

“863” 通信高技术丛书

“十一五”

国家重点图书出版规划项目

3GPP长期演进(LTE) 技术原理与系统设计

3GPP Long Term Evolution:
Principle and System Design

□ 沈嘉 索士强 全海洋 赵训威 胡海静 姜怡华 等 编著

“863” 通信高技术丛书

“十一五”
国家重点图书出版规划项目

3GPP长期演进(LTE) 技术原理与系统设计

3GPP Long Term Evolution:
Principle and System Design

□ 沈嘉 索士强 全海洋 赵训威 胡海静 姜怡华 等 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 / 沈嘉等编
著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.11
(“863”通信高技术丛书)
ISBN 978-7-115-18572-3

I. 3… II. 沈… III. ①码分多址—移动通信—通信技术
②码分多址—移动通信—通信系统—系统设计 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113473 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了 3GPP 长期演进 (LTE) 的技术原理和系统设计。全书分为 9 章, 第 1 章首先介绍了 LTE 产生的背景, 然后概述了 LTE 的重要技术特点; 第 2 章介绍了 LTE 的需求指标; 第 3 章详细介绍了 LTE 物理层协议的内容; 第 4 章讨论了 LTE 无线传输技术的原理及其选择过程; 第 5 章介绍了 LTE 无线传输系统的各个设计环节; 第 6 章讨论了 LTE 系统采用的各种自适应技术和物理过程; 第 7 章介绍了 LTE 空中接口协议的结构和设计; 第 8 章介绍了 LTE 无线接入网络的各项功能和各个接口; 第 9 章介绍了 LTE 的进一步演进版本 LTE-Advanced 的发展趋势。

本书能够帮助我国的 LTE 研发和工程人员加深对 LTE 标准的理解, 并为我国企业和高校研究人员研究和设计新一代宽带无线移动系统提供参考。

“863”通信高技术丛书

3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计

◆ 编 著 沈 嘉 索士强 全海洋 赵训威 胡海静
姜怡华 等

责任编辑 王晓明

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>
北京鸿佳印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 29

字数: 708 千字

2008 年 11 月第 1 版

印数: 1—4 000 册

2008 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18572-3/TN

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

“863” 通信高技术丛书

编 委 会

主 任：叶培大

委 员：（按姓氏笔画顺序排列）

卫 国 王志威 王 京 王柏义

韦乐平 尤肖虎 冯记春 朱近康

邬江兴 邬贺铨 孙 玉 纪越峰

杜肤生 李少谦 李世鹤 李红滨

李武强 李 星 李默芳 杨千里

杨 壮 张 凌 陈俊亮 季仲华

周炯槃 郑南宁 赵梓森 赵慧玲

侯自强 姚 彦 郭云飞 曹淑敏

蒋林涛 谢麟振 强小哲 简水生

序 言

第三代移动通信（3G）技术是当前主流的无线通信技术之一。在诸多 3G 技术标准中，又以 3GPP 制定的标准最具影响力，近几年来，WCDMA、TD-SCDMA、HSPA 等各种系统已经逐步在全球大规模部署。同时，3GPP 又启动了 LTE、HSPA+、LTE-Advanced 等长期标准演进项目。

经过 3 年多的工作，LTE 标准已接近完成。这个标准采用 OFDM、MIMO 等先进的无线传输技术、扁平网络结构和全 IP 系统架构，支持最大 20MHz 的系统带宽、超过 200Mbit/s 的峰值速率和更短的传输延时，频谱效率达到 3GPP R6 标准的 3~5 倍，是一项重大的革新。LTE 一方面可以在几年内保持 3GPP 标准相对其他移动通信标准的持续竞争优势，另一方面也为 3GPP 标准向 IMT-Advanced 阶段演进打下了坚实的基础。预计在未来 10 年内，LTE 作为最具影响力的宽带移动通信技术标准之一，将受到业界越来越广泛的关注。我国企业长期以来在 3GPP 标准化过程中积极参与，占有重要的地位。尤其是在 TD-SCDMA 及其后续演进标准，如 TD-LTE 的标准化工作方面，我国始终处于领先和主导的位置。

LTE 作为一个即将被广泛应用的通信标准，势必会成为我国通信产业界关注的焦点。由于今后若干年内国内主流通信设备企业和运营企业都可能成为 3GPP LTE 技术的潜在设备供应商和运营商，各企业都需要对这项标准有深入透彻的理解。出于人才培养和技术积累的目的，LTE 技术也将成为今后一段时间高校和研究机构通信专业的教学和研究重点。因此编写、出版介绍 LTE 标准的技术专著是当务之需。在 LTE 标准即将完成之际，出版这样一本详细介绍 LTE 技术规范、关键技术和系统设计的书籍，有助于业内相关人员加深对 LTE 技术规范的理解，对我国在 LTE 方面的深入研究、设备研发、系统部署和业务运营都能起到积极的参考作用。

本书的作者均为深入参与了 3GPP LTE 国际标准化过程的人员，亲身参加了历次 LTE 标准化会议的技术讨论，代表我国企业、高校和研究机构提交了大量提案，经历了各次重大技术选择的确定过程。他们对 LTE 规范和技术原理有深入的理解，对 LTE 研究和标准化过程有切身的体会，在 LTE 技术研究方面具有较高的业务和写作水平，是国内在 LTE 标准化方面的专家。本书编写的素材亦来自于 3GPP 最新的技术规范、技术报告、技术文稿、会议记录等第一手资料，具有较高的时效性、权威性和实用性。

