the error for a particular weight vector, then the effective value of the regularization parameter depends only on the ratio β/α . Besides accommodating regularization in a consistent framework, the Bayesian approach has the additional advantage of providing a mechanism to generate confidence bounds on the output prediction values. Assuming that the posterior distribution of the weight matrix is Gaussian in nature, it is possible to find the variance corresponding to the mean output $y(x, w_{MP})$, i.e. the standard prediction output for the most probable weight distribution. This variance is given by [8]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{\beta} + g^T A^{-1} g \quad (4)$$

Where A was the Hessian matrix defining the second derivatives of the error function and g was the gradient of the error function. The standard deviation, of the predictive distribution can be interpreted as an error bar on the mean value y_{MP} , which has two contributions. The first arises from the intrinsic noise in the target data, the second from the posterior distribution of the network weights. The ease of implementation of these powerful network training paradigms was a major consideration in employing the NETLAB toolbox to realize the network training [8]. During the Evidence update procedure of the network training, these hyper-parameters were re-evaluated iteratively.

III. EXPERIMENTAL STUDY

A. Test rig description

To carry out this method in a real case, we used a test rig in Vibrations laboratory located at Iron and steel applied research unit URASM/CSC, Annaba, Algeria. This test rig permits to introduce the principal faults existing and to acquire measurements relating to these various faults. This test rig is shown in Figure 2.

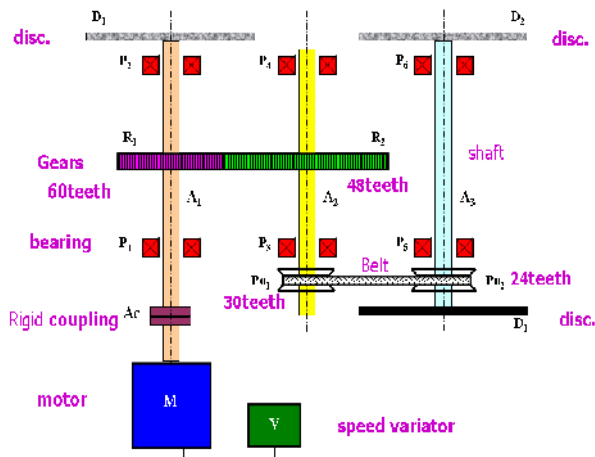


Figure 2. Test Rig

The multichannel system of acquisition OROS25 contains two windows (signal according to time and signal according to frequency). The configuration of the multichannel system is needed before to start the acquisition. The piezoelectric accelerometers were attached in two directions for measurement of vibration velocity. The signal is transmitted to a transducer pre-amplifier. The output of the pre-amplifier signal transmitted according to time and to frequency using the FFT analyzer of OROS25. The FFT analyzer records vibrations in frequency domain. The FFT spectrums are helpful in analyzing the vibration problems. These instruments will give the necessary information about the machine conditions. The accelerometer was used to record the vibration at two positions namely, horizontal and vertical directions. Extensive experiments were carried out in order to investigate the effects of unbalance fault.

B. Unbalance Fault creation

The unbalance fault is the cause of the most frequent vibration in rotating machinery. This phenomenon occurs at the shaft running speed (frequency) and can be caused by a space distribution of the masses in the structure, involving a displacement of the centre of gravity apart from the axis of the rotor of the rotating machine. In our experimental study, the creation of the unbalance fault is carried out by introducing a bolt into the disc of the test rig, as shown in Figure 3.

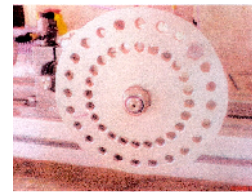


Figure 3. Unbalance fault creation

The rotating frequency of the machine f_r is a function of the fixed inverter frequency f_i and the number of poles N_p . It is given by:

$$f_r = f_i \times N_p \quad [Hz] \quad (5)$$

In our case, the machine has 2 poles. The data acquisition process is carried out for both healthy and unbalance fault cases at different fixed inverter frequencies (10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz and 50Hz). After that, the different frequency signals are decomposed using wavelet Transform at level 4. As an example, the frequency response for a fixed inverter frequency of 10 Hz is shown in Figure 3 (before wavelet decomposition and for healthy and unbalance faulty cases).

