

高等学校电子信息类专业  
“十三五”规划教材

**ELECTRONIC**  
INFORMATION SPECIALTY

# 现代移动通信

主 编 康晓非  
副主编 李白萍 林少锋

 西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

# 现代移动通信

主 编 康晓非  
副主编 李白萍 林少锋

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书重点讲述移动通信的基本概念、主要技术和典型系统,以及移动通信领域最新技术的发展。全书共9章,可分为三个部分。第一部分(第1章)主要介绍移动通信的发展和基本概念,使读者对移动通信在总体上有一个初步认识。第二部分(第2~6章)主要介绍移动通信的基本理论和主要技术,包括移动通信信道、编码技术、数字调制技术、抗衰落技术、组网技术等。在阐述过程中突出每种技术的作用、原理及在移动通信系统中的应用。第三部分(第7~9章)主要介绍广泛应用的典型移动通信系统,包括2G系统(GSM和IS-95 CDMA)、3G系统(WCDMA、cdma2000和TD-SCDMA)以及B3G/4G系统。在阐述时将每个系统的特点、网络结构和空中接口技术作为重点。

本书条理清楚,内容由浅入深,以满足不同层次读者的学习需要。

本书可作为高等院校通信以及电子信息专业学生的教材,也可作为从事移动通信以及相关专业工作的工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代移动通信/康晓非主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.12

高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3890 - 4

I. ① 现… II. ① 康… III. ① 移动通信—高等学校—教材 IV. ① TN929.5

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 268559 号

策 划 云立实

责任编辑 云立实 杨 薇

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 陕西大江印务有限公司

版 次 2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5

字 数 341千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3890 - 4/TN

**XDUP 4182001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 前 言

移动通信是通信领域中发展最快、应用最广和最前沿的分支。其快速发展激发了人们学习移动通信知识的热情,也推动了移动通信教学的发展,并增加了对移动通信教材的需求。近年来,国内外出版了不少移动通信类的教材,其中不乏优秀之作。考虑到技术更新快、课时受限及专业特点等因素,编者在参考大量文献的基础上,结合多年在移动通信领域工作、教学和科研的经验编写了此书。

全书共分为9章,第1章介绍了移动通信的发展历程和移动通信中的一些基本概念。第2章介绍了移动通信信道的相关理论。第3章介绍了移动通信中的语音编码和信道编码。第4章讲述了移动通信中的调制技术,包括恒包络调制、线性调制以及QAM、OFDM等高效调制技术。第5章主要讲述抗衰落技术,包括均衡技术、分集技术、交织技术和多天线技术。第6章讲述了组网技术,主要包括蜂窝技术、移动性管理、多址接入和多信道共用技术。第7章讲述了2G的GSM和IS-95 CDMA两大典型系统的组成和空中接口技术。第8章讲述了cdma2000、WCDMA和TD-SCDMA三大3G系统的网络结构及物理层技术。第9章主要介绍了LTE及LTE-Advanced系统的演进及关键技术。每章都给出一定量的习题与思考题,以帮助读者巩固所学的知识,启发思路。

本书力求做到内容由浅入深,论证简明扼要,条理清楚,重点突出,尽量避免繁琐的数学推导,从工程应用的角度关注基本原理和主要技术,注重内容的系统性、先进性和实用性。

本书的第1~3章、第9章由李白萍编写,第4~7章以及第8章的8.3节由康晓非编写,第8章的8.1和8.2节由林少锋编写,第8章的8.4节由汪正进编写。

在本书编写过程中,得到了李盼、张登峰等人的帮助,暴宇、李新民、马延军等老师也提出了许多宝贵的建议,在此表示感谢;在本书出版过程中,西安电子科技大学出版社云立实编辑给予了大力支持,在此也表示感谢。

