

► 21世纪通信网络技术丛书



3GPP
LTE

3GPP LTE 无线通信新技术系列

3GPP LTE

物理层和空中接口技术

张志林 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

3GPP LTE 物理层 和空中接口技术

张志林 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

LTE 技术作为未来宽带移动通信技术的主流标准,无论是运营商还是解决方案设备提供商都投入了大量的资源启动对 LTE 的研发工作。为了使从事无线通信行业的技术人员以及准备从事无线通信行业的人员掌握其中的精华,本书采用由浅入深的思路向读者展现 LTE 物理层和空中接口技术。书中通过大量的实例向读者呈现讲解的内容,使读者理解和掌握问题的本质,改变以往读者被动接受概念和原理的局面。

本书共涵盖 7 章,分别介绍了 LTE 产生的背景,对 LTE 的网络架构和协议栈作了简要的说明;无线通信技术以及数字信号处理过程,结合实例言简意赅地说明实现原理和方法;LTE 物理层技术,重点对物理帧结构、物理资源划分以及物理信道的调制实现进行了说明;LTE 物理层复用技术及物理层过程;LTE 的空中接口技术及实现流程,MAC 子层、RLC 子层、PDCP 子层以及 RRC 层的功能和实现机制,RRC 层实现的具体流程;多天线技术的原理及应用;LTE 的下一步演进 LTE-A 的发展趋势及关键技术。

本书可作为从事移动通信工作的技术人员,包括运营商工作人员、解决方案设备提供商研究开发人员的技术书籍,也可作为各高校相关通信专业师生从事研究工作的参考书或研究生的专业教材。

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

3GPP LTE 物理层和空中接口技术 / 张志林编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.9

(21 世纪通信网络技术丛书. 3GPP LTE 无线通信新技术系列)

ISBN 978-7-121-14477-6

I. ①3… II. ①张… III. ①码分多址—移动通信—通信网 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 174216 号

责任编辑: 王春宁

印 刷: 北京天宇星印刷厂

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: 20.5 字数: 512 千字

印 次: 2011 年 9 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 zltz@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

为了促进和推动我国通信产业的发展,迎合国家在 21 世纪的中长期信息通信技术的发展规划,电子工业出版社通信出版分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的技术应用层面,又细分为 4 个系列:《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》、《物联网技术与应用开发系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》是以移动通信技术(3G 技术)的应用现状与发展情况为导向,结合新一代移动宽带系统(4G 技术)的逐步建立,全面介绍当今移动通信领域涉及的前沿关键技术与热点技术,以理论创新和技术突破为主。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》是以 TD-LTE、WCDMA-LTE、cdma2000-LTE、WiMAX-LTE 的新技术与新标准为主攻方向,以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和实现为主。LTE 作为无线通信技术的一个重要的长期演进计划,代表了国内外无线通信领域的最新发展需求和解决方案。以新一代移动宽带通信技术为主。

《物联网技术与应用开发系列》是下一代 ICT(信息通信技术)产业的新增长点之一。将物联网技术与应用开发单独列为一个系列主要是从无处不在的应用宽泛性和无所不能的移动互联网对人们生活和工作的深刻影响而构建的。物联网是互联网的自然延伸,以 IP 技术为核心,是一种架构在基于 IPv4/IPv6 的各种网络上的综合应用和通信能力。根据它的四个层面——感知、传输、处理和应用,通过技术与应用开发的紧密结合去推动物联网工程应用的进一步发展。以物联网技术开发应用为主。

《网络通信与工程应用系列》是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成功案例所提出来的。以移动通信网络工程应用为主。

为了提升本套丛书的影响力,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;各科研院所的研究员;国内有一定规模和研发实力的科技公司的一线研发人员,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,供他们阅读和参考。

本套丛书从 2008 年上半年开始陆续推出,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。

前言

随着社会的发展、技术创新以及电信行业的竞争，在 3GPP 组织的推动下，长期演进（Long Term Evolution, LTE）逐渐走进了公众的视野。通信产业经过数十年的发展，尤其近十年更是突飞猛进，各种新技术、新业务以及新的解决方案频频出现，大家还在尝试感受 3G 技术的时候，为什么又推出了 LTE？LTE 究竟比以前的技术有哪些优势？又将会怎样改变我们的生活？而作为通信技术人员又将接受哪些挑战，需要哪些技术积累？看到这里也许多数读者都会有这些疑问。这些答案本应在后续的书中由读者理解、感悟，但是我还是禁不住在这里简单说一下。

LTE 是一个革命性的宽带移动通信标准，从频域、空域等维度对空间信道进行了深度挖掘，同时采用了自适应系统设计和简洁的全 IP 扁平网络架构，提供了强大的时频资源。LTE 系统抛弃了 3G 系统长期采用的 CDMA（码分多址）技术，下行采用以 OFDMA（正交频分多址）为核心的多址技术，上行采用 SC-FDMA（单载波频分多址）技术，这是一种 OFDMA 的改进技术，可以在保持 OFDMA 正交传输特性的同时，兼顾单载波传输的峰均比（PAPR）特性，从而获得较好的终端功放效率和较低的功放成本。目前，LTE 的各项标准初稿已经完成，3GPP 组织根据行业的反馈、研讨还将继续优化 LTE 标准。世界上诸多运营商对 LTE 技术产生了浓厚的兴趣，LTE 标准有望成为未来宽带移动通信技术的主流标准。越来越多的设备商启动了 LTE 的研发工作，投入大量的人力、物力研究该项目，并开发出各种样机在世界各地启动试验局项目，如爱立信、华为、诺西等部分设备商已经进入商用市场，电信市场的竞争越演越烈。随着电信格局的变化，设备技术开发人员以及运营企业技术人员都需要理解并掌握这项标准技术。同时，LTE 标准对于 IMT-Advanced 系统的研究同样具有重要的借鉴作用。