本书的主要特点是，不仅介绍了 LTE 标准化的结果，而且关注了 LTE 标准化的过程。本书没有局限于对 LTE 规范的简单翻译，而是基于作者的参会经历，对 LTE 研究和标准化过程中关键技术的取舍和设计方案的首选过程进行了分析，诠释了 LTE 系统设计的思想，体现了标准化的整体设计、全面权衡的特点，因此对于我国无线通信从业人员具有较高的实用价值。本书的应用价值主要体现在如下两个方面。

一方面，本书可以作为通信企业开发人员在设备开发时阅读 LTE 技术规范的参考资料。本书详细介绍了 LTE 技术规范背后的关键技术和系统设计原理，可以帮助 LTE 标准的阅读者

和开发者在“知其然”之外，也“知其所以然”，从而更深入地理解规范，更准确地使用规范，避免读者由于“只见结果、不见过程”而对技术规范的内容产生错误或肤浅的理解。

另一方面，本书也可以作为企业、高校和研究单位研究人员学习标准化工作的方法和规律的重要参考。标准化过程中的系统设计和学术理论研究有很大差异。标准化的目标不是某一个方面的性能最大化，而是通过对性能和复杂度的均衡追求系统设计的整体优化。如果希望提高理论研究成果的标准化成功率，就必须加强标准化和整体系统设计观念，学会从标准化角度思考问题。本书对 LTE 研究和标准化过程的深入分析，可以作为无线通信领域研究人员了解技术发展趋势、学习研究方法、总结经验教训、提高以后的研究和标准化工作水平的重要参考。

当然，LTE 标准第一版本的制定工作刚刚接近尾声。根据 3G 标准化的经验，LTE 标准还有一个版本完善、增强和进一步演进的漫长过程，对 LTE 标准的学习、研究和应用也需要通信产业界长期不懈的努力。本书仅仅是“抛砖引玉”，希望我国通信产业界能够持续关注、重视 LTE 标准的研究，为我国 LTE（尤其是 TD-LTE）技术的长远发展，为我国无线通信产业的腾飞共同贡献力量。



谨撰

2008 年 7 月于京

前言

LTE 是 3GPP 在“移动通信宽带化”趋势下，为了对抗 WiMAX 等移动宽带无线接入技术的市场挑战，在十几年超 3G (B3G) 研究的技术储备基础上研发出的“准 4G”技术。LTE 在空中接口方面用频分多址 (OFDM/FDMA) 替代了 3GPP 长期使用的码分多址 (CDMA) 作为多址技术，并大量采用了多输入多输出 (MIMO) 技术和自适应技术提高数据率和系统性能。在网络架构方面，LTE 取消了 UMTS 标准长期采用的无线网络控制器 (RNC) 节点，代之以全新的扁平架构。经过了 4 年艰苦的标准化工作，LTE 标准将于 2008 年年底完成，从目前的情况看来，LTE 受到了世界上绝大多数运营商的青睐，很可能成为未来宽带移动通信的主流标准，并为 3GPP 运营商铺就了平滑的 IMT-Advanced 演进之路。借助 LTE 标准，3GPP 标准也有望在较长的时间内保持对其他无线通信标准的竞争优势。

在今后的数年中，LTE 标准的研究成果将逐步应用到产业化和市场化中。设备企业的研发人员需要根据这个标准开发 LTE 设备，运营企业的技术人员需要根据这个标准部署 LTE 网络、推广相应的业务，这一切都需要对 LTE 标准的深入理解。另外，由于 LTE 已经具有某些 IMT-Advanced 技术的特性，对未来 IMT-Advanced 系统的研发和标准化也具有重要的借鉴作用。因此，撰写一本介绍 LTE 技术原理和系统设计的书籍是很有必要，也是正当其时的。本书的几位作者不揣冒昧，将自己 3 年以来亲身参与 LTE 标准化会议积累下来的所知、所见、所感总结出来，写成了此书，希望能对业内同行的相关工作稍有帮助。

以往的介绍通信标准的书籍很多是对英文技术规范的翻译和整理，但从最终的标准文本中，只能看到标准化的结果，却看不到过程。对于纯粹的设备开发人员，“照本宣科”在原则上也没有大的问题，但如果能透过表面看到本质，则更有利于在工作过程中把握标准的内涵。毕竟标准只是最基本的准则，除了标准里写明的规范之外，还有大量的算法需要开发者根据自己对系统的理解去研发出来，因此深入理解标准背后的技术原理，对提高开发水平和开发效率将是很有帮助的。而对于广大的技术研究人员和高校的师生来说，读标准本身更不是目的，真正的目的是读懂标准背后的技术内涵，掌握系统的内在规律和设计原则，为今后更深入地研究和技术创新积累经验，因此只“知其然”是远远不够的，对他们来说，“知其所以然”可能具有更大的意义。