本书的编写也得到了陕西省通信工程特色专业建设点(No. [2011] 42)和陕西省通信工程系列课程教学团队项目(No. [2013] 32)的大力支持。

移动通信技术的发展日新月异,加之编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者  
2015年8月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 移动通信的发展历程 .....	1
1.2 移动通信基本概念 .....	7
1.2.1 移动通信的定义及特点 .....	7
1.2.2 移动通信的分类 .....	8
1.2.3 无线频谱 .....	8
1.2.4 移动通信的工作方式 .....	10
1.3 常用移动通信系统 .....	12
1.3.1 无绳电话系统 .....	12
1.3.2 集群移动通信系统 .....	14
1.3.3 无线电寻呼系统 .....	15
1.3.4 卫星移动通信系统 .....	16
1.3.5 蜂窝移动通信系统 .....	17
习题与思考题 .....	18
<b>第 2 章 移动通信信道</b> .....	19
2.1 移动信道基本特性 .....	19
2.1.1 移动信道的主要特点 .....	19
2.1.2 电波传播方式 .....	19
2.1.3 移动信道中的几种效应 .....	22
2.1.4 多径信道特性 .....	23
2.2 大尺度衰落模型 .....	26
2.2.1 路径损耗 .....	27
2.2.2 阴影衰落 .....	30
2.3 小尺度衰落模型 .....	31
2.3.1 影响小尺度衰落的因素 .....	31
2.3.2 移动多径信道参数 .....	31
2.3.3 小尺度衰落类型 .....	33
2.4 噪声和干扰 .....	35
2.4.1 无线信道噪声 .....	35
2.4.2 移动通信中的干扰 .....	35
习题与思考题 .....	36
<b>第 3 章 编码技术</b> .....	37
3.1 语音编码 .....	37
3.1.1 语音编码的分类 .....	37

3.1.2	混合编码的性能参数 .....	39
3.1.3	移动通信中的语音编码 .....	40
3.2	信道编码 .....	44
3.2.1	信道编码的基本概念 .....	44
3.2.2	CRC 检错码 .....	45
3.2.3	卷积码 .....	45
3.2.4	Turbo 码 .....	51
3.2.5	移动通信中的信道编码 .....	52
	习题与思考题 .....	58
<b>第 4 章</b>	<b>数字调制技术</b> .....	<b>59</b>
4.1	概述 .....	59
4.1.1	数字调制的性能指标 .....	59
4.1.2	移动通信对调制技术的要求 .....	60
4.2	恒包络调制 .....	60
4.2.1	2FSK .....	60
4.2.2	MSK .....	62
4.2.3	GMSK .....	66
4.3	线性调制 .....	69
4.3.1	2PSK .....	69
4.3.2	QPSK .....	71
4.3.3	OQPSK .....	73
4.4	QAM .....	74
4.4.1	MQAM 调制的原理 .....	74
4.4.2	MQAM 信号的产生和解调 .....	76
4.4.3	MQAM 调制性能 .....	77
4.5	多载波调制 .....	78
4.5.1	多载波调制基本概念 .....	78
4.5.2	OFDM 的原理 .....	80
4.5.3	OFDM 的 IFFT/FFT 实现 .....	81
4.5.4	保护间隔与循环前缀 .....	81
4.5.5	加窗技术 .....	83
	习题与思考题 .....	85
<b>第 5 章</b>	<b>抗衰落技术</b> .....	<b>86</b>
5.1	均衡技术 .....	86
5.1.1	均衡原理和作用 .....	86
5.1.2	均衡实现途径 .....	87
5.1.3	横向滤波器的原理 .....	88
5.1.4	自适应均衡和盲均衡 .....	89
5.2	分集技术 .....	92
5.2.1	分集的概念 .....	92
5.2.2	分集技术的分类 .....	92

5.2.3	典型的分集技术 .....	92
5.2.4	常用的合并技术 .....	94
5.2.5	Rake 接收技术 .....	97
5.3	交织 .....	99
5.3.1	交织的基本原理 .....	99
5.3.2	交织的特点 .....	99
5.4	多天线技术 .....	100
5.4.1	多天线技术的概念 .....	100
5.4.2	多天线技术的优势 .....	101
5.4.3	空时编码技术 .....	103
	习题与思考题 .....	107
<b>第 6 章</b>	<b>组网技术 .....</b>	<b>108</b>
6.1	蜂窝技术 .....	108
6.1.1	蜂窝的概念 .....	108
6.1.2	频率复用 .....	111
6.1.3	蜂窝系统容量的改善 .....	113
6.2	移动性管理 .....	116
6.2.1	位置管理 .....	116
6.2.2	越区切换 .....	119
6.3	多址接入 .....	123
6.3.1	多址接入的概念 .....	123
6.3.2	三种多址方式的特点 .....	124
6.3.3	三种多址方式的比较 .....	126
6.4	多信道共用技术 .....	128
6.4.1	技术指标 .....	128
6.4.2	空闲信道的选取方式 .....	130
	习题与思考题 .....	131
<b>第 7 章</b>	<b>2G 移动通信系统 .....</b>	<b>132</b>
7.1	GSM 通信系统 .....	132
7.1.1	GSM 系统概述 .....	132
7.1.2	GSM 系统组成 .....	133
7.1.3	GSM 无线接口理论 .....	137
7.1.4	GSM 主要技术 .....	147
7.2	CDMA 技术的基础 .....	150
7.2.1	扩频通信的基本概念 .....	150
7.2.2	直接序列扩频基本原理 .....	153
7.2.3	CDMA 中的地址码 .....	155
7.3	IS-95 CDMA 系统 .....	159
7.3.1	系统概述 .....	159
7.3.2	IS-95 CDMA 系统的无线链路 .....	162
7.3.3	IS-95 CDMA 中的切换和功率控制 .....	169