LTE 技术如此重要，作为从事无线通信行业的技术人员以及准备从事无线通信行业的人员如何才能掌握其中的精华？如何定位自己的知识储备程度？总之，如何达到事半功倍的效果？这些应该是大家比较关心的问题，作者本人一直从事无线通信技术研究工作，因此非常关注。从日常实际工作所接触到的各方面书籍资料来看，不在少数的书籍主要使用两类方式讲解某一技术，一种是纵深且单一，并且缺少实例讲解，读者不易理解，并且无法得知需要何种知识基础才能够阅读此类书籍；另外一种方式是书中集合各种内容，看似内容很全，但是没有展开讲解，读者仅仅了解概念，无法得知书籍中的重点内容在哪里。读者无论碰到上述的任何一种书籍都将会得到两种感受，一种是枯燥理论，无法接受内涵；另一种感受是书籍在堆砌文字，内容粗浅，无法提升理论和实际能力。进而想撰写一本既有理论基础又有实例，将枯燥的内容变得容易理解的书籍，使读者可以理解事物的本质。我们都是成年人，按照成年人的思维方式讲解内容，改变以往的填鸭式被动阅读。只有理解了本质我们才具备创造性，才能激活我们的思维细胞。因此，就是希望可以给读者带来收益，可以使读者从书中学习到知识，可以为读者日常学习、工作提供帮助，本着急大家之所急，顺应“天时、地利、人和”的趋势，撰写该书。

本书面向的读者为正在从事无线通信行业和即将准备从事无线通信行业的朋友。既可以

作为高校的通信专业的教材又可以作为移动通信的研究工作的重要参考资料。希望该书能够为各位朋友成为 LTE 技术专家提供帮助，最基本的愿望是使读者在通往无线通信技术的道路上找对方向。

为了使读者能够更好地理解本书内容，本书从物理层开始逐一进行讲解，力争体现端到端知识，使大家从系统全貌到技术细节都能得到收益。同时，考虑到部分章节内容需要掌握一定的通信原理基础知识，故在本书中使用通俗语言并结合比较经典的实例去阐述相关基础概念以及基础知识。在写作过程中，本书作者从技术人员以及从未接触或刚接触无线通信开发的技术人员两个角度去展现内容，力求使读者阅读高效、便捷。按照揭示事物本质的思路，提供大量的算法知识，需要读者耐心进行推导，以便于更好地掌握其技术原理，做到“知其然，知其所以然”，符合人们认识事物的规律。只有理解了这些标准的技术内涵，掌握其内在设计思想，才能抓住其灵魂，才能做到举一反三，也为以后更深入的技术研究和技术创新提供经验积累。

本书在编写过程中参考了业界专家和同行的思路，并借鉴了业界各大知名设备商的经验，在此表示衷心感谢！同时感谢我的家人以及朋友所给予的关心、支持和帮助，感谢电子工业出版社王春宁老师所给予的宝贵意见。

本书内容是基于作者自身理解和工作实践进行编写的，限于作者的知识面以及时间关系，观点难免出错，敬请读者谅解，并恳请读者提出宝贵意见，我的邮箱是 zhangzhilin405@sohu.com。谢谢！

希望读者朋友能够具备“路漫漫，其修远矣吾将上下而求索”的精神，坚持不懈，翱翔在无线通信的知识海洋中。最后用下面几句话表达我内心的感受：

**通信产业纷争十年，
信息技术日变万千。
事重意远道路曲长，
业峻绩鸿娓娓长流。**

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 背景	(1)
1.1.1 移动通信发展简史	(1)
1.1.2 无线移动技术演进现状	(2)
1.2 LTE 项目介绍	(10)
1.3 3GPP 组织简介	(12)
1.4 LTE 协议规范结构	(12)
1.5 LTE 协议架构	(14)
1.5.1 E-UTRAN 网元功能	(15)
1.5.2 无线协议接口	(16)
1.6 系统架构演进 (SAE) 介绍	(17)
1.6.1 SAE 介绍	(17)
1.6.2 SAE 架构	(18)
第 2 章 无线传输技术	(20)
2.1 无线信道传播	(20)
2.1.1 概述	(20)
2.1.2 传播模型	(20)
2.1.3 路径损耗模型	(20)
2.1.4 衰落特性相关定义	(22)
2.1.5 噪声和干扰	(23)
2.2 数字信号处理	(24)
2.2.1 加扰	(24)
2.2.2 信源编码	(25)
2.2.3 信道编码	(26)
2.2.4 交织	(29)
2.2.5 调制	(31)
2.2.6 信道估计与均衡	(33)
2.3 OFDM 技术	(34)
2.3.1 OFDM 技术概述	(34)
2.3.2 OFDM 原理	(43)
2.3.3 OFDM 的应用	(51)
2.3.4 OFDM 优点和不足	(59)
第 3 章 LTE 物理层信道与调制	(60)
3.1 概述	(60)
3.1.1 LTE 协议层整体结构	(60)
3.1.2 物理层概要描述	(61)

