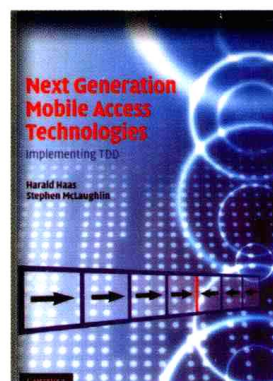


CAMBRIDGE



国际先进通信技术译丛

下一代移动接入技术 TDD模式的实现

**Next Generation Mobile Access
Technologies: Implementing TDD**

【德】Harald Haas 著
【英】Stephen McLaughlin

马霓 刘静 甘小莺 译

 **人民邮电出版社**
POSTS & TELECOM PRESS

国际先进通信技术译丛

下一代移动接入技术 TDD模式的实现

**Next Generation Mobile Access
Technologies: Implementing TDD**

【德】Harald Haas

著

【英】Stephen McLaughlin

马霓 刘静 甘小莺 译

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

下一代移动接入技术：TDD模式的实现 / (德) 哈斯 (Haas, H.) , (英) 麦克劳克林 (McLaughlin, S.) 著 ; 马霓, 刘静, 甘小莺译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 12

(国际先进通信技术译丛)
ISBN 978-7-115-23929-7

I. ①下… II. ①哈… ②麦… ③马… ④刘… ⑤甘… III. ①时分多址—移动通信—通信技术 IV. ①TN929. 532

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第178295号

内 容 提 要

本书全面地介绍了 TDD 系统的基本理论, 分析了 TDD 系统的基本结构和工作原理, 并对 DCA、跳时、无线资源管理、干扰管理、智能天线等 TDD 相关核心技术进行了深入的阐述。

本书可供从事移动通信研发、系统设计、网络运营工作的相关技术人员, 特别是对 TDD 感兴趣的人员学习, 同时也可供高等院校通信、电子、计算机等相关专业师生阅读参考。

下一代移动接入技术——TDD 模式的实现

- ◆ 著 [德] Harald Haas [英] Stephen McLaughlin
译 马 霓 刘 静 甘小莺
责任编辑 姚予疆
执行编辑 刘 洋
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.75
字数: 427 千字 2010 年 12 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2010 年 12 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2009-0533 号
ISBN 978-7-115-23929-7

定价: 65.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

版 权 声 明

Next Generation Mobile Access Technologies: Implementing TDD (ISBN 978-0-521-82622-8) by Harald Haas, Stephen McLaughlin first published by Cambridge University Press 2007

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & PTPRESS 2010

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and PTPRESS.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2009-0533 号

译者简介

马霓，现为华为技术有限公司移动通信系统资深研发专家。1995年毕业于上海交通大学，获工学硕士学位，1998年毕业于华南理工大学，获工学博士学位，2001年获信息与通信工程学科博士后证书。2001~2008年在飞利浦亚洲研究院无线通信研究部担任高级研究员及主任研究员一职，较早参与TD-SCDMA系统研发及标准化工作。发表SCI、EI收录论文10余篇，申请国际PCT发明专利近50项，提交CCSA、3GPP、未来移动通信论坛等标准化提案和技术报告20余篇，参与“863”、国家重大专项（信息技术领域）等国家和地方重大科研项目数项。

刘静，上海交通大学电子信息与电气工程学院副教授，博士。1998年毕业于西安电子科技大学通信工程学院，获工学学士学位；2001年毕业于西安电子科技大学研究生院，获工学硕士学位；2005年毕业于西安电子科技大学研究生院，获工学博士学位。中国电子学会会员，IEEE会员，IEICE会员。在国内外学术期刊及学术会议上发表学术论文40余篇，申请发明专利10余项，已出版译著1本。主持并承担工业和信息化部重大专项、科技部国际合作项目、国家“863”项目、上海市科委基金项目等多个科研项目。目前感兴趣的研究方向主要有移动通信、自组织网络、无线网络资源分配等。

甘小莺，上海交通大学电子信息与电气工程学院教师，博士。2000年获工学学士学位（上海交通大学电子工程系），2005年获工学博士学位（上海交通大学电子工程系），加州大学圣迭戈分校访问学者（2009~2010年）。中国电子学会（CIE）会员，美国电气和电子工程师协会（IEEE）会员，日本电子情报通信学会（IEICE）会员，具有10多年的无线通信技术领域科研开发经历，主要从事蜂窝移动通信系统小区架构研究，以及无线通信系统物理层传输技术、认知无线电技术和资源分配技术的研究。在国内外学术期刊和会议上发表40多篇学术论文，已申请10多项发明专利，其中5项已获授权。担任多种国际知名电子通信类会议的技术委员会委员和审稿人。作为负责人和核心研究人员先后参与了国家“973”计划子课题、“863”计划子课题以及工业和信息化部重大专项等多个科研项目，并获得省部级科技进步三等奖。

