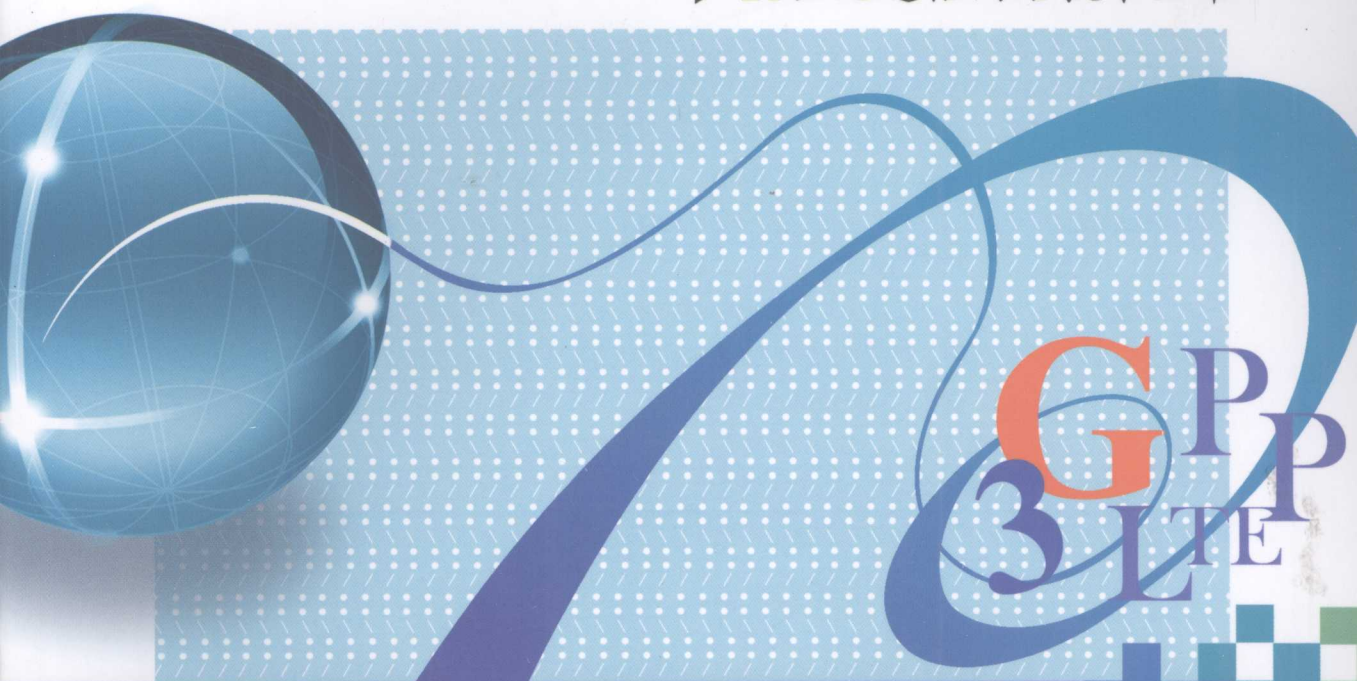


► 21世纪通信网络技术丛书



3GPP LTE 无线通信新技术系列

LTE—B3G/4G

移动通信系统无线技术

张克平 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

LTE-B3G/4G 移动通信系统无线技术

张克平 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书作者为教授级高工，2003年获西安交通大学博士学位，目前在贝尔实验室（德国）从事第四代无线技术的研发工作。

本书是专门介绍 B3G/4G 移动通信系统中 LTE 无线技术的专著。全书共分 10 章，主要内容包括：移动通信技术发展简史、LTE/SAE 标准化的主要目标、LTE 体系结构、LTE 物理层、LTE 无线接口协议、无线资源管理、移动性管理、拥塞控制管理、LTE 性能评估和后 LTE 时代移动通信（无线）的发展趋势等。

本书适于从事电信工作，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者从事相关课题研究的本科生、研究生的参考书。

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

LTE-B3G/4G 移动通信系统无线技术/张克平编著. —北京：电子工业出版社，2008.6

（21 世纪通信网络技术丛书——3GPP LTE 无线通信新技术系列）

ISBN 978-7-121-06738-9

I. L… II. 张… III. 移动通信：无线通信—通信系统 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 072906 号

责任编辑：王春宁 田宏峰

印 刷：北京智力达印刷有限公司

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

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：787×1092 1/16 印张：19.75 字数：502 千字

印 次：2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：49.00 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 zllts@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，使通信技术得以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 网，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、网络新安全技术与策略、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
通信分社