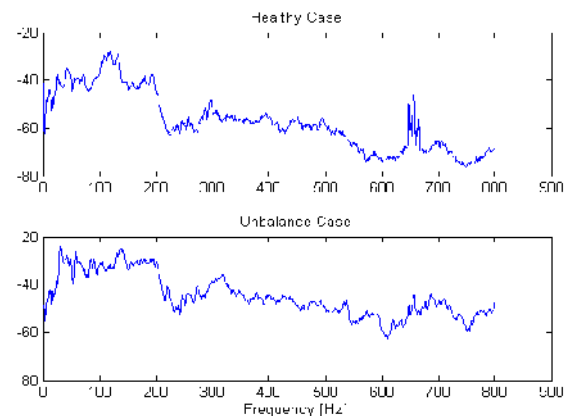


Figure 3. Frequency Responses before DWT Decomposition

Corresponding to different characteristics of the signal, transformation should be properly selected such that specific signal structure can be enhanced in its transformed domain. The *Daubechies* wavelet is selected for the signal analysis.

The multi-resolution property of the discrete wavelet transform (DWT) is used to analyze the vibration signal under healthy and unbalance fault conditions.

After the DWT decomposition, it is clearly shown in Figure 4, that the machine is rotating at a speed of 20 Hz, like mentioned in equation 5 and the unbalance fault only increases the amplitude of the frequency response (spectrum) at the considered rotating frequency.

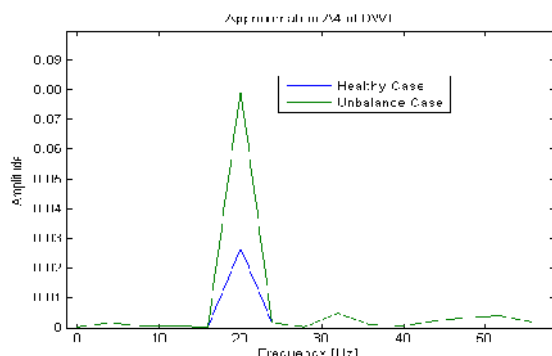


Figure 4. Approximation A4 of the frequency responses

The RMS (root mean square) value of the decomposed signal at a level k (see, Figure 1) measures the signal power contained in the specified frequency band indexed by the parameter k . The RMS value of the wavelet decomposition signals, for the healthy and unbalance cases are applied to the input of the MLP. For training the prediction ANN model, we use the 5 details coefficients of the RMS value of vibration signal at different rotating frequencies, both for healthy and unbalance conditions.

Once suitable features have been extracted and selected from the vibration data, the neural network was trained and tested with different neuron combination.

During training of the MLP, higher valued input variables may tend to suppress the influence of the smaller one. To overcome this problem and in order to make neural network perform well, the data must be well processed and properly scaled before input to the MLP. All the components of feature vector are normalized using the following equation [9]:

$$x_n = \left(\frac{x}{1.5 \times x_{\max}} \right) \times 0.8 + 0.1 \quad (6)$$

Where, x is actual data, x_{\max} is the maximum value of the data and x_n is the normalized data. The maximum value is obtained from the faulty data set.

For the Bayesian Evidence learning algorithm, an initial value of $\sigma = 0.01$ was employed along with an initial inverse noise variance parameter $\sigma = 100$.

The network performance is called generalization, which is the ratio of actual output to the desired output expressed in percentage. In our study it is found that success rates based upon unbalance fault are about 99.66%.

IV. CONCLUSION

Use of amplitudes of vibration harmonics of a rotor system in horizontal and vertical directions helps in indicating the presences of faults like unbalance. To quantify these faults, it has shown that the Bayesian trained artificial neural network is a promising unbalance fault prediction tool.

