

中国电子教育学会高教分会推荐
高等学校应用型本科“十三五”规划教材



- 注重基础概念，语言通俗易懂，突出应用
- 紧跟技术发展，详细阐述4G，跟踪介绍5G

移动通信理论与实战

卢晶琦 孟庆元 编著

中国电子教育学会高教分会推荐
高等学校应用型本科“十三五”规划教材

移动通信理论与实战

卢晶琦 孟庆元 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了移动通信的基本原理、关键技术、主流通信系统及其工程应用。全书分为原理篇、系统篇和应用篇。原理篇主要讲解移动通信的基本概念、共性的关键技术,如电波和天线、物理层处理技术、组网技术。系统篇按照移动通信发展的历程,依次介绍了 GSM、TD-SCDMA 及 LTE 通信系统,并对第五代移动通信系统的发展进行了跟踪。应用篇以 LTE 系统为例,介绍了常见的基站系统设备、网络规划和优化的基本流程和思路。

本书紧跟移动通信的发展步伐,注重理论指导实践,既可作为应用型本科相关专业的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信理论与实战/卢晶琦,孟庆元编著. — 西安:西安电子科技大学出版社,2017.2

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4358-8

I. ① 移… II. ① 卢… ② 孟… III. ① 移动通信—通信技术 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 320925 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 杨 璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029) 88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 14

字 数 329千字

印 数 1~3000册

定 价 26.00元

ISBN 978-7-5606-4358-8/TN

XDUP 4650001-1

***** 如有印装问题可调换 *****

前 言

从第一代移动通信系统诞生至今，移动通信的发展历经了半个世纪左右的时间，给社会带来了深远的影响，也成为了备受社会关注和青睐的通信手段。目前，随着各种新技术的问世、新标准的讨论，各种移动通信产品也应运而生，让人眼花缭乱、目不暇接。

然而，这种快速的变化给教学带来了较大的挑战，原有教材中的部分内容相对陈旧，难以适应目前教学的要求。为了在有限的篇幅和学时内，结合当前市场对于通信行业应用型人才的需求，以通俗易懂的方式呈现移动通信的技术原理和工程应用，编者在参考了大量专著、文献资料和教材的基础上，结合自身多年的教学和实践经验，力求以图文并茂、通俗易懂的方式完成本书的编写。

本书具有如下特点：

(1) 以理论指导实践为出发点，按照“原理篇—系统篇—应用篇”的结构组织全书。第1~4章为原理篇，讲述了移动通信共性的基础技术；第5~8章为系统篇，阐述了不同时代典型制式的通信系统；第9章为应用篇，以LTE系统为例，介绍了常见的基站设备、网络规划和优化的基本流程和思路。即全书在讲解了共性技术的基础上，突出了不同网络制式的特点及技术演进路线，同时兼顾到了工程应用，循序渐进，从而最大程度地体现了知识的系统性。

(2) 考虑到应用型本科学生的实际情况，在介绍基础理论和技术时，去掉了繁琐的公式推导，力求以浅显易懂的语言和生活实例阐明移动通信的基本概念、原理，并将重点放在技术的实际应用上，探讨技术演进对系统性能提高的意义，有助于通信系统级概念的形成。

(3) 紧跟技术发展，对当前已进入正式商用的第四代移动通信(4G)的发展现状和相关技术进行了详细的介绍，并对第五代移动通信(5G)的技术发展进行了跟踪和介绍，突出反映了移动通信的最新研究成果。

(4) 有别于传统教材仅以问答题作为课后复习，本书习题多样，有助于学

生巩固所学的概念和知识，并更好地与未来职业规划和发展进行衔接。

本书的第1、6章由孟庆元编写，其余章节由卢晶琦编写并统稿。编者在本书的编写过程中，与中兴通信学院的诸位老师对章节架构、细节知识点进行了有益的探讨，同时，电子科技大学中山学院电信学院的领导和师生都对本书的试用版提出了宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢！

本书在编写过程中参考了有关著作和资料，也在此对其著作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请各位读者批评指正。

