

► 21世纪通信网络技术丛书



3GPP LTE 无线通信新技术系列

宽带无线通信 多址传输技术演进

李明齐 芮 贇 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪通信网络技术丛书
——3GPP LTE 无线通信新技术系列

宽带无线通信多址传输技术演进

李明齐 芮 贇 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以 3GPP、3GPP2 和 IEEE 802 系列三个标准化方向为背景,全面、深入地介绍了从第三代移动通信出现以来已有和正在标准化的宽带无线通信系统演进过程中提出的多址技术,以及与多址技术配套的物理层特有传输技术。全书共分为 7 章,主要介绍了宽带无线移动通信系统演进过程和标准化情况,以及国内外各公司和研究机构所提的多址传输技术;WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 等第三代移动通信系统多址传输技术;HSPA/HSPA+, cdma2000 1x EV-DO Rev.A/B 等第三代移动通信短中期演进系统多址传输技术;3GPP 长期演进(LTE)系统和 3GPP2 超移动宽带(UMB)的多址传输技术;超宽带(UWB)、移动 WiMAX、移动宽带无线接入(MBWA)和认知无线电等 IEEE 802 系列通信系统的多址传输技术;3GPP LTE+及 IEEE 802.16m 等 IMT-Advanced 标准化提出的多址传输技术;宽带无线通信发展过程中出现的其他多址传输技术。

本书对宽带无线通信系统演进过程中涌现出的多址传输技术的发展和解决方案进行了深入浅出的阐述,内容翔实、新颖,适合目前或者即将从事无线通信研究和开发的科技工作者,以及与通信工程相关专业领域的高年级本科生、研究生和教师阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宽带无线通信多址传输技术演进/李明齐,芮贇编著. —北京:电子工业出版社,2010.6

(21 世纪通信网络技术丛书.3GPP LTE 无线通信新技术系列)

ISBN 978-7-121-10995-9

I. ①宽… II. ①李…②芮… III. ①宽带通信系统—无线电通信—码分多址—通信技术 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 100219 号

策划编辑:王春宁

责任编辑:张来盛

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:20.75 字数:531 千字

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

出版说明

通信网络技术是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。通信技术发展到今天，已经不是传统意义上的充满神秘色彩的深奥技术，它已经与日常的应用密不可分。可以说，网络的出现，使通信技术有了广阔的用武之地。正是由于有了固定电话网、移动通信网和 Internet，使通信技术的应用在这些平台上有了用武之地，渗透到了我们日常生活的方方面面。

为了促进和推动我国通信产业的发展，电子工业出版社通信分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的层面，又细分为三个系列：<移动通信前沿技术系列>、<3GPP LTE 无线通信新技术系列>和<网络通信与工程应用系列>。

<移动通信前沿技术系列>是从移动通信技术（3G 技术）的应用现状与发展情况出发，全面介绍当今移动通信领域涉及的关键技术与热点技术，例如：软件无线电；移动 IP 技术；移动数据通信；WCDMA；TD-SCDMA；cdma2000 移动通信系统网络规划与优化；智能天线技术；认知无线电技术；WiMAX，WiFi，ZigBee 宽带无线接入技术；UWB 技术；UMTS 技术；Ad Hoc 技术等。

<3GPP LTE 无线通信新技术系列>是以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源的有效管理和利用，以及在 B3G/4G 无线通信领域的应用为主。LTE 作为 3G 技术的一个重要的长期演进计划，代表了国际无线通信领域的最新发展需求和解决方案，例如：基于 OFDM 的上、下行（HSxPA）的多址接入技术、随机接入技术、多天线 MIMO 技术、多链路自适应技术、多播技术、功率控制技术、宽带无线网络的安全性、可移动性、可管理性；高效信源与信道编码和调制（MQAM）技术等。

<网络通信与工程应用系列>是以技术为先导，以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的对现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化，以及结合工程应用的方向所提出来的。例如：无线网状网、WLAN、无线传感器网络、B3G/4G 通信网工程设计与优化、卫星移动通信网、三网融合技术、网络新安全技术策略、RFID 应用网络、下一代基于 SIP 的统一通信、光网络与光通信等。

本套丛书依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授；各研究院所的研究员；国内有一定规模和研发实力的科技公司的研发人员，以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍，力求实现内容的先进性、实用性和系统性；力求内容组织循序渐进、深入浅出、理论阐述概念清晰、层次分明、经典实例源于实践；力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员；各高等院校的专业教师和研究生；刚走上工作岗位的大学毕业生；以及与此相关的其他学科的技术人员阅读和参考。

本套丛书从 2008 年上半年开始将陆续推出，希望广大读者能关注它，多对本套丛书提出宝贵意见与建议，欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正，以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

前言

2009 年新年伊始,工业和信息化部分别向中国移动、中国联通和中国电信三家运营商发放了 TD-SCDMA、WCDMA 和 cdma2000 第三代移动通信系统(3G)运营牌照,标志着中国移动通信产业迈入了 3G 时代,2009 年也成为中国的 3G 元年。时间回溯到 20 世纪 90 年代中期,国际电信联盟(ITU)启动 IMT-2000 标准化工作,提出的目标是工作在 2 GHz 频段,最高业务速率可达 2 Mbps,预期在 2000 年商用第三代移动通信系统(现已实现商用)。2000 年 IMT-2000 的无线接口技术规范的颁布,开启了无线移动通信的宽带时代。