This paper also has been investigated the feasibility of applying discrete wavelet transform to identify the fault of unbalance mass from vibration signals. RMS value at selected decomposition levels are used as feature measure of the signal. Further work needs to be done by using more than the RMS fault indicator, such as: Kurtosis, Crest factor, Enveloping, etc. In the same way, the combination of several faults should be experimented.

REFERENCES

- [1] Gasch, R., A survey of the dynamic Behavior of a Simple Rotating Shaft with a Transverse Crack, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 160 (2), 1993, pp.313–332.
- [2] Isermann, R., *Supervision, Fault detection and Fault-Diagnosis methods*, Control Eng. Practice, Vol 5(5), 1997, pp. 639–652.
- [3] A.W. Lees and M.I. Friswell., The Evaluation of Rotor Unbalance in Flexibly Mounted Machines, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 208(5), 1997, pp. 671- 683.
- [4] Nalinaksh.S.Vyas and D.Sathish kumar, Artificial Neural Network Design for Fault identification in Rotor-Bearing System, *Mechanism and Machine Theory*, Vol 36, 2001, pp.157-175.
- [5] M.Kalkat and S.Yildirim and I.Uzmay. Rotor Dynamics Analysis of Rotating Machine Systems using Artificial Neural Networks. *International Journal of Rotating Machinery*, Vol 9, 2003, pp.255-262.
- [6] Z.k. peng, f.l. chu., Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18, 2004, pp.199–221.
- [7] S.Mallat, A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Mach. Intell.*, Vol. 11, 1989, pp.674-693..
- [8] I.T. Nabney, *Netlab-Algorithms for Pattern Recognition*. 2nd Edition, Springer-Verlag. 2004, Ch.9.
- [9] H. K. Srinivas, K. S. Srinivasan and K. N. Umesh, "Application of Artificial Neural Network and Wavelet Transform for Vibration Analysis of Combined Faults of Unbalances and Shaft Bow", *Adv. Theor. Appl. Mech.*, Vol. 3, 2010, no. 4, pp.159-176.

Blind Separation of Cardiac Structures from Dynamic PET images using Markov Chain Monte Carlo sampling

Khadija Berradja and Nabil Boughanmi.

Abstract– Blood input function (IF) is necessary for quantitative pharmacokinetic studies in Positron Emission Tomography (PET). However, external blood sampling from small animals presents many limitations. In this work, we determine the blood input function from the images in a rat heart study with 18F-fluorodeoxyglucose (FDG) and 13N-ammonia (NH3) using Independent Component Analysis (ICA) based on Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampling. A region of interest (ROI) was drawn around the rat image and decomposed into blood and tissue using ICA-MCMC. IF obtained with ICA-MCMC was successfully extracted from the measured image in both FDG and NH3 images. The integrals of these IFs were respectively 69.63% and 70.63% of the IF determined from the measured images, reflecting the ability of the method to correct for tissue to blood contamination.

Key words: PET images, ICA, MCMC.

I. INTRODUCTION

Positron emission tomography (PET) imaging relies on the detection of positron annihilation photons issued by a radiotracer concentration in tissue. The labeled molecules with positron emitter isotopes allow to dynamically imaging the biochemistry in the body. Parameters of interest such as glucose metabolism and perfusion can then be calculated in a non-invasive fashion. They are crucial to assess the viability of a tissue, the follow up of patients and the study of drugs. In order to calculate these parameters, the quantity of the radiotracer supplied to the tissue needs to be known. It is the concentration of the radiotracer in the blood plasma or input function (IF). IF can be assessed by blood sampling which is risky, invasive, cumbersome and inaccurate. It can be measured with a continuous blood counting in a radiation counter, but this avenue is still invasive and inaccurate and it provokes contaminations in the tubing [1,2]. In both blood withdrawal and automatic counting techniques, in some

subjects (small animals or patients), the quantity of blood is very limited and can't be sufficient even for a single scan session. The simplest technique is to extract IF from the images. Because the spatial resolution of the scanner is low and the pixels are made of a mixture of radioactivity emitted from blood and tissue, it does not allow to isolate radiotracer concentration in the blood to determine IF. Meanwhile it is possible to mathematically decompose the measured images in images of blood and tissue.