编 者

2016年9月

目 录

第一篇 原 理 篇

第 1 章 移动通信概述..... 2	3.3.1 数字调制技术概述.....42
1.1 移动通信的概念..... 2	3.3.2 相移键控 PSK.....42
1.2 移动通信的前世今生..... 2	3.3.3 正交振幅调制 QAM.....45
1.2.1 大区制时代..... 2	3.3.4 正交频分复用 OFDM.....47
1.2.2 小区制——蜂窝移动通信时代..... 3	3.4 扩频与加扰.....51
1.2.3 从 1G 到 4G 的时代..... 4	3.4.1 扩频通信的理论基础.....52
1.3 移动通信的双工方式..... 8	3.4.2 直序扩频系统的原理.....52
1.4 移动通信频谱资源分配..... 10	3.4.3 加扰.....56
本章习题.....11	3.5 多天线 MIMO 技术.....57
	3.5.1 空间分集.....58
第 2 章 无线电波传播与天馈系统..... 12	3.5.2 空间复用.....60
2.1 无线电波的传播特性..... 12	3.5.3 波束赋形.....61
2.1.1 概述..... 12	3.5.4 大规模 MIMO.....62
2.1.2 无线电波传播..... 13	本章习题.....63
2.2 无线信道的损耗与效应..... 15	
2.2.1 四种效应..... 15	第 4 章 移动通信组网技术.....65
2.2.2 三大损耗..... 18	4.1 移动通信网概述.....65
2.3 信道传播模型..... 19	4.2 区域覆盖与频率复用.....67
2.3.1 室外传播模型..... 19	4.2.1 蜂窝网的区域覆盖.....67
2.3.2 室内传播模型..... 21	4.2.2 组网频率规划.....70
2.4 天馈系统..... 22	4.3 多址接入技术.....73
2.4.1 天线..... 23	4.3.1 频分多址 FDMA.....74
2.4.2 馈线系统..... 30	4.3.2 时分多址 TDMA.....74
本章习题..... 31	4.3.3 码分多址 CDMA.....76
	4.3.4 空分多址 SDMA.....78
第 3 章 移动通信的物理层处理技术..... 33	4.3.5 混合多址接入方式.....78
3.1 现代无线通信系统物理层传输模型..... 33	4.4 无线资源管理.....79
3.1.1 数字通信系统模型..... 33	4.4.1 接纳控制.....80
3.1.2 3G/4G 通信系统模型..... 34	4.4.2 负载控制.....81
3.2 抗衰落技术..... 35	4.4.3 信道分配.....82
3.2.1 分集技术..... 35	4.4.4 分组调度.....84
3.2.2 信道编码与交织技术..... 38	4.4.5 功率控制.....85
3.2.3 均衡技术..... 40	4.5 移动性管理.....88
3.3 调制解调..... 41	4.5.1 位置标识与编址规划.....89

4.5.2 位置管理	92	本章习题	97
4.5.3 切换管理	94		

第二篇 系 统 篇

第 5 章 GSM 通信系统	100	第 7 章 LTE 通信系统	145
5.1 GSM 系统结构	100	7.1 LTE 概述	145
5.2 GSM 的物理层	103	7.2 LTE 系统架构与协议栈	146
5.2.1 信道与帧结构	103	7.2.1 LTE 网络架构	146
5.2.2 物理信道处理的一般流程	105	7.2.2 接口协议架构	148
5.3 GPRS 通用分组无线业务	106	7.3 LTE 关键技术	151
5.3.1 GPRS 网络结构	106	7.3.1 LTE 物理层多址方式	151
5.3.2 GPRS 移动性管理与会话管理	107	7.3.2 MIMO 多天技术	155
5.4 EDGE	108	7.4 LTE 物理层设计	156
本章习题	108	7.4.1 LTE 物理帧结构	156
		7.4.2 资源单位	159
第 6 章 TD-SCDMA 通信系统	110	7.4.3 信道与物理信号	160
6.1 IMT-2000 网络结构模型	110	7.4.4 物理信道的一般处理流程	163
6.1.1 用户设备域 UE	110	7.4.5 LTE 物理层过程	164
6.1.2 陆地接入网域 UTRAN	111	7.5 LTE 中的语音业务	168
6.1.3 核心网域 CN	112	7.5.1 过渡方案——CSFB	169
6.1.4 手机通话的网元流程	116	7.5.2 过渡方案——单卡双待机	169
6.2 TD-SCDMA 系统物理层	117	7.5.3 目标方案——VoLTE/SRVCC 技术	170
6.2.1 物理层帧结构	117	7.6 LTE-Advanced 的增强技术	172
6.2.2 信道结构	121	7.6.1 载波聚合 CA	172
6.2.3 物理信道处理的一般流程	122	7.6.2 多点协作 CoMP	174
6.2.4 码资源与物理层处理过程	125	7.6.3 中继技术 Relay	175
6.3 UTRAN 接口协议	128	7.6.4 异构网络 HetNet	177
6.3.1 UMTS 分层结构	128	本章习题	177
6.3.2 UTRAN 接口协议模型	129		
6.3.3 空中接口协议	130	第 8 章 移动通信的未来——5G	180
6.3.4 通信业务建立过程	134	8.1 5G 概述	180
6.4 HSPA+	135	8.1.1 5G 全球研发概况	180
6.4.1 关键技术概述	135	8.1.2 5G 应用场景及指标	181
6.4.2 HSDPA 技术	140	8.2 5G 的关键技术	182
6.4.3 HSUPA 技术	141	8.2.1 5G 无线传输技术	183
本章习题	143	8.2.2 5G 网络架构与组网技术	190
		本章习题	196

