

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électronique

Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque

Mémoire de Master en Électronique

Etude de l'adaptation du récepteur Rake pour les systèmes OFDM

Abderrahmane BEN BORDI

Sous la direction de M. Mohamed Oussaïd TAGHI

Présenté et soutenu publiquement le (19/06/2017)

Composition du Jury :

Président	M. Rabah SADOUN	MCA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Promoteur	M. Mohamed Oussaïd TAGHI	MAA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Examineur	M. Cherif LARBES	Prof	Ecole Nationale Polytechnique ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électronique

Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque

Mémoire de Master en Électronique

Etude de l'adaptation du récepteur Rake pour les systèmes OFDM

Abderrahmane BEN BORDI

Sous la direction de M. Mohamed Oussaïd TAGHI

Présenté et soutenu publiquement le (19/06/2017)

Composition du Jury :

Président	M. Rabah SADOUN	MCA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Promoteur	M. Mohamed Oussaïd TAGHI	MAA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Examineur	M. Cherif LARBES	Prof	Ecole Nationale Polytechnique ENP

ملخص:

مستقبل من نوع المدمة يستعمل كثيرا في مجال الاتصالات الرقمية احتصاصه يكمن في الغاء تأثير ظاهرة تعدد الشارات المستقبلية. يتكون من عدة مستقبلات فرعية كل واحد منها ييمثل أحد الشارات. ينتج عن استعمال هذا المستقبل تقوية من ناحية نوعية الشارة مقارنة مع الضجيج. تم ادراج هذا المستقبل من طرف منظمة 3GPP في أنظمة WCDMA.

الأنظمة متعددة المستقبلات الهوائية بالاضافة الى استعمال OFDM تنتج فعالية من ناحية الطيف. هدف هذه المذكرة هو البحث عن كيفية لادراج هذا المستقبل في هذا النوع من الأنظمة.

كلمات ذات صلة: مستقبل مدمة ، نظام متعدد المستقبلات عند الاستقبال و عند الارسال ، LTE-A ، OFDM.

Abstract :

A Rake receiver is a radio receiver designed to counter the effects of multipath fading in wireless communications. It does this by using several "sub-receivers" each delayed slightly in order to tune in to the individual multipath components. Rake receiver preceding a maximal ratio combining becomes an optimum receiver in the sense of highest signal-to-noise ratio. A Rake receiver is part of the standard defined by 3GPP for WCDMA mobile systems. Multiple Input Multiple Output technology has attracted attention in wireless communications specially 4G systems using OFDM, because it offers significant increase in data transmission rates without additional bandwidth or transmit power. MIMO could increase spectral efficiency of a system. The main idea of this paper is to deploy a Rake receiver over MIMO antenna in Long Term Evolution – Advanced systems with the main aim is to further increase the spectral efficiency

Key words: Rake receiver, Multiple Input Multiple Output, Long Term Evolution – Advanced, OFDM.

Résumé:

Un récepteur Rake est un récepteur radio conçu pour contrer les effets de l'évanouissement multi-trajets dans les communications sans fil. Il le fait en utilisant plusieurs "sous-récepteurs". Le récepteur Rake devient un récepteur optimal du point de vue de qualité de signal. Un récepteur Rake fait partie de la norme définie par 3GPP pour les systèmes mobiles WCDMA. La technologie Multiple Input Multiple Output a attiré l'attention sur les communications sans fil, car elle offre une augmentation significative des taux de transmission de données avec la même bande passante et énergie. MIMO pourrait augmenter l'efficacité spectrale d'un système surtout celles utilisant l'OFDM. L'idée principale de ce mémoire est de déployer un récepteur Rake sur une antenne MIMO dans l'OFDM - Des systèmes avancés dont l'objectif principal est d'augmenter encore l'efficacité spectrale.

Mots clés: Récepteur en réseau, Multi Entrées Multi Sorties, Long Term Evolution-Advanced, OFDM.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents

mes chers frères

ma chère sœur

A tous mes amis!!!