前言

奈卡河是莱茵河的支流，蜿蜒穿越了半个德国。奈卡河的两岸走出了无数诗人和哲学家，黑格尔、豪夫、乌兰德、舒巴特、谢林、默里克、荷尔德林等，其中大名鼎鼎的黑格尔，就出生在我学习和工作的城市——德国斯图加特。

我们都知道黑格尔有个“剥洋葱”的故事。小男孩迫切地想知道洋葱里面到底长什么样，于是就剥了起来，洋葱在日月精华、沃土孕育和光合作用下，那层“橘红色的外衣”柔软而又坚固。男孩那稚嫩的小手要剥开第一层也是相当困难的，但他探索洋葱内心奥秘的那种强烈的好奇心，促使他不停地往下剥，剥了一层又一层，而呈现在他眼前的还是皮下有皮……

黑格尔把探索事物本质的过程，非常形象地比做“剥洋葱”。作者写作《LTE-B3G/4G 移动通信系统无线技术》的过程，就如同“剥洋葱”的过程一般。一层一层地剥开，每剥开一层都要经历“洋葱的辛辣”，这个过程漫长而又艰辛，但随着层层深入，目标也就越来越接近了。在这种痛并快乐着的生活中，此书得以与大家见面了。

读者在图1中可以看到本书的框架和阅读顺序。

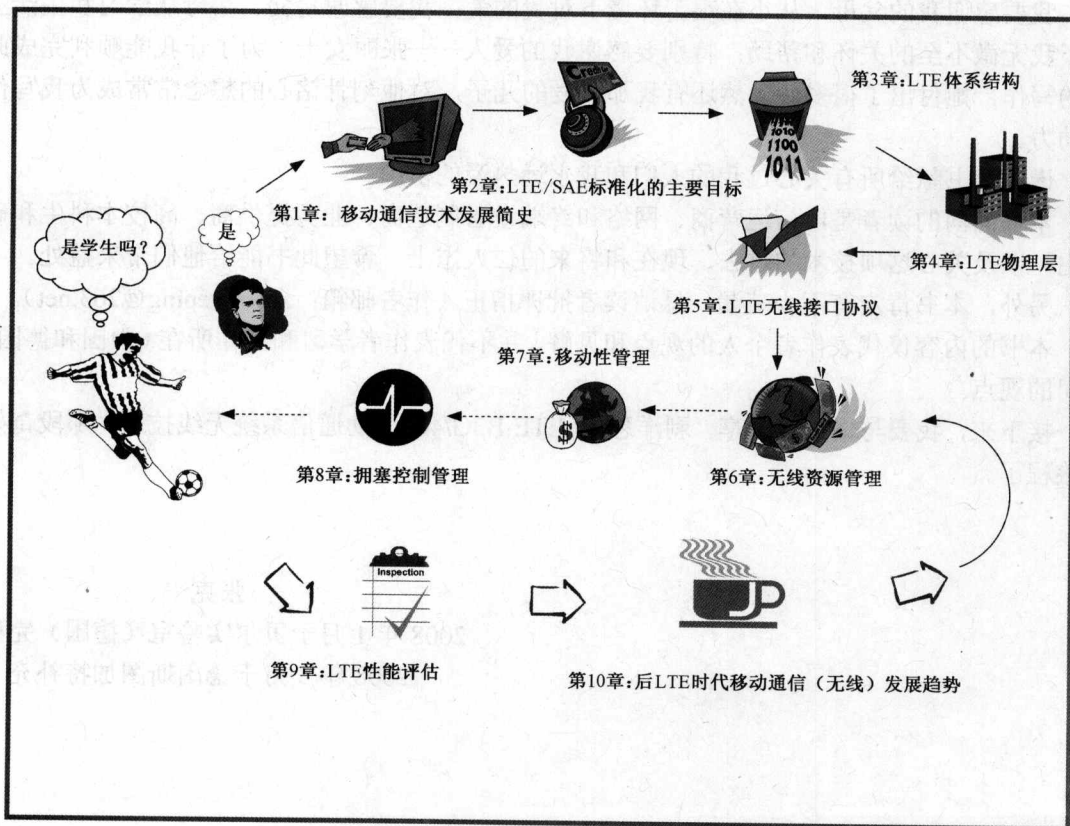


图1 本书的内容架构和阅读顺序

在本书的写作过程中，作者得到了众多师长、领导、亲人、师兄弟以及朋友们的支持、鼓励和帮助，作者在此表示由衷的谢意。

首先，要感谢我的导师——西安交通大学博士生导师李增智教授。他不仅对我有学业上的指导，更有师德师风和严谨科学态度的熏陶，使我终生受益。

更应感谢我的企业领导——中国移动通信集团宁夏公司的陆冰女士、余游先生、金宝铭先生和我的前任领导张义俊先生，以及多年与我共事的同事们。他们在工作中给我大力的支持，生活中给我始终如一的关怀，是我能够对移动通信技术进行更深入、更广泛研究的信心与动力。

