

WCDMA

无线通信技术及演化

彭林 朱小敏 朱凌霄 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

移动通信高新技术系列丛书

WCDMA 无线通信技术及演化

彭林
朱小敏
朱凌霄
编著

中国铁道出版社

2004 • 北京

M/S108/04



内 容 提 要

本书是一本全面介绍通用移动通信系统(UMTS)的专著。全面、系统、深入地介绍了CDMA技术的原理和特征,并且特别阐述了作为国际电联规定的第三代移动通信系统标准之一的WCDMA系统,内容包括WCDMA系统结构、空中接口、关键技术、网络规划和优化、WCDMA技术演化等。在介绍WCDMA的产生背景及其技术标准的同时深入阐述了其中的原理和技术特征,运用通俗的语言辅以大量的图表对其中的难点进行全面系统的说明。本书内容深入浅出,既有系统完整的理论描述,又有大量详细的技术分析,是一本有关WCDMA技术难得的权威参考书。

本书主要面向所有对移动无线系统感兴趣的人士。它提供了不同层次的资料,适合于管理者、科研人员、系统设计者以及大学毕业生阅读参考。也可以作为高等院校通信专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

WCDMA 无线通信技术及演化/彭林、朱小敏、朱凌霄编著. —北京:中国铁道出版社, 2003. 8

ISBN 7-113-05472-2

I. W… II. ①彭…②朱…③朱… III. 码分多址-宽带通信系统 IV. TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第075726号

书 名: WCDMA 无线通信技术及演化

作 者: 彭 林 朱小敏 朱凌霄

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑: 严晓舟 郭毅鹏 严 力

责任编辑: 苏 茜 刘文龙 张丽群

封面设计: 薛 为

印 刷: 北京兴顺印刷厂

开 本: 787×960 1/16 印张: 40.75 字数: 963 千

版 本: 2004年4月第1版 2004年4月第1次印刷

印 数: 1~5000册

书 号: ISBN 7-113-05472-2/TP·1027

定 价: 65.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

前言

21 世纪,人类社会全面迈入了信息时代,宽带化、移动化成为新世纪电信产业的重要特征。而移动通信的飞速发展,无疑是当今信息社会的一大亮点和热点,目前全球移动通信用户增长达到了每分钟 450 户的惊人速度,我国移动用户总数更是跃居世界首位。经济增长、社会发展和人们物质生活及精神生活水平的提高对通信提出了更新、更高的要求。移动通信系统由于综合利用了有线和无线的传输方式,解决了人们在活动中与固定终端或其他移动载体上的对象进行通信联系的问题,移动通信的发展将使人类步入一个新的“信息时代”。

蜂窝移动通信系统经过了模拟到数字、纯话音到话音和低速数据的发展历程,从覆盖某个城市、国家到覆盖全球的部分区域,也就是人们常说的第一代移动通信和第二代移动通信系统。这已经不能满足人们日益增长的对通信业务的需求,从 90 年代初期就开始了第三代移动通信系统的研究,采用更先进的技术、支持多种业务和全球的覆盖范围。

随着个人通信事业的发展和移动数据通信业务的普及,越来越多的数据业务将成为个人移动通信业务的主要组成部分,高速数据传输业务也将成为业务的重点。尽管 3G 系统能够在提供语音业务的同时提供一定的数字业务,如 WWW 页面浏览和 E-mail 等,相对于 2G 系统有了显著的改善,但是高速数字业务却成为了 3G 系统的性能瓶颈。在 3G 系统中,由于网络结构和无线链路结构特点的限制,无法提供真正意义上的高速数据业务,并且高速数据业务的存在还严重影响着系统的容量和稳定性。

随着市场对无线移动中的数字服务的需求和推动,人们提出了提供高速率数据业务的网络结构的设想,并将该系统称为后三代移动通信系统(Beyond 3G),更有些人将其称为第四代移动通信系统(4G)。4G 是动态的适应性系统,兼有内建智能化,它将更多地依赖于软件系统,而非硬件系统。集成化——特别是将接入网和其他核心网单元作为一个整体来看待,将是 4G 的另一个主要特征。