作者本人在阅读那类“手册型”的标准书籍时，也经常生出疑问：“为什么标准最终采用了此种设计，而不是另外一种呢？当初的技术决定是如何作出的？”这些问题恐怕只有当初参加了标准制定的人员心中最为清楚，后来者是难知其详了。因此，当作者成为 3GPP LTE 这一重要通信标准制定过程的亲历者的时候，就产生了将 LTE 标准的来龙去脉写出来，和大家分享的想法。只有实际参与过标准会议的人员才知道，各种五花八门的技术方案是如何被提出，如何被讨论，最终又是如何筛选和融合的全过程。作者也正是由此才深深地体会到，每一项重要的技术决策，都不是基于简单的性能最大化的考虑，而是兼顾了性能、复杂度、系统的实际需求、兼容性等各种因素，在那个时间点、由那个标准化组织、针对那样一个标

准项目作出的权衡结果。被选中的方案不一定是最好的，但一定是最适合的，得到最大多数支持的方案。这可能是没有参加过标准化制定工作的研究人员和高校师生不会想到的吧？因此，将这一过程做一总结，于己是一种经验教训的回顾，于那些未来可能参与通信系统研究和标准化制定工作的人们，可以作为一种预演，帮助他们在今后的工作中用更贴近实际的方式去思考问题，这一点和数学、物理、化学等基础自然学科是有所不同的。

鉴于上述原因，本书不仅将介绍 LTE 的技术选择和系统设计结果，还将分析 LTE 技术方案选择的过程，以期能够帮助我国企业的 LTE 研发和工程人员加深对 LTE 标准的理解，并为我国企业和高校的研究人员研究设计新一代宽带无线移动系统提供参考。

本书各章节写作分工如下：沈嘉编写了第 1 章、第 2 章、第 4 章（除 4.5、4.6 节）、第 5 章、第 6 章和第 9 章；索士强编写了第 3 章和第 4.5、4.6 节；第 7 章由全海洋和赵训威编写；第 8 章由胡海静和姜怡华编写；全书由沈嘉统稿。感谢孙韶辉博士和唐海先生为本书提供了宝贵资料。另外，感谢沈家洪先生审校了部分书稿，感谢景晔静女士帮助整理了本书的参考文献和目录。最后，还要感谢人民邮电出版社的大力支持和高效工作，使本书能尽早与读者见面。

本书的部分内容是根据国家高技术研究发展计划（“863”计划）项目“E3G 移动通信系统标准化前期研究”（2005AA123410）、“Beyond 3G 应用需求、标准化研究与测试环境开发”（2003AA123330）、“基于分层重构技术的异构无线接入网络架构及协议研究”（2008AA01Z213）的研究成果编写的。在此对这些项目的资助也深表感谢。

本书是基于作者的主观视角和有限学识对标准化讨论过程和结果的理解，观点难免有欠周全之处。另外，LTE 标准本身也在不断地完善和演进，截至本书成书之日，仍有一些技术方案还未达到完全成熟的程度，今后如有机会，也希望能够进一步修正和补充。最后，对于书中存在的不当之处，敬请读者谅解，并提出宝贵意见。联系邮箱：liuyang@ptpress.com.cn。

作 者
2008 年 7 月

目 录

第 1 章 背景与概述	1	第 2 章 LTE 需求	32
1.1 什么是 LTE	1	2.1 系统容量需求	33
1.2 LTE 项目启动的背景	2	2.1.1 峰值速率	33
1.2.1 移动通信与宽带无线接入技术的融合	2	2.1.2 系统延迟	33
1.2.2 国际宽带移动通信研究和标准化工作	3	2.2 系统性能需求	34
1.2.3 我国宽带移动通信研究工作	5	2.2.1 用户吞吐量与控制面容量	34
1.3 3GPP 简介	5	2.2.2 频谱效率	35
1.3.1 3GPP 的组织结构	6	2.2.3 移动性	36
1.3.2 3GPP 的工作方法	7	2.2.4 覆盖	36
1.3.3 3GPP 技术规范的版本划分	8	2.2.5 进一步增强的 MBMS	36
1.4 LTE 研究和标准化工作进程	12	2.2.6 网络同步	37
1.4.1 LTE 项目的时间进度	12	2.3 系统部署需求	38
1.4.2 LTE 协议结构	14	2.3.1 部署场景	38
1.5 LTE 技术特点	16	2.3.2 频谱扩展性	38
1.5.1 LTE 需求	16	2.3.3 部署频谱	38
1.5.2 系统架构	17	2.3.4 与其他 3GPP 系统的共存和互操作	39
1.5.3 空中接口	18	2.4 对无线接入网框架和演进的要求	39
1.5.4 移动性和无线资源管理	23	2.5 无线资源管理需求	40
1.5.5 自配置与自优化	24	2.6 复杂度要求	40
1.5.6 和 LTE 相关的其他 3GPP 演进项目	24	2.6.1 系统复杂度	40
1.6 LTE 和其他宽带移动通信技术的对比	27	2.6.2 UE 复杂度	40
1.6.1 性能指标对比	27	2.7 成本要求	41
1.6.2 关键技术对比	29	2.8 业务需求	41
1.7 小结	31	2.9 小结	41
参考文献	31	参考文献	42
		第 3 章 LTE 物理层协议	43
		3.1 物理层概述	43
		3.1.1 协议结构	43

