

**SUDAN UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
COLLEGE OF GRADUATE STUDIES**

**Multicarrier Techniques for 4th Generation
Mobile Systems**

A thesis submitted in partial fulfillment for degree of M.Sc. in
Communication Engineering

Presented by:

Fath EL Rahman Ismael Khalifa Ahmed

Supervisor:

Dr. Jacqueline. J. George

August 2006

ACKNOWLEDGMENTS

First, I would like to express my gratitude to my supervisor Dr. Jacqueline J. George for her continuous support and guidance, and most of all for her great help in performing the computer simulations for the OFDM where MATLAB is used; otherwise, this thesis work may have never been done in this amount of time.

Last but not least, my deep gratitude goes to my family for their help, support and encouragement that went on throughout the years. Without them, I truly cannot be here today and I may have never been able to achieve what I have accomplished so far.

ABSTRACT

This thesis investigates the effectiveness of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and Multicarrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) as a Multicarrier transmission technique for wireless radio applications. The main aim is to access the suitability of OFDM and MC-CDMA for fourth generation mobile network.

Since the existing mobile generations suffer from multipath propagation and fading problems especially frequency selective fading. There are several techniques used to overcome these problems such as equalization, diversity, and coding. In the fourth generation, OFDM and MC-CDMA is an attractive Multicarrier transmission method for channels with nonflat frequency response. In addition, OFDM offers several advantages like high spectral efficiency, inherent resistance to narrowband interference and robustness in multipath environment; it will be more convenient for the fourth generation mobile systems.

In this thesis, the performance of the OFDM system is investigated by measuring the effect of multipath delay spread, noise, and peak power clipping in terms of Bit Error Rate (BER). The investigation will be done using a MATLAB program.

Several modulation techniques for OFDM were investigated in this thesis including BPSK, QPSK, and 16PSK. System performance gains may be possible by dynamically choosing the modulation technique based on the type of data being transmitted.

OFDM promises to be a suitable transmission technique for high capacity wireless communications and is increasingly becoming important in the future wireless networks.

هذا البحث يتحقق من فعالية تقنيات التجميع بتقسيم التردد المتعامد والوصول المتعدد بتقسيم الشفرة ذو الحوامل المتعددة كتقنيات إرسال متعددة الحوامل في تطبيقات الراديو اللاسلكية. الهدف الأساسي هو التحقق من مدى مناسبة هذه التقنيات للاستخدام في الجيل الرابع من شبكات الهاتف السيار.

بما أن الأجيال الحالية من شبكات الهاتف السيار تعاني من مشاكل تعدد المسارات للإشارة المرسله مما يؤدي الي اضمحلال أو تدهور في قوة الإشارة المستقبلة وبشكل خاص لبعض الترددات دون الأخرى. هناك عدة تقنيات تستخدم لحل هذه المشاكل مثل التسوية وهي معادلة تأثير القناة علي الإشارة باضافة دالة معاكسة لهذا التأثير، انتخاب الإشارة الأفضل من بين المسارات المتعددة، والتشفير. في شبكات الجيل الرابع تعتبر تقنيات التجميع بتقسيم التردد المتعامد والوصول المتعدد بتقسيم الشفرة ذو الحوامل المتعددة من التقنيات الأكثر جاذبية وخاصة في القنوات ذات الاستجابة الترددية الغير منتظمة. بالإضافة الي ذلك يقدم التجميع بتقسيم التردد المتعامد عدة ميزات مثل فعالية الطيف العالية، مقاومة عالية للتداخل الذي يحدث في عرض النطاق الضيق ومقاومة عالية لتذبذب الإشارة في بيئة الاتصال ذات المسارات المتعددة مما يجعلها الأنسب لشبكات الجيل الرابع للهاتف السيار.

في هذا البحث فإن أدائية التجميع بتقسيم التردد المتعامد يتم التحقق منها عن طريق قياس تأثير زيادة عرض النبضة المسبب بالتأخير الذي يحدث نتيجة للمسارات المتعددة للإشارة، الضجيج، وتحديد مستوى الإشارة الأعظمي بدلالة معدل خطأ الخاذا الثنائية لبعض تقنيات التعديل المستخدمة مع نظام التجميع بتقسيم التردد المتعامد وتشمل الإقبال بإزاحة الطور الثنائي، الرباعي والسادس عشري. ويمكن الحصول على أدائية أفضل عن طريق تغيير التقنية المستخدمة في التعديل اعتماداً على نوع البيانات المرسله. يتم التحقق باستخدام محاكاة بواسطة لغة ال Mat Lab .

التجميع بتقسيم التردد المتعامد واعد ليكون تقنية إرسال مناسبة من اجل انظمة الاتصالات اللاسلكية ذات السعات العالية وتزداد أهميته في شبكات المستقبل اللاسلكية.

