

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCCEN
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



FACULTE
DES SCIENCES
DE L'INGENIEUR



LABORATOIRE
DE TELECOMMUNICATION
DE TLEMCCEN

Thèse de Magister en Electronique Signaux et Systèmes

Thème

*Détection Multi-Utilisateurs par réseau d'antennes appliquée
à un signal CDMA à porteuses multiples*

Présentée par :

BENYAROU MOURAD

Soutenue le :

Président :

A .CHERMITI

M.C à l'Université de Tlemcen

Examineurs :

B .BOUAZA

M.C à l'Université de Tlemcen

D .LACHACHI

M.C à l'Université de Tlemcen

Directeur de thèse :

F .T.BENDIMERAD

Prof. à l'Université de Tlemcen

Co directeur de thèse :

F .DEBBAT

M.C à l'Université de Mascara

Année Universitaire 2008-2009

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit de deux années de recherche au sein du Laboratoire de Telecommunications de l'université de Tlemcen.

Mes premiers remerciements vont à **F .T BENDIMERAD** professeur à l'université de Tlemcen et directeur du Laboratoire de Telecommunications de Tlemcen mon encadreur et **F .DEBBAT** maître de conférence à l'université de Mascara mon co-encadrante pendant ces 2 années de thèse. Merci pour votre disponibilité, vos encouragements répétés, votre soutien sans faille, et l'esprit de recherche, sain et émulant à la fois, que vous avez su m'insuffler.

Pour avoir examiné et jugé mon travail, j'exprime toute ma gratitude envers les membres du jury : **A .CHERMITI** qui en a été le président, **B .BOUZA** et **D .LACHACHI**, tous les trois maîtres de conférence à l'université de Tlemcen qui ont accepté d'être examinateurs.

Je tiens à remercier tous les membres du Laboratoire de Telecommunications pour leur soutien pendant ces deux années.

Je terminerai par exprimer mes remerciements envers ma famille sans qui rien de tout cela n'aurait été possible.

Détection Multi-Utilisateurs par réseau d'antennes appliquée à un signal CDMA à porteuses multiples

RESUME

Les travaux présentés dans ce mémoire ont permis d'étudier les nouvelles techniques de modulations MC-CDMA combinant l'accès multiple à répartition de code, utilisant l'étalement de spectre CDMA, et les modulations à porteuses multiples OFDM.

L'OFDM est retenu pour sa grande efficacité spectrale dans les canaux difficiles et le CDMA pour sa capacité d'accès multiple performante et flexible dans les réseaux cellulaires. Une synthèse bibliographique a permis d'exposer les principes de ces deux techniques et des systèmes qui leur sont associées.

La technique MC-CDMA offre notamment un excellent rapport performance /complexité tout en atteignant de bonnes efficacités spectrales.

L'objectif principal de ce projet de recherche est la détection Multi-Utilisateurs par réseau d'antennes appliquée à un signal CDMA à porteuses multiples. Nous nous sommes intéressés dans la dernière partie de ce mémoire aux systèmes MC-CDMA à formation de faisceau (beamforming MC-CDMA) et les MIMO-MC-CDMA qui utilise plusieurs antennes d'émission et réception. Ces systèmes trouvent des applications dans le domaine des radiocommunications, notamment pour les systèmes de troisième, quatrième générations et suivantes.

Après avoir rappelé les techniques de détection Mono-utilisateurs et Multi-Utilisateurs habituellement mises en œuvre dans les récepteurs, les résultats que nous avons trouvés tant sur le canal à bruit gaussien que sur le canal de Rayleigh ont montré que les détecteurs basés sur le critère de l'erreur quadratique offrent de meilleures performances.

Mots clés

Réseau d'antennes, Système MIMO, CDMA, OFDM, MC-CDMA, MIMO-MC-CDMA, architecture V-BLAST, détection Multi-Utilisateurs par réseau d'antennes appliquée à un signal MC-CDMA

Multi-User Detection by antennas Array applied to an MC-CDMA signal.

ABSTRACT

The work presented in this paper were used to study new techniques for MC-CDMA modulations combining access Division Multiple Code using CDMA spread spectrum, and multiple carrier modulation OFDM.

The OFDM is selected for its high spectral efficiency in difficult channels and CDMA for its ability to access flexible and efficient in cellular networks. A bibliographical was able to articulate the principles of these two techniques and the systems associated with them.

The MC-CDMA technology offers an excellent performance / complexity while achieving good spectral efficiency.