3.1.3	LTE 物理层协议规范文档组成	(63)
3.2	物理层帧结构	(64)
3.3	LTE 工作频段、频点和传输带宽	(67)
3.4	上行物理信道与调制	(69)
3.4.1	物理信道概念与分类	(69)
3.4.2	时隙结构和物理资源	(70)
3.4.3	物理上行共享信道 (PUSCH) 处理过程	(71)
3.4.4	参考信号分类与处理过程	(74)
3.4.5	SC-FDMA 基带信号的产生	(82)
3.4.6	物理随机接入信道 (PRACH) 处理过程	(82)
3.4.7	物理上行控制信道 (PUCCH) 处理过程	(92)
3.4.8	调制和上变换	(97)
3.5	下行物理信道与调制	(97)
3.5.1	物理信道概念与分类	(97)
3.5.2	时隙结构和物理资源	(98)
3.5.3	下行物理信道通用处理过程	(102)
3.5.4	物理下行共享信道 (PDSCH) 处理过程	(107)
3.5.5	物理多播信道 (PMCH) 处理过程	(107)
3.5.6	物理广播信道 (PBCH) 处理过程	(107)
3.5.7	物理控制格式指示信道 (PCFICH) 处理过程	(108)
3.5.8	物理下行控制信道 (PDCCH) 处理过程	(109)
3.5.9	物理 HARQ 指示信道 (PHICH) 处理过程	(111)
3.5.10	参考信号处理过程	(115)
3.5.11	同步信号处理过程	(125)
3.5.12	OFDM 基带信号发生器	(128)
3.5.13	调制和上变换	(129)
3.6	调制映射通用功能	(129)
第 4 章	信道复用、编码与物理层过程	(132)
4.1	概述	(132)
4.2	物理信道的映射	(132)
4.3	信道处理流程	(133)
4.3.1	CRC 原理与 LTE 系统 CRC 计算	(133)
4.3.2	码块的分段和码块 CRC 添加	(135)
4.3.3	信道编码	(137)
4.3.4	速率匹配	(141)
4.3.5	码块级联	(143)
4.4	上行传输信道与控制信息处理	(144)
4.4.1	随机接入信道 (RACH)	(144)
4.4.2	上行共享信道 (UL-SCH)	(144)
4.4.3	PUCCH 上的控制信息	(155)
4.4.4	UCI 信道质量信息和 HARQ-ACK 的信道编码	(158)
4.5	下行传输信道与控制信息处理	(158)

4.5.1	广播信道 (BCH)	(158)
4.5.2	下行共享信道、寻呼信道以及多播信道处理	(159)
4.5.3	下行控制信息	(160)
4.5.4	控制格式指示	(168)
4.5.5	HARQ 指示 (HI)	(169)
4.6	物理层过程	(169)
4.6.1	同步过程	(169)
4.6.2	功率控制	(170)
4.6.3	随机接入过程	(177)
4.6.4	PDSCH 的相关处理过程	(181)
4.6.5	ACK/ACK 上报的终端过程	(201)
4.6.6	PUSCH 的相关处理过程	(202)
4.6.7	PDCCH 的相关处理过程	(208)
4.6.8	PUCCH 的相关处理过程	(210)
4.7	物理层测量	(212)
4.7.1	UE 涉及的测量能力	(212)
4.7.2	E-UTRAN 的测量能力	(214)
第 5 章	LTE 空口协议与 RRC 处理	(216)
5.1	E-UTRAN 无线接口架构划分	(216)
5.2	媒体接入控制 (MAC) 子层	(217)
5.2.1	MAC 子层功能	(217)
5.2.2	MAC 子层信道	(218)
5.2.3	MAC 的 PDU 格式和 SDU 格式	(221)
5.2.4	MAC 子层参与的过程	(222)
5.3	无线链路控制 (RLC) 子层	(233)
5.3.1	RLC 功能	(233)
5.3.2	RLC 协议结构	(233)
5.3.3	RLC 实体介绍	(234)
5.4	分组数据汇聚 (PDCP) 子层	(245)
5.4.1	PDCP 子层功能	(245)
5.4.2	PDCP 的 PDU 格式	(246)
5.4.3	PDCP 子层数据传输、数据加密与完整性保护处理	(247)
5.4.4	PDCP 头压缩	(250)
5.4.5	PDCP 重新建立处理	(251)
5.4.6	PDCP 定时丢弃	(251)
5.5	无线资源控制 (RRC) 层	(252)
5.5.1	RRC 的状态	(253)
5.5.2	RRC 涉及的相关处理流程	(257)
5.5.3	典型信令流程简介	(265)
第 6 章	多天线技术	(274)
6.1	多天线技术概述	(274)

6.2	SISO 系统模型	(275)
6.3	MIMO 系统模型及优点	(275)
6.4	分集技术	(276)
6.4.1	空间分集	(276)
6.4.2	频率分集与时间分集	(279)
6.5	时分编码技术	(279)
6.5.1	空时块码	(279)
6.5.2	空时格码	(280)
6.5.3	空时发射分集	(280)
6.6	空间复用技术	(281)
6.6.1	分层空时码原理	(281)
6.6.2	分层空时编码原理	(282)
6.7	常用空时技术应用	(283)
6.7.1	基于 STBC 的技术	(283)
6.7.2	基于空时格码的技术	(283)
6.7.3	基于空间复用技术	(284)
6.8	通信系统中几种常用的 MIMO 模型	(284)
6.8.1	IEEE 802.16e 系统中 MIMO 的使用	(284)
6.8.2	LTE 系统中 MIMO 的使用	(286)
6.9	波束赋形技术	(289)
6.9.1	下行波束赋形介绍	(290)
6.9.2	波束赋形和 STC 的结合	(293)
6.10	多天线技术带来的增益	(295)
第 7 章	LTE 后续演进	(297)
7.1	概述	(297)
7.2	LTE-A 需求与趋势	(297)
7.3	LTE/LTE-A 关键技术简介	(298)
7.3.1	OFDM 和 SC-FDMA 技术	(298)
7.3.2	优化 MIMO 技术	(298)
7.3.3	载波聚合 (CA) 的协同通信	(298)
7.3.4	无线中继技术	(299)
7.3.5	小区间的干扰抑制技术	(300)
7.3.6	多点协同	(301)
7.3.7	调度算法介绍	(302)
7.4	LTE-A 网络演进	(305)
7.4.1	E-MBMS 的演进	(305)
7.4.2	自组织网络	(306)
7.4.3	家庭基站	(306)
7.5	小结	(306)
	缩略语	(307)
	参考文献	(317)