CONTENTS

Acknowledgement	II
Abstract	III
List of Figures	VIII
1. INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Aim of this thesis	2
1.3 Outline of this thesis	3
2. Mobile Generations and Radio channels Characteristics	4
2.1 Mobile Generations	4
2.1.1 First Generation	4
2.1.2 Second Generation	5
2.1.3 Recent improvement to the GSM standards	5
2.1.4 Third Generation	6
2.1.5 Fourth Generation	9
2.2 Characteristics of the Mobile Radio channel	10
2.2.1 Multipath delay spread	10
2.2.2 Fading effect due to multipath time delay	11
2.2.3 Fading Effect due to Doppler shift	13
2.3 Signal processing and link performance	14
2.3.1 Equalization	14
2.3.2 Diversity	14
2.3.3 Channel coding	15
2.3.4 Multicarrier techniques	15
3. Multiple Access and MC-CDMA	17
3.1 Introduction to multiple accesses	17

3.1.1 Narrow band systems	18
3.1.2 Wide band systems	18
3.2 Frequency Division Multiple Accesses	19
3.3 Time Division Multiple Accesses	20
3.4 Code Division Multiple Accesses	23
3.4.1 Frequency Hopping Code Division Multiple Access	24
3.4.2 Direct Sequence Code Division Multiple Access	25
3.5 Spreading codes	27
3.5.1 Orthogonal Codes	28
3.5.2 Pseudo Noise (PN) codes	29
3.5.3 Spreading Codes Properties	30
3.6 Multicarrier Code Division Multiple Accesses (MC-CDMA)	30
3.6.1 Multicarrier Code Division Multiple Access	31
3.6.2 Multicarrier Direct Sequence CDMA (MC-DS-CDMA)	33
3.6.3 Multitone Code Division Multiple Accesses (MT-CDMA)	35
4. Orthogonal Frequency Division Multiplexing	37
4.1 Introduction	37
4.2 OFDM signal generation	38
4.3 OFDM bandwidth efficiency	42
4.4 OFDM characteristics	44
4.4.1 Robustness against frequency selective fading	44
4.4.2 Robustness against man made noise	44
4.4.3 Sensitivity to frequency offset	45
4.4.4 Sensitivity to non-linear amplification	45
4.5 OFDM synchronization	46
4.5.1 Frequency offset synchronization	46
4.5.2 DFT window timing synchronization	49
4.5.3 Frequency domain pilot assisted subcarrier recovery method	51
4.6 OFDM applications	52
4.6.1 Digital Audio Broadcasting (DAB)	52

4.6.2 Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T)	53
4.6.3 Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T)	53
4.6.4 5 GHz-band wireless LAN	54
4.6.5 Other IEEE 802.11 standards	56
5. OFDM system Design	57
5.1 Transmitter Architecture	57
5.1.1 Channel coding	58
5.1.2 Interleaving	58
5.1.3 Modulation	59
5.1.4 Pilot insertion	59
5.1.5 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) Block	60
5.1.6 Guard Interval	61
5.1.7 Windowing	62
5.1.8 DAC and RF transmitter	62
5.1.9 Channel	63
5.2 Receiver Architecture	63
5.2.1 Down Converter and ADC	64
5.2.2 Guard Interval Removal	64
5.2.3 Fast Fourier Transform (IFFT) Block	64
5.2.4 Channel Estimation	65
5.2.5 Baseband Demodulation	66
5.2.6 Deinterleaving	66
5.2.7 Decoding	66
5.3 OFDM Simulation Parameters	66
5.4 OFDM Simulation Results	67
5.4.1 Multipath delay spread	67
5.4.2 Peak power clipping	70
5.4.3 Gaussian noise tolerance of OFDM	71
6. Conclusion and Recommendations	73

7. References	74
8. Appendixes	76

LIST OF FIGURES

Figure	page
2.1 Steps to Third Generation	7
2.2 Effect of Multipath	10
2.3 Representation of Rayleigh Fading	12
3.1 FDMA System Channels	19
3.2 TDMA system Channels	21
3.3 TDMA Frame Architecture	21
3.4 CDMA system channels	24
3.5 Frequency Hopping Multiple Accesses	25
3.6 Direct Sequence Spread Spectrum Technique	26
3.7 Transmitter Schematic of MC-CDMA	32
3.8 Receiver schematic of MC-CDMA	33
3.9 MC-DS-CDMA transmitter	34
3.10 Spectrum of MC-DS-CDMA	35
3.11 Multitone-CDMA transmitter	35
3.12 Spectrum of Multitone CDMA	36
4.1 Simplified Block Diagram of the Orthogonal Parallel Modem	38
4.2 OFDM and the Orthogonality Principle	40
4.3 Schematic of N-subcarrier OFDM transmission system	41
4.4 OFDM Symbol Cyclic Extensions	42
4.5 OFDM Bandwidth Efficiency	43
4.6 Comb-type Distribution Pattern	48
4.7 Block-type Distribution Pattern	49
4.8 DFT window timing synchronization	50
4.9 Block Diagram of the DFT Window timing synchronization	51
4.10 Block Diagram for the Frequency Domain Pilot (FDP) method	52

4.11 The time-frequency structure of an IEEE 802.11a	55
5.1 OFDM transmitter architecture	57
5.2 OFDM Receiver Architecture	63
5.3 Flow chart of OFDM simulation	68
5.4 Effect of multipath delay spread on BER	69
5.5 Effect of Peak Power Clipping for OFDM	70
5.6 BER versus SNR for OFDM	72