第三篇 应 用 篇

第 9 章 LTE 无线网络规划与优化	198	9.1 LTE 无线网络规划	198
---------------------------	-----	----------------------	-----

9.1.1 无线网络规划流程.....	198	9.3 LTE 无线网络优化.....	209
9.1.2 LTE 无线网络指标.....	199	9.3.1 网络优化概述.....	209
9.1.3 LTE 网规特点	200	9.3.2 LTE 网优内容及特点	210
9.2 常见基站系统及开局	201	9.3.3 LTE 网络优化流程	210
9.2.1 常见的基站设备	202	本章习题.....	213
9.2.2 接入网管理平台	207		
参考文献.....			216

第一章 原 理 篇

第一篇 原 理 篇

- 第1章 移动通信概述
- 第2章 无线电波传播与天线系统
- 第3章 移动通信的物理层处理技术
- 第4章 移动通信组网技术

第1章 移动通信概述

什么是“移动通信”？

一般来说，人们首先会想到的就是用手机打电话或者发短信，这也是人们日常生活中接触最多的。实际上，移动通信包括的范围非常广泛。从军用到民用，从陆地到海洋和天空，从专门的小系统到大型公用系统，可以说，移动通信已经渗透到现代社会的各个角落。这些门类繁多的通信系统有一个共同点——“移动”。本章将在概述移动通信的定义之后，简述现代移动通信系统的发展历史，并给出国内的无线频谱资源分配情况。本章主要重点如下：

- (1) 移动通信的概念；
- (2) 大区制与小区制移动通信系统的特点；
- (3) 2G/3G/4G 时代的移动通信系统及主流标准；
- (4) 国内移动通信系统的频谱分配。

1.1 移动通信的概念

所谓移动通信，是指通信双方或至少有一方处于运动中(或者临时停留在某一非预定位置上)进行信息传输和交换的通信方式。这包括移动体(车、船、飞机或者行人)和移动体之间的通信，以及移动体和固定点(固定无线电台或有线用户)之间的通信。采用移动通信技术和设备组成的通信系统即为移动通信系统。

“移动”的特点决定了移动通信必然采用无线电通信的方式，更准确地说，现代移动通信就是把无线通信技术、有线传输技术、计算机通信技术等有机结合在一起，为用户提供的一个较为理想、完善的现代通信方式。

无线通信信道的存在使得基站和移动台之间的通信处于复杂的干扰环境中，存在着严重的多径衰落和各种强干扰。并且，由于终端是移动的，网络资源配置是动态的，无线网络必须每隔很短的时间就为用户重新配置一次，以保证用户在移动时能实现漫游和无缝切换。此外，目前陆地移动通信系统的频段主要在 UHF 频段，无线网络提供给各个用户的带宽会受到射频带宽资源的限制。因此，所有的移动通信技术都是为了克服和消除这些影响，来解决移动通信中信息传输的有效性、可靠性和安全性问题的。

1.2 移动通信的前世今生

1.2.1 大区制时代

真正的移动通信技术的发展是从 20 世纪 20 年代开始的。1928 年美国普渡大学(Purdue

University)的学生发明了工作于 2 MHz 的超外差式无线电接收机。这套系统很快在底特律警察局投入使用,成为了世界上第一个可以有效工作的移动通信系统。

到了 20 世纪 30 年代初,世界上第一部调幅制双向移动通信系统在美国新泽西警察局投入使用;30 年代末,第一部调频制移动通信系统产生,实验表明调频制比调幅制移动通信系统更加有效。

1939 年二战爆发,军事上的需求促使相关技术的发展得到快速进步,从而极大地推动了移动通信的发展。1946 年贝尔公司在美国的圣路易斯建立了世界上第一个公用汽车电话网,当时采用了 3 个间隔为 120 kHz 的频道,并使用单工方式通信。到了 20 世纪 50 年代,北美和欧洲部分国家相继成功研制了公用移动电话系统,在技术上实现了移动电话系统与公众电话网络的互通,并得到了广泛的使用。遗憾的是,当时基站的工作方式都是单基站方式,也即每个基站独立工作,这种模式称为大区制移动通信,如图 1-1 所示。大区制移动通信要求基站天线比较高,发射功率比较大,使得位于小区边缘的移动终端可以接收到规定强度的信号。