第1章 概述

1.1 背景

1.1.1 移动通信发展简史

现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代,大致经历了五个发展阶段。

第一阶段从 20 世纪 20 年代至 40 年代,为早期发展阶段。在这期间,首先在短波的几个频段上开发出专用移动通信系统,其代表是美国底特律市警察使用的车载无线电系统。该系统工作频率为 2 MHz,到 40 年代提高到 30~40 MHz 可以认为这个阶段是现代移动通信的起步阶段,其特点是专用系统开发,工作频率较低。

第二阶段从 20 世纪 40 年代中期至 60 年代初期。在此期间内,公用移动通信业务开始问世。1946 年,根据美国联邦通信委员会(FCC)的计划,贝尔系统在圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话网,被称为“城市系统”。当时使用三个频道,间隔为 120 kHz,为单工通信方式。随后,原西德(1950 年)、法国(1956 年)、英国(1959 年)等国相继研制了公用移动电话系统。美国贝尔实验室完成了人工交换系统的接续问题。这一阶段的特点是从专用移动网向公用移动网过渡,接续方式为人工,网络容量较小。

第三阶段从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期。在此期间,美国推出了改进型移动电话系统,使用 150 MHz 和 450 MHz 频段,采用大区制、中小容量,实现了无线频道自动选择并能够自动接续到公用电话网。可以说,这一阶段是移动通信系统改进与完善的阶段,其特点是采用大区制、中小容量,使用 450 MHz 频段,实现了自动选频与自动接续。

第四阶段从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期。这是移动通信蓬勃发展时期。1978 年年底,美国贝尔试验室成功研制出先进移动电话系统(AMPS),并建成了蜂窝状移动通信网,大大提高了系统容量。1983 年,首次在芝加哥投入商用。同年 12 月,在华盛顿也开始使用。之后,其服务区域在美国逐渐扩大。到 1985 年 3 月已扩展到 47 个地区,拥有约 10 万移动用户。其他国家也相继开发出蜂窝式公用移动通信网。日本于 1979 年推出 800 MHz 汽车电话系统(HAMTS),在东京、大阪、神户等地投入商用。原西德于 1984 年完成 C 网,频段为 450 MHz。英国在 1985 年开发出全地址通信系统(TACS),首先在伦敦投入使用,后续覆盖了全国,频段为 900 MHz。法国开发出 450 系统。加拿大推出 450 MHz 移动电话系统(MTS)。瑞典等北欧四国于 1980 年开发出 NMT-450 移动通信网,并投入使用,频段为 450 MHz。这一阶段的特点是蜂窝状移动通信网成为实用系统,并在世界各地迅速发展。移动通信大发展的原因,除了用户数迅猛增加这一主要推动力之外,还有几个技术进展所提供的条件。首先,微电子技术在这一时期得到长足发展,这使得通信设备的小型化、微型化有了可能性,各种轻便电台被不断地推出。其次,提出并形成了移动通信新体制。随着用户数量增加,大区制所能提供的容量很快饱和,这就必须探索新体制。在这方面最重要的突破是贝尔试验室在 20 世纪 70 年代提出的蜂窝网的概念。蜂窝网,即所谓小区制,由于实现了频率复用,大

大提高了系统容量。可以说，蜂窝概念真正解决了公用移动通信系统要求容量大与频率资源有限的矛盾。第三方面进展是随着大规模集成电路的发展而出现的微处理器技术日趋成熟以及计算机技术的迅猛发展，从而为大型通信网的管理与控制提供了技术手段。

第五阶段从 20 世纪 80 年代中期开始。这是数字移动通信系统发展和成熟时期。以 AMPS 和 TACS 为代表的第一代蜂窝移动通信网是模拟系统。模拟蜂窝网虽然取得了很大成功，但也暴露了一些问题。例如，频谱利用率低、移动设备复杂、费用较贵、业务种类受限制以及通话易被窃听等，最主要的问题是容量已不能满足日益增长的移动用户需求。解决这些问题的方法是开发新一代数字蜂窝移动通信系统。数字无线传输的频谱利用率高，可大大提高系统容量。另外，数字网能提供语音、数据多种业务服务，并与 ISDN 等兼容。实际上，早在 20 世纪 70 年代末期，当模拟蜂窝系统还处于开发阶段时，一些发达国家就着手数字蜂窝移动通信系统的研究。到 80 年代中期，欧洲首先推出了数字移动通信网（GSM）的体系。随后，美国和日本也制定了各自的数字移动通信体制。GSM 已于 1991 年 7 月开始投入商用，并覆盖欧洲主要城市、机场和公路。随着 GPRS（通用分组无线业务）被引入 GSM，在蜂窝系统中传输分组数据在 20 世纪 90 年代后变成了现实，可以说，在最近的十多年来数字蜂窝移动通信将处于一个大发展时期，成为陆地公用移动通信的主要系统。