The main objective of this research project is the Multi-User Detection by array antenna applied to a CDMA signal with multiple carriers. We are interested in the latter part of this memory to beamforming MC-CDMA systems and MIMO-MC-CDMA using multiple antennas to transmitting and receiving. These systems are used in the radio communications domain, including systems for third, fourth and subsequent generations. After reviewing the techniques for detecting single-user and multi-user usually implemented in the receivers, the results we have found both on the channel Gaussian noise on the Rayleigh channel showed that the sensors based on the error square criterion offer better performance.

Keywords

Array antennas, MIMO systems, CDMA, OFDM, MC-CDMA, MIMO-MC-CDMA, V-BLAST architecture, Multi-User Detection by antennas Array applied to an MC-CDMA signal.

ملخص

العمل المعروض في هذه المذكرة يقوم بدراسة تقنيات جديدة في التعديلات MC-CDMA بادماج السماحية المتعددة و رموز التجزئة باستخدام CDMA والتعديل المتعدد الاستعمالات OFDM. اختيرت OFDM لكفاءتها الطيفية العالية في القنوات الصعبة و CDMA لقدرتها الفعالة و المرنة في السماحية المتعددة و في الشبكات الخلوية. بعد بحث مكثبي عميق توصلنا لتوضيح مبادئ هذه النظم والتقنيات المرتبطة بها. تقنية MC-CDMA توفر عامل ممتاز في الكفاءة/التعدد مع تحقيق الكفاءة الجيدة الطيفية. الهدف الرئيسي لهذا المشروع البحثي هو كشف الرموز المتعددة المداخل باستخدام شبكة هوائيات المطبقة على إشارة CDMA مع تعدد الناقلات. ولقد اهتمنا في الجزء الأخير من هذه المذكرة بأنظمة تشكيل الموجات الموجهة CDMA-MC، و MC-MIMO باستخدام عدة هوائيات إرسال واستقبال. وتستخدم هذه الأنظمة في مجال الاتصالات اللاسلكية، خاصة في الأنظمة ذات الجيل الثالث والرابع والأجيال اللاحقة. وبعد استعراض تقنيات للكشف عن مستخدم واحد ومتعددة المستخدمين عادة ما تنفذ في الاستقبال، فإن النتائج التي وجدناها على قناة ضوضاء GAUSS و على قناة Rayleigh بينت أن أجهزة الكشف المعتمدة على معيار الخطأ الرباعي قدمت أفضل النتائج.

الكلمات الرئيسية

شبكة الهوائيات، أنظمة MIMO، CDMA، OFDM، MC-CDMA، MIMO-MC-CDMA، هندسة V-BLAST، الكشف المتعدد المستخدمين بشبكة هوائيات مطبقة على إشارة MC-CDMA.

ABBREVIATIONS

AA	Adaptative Array
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMRC	Accès Multiple par Répartition de Code
AMRS	Accès Multiple par Répartition Spatial
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BBAG	Bruit Blanc Additif Gaussien
BLAST	Bell Labs Advanced Space-Time
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BTS	Base Transceiver Station
CAI	Co-Antenna Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
CEQMM	Combinaison à Erreur Quadratique Moyenne Minimale
CGE	Combinaison à Gain Egal
CGM	Combinaison à Gain Maximal
CRO	Combinaison à Restauration d'Orthogonalité
DVB	Digital Video Broadcasting
DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access
DOA	Direction Of Arrival
EGC	Equal Gain Combining
EQMM	Erreur Quadratique Moyenne Minimale
FC	Faisceau Commuté
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transformer
GMMSE	Global Minimum Mean-Square Error
HSR	High Sensitivity Receiver
IC	Interference cancellation
IEC	Interference Entre sous Canaux
IES	Interférence Entre Symboles
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformer
IIC	Interférence Inter Chip
LAN	Local Area Network
LMS	Least Mean Square

LST	Layered Space –Time (système spatio temporel)
MAI	Multiple Access Interferences
MC-CDMA	Multiple carrier Code Division Multiple Access
MC-DS-CDMA	Multiple carrier Direct Spread Code Division Multiple Access
MLSE	Maximum Likelihood Sequence Estimation
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMSE	Minimum Mean Square Error
MRC	Maximum Ratio Combining
MISO	Multiple Input Single Output
MT-CDMA	Multi Tone Code Division Multiple Access
MSE	Minimum Square Error
MV	Maximum de Vraisemblance
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
ORC	Orthogonally Restoring Combining
PA	Phased Array
PEB	Probabilité d'Erreur Binaire
PIC	Parallel Interference Canceller
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RCS	Reduction Cluster Size
RSB	Rapport Signal sur Bruits
RTM	Reduction de la Taille des Motifs
SDMA	Spatial Division Multiple Access
SFIR	Spatial Filter Interference Reduced
SIC	Successive Interference Canceller
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio
SIR	Signal to Interference Ratio
SL	Switched Lobe
SNR	Signal to Noise Ratio
SUD	Single User Detector
TDMA	Time Division Multiple Access
TEB	Taux d'Erreur Binaire
TFD	Transformer de Fourier Rapide
ZF	Zero Forcing

