

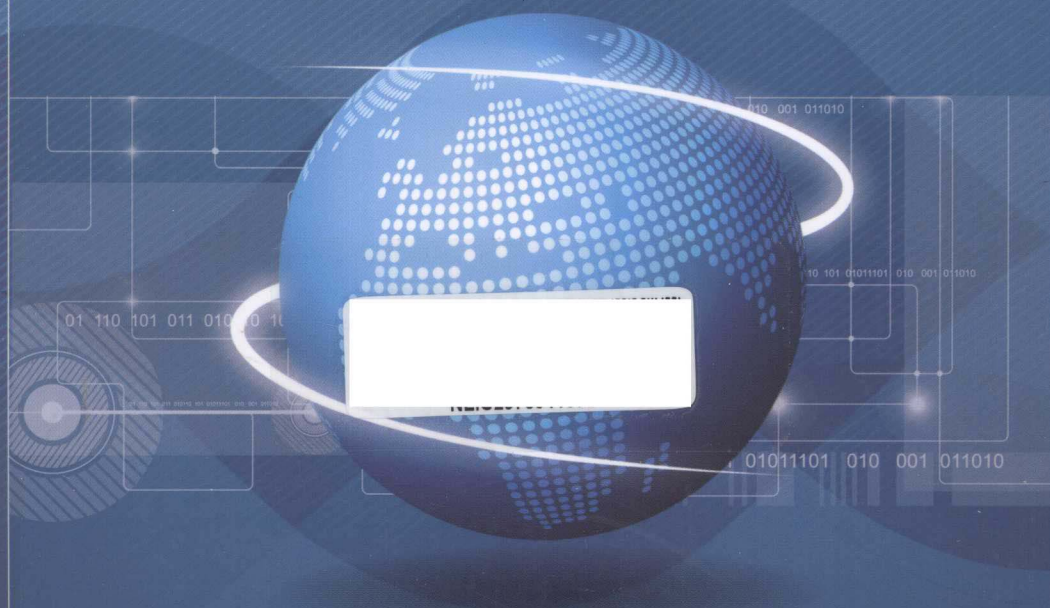
<http://www.phei.com.cn>



通信网络精品图书

LTE/LTE-Advanced —B3G/4G/B4G 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

通信网络精品图书

LTE/LTE-Advanced—B3G/4G/B4G

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

本书是专门介绍 B3G/4G/B4G 移动通信系统中 LTE/LTE-Advanced 无线传输技术的专著。全书共 11 章, 主要内容包括: 移动通信技术发展简史, LTE/LTE-Advanced 标准化的主要目标, LTE/LTE-Advanced 的体系结构、物理层和无线接入接口, 无线资源管理, 移动性管理, 拥塞控制, LTE/LTE-Advanced 性能评估, LTE/LTE-Advanced 与多网融合, 以及后 LTE-Advanced 时代移动通信(无线)的发展趋势等。

本书可供从事电信工作, 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/LTE-Advanced—B3G/4G/B4G 移动通信系统无线技术 / 张克平编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.9
(通信网络精品图书)

ISBN 978-7-121-21536-0

I. ①L… II. ①张… III. ①无线电通信—移动通信—通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 224617 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 25.5 字数: 653 千字

印 次: 2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 79.00 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。

改版前言

承蒙广大读者厚爱，本书有了改版的机会。从接到改版通知那一刻起，压力如潮般涌来。技术类书籍，与时俱进、与时俱变的要求时时在追逼，否则其价值很快消失殆尽。这本书能被多次重印和改版，更新尤其重要。改版要重新勘定，这对我来说并非易事，是一次再创作的过程。当然，既然愿意拿出来分享，既然希望被人需要，既然希望书能够彰显出它的价值，我是苦并快乐着。

我在单位工作量大，压力甚重。改版书的时间只能从饭后睡前挤出。有时两三小时，多数会到凌晨，每一页文字、每一帧图片，重新仔细查验、考量，是否过时、是否有前瞻性。出版社编辑一次次电话、飞信亲切的问候背后有婉转的催促……整整8个月的时间。