最近 20 年，随着通信手段的丰富和 Internet 的普及，新业务层出不穷，推动通信技术迅猛发展。在新需求和新技术的强有力推动下，通信领域经历了从窄带到宽带、从有线到无线、从固定到移动的巨大变化。在无线通信领域，无线移动通信系统从最早的模拟系统发展到 1G、2G、2.5G 以及发展到今天的 3G，系统能力不断增强，空口峰值速率不断提高。与此同时宽带无线接入系统在 Internet 和媒体业务等宽带业务的推动下，沿着从有线到无线的方向发展。例如，目前大规模商用的 WiMAX 即全球微波接入互操作性也是受益这些因素得到蓬勃的发展，并采用 OFDM/OFDMA、MIMO、AMC 等新兴的技术，大大提升了频带利用率。从技术的定位上讲，WiMAX 也比较适合于城域网建设的“最后一公里”无线接入部分，尤其是对于新兴的运营商更为合适。WiMAX 技术分为固定和移动两部分，因此运营商在市场定位上会面临选择：如果选择提供固定宽带接入，那么市场规模会比较有限；如果立足于移动业务，在运营模式、终端支持、组网方式方面都存在很多挑战，同时也将面临来自 3G、B3G 技术的竞争。当前主要是由 3GPP 组织来推动 3G 无线接入技术的发展。

1.1.2 无线移动技术演进现状

1. IMT-2000 介绍

IMT-2000 是第三代移动通信系统的统称，第三代移动通信系统能提供多种类型、高质量的多媒体业务，能实现全球无缝覆盖，具有全球漫游能力，与固定网络相兼容，并使小型便携式终端在任何时候、任何地点进行任何种类通信。最早由国际电信联盟（ITU）在 1985 年提出，1996 年正式更名为 IMT-2000（International Mobile Telecommunication-2000）。与现有的第二代移动通信系统相比，其主要特点可以概括为：

- 全球普及和全球无缝漫游的能力，提供全球覆盖，全球统一分配频段，全球统一标准。
- 支持语音、数据、图像及多媒体等业务，根据需要提供带宽，要求无线接口能满足以下要求：快速移动环境中最高速率可达 144 kbps；室外到室内或步行环境中最高速

率可达 384 kbps; 室内环境中最高速率可达 2 Mbps。

- 具有良好的设计一致性、前后向兼容性及与固网的兼容性。方便从现有蜂窝系统进行平滑演进及其进一步发展, 可以综合现有的公众电话交换网、综合业务数字网、无绳电话系统、地面移动通信系统、卫星通信系统等, 以提供无缝覆盖。
- 提供充足的带宽、较高的频谱利用效率及良好的业务服务质量 (Quality of Service, QoS)。

随着数据业务的增长, 尤其是新型多媒体业务的不断涌现, 用户对数据带宽及服务体验的要求也不断提高。针对目标业务, 在保证业务质量的前提下, 如何尽量改善频谱效率、提高系统容量, 是 3G 系统设计的关键。

- 提供良好的系统安全机制: 移动通信业务已经渗透到社会生活的方方面面, 移动通信系统的安全性除了牵涉到用户的个人隐私外, 还与国家的政治、经济、金融等领域相关。因此需要具有良好的安全机制。

另外, 3G 标准组织主要由 3GPP、3GPP2 组成, 以 CDMA 码分多址技术为核心。目前国际上最具代表性的第三代移动通信技术标准有三种, 它们分别是 cdma2000, WCDMA 和 TD-SCDMA, 其中, cdma2000 和 WCDMA 属于 FDD 方式; TD-SCDMA 属于 TDD 方式, 系统的上、下行工作于同一频率, 具体技术分类如图 1-1 所示。其中 WCDMA 是欧洲 ETSI (欧洲电信标准华化协会) 提出的宽带 CDMA 技术, 它与日本 ARIB (无线工业及商贸联合会) 提出的宽带 CDMA 技术基本一致, 两者融合后形成了第三代移动通信无线传输技术 WCDMA。WCDMA 系统是一种异步系统, 码片速率为 3.84 Mcps。它采用了快速功率控制技术, 支持多种切换方式, 可以适应多种速率的传输, 灵活地提供多种业务。cdma2000 是由美国 TTA (电信行业协会) 提出的宽带 CDMA 技术, 采用直接序列扩频或多载波方式, 码片速率可以是 1.2288 Mcps 的 1 倍或 3 倍 (最高可达 9 倍或 11 倍), 分别对应于 cdma20001x 或 cdma2000 3x 系统。cdma2000 系统与 IS-95 系统后向兼容, 采用 GPS 授时同步, 并在 IS-95 系统软切换、功率控制及 RAKE 接收分集技术的基础上, 增加了快速寻呼、反向信道相干解调、前向快速功率控制、Turbo 码及较高速率的分组数据传送等功能。TD-SCDMA 是由中国 CWTS (中国无线电信标准组) 提出的宽带 CDMA 技术, 采用直接序列扩频, 码片速率为 1.28 Mcps。TD-SCDMA 系统基于 TDD 方式, 前向信道与反向信道工作在相同的频段上, 在不同的时隙进行传送。TD-SCDMA 系统采用智能天线、联合检测、接力切换等关键技术。另外, EDGE (增强型数据速率 GSM 演进) 和 DECT (数字增强无线通信) 也属于 3GPP 技术。其中 EDGE 是一种基于 GSM/GPRS 网络的数据增强型移动通信技术, 通常又被人们称为 2.75 G 技术。2003 年一度倍受忽视的 EDGE 成为移动通信市场的亮点, 先后有美国、智利及中国香港开通了基于 EDGE 的服务。DECT 概念的提出已有十几年的历史, 在 1996 年以前, 由于技术规范不够完善、设备成本偏高等原因, DECT 在全球的发展不尽如人意。但到了 1997 年, 随着各方面问题的解决和技术规范的完善, DECT 逐渐成为受欢迎的产品, 例如, 家用数字无绳电话系统就是 DECT 在数字无绳电话业务方面取得的巨大成功。除了上述几种主要技术之外, IEEE 802.16 技术近年来也得到了迅猛的发展, 并作为一种新兴技术在全球全面商用。