自第三代移动通信标准化出台以来,宽带无线移动通信呈现飞速发展的势态。在移动通信领域,3GPP 提出从宽带码分多址(WCDMA)到高速分组接入(HSPA)再到 HSPA+的中期演进以及长期演进(LTE)路线。3GPP2 提出从 cdma2000 到单载频数据演进 A 版本(1x EV-DO Rev A)的短期演进以及从 1x EV-DO Rev B 到 1x EV-DO Rev C,也称为超移动宽带(UMB)的长期空中接口演进(AIE)。在无线接入领域,IEEE 委员会于 2004 年年末制定了固定 WiMAX(IEEE 802.16d)标准,并于 2006 年年初颁布了移动 WiMAX(IEEE 802.16e)标准。针对 2008 年 2 月 ITU 启动 IMT-Advanced 标准化工作,三大国际标准化组织基于已有的技术基础,又各自提出了 IMT-Advanced 演进路线图。3GPP 提出从 LTE 到 LTE+的演进方案,IEEE 委员会则提出从 802.16e 到 802.16m 的演进路线,而 3GPP2 刚开始时也提出从 UMB 到 UMB+的演进路线,但由于其主要倡导者高通公司的退出,最终导致该演进路线终止。从各无线通信系统的演进路线可见,尽管 3GPP 和 3GPP2 沿着移动宽带化的方向发展,而 IEEE 802.16 系列标准沿着宽带移动化的方向发展,但两条演进路线最终是殊途同归。

纵观宽带无线通信技术的演进,空中接口的革新是演进的基础,而多址传输技术是空中接口的核心。如为提高系统容量和频谱效率,3G 系统摒弃了 2G 系统的 TDMA 技术而采用 CDMA 技术;而为了进一步提高系统的吞吐量和频谱效率,3GPP-LTE、3GPP2 UMB 和 IEEE 802.16e 均不约而同地采用基于 OFDM 的 FDMA 技术和多天线技术;对于正在标准化的 IMT-Advanced 系统,为更进一步改善系统频谱效率,尤其是小区边缘的频谱效率,则普遍采用中继技术和协作传输技术,而为了实现高达 1 Gbps 的吞吐量,则采用了阶数更高的多天线技术和载波聚合技术。由空中接口技术的演进可见,多址技术和相应的传输技术,尤其是物理层传输技术,是相辅相成的关系。事实上,多址技术解决的是无线资源的分配和共享问题,传输技术是用于支持该无线资源分配和共享方式的通信信号处理手段。多址技术为传输技术提供了应用平台,而传输技术的应用又体现多址技术的特性,两者相互合理搭配才能充分展示空中接口的性能优势。

本书围绕 3GPP、3GPP2 和 IEEE 802 系列等宽带无线通信系统在演进和标准化过程中采用和提出的多址技术,以及相应的特有物理层传输技术展开深入的阐述和研究。本书第 1 章简要介绍了宽带无线移动通信系统演进过程和标准化情况,以及国内外各公司和研究机构所提出的多址传输技术;第 2 章介绍了第三代移动通信系统多址传输技术,包括 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 多址技术和相应的调制扩频、帧结构、功率控制、多用户联合检测

和切换等特有的传输技术；第3章叙述了第三代移动通信短中期演进系统多址传输技术，包括数据调制与链路自适应技术、多媒体广播多播服务（MBMS）传输技术、HSPA-MIMO 技术等；第4章详细介绍了第三代移动通信长期演进系统多址传输技术，主要是3GPP-LTE 和3GPP2 UMB 的多址传输方案，以及标准化过程中提出的其他备选多址传输技术；第5章主要介绍了IEEE 802 系列通信系统多址传输技术，涉及超宽带（UWB）、移动WiMAX、移动宽带无线接入（MBWA）和认知无线电等标准技术；第6章对IMT-Advanced 系统多址传输技术进行详细阐述，主要有3GPP-LTE+及IEEE 802.16m 标准化提出的多址传输方案及频谱聚合和协作多点传输等特有技术；第7章对在宽带无线通信发展过程中出现的其他多址传输技术进行详细介绍。

综观全书，本书具有如下特色。

全面性：本书围绕目前国际上宽带无线通信系统三大主流标准化方向，系统分析了各演进系统所采用的多址传输技术，基本上涵盖了宽带无线通信系统采用的主流技术。

新颖性：本书不仅介绍了已经完成标准化的第三代移动通信中、长期演进系统的多址传输技术，而且详细阐述了正在标准化过程中的IMT-Advanced 系统的多址传输技术。

实用性：本书将多址技术和相应的传输技术进行联合阐述，不仅反映了当前宽带无线通信领域最新研究成果，而且凝聚了作者们长期参与LTE/LTE+标准化以及多址传输技术设计的成果，可为多址传输技术的设计和分析提供借鉴。

本书编写过程中得到了中国科学院上海微系统与信息技术研究所宽带无线移动通信研究室和上海瀚讯无线技术有限公司等的帮助，在此表示感谢。

除本书作者之外，黄飞和杨程博士后，以及罗银辉、杨曾和夏俊等研究生也参与了部分章节的资料收集和整理工作，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，加之宽带无线移动通信仍处于不断演进和发展之中，且部分内容在标准化过程中还未有定论，而本书所涉及的技术标准又较多，书中难免有不妥和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

