

Thèse de Doctorat en co-tutelle
L' INSTITUT NATIONAL D'INFORMATIQUE D' A L G E R
L' UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE DE P A R I S VI
U.F.R. d'Informatique

Spécialité : Informatique

Recherche et parallélisation d'un algorithme de
traitement et de compression d'images médicales avec
sauvegarde des détails diagnostiques

«APPLICATION À LA DÉTECTION DES MICROCALCIFICATIONS DANS LES IMAGES
MAMMOGRAPHIQUES»

par

Baya OUSSENA

soutenue le

21 février 2005

devant le Jury composé de :

M. René ALT, Professeur, UPMC Paris VI Directeur de thèse
M. Abderrazak HENNI, Maître de Conférences, INI Alger Co-directeur de thèse
M^{me} Isabelle BLOCH , Professeur, ENST Paris Rapporteur
M. Youcef SMARA , Professeur, USTHB Alger Rapporteur
M^{me} Habiba DRIAS, Professeur, INI Alger Examineur
M. Bernard ROBINET, Professeur, UPMC Paris VI Examineur
~~M. Mohamed Amine Nouni, Professeur, USTHB Alger Examineur~~
M. Jean Luc LAMOTTE, Maître de Conférences HDR, UPMC Paris VI Examineur

M. Ahmed BENDIB, Professeur en sénologie, CHU Mustapha Bacha Alger Invité
M. Lounes MEDJEK, Professeur en radiologie, CHU Ain Naadja Alger Invité
M^{me} Michelle MORCRETTE, Maître de Conférences, UPMC Paris VI Invitée

Résumé

La Mammographie est l'un des principaux systèmes d'imagerie le plus efficace pour la détection du cancer de sein à sa première étape. Les microcalcifications et les foyers de microcalcifications sont connus pour être les premiers signes d'un développement d'un éventuel cancer du sein. La transformation en ondelettes et l'analyse multirésolution sont des outils puissants pour l'analyse des images constituées de différentes structures. L'application de la théorie des ondelettes constitue le noyau de cette présente thèse qui se compose de trois principaux volets. Le but du premier volet est d'élaborer une méthode pour la détection et la classification des différents types de microcalcifications. Pour ce faire, une technique utilisant l'analyse multirésolution est employée pour fournir une méthode de rehaussement et de contrôle des microcalcifications. La méthode peut séparer les microcalcifications des autres structures contenues dans l'image mammographique. La détection et le rehaussement des microcalcifications sont assurés pour chaque type séparément en employant des coefficients d'ondelettes appropriés déterminés expérimentalement. Le deuxième volet porte sur une méthode de compression des images médicales avec conservation des détails diagnostiques, les microcalcifications dans le cas présent d'étude. Une méthode de décomposition en paquets d'ondelettes est mise en œuvre et une décomposition de l'image sur 66 sous-bandes en employant les filtres les moins asymétriques de Daubechies est proposée ; ainsi la compression peut sauvegarder les détails de l'information contenus dans l'image pour une future détection dans l'analyse médicale. Des exemples sont donnés pour démontrer l'efficacité de l'approche. La transformation en ondelettes est une technique de calcul intensif qui porte généralement sur de grands volumes de données dont le temps de calcul est proportionnel à la taille des données en entrée. Pour diminuer le temps de calcul, le troisième et dernier volet porte sur l'étude de la parallélisation de l'algorithme de compression en général et du processus de décomposition en ondelettes en particulier sur une grappe de PC. Trois approches sont alors étudiées pour la parallélisation du processus de décomposition, toutes trois sont basées sur un parallélisme de données à gros grains.

Mots-clés : ondelettes orthogonales, analyse multirésolution, paquet d'ondelettes, mammographie, cancer du sein, microcalcification, fusion d'images, compression, algorithme parallèle, grappe, Myrinet - MPI.

Abstract

Mammography is the medical imaging technique which is considered the most efficient for the detection of breast cancer at the early stages. It detects microcalcifications and clustered microcalcifications, which are known to be the first signs of the development of an eventual cancer. The wavelet transform method and its multiresolution analysis is a powerful tool for analysis of images containing small and large scale objects. The application of wavelet theory constitutes the bulk of the present thesis that consists of three parts. The first part describes the development of a method for the detection and classification of all type of microcalcifications. A technique using multiresolution analysis is used to provide a method for enhancing the image of all types of small scale objects, e.g. microcalcifications, and separating them from large background structures. Enhancement of microcalcifications of different types is optimised by using appropriate wavelet coefficients which have been determined in numerical calculations. The second part describes a method of compressing medical images for the purpose of saving the information contained in the image for further medical analysis. A 66 sub-bands wavelet packets decomposition of the image has been employed using Least Asymmetric Daubechies wavelets. Graphical examples are given to demonstrate the performance of the approach. The third part relates to a study of the parallelization of the computer calculation of the compression algorithm and the process of wavelet decomposition, using a cluster of PCs. Three methods have been studied for the parallelization of the process of decomposition, all three based on a large coarse grain data parallelism.