如图 1-2 所示, 几种主要移动无线技术的演进路线主要有三条: 一是 WCDMA 和 TD-SCDMA, 均从 HSPA 演进至 HSPA+, 进而到 LTE; 二是 cdma2000 沿着 EV-DO Rev.0/Rev.A/Rev.B, 最终到 UMB; 三是 IEEE 802.16m 的 WiMAX 演进路线。其中 LTE 拥有最多的支持者。

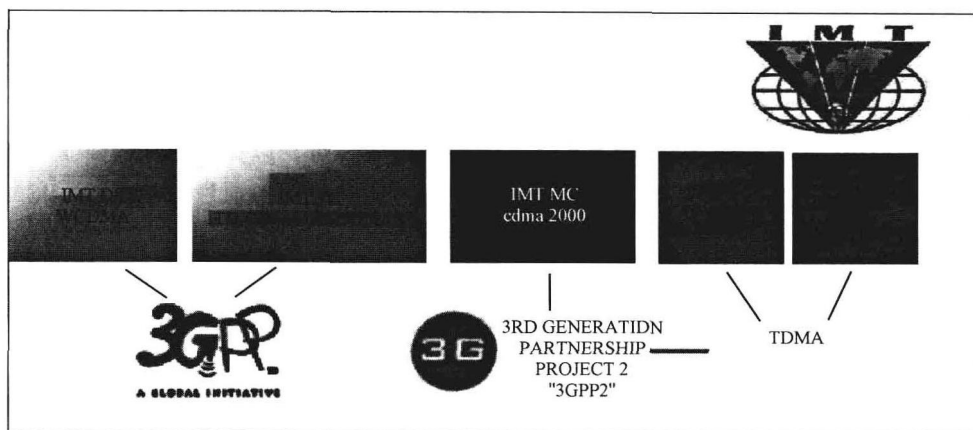


图 1-1 3GPP 传输技术分类

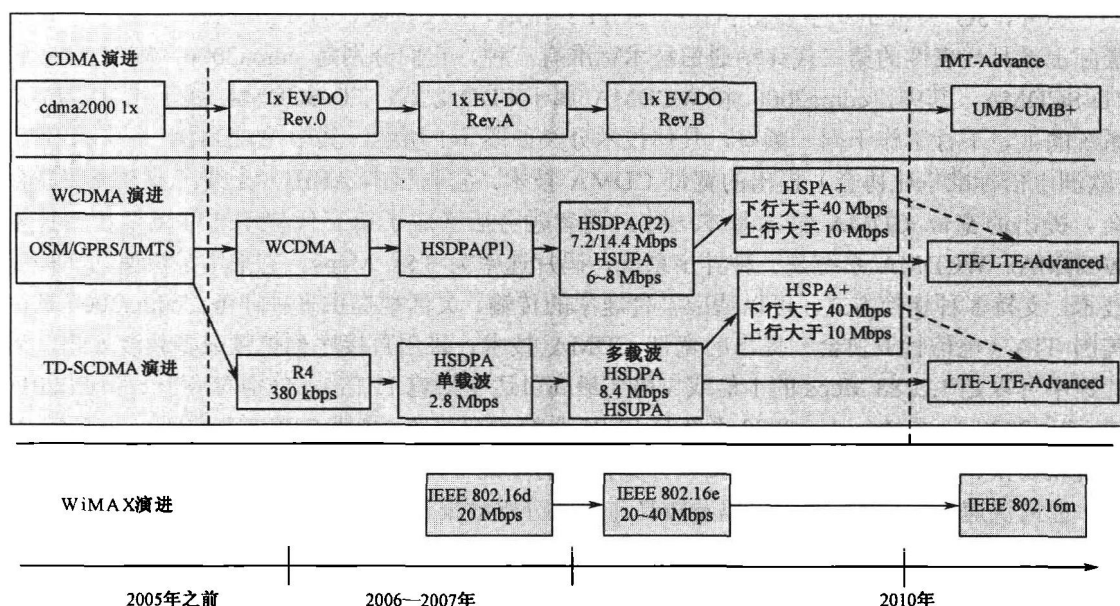


图 1-2 无线移动技术演进路线

2. IMT-2000 频谱划分

IMT-2000 频谱由核心频段与附加频段组成。核心频段包括上行 1885~2025 MHz 和下行 2110~2200 MHz 总共 230 MHz 频率；附加频段包括 806~960 MHz、1710~1885 MHz 及 2500~2690 MHz 三个子频段。IMT-2000 频谱划分及各国使用情况如图 1-3 所示。其中，核心频段的上行为 1885~2025 MHz 共 140 MHz 频率；下行为 2110~2200 MHz 共 90 MHz 频率。其中，1980~2010 MHz（地对空）和 2170~2200 MHz（空对地）用于移动卫星业务。核心频段的上、下行不对称，主要考虑可使用双频 FDD（频分双工）方式和单频 TDD（时分双工）方式。欧洲为 3G 地面系统分配 1900~1980 MHz、2010~2025 MHz 和 2110~2170 MHz 共计 155 MHz 频率。

