

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_

学 号: 23320091152814

UDC\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

**TD-SCDMA 信道估计研究及  
GPP-SDR 实现**

**Research of TD-SCDMA Channel Estimation Method and  
GPPSDR-Based Implementation**

张润福

指导教师姓名: 黄联芬副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2012 年 月

论文答辩时间: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 05 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

TD-SCDMA 是我国自主提出的第三代移动通信标准, 采用了很多先进的关键技术如智能天线、联合检测等, 它们的性能在很大程度上依赖于信道估计的精确性。因此, 研究 TD-SCDMA 系统中的上行信道估计方法对 TD-SCDMA 整个系统实现具有重要的意义。

本文在研究 TD-SCDMA 信道特性的基础上, 详细地分析了 TD-SCDMA 的信道模型, 并给出了 TD-SCDMA 上行链路信道模型。其次, 针对 TD-SCDMA 标准中的信道估计技术, 给出了用于信道估计的接收矢量模型, 详细地阐述了 TD-SCDMA 中的信道估计原理, 包括单小区信道估计算法与多小区信道估计算法的原理; 在充分分析现有经典信道估计算法的基础上, 提出了低代价的逐径干扰消除信道估计算法, 并对各算法的运算复杂度做了详细的分析。最后利用 MATLAB 搭建了基带系统仿真平台, 针对 Steiner 信道估计算法、联合估计算法、逐码片干扰消除算法和逐径干扰消除算法, 分别在不同的 C/I 和信道模型条件下对各算法的性能作了仿真, 从仿真结果可以看出, 无论在慢速移动的信道下, 还是在高速移动的信道下, 逐径干扰消除信道估计算法都具有更高的相关系数和更小的均方误差, 它是一种低代价高性能的多小区信道估计算法。

最后, 本文介绍了 GPP-SDR 技术, 给出了项目课题中 GPP-SDR 平台的软硬件架构, 基于该平台架构讨论了信道估计模块的实现。在 GPP-SDR 平台中, 利用 SSE 指令集优化信道估计算法能较显著地降低运算开销。

在以后的研究工作中, 将进一步考虑信道估计技术与自适应技术相结合, 研究性能更好、复杂度更低的信道估技术。

**关键词:** TD-SCDMA; 信道估计; 逐径干扰消除; GPP-SDR

## Abstract

TD-SCDMA standard is a third generation mobile communication standard that proposed independently by our country. It has milestone significance in our country's communication history, and combines the advantage of the time division duplex (TDD) with CDMA, makes use of many advanced techniques, such as smart antenna, Joint Detection and so on. But, these key technologies performance rely on the accuracy of channel estimation. It is very important to research the channel estimation technology for the realizing the whole TD-SCDMA system.

On the basis of the study of TD-SCDMA channel characteristics, analyzes the TD-SCDMA channel model in detail, and gives the uplink channel model. For TD-SCDMA channel estimation, the dissertation establishes the receiving signal mathematic model, and gives detailed expound on the principle of TD-SCDMA channel estimation. On the basis of analysis of existing classical channel estimation algorithm, Per-Path Multi-Cell Interference Cancellation method is proposed, and the computational complexity of every algorithm is observed. The simulation result shows that the proposed algorithm is simpler and has better performance than other algorithms.

Final, this dissertation introduces the GPP-SDR platform with frame of software and hardware, and discusses the implement of channel estimation model based on GPP-SDR platform.

In the future, make further consideration on the adaptation techniques, and research a better solution.

**Key words:** TD-SCDMA; Channel estimation; Per-Path Multi-Cell Interference Cancellation; GPP-SDR

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
Contents .....	1
第一章 绪 论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究现状 .....	1
1.2.1 信道估计研究现状.....	1
1.2.2 软件无线电演进.....	3
1.3 主要内容及章节安排 .....	4
第二章 TD-SCDMA 信道特性.....	6
2.1 移动无线信道概述 .....	6
2.2 移动无线信道特性 .....	6
2.2.1 大尺度衰落.....	7
2.2.2 小尺度衰落.....	8
2.3 TD-SCDMA 信道模型.....	9
2.3.1 TD-SCDMA 数据生成.....	9
2.3.2 TD-SCDMA 上行链路信道模型.....	13
2.4 本章小结 .....	14
第三章 TD-SCDMA 逐径干扰消除信道估计技术 .....	15
3.1 TD-SCDMA 系统物理信道结构.....	15