习题与思考题 .....	175
<b>第 8 章 3G 移动通信系统</b> .....	176
8.1 概述 .....	176
8.2 cdma2000 系统 .....	177
8.2.1 cdma2000 的演进 .....	177
8.2.2 EV-DO 网络结构 .....	178
8.2.3 EV-DO 技术特征 .....	180
8.3 WCDMA 系统 .....	182
8.3.1 演进路线及技术特点 .....	182
8.3.2 系统结构 .....	184
8.3.3 WCDMA 无线接口技术 .....	187
8.4 TD-SCDMA 系统 .....	197
8.4.1 物理信道的帧结构 .....	197
8.4.2 TD-SCDMA 特色技术 .....	198
习题与思考题 .....	202
<b>第 9 章 B3G/4G 移动通信系统</b> .....	203
9.1 LTE 系统 .....	203
9.1.1 LTE 概述 .....	203
9.1.2 LTE 系统架构 .....	205
9.1.3 无线协议结构 .....	208
9.1.4 LTE 帧结构 .....	208
9.1.5 LTE 关键技术 .....	212
9.2 LTE-Advanced 系统 .....	218
9.2.1 载波聚合 .....	219
9.2.2 增强型 MIMO .....	220
9.2.3 协作多点传输 (CoMP) .....	221
9.2.4 中继 .....	222
习题与思考题 .....	223
<b>参考文献</b> .....	224



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 移动通信的发展历程

移动通信是通信领域最活跃和发展最为迅速的分支,也将是 21 世纪对人类的生活和社会发展有重大影响的科学领域之一。短短的几十年间,各种新技术层出不穷,蜂窝移动通信经历了四代演进。移动电话用户则以超高速增长,预计至 2015 年年底全球手机用户将超过 75 亿,我国手机用户也将超过 13 亿。图 1-1 为我国移动电话用户数的历年统计。

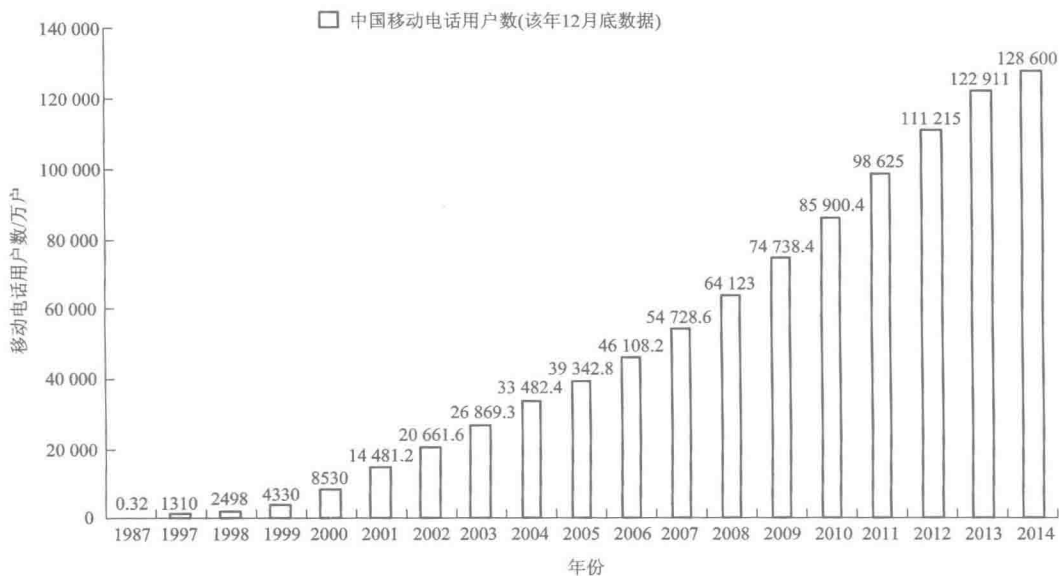


图 1-1 我国历年移动用户数统计

移动通信从诞生至今已有 100 多年的历史了。1897 年,意大利科学家马可尼(Marconi)实现了从英国怀特岛(Isle of Wight)到 30 km 之外的一条拖船之间的无线传输,这成为了移动通信的开端。现代意义上的移动通信始于 20 世纪 20 年代。20 世纪 20 年代至 60 年代末是移动通信发展的初期阶段。