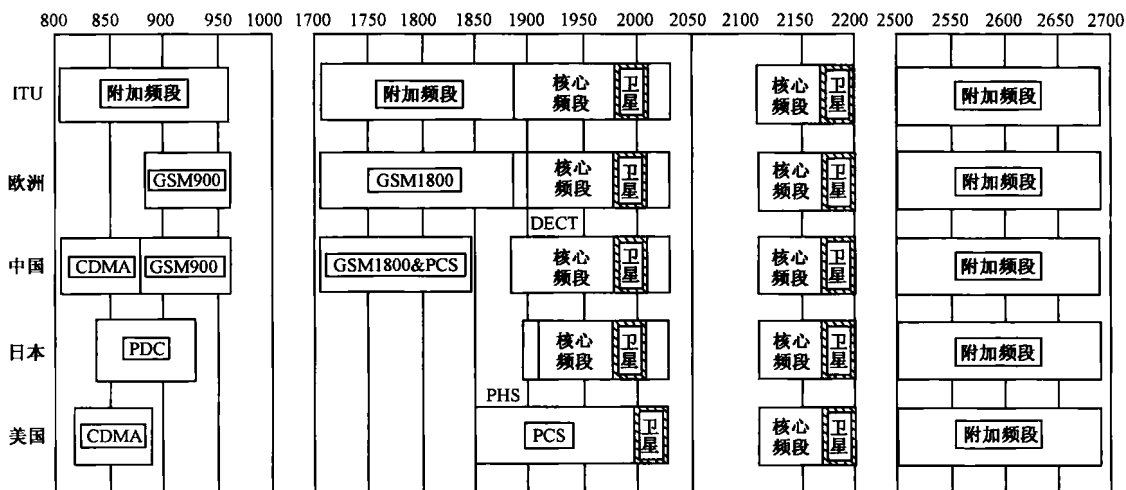


图 1-3 IMT-2000 频谱划分

3. 各种制式的特点和展望

1) WiMAX 系统介绍

WiMAX 是根据 IEEE 802.16 标准定义的一种无线宽带接入技术，IEEE 802.16 标准有多个版本，IEEE 802.16—2004 (802.16d) 和 IEEE 802.16—2005 (IEEE 802.16e) 这两个版本使 WiMAX 真正成为了无线领域中的热点。特别是 IEEE 802.16e 的发布，为个人移动宽带领域的发展带来了巨大的推动力。IEEE 802.16—2004 即 IEEE 802.16d 支持固定和游牧的视距 (LOS) 和非视距 (NLOS) 传输。在视距环境下，它可以工作在 10~66 GHz 频带。在非视距环境下，它可以工作在小于 11 GHz 频带。IEEE 802.16d 也被视为传统 3.5 GHz 固定无线接入技术和 LMDS (局域多点分布式系统) 技术的标准化升级版本。IEEE 802.16—2005 即 IEEE 802.16e 支持切换和漫游功能，能够应用在车辆移动环境下。IEEE 802.16e 主要工作在小于 6 GHz 频带。不同频段下的物理特性各不相同，具体如下所示。

- 10~66 GHz 许可频段：在该频段，由于波长较短，只能实现视距传播。典型的信道带宽为 25 MHz 或者 28 MHz，当采用高阶调制方式时，数据速率能够超过 120 Mb/s。
- 11 GHz 以下许可频段：在该频段，由于波长较长，因此能够支持非视距传播。此时系统会存在较强的多径效应，需要采用一些增强的物理层技术，如功率控制、智能天线、ARQ (自动重传请求)、空时编码技术等。
- 11 GHz 以下免许可频段：该频段的传播特性与 11 GHz 以下的许可频段一样，不同点在于非许可频段可能存在较大的干扰，需要采用动态频率选择等技术来加以解决。

(1) WiMAX 核心技术

① OFDM/OFDMA 技术

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 是一种高速传输技术，是未来无线宽带接入系统 / 下一代蜂窝移动系统的关键技术之一。在 WiMAX 系统中，OFDM 技术为物理层技术，主要应用的方式有两种：OFDM 物理层和 OFDMA 物理层。

OFDM 物理层采用 OFDM 调制方式, OFDM 正交载波集合由单一用户产生, 为单一用户并行传送数据流。支持 TDD 和 FDD 双工方式, 上行链路采用 TDMA (时分多址) 多址方式, 下行链路采用 TDM (时分复用) 复用方式, 可以采用 STC (空时编码) 发射分集以及 AAS (自适应天线系统)。OFDMA (正交频分多址) 物理层采用 OFDMA 多址接入方式, 支持 TDD 和 FDD 双工方式, 可以采用 STC 发射分集以及 AAS。OFDMA 系统可以支持长度为 2048、1024、512 和 128 的 FFT 点数, 下行数据流被分为逻辑数据流。这些数据流可以采用不同的调制及编码方式以及以不同信号功率接入不同信道特征的用户端。上行数据流子信道采用多址方式接入, 通过下行发送的媒质接入协议 (MAP) 分配子信道传输上行数据流。虽然 OFDM 技术对相位噪声非常敏感, 但是标准定义了 Scalable FFT (可调整的 FFT), 可以根据不同的无线环境选择不同的调制方式, 以保证系统能够以高性能的方式工作。

② MIMO (多输入多输出) 技术

MIMO 是未来移动通信的关键技术, 它解决了 SISO (单输入单输出) 系统需要较多的频谱资源和复杂的编码调制技术才能解决的在非视距和恶劣信道下保证高 QoS 的问题, 能显著地提高系统的容量和频谱利用率, 从而大大提高系统的性能。MIMO 技术主要有两种表现形式, 即空间复用和空时编码, 这两种形式在 WiMAX 中都得到了应用。

③ HARQ (混合自动重传)

HARQ 技术因为提高了频谱效率, 所以可以明显提高系统吞吐量, 同时因为重传可以带来合并增益, 所以间接扩大系统的覆盖范围。16e 中支持 CC (卷积码) 和 CTC (卷积 Turbo 码) 的 HARQ 方式。HARQ 功能和相关参数是在网络接入过程或重新接入过程中被确定和协商的。HARQ 是基于每个连接来进行处理, 它可以通过消息 DSA (动态业务流添加) /DSC (动态业务流修改) 确定每个服务流是否有 HARQ 的功能。

