

N° d'ordre 9412

THESE

Présentée à

**L'UNIVERSITE DE VALENCIENNES
ET DU HAINAUT-CAMBRESIS**

Par

Bouhafs BOURAS

Pour obtenir

Le grade de DOCTEUR EN ELECTRONIQUE

TRAITEMENT DU SIGNAL ADAPTE AUX SIGNAUX GPS

Soutenue le 14 Janvier 1994 devant le jury composé de :

MM.	Y. LEROY	Rapporteur
	P.A. ROLLAND	Rapporteur
	R. TORGUET	Directeur de thèse
	J.M. ROUVAEN	Examineur
	C. BRUNEEL	Examineur
	O. BAZZI	Examineur

iemn

Institut d'électronique et de microélectronique du nord
Département O.A.E. B.P. 311 59304 Valenciennes

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
-------------------	---

CHAPITRE I: Traitement du signal pour la communication

Introduction.....	9
I-1- Filtrage adaptatif.....	10
I-1-1- Le filtrage adapté : notion de corrélation.....	10
I-1-2- Amélioration du rapport signal à bruit par corrélation.....	14
I-1-3- Filtrage de Wiener.....	17
I-2- Rappel sur les théories de décision et d'estimation.....	18
I-2-1- Décision et probabilité d'erreur.....	18
I-2-2- Détection et estimation.....	23
I-2-3- Critères de décisions.....	24
* Approche de Bayes.....	24
* Approche de Neyman-Pearson.....	24
* Critère de déflexion ou de contraste.....	26
I-2-4- Rappel sur la théorie de l'estimation.....	27
I-2-5- Estimation des paramètres.....	28
I-2-6- Estimation d'un paramètre du signal.....	28
I-2-7- critère du maximum de vraisemblance dans le cas gaussien....	29
I-2-8- Réception en bruit coloré.....	30
I-2-9- Fonction d'ambiguïté.....	30
I-3- Choix des signaux pour communication et repérage.....	33
- L'influence du bruit sur les mesures.....	34
* précision de la mesure de distance.....	34
* précision de la mesure de vitesse radiale	36
I-4- Techniques de transmissions en spectre étalé.....	36
I-4-1- Avantages du spectre étalé.....	37
I-4-2- Impulsion codée et compression d'impulsion.....	38
I-4-3- Impulsion modulée linéairement en fréquence (Chirp).....	39
I-4-4- Codage par séquence pseudoaléatoire.....	39
I-4-5- Système à saut de fréquence.....	42
I-4-6- Canal de transmission.....	42
Conclusion	43

CHAPITRE II : Techniques de traitement des signaux de navigation

Le système G.P.S.

Introduction.....	45
II-1- Navigation.....	46
II-1-1- Navigation inertielle.....	46
II-1-2- Radiolocalisation par satellite.....	46
II-1-3- Le principe du système NAVSTAR/GPS.....	47
II-1-4- Objectifs du système GPS.....	48
II-2- Principes de navigation.....	48
II-3- Structure des signaux.....	52
II-3-1- Code C/A.....	52
II-3-2- Code P.....	52

II-3-3- Message de navigation.....	52
II-4- Codage pour communication et repérage.....	53
II-5- Les codes Pseudo-Aléatoire (PA).....	54
II-5-1- Séquences de longueurs maximales.....	54
II-5-2- Codes de Gold.....	56
II-6- Techniques d'acquisition.....	58
II-6-1- Modélisation du signal reçu.....	58
II-6-2- Méthodes d'acquisition du synchronisme d'une séquence PA.	58
* Corrélations parallèles.....	58
* Corrélations séquentielles.....	59
II-6-3- Décalage temporel.....	60
II-6-4- Décalage fréquentiel.....	60
II-7- Recherche et acquisition des signaux G.P.S.....	60
II-8- Poursuite des signaux.....	63
II-8-1- La boucle d'asservissement Avance-Retard (Delay Lock Loop).	63
II-8-2- Dispositif à asservissement de phase (Phase locked loop:PLL).	66
* Elargissement de la plage de capture.....	68
* Amélioration du rapport S/B dans le PLL.....	69
* Le temps d'accrochage.....	71
* Plage de maintien.....	73
II-9- Le corrélateur I-Q.....	74
II-10- Le processus d'acquisition.....	74
Conclusion	76

CHAPITRE III: Réalisation d'une unité de traitement G.P.S.