Factor analysis (FA) has been proposed to extract the input function and the tissue time activity curve from the dynamic PET imaging [3,4,5]. Although such factor analysis is considered an attractive tool to process dynamic image sequences, additional assumptions of a priori knowledge are needed to overcome the no uniqueness of the solution [6]. In recent times, ICA received considerable interest in biomedical signals [7,8]. This paper addresses the problem of non-negative source separation in Monte Carlo Markov chain (MCMC) methods that allow to generate samples from the posterior density [9,10]. We use in this work ICA-MCMC to determine IF from the images in a rat heart study with 18F-fluorodeoxyglucose (FDG) and 13N-ammonia (NH3). These tracers allow calculating the myocardial metabolic rates of glucose (MMRG) and myocardial blood flow (MBF) or perfusion. The difficulties can be summarized in three points: 1- the limited spatial resolution of the scanner contributes to produce image pixels made of a mixture of blood and tissue; 2- the movements of the heart and the lungs during the scans contribute to pixel mixture; 3- the biological uptake and washout of the tracer in tissue could resemble to its behavior in blood which complicates the image decomposition. Knowing the different behavior of FDG and NH3 in tissue in comparison to their concentration in blood, we use ICA-MCMC to decompose a sequence of PET images in a number of desired components and to produce the input function in a simple and non invasive fashion.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Bayesian ICA Approach and MCMC Sapling

Independent component analysis (ICA) is a statistical technique used for solving the blind source separation

Manuscript received November 02, 2011. Corresponding author: Khadija Berradja is with LSS Laboratory, Université de Mostaganem, BP 227 Mostaganem, Algeria. Email: berradja2@yahoo.fr.

Nabil Boughanmi is with Université d'Oran, Algeria. Email: boughanminabil@yahoo.fr.

[11,12,13]. ICA can extract independent source signals from linear mixtures provided that: 1) the source signals are statistically independent. 2) no more than one of the sources has Gaussian distribution. The basic model of ICA is given by:

$$X_t = AS_t + n_t \quad (1)$$

where X_t is the vector of N observed random variables (samples), S_t is the vector of M source signals, $A(N,M)$ is an unknown real mixing matrix, and n_t is the noise modeled as Gaussian with zero mean and covariance matrix Σ . The letter $t=1, \dots, L$ stands for the time. In matrix notation, the mixing model can be written as:

$$X = AS + n \quad (2)$$

Independent component analysis consists to recover the unknown quantities: the mixing matrix and the sources from the observed data. The joint posterior density according to Bayes theorem is given by:

$$p(S, A | X) = \frac{p(X | S, A)p(S)p(A)}{p(X)} \quad (3)$$

Where the independence between A and S is assumed. As $p(X)$ is a normalization constant then

$$p(S, A | X) \propto p(X | S, A)p(S)p(A) \quad (4)$$

The goal of the Bayesian approach applied in the field of source separation is to use not only the likelihood $p(X|S,A)$ but also any prior information on the source signals and the mixing process through the assignment of prior distributions $p(S)$ and $p(A)$. If we note θ the set of hyperparameters by $\theta = \{\theta_s, \theta_a, \theta_n\}$ which are the unknown parameters assigned respectively to the prior densities of sources, mixing matrix and the covariance matrix of the noise then the equation (4) can be written as:

$$p(S, A, \theta | X) \propto p(X | S, A, \theta_n)p(S | \theta_s)p(A | \theta_a)p(\theta) \quad (5)$$

The joint posterior density in equation (5) is in general difficult and impossible in some cases to compute that why we use a Gibbs sampling which is a Monte Carlo Markov Chain (MCMC) [14,15]. Its objective is to simulate a stationary ergodic Markov chain whose samples asymptotically follow the joint posterior density in equation (5). The source signals and mixing coefficients are then estimated using the marginal posterior mean (MPM) estimator.

The sources are assumed mutually statistically independent and each source signal is supposed independent and identically distributed and spread as a Gamma distribution. The mixing matrix is also assumed distributed as a Gamma distribution to

take into account non-negativity and its parameters allow a better fit to the radioactivity distribution (IF).