译者前言

随着 TD-SCDMA 蜂窝系统在中国的大规模部署和商用, TDD 技术已得到前所未有的重视, TDD 的种种优势, 如信道互易、频谱部署灵活、支持非对称的突发数据业务等, 也得到充分挖掘。如果说在 3G 规范制定当初还只是把 TDD 模式当作一种补充的话, 那么到 4G 时代, TDD 已和 FDD 齐头并进了, 在某种程度上, TDD 甚至比 FDD 更具竞争力。例如 LTE 多天线 (MIMO) 模式自适应技术的应用, 需要更加精确和快速的信道反馈, TDD 在此情形下更具优势。WiMAX 的商用也从另一侧面阐明了 TDD 系统的前景。

TDD 模式虽然应用较早, 但早期都仅限于一些较小覆盖范围的无线系统, 如 PHS 等, 这主要是由于上下行链路转换需要一些保护时间及 TDD 模式的干扰问题等先天性缺陷所导致的。因此如何突破这些技术瓶颈就成为 TDD 模式在大规模蜂窝系统中应用首先需要解决的问题。所幸的是, 国内外众多学者和技术人员对此进行了孜孜努力, 取得了一系列创新成果, 如本书作者提出的“时隙反序”技术 (即“跳时”的概念) 结合动态信道分配 (DCA), 能较好提升 TDD 蜂窝系统的容量性能等。

本书是到目前为止最为完善地介绍 TDD 系统理论基础的书籍, 不同于其他仅罗列规范和协议的“TDD 小册子”。本书全面而深入地剖析了 TDD 系统的理论全貌, 并集中分析了主要的 TDD 系统, 如 TDD-CDMA (抛开具体的规范协议, 可以将其理解为 TD-SCDMA)、TDD-OFDMA、ODMA (多跳 TDD) 等。对围绕 TDD 系统的一些核心技术, 如 DCA、跳时、无线资源管理、干扰管理、智能天线等, 本书理论分析之深入、仿真研究之广泛, 可作为研究者的楷模! 因此译者在此向广大读者隆重推荐。

本书读者对象可涵盖研究、开发、系统设计、网络运营等移动通信领域的相关技术和工程人员, 特别是对 TDD 系统感兴趣的科研人员, 本书可作为一本非常好的参考书。无线通信领域的高年级本科生和研究生也可将本书作为参考书籍。

本书由马霓、刘静、甘小莺翻译完成, 由马霓负责全书的统稿。感谢人民邮电出版社刘洋编辑为本书出版所付出的努力。

由于本书理论分析非常深入和全面, 但限于译者专业水平, 加之时间有限, 译稿错误之处在所难免, 恳请广大读者和专家批评指正。本书编辑邮箱: liuyang@ptpress.com.cn。

译者

2010 年 10 月于上海

致 谢

这本书经过相当长时间的酝酿，很多人值得我们感谢。Phi Meyler，我们在剑桥大学出版社的编辑，鼓励我们准备这本书，他的助手 Emily Yossarian、Anna Littlewood、Dawn Preston 以及 Sabine Koch 在处理我们这两个过分骚扰的学者时显得非常有耐心。我们的同事不忍看着我们这么辛苦地写作，也热心提供支持和建议，特别感谢 Peter Grant 教授、Bernie Mulgrew 教授、Dave Laurenson 博士以及 Lajos Hanzo 教授。我们也特别感谢德国不来梅雅各布大学的蜂窝和无线通信研究组的本科生和研究生，他们帮助修改和完善了手稿。作者也感谢皇家工程学院给哈拉尔德·哈斯提供沃达丰奖学金，使得他能访问爱丁堡完成本书。

我们感谢爱丁堡大学的朋友和合作者，无论是以前还是现在的研究人员，他们对本书的完成作出了很大贡献：Tom Rouse 帮助完成第 6、7、8 章；Yeon Lee 帮助完成第 9 章；Stamatis Georgoulis 和 David Cruickshank 帮助完成第 10 章；John Thompson 和 Ali Dakdouki 帮助完成第 11 章；Gunther Auer，DoCoMo 欧洲实验室（慕尼黑）的项目经理，以及德国不来梅雅各布大学博士后研究人员 Peter Omiyi 帮助完成第 12 章。