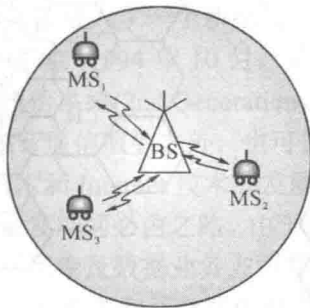


图 1-1 大区制移动通信

但是,由于大区制系统中各个基站间都是独立工作的,因此如果手机在移动过程中从一个基站的覆盖范围到了另一个基站的覆盖范围,用户就必须中断通话,然后重新拨号,使用起来非常不方便。另一方面,这种基站的天线高度一般为几十米甚至百余米,其覆盖半径约为 30 km 左右,而其发射机功率则可高达 200 W,网络可支持的用户数仅为几十至几百,随着用户数量的增加,大区制所能提供的容量很快饱和,成为了一个非常棘手的问题。目前除了工矿区及专业部门的个别小型专用网以外,已经很少采用大区制移动通信。

1.2.2 小区制——蜂窝移动通信时代

为了解决大区制所带来的困扰,科学家们一直在努力探索。从 20 世纪 70 年代中晚期开始,由于电子技术的快速发展和革新,各方面条件趋于成熟,于是小区制——蜂窝移动通信系统应运而生。

蜂窝移动通信最早是由美国贝尔实验室在 20 世纪 70 年代提出的。1978 年底,美国贝尔实验室成功研制出先进移动电话系统 AMPS, AMPS 制蜂窝移动通信系统于 1983 年在芝加哥投入商用,大大提高了系统容量。1987 年 11 月 18 日,在全国六运会前夕,中国第一个 TACS 模拟蜂窝移动电话系统在广东省建成并投入商用,首开了我国移动电话的先河。

蜂窝移动通信的特点是把整个大范围的服务区划分为许多个小区,每个小区设一个基

站，负责本小区各个移动台的联络和控制。各个基站通过移动交换中心相互联系，并与市话局连接。利用超短波电波传播距离有限的特点，使用不同的频率，可以有效避免同频干扰；离开一定距离的小区又可以重复使用频率(如图 1-2 所示，字母相同的小区可以使用同一频率)，使频率资源可以充分利用。另外，在区域内可根据用户的多少确定小区的大小，随着用户数目的增加，小区还可以继续划小，即实现“小区分裂”，如图 1-3 所示，以适应用户数的增加，这可以普遍应用于用户数、业务量较大的公共移动通信网。但是，这种结构中，如果移动用户在通信过程中，从一个小区转入另一个小区的概率增加，移动台需要经常更换工作频道——“切换”。而且，由于增加了基站的数目，产生了控制交换复杂等问题，同时也增加了建网成本。

为了克服小区分裂带来的种种问题，移动通信中亦采用若干层不同大小的蜂窝重叠覆盖的多层蜂窝结构，以实现系统性能的最优化。

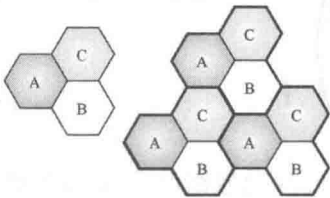


图 1-2 蜂窝移动通信示意

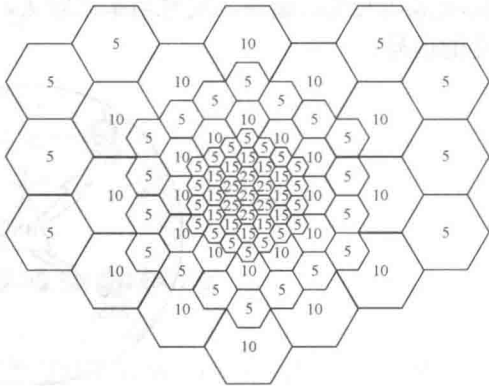


图 1-3 用户密度不等时的小区结构

1.2.3 从 1G 到 4G 的时代

蜂窝系统是一个划时代的技术，它既有效避免了频率冲突，又可让同一频率多次使用，节省了频率资源，大大提高了系统容量，巧妙地克服了公用移动通信系统要求容量大与频率资源有限的矛盾，并成功地解决了跨越服务覆盖区信道自动转换的问题，从而实现了真正意义上的个人通信。图 1-4 所示为蜂窝移动通信发展简史。