B. PET Measurements

The measurements were performed with the Sherbrooke small animal PET scanner [16]. Normal rats of about 300 g were measured for the heart after a nearly 5 mCi bolus injection of either FDG (7 rats) or NH3 (5 rats). The temperature and the heart beats were continuously under control during the measurements. The rats were allowed free access to food and water before the measurements. FDG was measured during 30 min and this duration was decomposed in 25 time frames of 12 x 5 sec; 8 x 30 sec and 5 x 300 sec. NH3 was measured during 15 min in 24 time frames of 12 x 5 sec; 8 x 30 sec and 4 x 150 sec. In order to define the time course of the radiotracer concentration in blood and tissue, three regions of interest (ROI) were drawn. The first one it encompassed the whole rat image to be decomposed into two images of tissue and blood. The second ROI was drawn around the blood chamber to account for blood time-activity curve (TAC). The third ROI was drawn on myocardium to delimit tissue TAC.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Figures 1 and 2 show respectively FDG and NH3 images through the rat heart together with the blood and tissue images obtained by means of ICA-MCMC. Figure 1 top-left is the measured image at the last time frame. Figure 1 top-right is the same image as top-left with the ROIs indicating the pixels averaged to produce tissue and blood TACs. Figure 1 bottom-left is the image extracted with ICA-MCMC representing blood distribution. Figure 1 bottom-right displays the tissue component separated from blood component. One can notice on tissue image the reduced radioactivity at the ventricle chamber which is the site of blood. The same comments apply for Figure 2, except that the NH3 behavior in rat body is different from that of FDG, which explains the differences in the appearance of the images either for blood or tissue.

By applying the ROIs on the three sets of dynamic images (measured, blood-ICA and tissue-ICA) for both FDG and NH3, we obtain the blood and tissue TACs as shown in Figure 3 and 4. In these figures, the blood and tissue TACs are respectively compared to the TACs obtained from the measured images. We observe that the method was able to decompose the images as there is nearly no blood contribution in tissue TAC and reciprocally, there is nearly no tissue contribution in blood TAC. This observation can be supported by the fact that the radiotracer injection was a bolus and at early time of the TAC, the radioactivity was almost contained in blood. Furthermore, at later times, the radioactivity in blood is low depending on recirculation only while the major contribution results from tissue. The ratio of integrals of calculated blood TAC with respect to the measured blood TAC (Measured-Calculated)/Measured were found respectively 69.63% and 70.63% for FDG and NH3. In this case, the recovery of intensity was minor as the heart was

enough large to be subject to PVE. That would not be the case for the heart of a mouse which is approximately ten times smaller where the pixels are formed by a mixture of tissue and blood signals. Knowing the blood TAC without contamination from tissue, it is used as IF to calculate MMRG and MBF.

In this study, the proposed separation method is applied to extract physiological factors from a dynamic sequence of PET images. Both source signals and mixing coefficients were estimated successfully without negative values. For the ICA method to separate the activity of each cardiac component, its distribution must be spatially independent from each other. This does not mean that their time courses are mutually independent as well. The slight blurring of the boundaries in the images obtained in Figure 2 might be an evidence of this effect, but the results are considered sufficient to identify the main cardiac structures and extract their time activity curves.

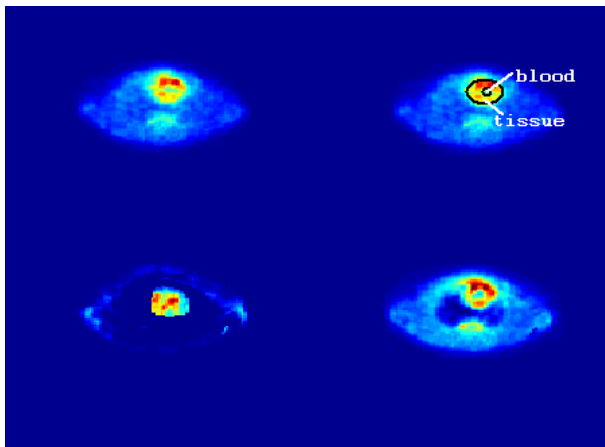


Figure 1. Decomposition of FDG images. Top row: measured image and same image with tissue and blood ROIs. Bottom: blood and tissue images obtained with ICA-MCMC.

