

“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) 系统架构与技术规范

3GPP Long Term Evolution:
Architecture and Specification

□ 赵训威 林辉 张明 姜怡华 张鹏 岳然 李国荣 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) 系统架构与技术规范

3GPP Long Term Evolution:
Architecture and Specification

□ 赵训威 林辉 张明 姜怡华 张鹏 岳然 李国荣 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)系统架构与技术规范 / 赵训威等
编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.1
(“863”通信高技术丛书)
ISBN 978-7-115-21604-5

I. ①3… II. ①赵… III. ①码分多址—移动通信—
通信系统—系统设计②码分多址—移动通信—通信技术—
技术规范 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第180395号

内 容 提 要

本书系统阐述了3GPP长期演进(LTE)的系统架构与技术规范。本书内容包括3G标准发展过程和3G系统中的关键技术, LTE空中接口物理层规范, LTE空中接口高层协议栈, LTE无线射频特性, LTE无线接入网体系结构, LTE典型流程, 3G核心网络的后续演进(EPC)。

本书可供从事移动通信工作的研发人员、工程技术人员、运营管理人员阅读(尤其适合LTE、4G技术研究和开发人员使用), 也可供高等院校通信及相关专业的师生参考。

“863”通信高技术丛书

3GPP 长期演进(LTE)系统架构与技术规范

◆ 编 著 赵训威 林 辉 张 明 姜怡华 张 鹏
岳 然 李国荣

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>
北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 26.5

字数: 649千字

印数: 1-3 500册

2010年1月第1版

2010年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21604-5

定价: 68.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

“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

自 20 世纪 80 年代以来,移动通信在全球范围内得到了迅速发展。伴随着 GSM 等移动网络自 20 世纪 90 年代以来的广泛普及,全球语音通信业务获得了巨大的成功。同时,随着数据业务和应用的重要性与日俱增, GSM 网络也已经演进到 GPRS/EDGE 和 WCDMA/HSDPA 网络。但从未来的发展趋势看,用户希望通过移动终端随时随地交流各种信息,包括语音、电子邮件、图片、音乐和视频,尤其是大数据量的信息,比如视频的无线移动传输。这就要求新的移动宽带系统传输速率更快,传输的过程更加稳定,支持更便携的终端设备。为了适应业务带宽、传输时延以及网络覆盖等多方面的需要,3GPP 又推出了新的演进技术——演进分组系统(Evolved Packet System, EPS)。演进分组系统是 3GPP 标准委员会制定的 3G UMTS 最新演进标准,主要包括无线接口长期演进(Long Term Evolution, LTE)和系统架构演进(System Architecture Evolution, SAE)。

2009 年 1 月,我国工业和信息化部颁发了第三代移动通信(3G)牌照,此举标志着我国正式进入了 3G 时代,并且国内运营商都宣布将 LTE 作为向 4G 演进的路线和方向。为保证我国在未来的移动通信领域的竞争力和话语权,尤其为保证 TD-SCDMA 能够长期可持续发展,我们需要增加国内 LTE,尤其是 TD-LTE 研究的深度和广度,加快其标准化、研发和产业化进程。在标准化方面,我们要与国际同行合作积极推进和完善 LTE 及 LTE-Advanced 标准;在研发和产业化方面,我们要组织有实力的企业加快推进 LTE 研发和产业化,并充分依托国内 TD-SCDMA 巨大的技术和产业优势,实现 TD-LTE “以我为主”战略目标。

该书作者均为 LTE 的资深研究人员,依托国内企业和研究机构并以 3GPP 独立会员的身份全面参与了 3GPP LTE 的技术研究和标准化过程,对 LTE 的系统架构和技术规范有深入的理解。本书的每一章节均由专门从事该项技术研究的人员进行撰写,这些人员在 LTE 专项技术上有较好的积累和较深的理解。作者从 2005 年开始对 LTE 的标准规范、系统设计和关键技术进行研究,在 LTE 标准研究和技术分析方面有较高的业务和写作水平,是国内 LTE 标准研究的专家。本书编写的素材除来自于 3GPP 最新的技术规范、技术报告、会议文稿等一手材料外,还融入了作者长期研究过程中积累的心得和总结,使得读者可以更好地理解 LTE 的内容。

本书从系统的角度来描述 LTE 移动通信系统,全面介绍了 LTE 系统的体系结构,重点是 LTE 在物理层、空中接口协议、网络接口等方面所涉及的功能实体和协议流程。另外,书中包含了大量图表和实例,使得读者可以更好地理解 LTE 系统的工作步骤和过程。本书是一本以 LTE 标准规范为主要内容的书籍,其特点是针对性强,系统性好,深入透彻。