由于目前 GSM 系统拥有全球最多用户和最大的移动通信市场,作为 GSM 系统的第三代演进技术——WCDMA,由于采用了技术先进但系统实现简单的直接序列扩频标准,可以预见 WCDMA 在未来的全球通信市场上,尤其是中国这个世界最大的 GSM 移动通信市场上将占据主导地位。所以向国内读者全面解析 WCDMA 技术原理、标准规定、演化历程、系统实现、网络优化和实际应用等内容刻不容缓。

本书是专门介绍第三代移动通信系统中 WCDMA 无线传输技术的专著,它即包括了 GSM 如何向 WCDMA 演化,同时也阐述了 WCDMA 如何向未来移动通信系统(4G)的演

化历程。本书主要包括：第三代移动通信的发展历程、移动通信传播特征和 CDMA 基本原理、GSM 和 GPRS 技术原理、WCDMA 的产生背景及标准化、WCDMA 无线接入网络结构、物理层和无线接口协议、无线网络规划与无线资源管理、高速分组接入技术、QoS 机制和 WCDMA 技术演化等。本书可供从事电信工作，特别是从事移动通信工作的工程技术人员和管理人员阅读，也可作为高等院校相关专业或从事相关课题研究的本科生、研究生的参考资料。

参加本书编写和整理工作的还有彭木根、李霞、刘健、余艳、周燕、赵玉博、何佩樊、殷勇、顾春红、劲春菊、胡尚可、戴佐俊、孙雪菲、王国童、张莉、原毅、程娟、钟荣、韩秀丽、赵卉蓉、徐雷鸣、郑会颂、赵宏波、王良元、罗国庆，在此表示特别感谢。

由于时间以及我们的水平有限，文中难免有不统一、不确切的地方，欢迎读者批评指正，以便再版时更正。如果您在本书的阅读中遇到需要讨论的问题，请同我们联系，我们的 E-mail 地址是 cityantique@sina.com.cn。

编者

2003 年 10 月

移动通信高新技术系列

丛书审校委员会

主审：

- 宋俊德 （北京邮电大学教授、博士生导师，北京邮电大学学位委员会主席、原研究生院院长）
- 朱近康 （中国科学技术大学教授、博士生导师）
- 龚克 （清华大学教授、博士生导师，清华大学副校长）

委员：（排名不分先后）

- 王文博 （北京邮电大学教授、博士生导师，北京邮电大学电信工程学院院长）
- 王京 （清华大学教授、博士生导师，清华大学信息科学技术学院副院长）
- 张平 （北京邮电大学教授、博士生导师，北京邮电大学无线通信新技术实验室主任）
- 李承恕 （北京交通大学教授、博士生导师，北京邮电大学现代通信研究所名誉所长）
- 李少谦 （成都电子科技大学教授、博士生导师，成都电子科技大学通信与信息工程学院副院长）
- 刘元安 （北京邮电大学教授，博士生导师，北京邮电大学科技处处长）
- 杨大成 （北京邮电大学教授、博士生导师，无线通信中心主任）
- 范平志 （西南交通大学教授、博士生导师，西南交通大学计算机与通信工程学院院长）
- 周祖成 （清华大学教授，博士生导师）
- 李正茂 （博士，中国联合通信有限公司副总裁）
- 苏东林 （北京航空航天大学教授、博士生导师，北京航空航天大学电子信息工程学院副院长）
- 彭木根 （北京邮电大学移动通信专业博士）
- 宋美娜 （北京邮电大学博士）

丛书序

步入信息化社会，没有信息的传递和交流，人们就无法适应现代快节奏的生活和工作。人们期望能随时随地、及时可靠、不受时空限制地进行各种信息交流，以提高工作效率和生活质量。

移动通信可以说从无线电发明之日就产生了，但移动通信的真正发展是在蜂窝移动通信正式商用化的 20 世纪 70 年代以后的事情。目前，移动通信是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一，据专家估计到 2006 年全球移动用户数有望突破 20 亿。随着通信技术的不断发展，移动通信正朝着为用户提供语音、数据、多媒体业务为一体的第三代（3G）移动通信演进。向人们勾画了一幅实现人类在任何时间、任何地方、进行任何种类通信（语音、数据、图像）的多彩画卷。

