

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
INRS-EMT

**Système d'acquisition rapide de signaux UWB à très large bande
en milieu minier souterrain**

Par
Yassine SALIH-ALJ, M.ing.

425
12

Thèse Présentée pour l'obtention
du grade de Philosophiae Doctorat (Ph.D.)
en Télécommunications

Jury d'évaluation

Président du jury
Examineur interne

Dr. Tayeb Denidni
INRS-EMT
Université du Québec

Examineur externe

Dr. Christian Cardinal
Département de génie électrique
École polytechnique de Montréal

Examineur externe

Dr. Adel Omar Dahmane
Département de génie électrique
UQTR

Examineur interne
Codirecteur de recherche

Dr. Sofiène Affès
INRS-EMT
Université du Québec

Examineur interne
Directeur de recherche

Dr. Charles Despins
Prompt, inc.

Montréal, le 08/12/2008

SYSTÈME D'ACQUISITION RAPIDE DE SIGNAUX UWB À TRÈS LARGE BANDE EN MILIEU MINIER SOUTERRAIN

Yassine Salih-Alj

RÉSUMÉ

Cette thèse présente un système d'acquisition rapide pour les signaux UWB ("Ultra WideBand") en milieu minier souterrain. La technique d'acquisition et de traitement du signal UWB doit être innovatrice, afin de pouvoir accélérer le processus d'acquisition de ce type de signal dense tout en assurant de bonnes performances dans le milieu hostile considéré. Ce système rapide est proposé pour des perspectives d'applications de radiolocalisation dans ce type d'environnement confiné. Pour ce milieu souterrain caractérisé par les parois rocheuses et rugueuses de ses galeries, la précision du positionnement représente un défi important, s'ajoutant à celui de la rapidité du système utilisé. Il est évident que le support physique de la technologie de communications à très large bande UWB, promettant une excellente résolution temporelle, peut assurer les meilleures précisions de localisation. Toutefois, le coût de calcul associé à l'acquisition d'un tel signal risque d'être très élevé. En effet, en raison de la nature dense en bande de base de ce type de signal, son processus d'acquisition peut être très lent. Aussi, la mise en œuvre d'un système d'acquisition rapide pour des communications d'envergure UWB à accès multiple, peut s'avérer particulièrement délicate.

Dans cette thèse, les propriétés fondamentales de la technologie de communications à très large bande sont étudiées, suivies d'un aperçu de l'état de l'art des techniques actuelles proposées pour l'accélération du processus d'acquisition des signaux UWB. Le canal minier considéré est également présenté avec les modèles actuels existants du canal radio UWB. Une technique d'acquisition modulaire originale pour le signal UWB, est proposée avec un corrélateur DS-UWB ("Direct-Sequence Ultra-WideBand")

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ	i
ABSTRACT	iii
REMERCIEMENTS ET DÉDICACES	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	xiv
INTRODUCTION.....	1
Problématique et motivation	1
Objectifs et méthodologie	3
Structure du mémoire.....	5
Originalité et contribution	7
Publications issues de cette thèse	8
CHAPITRE 1 TECHNOLOGIE DE COMMUNICATIONS À TRÈS LARGE BANDE UWB	10
1.1 Bref historique.....	10
1.2 Régulation du spectre	12
1.3 Définition générale de l'UWB	16
1.4 Forme d'onde	20
1.4.1 Impulsions Gaussiennes	20
1.4.1.1 Gaussienne de base.....	21
1.4.1.2 Doublet.....	22
1.4.1.3 Dérivées Gaussiennes.....	23
1.4.2 Autres types d'impulsions	26
1.4.2.1 HP modifiés.....	27
1.4.2.2 Fonctions PS.....	30
1.5 Étalement spectral et multiplexage du signal UWB.....	31
1.5.1 Principe d'étalement.....	32
1.5.2 Codes pseudo aléatoires	33
1.5.3 Techniques de multiplexage.....	38

