

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 22420051302414

UDC _____

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

高速无线通信基带子系统设计与实现
The Design and Realization of High-speed Wireless
Communication Baseband Subsystem

陈义成

指导教师姓名: 姚彦 (教授)

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2008 年 4 月

论文答辩时间: 2008 年 5 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘要

随着无线通信技术的迅猛发展，无线通信速度要求越来越高，业务需求多样化。尽管目前 2G，3G 通信系统正在应用或普及中，但仍然满足不了全部需求。特别是在公安、消防、武警、部队执勤等应用场合需要远程现场多媒体信息实时传输，所以需要研制一个高速、有效的通信系统。在分析当前无线通信技术基础上，决定采用 SC-FDE、AFC、TPC 等技术，有效抵抗多径时延、频偏，极大降低误码率。

本文首先根据 SC-FDE 技术特点建立了一个较为简单实用的无线通信信道模型，通过 MATLAB 仿真研究信道多径时延、频偏、噪声等的影响。

接着根据高速无线通信系统技术参数，设计了帧结构与基带系统方案。通过 MATLAB 仿真整个系统，并简化、优化信道估计、均衡等算法，并取得较好的仿真结果，为硬件系统的实现奠定基础。

最后本文实现兼容性和扩展性较强的高速无线通信基带子系统的硬件设计，参考了软件无线电架构。在 FPGA 编程时，采用简化的算法，如混合基 FFT，CORDIC 算法等。经过调试，修正，最后系统性能基本达到预期要求。

总结本文，有如下创新点：建立简单实用的 SC-FDE 信道模型；简化和优化信道估计和均衡算法；FPGA 程序编写所采用简化的混合基 FFT 算法等。

关键词：SC-FDE；TPC；AFC

ABSTRACT

With the fast development of wireless communication technologies, the request of transmission speed is higher and higher, and the services needed are various. the 2G and 3G communication systems are or will be in application, but these can't meet all needs. In some cases such as police, fire protection, military and army duty, the need of real time transmission in media information is intensive. So it is necessary to develop a high-speed and dependable wireless communication system. based on the analysis of the current wireless communication technologies, then we decide to utilize the SC-FDE, AFC and TPC technologies, to overcome the time dispersion caused by multipath propagation and frequency offsets, for lowering the BER forcibly.

At first based on the characteristics of SC-FDE, establish a simple and efficient channel model, then utilize the model to simulate the impacts of time and frequency offsets and noise by MATLAB.

Analyzing the the high-speed system parameters, we make the frame structure and baseband process scheme. Then make the MATLAB code for the whole system simulation. based on the simulation system, select, simplify and optimize the algorithms of channel estimation and frequency domain equalization, then get a satisfactory result. The above work is a solid base for hardware system.

At last, for realizing a hardware baseband system which is outstanding in compatibility and expansibility, we design the hardware structure, making reference to the Software Defined Radio structure. When do FPGA code ,we use the mixed-base FFT and CORDIC algorithms. By debugging and optimizing, get a satisfactory system eventually.

Concluding the paper, have the following innovation: establishing simple and efficient channel model of SC-FDE; simplifying and optimizing the algorithms of channel estimation and frequency domain equalization; utilizing mixed-base FFT in FPGA code.