第三代移动通信技术以 WCDMA 为代表，它将可以为用户提供高速数据传输、因特网访问、移动视频业务和多媒体服务，同时支持全球漫游特性。目前 3G 无线系统遇到的各种困难已经基本解决并且已经可以投入生产和运营，但与此同时，无线电委员会已经开始讨论下一代移动通信系统的设计。4G 的设计很有可能不仅仅以当前有线、无线通信系统的综合为重点，同时也要强调业务和用户的需求。基于这些因素的考虑，也就出现了技术和商业两方面的挑战，当然也有许多技术的解决方法可以帮助 4G 移动网络成为现实。

3G 和 4G 移动通信业务发展的 IP 化、分组化、多媒体化、个性化、生成简单化，在未来的业务生成中，将会形成新的业务链；从而形成运营业、制造业、信息服务业、消费者组成的新的产业链和价值链，带动运营业、制造业和信息服务业整体产业链的发展。为了促进和推动我国移动通信产业的发展，并不断满足社会各界和广大通信技术人员系统学习和掌握移动通信前沿技术的需要，紧跟国际移动通信技术和网络技术发展的步伐，积极迎接 WTO 入关带来的各种竞争和挑战，以信息化带动工业化，提高我国通信业整体水平和竞争力，中国铁道出版社特别邀请国际和国内从事移动通信技术研究、教学、工程、策划和管理等工作的权威人士推荐和编著了这套《移动通信高新技术系列丛书》，以飨读者。

该丛书主要介绍目前移动通信领域的关键技术和热点技术，如通用无线分组业务（GPRS）、第 3 代移动通信技术、未来移动通信技术发展、移动通信业务、全 IP 网络技术、移动通信网络规划和优化、天线技术和无线定位技术等内容。其特点是技术先进，内容权威，知识翔实，讲解清晰，深入浅出。本套丛书大部分直接来源于国外的经典著作，已被国际权威人士和广大读者认可。本套丛书旨在帮助读者迅速掌握最先进和最全面的移动通信技术，在实际的工作和科研中学以致用，不断创新，把书本中的知识和解决问题的方法应用到实际

工作或移动通信系统的开发中；产学研相结合、尽早推出更先进更可靠的中国自己的移动通信系统产品；推动运营企业与制造企业加强合作，相互支持，以达到共同发展，提高运营和制造业的整体水平竞争力的目的。使我国移动通信朝着稳妥、有序、健康的方向发展。

这套丛书的主要读者对象是从事移动通信系统深入研究与开发的电信工程师、工程管理人员，同时对在这个领域进行教学、研究、开发的教师、学生有很好的参考价值，可以作为高等学校相关专业本科生、研究生的教学参考书。

相信这套丛书的出版会为我国移动通信事业的发展贡献微薄之力，谢谢参与这套丛书审稿、翻译、编著和审定的各位专家，谢谢为这套丛书得以出版而付出大量心血的所有工作人员，在此我们表示衷心的感谢和诚挚的敬意。

宋俊德
于北京邮电大学
2004 年 1 月

目 录

第 1 章 移动通信概述.....	1
1-1 移动通信技术的回顾.....	3
1-1-1 第一代蜂窝移动通信系统	4
1-1-2 第二代蜂窝移动通信系统技术	6
1-1-3 第三代移动通信系统	8
1-1-4 后三代移动通信系统概述	17
1-2 3G 系统的演进.....	19
1-2-1 第三代移动通信的系统组成及演进策略.....	20
1-2-2 核心网从第二代向第三代过渡之路.....	24
1-2-3 GSM 蜂窝通信系统的演化.....	26
1-2-4 IS-95 标准及其演化	32
1-2-5 TD-SCDMA 是由第二代向第三代演进的首选技术.....	35
1-3 第三代移动通信技术规范.....	36
1-3-1 IMT-2000 特征.....	37
1-3-2 IMT-2000 业务特征.....	38
1-3-3 IMT-2000 技术要求.....	39
1-3-4 IMT-2000 频谱规划.....	40
1-4 3G 标准化和 WCDMA 技术.....	44
1-4-1 WCDMA 标准开发.....	45
1-4-2 3G 在各国的发展	48
1-4-3 3GPP 和 3GPP2 论坛.....	50
1-5 未来移动通信技术发展.....	54
1-5-1 QoS 要求	55
1-5-2 全球漫游问题	56
1-5-3 无缝网络	57
1-5-4 Ad hoc 网络.....	58
1-5-5 软件无线电	60
1-5-6 OFDM 技术.....	61
1-5-7 超宽带技术	62
小结.....	64