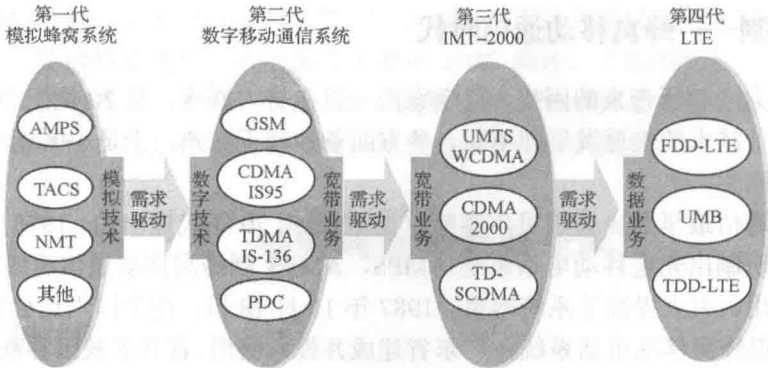


图 1-4 蜂窝移动通信发展简史

1. 第一代移动通信

以 AMPS 和 TACS 为代表的第一代蜂窝移动通信网都是模拟蜂窝移动电话系统,它们的主要特征是用模拟方式传输模拟信号,以 FDMA 技术为基础。其中,AMPS(先进移动电话系统)使用模拟蜂窝传输的 800 MHz 频带,在美洲和部分环太平洋国家广泛使用;TACS(全向入网通信系统)是 20 世纪 80 年代欧洲的模拟移动通信的制式,也是我国 20 世纪 80 年代采用的模拟移动通信制式,使用 900 MHz 频带。模拟蜂窝系统虽然成功,但是仍有频谱利用率低、移动设备复杂、通信成本高、业务种类受限及保密性差等问题,特别是它在系统容量上无法与日益增长的移动用户需求相匹配。为了解决模拟蜂窝系统的各种问题,研究人员将目光投向了数字移动通信系统的研发上。

2. 第二代移动通信

1992 年数字移动通信网 GSM 系统正式在欧洲问世,它采用的是 TDMA 的空口接入方式,由于其频谱利用率高、容量大,可支持自动漫游和自动切换,又具有通信质量好、业务种类多、保密性和抗干扰性都较先前设备有较大提高等特点,加之用户设备小巧、成本低廉,迅速流行于世,使得移动通信进入了一个新纪元。1993 年 9 月 18 日,浙江嘉兴首先开通了我国第一个数字移动通信网。1994 年 10 月,第一个省级数字移动通信网在广东省开通。总体说来,第二代移动通信系统(2nd Generation, 2G)是以传送语音和数据为主的数字通信系统,2G 系统除提供语音通信服务之外,也可提供低速数据服务和短消息服务。

到了 20 世纪末,移动通信技术和 Internet 技术的发展极大地影响了人们的生活、学习和工作,两者的结合成了信息产业发展的必由之路。由于制式、技术及其他各方面的原因,2G 系统在支持全球漫游、频谱利用率及数据业务方面都有较大的不足。随着全球经济一体化和社会信息化的进程,移动通信业务和移动通信用户呈高速增长的趋势,使得 2G 系统在系统容量和业务种类上趋于饱和,为适应对移动通信个性化、智能化和多媒体化的要求,国际电信联盟(ITU)和世界上其他的电信标准实体和研究单位开始了对 3G 系统的研究,并提出了 3G 标准。

3. 第三代移动通信

第三代(3G)移动通信系统也叫“未来公共陆地移动通信系统(FPLMTS)”,后由国际电信联盟(ITU)正式命名为 IMT-2000(International Mobile Telecommunications in the year 2000),即 3G 系统工作在 2000 MHz 频段,原计划于 2000 年投入商用,最高传输速率可达到 2000 kb/s。IMT-2000 标准是一种真正的“宽频多媒体全球数字移动电话技术”,并与改进的 GSM 网络兼容,包括 WCDMA、TD-SCDMA 和 CDMA2000 三大标准。它能够将语音通信和多媒体通信相结合,其可能的增值服务将包括图像、音乐、网页浏览、视频会议以及其他一些信息服务。

按照 ITU 所指定的 IMT-2000,对 3G 的无线传输技术(RTT)有以下需求:

- (1) 信息传输速率方面:144 kb/s 高速运动;384 kb/s 步行运动;2 Mb/s 室内运动。
- (2) 根据带宽需求实现的可变比特速率信息传递。
- (3) 一个连接中可以同时支持具有不同 QoS 要求的业务。
- (4) 满足不同业务的延时要求(从实时要求的语音业务到尽力而为的数据业务)等。

根据以上需求,1999 年 11 月召开的国际电联芬兰会议确定了第三代移动通信无线接

口技术标准，并最终于 2000 年 5 月举行的 ITU-R 2000 年会上批准通过。此标准包括基于码分多址(CDMA)技术的 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 三种技术，及基于时分多址(TDMA)技术的 UWC-136 和 EP-DECT 两种技术。最终基于 CDMA 的 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 成为了公认的三大主流标准，其中前两者采用的是频分双工(FDD)方式，而中国自主知识产权的 TD-SCDMA 标准采用的是时分双工(TDD)方式。