作者简介

李明齐，男，1971年生，2004年毕业于上海交通大学电子工程系通信与信息系统专业，获博士学位，2004年10月至2007年8月于中科院上海微系统与信息技术研究所/上海无线通信研究中心项目经理、副研究员（2006年1月起），硕士生导师（2007年9月起）；2007年9月至2008年8月于中科院上海微系统与信息技术研究所/上海瀚讯无线通信有限公司系统部经理；2008年9月至今中科院上海微系统与信息技术研究所宽带无线移动通信研究室副研究员。自2005年开始参与3GPP LTE标准化和信标委立项的宽带无线多媒体（BWM）标准化工作，撰写、提交和宣读3GPP LTE提案20余篇，BWM提案20余篇。参加了FuTURE论坛和中日韩（CJK）-B3G工作组白皮书撰写，并获FuTURE论坛2006年度优秀个人荣誉。作为原创者之一，提出了一种基于滤波器组实现的单载波多址传输方案（DFT-S-GMC），该方案曾参与3GPP LTE标准化，为BWM标准的核心技术，并申请国内、国际专利。负责完成基于DFT-S-GMC技术的宽带无线通信系统物理层和MAC层配套算法及方案设计、链路级与系统级性能仿真评估、原型和SoC验证系统开发和外场测试。近年来，负责和参与了国家“863”项目、重大专项、上海市科委重大科技攻关项目、国际合作等课题10余项，为“十一五”重大专项“IMT-Advanced多址技术研发”课题负责人，申请/授权发明专利30余项（PCT专利2项），在国、内外期刊和会议发表论文30余篇（EI/SCI/ISTP收录20余篇），被引用50余次。

目 录

第 1 章 综述	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 宽带移动通信系统演进	(2)
1.2.1 3GPP 演进系统	(3)
1.2.2 3GPP2 演进系统	(5)
1.2.3 WiMAX 演进系统	(7)
1.3 IEEE 802 系列标准介绍	(9)
1.3.1 IEEE 802.15 无线个域网标准	(9)
1.3.2 IEEE 802.20 移动宽带无线接入	(11)
1.3.3 IEEE 802.22 感知无线电	(12)
1.4 宽带无线移动通信多址传输技术	(13)
1.4.1 第三代移动通信系统多址传输技术	(13)
1.4.2 第三代移动通信短中期演进系统多址传输技术	(14)
1.4.3 第三代移动通信长期演进系统多址传输技术	(15)
1.4.4 WiMAX 系统多址传输技术	(15)
1.4.5 IEEE 802 系列系统多址传输技术	(16)
1.4.6 IMT-Advanced 系统多址传输技术	(17)
1.5 本书的主要内容	(18)
第 2 章 第三代移动通信系统多址传输技术	(19)
2.1 IMT-2000 简介	(19)
2.1.1 第三代移动通信系统的技术需求	(19)
2.1.2 IMT-2000 标准简介	(20)
2.1.3 第三代移动通信系统关键技术	(21)
2.2 cdma2000 系统	(23)
2.2.1 cdma2000 系统概述	(23)
2.2.2 cdma2000 物理信道结构	(24)
2.2.3 物理信道的扩频调制	(26)
2.2.4 扩频码	(29)
2.2.5 WCDMA 系统	(34)
2.2.6 TD-SCDMA 系统	(50)
2.2.7 cdma2000、WCDMA 和 TD-SCDMA 技术比较	(63)
参考文献	(66)

第 3 章 第三代移动通信短中期演进系统多址传输技术	(68)
3.1 cdma2000 短中期演进系统	(68)
3.1.1 cdma2000 短中期演进系统概述	(68)
3.1.2 cdma2000 1x EV-DO Rev.0 和 Rev.A	(69)
3.1.3 cdma2000 1x EV-DO Rev.B	(77)
3.2 WCDMA 短中期演进系统	(79)
3.2.1 WCDMA 短中期演进系统概述	(79)
3.2.2 WCDMA HSPA 多址传输技术	(80)
3.2.3 WCDMA HSPA+多址传输技术	(92)
3.3 TD-SCDMA 短中期演进系统	(95)
3.3.1 TD-SCDMA 短中期演进系统概述	(95)
3.3.2 TD-SCDMA HSPA 多址传输技术	(96)
3.3.3 TD-SCDMA HSPA+多址传输技术	(105)
3.4 第三代移动通信增强系统比较	(109)
3.4.1 TD-HSPA、WCDMA-HSPA 与 cdma2000 1x EV-DO Rev.A 的比较	(109)
3.4.2 TD-HSPA+、WCDMA-HSPA+与 CDMA2000 1x EV-DO Rev.B 的比较	(110)
参考文献	(111)
第 4 章 第三代移动通信长期演进系统多址传输技术	(113)
4.1 3GPP 长期演进系统	(114)
4.1.1 3GPP 长期演进系统概述	(114)
4.1.2 3GPP LTE 空中接口概述	(119)
4.1.3 3GPP LTE 多址传输技术	(126)
4.1.4 3GPP LTE 标准化备选多址方案	(148)
4.2 3GPP2 演进系统	(170)
4.2.1 UMB 系统概述	(170)
4.2.2 UMB 空中接口概述	(173)
4.2.3 UMB 多址传输技术	(177)
4.3 3GPP LTE 与 3GPP2 UMB 系统比较	(189)
参考文献	(190)
第 5 章 IEEE 802 系列通信系统多址传输技术	(194)
5.1 IEEE 802.15.3 UWB 系统	(194)
5.1.1 UWB 系统概述	(194)
5.1.2 TH-UWB 多址传输技术	(195)
5.1.3 DS-UWB 传输技术	(195)
5.1.4 DS-UWB 和 TH-UWB 的接收技术	(198)
5.1.5 MB-OFDM 多址传输技术	(199)
5.1.6 MB-OFDM-UWB 和 DS-UWB 技术比较	(201)
5.2 IEEE 802.16e 移动 WiMAX 系统	(202)