最后谨以此书献给我们的家人，在追求我们研究目标的道路上过多地忽略了他们！

序 言

在过去的 20 年，移动通信系统已经从模拟话音发展到以分组数据为中心的 3G 系统，每个新的发展阶段都对空中接口提出了不同需求。

未来无线系统的双向通信主要受到以下因素的影响：数据业务的非对称特性、高数据率传输的覆盖问题以及 10GHz 以下有效频谱的限制（特别是成对频谱）。时分双工（TDD）模式能提供对未来具有非常高的峰值速率的分组数据业务最好的支持。若 TDD 模式中干扰相关的问题能得到很好的解决，则无论选择何种多址接入技术，TDD 都能大幅度提高系统性能。

本书覆盖了 TDD 系统中的所有特性，如从蜂窝 TDD-CDMA 到多跳中继以及 TDD-OFDM 系统等，并且讨论了该技术面向当前及未来的所有机会和挑战。本书首先介绍使用 TDD 和 CDMA 技术的无线通信系统的基础知识，接着循序渐进地介绍更多特定的课题，如干扰和容量分析、集中式和分布式动态信道管理算法。最后总结一些限制条件及未来方向等。本书也讨论了应用于 OFDM 系统的时分复用突发传输的新颖概念，并将其应用于干扰感知子信道分配和媒体接入。本书也描述了怎样用 TDD 技术克服常规蜂窝系统的物理层限制，从而保证运营商在任何可能的位置获取高数据速率。

本书对设计和实现无线系统的工程师、无线通信领域的研究生和研究人员是非常好的参考书籍。若需获取关于本书的更多信息，则可访问 www.cambridge.org/9780512826228。

目 录

第 1 章 本书内容介绍	1	第 3 章 干扰和容量分析	33
1.1 引言	1	3.1 引言	33
1.2 多用户接入	2	3.2 容量定义	33
1.3 蜂窝概念	4	3.2.1 理想功率控制下的 容量	34
1.4 信道操作模式	5	3.2.2 非理想功率控制下的 容量	35
1.5 本书目标	6	3.3 CDMA-TDD 系统中的邻信道 干扰	37
1.6 本书结构	7	3.3.1 邻信道干扰的性质	38
第 2 章 基于码分多址和时分双工 技术的无线通信系统	9	3.3.2 单干扰小区	40
2.1 引言	9	3.3.3 多干扰小区	51
2.2 无线通信系统中的多址接入 方法	10	3.4 CDMA-TDD 系统中的共信道 干扰	58
2.2.1 蜂窝 FDMA 系统	10	3.4.1 仿真平台	58
2.2.2 蜂窝 TDMA 系统	11	3.4.2 性能度量	58
2.2.3 蜂窝 SDMA 系统	11	3.4.3 结果	59
2.2.4 蜂窝 CDMA 系统	12	3.5 小结	61
2.3 TDD 内在属性	17	第 4 章 利用时隙反序思想的集 中式 DCA 算法	62
2.3.1 信道互异性	18	4.1 引言	62
2.3.2 Ad hoc 和多跳通信	19	4.2 单个小区中应用时隙反序 技术	62
2.3.3 忙音概念	20	4.2.1 系统模型	62
2.3.4 往返时延	21	4.2.2 一种简单的 DCA 算法	65
2.3.5 同步和信道非对称性	22	4.2.3 仿真环境	66
2.3.6 TDD 底层的概念	23	4.2.4 仿真结果	67
2.4 基于 TDD 的 UMTS 空中接口	27	4.3 多小区环境下的时隙反序 技术	68
2.5 无线资源分配技术	28		
2.5.1 固定信道分配技术	28		
2.5.2 动态信道分配技术	29		
2.5.3 随机信道分配技术	31		
2.6 小结	31		

4.3.1	系统模型	68
4.3.2	DCA 算法	73
4.3.3	仿真平台	75
4.3.4	结果	78
4.4	小结	89
第 5 章	利用时隙反序原理的分布式动态信道分配 (DCA) 算法	90
5.1	引言	90
5.2	问题表述	90
5.3	时隙分配方案	92
5.4	时隙反序算法	95
5.5	系统模型	96
5.5.1	上行链路	97
5.5.2	下行链路	98
5.5.3	容量和阻塞的定义	98
5.6	结果	100
5.7	小结	103
第 6 章	基于 UTRA-TDD 的机会驱动多址接入技术	104
6.1	引言	104
6.2	UTRA-TDD ODMA 背景介绍	106
6.2.1	特征	106
6.2.2	收集 ODMA 网络参数	107
6.2.3	ODMA 中的其他工作	110
6.3	路径损耗研究	111
6.3.1	仿真模型	111
6.3.2	干扰特性	112
6.3.3	相关阴影衰落	114
6.3.4	结果	115
6.4	容量覆盖分析	116
6.4.1	仿真模型	116
6.4.2	功率控制	117
6.4.3	容量限制	117
6.4.4	结果和讨论	120
6.5	小结	121