Keywords : orthogonal wavelet, multiresolution analysis, wavelet packet, mammograms, breast cancer, microcalcification, image fusion, compression, parallel algorithm, cluster, Myrinet, MPI.

Table des matières

1	Introduction générale	11
2	Présentation des Ondelettes	19
2.1	Introduction	19
2.2	Définitions et propriétés	20
2.3	Famille continue d'ondelettes	21
2.3.1	La transformée en ondelettes continue	22
2.4	Ondelettes discrètes	23
2.4.1	La transformée en ondelettes discrète	23
2.5	Analyse multirésolution	24
2.5.1	Analyse multirésolution et banc de filtres	27
2.6	Décomposition et reconstruction	29
2.6.1	Algorithme de décomposition en coefficients d'ondelettes	30
2.6.2	Algorithme de reconstruction	30
2.7	Extension à deux dimensions	31
2.8	Ondelettes bi-orthogonales	32
2.9	Exemple d'application de l'analyse multirésolution	33
2.10	Quelques ondelettes	35
2.10.1	Les ondelettes continues	35
2.10.2	Ondelettes orthonormales	36
2.11	Conclusion	40
3	Application des ondelettes au rehaussement des microcalcifications pour une détection précoce du cancer du sein	41
3.1	Introduction	41
3.2	Les microcalcifications	42
3.3	Mise en oeuvre du système de rehaussement des microcalcifications	43
3.3.1	Méthode 1 : la transformation en ondelettes	45
3.3.2	Méthode 2 : la fusion de deux transformations en ondelettes	51
3.3.3	Méthode 3 : l'égalisation des niveaux de gris	53
3.4	Décomposition et reconstruction en ondelettes des images mammographiques	55
3.5	Architecture générale du système de traitement en ondelettes des images mammographiques	61
3.6	Présentation de l'étude expérimentale	62
3.6.1	Choix du type d'ondelette	63

3.6.2	L'influence des coefficients d'ondelettes et de la taille des filtres . . .	66
3.6.3	L'influence du type de microcalcifications sur le choix des paramètres	73
3.7	Évaluation des détections TPD-FPD-TND	83
3.8	Paramètres retenus et Robustesse de la méthode	84
3.9	Conclusion	85
4	Compression d'images médicales avec conservation de détails relatifs aux diagnostics à base d'ondelettes	87
4.1	Introduction	87
4.2	Les algorithmes de compression sans perte (codage entropique)	88
4.2.1	La compression RLE	88
4.2.2	La compression Huffman	88
4.2.3	La compression Lempel Ziv Welch (LZW)	89
4.3	Les algorithmes de compression avec perte	89
4.4	Evaluation de la qualité de la compression	93
4.4.1	Taux de compression	93
4.4.2	Taux d'information : entropie	93
4.4.3	Évaluation de la distorsion	95
4.5	Mise en oeuvre du noyau du compresseur	96
4.5.1	La transformation en ondelettes	97
4.5.2	La quantification scalaire	101
4.5.3	Le codage Huffman des coefficients	102
4.6	Traitement au voisinage des bords et problème de dimensionnement de l'image	104
4.6.1	Étude de la transformation d'extension symétrique périodique : T.E.S	104
4.6.2	Opérateurs d'extension symétrique périodique	106
4.6.3	Opérateurs d'extension antisymétrique périodique	106
4.7	Tests et évaluation des résultats	108
4.8	Conclusion	115
5	Étude de la parallélisation de l'algorithme de compression	117
5.1	Introduction	117
5.2	Classification des architectures parallèles	118
5.3	Tendance actuelle : Les grappes	120
5.3.1	Classifications des grappes	121
5.3.2	La composante matérielle d'une grappe	121
5.4	Parallélisation d'algorithmes séquentiels	122
5.5	Formes de parallélisme	123
5.5.1	Parallélisme de données	123
5.5.2	Parallélisme de contrôle	123
5.6	Programmation par échange de messages	124
5.6.1	La bibliothèque PVM	126
5.6.2	La bibliothèque MPI	127
5.7	Mesure de performance des applications parallèles	128