5.2.1	IEEE 802.16e 系统概述	(202)
5.2.2	IEEE 802.16 物理层基本特性	(202)
5.2.3	IEEE 802.16e 多址传输技术	(204)
5.3	IEEE 802.20 MBWA 系统	(211)
5.3.1	IEEE 802.20 系统概述	(211)
5.3.2	802.20 多址传输技术	(214)
5.4	IEEE 802.22 认知无线电系统	(222)
5.4.1	IEEE 802.22 系统概述	(222)
5.4.2	IEEE 802.22 多址传输技术	(226)
5.4.3	802.22 标准化中其他候选多址方案	(231)
5.4.4	频谱管理	(233)
5.4.5	IEEE 802.22 与 IEEE 802.16e 特性比较	(234)
	参考文献	(235)
第 6 章	IMT-Advanced 系统多址传输技术	(237)
6.1	IMT-A 标准化过程	(237)
6.1.1	IMT-A 标准化进程概述	(237)
6.1.2	IMT-A 最小技术需求	(238)
6.1.3	IMT-A 评估要求和测试方法	(239)
6.2	3GPP LTE Advanced 系统	(240)
6.2.1	LTE Advanced 标准化进展	(241)
6.2.2	LTE-A 多址传输技术	(250)
6.2.3	LTE-A 标准化相关多址方案	(257)
6.2.4	带宽扩展技术	(265)
6.3	WiMAX 系统	(269)
6.3.1	标准化进展	(269)
6.3.2	IEEE 802.16m 多址传输技术方案	(272)
6.4	3GPP LTE-A 与 802.16m 的比较	(285)
6.4.1	LTE-A 与 802.16m 总体特性比较	(285)
6.4.2	LTE-A 与 802.16m 多址传输方案比较	(286)
	参考文献	(289)
第 7 章	其他多址传输技术	(292)
7.1	VSF-OFCDM/VSCRF-CDMA 传输技术	(292)
7.1.1	VSF-OFCDM 多址传输技术	(292)
7.1.2	VSCRF-CDMA 传输技术	(296)
7.2	GMC-xDMA 传输技术	(297)
7.2.1	GMC-xDMA 技术特征	(298)
7.2.2	GMC-xDMA 传输原理	(299)
7.2.3	GMC-xDMA 性能	(303)

7.3 CS-OFDMA 传输技术.....	(306)
7.3.1 CS-OFDMA 基本原理.....	(306)
7.3.2 智能编码技术.....	(308)
7.3.3 码分双工.....	(309)
7.3.4 CS-OFDMA 应用和性能.....	(310)
7.4 LAS-CDMA 传输技术.....	(312)
7.4.1 LAS 码的构造.....	(312)
7.4.2 LAS 系统传输方案.....	(313)
7.4.3 LAS-CDMA 多址传输技术分析.....	(316)
7.4.4 传统 CDMA 技术与 LAS-CDMA 技术比较.....	(317)
参考文献.....	(318)

第 1 章 综 述

1.1 引 言

近年来,随着多媒体业务和移动互联网的发展,无线通信系统向宽带化和移动化方向迅速发展。伴随着这种发展趋势,无线通信系统在占有带宽、传输速率和频谱效率等方面的要求越来越高。与此同时,为了适应不同的应用场景的需要,无线通信还朝着多元化的方向发展。面对新的挑战,全球各无线通信标准化组织纷纷通过演进和革新空中接口技术,以满足新的技术需求。

在移动通信领域,3GPP 和 3GPP2 分别提出各自的演进路线。其中,3GPP 标准化,一方面采用从 WCDMA 到高速分组接入(HSPA)再到 HSPA+的中期演进路线。该路线中,演进系统更多得考虑对 WCDMA 的后向兼容性,其多址传输技术仍然沿用 CDMA;另一方面为了支持更宽带宽和更高频谱效率,制定了长期演进(LTE)路线。在该演进路线中,系统考虑部分后向兼容性,如 3GPP LTE 的采样频率可通过满足 WCDMA 采样频率倍/降频获得。而在多址传输技术方面,则完全摒弃了 CDMA 技术,下行采用正交频分多址(OFDMA)、上行采用单载波频分多址(SC-FDMA)以降低发射信号峰均比。3GPP2 标准化组织发起的无线通信系统演进路线,也包括两条分支,其一:从 cdma2000 到 1xEV-DO Rev.A 的短期演进;其二,采用从 1xEV-DO Rev.B 到 1xEV-DO Rev.C(UMB)两阶段的空中接口演进(AIE)路线的长期演进。类似于 3GPP 标准演进,3GPP2 1xEV-DO Rev.A 和 Rev.B 主要是基于 cdma2000 技术的增强,多址技术仍然采用 CDMA。而 1xEV-DO Rev.C 多址传输是以 OFDMA 为主,只是在上行控制信令和低速率数据传输时支持 CDMA 方式,并且后者还为可选项。