从 20 世纪 20 年代至 40 年代,移动通信使用范围很小,主要应用在专用系统和军事通信领域,借助于船舶、飞机、汽车等专用移动通信平台,使用的波段为短波波段。由于当时的技术限制,移动通信的设备采用电子管,大而笨重,且通信效果很差。当时只能采用人工交换和人工切换频率的控制和接续方式。其代表系统是 1921 年美国底特律和密执安警

察厅开始使用的车载无线电系统,该系统的工作频率为 2 MHz。

从 20 世纪 40 年代至 60 年代末,移动通信开始应用于民用系统,在频段使用上,则放弃了原来的短波波段,开始使用 VHF(甚高频)的 150 MHz,到了后来又发展到 400 MHz 频段。由于晶体管的出现,使移动台向小型化方面大大前进了一步,通信效果也明显提升。交换系统已由人工发展为用户直接拨号的专用自动交换系统。在此阶段,美国、英国、日本、西德等国开始应用汽车公用无线电话(MTS 或 IMTS),如 1946 年,美国的圣路易斯城建立了世界上第一个公共汽车电话系统。

1974 年,美国贝尔实验室提出的蜂窝概念,有效地提高了系统容量和频谱效率,同时集成电路技术、微型计算机和微处理器的广泛应用,使得移动通信进入了快速发展阶段。蜂窝移动通信系统截至目前已演进了四代。

第一代移动通信系统(1st Generation, 1G)以模拟蜂窝网为主要特征。20 世纪 80 年代左右,随着蜂窝系统的概念及其理论在实际中的应用,美国、英国、日本、瑞典等国纷纷研制出陆地移动电话系统。这个时期的系统的主要技术特点是 FM(调频)、FDMA(频分多址),以模拟方式工作,加之以蜂窝小区进行组网,故称为模拟蜂窝移动通信系统。其典型系统包括:先进移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS)、全接入通信系统(Total Access Communications System, TACS)和北欧移动电话系统(Nordic Mobile Telephone, NMT)。其中,AMPS 系统于 1978 年在美国贝尔实验室研制成功,1983 年首次在芝加哥投入商用,同年 12 月在华盛顿也开始启用。服务区域在美国逐渐扩大,到 1985 年 3 月已经扩展到 47 个地区,约 10 万移动用户。TACS 系统于 1985 年由英国开发,它实际上是 AMPS 系统的改进,这种改进主要体现在两个方面:一方面是工作频段不同(AMPS 工作频段为 800 MHz, TACS 工作频段为 900 MHz),另一方面是信道带宽不同(AMPS 信道带宽是 30 kHz, TACS 信道带宽是 25 kHz)。通过这种改进使 TACS 系统比 AMPS 系统具有更大的容量。该系统首先在伦敦投入商用,之后覆盖全国。NMT 系统是由丹麦、挪威、瑞典和芬兰北欧四国研制成功的。NMT 系统实际包含两个系统,即 NMT-450 和 NMT-900。NMT-450 于 1981 年首先在瑞典开通,其工作频段为 450 MHz,频道间隔为 25 kHz,基站发射功率为 25~50 W,提供 180 个双向信道,但容量很快饱和。接着 1986 年末引入 NMT-900,工作在 900 MHz 频段,频道间隔为 12.5 kHz,有 1999 个双向信道。这几种模拟蜂窝移动通信系统的主要参数如表 1-1 所示。

表 1-1 模拟蜂窝移动通信系统的主要参数

系统特性		美国	英国	北 欧	
系统名称		AMPS	TACS	NMT-450	NMT-900
频段 /MHz	基站发	870~880	935~960	463~467.5	935~960
	移动台发	825~845	890~915	453~457.5	890~915
频道间隔/MHz		30	25	25	12.5
收发频率间隔/MHz		45	45	10	45
基站发射功率/W		100	100	50	100