1.5.3.1	TH-UWB.....	38
1.5.3.2	DS-UWB.....	42
1.6	Comparaison entre les signaux à étalement de spectre et les signaux UWB.....	44
1.7	Avantages et inconvénients de l'UWB.....	45
1.8	Applications UWB.....	47
1.8.1	Applications radar.....	47
1.8.2	Applications en communication.....	49
CHAPITRE 2 CANAL DE PROPAGATION RADIO POUR LA TECHNOLOGIE UWB.....		51
2.1	Canal de propagation radioélectrique en milieux confinés.....	51
2.1.1	Espace libre.....	53
2.1.2	Trajets multiples.....	54
2.1.3	Variations du canal.....	56
2.1.4	Formulation mathématique.....	60
2.2	Modèles de canal radio UWB.....	61
2.2.1	Modèle de Cassioli.....	62
2.2.2	Modèles standard 802.15.....	63
2.2.2.1	IEEE 802.15.3a.....	64
2.2.2.2	IEEE 802.15.4a.....	65
2.2.3	Canal minier UWB.....	66
2.2.3.1	Description de l'environnement minier souterrain.....	66
2.2.3.2	Modèle du canal UWB considéré.....	68
CHAPITRE 3 STRATÉGIES EXISTENTES D'ACQUISITION RAPIDE DU SIGNAL UWB.....		73
3.1	Algorithmes traditionnels d'acquisition UWB.....	73
3.1.1	Acquisition C/A du signal UWB.....	74
3.1.2	Technique CLPDI d'acquisition UWB.....	75
3.2	Stratégies de recherche efficace.....	76
3.2.1	Recherche par saut de K cases.....	76
3.2.2	Recherche par inversion de bit.....	77
3.2.3	Technique d'acquisition combinée.....	78
3.2.4	Recherche modulaire par inversion de bit.....	79
3.3	Méthodes réductives d'espace de recherche.....	80
3.3.1	Acquisition par graduation.....	81
3.3.2	Technique d'acquisition en 2 étapes.....	82
CHAPITRE 4 STRATÉGIE D'ACQUISITION MODULAIRE DU SIGNAL UWB.....		84
4.1	Présentation de la technique.....	85
4.2	Structure du signal UWB.....	87
4.3	Corrélateur fréquentiel.....	89
4.4	Gain en complexité.....	92

4.5	Techniques d'augmentation	93
4.5.1	Insertion du zéro.....	94
4.5.2	Interpolation	94
4.6	Système d'acquisition rapide.....	95
CHAPITRE 5 CONCEPTION ET SIMULATIONS DU SYSTÈME DE COMMUNICATIONS UWB ..		98
5.1	Générateur du signal UWB	98
5.2	Structure et paramètres du système rapide suggéré pour l'acquisition et la poursuite du signal DS-UWB	100
5.2.1	Numérisation du signal UWB en bande de base	100
5.2.2	FFT à structure optimale	103
5.2.3	Méthode de détection	104
5.3	Discussion des performances et résultats	106
5.3.1	Scénario de bruit AWGN et d'interférence MUI	109
5.3.2	Scénario du canal à évanouissement considéré	117
CHAPITRE 6 CONSIDÉRATIONS PRATIQUES D'IMPLANTATION		122
6.1	Implémentabilité sur FPGA.....	122
6.1.1	Description des circuits programmables FPGA	123
6.1.2	Analyse de complexité du système d'acquisition UWB.....	127
6.2	Implantation du système de localisation minier	133
6.2.1	Concepts fondamentaux des approches utilisées en radiolocalisation.....	133
6.2.1.1	Approche RSS basée sur l'estimation du niveau de puissance.....	134
6.2.1.2	Approche AOA d'angle d'arrivée	135
6.2.1.3	Méthodes TOA/TDOA d'estimation des temps d'arrivée.....	136
6.2.1.4	Approches basées sur des techniques de jumelage des signatures	137
6.2.2	Stratégie de déploiement du système proposé dans une application minière	138
6.2.2.1	Choix et adaptation des paramètres du système d'acquisition proposé.....	139
6.2.2.2	Discussion de la méthode de radiolocalisation à adopter	140
CONCLUSION.....		142
	Synthèse générale.....	142
	Perspectives et recommandations.....	144
ANNEXE A Exemples d'interventions pour régulation de l'UWB.....		145
A.1	Copie de la lettre du directeur de gestion du spectre au DoD Y. Badri.....	145
A.2	Copie de la lettre du député P. Wolfowitz au DoD	148
ANNEXE B Statistiques des évanouissements du multi-trajets.....		150
B.1	Distributions statistiques	150
B.1.1	Distribution de Rayleigh.....	150
B.1.2	Distribution de Rice.....	151
B.1.3	Distribution de Nakagami.....	152
B.1.4	Distribution de Weibull	154
B.1.5	Distribution lognormale.....	155

B.2 Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov 156

ANNEXE C Technique de simulation Monte-Carlo 157

 C.1 Méthode de simulation numérique Monte-Carlo 157

 C.2 Bref historique 158

 C.3 Principe d'application de la méthode 159

ANNEXE D Fiches techniques des FPGAs de la série Virtex 162

 D.1 FPGA Virtex-II Pro 162

 D.2 FPGA Virtex-4 167

 D.3 FPGA Virtex-5 173

BIBLIOGRAPHIE 182