我是拿着感恩的心来完成这本书的。2007年，我被公派到贝尔实验室（德国）工作一年，这一年的工作经历，给了我生命中意想不到的巨大生机。贝尔实验室，在世界通信研究机构中有着举足轻重的地位。在那里，我常告诫自己：不可懒惰！要恒切忍耐以求长进，尤其是实验室德国同事们科研中的那种力戒浮躁和活跃变化的思维方式值得我学习。在那里，德国同事的探究精神，德国人的严谨，那种持守规则的品性以及对企业倾注强大的责任心，让我至今刻骨铭心；在那里，我经历了八十多岁老太太 Rosemarie 真切无私的帮助，免费接送我们去欧洲最先进的太阳能住宅小区，弗莱堡“太阳船”小区参观学习，并当免费的英文讲解，单凭我的想象是无法理解的；在那里，我经历了漆黑的夜晚，坐错车滞留在旷野中的高速公路上孤独恐惧时，遇见好心人停车送我到目的地的巨大温暖与感动等，这太多的奇妙经历让我不敢轻忽所领受的机会。

改版时又增加了一章，重点谈 LTE/LET-Advanced 与多网的融合。另外，由于本书覆盖的范围广阔，有些领域我并不熟悉，加上技术的迅猛发展和许多技术问题尚未定论等，所以在写作过程中疏误难免，谨请读者谅解。

本书由张克平编著，参加编写工作的还有张兴昌。本书能够改版，感谢电子工业出版社宋梅副编审的支持与鼓励，感谢编辑们不嫌弃我的故事，使我得到与如此多的老师和同道们一道来面对这些看上去枯燥无味的问题。同时，感谢曾引领我前行的导师西安交通大学博导李增智教授、贝尔实验室的研究同仁 Anton Ambrosy 博士和 Edgar Kuehn 博士等。感谢我所在企业的领导和同事们，我们朝夕相处，共同担负着企业的压力，共同经历着企业的发展，共同期盼着企业的未来。还要感谢那些不相识的把相关宝贵知识分享世人的前辈们，因着他们的无私奉献，我曾获得了他们的思想。这股股热诚驱使我摆上自己，努力承担这份工作。此书与大家见面之后，我也极愿虚心接受任何善意的忠告（herrzhang@139.com）。

总之，收益及掠美之处不及详说，只愿与读者共享入门之乐。

张克平
2013年8月1日

目 录

第 1 章 移动通信技术发展简史	1
1.1 引言	2
1.1.1 本章的目标	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	5
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	8
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）	9
1.4.2 全球移动通信系统（GSM）	11
1.4.3 码分多路访问（CDMA）	13
1.4.4 第二代移动通信的特点	19
1.5 第三代移动通信：数字语音与数据	19
1.5.1 IMT—2000 计划	19
1.5.2 UMTS	21
1.5.3 TD-SCDMA	27
1.5.4 第三代移动通信的特点	28
1.6 4G 时代的移动通信：宽带和多功能集成	29
1.6.1 3GPP 和 IEEE 两大阵营技术演进路线	29
1.6.2 4G 时代移动通信技术趋势以及与 3G 的特点比较	31
1.6.3 B3G/4G 的主要技术介绍	33
1.7 让我们一起成就 B4G/5G 时代的“移动”梦	38
1.8 手机的发展过程与设计制造流程	40
1.8.1 手机的发展历程	40
1.8.2 手机的一般设计制造流程	41
1.8.3 LTE 手机	42
1.9 结束语	43
参考文献	44
第 2 章 LTE/LTE-Advanced 标准化的主要目标	46
2.1 本章目标	46
2.2 LTE/LTE-Advanced 市场和技术背景	46