续表

系统特性		美国	英国	北 欧	
系统名称		AMPS	TACS	NMT-450	NMT-900
移动台发射功率/W		3	7	15	6
小区半径/km		2~20	3~20	1~40	0.5~20
区群内小区数/N		7/12	7/12	7/12	9/12
话音	调制方式	FM	FM	FM	FM
	频偏/kHz	±12	±9.5	±5	±5
信令	调制方式	FSK	FSK	FSK	FSK
	频偏/kHz	±8.0	±6.4	±3.5	±3.5
	速率/(kb/s)	10	8	1.2	1.2
纠错 编码	基站	BCH(40, 28)	BCH(40, 28)	卷积码	卷积码
	移动台	BCH(48, 36)	BCH(48, 36)	卷积码	卷积码

第二代移动通信系统(2nd Generation, 2G)是以数字化为主要特征的。进入20世纪90年代,随着超大规模集成电路和低速率语音编码技术的出现,数字通信技术表现出了比模拟技术更突出的优越性,在移动通信领域也出现了数字技术取代模拟技术的趋势。实际上,模拟蜂窝网在应用中也暴露出了一些问题。例如,不同制式系统之间不兼容,不能提供数据业务,频谱效率低,费用昂贵,保密性差等。最主要的问题是其容量已不能满足日益增长的移动用户需求。解决这些问题的方法是开发新一代数字蜂窝移动通信系统。典型的2G系统包括:GSM(Global System for Mobile communications)系统、IS-95 CDMA系统、DAMPS(Digital AMPS)系统和JDC(Japanese Digital Cellular)系统。GSM系统源自欧洲,该系统是基于TDMA方式的,并且采用了当时先进的规则脉冲激励长期预测(RPE-LTP)语音编码方式和高斯滤波最小频移键控(GMSK)调制技术。因其采用全数字传输,所以在实现技术和管理控制等方面,均与模拟蜂窝移动通信网有较大的差异,也体现出了更多的优势。1991年7月欧洲第一个GSM系统在芬兰开通。1992年大多数欧洲运营商也陆续开始提供GSM商用业务。到1994年5月已有50个GSM网在世界上运营,同年10月总客户数已超过400万,国际漫游客户每月呼叫次数超过500万,客户平均增长超过50%。1993年欧洲第一个工作于1800 MHz频段的DCS1800系统投入运营。到1994年已有6个运营者采用了该系统。

IS-95 CDMA系统是由美国高通(Qualcomm)公司于1993年提出的,并被电信工业协会(TIA)采纳为北美数字蜂窝网标准。该系统基于直接序列扩频通信,具有较强的抗干扰能力,可以在较低信噪比下工作。由于采用了CDMA多址方式,通过不同的扩频码来区分用户,这样不同的用户可以使用相同的频率,从而极大地提高了频谱利用率,增大了系统容量。此外,该系统采用了具有语音检测的可变速率语音编码器,显著地减少了所需的传输数据速率,并降低了移动发射机的电池功耗。1995年下半年,第一个CDMA商用网络在香港地区开通,随后CDMA在韩国、美国、澳大利亚等国也得到了大规模商用。

DAMPS 系统是由 AMPS 系统发展而来的, DAMPS 系统用数字调制( $\pi/4$ -DQPSK)取代了 AMPS 系统的模拟调制(FM), 并引入了 TDMA 和低速率语音编码技术(VSELP)使其容量是 AMPS 系统的三倍, 并成为数字蜂窝通信系统。该系统有时也称为 ADC(American Digital Cellular)或 USDC(U. S. Digital Cellular)。此外, DAMPS 系统最早是在美国 EIA/TIA 制定的 IS-54 标准中被定义的, IS-54 经过修订后的标准称为 IS-136, 所以 DAMPS 系统也可被称为 IS-54 或 IS-136。该系统于 1993 年首先在美国应用, 随后主要应用在北美国家。

JDC 系统是由日本自行研发的, 后来也被称为 PDC(Personal Digital Cellular)。1990 年日本开始制定相关技术标准(RCR-STD-27B), 并于 1993 年开始在日本商用。该系统在无线传输方面采纳了与 IS-54 相似的技术; 而在网络管理和控制方面, 则采取了和 GSM 相似的方案。表 1-2 为几种数字蜂窝系统的主要参数。

