UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES - FES
Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Fès, le .....

N° d'ordre : 12/2016

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr: Omar Cherrak

Discipline : Génie électrique
Spécialité : Génie électrique

Séparation aveugle de mélanges linéaires de sources : application à la surveillance maritime

Thèse en co-tutelle présentée et soutenue le 19 mars 2016 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
MARS Jérôme	PES	INP Grenoble, France	Président
BADRI Abdelmajid	PES	FST Mohammedia	Rapporteur
BOURRENANE Salah	PES	Ecole centrale de Marseille, France	Rapporteur
ABDI Farid	PES	FST Fès	Rapporteur
GHENNIOUI Hicham	PA	FST Fès	Invité
ABARKAN El Hossain	PES	FST Fès	Directeur de thèse
THIRION-MOREAU Nadège	PES	Université de Toulon	Co-directrice de thèse

Laboratoires d'accueil : -- Signaux, Systèmes et Composantes (LSSC)
-- Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS)

Etablissements : -- Faculté des Sciences et Techniques (FST)
-- Université de Toulon (UTLN)

UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES - FES
Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Résumé de la thèse

Dans cette thèse, nous nous intéressons au système d'identification automatique spatial lequel est dédié à la surveillance maritime par satellite. Ce système couvre une zone bien plus large que le système standard à terre correspondant à plusieurs cellules traditionnelles ce qui peut entraîner des risques de collision des données envoyées par des navires localisés dans des cellules différentes et reçues au niveau de l'antenne du satellite. Nous présentons différentes approches afin de répondre au problème de collision considéré. Elles ne reposent pas toujours sur les mêmes hypothèses en ce qui concerne les signaux reçus, et ne s'appliquent donc pas toutes dans les mêmes contextes (nombre de capteurs utilisés, mode semi-supervisé avec utilisation de trames d'apprentissage et information a priori ou mode aveugle, problèmes liés à la synchronisation des signaux, etc...).

Dans un premier temps, nous proposons des méthodes permettant la séparation/dé-collision des messages en modèle sur-déterminé (plus de capteurs que de messages). Elles sont fondées sur des algorithmes de décompositions matricielles conjointes combinés à des détecteurs de points temps-fréquence (retard-fréquence Doppler) particuliers permettant la construction d'ensembles de matrices devant être (bloc) ou zéro (bloc) diagonalisées conjointement. En ce qui concerne les algorithmes de décompositions matricielles conjointes, nous proposons quatre nouveaux algorithmes de bloc diagonalisation conjointe (de même que leur version à pas optimal) fondés respectivement sur des algorithmes d'optimisation de type gradient conjugué, gradient conjugué pré-conditionné, Levenberg-Marquardt et Quasi-Newton. Le calcul exact du gradient matriciel complexe et des matrices Hessiennes complexes est mené. Nous introduisons également un nouveau problème dénommé zéro-bloc diagonalisation conjointe non-unitaire lequel généralise le problème désormais classique de la zéro-diagonalisation conjointe non-unitaire. Il implique le choix d'une fonction de coût adaptée et à nouveau le calcul de quantités telles que gradient matriciel complexe et les matrices Hessiennes complexes. Nous proposons ensuite trois nouveaux algorithmes à pas optimal fondés sur des algorithmes d'optimisation de type gradient conjugué, gradient conjugué pré-conditionné et Levenberg-Marquardt.

Finalement, nous terminons par des approches à base de techniques de détection multi-utilisateurs conjointe susceptibles de fonctionner en contexte sous-déterminé dans lequel nous ne disposons plus que d'un seul capteur recevant simultanément plusieurs signaux sources. Nous commençons par développer une première approche par déflation consistant à supprimer successivement les interférences. Nous proposons ensuite un deuxième mode opératoire fondé quant à lui sur l'estimateur du maximum de vraisemblance conjoint qui est une variante de l'algorithme de VITERBI.