2.2.1	2008 年 LTE 市场和技术背景	46
2.2.2	2013 年 LTE/LTE-Advanced 市场和技术背景	47
2.3	对 4G/B4G/5G 的六个期望	48
2.3.1	4G 的基本概念	48
2.3.2	对 4G/B4G/5G 的期望	48
2.4	呼之欲出的标准化组织机构	49
2.5	LTE/SAE 标准化工作的主要目标和大致时间表	51
2.5.1	LTE (R8) 标准化工作的主要目标	51
2.5.2	制定 LTE (R8) 标准的时间表	51
2.6	4G (LTE-Advanced) 标准化的主要内容	52
2.6.1	LTE-Advanced (R10) 标准化工作的主要目标	52
2.6.2	制定 LTE-Advanced (R10) 标准的时间表	53
2.7	4G (LTE-Advanced) 与 IMT-Advanced 的比较	54
2.7.1	4G (LTE-Advanced) 与 IMT-Advanced	54
2.7.2	LTE-Advanced 与 LTE (R8)	55
2.8	频谱	55
2.8.1	全球尽可能统一频段	55
2.8.2	3G 和 4G 频谱	55
2.9	3GPP 规范的文档组织方式	56
2.9.1	3GPP 技术规范的主页面	56
2.9.2	3GPP 规范的正式文本	56
2.9.3	3GPP 技术规范小组的文档	58
2.9.4	3GPP 会议文档	59
2.9.5	3GPP 技术文档	60
2.9.6	参与 3GPP 标准化工作的各方信息	61
2.9.7	3GPP 规范的阅读方法	61
2.10	结束语	63
	参考文献	64
第 3 章	LTE/LTE-Advanced 的体系结构	65
3.1	引言	65
3.1.1	本章的目标	65
3.1.2	数据协议的概念	65
3.1.3	举例说明传输层和网络层之间的关系	68
3.2	E-UTRAN 系统结构	70
3.2.1	E-UTRAN 的基本骨架	71
3.2.2	E-UTRAN 的结构	71
3.2.3	E-UTRAN 内部的功能划分	73
3.2.4	E-UTRAN 结构与 UTRAN 结构的比较	75
3.3	无线协议架构	76
3.3.1	E-UTRAN 通用协议模型	76

3.3.2	无线协议架构	77
3.4	eNB 之间的接口 X2	77
3.4.1	X2 用户平面	77
3.4.2	X2 控制平面	77
3.5	eNB 和 EPC 的接口 S1	79
3.5.1	S1 用户平面	79
3.5.2	S1 控制平面	79
3.6	E-UTRAN 与 IP 传输	82
3.6.1	3GPP 无漫游的系统结构	82
3.6.2	3GPP 有漫游的系统结构	83
3.6.3	演进的 GTP 协议和它的使用范围	84
3.6.4	UE/eNodeB/MME 的控制平面协议栈	86
3.6.5	UE/eNodeB/网关的用户平面协议栈	87
3.6.6	E-UTRAN 连接过程举例	88
3.7	支持家用基站的架构	92
3.7.1	家用基站的架构和部署场景	92
3.7.2	家用基站接口	93
3.8	支持中继的架构	94
3.8.1	支持 RN 的 E-UTRAN 架构	94
3.8.2	中继架构	94
3.8.3	Un 口无线协议	95
3.8.4	S1/X2 用户平面和控制平面	95
3.8.5	中继的信令过程举例	97
3.9	UMTS 核心网结构和演进	99
3.9.1	3GPP 核心网结构进化回顾	99
3.9.2	3GPP 的 SAE 结构	101
3.9.3	3GPP SAE 的 QoS 概念	103
3.9.4	E-UTRAN 的共享机制	106
3.9.5	3GPP 各版本核心网结构比较和演进趋势	107
3.9.6	LTE/SAE 中 IMS 语音应用举例	109
3.10	本章总结	113
	参考文献	114
第 4 章	LTE/LTE-Advanced 物理层	116
4.1	本章目标	116
4.2	物理层基础	117
4.2.1	数据通信的理论基础	117
4.2.2	物理层的功能和作用	121
4.2.3	ARQ 和 HARQ	122
4.2.4	载波聚合	125
4.3	帧结构	127