WCDMA 最早由欧洲和日本提出，其核心网是基于演进的 GSM/GPRS 网络技术，空中接口采用直接序列扩频的宽带 CDMA。3GPP(3rd Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划)组织自 1998 年 12 月成立之后，就一直致力于 UMTS/WCDMA 技术标准的制定和完善，使得其成为 IMT-2000 标准家族中影响力最高、运营规模最大的第三代移动通信系统标准，产业链也最为成熟和完善。在 3GPP 发布的第一个商用标准版本 R99(Release 99)中，网元间的通信是采用 ATM 技术来达到同时支持电路交换和分组交换业务需求的。而在后续演进中，随着 IP 网络性能的提高，ATM 逐渐被 IP 取代，并在 R5 版本中实现全 IP 组网。

CDMA2000 最早由北美提出，其核心网采用演进的 IS-95 CDMA 核心网(ANSI-41)。其技术的选择和设计最大限度地考虑了和 2G 时代的 IS-95 CDMA(世界上第一个采用 CDMA 技术的蜂窝移动通信系统)兼容，因此得到 IS-95 CDMA 运营商的支持，且主要分布在北美和亚太地区。成立于 1999 年 1 月的 3GPP2 组织(3rd Generation Partnership Project 2，第三代合作伙伴计划 2)负责这部分的标准工作，它的很多基本参数和特性都与 IS-95 相同，并在无线接口上进行了增强，有单载波版 CDMA2000 1x 和多载波版 CDMA2000 3x。增强型单载波 CDMA2000 1x EV 在技术发展中较受重视，得到了大面积商用。

CDMA TDD 包括欧洲的 UTRAN TDD 和我国提出的 TD-SCDMA 技术。在 IMT-2000 中，TDD 拥有自己独立的频谱(1785~1805 MHz)，并部分采用了智能天线或上行同步技术，适合高密度低速接入、小范围覆盖、不对称数据传输。2001 年 3 月，3GPP 通过 R4 版本，由我国大唐电信提出的 TD-SCDMA 被接纳为正式标准，其核心网和 WCDMA 类似，也是基于演进的 GSM/GPRS 网络技术。

3 种 3G 主流技术的性能对比如表 1-1 所示。

表 1-1 3 种 3G 主流技术的性能对比

技术名称	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
空中接口	WCDMA	CDMA 2000，兼容 IS-95	TD-SCDMA
双工方式	FDD	FDD	TDD
频带宽度	5 M	$(1.25 \times n)M (n = 1, 3, 6)$	1.6 M
码片速率	3.84 Mc/s	$(1.2288 \times n)Mc/s$	1.28 Mc/s
同步要求	同步/异步	GPS 同步	同步
继承基础	GSM	窄带 CDMA	GSM
采用地区	欧洲、日本	北美、韩国	中国
商用试验	2001 年	2000 年	2007 年
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP

2008 年底,我国政府发放了第三代移动通信牌照,重组后的中国联通获得了 WCDMA 的运营牌照,常见的运营号段包括 186、185、156、155、132、131 及 130 号段;中国电信获得了 CDMA2000 的运营牌照,运营的号段包括 133、153、180、181 和 189 号段;而我国自主研发并大力扶持的 TD-SCDMA 标准的运营牌照发给了中国移动,其运营的号段包括 134、135、136、137、138、139、147、150、151、152、157、158、159、182、183、187 及 188 号段。

虽然 3G 和 2G 相比,有很多优点,但是 3G 还是存在着很多不尽人意的地方,如:3G 所采用的语音交换架构仍承袭了 2G 系统的电路交换,而不是纯 IP 的方式;3G 的业务提供和业务管理不够灵活;流媒体(视频)的应用不尽如人意;3G 的高速数据传输不成熟,接入速率有限;安全方面存在算法过多、认证协议容易被攻击等缺陷。

随着无线技术的种类越来越多,迫切需要将这些无线技术整合到一个统一的网络环境中去,这就产生了超三代移动通信系统(B3G)和 4G 通信系统。B3G 和 4G 通信系统是提供宽带接入、全球无缝漫游和无处不在的数据、语音业务等方面的更加优质的技术。

4. 第四代移动通信

在传统蜂窝移动通信技术高速发展的同时,IEEE 负责的宽带无线接入技术(如基于 IEEE802.11 的 WIFI、基于 IEEE802.16 的 WIMAX)也开始提供移动功能,试图抢占移动通信的部分市场。