WCDMA 无线通信技术及演化

第 2 章 移动通信天线技术.....	65
2-1 天线基本特性	66
2-1-1 天线技术概述	66
2-1-2 天线技术特性	68
2-1-3 基站天线类型	77
2-1-4 天线分集技术	78
2-1-5 天线下倾技术	84
2-1-6 天线调整在移动通信系统中的应用	88
2-2 智能天线技术	91
2-2-1 智能天线研究内容及其现状	92
2-2-2 智能天线在移动通信中的应用	96
2-2-3 智能天线的分类	97
2-2-4 天线阵列	101
2-2-5 智能天线算法	104
2-2-6 智能天线在 3G 系统基站中的应用	108
2-3 MIMO 技术	111
2-3-1 MIMO 简介	111
2-3-2 MIMO 建模	113
2-3-3 MIMO 未来研究	113
小结	114
第 3 章 移动无线传播	115
3-1 移动通信信号的传播环境	116
3-1-1 自由空间传播损耗	116
3-1-2 功率（链路）预算	117
3-1-3 平坦地面上的电波传播特性	118
3-1-4 几何绕射理论和 UTD 法	119
3-1-5 陆地移动通信中的三种传播机制	122
3-2 移动通信路径损耗传播模型	128
3-2-1 小尺度衰落模型	129
3-2-2 多谱勒频移	130
3-2-3 Rayleigh 信道的基本机制	130
3-2-4 Jakes 模型	135
3-2-5 Clarke 模型	138

目 录

3-2-6	SUZUKI 模型.....	141
3-2-7	小尺度衰落的类型	142
3-3	大尺度路径损耗传播模型.....	146
3-3-1	Okumura-Hata 模式	146
3-3-2	COST 231-Hata 模式	148
3-3-3	COST 231-Walfisch-Ikegami 模式	148
3-3-4	微小区传播模式	152
3-3-5	室内传播模式	153
3-3-6	建筑物内、靠近建筑物和进入建筑物的传播.....	155
小结		157
第 4 章	GSM 系统和 GPRS 技术	159
4-1	GSM 数字移动通信系统组成原理	160
4-1-1	移动台	162
4-1-2	基站子系统 (BSS)	163
4-1-3	网络交换子系统 (NSS)	165
4-1-4	操作子系统 (OSS)	168
4-2	GSM 接口与协议	168
4-2-1	GSM 接口	168
4-2-2	GSM 接口协议.....	171
4-3	GSM 无线接口技术.....	175
4-3-1	频率配置	175
4-3-2	无线接口信道定义	176
4-3-3	帧结构	178
4-3-4	信道配置结构	179
4-3-5	无线接口技术	181
4-4	GSM 系统管理	190
4-4-1	安全管理	191
4-4-2	位置管理	195
4-4-3	切换管理	196
4-5	GPRS 技术	198
4-5-1	GPRS 的一般功能和特点	199
4-5-2	GPRS 网络结构	200
4-5-3	GPRS 协议栈	201