TABLE DES FIGURES

Figure I.1 Structure d'une chaîne de transmission numérique	7
Figure I.2 : Présentation des interférences dans le plan temps fréquence code.....	10
Figure I.3: propagation par trajets multiples.....	12
Figure I.4 : Amplitude moyenne de la réponse temporelle du canal pour 16 trajets significatifs	
Figure I.5 : Capacité en fonction du SNR.....	16
Figure I.6: La technique d'accès multiple CDMA.....	18
Figure I.7 : Effet de l'étalement de spectre sur la présence d'un brouilleur.....	19
Figure I.8 : Exemple du CDMA dans le cas de deux utilisateurs.....	19
Figure I.9 : Schéma d'un codage CDMA par séquence directe (DS-CDMA).....	20
Figure I.10 : Etalement BPSK pour une modulation sinusoïdale.....	21
Figure I.11 : Comparaison des systèmes multi-porteuses et mono-porteuses.....	25
Figure I.12: Symbole OFDM.....	25
Figure I.13: N sous-porteuses orthogonales pour un système OFDM.....	26
Figure I.14 : Intervalle de garde (Préfixe cyclique).....	28
Figure I.15 : Schéma bloc d'un système OFDM.....	28
Figure I.16 Densité spectrale de puissance de la transmission OFDM à l'émission.....	29
Figure I.17 Signal à l'entrée du récepteur OFDM.....	29
Figure I.18 : Spectre de puissance pour multiporteuses classique.....	32
Figure I.19 : Émetteur MT-CDMA.....	33
Figure I.20 : Spectre de puissance MT-CDMA.....	33
Figure I.21 : Émetteur MC-DS-CDMA.....	35
Figure I.22 : Spectre de puissance MC-DS-CDMA.....	35
Figure I.23 : Émetteur MC-CDMA.....	36
Figure I.24 : Spectre de puissance MC-CDMA.....	36
Figure II.1 : Modulateur MC-CDMA du j ième utilisateur avec $L_c = Np$	40
Figure II.2 : Gain apporté par le système d'accès MC-CDMA.....	42
Figure II.3 : Représentation d'une chaîne de radiocommunications utilisant la technique MC-CDMA	43

Figure II.4 : Performances des techniques de détection mono-utilisateur sur canal théorique de Rayleigh.....	49
Figure II.5 : Détection mono utilisateur dans un canal AWGN avec le détecteur MMSE.....	50
Figure II.6 : Détection mono utilisateur dans un canal de Rayleigh avec MMSE	50
Figure II.7 : Classification des différentes techniques de détection Multi-Utilisateurs.....	53
Figure II.8 : Nième étage d'un récepteur PIC	56
Figure II.9 : Nième étage d'un récepteur SIC.....	56
Figure II.10 : Détection multi utilisateur dans un canal AWGN avec le détecteur conventionnel Système MC-CDMA pour 4 utilisateurs	58
Figure II.11 : Détection multi utilisateur dans un canal de Rayleigh avec MMSE Système MC-CDMA pour 4 utilisateurs.....	59
Figure III.1 : Augmentation de la capacité.....	63
Figure III.2 : Le concept cellulaire.....	64
Figure III.3 : La technique SDMA.....	65
Figure III.4 : Type d'antennes intelligentes.....	67
Figure III.5 : Schéma représentatif d'une antenne adaptative.....	68
Figure III.6 : Comportement d'un réseau adaptatif d'antenne en présence d'une interférence	69
Figure III.7 Diagramme de rayonnement d'une antenne adaptatif à 10 éléments.....	73
Figure III.8 Processus d'adaptation d'un réseau d'antennes	74
Figure III.9 Classification des algorithmes adaptatifs	75
Figure III.10 : Configuration d'un réseau adaptatif d'antennes	75
Figure III.11 : Formation de faisceau fréquentiel	77
Figure III.12 : Détection d'un signal MC-CDMA par réseau d'antenne à 8 élément dans un canal de Rayleigh.....	81
Figure.III.13 – Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO.....	82
Figure III.14 : système MIMO-V-BLAST MC- CDMA en émission	85
Figure III.15 : système V-BLAST MC- CDMA en réception.....	86
Figure III.16 MIMO MC-CDMA avec V-BLAST Réception pour 4 utilisateurs.....	88
Figure III.17 MIMO MC-CDMA avec V-BLAST Réception mono-utilisateur.....	88