贝尔实验室（德国）的诸多研究人员，在我写书期间给予了很大的帮助和激励，在此我想要特别感谢 Anton Ambrosy、Edgar Kuehn、Bernd Haberland、Laszlo Sabo 等，并且与他们开心融洽的相处值得我终生留恋和回忆。

在这里，我要特别提到的是那些通过博客和个人主页，给我的写作工作无私帮助和支持的同行们，Jacobson V、Floyd S、Lin L，还有许多人，我们虽未曾谋面，我力求在参考文献中把他们全部包揽进来，但可能还有一些被遗漏了。他们对待科学研究热忱而严谨的态度及奉献的精神深深感染了我。这让我写作时，时时警醒，立论尽量严谨，努力争取无一字无来历，无一说无理据。对于这些朋友我心存感激。

我要特别感谢电子工业出版社高级策划编辑王春宁博士，对此书提出的许多中肯的建议和意见。没有王博士的帮助，此书是无法与大家见面的。

我要感谢我的父母，从小在艰苦环境下对我的爱；我要感谢岳父、岳母从学习和生活上给了我无微不至的关怀和帮助；特别要感谢我的爱人——张丽女士，为了让我能顺利完成此书的写作，她付出了很多，当然还有我那可爱的儿子，对他刻骨铭心的想念常常成为我写作的动力。

谨以此书献给所有关心过我的人们和我永远热爱的祖国。

本书面向的读者是电信运营商、网络和终端设备制造商、业务提供商、高校本科生和研究生，以及关心这项技术的过去、现在和将来的仁人志士。希望此书能给他们带来益处。

另外，本书肯定有不少疏漏，恳请读者批评指正（作者邮箱：zhangkeping@263.net）。

本书的内容仅代表作者个人的观点和见解，并不代表作者学习和工作所在（中国和德国）公司的观点。

接下来，我要与你一起分享“剥洋葱”《LTE-B3G/4G 移动通信系统无线技术》那段奇妙的旅程了。

张克平

2008年1月于贝尔实验室（德国）完稿

2008年3月于德国斯图加特补充

目 录

第 1 章 移动通信技术发展简史	(1)
1.1 引言	(2)
1.1.1 本章的目的	(2)
1.1.2 移动通信的概念	(2)
1.1.3 移动通信航帆正破浪前行	(3)
1.2 初生代移动通信	(4)
1.2.1 发明创造是无线通信的基础	(4)
1.2.2 按钮启动式无线通话系统的诞生	(4)
1.3 第一代移动通信: 模拟语音	(5)
1.3.1 贝尔试验室发明高级移动电话系统	(5)
1.3.2 第一代移动通信的特点	(7)
1.4 第二代移动通信: 数字语音	(8)
1.4.1 数字高级移动电话系统 (D-AMPS)	(8)
1.4.2 全球移动通信系统 (GSM)	(10)
1.4.3 码分多址 (CDMA)	(12)
1.4.4 第二代移动通信的特点	(18)
1.5 第三代移动通信: 数字语音与数据	(18)
1.5.1 IMT-2000 计划	(18)
1.5.2 UMTS	(20)
1.5.3 TD-SCDMA	(25)
1.5.4 第三代移动通信的特点	(26)
1.6 第三代之后的移动通信: 宽带和多功能集成	(27)
1.6.1 4G 的基本概念和人们对 4G 的 6 个期望	(27)
1.6.2 4G 的主要技术	(28)
1.6.3 世界各国 (组织) 对 4G 的研发进展	(31)
1.6.4 未来宽带无线接入市场的竞争序幕已经拉开	(34)
1.6.5 3G 之后移动通信技术趋势以及与 3G 的特点比较	(35)
1.7 手机的发展过程与设计制造流程	(36)
1.7.1 手机的发展历程	(37)
1.7.2 手机的一般设计制造流程	(37)
1.7.3 LTE 手机	(38)
1.8 结束语	(39)
参考文献	(40)