3.1.1 物理信道结构.....	15
3.1.2 子帧结构.....	17
3.1.3 突发结构.....	18
3.1.4 midamble 序列的构成.....	19
<b>3.2 TD-SCDMA 的信道估计技术.....</b>	<b>21</b>
3.2.1 TD-SCDMA 单小区信道估计 .....	23
3.2.2 TD-SCDMA 多小区信道估计 .....	24
<b>3.3 逐径干扰消除信道估计算法 .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 逐径串行干扰消除算法.....	29
3.3.2 逐径并行干扰消除算法.....	31
<b>3.4 运算复杂度分析 .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 本章小结 .....</b>	<b>36</b>
<b>第四章 TD-SCDMA 信道估计的仿真及 GPP-SDR 实现 .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 TD-SCDMA 信道估计仿真平台.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 系统仿真流程.....	37
4.1.2 仿真环境.....	37
<b>4.2 TD-SCDMA 信道估计的仿真及性能分析 .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 TD-SCDMA 信道估计的 GPP-SDR 实现 .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 GPP-SDR 简介 .....	43
4.3.2 基于 GPP-SDR 平台的信道估计模块开发 .....	45
<b>4.4 本章小结 .....</b>	<b>51</b>
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>52</b>
5.1 论文主要工作总结 .....	52
5.2 未来工作展望 .....	53
<b>参 考 文 献 .....</b>	<b>54</b>



攻读硕士学位期间发表的论文及参与的项目 .....	56
致 谢.....	58

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

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Research background .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Research status.....</b>	<b>1</b>
1.2.1 Research status of channel estimation .....	1
1.2.2 Software radio evolution.....	3
<b>1.3 Main contents of research and the structure of thies .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapter 2 TD-SCDMA Channel Characteristics .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Wireless channel overview .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Wireless channel Characteristics .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Large scale fading .....	7
2.2.2 Small scale fading .....	8
<b>2.3 TD-SCDMA channel model .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 TD-SCDMA signal generation.....	9
2.3.2 TD-SCDMA uplink channel model .....	13
<b>2.4 Summary.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapter 3 Per-Path Multi-Cell Interference Cancellation .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 TD-SCDMA physical channel.....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Physical channel structure.....	15
3.1.2 Frame structure .....	17
3.1.3 Burst structure .....	18
3.1.4 midamble code .....	19
<b>3.2 TD-SCDMA channel estimation technique .....</b>	<b>21</b>

3.2.1 Single-cell channel estimation .....	23
3.2.2 Mutil-cell channel estimation .....	24
<b>3.3 Per-Path interference cancellation algorithm .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Per-Path successive interference cancellation algorithm .....	29
3.3.2 Per-Path Parallel interference cancellation algorithm.....	31
<b>3.4 The analysis of computational complexity .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Summary.....</b>	<b>36</b>
<b>Chapter 4 Simulation and implement based on GPP-SDR .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Simulation Platform .....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Simulation flow.....	37
4.1.2 Simulation environment.....	37
<b>4.2 Simulation and performance analyses.....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Implement based on GPP-SDR .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 GPP-SDR Introduction .....	43
4.3.2 Implementation based on GPP-SDR and code optimization .....	45
<b>4.4 Summary.....</b>	<b>51</b>
<b>Chapter 5 Conclusion and prospect .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Conclusion .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Prospect.....</b>	<b>53</b>
<b>References .....</b>	<b>54</b>
<b>Publications .....</b>	<b>56</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>58</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景

TD-SCDMA<sup>[1]</sup> (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) 技术是由中国提出的, 以中国知识产权为主的, 被国际广泛接受和认可的第三代移动通信标准。

TD-SCDMA 的空口传输方案灵活地采用了三种多址技术: FDMA, TDMA 和 CDMA<sup>[2]</sup>。在 CDMA 移动通信系统中, 由于各个用户信号之间存在一定的相关性, 且多个用户的信号在时域和频域上是混叠的, 因此在不同的码分信道之间形成了多址干扰, 同时在不同的小区之间也存在邻区干扰。