Table des Matières

Liste des Figures

Liste des Acronymes

1	Chapitre 1 : Introduction Générale	8
2	Chapitre 2 : Les standards Définis par la 4G	10
1	Introduction :	10
2	La 4G :	11
2.1	Les technologies 4G :	11
2.1.1	Long Term Evolution (LTE) :	11
2.1.2	Wireless Interoperability for Microwave Access (Wi-MAX) :	12
3	Caractéristiques de la 4G :	12
3.1	Le Haut débit :	12
3.2	Un temps de réponse réduit :	13
3.3	L'utilisation du MIMO :	13
3	Chapitre 3 : La technique d'accès multiple OFDM:	14
1	Introduction :	14
2	Principe de l'OFDM :	15
2.1	Canaux sélectifs :	15
2.2	Modulation et démodulation multi-porteuses :	16
3	Avantages de l'OFDM :	18
4	Inconvénients :	18
4.1	Interférence inter-symboles :	18
4.2	PAPR :	19
4	Chapitre 4 : Adaptation du récepteur RAKE pour les systèmes 4G:	20
1	Introduction	20
2	Récepteur RAKE dans l'OFDM :	21

Liste des Figures

3.1	Flat fading vs Frequency selective	15
3.2	Modulation multi-porteuses	16
3.3	Modulation-Démodulation multi-porteuses	17
3.4	Densité spectrale en OFDM	17
3.5	Densité spectrale en OFDM	19
4.1	Récepteur Rake proposé pour les systèmes MIMO	21

Liste des Acronymes

CMDA Code Division Multiple Access. 10

FDMA Frequency Division Multiple Access. 10

IP Internet Protocol. 11

LTE Long Term Evolution. 11

MAI Multiple Access Interference. 20

MIMO Multiple Input Multiple Output. 12

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing. 8

TDMA Time Division Multiple Access. 10

WiMAX Wireless Interoperability for Microwave Access. 12

Chapitre 1

Introduction Générale

Les systèmes de télécommunications ont connu une énorme évolution au cours des deux dernières décennies notamment avec l'explosion de l'électronique moderne et l'apparition de techniques avancées de traitement de signal.

Ce développement technologique a donné naissance à des normes modernes qui visent directement la qualité de service QoS rendu aux clients, qui permet un meilleur débit et plus de capacité en terme de nombre d'utilisateur. De plus, la diversité de ces services et la variété de données échangées (sons, vidéo, Internet...etc) exigent des systèmes fiables et de plus en plus rapides pour le traitement simultané d'un grand nombre d'informations.

la technique d'accès multiple par multiplexage de fréquence Orthogonal, ou Orthogonal Frequency Division multiplexing Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), est la technique adopté dans les système de communication de 4^{ème} génération. Elle est utilisé principalement pour la transformation du canal pour faciliter l'égalisation.

Le phénomène de trajet multiple influe sur les systèmes de transmission mobiles et le récepteur rake présente un outil qui exploite ces trajets car ils portent la même information.

L'objectif principale de ce projet de master est d'étudier la possibilité de l'adaptation d'un tel récepteur pour les systèmes OFDM.

Chapitre 2

Les standards Définis par la 4G

pagenumberingarabic setcounterpage8

1 Introduction :

La première introduction des systèmes de communication mobiles sans fil remonte aux années 70 connu sous la 1^{ère} génération des systèmes mobiles et la deuxième génération a été introduite en 1980. Les deux générations ont été destinées principalement à la transmission de la voix.

Les premiers systèmes (analogiques) ont utilisé la modulation en fréquence alors que les seconds ont utilisé des systèmes numériques basés sur des techniques d'accès multiples tel que Time Division Multiple Access (TDMA) multiplexage temporel, Frequency Division Multiple Access (FDMA) multiplexage en fréquence et le Code Division Multiple Access (CMDA) (en USA principalement).

Les systèmes de troisième génération ont présenté une révolution vue l'amélioration apportée par rapport aux systèmes 2G tel que le débit, la capacité, la qualité des services. . . etc. Les systèmes 3G ont été proposés pour l'introduction de nouveaux

services tel que des services vocaux, de radio messagerie et les interactifs multimédia, principalement l'accès à Internet. Ces systèmes offrent un réseau large de couverture étendu de débit de 384 kbits/s à 2 Mbits/s.