表 1-2 数字蜂窝系统的主要参数

系统		GSM/DCS	ADC(IS-54)	JDC	CDMA(IS-95)
频段 /MHz	基站	935~960 1805~1880	869~894	810~826 1429~1453	869~894
	移动台	890~915 1710~1785	824~849	940~956 1477~1501	824~849
双工间隔/MHz		45 95	45	130 48	45
频道带宽/kHz		200	30	25	1250
多址方式		TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA
调制方式		GMSK	$\pi/4$ -DQPSK	$\pi/4$ -DQPSK	QPSK(下行) OQPSK(上行)
信道传输速率		270.83 kb/s	48.6 kb/s	42 kb/s	1.2288 Mc/s
语音编码方式		RPE-LTP	VSELP	VSELP	可变速率 CELP
数据速率/(kb/s)		1.2, 2.4, 4.8, 9.6	2.4, 4.8, 9.6	1.2, 2.4, 4.8	1.2, 2.4, 4.8, 9.6
越区切换方式		移动台辅助切换	移动台辅助切换	移动台辅助切换	移动台辅助切换
小区最小半径		0.5 km	0.5 km	0.5 km	不定

在我国商用的 2G 系统主要是 GSM 系统和 IS-95 CDMA 系统。我国于 1994 年 10 月在广东开通了第一个省级 GSM 数字蜂窝移动网。1995 年 4 月原邮电部在全国 15 个省市相继建立了 GSM 网, 同年 7 月中国联通在京、津、沪、穗 4 个地区开通了 GSM 网。

CDMA 系统在我国的发展始于 1997 年年底, 当时首先在北京、上海、西安、广州 4 个城市开通了 CDMA 商用实验网。该网当时被称作长城网, 是由原邮电部与总参通信部合

作成立的长城电信公司负责经营的。2001 年 1 月, 长城网经过资产清算后, 正式移交中国联通。2001 年 2 月, 联通 CDMA 网络建设的具体筹划工作正式展开。2002 年 1 月中国联通 CDMA 网开通。

2G 系统在提高语音容量、改进通话质量方面有了很大的进步, 同时它也开始支持数据应用如 Internet 网接入。但这些系统建立在电路交换模式基础上, 这使得 2G 系统在数据方面的效率很低, 只支持低速数据传输, 而且容量也有限。

第三代移动通信系统(3rd Generation, 3G)以提供多媒体业务为主要特征。相对于 2G 系统, 3G 系统在数据传输方面是一个重大飞跃, 支持包括多媒体在内的高级业务和应用。3G 的研究工作开始于 1985 年, 国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)当时成立了临时工作组, 提出了未来公共陆地移动通信系统(Future Public Land Mobile Telecomm System, FPLMTS)的概念。1996 年, FPLMTS 正式更名为 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000)。

1997 年初, ITU 发出通函, 向各国征集 IMT-2000 无线传输技术方案。截止到 1998 年 6 月 30 日, ITU 共收到 16 项建议, 经过一系列的评估与标准融合后, 1999 年 11 月举行的 ITU-R TG8/1 赫尔辛基会议上最终确定了第三代移动通信无线接口标准, 并于 2000 年 5 月召开的 ITU-R 2000 年全会(RA-2000)上最终得到批准通过, 被正式命名为 IMT-2000 无线接口技术规范(M.1457)。此规范包括 CDMA 和 TDMA 两大类共五种技术。其中美国电信工业协会(TIA)提交的 cdma2000、欧洲电信标准化协会(ETSI)提交的 WCDMA 以及中国电信科学技术研究院(CATT)和大唐电信提交的 TD-SCDMA 为三大主流技术并得以商用。2007 年 10 月, ITU 宣布, WiMax(Worldwide Interoperability for Microwave Access)成为 ITU 移动无线标准, 于是 IMT-2000 家族中又添了一名新成员。