3.1.2 物理层功能.....	44	方案	138
3.1.3 LTE 物理层协议概要介绍.....	44	4.3.4 多载波 WCDMA (MC-WCDMA) 技术方案.....	140
3.2 物理信道与调制	46	4.3.5 多载波 TD-SCDMA (MC-TD-SCDMA) 技术方案	143
3.2.1 帧结构.....	46	4.3.6 下行多址技术的确定	143
3.2.2 上行物理信道.....	48	4.4 上行多址技术.....	143
3.2.3 下行物理信道.....	64	4.4.1 PAPR 和立方量度 (Cubic Metric, CM) 问题.....	144
3.2.4 伪随机序列产生.....	89	4.4.2 采用 PAPR 降低的 OFDMA (OFDMA with PAPR Reduction) 技术方案	145
3.2.5 定时.....	89	4.4.3 单载波频分多址 (SC-FDMA) 技术方案	147
3.3 复用与信道编码	89	4.4.4 单载波和频域均衡 (SC-FDE) 技术方案.....	148
3.3.1 物理信道映射.....	89	4.4.5 交织 FDMA (IFDMA) 技术方案	149
3.3.2 信道编码和交织.....	90	4.4.6 DFT 扩展 OFDM (DFT-S-OFDM) 技术方案	151
3.4 物理层过程.....	111	4.4.7 可变扩频和码片重复系数 CDMA (VSFCR-CDMA) 技术方案	151
3.4.1 同步过程.....	111	4.4.8 广义多载波 (Generalized Multi-Carrier, GMC) 技术方案	152
3.4.2 功率控制.....	111	4.4.9 SC-FDMA 技术的深入研究	154
3.4.3 随机接入过程.....	114	4.5 下行 MIMO 技术	158
3.4.4 PDSCH 相关过程.....	114	4.5.1 空时/频编码.....	158
3.4.5 PUSCH 相关过程.....	118	4.5.2 循环延时分集	159
3.4.6 PDCCH 相关过程	120	4.5.3 天线切换分集	161
3.4.7 PUCCH 相关过程	120	4.5.4 空间复用传输.....	162
3.5 物理层测量.....	121	4.5.5 下行预编码.....	163
3.5.1 UE/E-UTRAN 测量概述	121	4.5.6 下行波束赋形	169
3.5.2 UE/E-UTRAN 测量能力	121	4.5.7 用于下行 MIMO 传输的	
参考文献.....	123		
第 4 章 LTE 无线传输技术.....	125		
4.1 双工方式.....	125		
4.1.1 FDD 双工方式.....	125		
4.1.2 TDD 双工方式	125		
4.1.3 H-FDD 双工方式	126		
4.2 宏分集的取舍	127		
4.2.1 宏分集技术在 WCDMA 中的应用情况.....	128		
4.2.2 LTE 系统对宏分集的取舍.....	129		
4.3 下行多址技术	130		
4.3.1 OFDMA 技术方案	130		
4.3.2 VSF-OFDM 技术方案	135		
4.3.3 OFDM/OQAM 技术			

终端反馈.....	172	参考文献.....	202
4.5.8 下行多用户 MIMO.....	176	第 5 章 LTE 无线传输系统设计.....	207
4.5.9 E-MBMS 中的 MIMO 技术.....	180	5.1 帧结构设计.....	210
4.6 上行 MIMO 技术.....	181	5.1.1 FDD 下行帧结构 (FS1).....	211
4.6.1 上行传输天线选择.....	181	5.1.2 FDD 上行帧结构 (FS1).....	211
4.6.2 上行多用户 MIMO.....	183	5.1.3 TDD 帧结构 (FS2).....	212
4.7 调制技术.....	184	5.2 系统参数设计.....	215
4.7.1 下行增强调制技术的 取舍.....	184	5.2.1 LTE 系统参数设计 需求.....	216
4.7.2 上行增强调制技术的 取舍.....	185	5.2.2 TTI 长度.....	217
4.8 信道编码.....	186	5.2.3 子载波间隔.....	217
4.8.1 信道编码技术的选择.....	186	5.2.4 CP 长度.....	218
4.8.2 Turbo 码内交织器优化.....	186	5.3 参考信号设计.....	220
4.8.3 编码块分段.....	187	5.3.1 下行参考信号设计.....	220
4.8.4 速率匹配 (Rate Matching) 与冗余版本 (Redundancy Version, RV).....	187	5.3.2 上行参考信号设计.....	231
4.8.5 循环冗余校验 (CRC).....	188	5.4 资源映射与调度.....	240
4.9 演进型多媒体 (E-MBMS 广播和 多播业务) 技术.....	189	5.4.1 下行资源映射.....	240
4.9.1 MBMS 信号和单播信号 的复用.....	190	5.4.2 上行资源映射.....	245
4.9.2 MBSFN 传输技术优化.....	190	5.4.3 资源调度和 CQI 测量.....	247
4.9.3 MBMS 数据和控制信令 的复用.....	190	5.5 控制信道设计.....	249
4.9.4 MBMS 的参数设计.....	190	5.5.1 下行控制信令设计.....	249
4.9.5 MBMS 参考信号 (RS) 的设计.....	190	5.5.2 下行控制信道设计.....	251
4.10 小区间干扰抑制技术.....	191	5.5.3 上行控制信令设计.....	258
4.10.1 在 LTE 研究中考量的干 扰抑制技术.....	191	5.5.4 上行控制信道设计.....	260
4.10.2 小区间干扰协调技术的 取舍.....	197	5.6 终端等级.....	266
4.10.3 基于 HII 和 OI 的上行 ICIC 技术.....	199	5.7 小结.....	268
4.11 小结.....	201	参考文献.....	268
		第 6 章 LTE 自适应与物理过程.....	274
		6.1 自适应调制和编码.....	274
		6.2 混合自动重传请求.....	275
		6.2.1 下行 HARQ 流程.....	276
		6.2.2 上行 HARQ 流程.....	276
		6.2.3 HARQ 进程数量.....	277
		6.3 功率控制.....	278