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	2
-----------------------------------	----------

CHAPITRE 1

INTRODUCTION AUX SYSTEMES DE TRANSMISSION NUMERIQUE

I.1 Introduction	5
I.2 Description d'un système de communication numérique	6
I.2.1 Chaîne de transmission numérique	6
I.2.1.1 Structure d'une chaîne de transmission	8
I.2.1.2 Caractéristiques du système de communication numérique	9
I.2.2 Les interférences.....	10
I.2.2.1 Le bruit de fond radio-électrique	10
I.2.2.2 Interférences propres au système	10
I.2.2.3 Les interférences externes au système (brouilleurs).....	11
I.2.3 Canal de propagation	11
I.2.3.1 Caractérisation et modélisation d'un canal de propagation radioélectrique	12
I.2.3.2 Modèle du canal multi trajets.....	15
I.2.3.3 Classification.....	17
I.3 Techniques des modulations avancées	18
I.3.1 CDMA	18
I. 3.1.1 Modèle de signal	20
I.3. 2 OFDM	24
I.3.2.1 Principe de l'OFDM.....	25
I.3.2.2 Notion d'orthogonalité	27
I.3.2.3 Préservation de l'orthogonalité (Intervalle de garde) :.....	28
I.3.2.4 Schéma bloc d'un système OFDM	29
I.3.2.5 Modèle de signaux et adaptation	31
I.3.3 MC-CDMA	33
I.3.3.1 L'étalement par multiporteuses classique	33

I.3.3.2 L'étalement par fréquences orthogonales	35
I.4 Conclusion	38

CHAPITRE 2

DETECTION MULTIUTILISATEUR D'UN SIGNAL MCCDMA

II.1 Introduction	40
II.2 Principes du système AMRC à porteuses multiples ou MC-CDMA.....	41
II.3 Modélisation du système MC-CDMA dans le cas d'une liaison descendante	43
II.4 Les détecteurs mono utilisateurs	46
II.5 Les techniques de détection Multi-Utilisateurs dans les systèmes MC-CDMA	52
II.6 Conclusion.....	60

CHPITRE 3

DETECTION MULTIUTILISATEUR PAR RESEAUX D'ANTENNES APPLIQUEE A UN SIGNAL MCCDMA

III.1 Introduction	62
III.2 Avantages des antennes intelligentes.....	64
III.2.1 Augmentation de la capacité.....	64
III.2.2 Réduction de la taille du motif (RTM)	65
III.2.3 Accès multiple par répartition spatiale.(SDMA.SpaceDivision Multiple Access)66	
III.3 Types d'antennes intelligentes.....	67
III.4 Structure d'un réseau adaptatif d'antenne.....	69
III.5. Formulation mathématique du problème de l'adaptativité.....	70
III.6. Méthodes de formation de faisceaux.....	74
III.6.1 Méthodes non aveugles	76
III.6.2 Les méthodes aveugles	77
III.7. Formation de faisceau pour les systèmes MC-CDMA	77
III.7.1 Formation de faisceau dans le domaine fréquentiel	78
III.7.2 Modèle de signaux	79
III.7.3 Formations de faisceau par le critère MMSE	80

III.8. MIMO MC CDMA	82
III.8.1 Multiplex spatial.....	84
III.8.2 Algorithmes de détection.....	87
III.9 Conclusion.....	90

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	92
----------------------------------	----

ANNEXES

ANNEXE 1 Représentation géométrique des signaux	94
ANNEXE 2 Séquences pseudo aléatoires	95.
ANNEXE3 Modulation BPSK	97
ANNEXE 4 Calcul des vecteurs d'égalisation optimaux au sens du critère MMSE.....	100
ANNEXE 5 Calcul du rapport signal sur bruit (SNR : Signal to Noise Ratio)	102
ANNEXE 6 Rappels sur l'Enveloppe Complexe.....	103
ANNEXE 7 Le Bruit Blanc Gaussien Additif.....	105

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	108
----------------------------------	-----