WCDMA 和 TD-SCDMA 的标准化工作主要由 3GPP 制定, WCDMA 的第一个 3G 版本为 R99, 随后在 R4 版本中引入了 TD-SCDMA 标准, 在 R5 版本中引入了高速下行分组接入(High Speed Downlink Packet Access, HSDPA)技术, 在 R6 版本中引入了高速上行分组接入(High Speed Uplink Packet Access, HSUPA)技术。在 R7 版本中 HSPA 进一步演进, 引入了高阶调制和 MIMO 技术, R7 HSPA 有时也被称为 HSPA+。R8 及其之后的版本主要是 LTE/LTE-Advanced 技术标准。cdma2000 的标准由 3GPP2 制定, cdma2000 1x 是 IS-95A/B 向 3G 迈进的第一次演进, 为了获得更高的数据速率(最高 2 Mb/s), 提高系统在分组数据场景时的吞吐量, cdma2000 1x 也演进为 cdma2000 1x EV-DO, 该标准仅适用于数据业务, 1x EV-DO 版本被设计成一种非对称系统, 1x EV-DO Rel. 0 版本下行速率可达 2.4 Mb/s, 上行速率最高为 153 kb/s。随后的 1x EV-DO Rel. A、Rel. B、Rel. C 版本上下行速率不断提升, 1x EV-DO Rel. C 也称作超移动宽带(Ultra Mobile Broadband, UMB)。WiMax 标准由 IEEE 802.16 宽带无线接入(BWA)标准工作组制定, 其演进路线为: 802.16d-802.16e-802.16m。这些标准都向 4G IMT-Advanced 演进, 具体演进路线如图 1-2 所示。

全球最早开展 3G 业务的是日本运营商, NTT DoCoMo 和 KDDI 分别于 2001 年和 2002 年开通了各自的 3G 服务; 韩国运营商 SKT 和 KTF 也于 2002 年开始 3G 运营。全球范围内大面积的 3G 网络部署开始于 2003 年, 和记电讯于 2003 年在欧洲开通了欧洲第一个 3G 网络, 同年 Verizon 也在美国开通了 3G 服务。

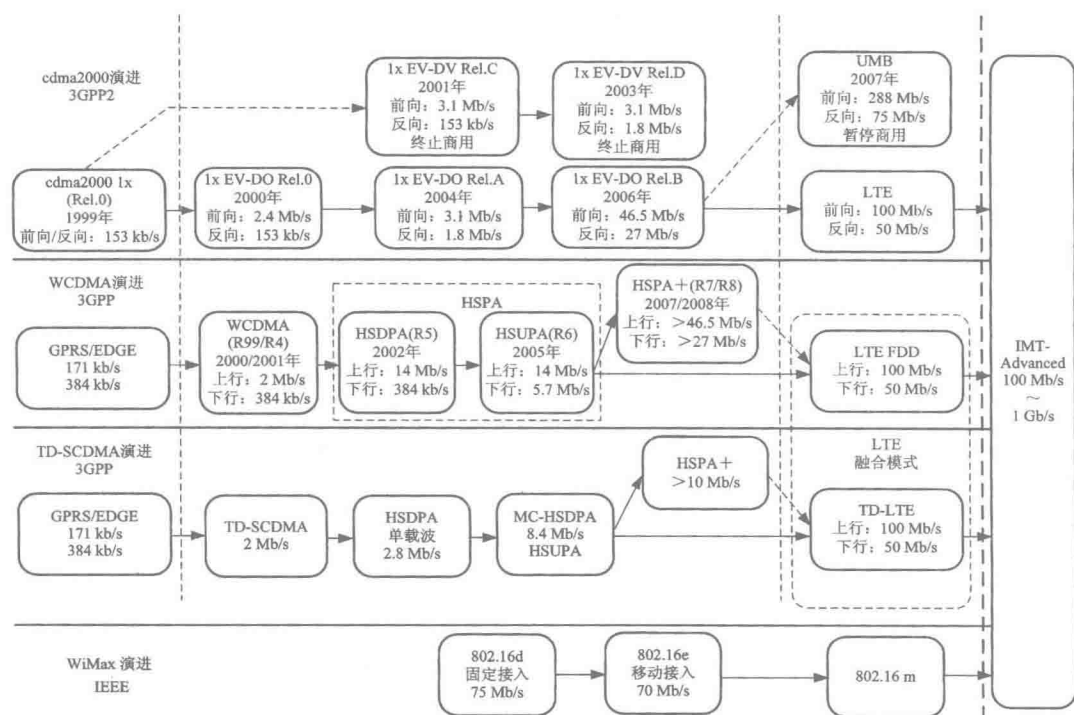


图 1-2 3G 标准演进路线

我国工业和信息化部于 2009 年 1 月 7 日分别为中国移动、中国联通和中国电信发放了 TD-SCDMA、WCDMA 和 cdma2000 三张 3G 牌照。