第 7 章	多跳 CDMA 网络中的路由策略	123
7.1	概述	123
7.2	多跳网络的架构	124
7.2.1	拓扑结构	124
7.2.2	CDMA 的影响	125
7.3	使用路径损耗和基于干扰为度量的路由	125
7.3.1	路径损耗路由	126
7.3.2	基于干扰的路由算法	127
7.4	基于干扰的准入控制	128
7.5	基于拥塞的路由	130
7.5.1	拥塞度量和路由	130
7.5.2	本地拥塞度量	130
7.5.3	集中式的拥塞度量	131
7.6	信令开销和延迟	131
7.7	结果	132
7.7.1	容量	133
7.7.2	功率	136
7.7.3	网络分配	138
7.8	小结	140
第 8 章	多跳环境下的动态信道分配	142
8.1	动态信道分配技术	142
8.2	路由和动态信道分配联合算法	142
8.2.1	同时路由和资源分配	142
8.2.2	时隙分配	143
8.2.3	CDMA 可行性条件	145
8.3	结果	147
8.4	小结	149
第 9 章	无线资源度量估计	151
9.1	应用于无线资源分配的度量估计	151
9.2	无线资源度量映射函数	153
9.2.1	无线资源映射函数建立的过程	153

9.2.2 误块率映射函数和用户 数据吞吐量.....155	10.10 复杂度.....193
9.3 TDD-CDMA 系统中多速率 传输.....156	10.11 其他技术.....194
9.3.1 WWW 业务模型.....156	10.12 仿真结果.....194
9.3.2 多速率传输模式.....156	
9.3.3 TDD-CDMA 系统模型和 多速率传输模式.....157	
9.3.4 无线资源度量函数 示例.....159	
9.4 无线资源度量区域.....168	
9.4.1 多媒体 CDMA 系统的 功率控制和 RRA.....168	
9.4.2 容量限和总速率.....169	
9.4.3 基于负载的可预测的 无线资源度量区域.....171	
9.4.4 多媒体业务仿真 模型.....173	
9.4.5 无线资源度量区域的 例子.....173	
9.5 小结.....176	
第 10 章 TDD 的干扰消除技术.....177	
10.1 引言.....177	
10.2 动因.....177	
10.3 线性预编码的性能分析.....178	
10.4 预编码技术分类.....180	
10.4.1 分块处理技术.....180	
10.4.2 逐位处理技术.....181	
10.5 功率调整因子.....182	
10.6 联合传输.....184	
10.7 发射机预编码.....185	
10.7.1 无约束优化.....185	
10.7.2 有约束优化.....187	
10.8 去相关预滤波器和联合最优 序列.....187	
10.8.1 去相关预滤波器.....188	
10.8.2 联合最优化序列.....189	
10.9 预 Rake 分集.....189	
	第 11 章 TDD-CDMA 系统的智能 天线.....197
	11.1 引言.....197
	11.1.1 课题综述.....197
	11.1.2 智能天线优缺点的 一般性看法.....197
	11.2 信道建模问题.....198
	11.2.1 大尺度传播特性.....198
	11.2.2 小尺度传播特性.....199
	11.2.3 天线阵列引导矢量.....200
	11.2.4 上行信道完备模型.....201
	11.3 信道容量问题——智能天线的 信息论基础.....201
	11.3.1 香农容量公式.....202
	11.3.2 信道容量随天线阵列 增加.....202
	11.3.3 多用户容量提升.....203
	11.4 上行链路处理算法.....204
	11.4.1 时域 Rake 接收机.....204
	11.4.2 空时处理.....205
	11.4.3 上行算法比较.....207
	11.5 下行链路处理算法.....210
	11.5.1 TDD 下行链路传输利用 上行信道信息.....211
	11.5.2 仿真结果和比较.....212
	11.6 未来 TDD 无线系统.....214
	11.6.1 OFDM 技术简介.....214
	11.6.2 将 OFDM 与空间复用 结构结合.....216
	11.6.3 容量比较.....218
	11.6.4 编码问题.....219
	11.7 讨论和小结.....219
	第 12 章 蜂窝 OFDMA-TDD.....221
	12.1 动因与难题.....221
	12.2 干扰分析.....222