为了消除码间干扰和多址干扰, TD-SCDMA 采用了联合检测和智能天线等一些关键技术<sup>[3]</sup>。传统的信号分离技术把多址干扰看作噪声一样的干扰, 导致信噪比严重恶化, 系统容量也随之下降。联合检测技术充分利用了多址干扰, 将所有用户的信号联合处理, 最终将各个用户的信号分离开来。与联合检测技术相结合, TD-SCDMA 系统的传输容量提到了有效的提升。为了进一步抑制干扰, TD-SCDMA 引进了智能天线技术, 采用天线阵列, 根据信号的空间特性, 自适应调整信号的方向圆图, 形成自适应波束, 使主波束对准用户信号到达方向, 旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向, 有效地抑制了自身信号对其他用户的干扰<sup>[4]</sup>。

联合检测和智能天线技术多用于基站侧, 其性能的好坏很大程度上依赖于信道估计的性能, 精确的信道冲激响应是获得良好干扰抑制效果的保证, 因此, 可以说精确的信道估计是智能天线、联合检测等关键技术的关键, 研究上行链路信道估计对 TD-SCDMA 系统具有重要意义。

### 1.2 研究现状

#### 1.2.1 信道估计研究现状

无线通信系统的性能很大程度上受到无线信道的影响。在移动通信的无线信道环境中, 发射机与接收机之间的传播路径非常复杂, 既有简单的数据传播也有各种复杂的地形物的阻挡。接收器的信号是由许多路径的众多反射波组成

的，由于无线电波通过各个路径的距离不同，信号到达时间也不同，从而造成时延扩展，使得接收信号中一个码元的波形会扩展到其他码元周期中，引起码间串扰<sup>[5]</sup>。当码间串扰严重时，即使没有额外的噪声，也会产生误码。另外，无线信道具有很大的随机性，这对接收机的设计提出了很大的挑战。为了能在接收端准确的恢复发射端的发送信号，可以采用各种措施来抵抗多径效应对传输信号的影响，而信道估计是实现无线通信系统的一项关键技术。能否获得详细而准确的信道信息，从而在接收端正确地解调出发射信号，是衡量一个无线通信系统性能的重要指标。因此，对于信道估计算法的研究是一项有重要意义的工作。

信道估计技术是 TD-SCDMA 系统中联合检测和智能天线等关键技术的基础，是系统获得高可靠性和有效性的保证，在国内外已经有了广泛的研究。B.Steiner<sup>[6]</sup>等人利用 Toeplitz 矩阵的特性，将信道估计算法中的矩阵运算简化为 FFT/IFFT 运算，提出了一种适用于同步 CDMA 系统的低代价的信道估计方法。Steiner 信道估计算法虽然是一种低运算开销的信道估计方法，但该算法只考虑小区内训练序列信号，而将邻小区的训练序列信号视为背景噪声。不同的小区使用的训练序列不同且非正交，因此，小区内的信道估计将受邻小区训练序列信号的干扰，导致 Steiner 信道估计算法获得的信道冲击响应随着干扰功率的增加性能严重恶化。

为了克服信道估计中小区间干扰的问题，Xiaoqin Song 等人提出了联合信道估计算法<sup>[7]</sup>和逐码片干扰消除算法<sup>[8]</sup>。联合信道估计算法将主小区与邻小区所有强干扰用户的信号考虑在内，构造出信道估计矩阵，以提高信道估计的准确度。但该算法在估计过程中涉及到矩阵求逆运算，且该矩阵的大小随着小区数的增多而变大，带来了极高的运算复杂度。逐码片干扰消除算法是一种码片级的估计算法，以码片为干扰消除单位，包含了串行消除及并行消除两种方式。首先使用 Steiner 信道估计算法获得初始的信道估计结果，其次重构各小区的训练序列信号，并逐码片地消除小区间干扰，最后通过若干次迭代，获得较精确的信道冲击响应。该算法基于码片级的信号重构及干扰消除，使得算法的运算开销仍然很大。

为了满足通信系统对实时性的要求，我们需要寻找一种低复杂度且具有高准确度的多小区信道估计算法。为此，本文对多小区信道估计算法展开了广泛而又

深入的研究，提出了逐径干扰消除算法。

### 1.2.2 软件无线电演进

软件无线电（SDR，Software Definition Radio）<sup>[9]</sup>是利用可编程软件的方法去承载到一个公共的硬件平台上的无线电系统。其基本思想是以一个通用、标准、模块化的硬件平台为依托，通过软件编程来实现无线电台的各种功能，从基于硬件、面向用途的平台设计方法中解放出来<sup>[10]</sup>。