WCDMA 无线通信技术及演化

4-5-4 数据包结构	203
4-5-5 逻辑信道	204
4-5-6 分组传输协议	205
4-5-7 GPRS 技术应用	206
小结	208
第 5 章 CDMA 基本技术原理	209
5-1 多址方案	210
5-1-1 FDMA	211
5-1-2 TDMA	213
5-1-3 扩频多址	216
5-2 CDMA 技术容量分析	217
5-2-1 直扩 CDMA 原理	218
5-2-2 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统的容量	220
5-2-3 CDMA 系统的容量	221
5-3 3G 无线发射机功能	223
5-3-1 语音编码	224
5-3-2 信道编码	227
5-3-3 交织器	239
5-3-4 调制	240
5-3-5 扩频	245
5-4 3G 无线接收技术	253
5-4-1 接收机结构	254
5-4-2 硬和软判决	254
5-5 CDMA 多径分集技术	256
5-5-1 Rake 接收机概述	257
5-5-2 Rake 接收机原理	259
5-5-3 双天线分集接收 Rake 接收机	263
5-5-4 多用户检测技术概述	264
5-5-5 多用户检测技术分类	268
小结	275
第 6 章 WCDMA 物理层关键技术	277
6-1 WCDMA 无线网络结构	279

目 录

6-1-1	无线接口协议栈概述	281
6-1-2	WCDMA 资源管理结构	283
6-1-3	WCDMA 服务和业务结构	284
6-1-4	物理层概述	285
6-2	传输信道	288
6-2-1	专用传输信道	289
6-2-2	公共传输信道	289
6-2-3	传输信道到物理信道的映射	291
6-2-4	传输信道的帧结构	292
6-3	物理信道	293
6-3-1	上行链路物理信道	293
6-3-2	下行链路物理信道	296
6-3-3	分组模式数据	300
6-4	物理层处理过程	301
6-4-1	同步过程	301
6-4-2	功率控制	302
6-4-3	随机接入过程	305
6-4-4	物理层测量	306
6-5	扩频和调制	307
6-5-1	扰码	307
6-5-2	信道编码	309
6-5-3	上行扩频和调制	310
6-5-4	下行扩频和调制	315
6-5-5	发射机的特征	318
6-6	用户数据传送	319
6-6-1	上行专用信道	319
6-6-2	上行复用	321
6-6-3	随机接入信道的用户数据传输	324
6-6-4	上行公共分组信道	324
6-6-5	下行专用信道	324
6-6-6	下行复用	326
6-6-7	下行共享信道	328
6-6-8	前向接入信道传送用户数据	329
6-6-9	用户数据的信道编码	329



WCDMA 无线通信技术及演化

6-6-10	TFCI 信息的编码.....	330
6-7	信令	330
6-7-1	公共导频信道 (CPICH)	331
6-7-2	同步信道 (SCH)	331
6-7-3	主公共控制物理信道 (主 CCPCH)	332
6-7-4	辅助公共控制物理信道 (辅助 CCPCH)	333
6-7-5	用于信令传输的随机接入信道	334
6-7-6	捕获指示信道 (AICH)	335
6-7-7	寻呼指示信道 (PICH)	335
6-7-8	用于 CPCH 接入过程的物理信道	336
	小结.....	336
第 7 章	WCDMA 无线接口协议	339
7-1	无线接入网构成	340
7-2	MAC 层协议	342
7-2-1	概述	343
7-2-2	MAC 层内部结构	347
7-2-3	MAC 层功能	349
7-2-4	MAC 层各种内部头	351
7-2-5	MAC 过程	353
7-2-6	MAC 层数据格式	354
7-2-7	MAC 层协议	355
7-3	无线链路控制协议.....	365
7-3-1	RLC 功能	365
7-3-2	RLC 协议描述	367
7-4	分组数据会聚协议 (PDCP)	370
7-4-1	概述	370
7-4-2	报头压缩	371
7-5	广播/组播 (BMC) 协议.....	371
7-6	无线资源控制协议.....	372
7-6-1	RRC 功能	372
7-6-2	RRC 连接的管理	373
7-6-3	切 换	374
7-7	接入和核心网的协议栈.....	376