Key words: SC-FDE; TPC; AFC

目录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究背景	1
1.3 研制高速无线通信系统的意义	1
1.4 移动通信技术的发展现状与发展趋势	2
1.4.1 OFDM 技术	2
1.4.2 MIMO 技术	3
1.4.3 SC-FDE 技术	3
1.5 本文的研究内容	4
1.6 专业名词解析	5
1.7 本文创新之处	5
第二章 移动通信信道	6
2.1 引言	6
2.2 移动通信信道特征	6
2.2.1 大尺度衰落	6
2.2.2 小尺度衰落	7
2.2.3 AWGN 连续信道	9
2.3 SC-FDE 无线信道建模与仿真	10
2.3.1 SC-FDE 技术特点	10
2.3.2 SC-FDE 信道模型	11
2.3.3 SC-FDE 信道模型仿真	11
2.4 本章小结	14
第三章 通信系统关键技术研究 与仿真分析	15
3.1 引言	15
3.2 系统参数与帧结构设计	15
3.2.1 系统参数与技术性能要求	15
3.2.2 帧结构设计	16
3.3 基带发射端处理分析	17
3.3.1 TPC 编译码	17
3.3.2 交织器	19
3.3.3 数字调制	20
3.3.4 加扰	21
3.3.5 CP 与导频序列	22
3.3.6 前导码, 帧头数据	24
3.3.7 根升余弦滤波器	24
3.3.8 半带滤波器	26
3.3.9 上变频	27

3.3.10 模拟滤波器.....	27
3.4 基带接收端处理分析	28
3.4.1 AGC 原理	28
3.4.2 A/D 采样	28
3.4.3 匹配滤波器.....	29
3.4.4 系统定时同步.....	30
3.4.5 AFC.....	31
3.4.6 去 CP	33
3.4.7 信道估计.....	33
3.4.8 线性插值算法.....	36
3.4.9 单载波频域均衡 (SC-FDE)	36
3.4.10 信道估计与均衡算法综合性能仿真分析比较.....	38
3.5 系统综合性能仿真分析	40
3.6 本章小结	43
第四章 FPGA 程序结构与实现算法	44
4.1 引言	44
4.2 FPGA 功能模块程序结构与实现算法	44
4.2.1 FPGA 整体程序结构.....	44
4.2.2 KCPSM.....	45
4.2.3 CORDIC 算法与上下变频、AFC	46
4.2.4 串行除法.....	48
4.2.5 混合基 FFT	49
4.2.6 交织解交织.....	50
4.2.7 信道估计.....	50
4.2.8 周期导频共轭乘与取极大值.....	51
4.2.9 数据信号截位.....	51
4.3 本章小结	52
第五章 基带硬件结构与系统调试	53
5.1 引言	53
5.2 单板硬件模块介绍	53
5.2.1 系统时钟.....	54
5.2.2 D/A 芯片.....	54
5.2.3 A/D 芯片.....	55
5.2.4 AGC 芯片.....	55
5.2.5 FPGA 芯片.....	55
5.3 硬件系统调试.....	56
5.4 本章小结	58
第六章 总结与展望	59
6.1 全文总结	59

6.2 进一步工作	59
参考文献	60
攻读硕士学位期间发表的论文	61
致谢	63

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

1. INTRODUCTION	1
1.1 Foreword	1
1.2 Research Background of The thesis	1
1.3 The Sense of designing high-speed wireless communication system	1
1.4 The Status and Trend of The Mobile Communication Technologies	2
1.4.1 OFDM Technology.....	2
1.4.2 MIMO Technology.....	3
1.4.3 SC-FDE Technology.....	3
1.5 Contents of TheThesis	4
1.6 Terminology	5
1.7 Innovation	5
2. MOBILE COMMUNICATION CHANNEL	6
2.1 Foreword	6
2.2 Characteristics of The Mobile Communication Channel	6
2.2.1 Large Scale Fading.....	6
2.2.2 Small Scale Fading.....	7
2.2.3 AWGN Channel.....	9
2.3 Channel Model and Simulation of SC-FDE Wireless Channel ...	10
2.3.1 Characteristics of SC-FDE Technology.....	10
2.3.2 Channel Model.....	11
2.3.3 Simulation of Channel Model.....	11
2.4 Conclusion of The Chapter	14
3. RESEARCH AND ANALYSIS OF CRITICAL TECHNOLOGIES	15
3.1 Foreword	15
3.2 System Parameters and Frame Structure Designing	15
3.2.1System Paremeters and The request of Technology performance	15
3.2.2 Designing Frame Structure.....	16
3.3 Analyzing The Transmitter of Baseband System	17
3.3.1 TPC Encode/Decode.....	17
3.3.2 Interlacing.....	19
3.3.3 Digital Modulation.....	20
3.3.4 Scrambling.....	21
3.3.5 CP and Pilot Sequence.....	22
3.3.6 Preamble and Frame Header.....	24
3.3.7 Root Raised Cosine Filter.....	24