Introduction.....	80
III-1- Objectif.....	81
III-2- Description générale du système.....	81
III-3- Techniques de compression et de glissement de phase.....	84
III-4- Bande passante du système.....	87
III-5- Asservissement du code et du Doppler.....	89
III-6- Recherche de synchronisation par glissement de phase.....	90
III-6-1- Cas du Doppler et décalage résiduel nuls.....	92
III-6-2- Cas du Doppler et décalage résiduel non nuls.....	92
III-7- Probabilité du synchronisme conditionnel.....	93
III-8- Probabilité du synchronisme erroné.....	94
III-9- Temps d'acquisition.....	94
Calcul du temps moyen d'acquisition.....	95
III-10- Performance de l'intégrateur parfait.....	100
III-11- Performance de l'intégrateur imparfait (filtre passe-bas).....	102
III-12- Utilité et performance du limiteur.....	104
III-12-1- Probabilité à la sortie du comparateur.....	105
III-12-2- La moyenne et l'écart type du signal.....	108
III-12-3- Simulation.....	109
III-12-4- Résultats simulation.....	111
III-12-5- Compensation de la dégradation causé par le limiteur.....	114
III-13- Caractéristiques du système réalisé.....	115

III-14- Résultats.....	116
III-14-1 Acquisition.....	116
III-14-1 Détection des données.....	119
Conclusion	119

CHAPITRE IV: PARTIE I: Détection des données

Introduction.....	123
IV-1- Ambiguïté de phase.....	123
IV-2- Récupération de la porteuse.....	124
IV-3- Démodulation cohérente pour (S/B) importants.....	126
IV-4- Démodulation avec redressement du signal d'erreur de l'OCT.....	127
IV-5- Démodulation différentielle.....	130
IV-6- Démodulation par le signal d'erreur.....	132
Conclusion	134

PARTIE II: Techniques acousto-optiques pour le traitement du signal

Introduction.....	135
IV-7- L'interaction Acousto-Optique.....	136
IV-7-1- L'interaction Acousto-Optique dans les milieux isotropes.....	136
IV-7-2- L'interaction Acousto-Optique dans les milieux anisotropes..	137
IV-8- Composants Acousto-Optiques pour le traitement du signal.....	138
IV-8-1- Corrélateurs à intégration temporelle.....	138
IV-8-2- Corrélateurs à intégration spatiale.....	140
IV-9- Corrélateur hybride Electro-Acousto-Optique.....	141
IV-9-1- Nécessité d'un corrélateur électronique.....	142
IV-9-2- Evaluation du décalage temporel.....	142
IV-9-3- Algorithme d'acquisition.....	145
Conclusion	145
Conclusion générale.....	150
Références	152

Résumé

Parmi les systèmes de radionavigation existants, GPS est sans doute le plus complet et le plus précis. Il est conçu pour fournir des mesures précises des trois coordonnées d'un navigateur partout dans le monde, et de corriger son horloge dans un repère référentiel. Comparé aux autres systèmes de navigation, il fait appel à des traitements du signal plus sophistiqués, et qui font des récepteurs GPS plus complexes que d'autres. Notre objectif est de rendre ces récepteurs compétitifs en termes de coût et d'utilisation sans compromettre leurs hautes performances. Dans notre travail sur une unité de traitement GPS, prototype réalisée dans notre laboratoire, de très bonnes performances étaient obtenues sur un signal GPS simulé. Des signaux fortement noyés dans le bruit (avec un rapport signal à bruit inférieur à -23 dB) et affectés par le Doppler, étaient traités avec succès et la reconnaissance des codes correspondants était établie. Parmi les aspects les plus importants du système réalisé, la haute immunité au bruit des signaux d'asservissement, permettait une opération stable en présence d'un bruit intense, permettant l'acquisition des données de navigation dans de bonnes conditions.

Mots clefs : GPS, code, Doppler, Correlation, acquisition, bruit, satellite, navigation

Abstract

Among the existing radionavigation systems, GPS (Global Positioning system) is undoubtedly the most complete and precise one. It is designed for providing precise measurements of the three coordinates of a navigator everywhere and the correction of its clock in a referential frame. Compared to other navigation systems it makes call for a more sophisticated signal processing techniques which makes GPS receivers more complicated than others. Our aim is to make these receivers competitive in terms of cost and the ease of use without compromising their high performances. In our work on a prototype GPS processing unit realised in our laboratory, very good performances were obtained on a simulated GPS signal. Signals heavily burried in noise (with a signal to noise ratio of less than -23 dB) and affected by Doppler, were successfully treated and recognition of the corresponding codes was asserted. Among the most important features of the implemented circuitry is the high immunity to noise of the control signals which results in a stable operation in the presence of intensif noise, allowing the acquisition of navigation data in good conditions.

Keywords : GPS, code, Doppler, Correlation, acquisition, noise, satellite, navigation