4.3.1	一型帧结构	127
4.3.2	二型帧结构	127
4.4	下行链路的物理设计	128
4.4.1	下行链路的时隙结构和物理资源划分	128
4.4.2	下行物理信道的一般结构	130
4.4.3	基于 OFDM 的基本下行传输方案	130
4.4.4	下行链路物理层的处理机制	132
4.4.5	下行链路的控制信道	132
4.4.6	下行链路的参考信号	133
4.4.7	下行链路的多天线传输	134
4.4.8	物理层的过程	135
4.5	上行链路的物理设计	136
4.5.1	上行链路的时隙结构和物理资源划分	136
4.5.2	上行链路的基本传输方案	137
4.5.3	上行链路物理层的处理机制	139
4.5.4	上行链路控制信道	140
4.5.5	上行链路参考信号	140
4.5.6	随机接入前导	140
4.5.7	上行链路多天线传输	141
4.5.8	物理信道的过程	141
4.6	物理信道的分工	141
4.7	传输信道	142
4.7.1	下行传输信道	142
4.7.2	上行传输信道	143
4.7.3	传输信道与物理信道的映射	143
4.8	物理层模型	144
4.8.1	传输信道物理层模型	144
4.8.2	物理层指示	148
4.9	调度	148
4.10	结束语	149
	参考文献	149
第 5 章 LTE/LTE-Advanced 无线接口协议		151
5.1	引言	151
5.1.1	本章的目标	151
5.1.2	无线通信协议设计的一般流程与举例	151
5.2	无线接口协议架构	156
5.3	媒体访问控制 (MAC) 协议	158
5.3.1	MAC 子层提供的服务和功能	158
5.3.2	逻辑信道的描述	159
5.3.3	逻辑信道与传输信道之间的映射	160

5.3.4	MAC 的 PDU 格式和参数	161
5.3.5	MAC 工作过程举例	161
5.4	无线链路控制 (RLC) 协议	163
5.4.1	RLC 的结构与实体	163
5.4.2	RLC 提供的服务	167
5.4.3	RLC 提供的功能	167
5.4.4	RLC PDU 的分类	167
5.4.5	RLC PDU 的格式和参数	168
5.4.6	RLC 的工作过程举例	169
5.5	分组数据汇聚 (PDCP) 协议	172
5.5.1	PDCP 的结构与实体	172
5.5.2	PDCP 的服务	172
5.5.3	PDCP 的功能	173
5.5.4	PDCP PDU 的结构	173
5.5.5	PDCP/RLC 联合工作过程举例	174
5.6	无线资源控制 (RRC) 协议	176
5.6.1	RRC 层模型	176
5.6.2	UE 状态和状态转换	178
5.6.3	RRC 提供的服务	179
5.6.4	RRC 提供的功能	179
5.6.5	RRC 信息	180
5.6.6	有载波聚合的 RRC	181
5.6.7	RRC 的工作过程举例	182
5.7	实例	183
5.7.1	RRC 与低层之间的关系	183
5.7.2	MAC 和 RRC 各自的控制特点举例	184
5.7.3	物理层到 MAC 层聚合方法举例	184
	参考文献	186
第 6 章	无线资源管理	187
6.1	引言	187
6.1.1	本章目标	187
6.1.2	网络资源的分配	187
6.2	无线准入控制	189
6.2.1	无线准入控制的功能	189
6.2.2	无线准入控制的原理	189
6.2.3	无线准入控制的算法	192
6.3	动态资源分配管理	196
6.3.1	动态资源分配的功能	196
6.3.2	动态资源分配的基础	196
6.3.3	下行动态资源分配方案	198

6.3.4	上行动态资源分配的算法	208
6.4	负载均衡控制	213
6.4.1	负载均衡的目的	213
6.4.2	负载均衡的原理	213
6.4.3	负载均衡的算法	214
6.5	结束语	217
	参考文献	217
第 7 章	移动性管理	220
7.1	引言	220
7.2	在 E-UTRAN 内部的移动性管理	220
7.2.1	在 ECM_IDLE 状态下的移动性管理	221
7.2.2	在 ECM-CONNECTED 状态下的移动性管理	222
7.2.3	测量	226
7.2.4	随机访问的过程	227
7.2.5	随机访问在 L1 和 L2/3 之间的交互过程	230
7.2.6	无线连接失败	231
7.2.7	无线访问网络共享机制	232
7.3	在 RAT 之间的移动性管理	233
7.3.1	小区的重选	233
7.3.2	切换	233
7.3.3	测量	234
7.4	E-UTRAN 和非 3GPP RAT 之间的移动性管理	235
7.4.1	UE 能力配备	235
7.4.2	E-UTRAN 和 cdma2000 之间的移动性管理	236
7.5	区域限制	239
7.6	结束语	239
	参考文献	239
第 8 章	拥塞控制管理	241
8.1	TCP/IP 拥塞控制算法回顾	241
8.1.1	基本概念和理论	241
8.1.2	TCP 拥塞控制	243
8.1.3	IP 拥塞控制	247
8.1.4	IP 拥塞控制与 TCP 拥塞控制比较	252
8.1.5	拥塞控制和控制系统	253
8.1.6	拥塞控制的类型	255
8.1.7	拥塞控制技术路线总结	256
8.2	具有优先级自适应的队列管理算法	257
8.2.1	RED 及其改进算法的分析	257
8.2.2	PRED 算法	258
8.2.3	性能分析	261