La 3^{ème} génération a du mal à répondre aux besoins en terme de débit fournit, c'est pour cette raison qu'il faut passer aux systèmes de la 4^{ème} génération.

2 La 4G :

La 4G est la 4^{ème} génération des standards pour les systèmes mobiles, le réseau 4G permet de très haut débit, la transmission de données atteint un débit théorique de 100 Mbits/s (amélioré de 5 fois en comparant à celui de la 3G) et un débit pratique de quelques dizaines de méga bits par seconde.

Le réseau 4G est basé sur la commutation des paquets Internet Protocol (IP), les communications téléphoniques utilisent la "VoIP" contrairement aux systèmes 3G qui se basent sur le mode commuté (RTC un circuit est établi afin d'assurer le transfert des appels "voix").

2.1 Les technologies 4G :

2.1.1 LTE :

La LTE (Long Term Evolution) était au début une norme de la 3G pour une année et quelques mois, définis par la 3GPP comme un standard 3.9G car il est proche de la norme 4G et présente au même temps une évolution des systèmes UMTS et CDMA2000 mais il n'atteint pas tous les spécifications définis par le cahier des charge de l'UIT cette réalisation du LTE est connu sous le "release 8 et 9".

Pour sa "release 10", qui présente une évolution de la LTE vers la LTE-Advanced, l'UIT a accordé au LTE-A la possibilité de commercialisation sous le nom de la "4G" en décembre 2010.

Ce qui est remarquable que la technologie LTE n'est pas figée, la 3GPP vise l'amélioration de cette norme en permanence.

2.1.2 WiMAX :

La WiMAX pour (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est un standard des systèmes de communication sans fil qui englobe la famille de normes IEEE 802.16 qui définissent la transmission à très haut débit à travers les voies hertziennes.

Cette norme était au début comme le LTE destinée aux systèmes 3G puis elle a présenté une amélioration vers le Gigabit-WiMAX ou IEEE 802.16m, une technologie 4G qui permet de atteindre les débits théoriques 100 Mbits/s pour des liaisons mobiles et de et 1 Gbits/s pour les liaisons fixes. Des débits comparables à celle de la fibre à domicile. Elle a utilisé la technologie Multiple Input Multiple Output (MIMO) (Multiple-Input Multiple-Output).

3 Caractéristiques de la 4G :

La principale caractéristique de la 4G réside dans le débit qu'elle propose. En effet, elle succède à la 3G et atteint désormais un débit maximum théorique de 100 Mbits/s :

3.1 Le Haut débit :

La norme 4G LTE va permettre de multiplier par 3 le débit de la 3G sous sa forme la plus évoluée, à savoir la H+. Pour donner des chiffres encore plus impressionnants, la 4G est 50 fois plus rapide que la 3G qui a été réalisée en 2004.

3.2 Un temps de réponse réduit :

Si le débit théorique montant est multiplié par 3, le temps de réponse, ou latence, est lui aussi considérablement réduit. Ainsi, si la 3G est caractérisée par une latence de 200 ms, la 3G+ et la H+ descendent jusqu'à 70 ms. Pour la 4G , on ne parle que de 10 ms.

3.3 L'utilisation du MIMO :

Les opérateurs mobiles doivent parallèlement généraliser la technologie MIMO, ou Multiple-Input Multiple-Output. Cette nouveauté technologique permet d'envoyer des signaux simultanément depuis plusieurs antennes, ce qui augmente le cadencement, et donc le débit. Pour rester dans des considérations techniques, et à titre informatif, c'est la modulation OFDMA qui est utilisée avec les flux descendants et la modulation SC-FDMA qui est exploitée avec les flux ascendants.

Chapitre 3

La technique d'accès multiple

OFDM :

1 Introduction :

L'OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) est une technique d'accès multiple largement utilisée dans les systèmes actuels présentant la 4G tel que LTE et WiMAX. Ce multiplexage associe les deux techniques TDMA et FDMA, mais il est différent de celui utilisé en GSM.