经过近 5 年的工作,在 LTE 标准已基本完成之际,能够出版这样一本详细讲解 LTE 系统架构和技术规范的书籍,有助于业内相关人员加深对 LTE 技术规范的认识和理解,对通信业相关人员在 LTE 方面的深入研究、设备研发、系统部署和业务运营方面都能起到积极的参考作用。另外,本书还可以作为高校和研究单位的研究人员学习和阅读 LTE 技术规范的重要参

考资料。相信本书对从事移动通信工作的技术人员一定能起到较好的启发和指导作用。

随着 LTE 技术的发展，越来越多的通信从业人员会进入到 LTE 领域中来。掌握 LTE 的新技术、新规范，更新已有的概念和技能是摆在每个人面前的刻不容缓的工作。希望本书能给读者带来帮助，也希望作者能再接再厉，为移动通信事业做出更大的贡献。当然，LTE 标准及其技术的发展和完善是一个长期的过程，今后还要不断地修改和补充。本书的出版仅仅起到抛砖引玉的作用。希望业内专家和同仁持续关注和重视 LTE 的研究，促进 LTE 标准和技术的不断发展和完善，为我国移动通信产业进入新的时代而共同努力。

北京邮电大学教授、博士生导师



前 言

GSM 及其后续发展技术（包括 GPRS、EDGE、UMTS 等）已经被全球移动运营商广泛采用而成为不容争辩的主流移动通信技术。HSPA 技术更加速了第三代移动通信的发展，现在 HSPA 商用网络已可支持 7.2Mbit/s 的传输速率，并将在不久进一步提高到 14.4Mbit/s。那么也许会问，移动通信下一步又将往哪个方向发展？3GPP 已经从移动通信标准化的角度回答了这个问题：LTE 将成为新一代宽带无线移动通信发展的方向。

3GPP 标准组织早在 2004 年年底就启动了 3G 长期演进（Long Term Evolution, LTE）和系统架构演进（System Architecture Evolution, SAE）两大研究与标准化工作计划。经过 5 年多紧张而高效的工作，LTE 标准应该说已经成熟。LTE 引入了 OFDM 和 MIMO 等新型无线技术，使空中接口传输能力达到 100Mbit/s 以上，采用扁平化网络结构和全 IP 系统架构使传输延时更短和更适合承载数据业务，3GPP LTE 已经被公认为是能在 2010~2020 年支撑世界电信产业的移动通信系统。从技术演进的意义上说，LTE 更应该是一场技术革命。它一方面可以在几年内使 3GPP 标准相对其他移动通信标准保持持续的竞争优势，另一方面也为 3GPP 标准向 4G 演进打下坚实的基础。

LTE 是一项热门技术，与 LTE 相关的文章和资料越来越多，如学术界的论文、运营商的行业分析报告和厂家的产品推广手册等。而本书则从一个截然不同的角度，用不同的方法来讨论 LTE，旨在对 LTE 标准进行全面、权威和透彻的解读。本书的作者来自不同单位的研究部门（包括运营商、设备制造商和国家研究机构），并有不同的研究方向，但均在国际化的标准组织 3GPP 中长期参与 LTE 的研究和标准化工作，对 LTE 标准有着全面的把握和深刻的理解，将为读者系统而深入地阐述 LTE 标准。

本书针对 LTE 研究和开发人员系统地讲解 LTE 标准。本书开始部分回顾了第三代移动通信系统的发展过程及其后续技术演进，并对 3G 系统中所使用的关键技术作了较为深入的介绍，以作为理解 3G 系统后续演进的背景知识；然后着重讲解了 LTE 物理层、空中接口协议、网络接口等方面所涉及的协议，接着讨论了 LTE 的系统架构和典型信令流程。本书最后还简要介绍了与 LTE 相对应的核心网络的后续演进（EPC）。

在此我们首先感谢参与 3G 演进标准化工作的人们，尤其是 3GPP RAN 的同事，没有他们的工作和贡献就不可能有这本书，我们将尽可能在参考文献中包含他们的工作和贡献。另外，感谢北京邮电大学教授、博士生导师张平为本书作序。张教授的期望和要求让我们写作时时刻刻警醒，行文尽量严谨，努力争取无一字无来历，无一说无理据。感谢中国移动研究院的徐晓东先生和华为技术有限公司的赵盟女士为本书提供的帮助和支持，感谢诺西公司的吴春丽女士审校了部分书稿。还要特别感谢刘洋编辑对本书提出的许多中肯建议和意见。最后，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、标准化研究和测试环境开发”

(2003AA123330) 和国家“十一五”新一代宽带无线移动通信网重大专项“LTE 基站预商用设备开发”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 LTE 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, 敬请读者和专家批评指正, 并提出宝贵意见。大家可通过本书编辑的电子邮箱 (liuyang@ptpress.com.cn) 与我们交流。