6.3.1 下行功率控制.....	278	7.3.1 HARQ 原理.....	335
6.3.2 上行功率控制.....	278	7.3.2 ARQ 原理.....	341
6.4 小区搜索过程与 SCH/BCH 设计	280	7.3.3 HARQ/ARQ 的关系	343
6.4.1 SCH 和 BCH 的时频 结构.....	280	7.4 调度.....	350
6.4.2 用于 SCH 和 BCH 的发送 分集.....	287	7.4.1 分组调度原理	350
6.4.3 SCH 的信号结构.....	288	7.4.2 LTE 系统中的分组 调度.....	352
6.4.4 小区搜索流程.....	289	7.5 QoS 控制.....	358
6.4.5 SCH 序列设计.....	292	7.5.1 QoS 概述.....	358
6.4.6 相邻小区搜索.....	297	7.5.2 UMTS 中的 QoS 结构...	359
6.4.7 广播信息和 PBCH/DBCH 设计.....	300	7.5.3 LTE 中的 QoS 结构.....	360
6.5 随机接入过程	304	7.6 移动性.....	362
6.5.1 非同步随机接入过程.....	304	7.6.1 E-UTRAN 内的移动性...	362
6.5.2 同步随机接入过程.....	312	7.6.2 Inter-RAT 移动性.....	366
6.6 上行时钟控制	313	7.7 安全性.....	367
6.6.1 上行同步的维持.....	313	7.8 MBMS.....	369
6.6.2 上行同步的建立.....	313	7.8.1 目的和意义.....	369
6.7 切换测量过程	314	7.8.2 基本原理和特点	369
6.7.1 E-UTRAN 系统内的 测量	314	7.8.3 E-MBMS 系统结构	370
6.7.2 对其他系统的测量.....	315	7.8.4 数据同步分发过程.....	371
6.8 小结.....	315	7.8.5 中心功能模块.....	374
参考文献.....	316	7.8.6 E-MBMS 传输模式.....	374
		7.9 小结.....	375
		参考文献.....	376
第 7 章 LTE 空中接口协议.....	320	第 8 章 无线接入网络功能和接口.....	378
7.1 协议设计要求	320	8.1 LTE 系统架构.....	378
7.2 协议框架.....	320	8.1.1 LTE 系统架构定义的 基本原则	378
7.2.1 协议总框架.....	320	8.1.2 LTE 系统架构描述	378
7.2.2 无线接口协议栈.....	321	8.1.3 影响 LTE 系统架构的 一些重要因素	379
7.2.3 层 1 (L1) 协议框架	322	8.1.4 EPC 与 E-UTRAN 功能 划分	380
7.2.4 层 2 (L2) 协议框架	323	8.1.5 E-UTRAN 接口的通用 协议模型	381
7.2.5 层 3 (L3) 协议框架	327	8.1.6 S1 接口	381
7.2.6 NAS 控制协议.....	333	8.1.7 X2 接口	384
7.2.7 E-UTRAN 空中接口的 标识.....	334		
7.3 HARQ 与 ARQ.....	335		

8.1.8 RAN 设备的互操作性 要求.....385	第 9 章 LTE-Advanced——LTE 的 进一步演进..... 425
8.1.9 演进策略.....385	
8.2 无线资源管理386	9.1 LTE-Advanced 与 IMT-Advanced 的互动关系..... 425
8.2.1 无线资源管理功能.....386	9.2 LTE-Advanced 需求发展趋势..... 426
8.2.2 无线资源管理架构.....388	9.2.1 “平滑演进”与“强兼容” 要求..... 426
8.3 移动性管理.....388	9.2.2 针对室内和热点游牧场 景进行优化..... 426
8.3.1 跟踪区.....388	9.2.3 有效支持新频段和大带 宽应用..... 427
8.3.2 空闲状态下 LTE 接入 系统内的移动性管理391	9.2.4 峰值速率大幅提升和频 谱效率有限改进..... 428
8.3.3 连接状态下 LTE 接入 系统内的移动性管理395	9.3 LTE-Advanced 技术和网络演进 趋势..... 428
8.3.4 3GPP 无线接入系统之间 的移动性管理.....402	9.3.1 多频段协同与频谱整合..... 428
8.4 网络共享.....409	9.3.2 中继 (Relay) 技术..... 429
8.5 QoS 概念411	9.3.3 分布式天线..... 431
8.5.1 EPS 承载概述.....412	9.3.4 基站间协同..... 433
8.5.2 承载服务的架构.....413	9.3.5 家庭基站带来的挑战..... 434
8.5.3 S1 接口上的 QoS 信令 参数处理.....414	9.3.6 物理层传输技术..... 434
8.5.4 资源建立与 QoS 信令.....417	9.3.7 自组织网络..... 437
8.6 网络自配置与自优化418	9.3.8 频谱灵活使用与频谱 共享..... 437
8.6.1 基本概念.....418	9.3.9 E-MBMS 增强..... 437
8.6.2 网络自配置.....419	9.4 小结..... 437
8.6.3 网络自优化.....420	参考文献..... 438
8.6.4 自配置和自优化功能的 典型应用场景.....420	缩略语..... 439
8.7 小结.....423	
参考文献.....424	