在无线接入领域,2004 年年末 IEEE 委员会制定了固定 WiMAX (IEEE 802.16d) 标准,并于 2006 年年初制定了移动 WiMAX (IEEE 802.16e) 标准。其中,IEEE 802.16d 多址技术主要采用 OFDM-TDMA,而 IEEE 802.16e 多址技术则以 OFDMA 为主。与此同时,针对完全应用于移动环境的宽带无线接入,IEEE 委员会正在制定 IEEE 802.20 标准。不同于 IEEE 802.16 系列规范,IEEE 802.20 系统在保持较高数据传输速率的同时,能够满足用户更高的移动性要求。此外,针对无线个域网的应用,IEEE 委员会还在制定基于超宽带(UWB)无线技术的 IEEE 802.15.3 标准规范。另外,IEEE 委员会正制定的无线区域网络(WRAN)标准 IEEE 802.22。该标准采用认知无线电技术,可在不干扰其他授权用户的条件下,智能地利用 VHF/USF 频段的“频谱空穴”,以提高无线频谱资源的使用效率。

2008 年 2 月,国际电信联盟(ITU)启动 IMT-Advanced 标准化工作,并于 2008 年 6 月 WP5D 迪拜会议确定了 IMT-Advanced 的最小技术需求。IMT-Advanced 标准化工作的启动拉开了全球第四代无线通信标准化的序幕。针对 ITU 技术需求和时间表,各标准化组织都基于已有技术的基础,提出各自的 IMT-Advanced 演进方案,如 3GPP 提出从 LTE 到 LTE+的演进方案,IEEE 委员会则提出从 802.16e 到 802.16m 的演进路线,而 3GPP2 刚开始时也提出从

UMB 到 UMB+的演进路线,但由于其主要倡导者高通公司的退出,最终导致该演进路线的终止。

本章主要介绍宽带无线移动通信系统演进过程,包括 3GPP 提出的从 WCDMA 到 HSPA+,从 LTE 到 LTE+; 3GPP2 提出的从 cdma2000 到 1xEV-DO Rev.0/A/B,再到 UMB; WiMAX 提出的从 IEEE 802.16d 到 IEEE 802.16e/j 再到 IEEE 802.16m 等标准,IMT-Advanced 的演进路线以及各系统采用的多址传输技术发展过程。另外,介绍了 IEEE 802.15 无线个域网(WPAN),IEEE 802.20 移动宽带无线接入(MBWA)和 IEEE 802.22 感知无线电等 IEEE 802 系列标准及相应的关键技术。此外,介绍国内外各公司和研究机构针对宽带无线移动通信所提的多址传输技术。最后,介绍本书的主要内容,以及各部分内容之间的联系。

1.2 宽带移动通信系统演进

目前,移动通信技术的演进路径主要有三条:① WCDMA 和 TD-SCDMA,均从 HSPA 演进至 HSPA+,进而到 LTE、LTE+;② cdma2000 沿着 EV-DO Rev.0/Rev.A/Rev.B,最终到 UMB、UMB+;③ IEEE 802.16m 的 WiMAX路线,如图 1.1 所示。从既有的资源基础来看,无疑LTE将成为演进的主力。作为3GPP标准,LTE可提供高达50 Mbps的上行速度和100 Mbps的下行速度,并将为移动网络带来许多技术优势。此外,其带宽的选择范围将扩大到1.25~20 MHz,这将满足不同网络运营商的需求,使它们能够分配不同的带宽,而且还允许运营商根据频谱提供不同的业务。LTE 还将提高 3G 网络的频谱效率,允许运营商在给定的带宽上提供更多数据和语音业务。