作 者

目 录

第 1 章 概述	1	2.8.1 概述	69
1.1 第三代移动通信的发展历史和背景	1	2.8.2 上行控制信息在 PUCCH 上的传输	76
1.2 第三代移动通信系统的 HSPA 演进	6	2.8.3 上行共享信道与控制信息在 PUSCH 上的传输	76
1.3 第三代移动通信系统的 LTE 演进	9	2.8.4 下行广播信道的传输	82
1.4 其他的无线通信系统	17	2.8.5 下行共享信道、寻呼信道和多播信道的传输	82
1.5 未来演进	24	2.8.6 下行控制信息的传输	83
参考文献	27	2.8.7 下行控制格式信息的传输	88
第 2 章 物理层规范	29	2.8.8 HARQ 指示信息的传输	89
2.1 概述	29	2.9 物理层过程	89
2.2 多址方式	29	2.9.1 小区搜索与下行同步	89
2.2.1 下行多址方式	30	2.9.2 上行传输时间的调整与同步	89
2.2.2 上行多址方式	30	2.9.3 功率控制	90
2.3 无线帧结构	31	2.9.4 随机接入过程	93
2.4 时隙结构与基本物理资源	33	2.9.5 下行共享信道传输的相关过程	94
2.4.1 物理资源块 (PRB)	33	2.9.6 上行共享信道传输的相关过程	105
2.4.2 虚拟资源块 (VRB)	34	参考文献	112
2.4.3 REG	37	第 3 章 无线接口协议	114
2.5 MIMO 方案	38	3.1 概述	114
2.5.1 层映射	38	3.2 空中接口协议	115
2.5.2 预编码	38	3.3 MAC	115
2.6 参考信号	42	3.3.1 MAC 结构和功能	115
2.6.1 下行参考信号	42	3.3.2 信道及信道映射	116
2.6.2 上行参考信号	45	3.3.3 随机接入过程	117
2.7 物理层信道与信号	52	3.3.4 维持上行同步	122
2.7.1 下行物理信道	53		
2.7.2 上行物理信道	62		
2.8 传输信道的编码、复用与交织	69		

3.3.5 数据传输	123	第 4 章 LTE 无线接入网体系结构	217
3.3.6 测量上报	131	4.1 LTE 网络结构及特点	217
3.3.7 非连续接收 (DRX)	133	4.1.1 LTE 网络架构	217
3.3.8 MAC 重配置	135	4.1.2 接入网和核心网的功能划分	223
3.3.9 MAC Reset	135	4.2 E-UTRAN 地面接口概述	224
3.3.10 MAC PDU	135	4.2.1 E-UTRAN 地面接口通用协议模型	224
3.4 无线链路控制 (RLC) 层	140	4.2.2 E-UTRAN 地面接口功能	225
3.4.1 结构和功能	140	4.3 控制平面信令及功能详解	226
3.4.2 BSR 中 RLC 可用数据	141	4.3.1 E-RAB 管理	226
3.4.3 TMD	141	4.3.2 UE Context 管理	233
3.4.4 UMD	142	4.3.3 切换过程	239
3.4.5 AMD	146	4.3.4 寻呼	259
3.4.6 SDU 丢弃过程	154	4.3.5 NAS 传输	260
3.4.7 重建 (Re-establishment) 过程	154	4.3.6 管理过程	263
3.5 分组数据汇聚协议 (PDCP) 层	154	4.3.7 cdma2000 隧道过程	278
3.5.1 结构	154	4.3.8 其他过程	280
3.5.2 功能	155	4.4 用户平面概述	288
3.5.3 BSR 中 PDCP 可用数据	156	参考文献	288
3.5.4 头压缩	156	第 5 章 LTE 无线射频特性	291
3.5.5 加密/解密	157	5.1 公共指标	291
3.5.6 完整性保护	157	5.1.1 工作频段	291
3.5.7 UE 处理 PDCP 数据过程	158	5.1.2 信道带宽	292
3.5.8 重建过程	160	5.1.3 信道配置	294
3.5.9 状态报告	162	5.2 无线基站特性	295
3.5.10 PDCP 丢弃	162	5.2.1 基站发射机特性	296
3.5.11 PDU 结构和参数	162	5.2.2 基站接收机特性	309
3.6 RRC 协议	164	5.3 用户终端特性	315
3.6.1 功能	164	5.3.1 UE 发射机特性	316
3.6.2 系统信息	168	5.3.2 UE 接收机特性	325
3.6.3 连接控制	173	参考文献	330
3.6.4 RAT 之间的移动性	187	第 6 章 LTE 典型信令过程	331
3.6.5 测量	191	6.1 基本过程	331
3.6.6 其他过程	203	6.1.1 寻呼过程	331
3.6.7 小区选择和重选	206		
参考文献	215		