目 录

7-7-1 参考点 Uu 和 Iub 处的协议	376
7-7-2 Iu 参考点处的协议栈	377
7-7-3 RANAP	380
7-8 呼叫控制	382
小结	384
第 8 章 WCDMA 网络规划和设计	385
8-1 规划技术概述	386
8-1-1 无线网络规划内容	387
8-1-2 覆盖规划	388
8-1-3 容量规划	396
8-1-4 无线信道规划	398
8-1-5 频率规划	401
8-1-6 位置区大小	402
8-2 WCDMA 小区规划	402
8-2-1 无线链路预算	403
8-2-2 负载因子	408
8-2-3 负载因子计算举例	412
8-2-4 容量升级	415
8-2-5 每平方千米的容量	415
8-2-6 软容量	416
8-2-7 网络共享	418
8-3 系统性能理论分析	419
8-3-1 话务量	419
8-3-2 阻塞公式	420
8-3-3 话务模型	423
8-4 容量和覆盖规划及优化	426
8-4-1 容量和覆盖的混合设计	427
8-4-2 网络优化	428
8-5 干扰分析和系统优化	429
8-5-1 GSM 互存分析	429
8-5-2 运营商间干扰	431
8-5-3 上行链路对下行链路的影响	431
8-5-4 本地下行链路干扰	432



WCDMA 无线通信技术及演化

8-5-5	平均下行链路干扰	433
8-5-6	路径损耗测量	434
8-5-7	避免邻信道干扰的方法	434
8-5-8	WCDMA 和 TDD CDMA 的干扰	435
小结		437
第 9 章	WCDMA 无线资源管理	439
9-1	WCDMA 功率控制技术	441
9-1-1	WCDMA 系统的功率限制	441
9-1-2	开环功率控制	442
9-1-3	闭环功率控制	443
9-1-4	外环功率控制	448
9-2	WCDMA 切换技术	452
9-2-1	切换技术的测量	452
9-2-2	切换原因分析	455
9-2-3	切换决定	456
9-2-4	目标小区的评估	456
9-2-5	切换分类	458
9-2-6	切换的几种基本算法	459
9-2-7	切换过程的性能研究	460
9-2-8	WCDMA 软切换技术	461
9-3	负载控制技术	465
9-3-1	上行链路负载	465
9-3-2	下行链路负载	467
9-3-3	接入控制	468
9-3-4	负载控制	470
9-4	信道资源分配技术	471
9-4-1	信道资源分配技术概述	471
9-4-2	动态信道分配算法实现	474
9-4-3	混合业务的信道分配	476
小结		479
第 10 章	WCDMA 高速数据传输技术	481
10-1	HSDPA 技术概述	483

目 录

10-1-1	HSDPA 协议结构.....	484
10-1-2	HSDPA 信道结构.....	490
10-1-3	自适应调制和编码技术(AMC).....	491
10-1-4	混合的 ARQ(HARQ).....	493
10-1-5	快速蜂窝选择(FCS).....	493
10-1-6	多输入多输出天线处理(MIMO)	494
10-2	混合自动重传请求技术.....	495
10-2-1	差错控制方法	495
10-2-2	HARQ 技术.....	497
10-2-3	HARQ 机制.....	499
10-2-4	增加冗余传输机制	503
10-2-5	N 信道停止等待 HARQ	508
10-3	AMC 技术	510
10-4	MIMO 技术	512
10-5	分组调度算法	513
10-5-1	有线网络中分组调度算法	514
10-5-2	无线网络特性	517
10-5-3	无线网络中常见的分组调度算法	518
10-6	QoS 机制和算法公平性	521
10-6-1	WCDMA 业务分类.....	523
10-6-2	WCDMA 业务属性.....	525
小结		527
第 11 章	3G 技术演化和 OFDM 技术认识	529
11-1	未来移动通信技术的演化.....	531
11-1-1	未来移动通信系统	532
11-1-2	未来移动通信系统的标准化研究.....	536
11-1-3	未来移动通信技术的应用.....	537
11-1-4	OFDM 技术.....	539
11-2	正交频分复用技术概述.....	541
11-2-1	OFDM 技术历史发展	542
11-2-2	OFDM 技术特点	544
11-2-3	OFDM 系统的主要技术	546
11-2-4	OFDM 技术在 IEEE 802.11a 中的应用	550