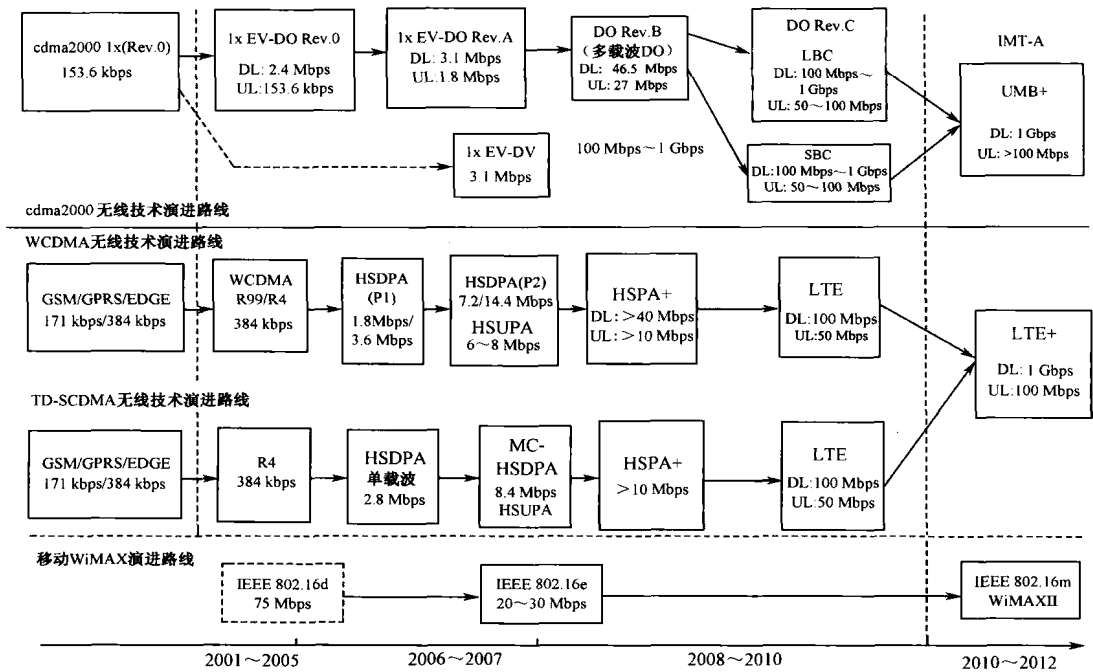


图 1.1 宽带无线移动通信系统演进过程

1.2.1 3GPP 演进系统

1. 3GPP 标准化组织简介

第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）是一个成立于 1998 年 12 月的标准化机构，目前，其成员包括欧洲的 ETSI、日本的 ARIB 和 TTC、中国的 CCSA、韩国的 TTA 和北美的 ATIS。

3GPP 最初的目标是在 ITU 的 IMT-2000 计划范围内制定以 GSM 核心网为基础，UTRA（FDD 为 WCDMA 技术，TDD 为 TD-CDMA 技术）为无线接口的第三代技术规范。它致力于 GSM 到 UMTS（WCDMA）的演化，虽然 GSM 到 WCDMA 空中接口差别很大，但是其核心网采用了 GPRS 的框架，因此仍然保持一定的延续性。

2. 3GPP 演进系统标准化过程

从图 1.1 中也可以看出，3GPP 标准的演进到目前为止一共经历了四个阶段：从 GSM 到 3G 的 WCDMA，到 HSPA（高速分组接入）和 HSPA+，又从 R8 的 LTE，再到当前的 LTE+。虽然直观上来看整个过程的演进趋势是移动通信系统的宽带化、数据化、分组化，但由于 3GPP 在移动通信领域占据了既有的优势地位，因此在其标准的演进和产业升级的时间安排和工作节奏上有自己的考虑。

一方面，从 HSPA 到 HSPA+，3GPP 一贯推行后向兼容的稳健路线；另一方面，3GPP 的主要成员公司也在按部就班地为 IMT-Advanced 的标准化作准备。在高速分组接入（HSPA、HSPA+）和 IMT-Advanced 之间，原本并没有 LTE 的位置，但基于 OFDM 技术的 WiMAX 标准的横空出世，迫使 3GPP 的移动通信厂商不得不团结起来快速跟进，为了使 3GPP 标准相对其他无线标准保持长期的优势，而不遗余力地投入了 UMTS 技术的演进版本——LTE 的标准化工作，进而到现在的 LTE+。

3. 3GPP 演进系统技术指标

首先，WCDMA 系统的主要技术指标是：

- ✧ FDD 双工方式，上行频段 1 920~1 980 MHz，下行 2 110~2 170 MHz；
- ✧ 5 MHz 带宽，帧长 10 ms，码片速率为 3.84 Mcps；
- ✧ 支持高速数据传输（慢速移动时为 384 kbps，室内走动时为 2 Mbps）；
- ✧ 异步 BS，支持可变速传输。

而对于 3GPP 短中期演进系统 HSPA，它主要是 WCDMA 系统的增强技术，因而帧长变为下行短帧 2 ms、上行帧 10 ms/2 ms，在数据速率上提高至下行 14.4 Mbps，上行 5.76 Mbps。

而 HSPA+ 的系统吞吐量进一步提高，下行峰值速率达到 42 Mbps，上行峰值速率也提升到 28 Mbps。

3GPP LTE 系统的主要技术指标为：

- ✧ 终端支持的最大下行数据率为 10~300 Mbps，最大上行净数据率为 5~75 Mbps；
- ✧ 支持 FDD 和 TDD 的双工方式；
- ✧ 包括 15 个 FDD 频段和 8 个 TDD 频段；