L'OFDM se base sur la technique de la modulation multi-porteuse MCM ou on transmet des données numériques en les modulant sur plusieurs porteuses en même temps. C'est un type de multiplexage fondamentale qui existe depuis longtemps, mais l'apport des techniques OFDM est l'amélioration de l'efficacité spectrale en employant une nouvelle propriété entre les porteuses qui est l'orthogonalité. Dans des canaux sélectifs en fréquence qui présentent des trajets multiples, cette technique donne de meilleures performances concernant la transmission mobile, c'est pourquoi la technique est largement utilisée dans les systèmes mobiles actuels.

2 Principe de l'OFDM :

2.1 Canaux sélectifs :

Les systèmes de communications présente des limites par des contraintes physique lié à la nature des composantes qui affectent le signal émis. la distorsion du signal au cours de la propagation est une autre contrainte physique. Les signaux réfléchis par les bâtiments, les voitures ou le sol provoque un phénomène appelé "affaiblissement par trajets multiples" : selon le chemin parcouru, le signal présente une version retardée en réception. L'importance de ce phénomène dépend de la fréquence du signal, la nature de support de propagation[2]. Lorsque la por-

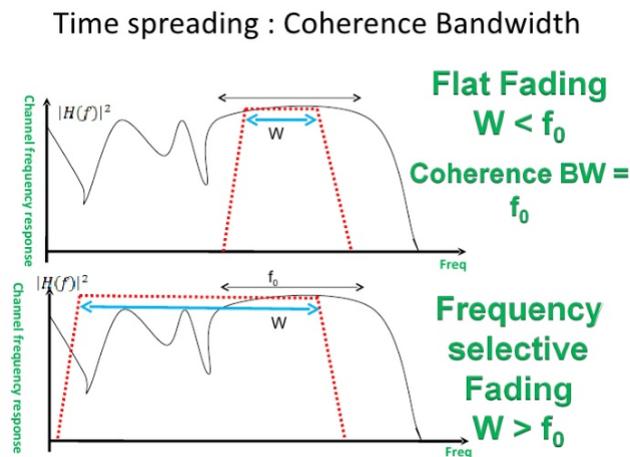


FIGURE 3.1: Flat fading vs Frequency selective

teuse varie la déformation du signal varie aussi selon deux types : "flat fading" (la bande passante de cohérence du canal étant plus large que la bande du signal donc toutes les fréquence du signal seront affecté de la même manière) figure 3.1.

l'autre type, connu sous "frequency selective", qui entraine une déformation différentes pour chaque composante du signal car la bande passante de celle-ci est plus large que celle du canal. Un des solution proposée pour exploiter le "frequency selective" est l'OFDM car ce type de multiplexage transmit sur plusieurs porteuses "flat fading" [2].

2.2 Modulation et démodulation multi-porteuses :

la modulation OFDM se fait par la transmission des bits d'entrée sur plusieurs porteuses. En premier lieu le bloc "serial to paralel" qui permet la séparation des bits, puis le "MAP_i" qui est le modulateur tel que une modulation QPSK,BPSK ou 16QAM ou autre.

Une sommation complexe qui combine les composantes I_i et Q_i puis chaque bit

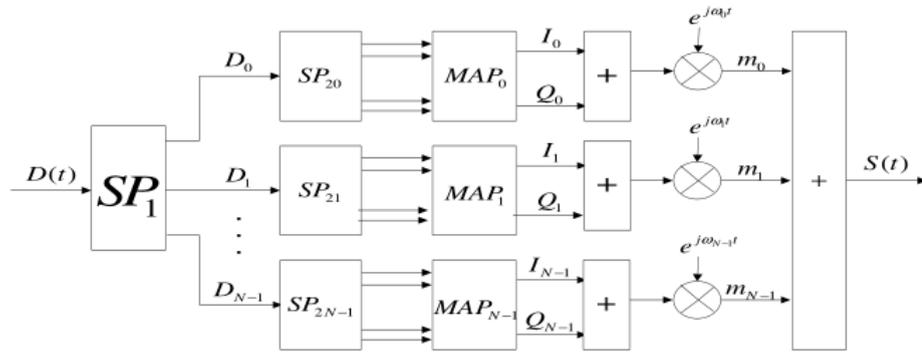


FIGURE 3.2: Modulation multi-porteuses

sera modulé par une porteuse de type $\exp^{j\omega_i t}$ et les bits seront sommés et envoyés vers le canal figure 3.2.