第1章 背景与概述

1.1 什么是 LTE

2004 年年底，正当人们惊讶于全球微波接入互操作（World interoperability for Microwave Access, WiMAX）技术的迅猛崛起之时，第 3 代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）也开始了通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunications System, UMTS）技术的长期演进（Long Term Evolution, LTE）项目。这项受人瞩目的技术和第 3 代合作伙伴计划 2（3rd Generation Partnership Project 2, 3GPP2）的超移动宽带（Ultra Mobile Broadband, UMB）技术被统称为“演进型 3G”（Evolved 3G, E3G）。但只要对这项技术稍加了解就会发现，这种以正交频分复用（OFDM）为核心的技术，与其说是 3G 技术的“演进”（Evolution），不如说是“革命”（Revolution），它和 UMB、WiMAX、电气和电子工程师学会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）的 802.20 移动宽带频分双工/移动宽带时分双工（Mobile Broadband Frequency Division Duplex/Mobile Broadband Time Division Duplex, MBFDD/MBTDD）等技术，由于已经具有某些第 4 代（4G）通信技术的特征，甚至可以被看作“准 4G”技术。

第 3 代（3G）移动通信技术是当前主流的无线通信技术。在诸多 3G 技术标准中，又以 3GPP 制定的 UMTS 技术标准最具影响力。3G 系统正在全世界范围逐步部署，增强型 UMTS 技术——高速下行分组接入（HSDPA）和高速上行分组接入（HSUPA）技术的标准化工作也基本完成。虽然移动通信系统的“宽带化”、“数据化”、“分组化”是必然趋势，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 HSDPA 到 HSUPA，3GPP 一贯推行后向兼容的稳健演进路线。另一方面，3GPP 的主要成员公司也在按部就班地为 2008 年开始的先进的国际移动通信（International Mobile Telecommunications-Advanced, IMT-Advanced）技术（即俗称的 B3G 或 4G 技术）的标准化做准备。在高速分组接入（HSPA、HSDPA 和 HSUPA 的统称）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，不遗余力地投入了 UMTS 技术的演进版本——LTE 的标准化工作。

为了能和可以支持 20MHz 带宽的 WiMAX 技术相抗衡，LTE 也必须将最大系统带宽从 5MHz 扩展到 20MHz。为此，3GPP 不得不放弃长期采用的码分多址（CDMA）技术（CDMA 技术在实现 5MHz 以上大带宽时复杂度过高），选用新的核心传输技术，即 OFDM/FDMA 技术（在 LTE 项目开始前不久，3GPP 还对采用 OFDM 技术的可行性得出过否定的结论）。在无线接入网（RAN）结构层面，为了降低用户面延迟，LTE 取消了重要的网元——无线网络控制器（RNC）。在整体系统架构方面，和 LTE 相对应的系统框架演进（System Architecture Evolution, SAE）项目则推出了崭新的演进型分组系统（Evolved Packet System, EPS）架构。以 LTE/SAE 为标志的这次“革命”使系统不可避免地丧失了大部分和 3G 系统的后向兼容性。也就

是说, LTE 系统虽然可以部署于 3G (即 IMT-2000, 国际移动通信 2000) 的现有频谱, 但从网络侧和终端侧都要做大规模的更新换代。因此很多公司实际上将 LTE 干脆看作 B3G 技术范畴。

自 2004 年 11 月启动 LTE 项目以来, 3GPP 以频繁的会议全力推进 LTE 的研究工作。仅半年就完成了需求的制定, 在 2006 年 9 月完成了研究阶段 (Study Item, SI) 的工作, 2008 年年底基本完成工作阶段 (Work Item, WI) 的标准制定工作, 乐观估计到 2009~2010 年即可商用。

1.2 LTE 项目启动的背景

1.2.1 移动通信与宽带无线接入技术的融合

3GPP 启动 LTE 项目的表面原因是应对 WiMAX 标准的市场竞争, 但其深层次原因是移动通信与宽带无线接入 (Broadband Wireless Access, BWA) 技术的融合^[1-1]。

宽带无线接入早期定位于有线宽带接入 (如数字用户线 (Digital Subscriber Line, DSL)) 技术的替代, 其发展经历了从固定局域接入 (如 IEEE 802.11x) 向游牧城域接入 (如 IEEE 802.16d), 再向广域移动接入 (IEEE 802.16e) 的发展历程, 体现出了明显的“宽带接入移动化”的趋势, 为以因特网 (Internet) 为代表的信息技术 (IT) 产业向移动通信领域渗透带来了新的机遇, 同时也对传统移动通信产业形成了竞争和挑战。