- ◇ 支持 1.25~20 MHz 的可变带宽;
 - ◇ 用户面延迟 (UE→RNC→UE) 小于 10 ms, 控制面延迟小于 100 ms;
 - ◇ 支持 2 GHz 频段下的 350 km/h 高速移动。
- 而 3GPP LTE+ 的技术指标将进一步提高, 主要包括:
- ◇ 更高的峰值速率: 下行 1 Gbps, 上行 500 Mbps;
 - ◇ 更高的峰值频谱效率: 下行 30 bps/Hz, 上行 15 bps/Hz;
 - ◇ 覆盖范围: 与 R8 的相同;
 - ◇ 移动性: 低速进一步优化, 支持高速移动至 350 km/h (在某些频带也许甚至达到 500 km/h);
 - ◇ 更低的传输延迟:
 - 控制平面时延: 从“空闲状态”转移到“连接状态”的时延应该小于 50ms;
 - 用户平面时延: 比 R8 要低;
 - ◇ 更高的平均频谱效率和小区边缘效率:
 - 支持有效的全业务类型的精确 QoS 控制;
 - 平均频谱效率 2.4~3.7 bps/Hz (下行) 和 1.2~2 bps/Hz (上行);
 - 小区边缘频谱效率 0.04~0.07 bps/Hz/用户, 下行 0.07~0.12 bps/Hz/用户。
 - ◇ 支持灵活分级的带宽:
 - 支持分级的频谱带宽;
 - 最大分级带宽可达 100 MHz, 满足各种频谱部署需求;
 - ◇ 支持频谱聚合方式:
 - 研究支持连续的频谱聚合方式;
 - 支持非连续的频谱聚合方式。

4. 3GPP 演进系统特点

3GPP 演进系统主要遵循移动宽带化的思路, 支持的带宽越来越大, 从而要求其多址技术和传输技术进一步发展, 其中 WCDMA 可适应多种速率的传输, 灵活地提供多种业务, 基站之间无需同步, 优化的分组数据传输方式, 支持不同载频之间的切换, 上、下行快速功率控制, 反向采用导频辅助的相干检测, 充分考虑了信号设计对 EMC 的影响, 并且 WCDMA 在高速数据业务上更具有优势。而 3GPP 在短中期演进中, 首先在 R5 中引进了 HSDPA, 主要通过引入新的物理层技术 (如专用控制信道、自适应编码调制技术和 NodeB 的 MAC-hs 功能) 以获得更高的下行传输峰值速率。在 R6 下行中引进 HSDPA+, 通过 MIMO 提高空间分集和空分复用, 以获得更高的下行峰值速率, 而在 R6 上行中引入 HSUPA, 利用 HSDPA 的相关技术 (如基于 NodeB 的快速调度、HARQ 技术、2 ms 短帧等) 获得更高的上行峰值传输速率。而 WCDMA-HSPA+ 的进一步演进向 LTE 平滑过渡。在 3GPP LTE 中考虑对空中接口技术的优化, 使用了基于 OFDM 的频分多址技术, 并与多天线技术相结合, 进一步降低时延、提高用户数据速率、提高系统容量和覆盖和降低运营商的成本。与第三代移动通信系统相比, 3GPP LTE 在物理层传输技术、空中接口协议和网络结构等方面都发生了革命性的变化, 并为了应对 WiMAX 等无线通信标准的竞争, 对移动性和网络架构方面进行了针对性的优化。而为了进一步满足 ITU IMT-Advanced (4G) 的标准化要求, 3GPP 针对性地提出了 LTE-Advanced, 在 LTE 基础上进行了扩充、增强、完善, 该系统的主要特点是获得更高的

系统容量，以 LTE 网络架构为基础，进一步降低网络运营的成本。

1.2.2 3GPP2 演进系统

1. 3GPP2 标准化组织简介

3GPP2（第三代合作伙伴计划 2）组织于 1999 年 1 月成立，由北美 TTA、日本的 ARIB、日本的 TTC、韩国的 TTA 四个标准化组织发起，主要是制定以 ANSI-41 核心网为基础、cdma2000 为无线接口的第三代技术规范。其声称致力于使 ITU 的 IMT-2000 计划中的（3G）移动电话系统规范在全球发展，实际上它是从 2G 的 CDMA One 或者 IS-95 发展而来的 cdma2000 标准体系的标准化机构，它受到拥有多项 CDMA 关键技术专利的高通公司的支持。

2. 3GPP2 演进系统标准化过程

3GPP2 的标准主要是在 2G IS-95A/B 基础上发展至 cdma2000 1x，而从 2000~2006 年，其在 cdma2000 发展方向及标准的研究主要集中在 1x EV 方面（其中 1x 表示 1 个 1.25 MHz 载波，EV 意为演进），包括 1x EV-DO（也称为高速分组数据 HRPD）和 xE V-DV 两个体系和趋势，其中，1x EV-DO 专门为高速无线分组数据业务设计，x EV-DV 系统则能够提供混合的高速数据和语音业务。

近期，3GPP2 在 DO Rev.B 的标准工作基本完成之后，开始了下一阶段的工作，其目标是进一步提高系统传输频谱效率，同时满足运营商对于网络演进、网络部署、业务融合过渡和性能方面的相关需求。2006 年 6 月，与 LTE 几乎同期启动，在多家公司相关技术提案的基础上，3GPP2 会议制定和明确了 AIE 第二阶段空中接口标准的技术框架并开始具体的标准化工作，即 cdma2000 1x EV-DO Rev.C，被命名为超移动宽带（Ultra Mobile Broadband, UMB）标准。UMB 可与现有的 cdma2000 1X 和 1x EV-DO 系统兼容，但在数据传输速率、延迟性、覆盖度、移动能力及布建弹性等方面都更具优势。另外，UMB 能够提供更大的带宽、频段和波段选择范围，以及网络的可升级性和灵活性。3GPP2 在 2007 年下半年完成了 UMBv2.0 的标准规范，但由于在 LTE 的压力之下，在 2008 年 10 月，高通正式停止了 UMB 相关的开发和推动，并在同期 3GPP2 宣布不再向 ITU-R 提交 IMT-Advanced 技术提案。