3.3.8 Half-band Filter.....	26
3.3.9 Digital Up Converter.....	27
3.3.10 Analog Filter.....	27
3.4 Analyzing the Receiver of Baseband	28
3.4.1 AGC Principle.....	28
3.4.2 A/D Sampling.....	28
3.4.3 Matching Filter.....	29
3.4.4 Timing Synchronization.....	30
3.4.5 AFC.....	31
3.4.6 Removing CP.....	33
3.4.7 Channel Estimateion.....	33
3.4.8 Linear Interpolation Algorithm.....	36
3.4.9 Single Carrier Frequency Domain Equalization.....	36
3.4.10 Simulation and Analysis of Channel Estimation and Equalization Algorithms.....	38
3.5 The Performace of The Whole System	40
3.6 Conclusion of The Chapter	43
4. THE STRUCTURE AND ALGORITHMS OF FPGA CODE	44
4.1 Foreword	44
4.2 The Function Module Structure of FPGA Code	44
4.2.1 The Whole Structure of The FPGA Code.....	44
4.2.2 KCPSM.....	45
4.2.3 The CORDIC Algorithm.....	46
4.2.4 Serial Division.....	48
4.2.5 Mixed-base FFT.....	49
4.2.6 Interlacing and De-interlacing.....	50
4.2.7 Channel Estimation.....	50
4.2.8 Periodic Pilot Conjugate Multiplication and Doing The Most Value.....	51
4.2.9 Signal Truncation.....	51
4.3 Conclusion of The Chapter	52
5. THE BASEBAND HARDWARE STRUCTURE AND THE SYSTEM DEBUGGING	
.....	53
5.1 Foreword	53
5.2 Hardware Module Introduction	53
5.2.1 System Clock.....	54
5.2.2 D/A Chip.....	54
5.2.3 A/D Chip.....	55
5.2.4 AGC Chip.....	55
5.2.5 FPGA Chip.....	55

5.3 Debugging The Hardware System.....	56
5.4 Conclusion of The Chapter	58
6. THESIS CONCLUSION AND EXPECTATION.....	59
6.1 The Thesis Conclusion	59
6.2 The Further Work	59
REFERENCE.....	60
PAPERS PUBLISHED DURING MASTER PERIOD.....	61
THANKS.....	63

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 引言

本章作为全文的绪论，首先介绍论文选题背景与意义，在此基础上介绍当前无线通信的发展趋势与前景，最后介绍本文的工作内容。

1.2 研究背景

无线通信发展至今，人们所需服务越来越多，对通信速度要求也越来越高。当前 3G 无线通信系统无法满足诸如公安、消防、武警、部队执勤、处突、反恐、抢险救灾等特殊领域的远程现场多媒体信息实时传输要求。虽然 3G 无线通信系统能够提供无线 Internet 业务和多媒体业务，能提供不对称的高速数据传输能力，但还存在一些局限和缺点如最高速率有限，特别在移动速率较高的情况下，如车载运动中，其传输速率最高只能达到 144kb/s 更是难以适应多媒体业务需求，这主要是因为高速移动产生的多谱勒效应，同时受传输环境的影响，有很强的多径效应和频率选择性衰落。总之目前 2G, 3G 无线通信系统通用性很好，但是专用性不够，为此需要研制高速移动通信系统。