第 2 章 LTE/SAE 标准化的主要目标	(42)
2.1 本章导读	(42)
2.2 呼之欲出的标准化组织机构	(43)
2.3 LTE/SAE 标准化工作的总体时间表和主要目标	(44)
2.3.1 制定 LTE 标准的时间表	(44)
2.3.2 LTE 标准化工作的主要目标	(45)
2.3.3 制定 LTE Plus 标准化工作的主要目标	(46)
2.4 频谱	(47)
2.4.1 全球尽可能统一频段	(47)
2.4.2 3G 和 4G 频谱	(47)
2.5 3GPP 规范的文档组织方式	(47)
2.5.1 3GPP 技术规范的主页面	(48)
2.5.2 3GPP 规范的正式文本	(48)
2.5.3 3GPP 技术规范小组的文档	(49)
2.5.4 3GPP 会议文档	(50)
2.5.5 参与 3GPP 标准化工作的各方信息	(51)
2.5.6 3GPP 规范的阅读方法	(52)
2.6 结束语	(53)
参考文献	(54)
第 3 章 LTE 体系结构	(55)
3.1 引言	(55)
3.1.1 本章的目的	(55)
3.1.2 数据协议的概念	(55)
3.1.3 传输层和网络层之间的关系	(58)
3.2 E-UTRAN 系统结构	(60)
3.2.1 E-UTRAN 的基本构架	(60)
3.2.2 E-UTRAN 的结构	(61)
3.2.3 E-UTRAN 内部的功能划分	(61)
3.2.4 E-UTRAN 结构与 UTRAN 结构的比较	(63)
3.3 E-UTRAN 通用协议模型	(64)
3.4 eNB 之间的接口 X2	(65)
3.4.1 X2 用户平面	(65)
3.4.2 X2 控制平面	(65)
3.5 eNB 和 EPC 的接口 S1	(67)
3.5.1 S1 用户平面	(67)
3.5.2 S1 控制平面	(67)
3.6 E-UTRAN 与 IP 传输	(69)
3.6.1 3GPP 无漫游的系统结构	(69)
3.6.2 3GPP 有漫游的系统结构	(70)

3.6.3	演进的 GTP 协议和它的使用范围	(71)
3.6.4	UE/eNB/MME 的控制平面协议栈	(73)
3.6.5	UE/eNB/网关的用户平面协议栈	(74)
3.6.6	E-UTRAN 连接过程举例	(74)
3.7	UMTS 核心网结构和演进	(78)
3.7.1	3GPP 核心网结构进化回顾	(78)
3.7.2	3GPP 的 SAE 结构	(80)
3.7.3	3GPP SAE 的 QoS 概念	(82)
3.7.4	E-UTRAN 的共享机制	(84)
3.7.5	3GPP 各版本核心网结构比较和演进趋势	(85)
3.7.6	LTE/SAE 中 IMS 语音应用举例	(86)
3.8	结束语	(91)
	参考文献	(91)
第 4 章	LTE 物理层	(93)
4.1	引言	(93)
4.1.1	本章的目的	(93)
4.1.2	数据通信的理论基础	(94)
4.1.3	物理层的功能和作用	(98)
4.1.4	ARQ 和 HARQ	(99)
4.2	帧结构	(102)
4.2.1	一型帧结构	(102)
4.2.2	二型帧结构	(102)
4.3	下行链路的物理设计	(103)
4.3.1	下行链路的时隙结构和物理资源划分	(103)
4.3.2	下行物理信道的一般结构	(105)
4.3.3	基于 OFDM 的基本下行传输方案	(105)
4.3.4	下行链路物理层的处理机制	(106)
4.3.5	下行链路的控制信道	(106)
4.3.6	下行链路的参考信号	(107)
4.3.7	下行链路的多天线传输	(108)
4.3.8	物理层的过程	(109)
4.4	上行链路的物理设计	(109)
4.4.1	上行链路的时隙结构和物理资源划分	(109)
4.4.2	上行链路的基本传输方案	(111)
4.4.3	上行链路物理层的处理机制	(113)
4.4.4	上行链路控制信道	(113)
4.4.5	上行链路参考符号	(114)
4.4.6	随机接入前导	(114)
4.4.7	上行链路多天线传输	(114)

4.4.8	物理信道的过程	(114)
4.5	物理信道的分工	(115)
4.6	传输信道	(116)
4.6.1	下行传输信道	(116)
4.6.2	上行传输信道	(117)
4.6.3	传输信道与物理信道的映射	(117)
4.7	物理层模型	(117)
4.7.1	传输信道物理层模型	(118)
4.7.2	物理层指示	(121)
4.8	调度	(122)
4.9	HARQ	(122)
4.10	MBMS	(122)
4.11	结束语	(123)
	参考文献	(124)
第5章	LTE 无线接口协议	(126)
5.1	引言	(126)
5.1.1	本章的目的	(126)
5.1.2	无线通信协议设计的一般流程与举例	(126)
5.2	无线接口协议架构	(130)
5.3	媒体访问控制 (MAC) 协议	(132)
5.3.1	MAC 子层提供的服务	(132)
5.3.2	MAC 子层提供的功能	(132)
5.3.3	逻辑信道的描述	(133)
5.3.4	逻辑信道与传输信道之间的映射	(134)
5.3.5	MAC 的 PDU 格式和参数	(135)
5.3.6	MAC 工作过程举例	(136)
5.4	无线链路控制 (RLC) 协议	(137)
5.4.1	RLC 的结构与实体	(137)
5.4.2	RLC 提供的服务	(140)
5.4.3	RLC 提供的功能	(140)
5.4.4	RLC PDU 的分类	(140)
5.4.5	RLC PDU 的格式和参数	(141)
5.4.6	RLC 的一个工作过程举例	(142)
5.5	分组数据汇聚 (PDCP) 协议	(144)
5.5.1	PDCP 的结构与实体	(144)
5.5.2	PDCP 的服务	(145)
5.5.3	PDCP 的功能	(145)
5.5.4	PDCP PDU 的结构	(145)
5.5.5	PDCP/RLC 联合工作过程举例	(146)