与此同时, 移动通信技术也向能够提供更高的数据率发展, 3GPP 标准和 3GPP2 标准分别向 HSPA 和高速分组数据 (High Rate Packet Data, HRPD) 演进, 标志着 3GPP 和 3GPP2 在坚持蜂窝移动能力的同时, 日益重视低速局域场景下的接入能力。这种“移动通信宽带化”趋势, 为蜂窝移动通信产业从传统话音业务拓展到宽带数据业务领域带来了契机。

如图 1-1 所示, 传统通信产业和传统的 IT 产业不约而同地认识到无处不在的移动因特网 (Mobile Internet) 市场的重要性, 通过 Mobile Internet 平台, 运营商可以在任何时间、任何地点满足用户对宽带 IP 多媒体数据业务的需求。由于宽带无线接入和宽带移动通信从不同方向向同一市场渗透, 使两种技术的界线变得越来越模糊, 呈现融合的趋势。

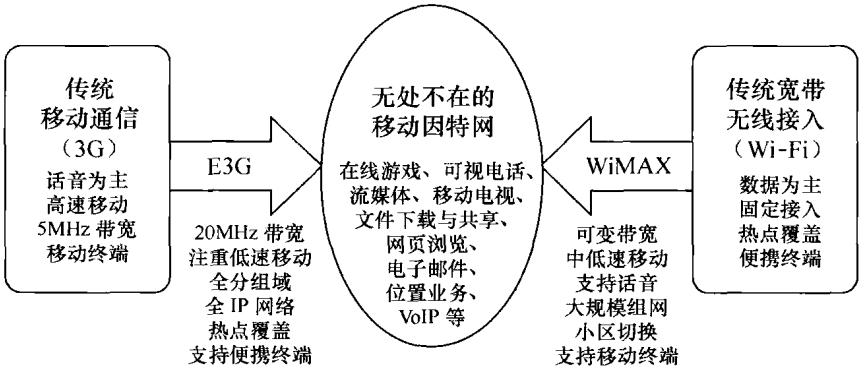


图 1-1 移动通信和宽带无线接入的融合

“宽带接入移动化”趋势表现为：由大带宽向可变带宽（有效支持小带宽）演变；由固定接入向支持中低速移动演变；由孤立热点覆盖向支持切换的多小区组网演变；由数据业务向同时支持话音业务演变；由支持以笔记本电脑为代表的便携终端，向同时支持以手机为代表的移动终端演变。

“移动通信宽带化”表现为：由 5MHz 以下带宽向 20MHz 带宽演变；由注重高速移动向为低速移动优化演变；由电路交换/分组交换并重向全分组域演变；由蜂窝网络向兼顾热点覆盖演变；终端形态由以移动终端为主向便携、移动终端并重演变。

正是基于通信产业对“移动通信宽带化”的认识和应对“宽带接入移动化”挑战的需要，3GPP 开始了“长期演进”的进程。当然，对于在 2005 年即将 3GPP 的绝大部分力量投入 LTE 的研发，也并不是没有争议的。某些运营商和设备商认为不应该因为对 LTE 的投入，放弃了对 3G 系统的继续优化，因此在 2006 年年初，又启动了 HSPA 演进（又称为 HSPA+）工作，以最大限度地保护已经部署了 3G 网络的运营商的投资。这个项目将在 1.5.6 节中介绍。

1.2.2 国际宽带移动通信研究和标准化工作

LTE 项目的启动，首先是源于业界对“移动通信宽带化”的共识。但一次技术变革，不是一朝一夕能够实现的。先进无线通信系统的研发必须建立在学术界和基础研究领域雄厚的技术储备的基础上，这包括相关的数学、物理、射频工程、通信理论、信号处理、无线资源管理等各方面的理论积累。在为以 CDMA 为核心的 3G 系统的标准化提供了理论基础后，学术和理论研究界已经为新一代无线通信技术积累了十几年，到了 21 世纪最初的几年，在 OFDM、多天线、调度、反馈等技术领域的研究成熟度已基本可以支撑标准化和产品开发的需要，研发基于 OFDM 和 MIMO（多入多出）技术的新一代无线通信系统的时机成熟了^[1-1]。

OFDM 和 MIMO 技术始终被看做 B3G/4G 的关键技术，对这两项技术的研发也多在 B3G 研究项目中进行。B3G 技术的研究从 20 世纪末 3G 技术完成标准化之时就开始了。国际电信联盟无线部门（ITU-R）于 2006 年正式将 B3G 技术命名为 IMT-Advanced 技术，并于 2008 年 2 月发出通函，向各国标准化组织征集 IMT-Advanced 技术提案。IMT-Advanced 定位于更高的数据率和更大的系统容量，峰值速率目标为：低速移动、热点覆盖场景下 1Gbit/s；高速移动、广域覆盖场景下 100Mbit/s。ITU-R 同时还承担了至关重要的 IMT-Advanced 频谱分配方案的研究工作，如频谱需求计算方法、频谱需求估算、候选频谱研究、频谱共存研究等，并组织了 2007 年世界无线大会（WRC07）的准备会（CPM），最终在 2007 年年底的 WRC07 大会上确定了 IMT-Advanced 的可用频谱。

在 IMT-Advanced 项目启动之前，国际上对 B3G 技术已经进行了广泛的研究，并取得了一系列重要的进展。早在 20 世纪末，朗讯（Bell 实验室）、北电等公司就已经开始了实用 MIMO 技术的研发，使北美地区的公司后来在 MIMO 技术的研发方面始终处于领先的位置。