12.2.1 功率控制.....222

12.2.2 固定发射功率.....226

12.3 忙音方法.....227

12.4 延迟—吞吐量性能.....231

12.4.1 吞吐量性能和丢包.....232

12.4.2 延迟性能.....232

12.4.3 蜂窝间干扰效应
建模.....234

12.5 数值结果.....236

12.6 应用于蜂窝 OFDMA/TDD 的
忙音措施.....239

12.6.1 现存 CCI 抑制技术.....239

12.6.2 基于忙音突发的
算法..... 240

12.6.3 基准——随机子信道
分配..... 243

12.6.4 系统模型..... 244

12.6.5 仿真结果..... 245

12.7 小结..... 248

附录 T 的求导：无约束优化..... 249

参考文献..... 250

缩略语..... 269

第 1 章

本书内容介绍

1.1 引言

在过去的 20 年中, 个人计算机已发展成为一种大众消费产品, 这与宽带接入的普及密不可分, 它们共同为用户提供了多种服务。互联网是一个巨大的信息源 (无论有效和无效), 它已演进成为虚拟商店、图书馆、聊天室和游玩场所等, 并产生各种新颖的互动方式。简单的电子邮件服务就很好地将物质流 (如信件、文件投递等) 转化为信息流。这些因素正在从根本上改变人们做事的方式。

数字革命的另外重要一步是移动性的需求, 即所谓“任何人”、“任何地点”、“任何时间”的需求。目前全球范围内数字移动电话已取得巨大成功。特别是在欧洲, 13 个国家同意采用单一数字蜂窝移动通信 (该谅解备忘录 (MoU) 于 1987 年 9 月 7 日在哥本哈根签署) 为这一成功奠定基础。全球移动通信系统 (GSM) 发展迅速, 到 2000 年用户就达到了 10 亿, 成为一个里程碑 (Eylert, 2000)。据预测, 到 2010 年全球范围内将有超过 17 亿的移动用户。此外, 我们已经看到了 WLAN (无线局域网)、WCDMA (宽带码分多址) 系统在全球范围内的广泛部署, 其中 WCDMA 已演进到 HSPA (高速分组接入, 于 2007 年商用), 其下行峰值速率已提高到 14Mbit/s。同时也出现了其他可提供高数据传输速率和广覆盖的系统, 如 WiMAX (全球微波接入互操作性) (Ghosh 等, 2005) 等。

人们普遍认识到, 未来的挑战是将互联网上流行的数据业务与无线通信结合起来满足“任何人”、“任何时间”及“任何地点”的远景 (Mohr, 1998)。事实上这一情形已经发生, 如移动运营商已在他们的网络上进行电视业务试验, 广播运营商提供通信和数据业务, 传统的固网运营商已进入无线接入领域。

一般认为, 进入无线数据应用领域的第一步是在欧洲进行标准化的通用移动通信系统 (UMTS)^① 以及对应的日本 WCDMA 系统。这些系统的目的是在车速环境下提供 144bit/s, 室外到室内环境下 384kbit/s 以及室内或微—微蜂窝环境 (低速移动) 下 2Mbit/s 数据速率 (Mohr, 1998)。这些业务将扩展到 HSDPA (高速下行分组接入, 2006 年初步部署) 和 HSUPA (高速上行分组接入) 以及 3GPP (第三代合作伙伴计划) LTE (长期演进), 最终将峰值数据速率提高至下行 100Mbit/s。这一步骤在继续, 众多学术界和产业界研究人员在讨论第四代移

① 有时也称为“通用移动通信业务” (Holma 和 Toskala, 2000)。

动通信系统的需求,有些已经出现在文献中(如 Mohr, 2002; Yamo 等, 2000)。当今的数字无线系统主要提供话音业务,其主要特性是需要一个对称的全双工信道,其提供即时消息而非真正的数据业务。无线电频谱现已成为昂贵的商品。在英国,每一个居民需为 $2 \times 15\text{MHz}$ 无线电频谱的 UMTS 业务支付总计为 154 美元的费用 (Siden-bladh, 2000)。为有效使用无线电频谱,同时满足未来无线通信系统的要求,高度的灵活性是必需的 (Luediger 和 Zeisberg, 2000)。因此专门针对特定业务需要的单一无线信道接入接口不能有效满足那些扩展要求。因而需要研究新的无线接口概念,例如欧盟项目 WINNER (Wireless World Initiative New Radio) 所从事的部分工作 (Acx 等, 2006; Klang, 2006)。