5.6	广播/组播控制协议	(146)
5.7	无线资源控制 (RRC) 协议	(147)
5.8	实例	(153)
	参考文献	(154)
第 6 章	无线资源管理	(155)
6.1	引言	(155)
6.1.1	本章的目的	(155)
6.1.2	网络资源的分配	(155)
6.2	无线准入控制	(157)
6.2.1	无线准入控制的功能	(157)
6.2.2	无线准入控制的原理	(157)
6.2.3	无线准入控制的算法	(159)
6.3	动态资源分配管理	(163)
6.3.1	动态资源分配的功能	(163)
6.3.2	动态资源分配的基础	(164)
6.3.3	下行动态资源分配方案	(166)
6.3.4	上行动态资源分配的算法	(175)
6.4	负载均衡控制	(180)
6.4.1	负载均衡的目的	(180)
6.4.2	负载均衡的原理	(180)
6.4.3	负载均衡的算法	(181)
6.5	结束语	(183)
	参考文献	(184)
第 7 章	移动性管理	(187)
7.1	引言	(187)
7.2	在 E-UTRAN 内部的移动性管理	(187)
7.2.1	在 LTE_IDLE 状态下的移动性管理	(188)
7.2.2	在 LTE_ACTIVE 状态下的移动性管理	(189)
7.2.3	测量	(192)
7.2.4	随机访问的过程	(193)
7.2.5	随机访问在 L1 和 L2/L3 之间的交互过程	(195)
7.2.6	无线连接失败	(196)
7.2.7	无线访问网络共享机制	(197)
7.3	在 RAT 之间的移动性管理	(197)
7.4	E-UTRAN 和非 3GPP RAT 之间的移动性管理	(199)
7.4.1	UE 能力配备	(199)
7.4.2	E-UTRAN 和 cdma2000 之间的移动性管理	(200)
7.5	区域限制	(202)

7.6	结束语	(202)
	参考文献	(203)
第 8 章	拥塞控制管理	(204)
8.1	TCP/IP 拥塞控制算法回顾	(204)
8.1.1	基本概念和理论	(204)
8.1.2	TCP 拥塞控制	(206)
8.1.3	IP 拥塞控制	(209)
8.1.4	IP 拥塞控制与 TCP 拥塞控制比较	(214)
8.1.5	拥塞控制和控制系统	(215)
8.1.6	拥塞控制的类型	(217)
8.1.7	拥塞控制技术路线总结	(218)
8.2	具有优先级自适应的队列管理算法	(218)
8.2.1	RED 及其改进算法的分析	(218)
8.2.2	PRED 算法	(220)
8.2.3	性能分析	(222)
8.3	联合传输层和网络层的拥塞控制算法	(227)
8.3.1	UCC 算法	(227)
8.3.2	性能分析	(231)
8.4	FAT: 支持传输公平性的 TCP 拥塞控制	(234)
8.4.1	公平性的评价方法	(234)
8.4.2	问题描述	(235)
8.4.3	支持传输公平性的拥塞控制策略	(236)
8.4.4	实验结果和公平性评价	(237)
8.4.5	FAT 小结	(240)
8.5	优化无线 TCP 与 RLC 的拥塞管理	(241)
8.5.1	LTE 的 TCP/IP 概念	(241)
8.5.2	优化无线 TCP 和 RLC 的方法	(242)
8.5.3	RLC 的拥塞管理实例	(244)
8.6	结束语	(245)
	参考文献	(246)
第 9 章	LTE 性能评估	(249)
9.1	引言	(249)
9.2	峰值速率	(249)
9.3	C 平面时延	(250)
9.3.1	FDD 帧结构时的 C 平面时延	(250)
9.3.2	TDD 帧结构类型一时的 C 平面时延	(251)
9.3.3	TDD 帧结构类型二时的 C 平面时延	(253)
9.4	U 平面时延	(253)