6.1.2 RRC 连接相关过程.....	332	7.2.6 网络管理功能.....	377
6.2 切换过程.....	336	7.2.7 选择功能.....	379
6.2.1 切换相关的 RRC 信令 交互过程.....	336	7.2.8 IP 网络相关功能.....	381
6.2.2 切换相关的 S1AP 信令 交互过程.....	339	7.2.9 eNode B 和多个 MME 连接的功能.....	381
6.2.3 几个典型的 LTE/SAE 切换流程.....	340	7.2.10 E-UTRAN 共享功能 ..	381
6.3 会话管理过程.....	347	7.2.11 APN 和 IP 地址分配 ..	382
6.3.1 UE 触发的服务请求 过程.....	347	7.2.12 网络协助的小区变更 (NACC) 功能.....	383
6.3.2 网络触发的服务请求.....	349	7.2.13 计费管理.....	384
6.3.3 专用承载激活过程.....	351	7.2.14 支持多 PDN.....	384
6.4 其他过程.....	352	7.3 EPC 网元功能.....	384
6.4.1 E-UTRAN 附着.....	352	7.3.1 MME.....	384
6.4.2 跟踪区域更新过程.....	356	7.3.2 服务网关.....	385
6.4.3 去附着过程.....	358	7.3.3 PDN 网关.....	385
6.5 本章附录.....	360	7.3.4 PCRF.....	386
6.5.1 无线资源配置过程.....	360	7.3.5 和 PDN 网关关联的 AAA 服务.....	386
6.5.2 计时器.....	360	7.4 EMM 和 ECM 状态.....	387
6.5.3 几类小区的定义.....	361	7.4.1 EPS 移动管理 (EMM) 状态.....	387
6.5.4 信令无线承载 (SRB).....	361	7.4.2 EPS 连接管理 (ECM) 状态.....	388
6.5.5 消息列表.....	361	7.4.3 状态转移和功能.....	389
参考文献.....	363	7.5 QoS.....	390
第 7 章 第三代移动通信核心网络 演进 (EPC).....	365	7.5.1 PDN 连接服务.....	390
7.1 架构参考模型和接口协议	366	7.5.2 EPS 承载.....	390
7.1.1 非漫游架构.....	366	7.5.3 承载级 QoS 参数.....	392
7.1.2 漫游架构.....	367	7.5.4 对应用层、服务层和 传输层的速率调整.....	393
7.1.3 接口协议.....	369	7.5.5 EPS QCI 与 UMTS QoS 参数的映射.....	393
7.2 EPC 逻辑功能.....	371	7.6 标识管理.....	394
7.2.1 网络接入控制功能.....	371	7.7 安全.....	395
7.2.2 分组路由和传输 功能.....	371	7.7.1 EPS 系统的安全架构 ..	395
7.2.3 安全功能.....	372	7.7.2 EPS 安全特性.....	396
7.2.4 移动管理功能.....	372	参考文献.....	398
7.2.5 无线资源管理功能.....	377	缩略语.....	400

第1章 概述

1.1 第三代移动通信的发展历史和背景

从 19 世纪 90 年代马可尼进行第一次无线通信实验开始，移动通信从只为少数人服务的昂贵的蜂窝系统发展到当前被世界近一半人口所使用的全球移动通信系统，经历了 100 多年的发展历程。要想理解今天复杂的 3G 移动通信系统，我们有必要先回顾其过去的发展历程。

1946 年，AT&T 推出了世界上第一个商用的车载电话业务并得到了美国联邦通讯委员会（FCC）的批准，第二年，AT&T 又第一次提出了蜂窝（即复用无线频率）的概念。蜂窝概念的提出，为后来所有移动通信系统的发展奠定了基础。在此后的很多年中，商用移动技术始终只停留在车载业务，原因是设备的体积大、功率不足。还不仅仅是业务上的限制，在 20 世纪 50 年代到 60 年代期间，很多国家都应用了移动通信系统，但用户最多只有几千人。随后无线通信受到国际的普遍关注，用户数量和业务需求急剧增加。

第一个国际移动通信系统为模拟 NMT（Nordic Mobile Telephone，北欧移动电话）系统，该系统是由北欧各国在 1981 年推出的。同一时期推出的还有北美的模拟 AMPS（Advanced Mobile Phone System，先进移动电话系统）。此外，在当时的世界范围内，还存在其他的一些模拟蜂窝技术，例如 TACS 和 J-TACS。所有这些系统的共同问题是：设备的体积依然很大；主要支持车载业务；语音质量差，通话经常断断续续，用户之间会出现串话。