Mots clés :

Système d'identification automatique spatial, surveillance maritime, (dé)-collision, décompositions matricielles conjointes, algorithmes de bloc et zéro-bloc diagonalisation conjointe, séparation aveugle de sources, détection automatique, spectres et distributions spatiaux (spatiales) bilinéaires et quadratiques, représentation temps-fréquence, détection multi-utilisateurs conjointe, détection par suppression successive des interférences, estimateur de séquence à maximum de vraisemblance conjoint.

Table des matières

Remerciements iii

Résumé v

Abstract vii

Table des figures xiii

Liste des tableaux xvii

Liste des acronymes xix

Glossaire xxiii

Introduction générale 1

1 Séparation aveugle de sources et surveillance maritime par satellite 5

1.1 Éléments classiques de la séparation aveugle de sources 5

1.1.1 Modélisation mathématique du problème 6

1.1.2 Modélisation du système de mélange linéaire 6

1.1.3 Hypothèses classiques de la séparation de sources 9

1.1.4 Blanchiment d'ordre deux 10

1.1.5 Indéterminations inhérentes au problème de la séparation aveugle de sources 11

1.1.6 Indice d'erreur 13

1.2 Méthodes de séparation de sources : un bref historique 14

1.2.1 Mélange instantané 14

1.2.2 Mélange convolutif 21

1.3 Quelques applications de la séparation aveugle de sources 22

1.4 Le contexte applicatif de la surveillance maritime : le système d'identification automatique 23

1.4.1 Introduction 23
1.4.2 Principe de fonctionnement du système AIS 24
1.4.3 Structure des messages AIS 27
1.4.4 Codage différentiel en ligne NRZI 28
1.4.5 Modulation GMSK 28
1.5 Réception des messages au niveau d'un récepteur satellitaire 29
1.5.1 Introduction 29
1.5.2 Problèmes liés à une réception spatiale des messages 30
1.5.3 Modélisation du problème de collision des messages AIS 32
1.6 Conclusion 34

2 Problèmes de la bloc-diagonalisation et de la zéro bloc-diagonalisation conjointe et nouveaux algorithmes 37

2.1 Bloc-diagonalisation conjointe : problème et hypothèses 39
2.1.1 Formulation du problème de la bloc-diagonalisation conjointe 40
2.1.2 Principe de la bloc-diagonalisation conjointe 40
2.1.3 Lien entre BDC et DC 42
2.1.4 Quelques rappels sur l'optimisation et le préconditionnement 42
2.1.5 Quatre nouveaux algorithmes de bloc-diagonalisation conjointe non unitaire 44
2.1.6 Schéma d'optimisation déterministes itératifs classiques 46
2.1.7 Algorithmes de $\mathsf{BDC}_{\mathsf{NU}}$ en résumé 50
2.1.8 Complexité algorithmique 50
2.2 Zéro bloc-diagonalisation conjointe : problème et hypothèses 52
2.2.1 Formulation du problème de la zéro bloc-diagonalisation conjointe et ses hypothèses 53
2.2.2 Principe de la zéro-bloc diagonalisation conjointe 53
2.2.3 Lien entre ZBDC et ZDC 54
2.2.4 Trois nouveaux algorithmes de zéro-bloc diagonalisation conjointe non unitaire 55
2.2.5 Gradient matriciel complexe 55
2.2.6 Algorithmes de $\mathsf{ZBDC}_{\mathsf{NU}}$ en résumé 58
2.2.7 Complexité algorithmique 58
2.3 Simulations informatiques et comparaisons 59
2.3.1 Cas général de la BDC d'un ensemble de matrices complexes 60
2.3.2 Cas particulier : la DC d'un ensemble de matrices complexes 68
2.3.3 Cas général de la ZBDC d'un ensemble de matrices complexes 68