Il faut noter que les convertisseurs "SP" n'effectuent pas la séparation seulement mais ils permettent l'augmenter de la durée de chaque bits de N fois la période T_b , tel que N est le nombre de bits, et cela permet la diminution de la bande du signal donc elle est de plus en plus petite par rapport à la bande cohérente donc on rapproche du "flat fading".

Le démodulateur MCM réalise les opérations inverses par rapport au modulateur : On commence par un filtrage pour chaque porteuse puis la translation en fréquence du signal le signal résultant va attaquer un corrélateur et les bits seront reconstitués la sortie du démodulateur étant en série. la figure 3.3.

L'OFDM consiste à réaliser la chaine MCM avec la seule condition qui est l'orthogonalité entre les fréquences porteuses c'est à dire.

$$\int_0^T \cos(2\pi f_i t) \cos(2\pi f_j t) dt = 0 \quad j \neq i \quad (3.1)$$

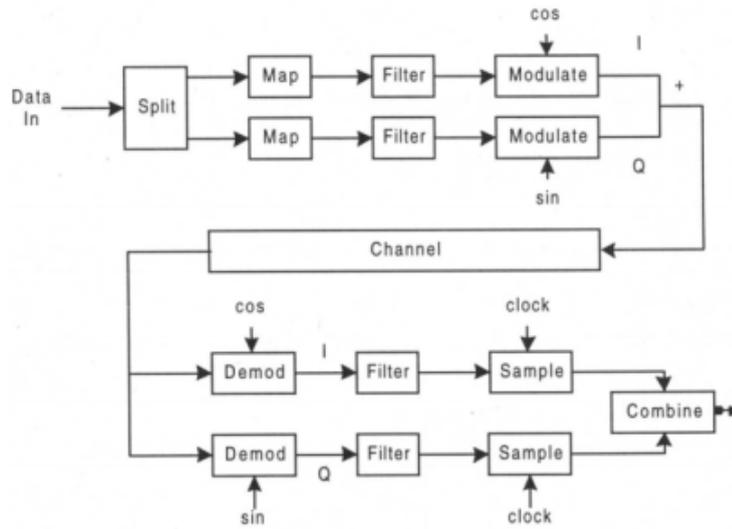


FIGURE 3.3: Modulation-Démodulation multi-porteuses

Comme solution de cette équation on trouve :

$$f_j - f_i = \frac{k}{T} \quad k \in \mathbb{Z} \quad (3.2)$$

Pour $k = 1$ voire la figure 3.4 Un des majors problèmes de ce résultat est la

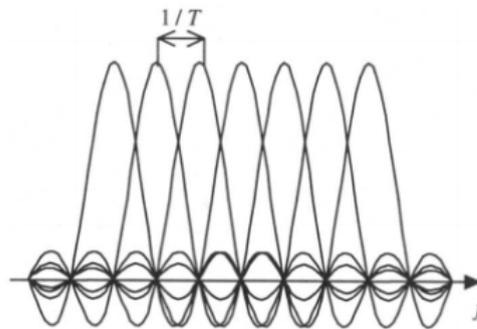


FIGURE 3.4: Densité spectrale en OFDM

difficulté de réaliser des oscillateurs avec une telle différence et exacte donc cette solution n'est pas accessible.