在 20 世纪 80 年代期间，数字通信的出现，推动了基于数字技术的第二代移动通信系统及其标准化的发展。数字技术的使用，不仅增加了系统的容量，也使业务质量更加可靠，并且促进了更具吸引力的、真正意义上的移动设备的出现。

在欧洲，CEPT¹的电信管理局启动了 GSM 项目来发展泛欧移动电话系统。后来又改由新成立的欧洲电信标准化协会（European Telecommunications Standards Institute，ETSI）来承担继续推进 GSM 项目的任务。20 世纪 80 年代中期，CEPT 分别对基于 TDMA、CDMA 以及 FDMA 的方案进行了评估，最终的 GSM 标准是建立在 TDMA 基础上的。与此同时，另一些国家也展开了数字蜂窝的标准化工作：美国的 TIA 提出了基于 TDMA 的 IS-54 标准，后来被简称为 US-TDMA；1993 年，TIA 又完成了一个 CDMA 标准，被称为 IS-95；日本也提出了自己的第二代 TDMA 标准，通常被称为 PDC。

所有这些标准从某种意义上来讲都是“窄带”的，它们主要针对“窄带”业务，例如语音。随着技术的发展，第二代数字移动通信也开始支持数据业务。第二代数字移动通信（2G）支持的数据业务主要为短信息业务（SMS）和电路交换数据业务（如 E-mail）以及其他的数据应用。2G 系统的峰值数据速率最初为 9.6kbit/s，后来在演进的 2G 系统中，通过采取一些

1 欧洲邮政和电信管理委员会（Confederation of European Posts and Telecommunications，CEPT），包含 47 个国家的电信管理局（Telecom Administrations）。

措施, 例如分配多个时隙给一个用户以及改进编码方法, 可以获得更高的数据速率。

随着 GPRS (General Packet Radio Service) 被引入 GSM 系统, 在蜂窝系统中传输分组数据 (Packet Data) 在 20 世纪 90 年代的后半期变成了现实。此外, 其他的蜂窝技术也增加了分组数据业务, 例如日本的 PDC 标准。这些技术通常被称为 2.5G。无线数据业务 (iMode) 在日本的成功非常清楚地说明了分组数据应用在移动系统中的潜能, 尽管当时支持的数据速率还相对较低。

3G 及 UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) 高带宽无线接口的出现, 为拓展新业务提供了可能。当前主要由 3GPP 来推动 3G 无线接入的发展, 但是早在 20 世纪 90 年代, 3G 的初始研究阶段就已经启动, 比 3GPP 成立要早得多。

蜂窝标准的国际化也为 3G 提供了舞台。GSM 是一个泛欧计划, 但是很快引起了世界范围内的兴趣, 因而 GSM 标准被欧洲以外的许多国家所采用。由于产品市场变得更加庞大, 从经济角度考虑, 就要求一个统一的全球标准, 从而使得围绕 3G 蜂窝技术的国际合作与以往相比变得更加的紧密。

1. 3G 的由来

20 世纪 80 年代, ITU (International Telecommunication Union, 国际电信联盟) 开始了第三代移动通信的研究工作。其无线通信部门 ITU-R 在 1990 年推出了第一个推荐方案, 该方案定义了未来公众陆地移动通信系统 (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems, FPLMTS), 后来在 1997 年又进行了进一步修正。随后在 ITU 内部, 3G 的名称也由 FPLMTS 更改为 IMT-2000。世界无线电管理大会 WARC-92 在世界范围内为 IMT-2000 分配了 230MHz 的频谱。在这 230MHz 中, $2 \times 60\text{MHz}$ 频谱对用于 FDD, 35MHz 非成对频谱用于 TDD, 这两者均用于陆地通信。对于卫星业务, 也分配了专门的频谱资源。以上工作完成后, IMT-2000 就正式进入了标准化阶段。

ITU-R 内部的工作组 WG8/1 提出了一系列建议, 在这些建议中定义了 IMT-2000 的业务类型、网络架构、无线接口要求、频谱分配以及评估方法, 这些定义涵盖了 IMT-2000 的陆地通信部分和卫星通信部分。

WG8/1 在 ITU-R 建议 M.1225 中定义了评估 IMT-2000 技术的流程, 该评估准则制定了 3G 电路交换和分组交换数据业务的目标数据速率。

- (1) 室内环境要达到 2Mbit/s。
- (2) 步行环境要达到 144kbit/s。
- (3) 车载环境要达到 64kbit/s。

这些指标成为所有 3G 技术参照的基准。但是, 从现在看来, 3G 系统的数据速率已经远远超过 2Mbit/s。

除了国际电信联盟外, 在 20 世纪 90 年代期间世界各国也在 3G 的研究工作中投入大量的精力。在欧洲, 未来无线宽带多址系统 (Future Radio Wideband Multiple Access System, FRWMAS) 项目提出了 UMTS 系统的多址方案, 包括宽带 CDMA 部分和宽带 TDMA 部分。在日本, 无线电工商业协会 (Association of Radio Industries and Businesses, ARIB) 也在进行基于宽带 CDMA 的 3G 无线通信技术的研究。在美国, T1.P1²委员会研究和发