8.3	联合传输层和网络层的拥塞控制算法	265
8.3.1	UCC 算法	266
8.3.2	性能分析	270
8.4	FAT: 支持传输公平性的 TCP 拥塞控制	273
8.4.1	公平性的评价方法	273
8.4.2	问题描述	273
8.4.3	支持传输公平性的拥塞控制策略	275
8.4.4	实验结果和公平性评价	276
8.4.5	FAT 小结	279
8.5	优化无线 TCP 与 RLC 的拥塞管理	280
8.5.1	LTE 的 TCP/IP 概念	280
8.5.2	优化无线 TCP 和 RLC 的方法	281
8.5.3	RLC 的拥塞管理实例	284
8.6	物联网时代 LTE-Advanced 的机器通信拥塞管理	285
8.6.1	物联网发展的基础与趋势	285
8.6.2	不甘寂寞的 3GPP	287
8.6.3	几个网络拥塞场景	288
8.6.4	无线网拥塞控制	289
8.7	结束语	291
	参考文献	291
第 9 章	LTE/LTE-Advanced 的性能评估	294
9.1	引言	294
9.2	LTE 的峰值速率	294
9.3	LTE 的 C 平面时延和 U 平面时延	295
9.3.1	FDD 帧结构时的 C 平面时延	295
9.3.2	TDD 帧结构类型一时的 C 平面时延	296
9.3.3	TDD 帧结构类型二时的 C 平面时延	298
9.3.4	FDD 帧结构时的 U 平面时延	298
9.3.5	TDD 帧结构类型一时的 U 平面时延	299
9.3.6	TDD 帧结构类型二时的 U 平面时延	301
9.4	LTE 的吞吐量和频谱效率	301
9.5	LTE 的移动性和覆盖	303
9.5.1	对不同的移动速度提供支持	303
9.5.2	切换时 U 平面中断时长估计	303
9.5.3	大尺寸小区系统的覆盖性能	306
9.5.4	特大尺寸小区系统的覆盖性能	306
9.6	LTE 的 MBMS 和其他	306
9.6.1	初始性能评估	306
9.6.2	MBSFN 性能评估	306
9.6.3	网络同步	307

9.6.4	VoIP 性能评估	307
9.7	性能评估体系思路及研究方法	308
9.8	LTE-Advanced 的性能评估	308
9.8.1	LTE-Advanced 的性能评估模型	308
9.8.2	峰值频率效率和传输时延	310
9.8.3	频谱效率和用户吞吐量	310
9.8.4	LTE-Advanced 性能与 3GPP 目标的符合度评估	313
9.8.5	VoIP 容量	313
9.8.6	切换性能	314
9.9	结束语	314
	参考文献	314
第 10 章	LTE/LTE-Advanced 与多网融合	316
10.1	基本概念	316
10.1.1	融合与协同	317
10.1.2	三网融合	318
10.1.3	融合的分类	318
10.2	多网融合的趋势和特点	319
10.2.1	三网融合时代电信市场的五大趋势	319
10.2.2	多网融合发展的推手	320
10.2.3	对多网融合的期盼	321
10.3	3GPP LTE/LTE-Advanced 与 WiMAX 的融合方案	324
10.3.1	WiMAX 的网络模型	324
10.3.2	3GPP LTE/LTE-Advanced 与 WiMAX 的融合方案	324
10.4	3GPP LTE/LTE-Advanced 与 WLAN 的融合方案	326
10.4.1	WLAN 接入 3GPP 的模型	326
10.4.2	3GPP LTE/LTE-Advanced 与 WLAN 融合的参考模型	327
10.4.3	标准化的网络接入之路	333
10.5	三网融合背景下 3GPP LTE/LTE-Advanced 与广电网的融合方案	334
10.5.1	下一代广播电视网 (NGB)	334
10.5.2	LTE/LTE-Advanced 与 NGB 融合的基本架构	335
10.6	GSM/TD/LTE/WLAN 多制式融合举例	336
10.6.1	背景知识	336
10.6.2	AP 热点自动提醒, 引导用户使用 WLAN 网络的流程	337
10.6.3	WLAN 与 PS 协同, 实现基于 TGW 的可信接入流程	338
10.6.4	LTE 与 GSM/TD 核心网的融合	338
10.6.5	GSM/TD/LTE/WLAN 多制式融合拓扑	339
10.6.6	对运营企业来说, 管理和运营复杂网络的时代已经来临	340
10.7	四网融合举例目标图和进一步解读	342
10.8	对未来中国通信融合产业健康发展的五个思考	345
	参考文献	346

