Université Med V-Agdal & Université du Sud-Toulon
Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var & Faculté des Sciences de Rabat
LSEET, UMR CNRS 6017 & GSCM-LRIT

UFR Informatique & Télécommunications
École doctorale « Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication » de Toulon-Var

THÈSE EN CO-TUTELLE

pour obtenir le titre de

Docteur en Sciences

Discipline : Sciences de l'ingénieur
Spécialité : Informatique & Télécommunications

présentée par

Hicham GHENNIOUI

SÉPARATION AVEUGLE DE MÉLANGES LINÉAIRES CONVOLUTIFS DE SOURCES CORRÉLÉES

---

dirigée par :

Driss ABOUTAJDINE
Abdellah ADIB

Eric MOREAU
Nadège THIRION-MOREAU

soutenue le 19 juillet 2008 devant le jury composé de :

M. Driss ABOUTAJDINE	Professeur à l'Université Med V-Agdal de Rabat	Président
M. Christian JUTTEN	Professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble	Rapporteur
M. M'Hamed BAKRIM	Professeur à l'Université Cadi Ayyad de Marrakech	Rapporteur
M. Abdellah ADIB	Professeur à l'Université Med V-Agdal de Rabat	Co-Directeur de Thèse
M. Eric MOREAU	Professeur à l'Université du Sud-Toulon	Directeur de Thèse
Mme. Nadège THIRION-MOREAU	Professeur habilité à l'Université du Sud-Toulon	Directrice de Thèse
M. François BOURZEIX	Directeur technique, AMESYS (I2E) Maroc	Invité

Coopération franco-marocaine dans le domaine des STIC, Pôle de compétence STIC & INRIA
© Hicham GHENNIOUI, 2008.

Résumé

Dans cette thèse, nous étudions le problème de la séparation aveugle de mélanges linéaires convolutifs sur-déterminés réels ou complexes de sources. Les sources considérées sont réelles ou complexes, déterministes ou aléatoires et dans ce dernier cas statistiquement indépendantes ou corrélées, stationnaires, cyclostationnaires ou non-stationnaires. Nous développons des approches combinant de nouveaux algorithmes de (bloc) diagonalisation conjointe (non unitaires) à de nouveaux détecteurs de points (temps-fréquence ou autres...) particuliers permettant d'élaborer le ou les ensembles de matrices devant être (bloc) diagonalisées conjointement. Les principaux avantages de ces approches sont d'être plus directes en ce se sens qu'elles ne requièrent plus de blanchiment préalable des observations. Elles permettent en outre d'aborder le cas réputé difficile des signaux corrélés.
En ce qui concerne les algorithmes de (bloc) diagonalisation conjointe, nous proposons quatre nouveaux algorithmes sans contrainte d'unitarité sur la matrice recherchée. Le premier algorithme est de type algébrique itératif. Il est basé sur l'optimisation d'un critère de type moindres carrés. Les trois autres approches utilisent un schéma d'optimisation de type gradient. Dans un premier temps le calcul du gradient matriciel de la fonction de coût étudiée est approché. Puis dans un second temps le calcul exact est mené et deux nouveaux algorithmes sont proposés : l'un à base de gradient, l'autre à base de gradient relatif. Nous étudions les versions à pas fixe de ces trois algorithmes, puis les versions à pas optimal afin d'accélérer la convergence des algorithmes (le pas est alors recalculé algébriquement à chaque itération en cherchant les racines d'un polynôme d'ordre trois). Un lien avec la diagonalisation conjointe non unitaire est également établi. Ces algorithmes de bloc-diagonalisation conjointe possèdent l'avantage d'être généraux : les matrices de l'ensemble considéré ne sont ni nécessairement réelles, ni à symétrie hermitienne, ni définies positives et le bloc-diagonaliseur conjoint peut être une matrice unitaire ou non-unitaire.

Mots clés

Algorithmes de bloc-diagonalisation conjointe, décompositions matricielles conjointes, séparation aveugle de sources, mélanges linéaires convolutifs sur-déterminés de sources corrélées, fonction de corrélation cyclique, spectres et distributions temps-fréquence spatiaux bilinéaires et quadratiques, détecteurs automatiques de points.