2 T1.P1 委员会为 T1 的一部分, 现已加入 ATIS 标准化组织。

WIMS 的宽带 CDMA 技术。韩国在这个时候也开始了宽带 CDMA 的研究工作。中国也在此期间提出了 TD-SCDMA 标准。

2. 3G 的标准化

在 1998 年末 3GPP (Third Generation Partnership Project) 组织成立之前, 3G 的标准化工作一直在各个地区标准化组织之间并行进行。为了更好地协调多个地区的标准化工作, 由 3GPP 统一负责 UMTS 的标准化工作, 该组织囊括了来自世界所有地区的标准化组织。当前 3GPP 的组织成员有 ARIB (日本)、CCSA (中国)、ETSI (欧洲)、ATIS (美国)、TTA (韩国) 和 TTC (日本)。

在 1998 年刚成立时, 3GPP 的工作范围是为基于演进的 GSM 核心网的 3G 移动系统, 包括基于 WCDMA 的 UTRA FDD 无线接入方式和基于 TD-CDMA 的 UTRA TDD 无线接入方式, 提出一套全球规范。到后期, 3GPP 又增加了维护和发展 GSM/EDGE 规范的任务。UTRA (和 GSM/EDGE) 规范的发展、维护和审核均由 3GPP 承担。经审核后, 各组织成员再根据本地区的情况将它们转化为合适的标准。

在 3GPP 中, TSG RAN 技术规范组负责 3G 无线接入的标准化工作, 它已经发展了 UMTS 及其演进 HSPA 和 LTE, 并且站在技术的最前沿。TSG RAN 包含 5 个工作组 (WG)。

(1) RAN WG1 致力于物理层规范。

(2) RAN WG2 致力于层 2 和层 3 的无线接口规范。

(3) RAN WG3 致力于固定的 RAN 接口, 例如 RAN 内部节点之间的接口, 但是也包括 RAN 和核心网之间的接口。

(4) RAN WG4 致力于射频 (RF) 和无线资源管理 (Radio Resource Management, RRM) 性能要求。

(5) RAN WG5 致力于终端适应性测试。

3GPP 的工作是在相关的 ITU 建议的指导下进行的, 其成果也将属于 ITU。各组织成员必须根据本地区的情况提出区域性需求, 这些区域性需求对标准中方案的选择和规范具有指导意义, 例如区域性频带和针对某个区域的特殊的保护需求。规范的发展必须考虑到终端的全球漫游, 这就意味着许多区域性的需求在本质上将会变为针对所有终端的全球性需求, 原因是一个漫游的终端不得不满足所有区域性需求的限制。因此, 对于基站来说, 规范中的区域性方案相比于终端要更加的宽泛。

TSG 会议每年举行 4 次, 这些会议结束后, 所有的规范都会被更新。3GPP 文档被分为若干个版本, 其中下一个版本都比上一个版本增加了一部分内容。这些增加的内容即是在 TSG 会议上通过的内容。R7 版本之前的版本更新及每个版本的一些主要特征如图 1-1 所示。每个版本上标注的日期表示的是该版本内容定稿的日期。出于历史原因, 第 1 个版本由其定稿的年份 (1999 年) 编号, 而其他的版本则被编号为 4、5 等。

对于 TSG RAN 发展的 WCDMA 无线接入技术来说, R99 版本包含了满足 IMT-2000 要求 (由 ITU 定义) 所需的所有特征: 电路交换的语音和视频业务以及由分组交换和电路交换共同支持的数据业务。对 UMTS 的无线接入特征的第一次大规模的增加是以高速下行分组接入 (High Speed Downlink Packet Access, HSDPA) 为主要特征的 R5 版本和以上行增强 (Enhanced Uplink) 为主要特征的 R6 版本。这两个版本合称为 HSPA; 同时 R7 版本在 HSPA 的基础进行了进一步的增强, 成为 HSPA+。在本章将会对 HSPA+ 进行简单的介绍。