第 11 章 后 LTE-Advanced 时代移动通信（无线）发展趋势..... 347

11.1 引言 347

11.1.1 概述 347

11.1.2 本章目标 348

11.2 下一代宽带移动通信网络发展的 13 个挑战 349

11.3 移动应用发展的 9 个新特点 354

11.4 移动通信（无线、运营商）迫切需要研究的一些原则性课题..... 357

11.4.1 蜂窝 / 非蜂窝道路上的研究课题 357

11.4.2 从生物细胞信号转导角度看 eNodeB 再演进的研究课题 362

11.4.3 与终端有关的研究课题 363

11.4.4 通信网（包括移动通信网）监管的研究课题 367

11.4.5 与业务内容发展和信息化有关的研究课题 368

11.4.6 与移动通信有关的其他研究课题 374

11.5 本章小结 375

参考文献 376

缩略语 378

第1章 移动通信技术发展简史



有资料显示^[1]：全世界约有人口 64 亿，而移动通信的用户就有 25 亿，普及率达 39.1%，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，这一串数字来之不易。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创新着。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；移动通信那迷人般丰富的内涵；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？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 LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 和核心网 SAE (System Architecture Evolution) 演进两个大的方面，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（比如光、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。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，也非通过某一独特“官僚手段”、“友善政策”获得。在全球化和全球信息化的时代，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，这是一个不小的挑战。也在这个时刻，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，移动通信在

这其中扮演了“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：移动通信的明天更美好。

1.1 引言

1.1.1 本章的目标

在系统总结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：一是尽可能用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，目标有两个：第一个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条件。

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。移动体可能在各种环境中运动，电磁波在传播时会产生反射、

折射、绕射和多卜勒效应等现象,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,整个网络结构是很复杂的。

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,中国电话用户仅增长了 170.8 万户^[2]。也有资料^[3]介绍,截止 1982 年年底,中国内地的电话用户总数是 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 90 213.0 万户,其中固定电话用户 37 068.3 万户,移动电话用户 53 144.7 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“一个了不起的纪录”;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成为通信技术中发展最快,有迷人应用前景的技术之一。

而就是通信网络特别是移动通信网络¹,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进步。作者看过两本以“手机”命名的书。一本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,作者是被称作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]。

1 这里的移动通信网络不仅专指无线通信,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。

全世界有移动用户 25^[9] 亿, 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。

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, 操纵着他自己发明制作的电报机, 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, 电报电话经历了巨大变化, 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。但在当时, 上海只有租界可拍电报, 并且只能到香港、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一年。

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。

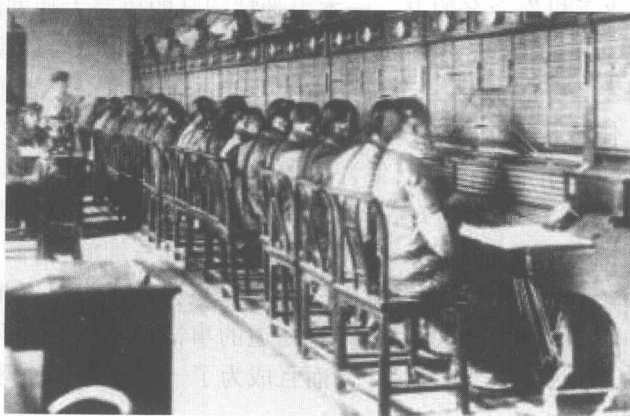


图 1-1 大北电报公司外滩 7 号电话交换所的电话接线生