Table des matières

Dédicaces iii

Remerciements v

Résumé vii

Abstract ix

Liste des acronymes xxi

Glossaire xxiii

I Séparation aveugle de sources 1

Introduction générale 3

1 Séparation de sources : problématique & applications 7
1.1 Problématique & éléments classiques de séparation de sources 7
1.1.1 Modélisation mathématique du problème de séparation de sources 8
1.1.2 Modélisation des sources et du système de mélange 8
1.1.3 Réalisation du système de mélange 9
1.1.4 Lien avec le système de mélange instantané 10
1.1.5 Comment reformuler le modèle convolutif en un modèle de type instantané ? . 10
1.1.6 Hypothèses classiques de séparation de sources 12
1.1.7 Indéterminations liées au problème de séparation de sources 14
1.1.8 Indice de performance 16
1.1.9 Blanchiment spatial d'ordre deux 16
1.2 Applications de la séparation de sources 20
1.2.1 Application à l'audio et au traitement de la parole 20
1.2.2 Application aux systèmes de radio-communication 21
1.2.3 Applications biomédicales 22
1.3 Conclusion 23

2 Séparation de sources : approches en contextes instantanés & convolutifs 25
2.1 Méthodes de la séparation de mélanges instantanés de sources 26
2.1.1 Méthodes utilisant les fonctions de contraste 26
2.1.2 Méthodes exploitant la cohérence temporelle ou la non-stationnarité 27

2.1.3 Méthodes basées sur les transformées temps-fréquence spatiales 31
2.2 Méthodes de la séparation de mélanges convolutifs de sources 32
2.2.1 Approches temporelles 32
2.2.2 Approches fréquentielles 34
2.3 Discussion & Conclusion 36

3 Nouveaux algorithmes de bloc-diagonalisation conjointes 39
3.1 Bloc-diagonalisation conjointe d'un ensemble de matrices 40
3.1.1 Formulation du problème de la bloc-diagonalisation conjointe 40
3.1.2 Principe de la bloc-diagonalisation conjointe 40
3.1.3 Lien entre la BDC et la DC 42
3.2 Algorithme de BDC basé sur une optimisation algébrique de la fonction de coût $C_{bdc}(\mathbf{B})$ 43
3.2.1 Principe de l'algorithme $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Alg}}$ 43
3.3 Trois nouveaux algorithmes de BDC basés sur des approches de type Gradient 45
3.3.1 Principe de l'algorithme $\mathsf{JBD}_{\mathsf{App-Grad}}$ fondé sur un calcul approximé du gradient matriciel 45
3.3.2 Principe des deux algorithmes $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Grad_A}}$ et $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Grad_R}}$ fondés sur un calcul exact du gradient matriciel 47
3.4 Simulations informatiques et résultats numériques 52
3.4.1 Cas général de la BDC d'un ensemble de matrices complexes 52
3.4.2 Etude d'un cas particulier : la DC d'un ensemble de matrices complexes . . . 59
3.5 Conclusion 65

4 Nouvelles approches de la séparation de sources 67
4.1 Nouveaux détecteurs de matrices possédant une structure algébrique particulière . . 68
4.1.1 Formulation du problème de la détection 68
4.1.2 Détecteur en instantané dans un contexte non-blanchi 69
4.1.3 Détecteur en convolutif dans un contexte non-blanchi 71
4.2 Nouvelles approches de séparation de mélanges linéaires instantanés de sources . . . 71
4.2.1 Approche consistant à se ramener à un problème aux valeurs propres généralisées : $\mathsf{P}_{\mathsf{NU,TFM}}$ 71
4.2.2 Approche basée sur l'utilisation de RTFSQ ou de STFSQ et d'un algorithme de diagonalisation conjointe non unitaire : $\mathsf{JD}_{\mathsf{inst,TFM}}$ 74
4.3 Nouvelles approches pour la séparation de mélanges linéaires convolutifs de sources . 75
4.3.1 Approche exploitant la cohérence temporelle des sources : méthode $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Conv,CM}}$ 76
4.3.2 Approche exploitant la cyclo-stationnarité des signaux : méthode $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Conv,CCM}}$ 77
4.3.3 Approches basées sur l'utilisation de RTFSQ ou de STFSQ : méthode $\mathsf{JBD}_{\mathsf{Conv,TFM}}$ 80
4.4 Résultats des simulations informatiques 82
4.4.1 Mélanges linéaires instantanés de sources 82
4.4.2 Approche exploitant la cohérence temporelle des signaux : application à des signaux de paroles 85
4.4.3 Approche exploitant la cyclo-stationnarité des signaux : applications à des signaux de télécommunications numériques 88
4.4.4 Approche exploitant la diversité temps-fréquence : application à des signaux de télécommunications numériques 91
4.5 Discussion & conclusion 93

Conclusions & perspectives de recherche 95

Liste de publications 97

Bibliographie 108

Annexe 1 : Décompositions matricielles conjointes 109

Annexe 2 : Matrices gradients & coefficients du polynôme d'ordre 4 113

Annexe 3 : Éléments de l'analyse temps-fréquence 119

Annexe 4 : Détecteurs de points temps-fréquence utiles 131

Annexe 5 : Corrélation et corrélation croisée cycliques d'un modèle cyclo-stationnaire particulier 135

II Documents annexes 141