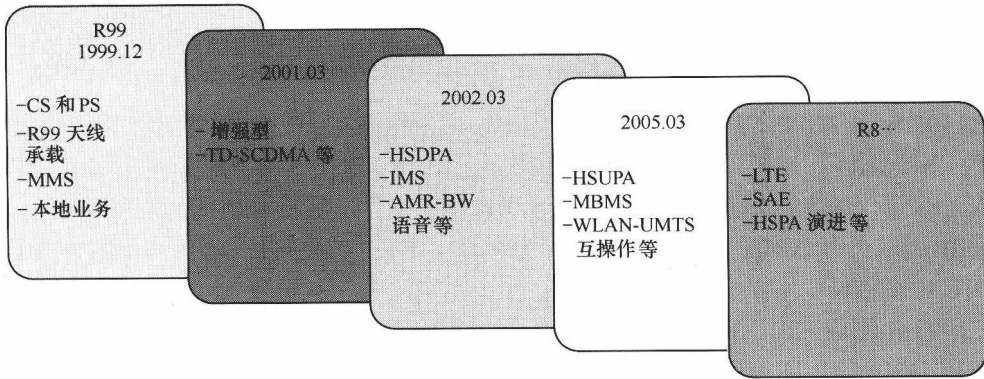


图 1-1 UTRA 的 3GPP 规范版本

再进一步的工作，即对演进的 UTRAN (LTE) 及相关的系统构架演进 (SAE) 的研究，将围绕宽带性能展开。LTE 和 SAE 的相关内容将在本书的第 2~7 章进行详细介绍。

3. 3G 频谱

3G 频谱在世界无线电管理大会 (World Administrative Radio Congress, WARC-92) 上被首次确定。212 号决议确定了 1 885~2 025MHz 以及 2 110~2 200MHz 频段，预备分配给打算应用 IMT-2000 的国家的相关管理部门。在 230MHz 的 3G 频谱中，2×30MHz 打算分配给 IMT-2000 的卫星部分，余下的分配给陆地部分。这些频段的一部分在 20 世纪 90 年代期间曾被用于配置 2G 蜂窝系统，特别是在美国。2001~2002 年，3G 在日本和欧洲首次应用的时候分配的即为该频段，正是由于这个原因，通常将其称为 IMT-2000 核心频段。

世界无线通信会议 (World Radio-communication Conference, WRC-2000) 的 223 号和 224 号决议确定了 IMT-2000 的附加频谱，这是考虑到 ITU-R 预计还需要为 IMT-2000 增加 160MHz 的频谱。增加的频谱包括用于 2G 移动系统的频段 806~960MHz 和 1 710~1 885MHz，以及新的 3G 频段 2 500~2 690MHz。决议中分配给 2G 的频段也被公认为用于现有的 2G 移动系统向 3G 系统的演进。

各个地区间的 3G 频段分配稍微有些不同，这就意味着不能仅采用一个单一的频段来实现 3G 在世界范围内的漫游。为了定义能够用来支持漫游的且数量最少的一系列频段，相关人员倾注了大量的努力。通过这种方式，多频段设备能够为 3G 提供世界范围内的漫游。

ITU-R 建议 M.1036 草拟了世界范围内的频率规划。该建议同时还确定了对称频谱和非对称频谱。对于对称频谱来说，其上行 (移动设备发送) 和下行 (基站发送) 频带将被用于 FDD 方式。非对称频谱可被用于 TDD 方式。值得注意的是，对于 3G 系统来说，全球普遍配置的频段依然是 2GHz。

3GPP 首次定义的 R99 版本采用的是 2GHz 频段，并且将 2×60MHz 分配给 UTRA FDD，将 20+15MHz 的非对称频谱分配给 UTRA TDD。同时，为了在美国 PCS 频段应用 UTRA，还另外定义了 1 900MHz 频段。频段的概念及其各自的要求以及与版本无关的要求在 3GPP 规范的 R5 版本中进行了定义。与版本无关意味着在后来的版本中增加的新频段在前面的版本也可以使用。所有频段在定义的过程中还考虑到了哪些频段可以在同一个区域中使用，即哪些频段能够同时满足基站和终端的特殊的共存要求。这些严格的要求使得在同一个地区的不同频段上配置的 3G (和 2G) 系统之间能够共存，甚至能够使得采用不同频段的各基站实现共址。

3GPP 规范的 R7 版本包括 10 个 FDD 频段和 4 个 TDD 频段。FDD 频段用罗马数字 I ~ X 进行编号，如表 1-1 所示。TDD 频带按字母表顺序 a~f 命名，如表 1-2 所示。根据前文提到的版本无关性，所有的频段均可被应用于 R99。

表 1-1 3GPP 为 UTRA FDD 定义的频段

工 作 频 段	上行工作频率 UE 发送(MHz)	下行工作频率 UE 接收 (MHz)	应用国家和地区
I	1 920~1 980	2 110~2 170	欧洲 亚洲 澳大利亚
II	1 850~1 910	1 930~1 990	北美
III	1 710~1 785	1 805~1 880	欧洲 亚洲
IV	1 710~1755	2 110~2 155	美国 加拿大
V	824~849	869~894	北美 澳大利亚 菲律宾
VI	830~840	875~885	日本
VII	2 500~2 570	2 620~2 690	欧洲
VIII	880~915	925~960	欧洲 亚洲 澳大利亚
IX	1 749.9~1 784.9	1 844.9~1 879.9	日本
X	1 710~1 770	2 110~2 170	美国