虽然当前通用无线通信系统在特殊领域的应用不尽如人意。但同时也应注意到当前无线通信技术迅猛发展，3G 技术已不在是通信领域的宠儿，取而代之的一系列新技术如 MIMO, OFDM, SC-FDE, 空时编码等深入研究。为此研制满足高速，性能优异的移动通信系统可以选择性采用一系列新技术。

移动通信系统硬件系统研制应尽量考虑到兼容性和扩展性，当前倍受追捧当属软件无线电系统架构。无线电系统结构主要由多波段 RF 天线，高速的宽带 AD/DA 转换器，可编程硬件平台（DSP, FPGA 等）。其中 AD 负责下采样，DSP 和 FPGA 等负责调制、编解码等基带处理。

1.3 研制高速无线通信系统的意义

由于公安、消防、武警、部队执勤、处突、反恐、抢险救灾等应用场合需要

远程现场多媒体信息实时传输给指挥中心，指挥中心实时掌握整体局势，作出最佳的反应策略，反馈各地现场，进而控制局势，使损失降到最低。而目前通用无线通信系统远远无法满足要求，因此研制一套质量可靠，性能优异的通信系统非常迫切。系统目标要求在恶劣环境下，可达到 15Mbps 传输或以上，误码率低于 10^{-6} ，较低的漏帧率低于 10^{-4} ，有效抵抗多径扩展时延，容许最大时延扩展 1.2 微秒，在多普勒频偏小于 6KHz 情况下可以有效的通信，即使在复杂的山区或丘陵环境下也可有效通讯。经过系统论证以后，采用了 SC-FDE，TPC，AFC 等一系列技术研制一套通信系统，弥补了目前通用的 2G，3G 通信系统在这方面的缺陷。这对于解决应急和机动指挥通信问题具有重要的意义。

1.4 高速移动通信技术的发展现状与发展趋势

90 年以来，欧洲、日本、韩国、美国、中国等国家和地区都积极研制、制定第三代移动通信系统的策略和计划，并向国际电联 (ITU) 提交了相关文件，ITU 也为第三代系统标准积极运作。经过几年的技术评估、研究分析和大量的协调及融合的工作，在 1999 年底通过了 IMT-2000 的无线接口技术规范，这标志着第三代移动通信技术的格局已基本确定。包括最近 WiMax 阵营加入，共有 TD-SCDMA，WCDMA，CDMA2000，WiMax 等，前三者无一例外的采用 CDMA 技术。然而对各种新技术研究从未中断，当前 B3G 移动通信传输技术中比较有前景主要有 OFDM，MIMO，SC-FDE 等，他们能够很好的抵抗多径衰落，以及部分多普勒影响，实现高容量、高频谱利用率的传输。

1.4.1 OFDM 技术

OFDM 基本原理是把高速的数据流通过串并转换，分配到传输速率相对较低的若干子信道中进行传输。每个子信道的比特传输率很低，降低了传输符号的带宽，提高了抗 ISI 的能力，但是整体的传输能力并没因此而削弱。子信道是相互正交且相邻的相互重叠的，因此可以有效利用频谱资源。尽管如此，OFDM 也存在峰值平均功率比 (PAR) 较高，对载波偏移敏感，精确定时同步难等缺点。