④ AAS (自适应天线系统)

AAS 采用多根天线收发信号, 利用数字信号处理技术跟踪和提取各移动用户的空间信息, 产生空间定向波束, 达到充分利用移动用户信号并抑制干扰信号的目的。另外, 可以利用用户空间位置的不同, 在同一信道中发送和接收各用户的信号, 而不会引入较大的相互干扰, 进而提高系统的频谱利用率。

(2) WiMAX 应用场景

与其他有线接入手段 (如 xDSL、光纤接入等) 相比, WiMAX 技术具有部署速度更快、扩展能力更强、灵活性更高的优点。WiMAX 对于新兴国家的电信市场与广大的乡村地区特别有吸引力, 尤其在一些基础建设薄弱的地区, 更凸显出它的竞争力。因此, WiMAX 被认为是 DSL 的补充, 可以向家庭和小企业提供 “无线 DSL” 服务。通过 WiMAX 系统, 室内、室外的 Wi-Fi 用户可以接入到 Internet/Intranet, 同时 WiMAX 还可以提供移动终端、移动便携的无线接入以及企业 Wi-Fi 热点区域的后端传输功能。具体来说, WiMAX 技术可应用于固定、游牧、便携、简单移动和自由移动这五类业务的应用场景, 并随着 WiMAX 技术从固定无线接入发展到移动无线接入, 应用场景也从固定发展到自由移动。相应地, 各种应用场景分别需要不同的空中接口标准的支持。

① 固定接入

固定接入业务是 WiMAX 运营网络中最基本的业务模型, 该业务场景不支持连接的移动或切换, 在 IP 连接建立之前, 必须进行鉴权或授权。用户终端可以根据信号质量来选择要连接的可用基站 (BS), 当用户终端断开与 BS 的连接并重新加入网络后, 必须重新分配 IP 地址。

② 游牧接入

游牧式业务是固定接入方式发展的下一个阶段，用户终端可以从不同的位置接入到运营商的 WiMAX 网络中。然而在每次会话连接中，用户终端只能进行站点式的接入，在两次不同网络接入中，传输的数据将不被保留。在这种运营模式下，需要进行交互的鉴权，如果用户的归属运营商和拜访运营商具有相同的鉴权用户数据，用户就可以在这两个不同的运营商网络之间进行漫游。在这个阶段，不支持不同基站之间的切换。一个游牧的用户终端每次入网时将获得不同的 IP 地址。

③ 便携方式

便携式业务是游牧式业务发展的下一个阶段，从这个阶段开始，终端可以在不同的基站之间进行切换。当终端静止不动时，便携式业务的应用模型与固定式业务和游牧式业务相同。当进行切换过程时，用户将可能经历中断，或者感到一些延迟，或者服务质量的下降。在最差的情况下，切换中断式应保持 TCP/IP 的会话连接。

④ 简单移动方式

简单移动业务是便携式应用的进一步拓展。当用户处于固定接入和漫游状态时，使用模型与固定接入和漫游是没有任何区别的。在切换过程中，连接是采用“尽力而为”的方式。简单移动业务设定了一个移动速度的特定范围，这个范围依赖特定的物理层。在切换过程中简单移动在延迟上有更严格的限制，切换性能比“尽力而为”性能好，这使得这种场景更适合于某种类型的 IP 业务。

⑤ 自由移动方式

自由移动业务是建立在已定义的所有使用场景上的解决方案。为了支持车辆速度移动（至少 120 km/h）下无中断的应用，对延迟敏感的业务进行了优化，同时针对其他移动性敏感性能，例如低功耗运行、切换时延、切换期间分组丢失率等。在全移动中，包含了漫游能力。漫游可以使用户在归属网络得到的标识，在拜访网络中得到重用，最终形成统一的业务计费。漫游适用于游牧、便携和移动使用场景。

2) WCDMA 系统介绍

欧洲电信标准委员会（ETSI）在 GSM 之后就开始研究其 3G 标准，其中有几种备选方案是基于直接序列扩频码分多址技术，而日本的第三代研究也是使用宽带码分多址技术的，其后，以二者为主导进行融合，在 3GPP 组织中发展成了第三代移动通信系统 UMTS（通用移动通信系统），并提交给国际电信联盟（ITU）。国际电信联盟最终接受 WCDMA 作为 IMT-2000 3G 标准的一部分。WCDMA 是一种由 3GPP 具体制定的，基于 GSM MAP 核心网，UTRAN（UMTS 陆地无线接入网）为无线接口的第三代移动通信系统。WCDMA（宽带码分多址）是一个 ITU 标准，它是从码分多址（CDMA）演变来的，在官方上被认为是 IMT-2000 的直接扩展，与现在市场上通常提供的技术相比，它能够移动和手提无线设备提供更高的数据速率。WCDMA 采用直接序列扩频码分多址（DS-SS）、频分双工（FDD）方式，码片速率为 3.84 Mcps，载波带宽为 5 MHz。能够支持移动/手提设备之间的语音、图像、数据以及视频通信，速率可达 2 Mbps（对于局域网而言）或者 384 kbps（对于宽带网而言）。WCDMA 与其他制式的系统类似也采用了空时分集技术作为其关键的技术，下面简单介绍一下。

空时处理技术通过在空间和时间上联合进行信号处理可以非常有效地改善系统特性。随着第三代移动通信系统对空中接口标准的支持以及软件无线电的发展，空时处理技术必将融入自适应调制解调器中，从而达到优化系统设计的目的。采用空时处理的方法，系统的发送