

ORSAY

n° d'ordre : 7875

UNIVERSITÉ PARIS-SUD
U.F.R. SCIENTIFIQUE D'ORSAY

THÈSE

présentée pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ PARIS SUD

Spécialité : Automatique et Traitement du Signal

par

Mounir DJEDDI

TITRE : APPROCHES POUR L'ANALYSE DES SIGNAUX A PHASE
POLYNOMIALE DANS UN ENVIRONNEMENT NON GAUSSIEN

Soutenue le **24 Mai 2005** devant la commission d'examen :

M. Messaoud BENIDIR *Directeur de thèse*
M. Thierry CHONAVEL *Rapporteur*
M. André FERRARI
Mme Nadine MARTIN *Président du Jury*
M. Abdeldjalil OUAHABI *Rapporteur*

Résumé

Approches pour analyse des signaux à phase polynomiale dans un environnement non gaussien

Les travaux présentés dans cette thèse portent sur l'étude des approches d'estimation des Signaux à Phase Polynomiale (SPP) affectés par un bruit impulsif non gaussien. Nous considérons deux modélisations pour ce type de bruit : le premier modèle est défini par une Somme Pondérée de Gaussiennes (SPG) et le second par des distributions α -stables. L'inconvénient majeur d'un bruit impulsif est la dégradation des performances des algorithmes classiques qui sont souvent développés dans un contexte de bruit gaussien.

Dans la première partie de la thèse, nous abordons les méthodes classiques d'analyse temps-fréquence des SPP. L'utilisation des statistiques d'ordre fractionnaire permet d'obtenir des algorithmes robustes en présence de bruit impulsif; nous exploitons cette propriété pour proposer une Distribution de Wigner-Ville Polynomiale adaptée à l'analyse des SPP dans ce contexte. Cette nouvelle distribution, comparée aux distributions classiques, permet de mieux représenter la fréquence instantanée du SPP bruité dans le plan temps-fréquence.

La deuxième partie est consacrée aux méthodes récentes d'analyse spectrale adaptées aux SPP. En premier lieu, nous présentons une version de la méthode de Capon pour l'estimation des paramètres de la phase, à partir de laquelle nous proposons un estimateur MUSIC robuste obtenu par une décomposition en valeurs singulières de la matrice de covariation. L'estimateur obtenu, nous permet de suivre l'évolution temporelle des coefficients de la phase dans le plan temps-coefficient.

Dans la troisième partie, nous présentons une approche de l'estimation des SPP fondée sur le filtrage de Kalman. Cette approche repose sur une représentation d'état non linéaire du signal avec un bruit d'observation défini par la somme pondérée de deux gaussiennes. Nous présentons trois types de filtres de Kalman robustes au bruit impulsif pour la poursuite des coefficients de la phase du SPP. Le premier filtre, appelé filtre de Kalman étendu robuste est basé sur une version modifiée du gain de Kalman dépendant de la fonction de Huber modifiée. L'inconvénient majeur de ce filtre est que son fonctionnement dépend du seuil de la fonction de Huber. Pour cela,

nous proposons d'utiliser deux filtres de Kalman étendus (EKF) opérant en parallèle et dont le résultat de l'estimation est pondéré par la probabilité d'apparition du bruit impulsif. Enfin, il est possible d'améliorer les performances du filtre de Kalman étendu parallèle en remplaçant le filtre de Kalman étendu par un filtre UKF "unscented Kalman filter" qui contrairement au filtre EKF ne nécessite pas une linéarisation des équations d'états et permet d'obtenir une meilleure estimation des paramètres du signal.

Mots clés : Signaux à phase polynomiale, distribution temps-fréquence, fréquence instantanée, statistiques d'ordre fractionnaire, algorithme MUSIC robuste, représentation d'état, filtrage de Kalman.

Abstract

Polynomial phase signal analysis in non Gaussian environment

Polynomial phase signals (PPS) belong to the family of non stationary signals and have found use in many area of engineering such as in Radar and communication. The main problem is to estimate the parameters of such signals. Many research works have been extensively conducted in the last decade and led to the development of various algorithms based on different mathematical tools such as time-frequency, subspace methods, High order statistics and Kalman filtering, etc. Though, these techniques have proven to perform well in estimating the signal parameters, Most of them rely on second order statistics, and assume that the noise affecting the PPS is white Gaussian noise.