表 1-2 3GPP 为 UTRA TDD 定义的频段

工 作 频 段	工作频率 (MHz)	应 用 地 区
a	1 900~1 920 2 010~2 025	欧洲 亚洲
b	1 850~1 910 1 930~1 990	美国
c	1 910~1 930	美国
d	2 570~2 620	欧洲
e	2 300~2 400	中国
f	1 880~1 920	中国

有些 FDD 频段部分的或完全的重叠。这在大多数情况下可以用区域差异进行解释。同时，频段的高度公共性有利于实现全球漫游。

频段IV是 WRC-2000 为美国引入的新的频段。其下行与频段 I 的下行完全重叠，这样不仅促进了漫游，而且简化了双带 I /IV终端的设计。

频段 X 是对频段IV的扩展，从 2 × 45MHz 扩展到 2 × 60MHz。

频段 V 和频段 VI 是重叠的, 分别应用于不同的区域, 在规范中, 频段 VI 仅限于在日本使用。日本 2G 系统的频谱规划非常特殊, 频谱规划调整的第一步是将频段 VI 调整至与 810~960MHz 相一致。

频段 IX 与频段 III 重叠, 但其也是仅应用于日本, 这样将有利于实现双带 III/IX 终端的漫游。

1.2 第三代移动通信系统的 HSPA 演进

3GPP 规划的 3G 演进途径有两条, 即 LTE 和 HSPA 演进。这两种方法各有优点: LTE 能够在新的和更复杂的频谱规划条件下工作, 并且根本不需要考虑与更早版本的终端相兼容, 而是完全进行新的设计; HSPA 演进则在原有的基础上进行系统的平滑演进, 并需要保持对早期终端的后向兼容性。

1. HSPA 演进驱动力及指导思想

R6 版本中定义的 HSPA 极大地增强了 WCDMA 当中的分组数据功能, 该功能在 R7 版本及其后续版本中得到了进一步的增强。这里将其称为 HSPA 演进, 该演进既包括新的技术特征的引入 (例如 MIMO), 又包括对现有的结构进行许多小的升级, 所有这一切合起来将使得系统的性能和容量得到极大的提升。

对于 UMTS, HSDPA 以及紧随其后的 HSUPA 已在世界范围内实现了广泛的商用。运营商业已部署的 HSPA 网络需要为现有的成千上百万的具有不同技术特性的终端服务, 并后续支持很多年。因此 HSPA 演进工作的指导思想是继续增加新的和具有吸引力的技术特征, 同时要依然能够为现有的终端服务。换句话说, HSPA 演进需要与以前的版本保持后向兼容性, 以便能够为与 HSPA 演进终端位于相同载波的 UMTS 的早期版本的终端提供服务。

后向兼容性要求 HSPA 演进对技术加以特定的限制。例如物理层功能需要与 UMTS R99 版本保持兼容, 特别地两者的带宽必须保持相同, 这就限制了配置的可能性, 并且使得其峰值速率要低于 LTE。另一方面, HSPA 演进是建立在现有规范的基础上的, 并且协议改动仅涉及规范当中那些需要升级的部分。因此, 对于 HSPA 演进来说, 其标准化、实现和测试工作均比 LTE 要少。

HSPA 演进的需求主要来自 3 个方面: 更高的峰值速率、更高的资源利用率和更低的传输时延。峰值速率的提高主要体现在多天线技术 MIMO、更高阶调制 64QAM 以及层 2 增强, 前两项技术只用于下行 HSDPA 信道, 层 2 增强对上下行都适用; 资源利用效率的提高主要是针对几种典型的业务场景对资源分配机制进行了改进, 包括针对 VoIP 业务和 Always Online 业务所做的优化, 分解为 CPC (连续的分组连接) 和 CELL_FACH 增强两个特性; 传输时延优化主要体现在系统架构演进方面。以下我们将对这几个技术特性进行简要介绍。

2. 多天线技术 (MIMO)

MIMO 是 HSPA 演进新增加的主要特征之一, 引入 MIMO 是为了通过多流传输来提高峰值数据速率。广义说来, MIMO (多输入多输出) 泛指在发射端和接收端同时采用多天线。这可被用于获得分集增益进而增加接收端的载干比, 也可通过利用空间信道的相关性实现空间复用。在此, MIMO 仅指多层传输或多流传输以提高给定信道下的可能实现的峰值数据速