为了抗衡 WiMAX 的竞争,3GPP 在设计完成 HSUPA 之后,于 2004 年 12 月开始启动了以 OFDM 和 MIMO 为核心技术的 3G 技术长期演进 LTE(Long Term Evolution),并将 WCDMA 和 TD-SCDMA 分别演进为 LTE-FDD 和 LTE-TDD,再最终演进为 LTE+。而 3GPP2 负责将 CDMA2000 演进为超移动宽带 UMB,但最终在 2008 年底放弃了 UMB 技术,明确了向 LTE 长期发展的路线。无线通信系统的历史演进如图 1-5 所示。

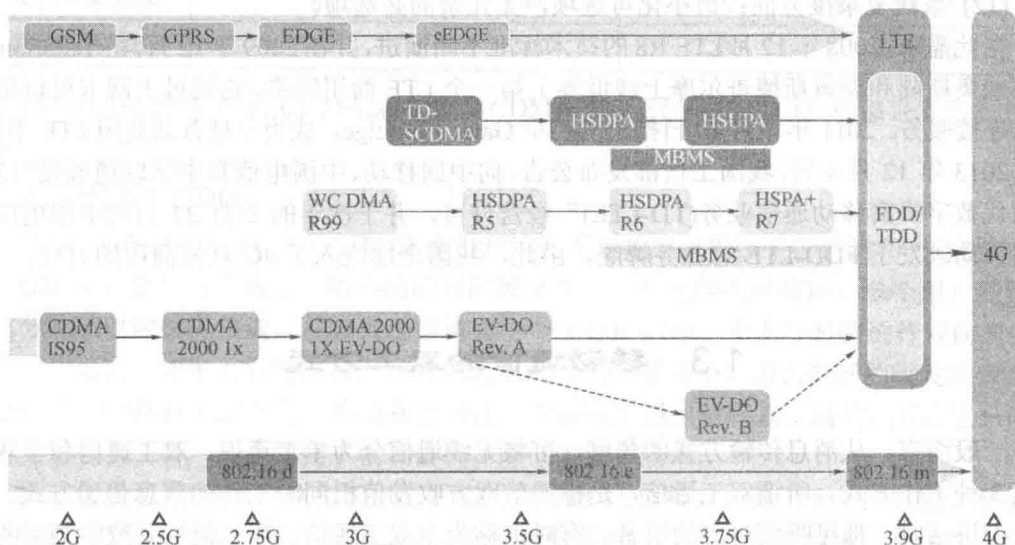


图 1-5 无线通信系统的历史演进

LTE 和 UMB 代表的是传统的电信产业,其中 LTE 的计划更周密、方案更完善;而移动 WiMAX 是基于宽带无线接入技术的,网络可利用现有 IP 网络,带宽更宽。无论哪种

技术方案,其核心都是基于 OFDM 和 MIMO 的,但最终被产业界看好并全面商用的是 LTE,因此本书着重介绍 LTE 技术。

在 2005 年 6 月 TSGRAN#28 的魁北克全会上,定下的 LTE 的关键需求概括描述如下:

(1) 峰值速率:上、下行各 20 MHz 带宽条件下,下行峰值速率为 100 Mb/s,上行峰值速率为 50 Mb/s。

(2) 控制面延迟:空闲状态到激活状态的转换时间小于 100 ms。

(3) 控制面容量:5 MHz 带宽下,每小区应至少支持 200 个激活用户。

(4) 用户面延迟:系统在单用户、单业务流以及小 IP 包条件下,用户面延迟小于 5 ms。

(5) 用户吞吐量:下行用户平均吞吐量为 R6 HSDPA 的 2~3 倍。

(6) 频谱效率:在有负荷的网络中,下行频谱效率为 R6 HSDPA 的 3~4 倍,上行频谱效率为 R6 HSDPA 的 2~3 倍。

(7) 移动性:演进系统需优化在低速(0~15 km/h)情况下的性能;以较高的性能支持高移动速度(15~120 km/h);系统在 120~350 km/h 的移动速度下可用。

(8) 系统覆盖:小区半径为 5 km 的情况下,系统吞吐量、频谱效率和移动性等指标符合需求定义要求;小区半径为 30 km 的情况下,上述指标略有降低;系统能够支持半径为 100 km 的小区;演进系统支持在 1.4 MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz 和 20 MHz 带宽部署,支持成对和非成对频谱。

(9) 系统共存以及与其他 3GPP 接入技术的互联互通:支持 UTRAN 和 GERAN 的演进系统多模终端,支持与 UTRAN 和 GERAN 之间的测量和切换。