The research work presented in this thesis deals with the analysis of PPS in non Gaussian environment as an extension to the Gaussian case. In this context, the impulsive noise is considered to have either an α -stable distribution, or ϵ -contaminated model.

Three approaches of estimation are explored. The first method concerns robust time-frequency analysis of PPS, we propose to integrate the fractional lower statistics (FLOS) in the kernel of the polynomial phase Wigner-Ville distribution (PWVD) in order to obtain a robust time-frequency distribution able to reveal the instantaneous frequency of the PPS of order $M > 2$ affected by impulsive α -stable noise. The FLOS based PWVD is compared with other recently proposed robust algorithm using information theory based measures.

The second approach deals with robust subspace method based on the MUSIC estimator. Using covariation matrix decomposition, we propose a modified robust MUSIC algorithm which is able to track the value of the coefficients of the phase of the PPS in a time-coefficient plane.

Finally, using the nonlinear state space representation of PPS, we explore the use of Kalman filtering technique for robust estimation of PPS in ϵ -contaminated noise. In this context, three types of Kalman filters are proposed and compared : The robust extended Kalman filter, the parallel extended Kalman filter (EKF) and because the EKF require linearization an alternative method is proposed based on parallel unscented Kalman filters UKF.

Keywords : Polynomial phase signal, polynomial phase Wigner-Ville distribution, Instantaneous frequency, fractional lower order statistics, robust MUSIC estimator, state space representation, Kalman filtering.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Signaux à phase polynomiale (SPP)	1
1.2	Contributions et organisation du document	4
2	Rappels sur les outils d'analyse des SPP et modèles de signaux non gaussiens	9
2.1	Introduction	9
2.2	Outils pour l'analyse des signaux à phase polynomiale	10
2.2.1	Distribution de Wigner-Ville	10
2.2.2	Distribution de Wigner-Ville polynomiale	12
2.2.3	Transformée de phase polynomiale	13
2.2.4	Distribution de Wigner-Ville généralisée	14
2.2.5	Fonction d'ambiguïté généralisée	15
2.2.6	SPP noyés dans un bruit gaussien additif et multiplicatif	16
2.3	Signaux non gaussiens	17
2.3.1	Introduction	17
2.3.2	Somme pondérée de gaussiennes	17
2.3.3	Signaux α -stables	18
2.3.3.1	Distribution symétrique α -stable SaS	20
2.3.3.2	Les moments de lois α -stables	21
2.3.3.3	Approximation par un mélange de gaussiennes	21
2.3.3.4	Propriétés des variables aléatoires α -stables	25
2.3.3.5	Covariation	26
2.3.3.6	Variable complexe α -stable	27
2.3.3.7	Génération de processus α -stables	27
2.4	Conclusion	28
3	Méthodes d'analyse temps-fréquence robustes	29
3.1	Introduction	29

3.2	L'effet du bruit impulsif	30
3.3	Distributions temps-fréquence robustes	32
3.3.1	PWVD robuste pour les SPP noyés dans un bruit non gaussien	32
3.3.2	WVD basée sur les statistiques d'ordre fractionnaire	34
3.3.3	PWVD basée sur les statistiques d'ordre fractionnaire	39
3.3.4	Comparaison des distributions temps-fréquence robustes	42
3.3.5	Signaux à phase polynomiale multicomposantes	45
3.4	Conclusion	47
4	Méthodes d'analyse spectrale adaptées à l'estimation des SPP	49
4.1	Introduction	49
4.2	Méthode de Capon pour l'estimation des SPP	50
4.3	Algorithme MUSIC pour les SPP affectés par un bruit gaussien	53
4.4	Algorithme MUSIC Robuste pour les SPP affectés par un bruit impulsif	54
4.5	Conclusion	59
5	Approches basées sur la représentation d'état	61
5.1	Introduction	61
5.2	Modélisation	62
5.3	Estimation par un filtrage de Kalman étendu robuste	64
5.4	Estimation par deux filtres de Kalman étendus parallèles	69
5.5	Estimation par deux filtres UKF parallèles	76
5.6	Conclusion	80
6	Conclusion et perspectives	81
6.1	Conclusion générale	81
6.2	Perspectives	82
A	Détails de calculs des équations du PEKF	85
B	Détails de calcul de la borne de Cramer-Rao	93
C	Principales publications de l'auteur	97
	Références bibliographiques	114