有两个基本方法可以区分所实现的双向通信:频分双工 (FDD) 和时分双工 (TDD)。TDD 技术主要用于无绳电话、非蜂窝系统以及短距离无线通信等。由于 TDD 独特的属性,如安排信道不对称方面的简便性等,它被认为是无线分组数据业务潜在的候选技术 (Povey 等, 1997)。1998 年 1 月 29 日,在巴黎确定将 TDD 与 TDMA (时分多址接入) 和 CDMA (码分多址接入) 结合作为 UMTS 多模空中接口的一部分。在 UMTS 的部署初始阶段很少有人注意到该系统,但它逐渐吸引了越来越多的注意,如移动宽带和移动电视业务等的需求等。

随着分组数据业务的不断增长,如网页浏览和流媒体等,空中接口的数据流量将很快超过语音流量。语音流量需要上行和下行负载对称,这显然不适合分组数据业务。一般情况下,后者需要信道不对称性以支持上行和下行流量的不均衡性,至少在瞬时基础上。UMTS (UTRA-FDD) 中的 HSDPA 只是部分解决了这个问题,因为该方法并不支持快速文件上传。因此,进一步的系统完善,如 HSUPA 技术目前正在考虑中。

除了灵活支持非对称业务外,只有 TDD 模式可灵活和有效地支持自组织 (Ad Hoc) 和多跳通信。这很重要,因为蜂窝和 Ad hoc 模式的混合运作能提供对未来高数据率和高度不平衡业务无线网络的最佳解决方案。这源于在数据高速传输的蜂窝系统中小区半径不断缩小从而需要大量的基站以避免覆盖的“死区”这样一个事实。这个问题在 UMTS 中已经存在,它会随着下一代无线系统速率的提高变得更加重要。

通过前面的分析,可以得出一个结论,下一代无线系统空中接口预计采用 TDD 模式。事实上,无线局域网系统已证明了分组数据传输的热点环境部署 TDD 的成功。但如果 TDD 模式是在蜂窝系统中使用,则需要解决 TDD 一些特定的问题。由于 TDD 在同一频段内传输,可能发生一些干扰,即终端到终端和基站对基站的干扰,其程度依赖于小区特定信道非对称及同步问题。这些额外的干扰源可能导致严重的性能损失。但一些研究表明,简单的动态信道分配 (DCA) 的算法 (Haas 等, 2000a, Haas 和 McLaughlin, 2001a, b) 可避免这些损失。事实已证明,在一些蜂窝系统中, TDD 容量甚至可以高于同等 FDD 系统。

1.2 多用户接入

本书所考虑的通信系统的基本机制是一个实体集 (即用户) 接入一个通用介质,即无线信道。这个概念如图 1.1 所示。分配给某一系统的频谱或带宽是有限的资源,图中用矩形框表示。一般来说,众多无线系统共存。为避免到 (或来自) 其他系统的干扰,一定程度的保护是必要的。这由图中黑色部分和阴影框架表示。这样做的目的是为在有限的无线资源环境中满足尽可能多的激活用户 (容量),该环境中每一个用户在单位时间和单位带宽内传输尽可

能多的比特数。图 1.1 中，4 个用户都认为需要等分无线资源总额（由一个圆圈表示），即每用户带宽相同。图中，圆圈的大小，即需要的无线资源容量是常数。但在实际系统中其大小可能随时会变化（图中可通过圆圈的呼吸效应体现出来）。比如话音业务在一个静默期，已不要求传输数据，从而圆圈规模将缩小成为空间的一个单点。理想的多用户接入技术支持时变无线容量，因为这意味着在任何时候只要给那些有实际需要的用户分配资源。因此可避免容量分配比实际需要多的情形。