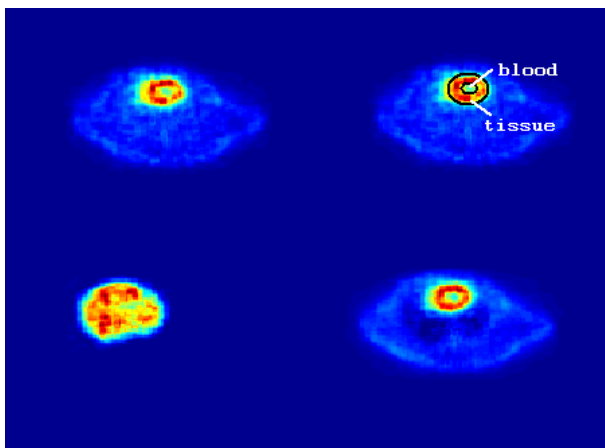


Figure 2. Decomposition of NH3 images. Top row: measured image and same image with tissue and blood ROIs. Bottom: blood and tissue images obtained with ICA-MCMC.

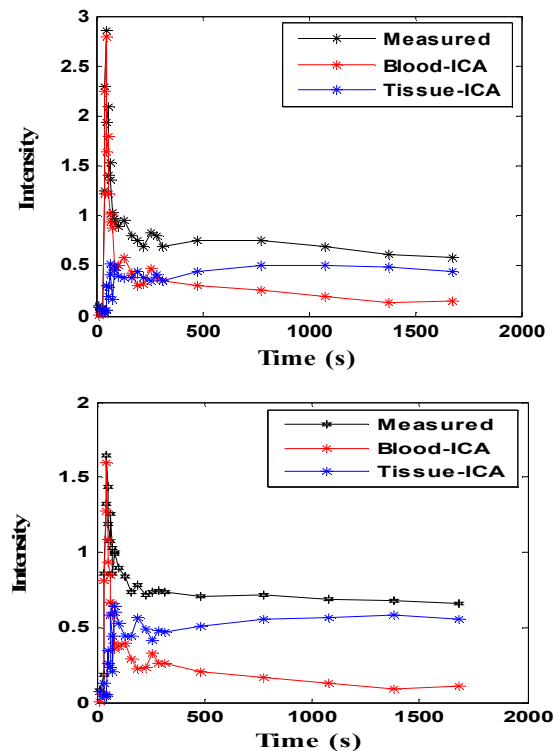


Figure 3. FDG time-activity curves of blood and tissue components from blood image (Top), and from tissue image (Bottom) as calculated with ICA-MCMC in comparison to ROI on measured image (Measured).

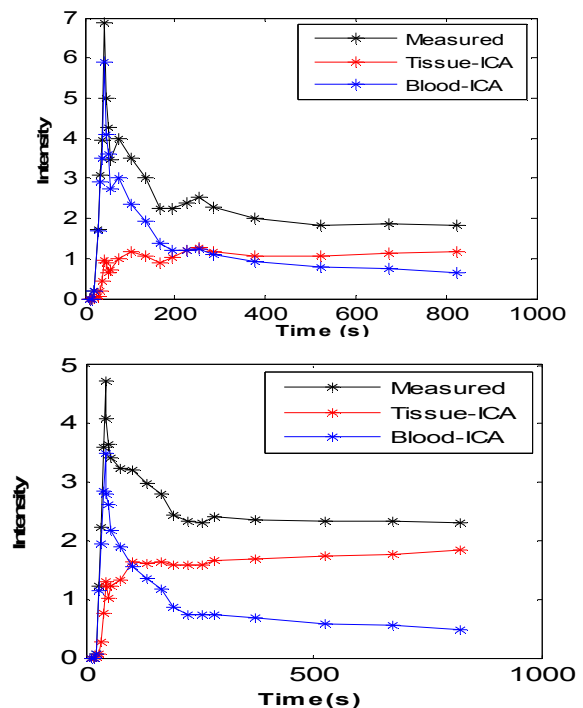


Figure 4. NH3 time-activity curves of blood and tissue components from blood image (Top), and from tissue image (Bottom) as calculated with ICA-MCMC in comparison to ROI on measured image (Measured).