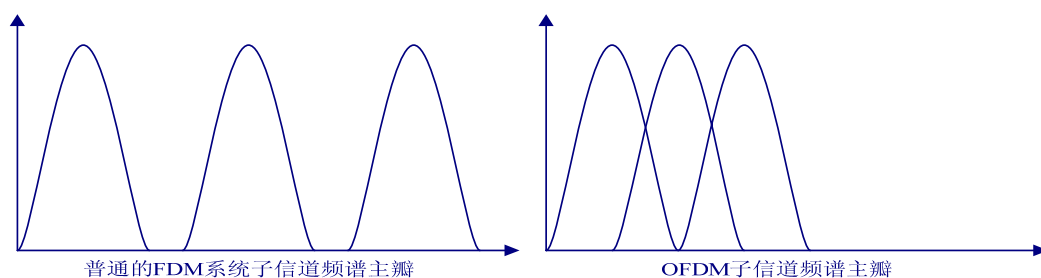


图 1.1 OFDM 与 FDM 系统子信道主瓣频谱比较

1.4.2 MIMO 技术

MIMO 系统要求收发双端都采用多个天线或天线阵列，系统结构框图如图所示。

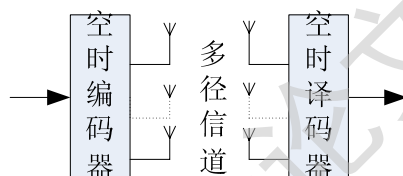


图 1.2 MIMO 结构

MIMO 技术实质是提供空间复用增益和空间分集增益。它要求信道存在丰富多径，且时延扩展可忽略。相比于普通 SISO 系统，MIMO 系统提供的空间复用增益使信道容量与收发天线个数成正比，在不增加带宽和天线发送功率情况下，频谱利用率也可成倍提高。而空间分集则提高了可靠性，降低了误码率。如果信道丰富多径的假设不成立，或信道存在相关性，则信道容量减小，特别是有直射路径存在，信道容量锐减。因此必须结合空时编译码。

1.4.3 SC-FDE 技术

SC-FDE 全称是单载波频域均衡，是在 OFDM 基础上发展起来。其系统结构与 OFDM 相差无几，只是把 OFDM 的发射端的 IFFT 模块移至接收端，克服了 OFDM 一些缺点如峰平比过高，定时同步敏感，易受载波频偏和相位噪声影响等。同时 SC-FDE 也有其自身优点如：

(1) 与 OFDM 相近的均衡效果，可以有效抵抗多径衰落，复杂度相对于时域均衡较小。

(2) 在信道上传送时域信号，其包络受与调制方式有关，可采用有恒定包络调制方式，降低对功放的线性要求。

(3) 由于 SC-FDE 系统可以设计特殊的帧结构，可以有效缓解系统对定时同步的要求。

正因为上述优点，SC-FDE 成为宽带无线通信中有效抵抗多径方法之一，与 OFDM 共同被纳入 IEEE802.16e 无线城域网标准中，形成了 SC-FDE 与 OFDM 共存的局面。本文在对 OFDM 与 SC-FDE 的系统复杂度、性能等综合分析比较的基础上，决定采用 SC-FDE 为系统的核心技术。

1.5 本文的研究内容

本文的目的是，根据所采用移动通信技术的特点建立一个较为简单实用的信道模型，在此基础上通过 MATLAB 搭建、仿真、分析、验证整个通信系统。在仿真的基础上，根据实际的性能要求与当前硬件条件，适当简化、优化通信算法，实现一个在实际当中可以有效利用的通信系统。

下面分章节来介绍本文的主要研究内容：

第一章绪论，主要介绍研制移动通信系统的背景，意义，讲述了当前移动通信技术的发展现状和前景，包括了本系统采用的 SC-FDE 技术。最后对本文所用到的专业名词进行解析。

第二章移动通信信道特征，在详细分析移动通信信道的特征如大尺度衰落，小尺度衰落，AWGN 等，最后根据实际通信系统采用的 SC-FDE 技术特点，建立了一个较为简单实用的信道模型，并通过 MATLAB 仿真。

第三章通信系统关键技术研究及仿真分析，研究了系统性能参数，制定系统方案，并通过 MATLAB 仿真分析，验证系统的可行性。

第四章 FPGA 程序结构与实现算法，充分分析 FPGA 资源、速度和性能问题，选择性使用较为合适的算法。最后编写系统的完整代码并通过 ACTIVE-HDL 仿真。

第五章基带硬件结构与系统调试，介绍基带硬件结构，讲述芯片选型，及部分调试过程。

第六章总结，对本文与本文所实现系统作出总结，对进一步工作作出了规划。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库