3. 3GPP2 演进系统技术指标

首先，cdma2000 系统的主要技术指标包括：

- ✧ FDD/TDD 的双工方式，工作频段为 450 /800/1 900/2 100 MHz；
- ✧ 支持 1.25/3.75 MHz 带宽，帧长为 10 ms/5 ms，码片速率为 1.228/3.68 Mcps；
- ✧ 峰值速率可达 300 kbps。

而 cdma2000 的短中期演进主要有两个版本，即 cdma2000 1x EV-DO Rev.A 和 cdma2000 1x EV-DO Rev.B。随着多媒体数据业务及变速率业务的发展，对系统带宽和 QoS 保证等方面的要求也不断提高。其中 cdma2000 1x EV-DO Rev.A 版本将前向链路峰值速率提高到 3.072 Mbps，将反向链路的峰值速率提高到 1.8432 Mbps。而 EV-DO Rev.B 进一步提升前向及反向传输速率，并且后向兼容 cdma2000 1x 和 1x EV-DO 网络及终端设备；从峰值速率和 QoS 等方面增强用户体验；降低单比特开销，这对运营商而言意味着更低的成本。

而 3GPP2 的长期演进系统 UMB 的主要技术指标包括:

- ✧ 高数据率: 峰值前向和反向数据速率分别为 288 Mbps 和 75 Mbps (采用 20 MHz 信道带宽);
- ✧ 高数据容量: 在所有环境下, 如固定、步行和高达 300 km/h 的移动环境, 既可以传输高容量的语音业务, 也可以传输宽带数据业务;
- ✧ 低时延: 平均 14.3 ms 的空口时延和最小限度的时延抖动, 以支持 VoIP、手机对讲和其他时延敏感业务;
- ✧ 高 VoIP 容量: 采用 20 MHz 带宽, 在不降低并发的数据业务吞吐量的情况下, 单扇区可支持 1 000 个并发 VoIP 用户;
- ✧ 大覆盖: 与现有蜂窝网络等价的广域网覆盖, 包括可支持无缝漫游的泛在覆盖和支持热点应用的非连续覆盖;
- ✧ 完全移动性: 在 UMB 设计的所有方面都具备内在无缝切换所需的鲁棒的移动性支持;
- ✧ 融合的接入网: 支持融合接入网部署, 该网络是基于 IP 的无线接入网, 支持多种接入技术, 并具备先进的网络性能, 如增强的 QoS, 仅用少量的网络节点和低时延等;
- ✧ 多播传输: 为丰富的多媒体业务提供高速多播传输方式;
- ✧ 部署灵活性: 支持从 1.25 MHz 到 20 MHz, 以 150 kHz 递增的可变带宽部署, 其频段包括 450 MHz、700 MHz、850 MHz、1 700 MHz、1 900 MHz、1 700/2 100 MHz (先进无线服务频段)、1 900/2 100 MHz (IMT 频段) 和 2 500 MHz (3G 扩展频段), 基于 IP 的 UMB 无线接入网络还支持与现存电路交换网络之间的互操作。

4. 3GPP2 演进系统特点

cdma2000 主要考虑了美国和韩国现有的 IS-95 商用系统的兼容性, 采用了 IS-95 的软切换和功率控制技术, 帧长同样为 20 ms, 需要基站之间同步, 相对 WCDMA 系统的改进主要在于: 反向信道采用连续导频方式, 反向信道相干接收, 前向信道发送分集, 充分考虑了信号设计对 EMC 的影响等。

而 3GPP2 第一阶段的演进为 cdma2000 1x EV-DO Rev.B, 系统支持更灵活的载波部署方案, 并且混合频率复用方式使得 EV-DO Rev.B 系统可以利用非对称或者零散频带, 以提高系统频带配置的灵活性和多样性, 在数据调制方式上增加了 64QAM。其目标是采用多载波 CDMA 技术和其他增强技术, 提高系统吞吐量和频谱效率, 尽量保持对现有技术标准的后向兼容, 以期在最短的时间投入市场。

而第二阶段的演进 UMB 系统的目标是采用更宽的带宽以及 OFDM、MIMO 等新型技术, 在第一阶段演进的基础上进一步提高吞吐量和频谱利用率, 降低端到端传输时延, 以保持对 3GPP LTE 和 WiMAX 等其他宽带系统的技术优势。UMB 针对宽带无线移动环境和实时应用需求优化, 是全球领先的移动宽带 OFDMA 技术解决方案。UMB 采用了完善的控制和信令机制、无线资源管理、自适应反向链路干扰管理和先进的多天线技术, 如多输入多输出、空分多址和波束成型技术等, 使其获得优异的性能。此外, 为了满足泛在和广普的接入要求, UMB 还支持与现有的 cdma2000 1x 和 1x EV-DO 系统之间的切换和无缝操作。