9.4.1	FDD 帧结构时的 U 平面时延	(253)
9.4.2	TDD 帧结构类型一时的 U 平面时延	(254)
9.4.3	TDD 帧结构类型二时的 U 平面时延	(255)
9.5	吞吐量和频谱效率	(256)
9.6	移动性	(258)
9.6.1	对不同的移动速度提供支持	(258)
9.6.2	切换时 U 平面中断时长估计	(258)
9.7	覆盖	(260)
9.8	MBMS	(261)
9.9	网络同步	(262)
9.10	VOIP 性能评估	(262)
9.11	结束语	(262)
	参考文献	(263)
第 10 章	后 LTE 时代移动通信 (无线) 发展趋势	(264)
10.1	引言	(264)
10.2	下一代宽带移动通信网络发展的 12 个挑战	(264)
10.3	移动应用发展的八个新特点	(270)
10.4	移动通信 (无线、运营商) 迫切需要研究的一些原则性课题	(272)
10.4.1	蜂窝/非蜂窝道路上的研究课题	(272)
10.4.2	从生物细胞信号转导角度看, eNB 再演进的研究课题	(277)
10.4.3	与终端有关的研究课题	(279)
10.4.4	通信网 (包括移动通信网) 监管的研究课题	(279)
10.4.5	业务内容发展和信息化有关的研究课题	(281)
10.4.6	与移动通信有关的其他研究课题	(285)
10.5	结束语	(286)
	参考文献	(286)
缩略语	(288)

第 1 章 移动通信技术发展简史



有关资料显示^[1]：全世界约有 64 亿人口，而移动通信的用户就有约 25 亿，普及率达 39.1% 左右，全球移动通信服务市场占全球 GDP 的 1.6% 左右。移动通信的用户每年新购手机 10 亿多部，通话时间 7 万亿分钟，发送短信约 2.5 万亿条……

要知道，这一串数字是来之不易的。从首次使人们能在生活中实现随意通信的基本移动语音服务，到包括上网、信息和娱乐服务的移动多媒体革命，移动通信仍然在以惊人的速度不断地发展着。移动宽带的出现，以及移动、娱乐、计算和金融服务业的聚合带来了新的机遇和服务。毫不夸张地说，移动通信是创新的“印章”之一。

人们喜欢借用手机这种工具，来达到简单省时的沟通；移动通信具有迷人般丰富的内涵；移动通信随着用户打电话时所沟通的内容而名声远扬，从这些现象看，人们对移动通信的关注度越来越高。可以说，当前全球移动通信正处在根深叶茂，枝粗果硕的最好发展时期。移动通信以及它的技术进步，为什么对与其毗邻的技术和市场，有这么大的“磁场”效应呢？看来在未来很长一段时间里，对这些问题都需要做更全面更深入的研究。

电信技术业务移动化、宽带化、IP 化和多媒体化的趋势日益明显，移动通信技术处于网络技术演进的关键时期，也就在此时，3GPP 的一系列新标准，包括无线访问的长期演进(Long Term Evolution, LTE)和核心网 SAE (System Architecture Evolution) 两个大的方面，陆续与大家见面了。我们把 LTE 技术比喻成“洋葱”，把介绍学习 LTE 技术的过程比喻成剥“洋葱”。在剥“洋葱”之前，有必要对这头“洋葱”的种子培育过程和开花结果环境（如光、水、肥、气等条件）先做一个全面的技术总结。

在全面技术总结的过程中，有两个结论在此先说一下。

第一个结论，“我们移动着世界”。移动通信技术和市场的巨变，说到底，它依靠开拓性产品和服务，开发出新的快速增长的市场。移动通信技术和市场的巨变，揭示了一个伟大而又平实的真理：要想在技术和市场上获得成功，就必须接近用户甚至自己也是用户，熟知需要，要真正做到需求和创新两不误。这是作者总结移动通信的发展历程，得出的最重要的结论之一，也是今后建设移动通信、发展移动通信、繁荣移动通信必须遵循的根本原则之一。只有这样，才能促成移动通信百花园枝繁叶茂，郁郁葱葱。

第二个结论，纵观世界，移动通信的技术发展史也是移动通信的成功史。这种令人惊叹、近似神话式的成功，并非通过任何一种固定模式实现的，亦非通过某一独特“官僚手段”、“友善政策”获得的。在知识全球化和信息全球化的时代，信息和知识的交换速度不断加快，如何在信息和知识刺激淹没一切的时代，使得用户的信息，甚至自己的信息得到有效传播，这是一个巨大的挑战。也就在这个时刻，移动通信满足了用户对移动、独立、自由状态下有效传播信息的渴望，充分彰显了用户的风格和自我形象。归根到底，移动通信扮演了“技术服务于生活”的重要角色，这是移动通信成功史的基石。大家也可以看出，这种角色的重要性大有逐步得到强化的趋势。