日本 NTT DoCoMo 公司于 2003 年 5 月在外场实验中采用 OFDM 技术，在 100MHz 带宽中实现了 100Mbit/s 数据率，并在其后通过 MIMO 技术不断打破其创造的“峰值速率”世界纪录，分别于 2005 年 5 月、2005 年 12 月和 2006 年 12 月在外场实验中实现了 1Gbit/s（采用 4×4 天线）、2.5Gbit/s（采用 6×6 天线）、5Gbit/s（采用 12×12 天线），向世界验证了 OFDM/MIMO 系统的硬件可实现性，展示了 OFDM/MIMO 技术在提供大宽带传输和高峰值速率方面的惊人能力，为业界采用 OFDM/OFDM 技术树立了信心。

2000 年，Flarion 公司从朗讯公司分拆出来，研发出了 Flash-OFDM 系统，成为最早的 OFDM 商用无线通信系统之一，在 2004 年就曾进行过商用组网测试，初步验证了 OFDM 系统大规模组网的能力。

同时,以英特尔公司和德州仪器(TI)公司为代表的IT厂商联合三星、北电等电信厂商选择OFDM/MIMO技术开始研发WiMAX技术,并于2004年年底颁布了固定城域无线接入版本IEEE 802.16d,声称可以以很低的成本实现很高的性能,在国际上引起了热烈的反响,对传统移动通信产业产生了冲击,间接导致了3GPP LTE项目的快速上马。2005年年底,支持一定移动性和多小区组网的IEEE 802.16e标准完成,在时间上对LTE形成了潜在压力,迫使3GPP在LTE标准化进程方面不敢有丝毫懈怠。在IEEE的标准化工作完成后,WiMAX产业界继续通过WiMAX论坛筛选、完善IEEE 802.16e标准,以形成可供产业实现的WiMAX技术规范。另外,IEEE在2006年12月又批准了802.16m的立项申请(PAR),此项目将在IEEE 802.16e的基础上继续增强,研发满足IMT-Advanced需求的技术方案。

和IEEE 802.16工作组同时建立的IEEE 802.20工作组虽然也采用OFDM/MIMO技术,但直接定位于高速移动的广域无线接入技术。IEEE 802.20的标准进程在相当长的时间里陷于停滞,但在2005年骤然加速。在2006年1月召开的第17次会议上,高通公司提出的MBFDD/MBTDD方案被初步选为IEEE 802.20的基本技术方案。虽然由于种种原因,IEEE 802.20标准始终没有完成,但MBFDD/MBTDD成为了3GPP2 UMB技术的基础。3GPP2的UMB项目可以对应于3GPP的LTE,致力于cdma2000技术的进一步演进。这个项目的开始时间虽然略晚于LTE(UMB需求于2006年1月完成),但工作进度很快,在2007年上半年即基本完成了标准的制定工作。

说到欧洲在B3G技术方面的准备,则离不开欧盟第6框架研究项目无线世界计划新无线(Wireless world INitiative NEw Radio, WINNER)计划的支撑,这个项目虽然规模并不是很大,但对全球B3G技术研究都产生了深远的影响。WINNER项目非常重视系统架构的整体设计和评估,在候选技术的比较与遴选、控制信令与资源管理、网络架构设计、信道模型与系统评估等方面做了大量细致缜密的工作,为欧洲厂商参与LTE标准化工作打下了坚实的基础。尤其是WINNER研发的MIMO信道模型,成为了3GPP和3GPP2标准化统一采用的评估模型。WINNER项目自2004年启动以来,吸引了欧洲各主要通信设备商,第一阶段(Phase I)于2005年底完成,就各种B3G关键技术进行了广泛的调研,形成了系统化的研究结论。第二阶段(Phase II)于2007年年底结束,完成了B3G系统设计的研究和性能评估,形成比较完善的技术方案。2008年将要开始的第三阶段(又称为WINNER+)则计划进行演示系统的开发和实验。

在进行技术研究和系统开发的同时,各国也大力推动B3G技术研发的国际交流。欧盟支持的世界无线研究论坛(WWRF)已经成为国际B3G技术交流的主要平台之一。另外,日本、韩国和中国也分别成立了移动信息技术论坛(mobile Information Technology Forum, mITF)、下一代移动通信(Next Generation Mobile Communications, NGMC)论坛和未来通用无线环境研究(Future Technology for Universal Radio Environment, FuTURE)论坛,推广自己的B3G研究成果。

2006年,数家国际移动通信运营商联合成立了下一代移动网络(Next Generation Mobile Network, NGMN)论坛,致力于引领新一代宽带移动通信的走向,后期各大主要无线通信设备商也陆续加入,使NGMN论坛成为无线通信领域最具影响力的非标准化组织。目前NGMN白皮书已经初步成形,对宽带移动通信技术提出了明确、细致的需求,正在对各国各标准化组织的研究和标准化工作产生重大影响,尤其是对LTE的研发起到了重要的引导作用。

上述各种国际研究和标准化工作,有些为LTE设定了技术指标,有些为LTE提供了技术储备,有些为LTE验证了设备可实现性,有些提供了可供LTE借鉴的经验和教训,有些对LTE施加了竞争压力,从各个方面促进了LTE项目的发展。