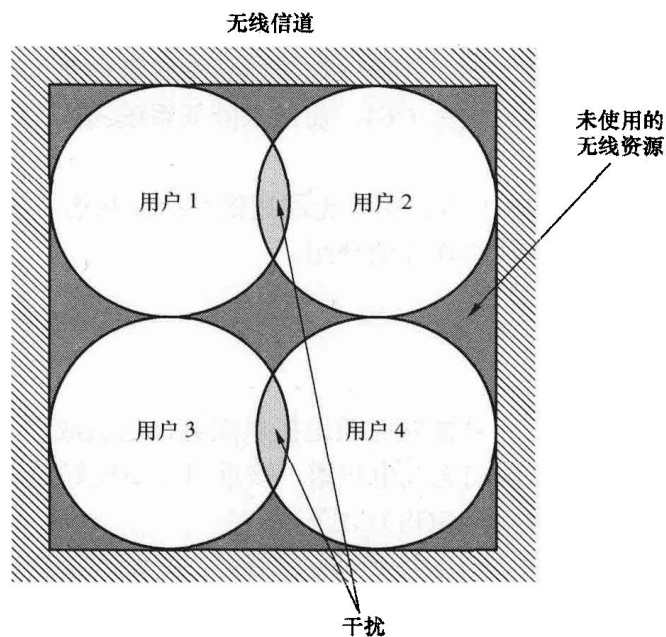


图 1.1 多用户接入原理

如果系统没有精心设计，用户或移动台（MSs）将互相干扰（即圆相交）。因此无论是通过信号处理算法消除干扰，还是（如果可能的话）每个用户得到一些额外的保护，在图中都相当于将移动用户分开。但这项措施导致产生“未使用”的无线资源，考虑到无线电频谱的巨大成本，该项措施效率不高。因此我们的目标是要尽可能地容纳用户（尽量减少圆圈未覆盖的区域），同时将干扰控制在一个可容忍的程度。

蜂窝系统的干扰可归纳为以下几种。

（1）多址干扰（MAI）是指在多点到点或点到多点拓扑结构中，在正交性不存在的情况下并发传输带来的干扰。

（2）邻道干扰（ACI）是指属于同一运营商或不同运营商的相邻频段或信道并发传输带来的干扰。

（3）符号间干扰（ISI）是指由于多径传播所导致前后相连传输的符号间干扰。

（4）信道间干扰（ICI）是指在空间分离多天线用于同时传输并行数据流的射频信道间同一链路的干扰。

（5）共道干扰（CCI）是指在空间分离的位置复用相同射频信道带来的干扰。

通常而言，不同域存在实现正交或准正交性的能力，从而允许多用户接入。实践中采用如下维度：

- (1) 频域⇒频分多址接入 (FDMA);
- (2) 时域⇒时分多址接入 (TDMA);
- (3) 空间域⇒空分多址接入 (SDMA);
- (4) 码域⇒码分多址接入 (CDMA)。

特定的多址接入技术导致上述不同干扰类别的不同干扰水平，这取决于诸多因素，如载波频率、传播信道、移动性和部署场景等。因此为给定场景设计最优多址接入方案显得很重要。

通信系统设计的另一个重要方面是频谱效率，通常用比特/秒/赫兹/平方米 (bit/second/Hz/m²) 来衡量。无论实际的多址接入技术如何，相同的无线频率资源都要尽可能多地重复使用，以提高频谱效率，但这又不可避免地增大 CCI，反过来降低系统的容量，因而在蜂窝系统中定义了一个经典的容量折中场景。

蜂窝概念由 Macdonald (1979) 首先引入无线通信系统，从而产生了控制 CCI 的系统方法。由于这一概念的重要性，下面将作详细介绍。

1.3 蜂窝概念

移动通信系统的关键目标之一是能随时随地提供服务，这造成了对该系统设计的巨大挑战。尤其是这个需求强制重用有限的无线电频谱，该重用需要较好地组织以使得 CCI 不会将系统性能降低到所保证的服务等级 (GOS) 之下。

在常规的无线系统中，移动实体连接到基站 (BS)。基站连接到无线网络控制器，它使用额外的接口接入公共交换电话网 (PSTN)。无线通信系统的原理结构如图 1.2 所示。在无线信道中，信号会随着距离的增长而衰减。由于发射功率有限，基站的覆盖范围有限。BS 覆盖的区域被称为一个小区。当建模蜂窝系统时，小区由六边形近似，因为它们的覆盖面不重叠 (镶嵌)，是对圆形的较好近似。