当前，软件无线电（SDR）平台主要通过 DSP（数字信号处理器）、FPGA（现场可编程门阵列）和 GPP（通用处理器）实现。与传统的基于 FPGA 以及 DSP 的 SDR 相比，基于高性能 GPP 的 SDR 系统可以降低通信系统开发和调试的复杂度，具有更好的灵活性和可扩展性，极大地节省系统的硬件成本和人力成本<sup>[11]</sup>。

近年来，通用处理器技术得到了快速的发展。多核心技术的发展为用户带来更强大的计算性能<sup>[12]</sup>，同时也可满足用户对多任务并行处理和多任务计算环境的要求。硬件多线程技术<sup>[13]</sup>（Hardware Multithreading）在处理器中开辟了多份线程状态，当线程发生切换时，处理器切换到对应的线程状态执行，在瞬间即可完成，比传统的操作系统控制的上下行切换更快。SIMD<sup>[14]</sup>（Single Instruction Multiple Data，单指令多数据流）包含单指令多数据浮点计算及高速缓存控制等指令，使处理器可在一个频率周期内，同时执行 128 位乘法、128 位加法、128 位数据加载与 128 位数据回存，或着是 4 个 32 位单倍浮点精确度乘法与 4 个 32 位单倍浮点精确度加法等运算，更适用于数字信号处理。借力于大容量的片内缓存，低延迟的片外存储，硬件的虚拟化技术等，通用处理器可以取代 DSP 胜任基站设备的基带处理。传统通用处理器通常在性能功耗比上比信号处理器差。近年来通用处理器在这方面有了很多提高，图 1-1 显示了通用处理器近 6-7 年来在处理能力以及功耗方面的技术进展<sup>[15]</sup>，不难发现每瓦特的浮点处理能力得到飞快地提升。这些数据表明了通用处理器架构演进使得其逐渐可以在基站中承担更多样化的数据处理。

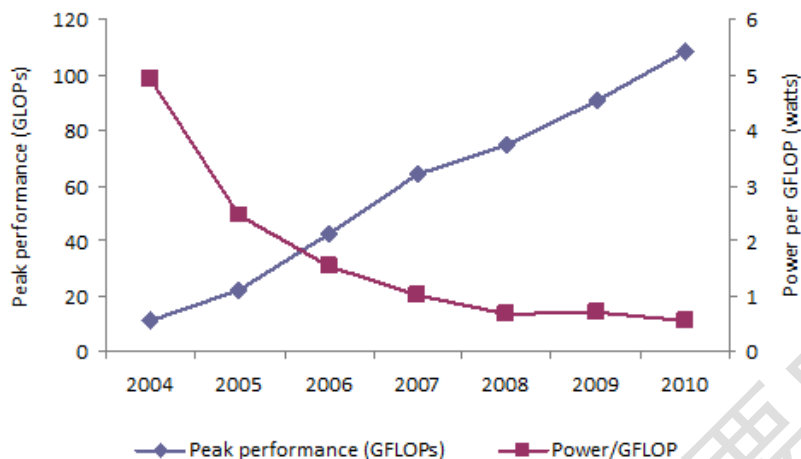


图 1-1 通用处理器计算性能/功耗的演进

### 1.3 主要内容及章节安排

信道估计技术的实质是实时地提取无线移动信道的特征参数，用以辅助接收端通信信号的处理，对整个系统的实现具有至关重要的作用。

本文对同频组网的多小区传输场景中的信道估计问题进行了深入而广泛的研究。详细地阐述了 TD-SCDMA 中的信道估计原理，包括单小区信道估计算法与多小区信道估计算法的原理，同时对各个算法做了详细的比较和分析，提出了一种逐径干扰消除信道估计方法，并基于 GPP-SDR（通用处理器软件无线电）平台，结合浮点运算的单指令流多数据流（SIMD）指令，介绍了该算法的实现及其代码优化。

全文具体章节安排如下：

第一章绪论部分，主要介绍了课题的研究背景和研究现状；深入地讨论了信道估计技术的研究意义，并展望了未来软件无线电的演进方向；详细介绍了论文的主要内容和章节安排。

第二章作为其后各章节研究工作的基础，主要介绍了 TD-SCDMA 信道特性。首先阐述了无线信道的传输特性，包括大尺度衰落和小尺度衰落；其次深入地分析了 TD-SCDMA 的信道模型，详细地介绍了 TD-SCDMA 数据的生成过程，



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库