IV. CONCLUSION

We addressed in this paper the problem of non-negative source separation in a Bayesian framework for an application to the analysis of mixtures in small animal PET imaging. The results obtained illustrate the strength of ICA-MCMC allowing to decompose a sequence of PET images in a number of desired components and to produce the input function in a simple and non invasive fashion.

REFERENCES

- [1] M. Bentourkia, A. Bol, C. Michel, A. Coppens, M. Sibomana, G. Cosnard, and A. G. De Volder, "A standardized blood sampling scheme in quantitative FDG-PET studies," *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 18, no. 5, pp. 379–384, May 1999.
- [2] M. M. Graham, "Physiologic smoothing of blood time–activity curves for PET data analysis," *J. Nucl. Med.*, vol. 38, no. 7, pp. 1161–1168, 1997.
- [3] M. Bentourkia et al., "Determination of blood curve and tissue uptake from left ventricle using FADS in rat FDG-PET studies", IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2:1124–1127, 1999.
- [4] F. Hermansen, P. M. Bloomfield, J. Ashburner, P. G. Camici, and A. A. Lammertsma, "Linear dimension reduction of sequences of medical images: II. Direct sum decomposition," *Phys. Med. Biol.*, vol. 40, no. 11, pp. 1921–1941, 1995.
- [5] H. M. Wu, S. C. Huang, V. Allada, P. J. Wolfenden, H. R. Schelbert, M. E. Phelps, and C. K. Hoh, "Derivation of input function from FDG-PET studies in small hearts," *J. Nucl. Med.*, vol. 37, no. 10, pp. 1717–1722, 1996.
- [6] A. S. Houston, "The effect of apex-finding errors on factor images obtained from factor analysis and oblique transformation," *Phys. Med. Biol.*, vol. 29, pp. 1109–1116, 1984.
- [7] M. Magadan-Mendez et al, "ICA Separation of Functional Components from Dynamic Cardiac PET data". IEEE Trans. Nucl. Sci. 2004.
- [8] M. Naganawa et al., "Extraction of vessel-related information from PET images without continuous blood sampling using modified independent component analysis.", IEEE NSS & MIC, 2001.
- [9] C. Robert, "Monte Carlo Statistical Methods." New York: Springer-Verlag, 1999.
- [10] W. Gilks, S. Richardson and D. Spiegelhalter., "Markov Chain Monte Carlo in Practice." London, U.K.: Chapman & Hall, 1999.
- [11] A. Hyvarinen, J. Karhunen, E. Oja, "Independent Component Analysis", USA, John Wiley Sons, Inc. 2001.
- [12] O. Winther and K. B. Petersen. "Flexible and efficient implementations of bayesian independent component analysis." *Neurocomputing*, no. 71, pp. 221–233, 2007.
- [13] P.H. Sorensen, O. Winther, L. K. Hansen. "Mean-field approaches to independent component analysis." *Neural Computation*, no. 14, pp. 889-918, 2002.
- [14] S. Moussaoui, C. Carteret, D. Brie, A. Mohammad-Djafari, "Bayesian analysis of spectral mixture data using Markov Chain Monte Carlo Methods." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 81, pp. 137–148, 2006.
- [15] R. M. Neal, "Monte Carlo Implementation of Gaussian Process Models for Bayesian Regression and Classification." Technical Report, no. 9702, Department of Statistics, University of Toronto, 1997.
- [16] M. Bergeron et al., "Performance Evaluation of the Lab. PET APD-Based Digital PET Scanner", IEEE Trans. Nucl. Sci, vol. 6. no. 1, 2009.