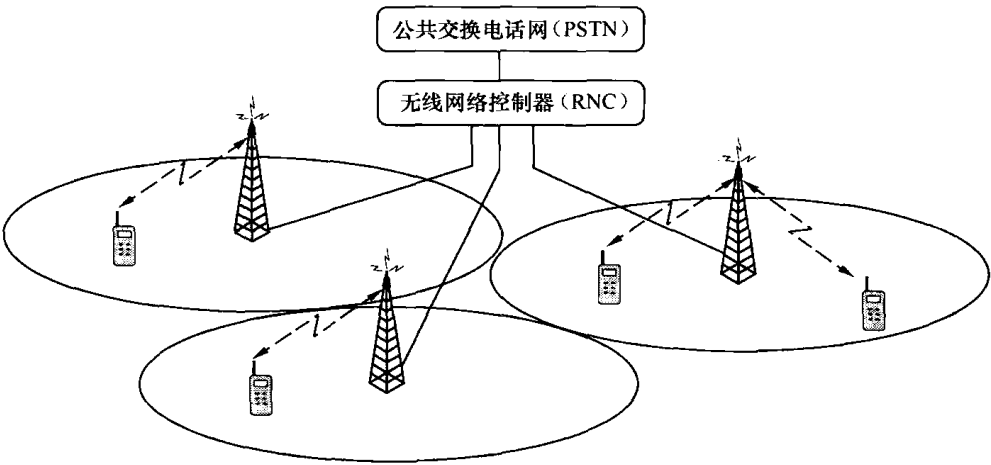


图 1.2 蜂窝无线系统

由于总的无线资源有限，空间维度用于更广泛的覆盖范围。这是通过将无线资源分成小组来实现的。这些小组被分配到不同的连续小区。这些小区根据需要经常重复，直至覆盖整

个区域。单一小区相当于一簇，因此分裂成 i 组无线资源对应于大小为 i 的小区簇。通过这种方式，确保相同的无线资源只在由最小距离分离的小区中使用。该机制如图 1.3 所示（不同无线资源单元组用不同的灰度表示）。若簇大小增加，则分离距离加长。因此增加簇大小有益于降低干扰。但增加的簇大小意味着同样的无线资源在一给定区域内会较少使用。结果只能服务较少用户。因此需在簇大小和容量之间进行权衡。蜂窝概念的一个问题是灵活性较小，例如，不能简单地直接添加新基站。由于这一系统非常僵化，因此往往根据最坏干扰情况来设计。在大多数情况下导致无线资源利用效率不高，特别是在没有连续传输的分组数据业务或传输间隔被其他用户使用的情况下。因此在理想情况下，总的可用无线资源可用于每一个小区，而干扰维持在可容忍水平。这里 CDMA 相对于其他多址接入模式有一个潜在的优势，即由于其内在的抵制干扰的能力，同样的载频可用于每一个小区（Viterbi, 1995a）。然而，研究证明干扰避免和干扰抵消技术与动态信道分配和调度结合也能使其他多址接入模式获得完全的频率复用。因此小区容量最终取决于诸多系统功能，如功率控制、切换、调度、链路自适应等。为获得高频谱效率，下一代蜂窝系统总体目标是避免固定的频率复用。

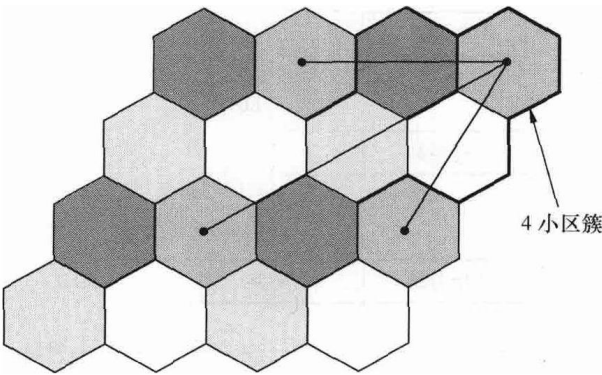


图 1.3 蜂窝概念

1.4 信道操作模式

通信信道有 3 种基本模式：单工、半双工和全双工。其基本机制如图 1.4 所示。在单工模式下，信息从一个实体传送到另一个实体，没有任何确认信息（单向通信）。显著的例子是电视和电台广播。

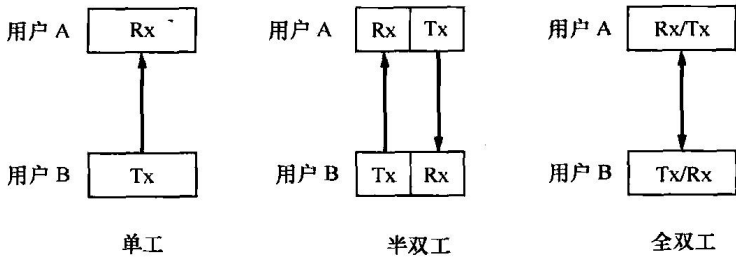


图 1.4 信道操作模式

半双工信道可以发送和接收信息，但不在同一时刻。这意味着在某一时刻一个实体发送