Une autre solution s'obtient en partant de l'équation (3.2) et en échantillonnant le signal modulé on trouve que l'orthogonalité s'obtient par l'intermédiaire d'une transformé de Fourier inverse (IFFT).

$$X[n T_s] = \sum_{k=1}^{N-1} (x_k e^{j 2\pi \frac{nk}{N}}) \quad (3.3)$$

3 Avantages de l'OFDM :

L'OFDM présentent plusieurs avantages c'est pourquoi elle largement utilisée dans les systèmes mobiles à haut débit :

1. La conversion du "frequency selective" vers "flat fading"
2. Amélioration de l'efficacité spectrale il s'agit d'une bande passante plus étroite en gardant le même data rate.
3. Simplicité de l'égalisation.

4 Inconvénients :

L'OFDM a vécu quelques problèmes en terme d'interférence inter-symboles et le PAPR :

4.1 Interférence inter-symboles :

Les versions retardées du signal provoque un chevauchement et une partie du signal sera perdu. Des solutions ont été proposées : La première consiste à laissé un intervalle de garde entre les symboles et le problème d'ISI est réglé. Une deuxième solution consiste à l'introduction d'un "Cyclic Prefix" qui est la dernière partie du symbole car en réalisant la IFFT l'égalisation qui est une multiplication en domaine fréquentiel devient une convolution circulaire dans le domaine temporel donc le canal voit ce "Cyclic Prefix" comme une partie du signal, en utilisant cette

solution le SNR est nettement élevé mais aussi le problème du fading est fortement contrôlé.

4.2 PAPR :

PAPR ou bien Peak to Average Power Ratio, un problème qui dégrade les performances de l'amplificateur en émission. Des solutions ont été proposées mais chacune présente un compromis :

1. Back-off : cette solution consiste à dégrader le seuil de la puissance mais cela influe beaucoup sur le BER.
2. On travaille dans la zone linéaire de l'amplificateur mais cela limite l'efficacité à 25 %. Cette solution est utilisée pour le downlink en LTE.
3. la méthode "Distortion-less" : elle consiste à utiliser des séquences de "mapping" et les synchroniser avec la IFFT. Ces séquences ont des propriétés qui minimisent le PAPR.

On conclut cette partie par un schéma global de l'émetteur-récepteur OFDM : voir figure 3.5

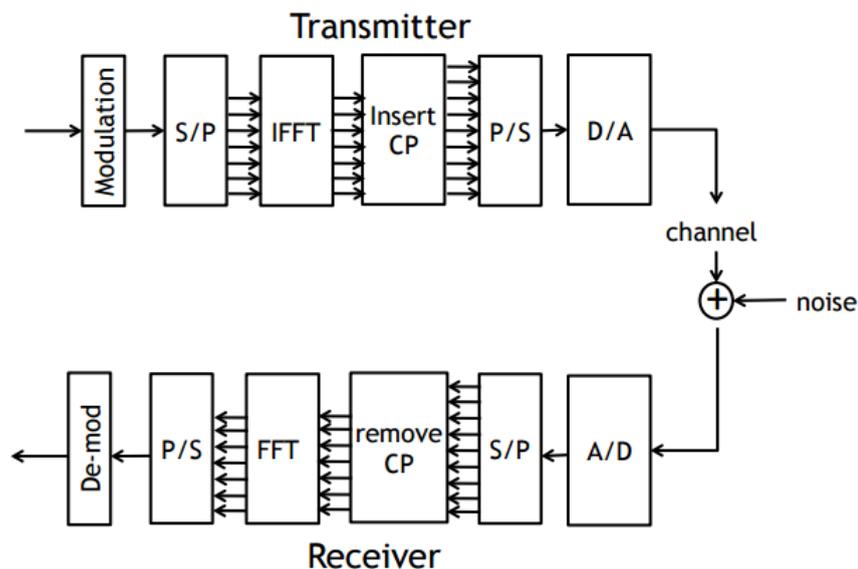


FIGURE 3.5: Densité spectrale en OFDM

Chapitre 4

Adaptation du récepteur RAKE pour les systèmes 4G :

1 Introduction

Le récepteur en râteau (en anglais RAKE receiver), premièrement introduit par Price and Green en 1958, est le nom attribué à un filtre de réception adapté à une forme d'onde à large bande issue d'un canal de transmission à trajets multiples. Un tel récepteur est optimale pour le canal de transmission à bruit blanc AWGN, mais il élimine l'effet de l'interférence inter symbole ISI et les interférences d'accès multiples Multiple Access Interference (MAI), en s'appuyant sur les propriétés d'autocorrélation et d'intercorrélacion des séquences d'étalement de spectre. cohérente.