在总结移动通信的技术发展历程时，我们惊喜地发现：移动通信拥有人类崇高而诗意的梦想，拥有和平而美丽的无线（限）新构思，拥有人类移动通信技术最新的成就与愿望。我们不求对移动通信奇迹之谜得出一个唯一解，正如中国的当今社会不只存在一种经济发展模式一样，多样化的“混乱”下往往蕴藏着活力与希望。多角度解答移动通信发展的得失，也许更有益于关注移动通信道路、移动通信走向的读者。其他的结论，请读者从本章开始剥“洋葱”吧。

虽然人们对移动通信的技术、市场和运营，有着这样或者那样的呼声（包括抱怨，甚至不满意）和期盼，不断在世界的各种媒体上出现。但我们有理由相信，在各种各样不可或缺的呼声和期盼的激励下，经过“农夫”持续地加以开垦、播种、呵护，再次收获“洋葱”的季节即将来临。

我们盼望满足 LTE 系列标准的产品早日面世，服务用户、造福人类。

最后，让我们共同期待：移动通信更美好的明天。

1.1 引言

1.1.1 本章的目的

在系统总结和吸纳前人经验的基础上，作者编写了移动通信的技术发展简史。在写作时，作者始终把握两个原则：一是尽可能使通俗的语言和严谨的逻辑相结合，来介绍移动通信技术，作者梦想找回读金庸小说的感觉；二是尽可能介绍已（或即将）被大众广泛使用的移动通信技术。

移动通信的技术发展简史作为第 1 章，可以说是简单而极其重要的。之所以这样安排，目的有两个：第一是让读者能够对移动通信的技术发展历史有一个系统的了解，特别是那些一听到“移动通信”四个字就紧张的读者，那么第 1 章就是“镇静剂”。但更为重要的是第二个目的，那就是第 1 章是后续章节的技术铺垫，是一次“有氧热身运动”。因为移动通信技术的发展和许多行业的设备换代一样，大多数时候，强调“向后兼容”。所以，读者在阅读了本章的内容之后，基本具备了在“步履”轻盈、思维连贯的状态下，去阅读并理解后续章节的内容。

1.1.2 移动通信的概念

所谓移动通信就是移动体之间的通信，或移动体与固定体之间的通信。移动通信的五个主要特点是：

(1) 移动性。就是要保持物体在移动状态中的通信，因此它必须是无线通信，或无线通信与有线通信的结合。

(2) 电波传播条件复杂。移动体可能在不同环境中运动时，电磁波在传播时会产生反射、折射、绕射、多普勒效应等现象，产生多径干扰、信号传播延迟和展宽等效应。

(3) 噪声和干扰严重。特别是在城市环境中的汽车火花噪声、各种工业噪声、移动用户之间的互调干扰、邻道干扰、同频干扰等。

(4) 系统和网络结构复杂。它是一个多用户通信系统和网络, 必须使用户之间互不(或者尽可能低的)干扰, 尽可能协调一致地工作。此外, 移动通信系统还应与市话网、卫星通信网、数据网等互连, 整个网络结构是非常复杂的。

(5) 要求频带利用率高、设备性能好。

1.1.3 移动通信航帆正破浪前行

中国的第一个电话局是 1882 年由一家丹麦的公司在上海建立的。到 1949 年建国之初, 我国仅有固定电话用户 21.8 万户。从 1949 年到 1978 年这 29 年间, 中国电话用户仅增长了约 170.8 万户^[2]。有关资料^[3]显示, 截至 1982 年年底, 中国内地的电话用户总数约为 234 万户。

据中国信息产业部《2006 年全国通信业发展统计公报》介绍, 2006 年中国移动电话用户月均新增 564.0 万户^[4]。也就是说, 2006 年一个月在中国新增加的移动电话数是从 1882 年到 1982 年 100 年的两倍多。移动通信在 20 世纪 90 年代初才真正进入大众通信时代, 人们才开始在移动通信方面谈“用户数”三个字。可到 2006 年年底, 中国移动用户数已经突破 4 亿^[5]。截至 2007 年 10 月, 我国电话用户总数突破 9 亿户大关, 达到 90213.0 万户, 其中固定电话用户 37068.3 万户, 移动电话用户 53144.7 万户。固定电话和移动电话的用户规模均保持世界首位^[6]。

从这些数据中让人们感受到了什么叫“迷人的发展速度”, 什么叫“一个了不起的记录”; 反映了人们渴望享受移动通信网络生活的迫切需求; 说明了无线移动通信技术已经成为了通信技术中发展最快、最具有迷人应用前景的技术之一。