2.3.4 Cas particulier : la ZDC d'un ensemble de matrices complexes 78
2.4 Conclusion 81

3 Nouvelles méthodes de séparation en surveillance maritime par satellite : cas sur-déterminé 83

3.1 Approches basées sur les algorithmes de décomposition matricielle conjointe . 84
3.2 Approches exploitant la diversité temps-fréquence des signaux S − AIS 85
3.2.1 Approches basées sur l'utilisation combinée de spectres temps-fréquence spatiaux quadratiques et d'algorithmes de diagonalisation conjointe . 85
3.2.2 Énoncé du problème 86
3.2.3 Principe des approches $\mathsf{DC}_{\mathsf{LM}_{\mathsf{EH}}-\mathsf{TF}}$, $\mathsf{DC}_{\mathsf{GCP}_{\mathsf{EH}}-\mathsf{TF}}$ et $\mathsf{DC}_{\mathsf{GC}-\mathsf{TF}}$ 86
3.2.4 Détecteur de "bons" points temps-fréquences 87
3.2.5 Résumé des approches proposées 87
3.2.6 Simulations informatiques 87
3.3 Approches exploitant la diversité Doppler-Retard des sources 90
3.3.1 Approches exploitant le caractère cyclo-stationnaire à l'ordre deux des sources S − AIS 90
3.3.2 Les outils de ce domaine : fonction d'ambiguïté et fonction d'ambiguïté moyenne spatiale 91
3.3.3 Sous l'effet d'un mélange linéaire instantané 93
3.3.4 Approches de séparation basées sur les fonctions d'ambiguïté moyennes spatiales combinées à des algorithmes de zéro-diagonalisation conjointe non unitaire 94
3.3.5 Construction de l'ensemble $\mathcal{X}$ de matrices à partir des points Doppler-Retard sélectionnés 95
3.3.6 Un récapitulatif du principe des approches suggérées 95
3.3.7 Simulations informatiques 95
3.4 Conclusion 98

4 Nouvelles méthodes de séparation en surveillance maritime par satellite : cas sous-déterminé 101

4.1 Technique de dé-collision fondée sur la méthode de suppression successive des interférences SSI 102
4.1.1 Principe de l'approche $\mathsf{DMUS}_{\mathsf{SSI}}$ 102
4.1.2 Approche $\mathsf{DMUS}_{\mathsf{SSI}}$ en résumé 103
4.1.3 Simulations informatiques 103
4.2 Technique de dé-collision à base de l'algorithme de JMLSE 105

4.2.1 Principe de l'approche $\mathsf{DMUC}_{\mathsf{JMLSE}}$ 105
4.2.2 Approche $\mathsf{DMUC}_{\mathsf{JMLSE}}$ en résumé 107
4.2.3 Simulations informatiques 107
4.3 Conclusion 110

Conclusions et perspectives **113**

Bibliographie **115**

Annexe 1 : Quelques propriétés algébriques importantes **133**

Annexe 2 : Fonction de coût $\mathcal{C}_{\mathsf{BDC}}(\mathbf{B},\mathbf{B}^*)$ et bloc diagonalisation conjointe **135**
1 Calcul exact des matrices Hessiennes complexes de la fonction de coût $\mathcal{C}_{\mathsf{BDC}}(\mathbf{B},\mathbf{B}^*)$ 135
2 Calcul du pas optimal 137

Annexe 3 : Fonction de coût $\mathcal{C}_{\mathsf{ZBDC}}(\mathbf{B},\mathbf{B}^*)$ et zéro-bloc diagonalisation conjointe **139**
1 Calcul exact des gradients matriciels de la fonction de coût $\mathcal{C}_{\mathsf{ZBDC}}(\mathbf{B},\mathbf{B}^*)$ . . 139
2 Calcul exact des matrices Hessiennes complexes de la fonction de coût $\mathcal{C}_{\mathsf{ZBDC}}(\mathbf{B},\mathbf{B}^*)$ 141
3 Calcul du pas optimal 143

Annexe 4 : Bref état de l'art sur la détection automatique de points (α,β) et sur les méthodes de SAS en contexte cyclo-stationnaire **145**
1 Bref état de l'art en matière de détection automatique de points (α,β) . . . 145
1.1 Détecteurs de points (α_i,β_i) particuliers 146
1.2 En contexte instantané non blanchi 148
1.3 En contexte convolutif blanchi 150
1.4 En contexte convolutif non blanchi 151
2 Résumé de l'état de l'art sur les méthodes de SAS en contexte cyclo-stationnaire 151

Documents annexes **153**