L'utilisation du récepteur pour les systèmes 4G est différent car il ne sont pas basé sur les même concepts et surtout les techniques d'accès. La technique de modulation OFDM permet d'avance l'exploitation des trajets multiple donc l'utilisation du récepteur est pour l'amélioration du SNR et la diminution PAPR [3].

2 Récepteur RAKE dans l'OFDM :

Dans les systèmes de communication basé sur l'OFDM, une approches a été suivis pour la création d'un Rake, elle est basée sur les systèmes MIMO et l'engin corrélateur du récepteur Rake dans l'architecture conventionnel

1. Récepteur basé sur les systèmes MIMO : Le récepteur Rake proposé pour les systèmes MIMO est présenté par la figure 4.1 Le système OFDM offre

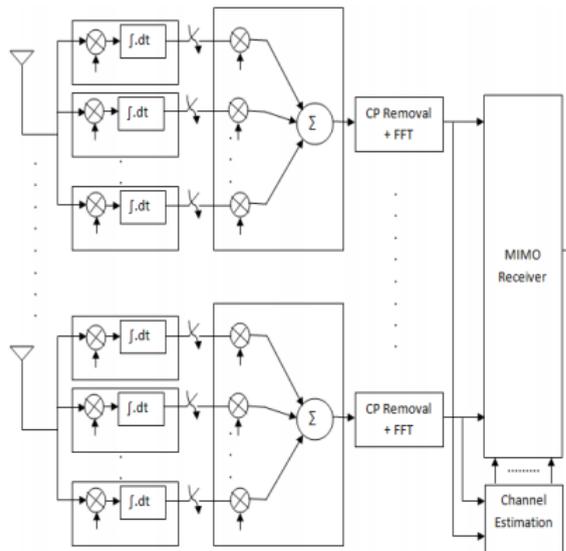


FIGURE 4.1: Récepteur Rake proposé pour les systèmes MIMO

une amélioration concernant la bande passante avec le même "data rate", le système MIMO avec le récepteur Rake, tel que présenté, propose des antennes qui peut augmenter l'efficacité de la bande passante en exploitant chaque trajet qui provient d'une antenne [1].

Le seul inconvénient d'un tel système Rake-over MIMO est la complexité des circuits qui augmente le temps de traitement. Mais il se peut que le temps de traitement s'améliore en faisant des études en variant les propriétés de cette nouvelle "antenne" telque le nombre des doigts du "Rake" ou bien le nombre d'antenne utilisés.

Conclusion générale

Dans ce travail une étude est faite concernant la possibilité de réaliser un système 4G associé à un récepteur Rake, cela est faisable mais quels sont les performances apportées ou les améliorations. Une chose est sûre, le récepteur Rake contre l'effet d'ISI et améliore l'efficacité de la bande passante.

Perspective :

Des travaux peut se faire à base de cet étude : Premièrement, une étude avec Matlab/Simulink peut s'effectuer pour paramétrer la chaîne de communication en utilisant ce récepteur. Deuxièmement, une implémentation sur FPGA du récepteur et l'étude des performances en fonction de la consommation des ressources.

Bibliographie

- [1] Aziz, T. A. T. and Ali, A. H. (2011). A new rake receiver design for long term evolution - advance wireless system. In *2011 IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)*, pages 52–55.
- [2] Bahai, A. R., Saltzberg, B. R., and Ergen, M. (2004). *Multi-carrier digital communications : theory and applications of OFDM*. Springer Science & Business Media.
- [3] Fu, H. Y., Zhu, C. R., and Jia, X. D. (2014). Study on the implementation of rake receiver in 4g system. In *Advanced Materials Research*, volume 989, pages 4152–4156. Trans Tech Publ.