而正是通信网络特别是移动通信网络*, 已经成为现代社会发展的重要基础, 并日益改变着人们生活的方方面面, 对人类社会的发展已经带来不可逆转的影响。而人类改变生活、提高生活质量的要求又反过来极大地促进了通信技术特别是无线移动通信技术的发展。作者看过两本以“手机”命名的书。一本是由幽默智慧的语言大师刘震云所写^[7], 主人公严守一是一个以“说话”为生的人, 在电视台主持节目。他的节目以说真话见长, 但在日常生活中, 他不由自主开始说谎话。当谎话和手机连在一起时, 手机就变成了“手雷”。还有一本《手机》的书, 作者是被称做数字时代麦克卢汉的保罗·莱文森, 莱文森在书里说, 手机的名字很美妙, 在英格兰和世界其他许多地区, 它叫做移动电话 (mobile phone); 不过叫“蜂窝式便携无线电话” (cell phone) 更为传神, cell 一词有三个意思: 细胞、蜂窝、牢房。因为它不仅像有机体的“细胞”一样可以移动, 而且与细胞一样, 无论你走到哪里, 它都能够生成新的社会、新的可能、新的关系。这就是说, 手机已经把整个世界转化成向用户作出回应的一种贴身环境, 至少对用户想知道的事情作出回应的环境。用户的每一只手, 每一个口袋, 不仅成为一个“电话厅”, 而且成为了一家使用互联网的“网吧”^[8]。

全世界有 25 亿移动用户, 自然就会想到 25 亿个“电话厅”, 25 亿个“网吧”; 还有 39 亿个“电话厅”或“网吧”是“处女地”, 等待人们将来开发。当听到这些, 会让人们激动地睡不着觉, 借人们睡不着觉的机会, 让我们首先踏上回顾移动通信技术演变^[10~19]之旅吧。

*这里的移动通信网络不仅指无线通信, 还包括有线情况下的漫游通信, 它是一个集有线、无线与广播通信服务为一体的综合移动通信网络。

1.2 初生代移动通信

1.2.1 发明创造是无线通信的基础

1844年5月24日,美国人莫尔斯操纵着他自己发明的电报机,发出了人类历史上第一份电报。1876年,贝尔发明了举世瞩目的用电传送声音的装置——电话。一百多年来,电报和电话经历了巨大的变化,从简单到复杂,从人工到自动,从单一功能到多种业务功能,成为全世界普遍使用的通信工具。

1870年丹麦的大北电报公司在上海南京路5号正式成立了中国的第一个电报局并开张营业。当时《捷报》称,英商只要拍一个电报,就能在六个星期后接到本国的订货单。因此它受到了外侨的极大欢迎。但当时,上海只有租界可拍电报,并且只能到中国香港、广州和海外。电报费也相当贵,据葛元煦《沪游杂记》记录当时的电报价目,上海至中国香港、广州、日本长崎,每十字三元,当时一张上海到长崎的船票只有六元。

1882年丹麦的大北电报公司在上海成立了中国的第一个电话局,如图1-1所示。每户话机年租费150元大洋,并装有一部公用电话,这是电话发明6年后,上海第一个经营性的电话交换所,只比在美国设立的世界第一家电话公司晚1年。

但这些都需有线连接。

1887年赫兹在实验室里成功实现了人类历史上的第一次无线信息传送,紧接着1899年、1901年马可尼在横跨英吉利海峡的大西洋上空成功开展了远距离无线信息传送实验,终于实现了人类无线通信的长久夙愿。

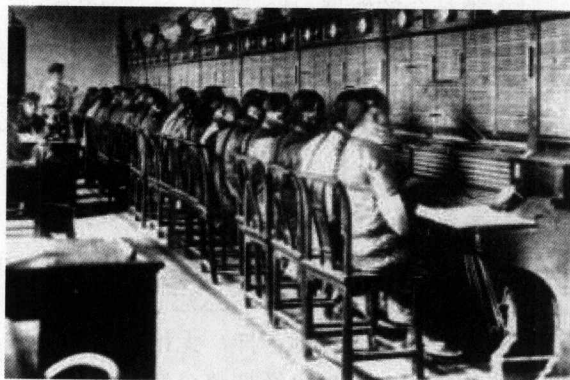


图 1-1 大北电报公司外滩7号电话交换所的电话接线生

1.2.2 按钮启动式无线通话系统的诞生

在20世纪最初的几十年中,无线移动电话偶尔用于海军和军事通信。1946年,圣·路易斯建立起了第一个可用于汽车的电话系统,该系统使用了一个体积和功率都很大的发射器,放在一个高大的建筑物顶上,并且该系统只有一个信道(信道是对无线通信中发送端和接收端之间的通路的一种形象比喻),同时用于发送和接收。为了通话,用户必须按一下按钮,实现发送和接收的转换,这样的系统称为按钮启动式通话系统(push_to_talk system)。20世纪