(10) 系统结构:基于分组的、单一的、支持端到端 QoS 的系统结构。

(11) 无线资源管理需求:增强支持端到端 QoS;支持在不同接入网技术之间负荷分担和策略管理。

(12) 系统复杂度方面:最小化可选项,无冗余的必选项。

据此需求,2008 年 12 月 LTE R8 的技术标准不断演进,并在 2009 年 12 月,由 TeliaSonera 在挪威奥斯陆和瑞典斯德哥尔摩上线世界上第一个 LTE 商用网络,它通过上网卡可以提供数据连接服务。2011 年 2 月 10 日推出的三星 Galaxy Indulge,成为全球首款商用 LTE 手机。

2013 年 12 月 4 日,我国工信部发布公告,向中国移动、中国电信和中国联通颁发“LTE/第四代数字蜂窝移动通信业务(TD-LTE)”经营许可,并于次年的 2 月 27 日向中国电信、中国移动颁发了 FDD-LTE 的业务牌照。由此,我国全面进入了 4G 规模商用的时代。

1.3 移动通信的双工方式

一般而言,从消息传输方式的角度,可将无线通信分为单工通信、双工通信和半双工通信 3 种工作方式。所谓双工通信,是指通信双方收发信机同时工作的信息传递方式,即任一方讲话时,都可听到对方的语音,有时也称为全双工通信。那么根据系统中频率的使用方法,双工通信可进一步分为频分双工(FDD)技术或时分双工(TDD)技术。

1. 频分双工(FDD)

频分双工是指为了保证用户在给基站发送信息的同时能接收来自基站的信息,系统为

每个用户提供了两个确定的频段。下行频段用于基站到移动台的信息传输，上行频段用于移动台到基站的信息传输。用户终端和基站使用各自的双工器，完成同时在双工信道上进行的无线发射和接收。下行信道和上行信道的频率分配在整个系统中是固定的，而与某个特定的信道无关，如图 1-6(a)所示。

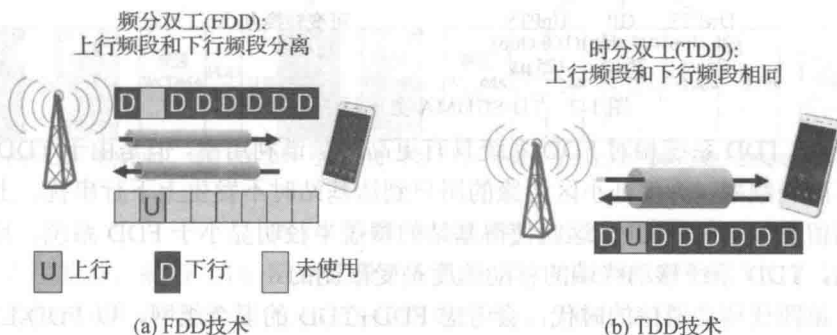


图 1-6 FDD VS. TDD

GSM 移动通信系统就采用了典型的 FDD 模式的双工方式，GSM 系统工作频段分配如表 1-2 所示，我国主要采用的是 900 MHz 和 1800 MHz 频段。

表 1-2 GSM 系统工作频段分配

工作频段	900 MHz 频段		1800 MHz 频段	1900 MHz 频段
	G1 频段(原 E-GSM)	P 频段		
上行频率/ MHz	880~890	890~915	1710~1785	1850~1910
下行频率/ MHz	925~935	935~960	1805~1880	1930~1990
双工间隔/ MHz	45	45	95	80
载频间隔/ kHz	200	200	200	200

第三代移动通信中的 CDMA2000 和 WCDMA、第四代的 FDD-LTE 也都是采用的 FDD 模式。

2. 时分双工(TDD)

如图 1-6(b)所示，时分双工 TDD 是用时间而不是频率来提供下行链路和上行链路的。在 TDD 中，多个用户通过占用不同的时间段来共享一个无线载频信道。单个用户能够在给它分配的时隙接入信道，且该双工信道由一个下行时隙和一个上行时隙进行双向通信。对于用户而言，如果上行时隙和下行时隙之间的时间间隔很小，那么数据的收发就像是同时进行的。TDD 技术允许用户终端和基站在一个载频信道上进行双工通信，因此这一技术不需要射频双工器，从而简化了收发信机，降低了设备成本。

第三代移动通信中，TD-SCDMA 系统就使用的 TDD 模式，其上下行的时隙分配如图 1-7 所示。每个子帧由长度为 $675\mu\text{s}$ 的 7 个常规时隙和 3 个特殊时隙组成。在这 7 个常规时隙中，TS0 总是固定地用做下行时隙，而 TS1 总是固定地用做上行时隙，其他的常规时隙可以根据需要灵活地配置成上行或下行以实现不对称业务的传输，来适应用户业务需求，优化频谱效率。