第四代移动通信系统(4th Generation, 4G)以宽带高速数据传输为主要特征。在以为 CDMA 为核心的 3G 系统的标准化提供了理论基础后,学术界已经为新一代无线通信技术积累了十几年,到了 21 世纪最初几年,在 OFDM、多天线、调度、反馈等技术领域的研究其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 接收的新一代无线通信系统的时机已成熟。OFDM 和 MIMO 技术始终被看作 B3G/4G 的关键技术,国际电信联盟无线部门(ITU-R)将 B3G 技术正式命名为 IMT-Advanced(International Mobile Telecommunications-Advanced),并于 2008 年 2 月向各国发出通函,征集 IMT-Advanced 技术提案。2009 年 10 月,WP5D 收到了 6 项来自不同政府或者标准化组织提交的候选技术方案,并开始了后续评估和标准融合开发工作。2010 年 10 月,WP5D 第 9 次会议在中国重庆召开,将收到的 6 个 IMT-Advanced 候选提案融合成两个:LTE-Advanced(Long Term Evolution-Advanced)和 WirelessMAN-Advanced(IEEE 802.16m),前者主要由 3GPP、ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA、TTC 及其伙伴成员支持;后者主要由 IEEE、ARIB、TTA、WiMax 论坛及其伙伴成员支持。LTE-Advanced 包含 FDD-LTE-Advanced 和 TD-LTE-Advanced 两个技术分支,其中 TD-LTE-Advanced 标准由中国制定并被 ITU 采纳。

我国工业和信息化部于 2013 年 12 月 4 日正式向中国移动、中国电信和中国联通三大运营商发放 TD-LTE 牌照,2015 年 2 月 27 日又向中国电信和中国联通发放了 FDD-

LTE 牌照。

## 1.2 移动通信基本概念

### 1.2.1 移动通信的定义及特点

所谓移动通信,是指通信双方或至少有一方处于移动中进行信息传输和交换的通信方式。要移动就要摆脱传输导线的束缚,所以移动通信首先是一种无线通信方式,但移动通信又不同于微波等固定点之间的无线通信。移动通信具有无线性和移动性的双重特征。与其他种类的通信形式相比,移动通信具有以下几个明显的特点。

(1) 移动通信利用无线电波进行信息传输。

利用无线电波这种传播媒质能够允许通信中的用户在一定范围内自由活动,其位置不受束缚,不过无线电波的传播特性一般都较差。首先,移动通信的运行环境十分复杂,电波不仅会随着传播距离的增加而发生弥散和损耗,并且会受到地形、地面物体的遮蔽而发生“阴影效应”,而且信号经过多点反射,会从多条路径到达接收地点,这种多径信号的幅度、相位和到达时间都不一样,它们相互叠加会产生电平衰落和时延扩展;其次,移动通信常常在快速移动中进行,这不仅会引起多普勒频移,产生随机调频,而且会使得电波传播特性发生快速的随机起伏,严重影响通信质量。因此,移动通信系统必须根据移动信道的特征,进行合理的设计和优化。

(2) 移动通信是在复杂的干扰环境中运行的。

在移动通信系统中,除去一些常见的外部干扰,如天电干扰、工业干扰和信道噪声外,系统自身与不同系统之间,也会产生各种干扰。归纳起来包括邻道干扰、互调干扰、共道干扰、多址干扰以及远近效应等。因此,在移动通信系统中,如何减小这些有害干扰的影响是至关重要的。

(3) 随着移动通信业务量的需求与日俱增,移动通信可以利用的频谱资源非常有限。

如何提高通信系统的通信容量,始终是移动通信发展中的焦点。为了解决这一问题,一方面要开辟和启用新的频段;另一方面要研究各种新技术和新措施,以压缩信号所占的频带宽度,提高频谱利用率。可以说,移动通信无论是从模拟向数字过渡,还是向新一代发展,都离不开新技术的支持。此外,有限频谱的合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提,这也是国际上和各国频谱管理机构和组织的重要职责。

(4) 对移动台的要求高。

移动台长期处于不固定位置状态,外界的影响很难预料,如尘土、振动、碰撞、日晒雨淋,这就要求移动台具有很强的适应能力。此外,还要求性能稳定可靠、携带方便、小型、低功耗及耐高、低温等。同时,要尽量使用户操作方便,适应新业务、新技术的发展,以满足不同人群的使用需求,这就给移动台的设计和制造提出了很高的要求。

(5) 通信容量有限。

频率作为一种资源必须合理安排和分配,由于适于移动通信的频段仅限于 UHF 和 VHF,所以可用的通信容量是极其有限的。为满足用户需求量的增加,只能在有限的已有频段中采取有效利用频率的措施(如窄带化缩小频带间隔、频率复用等方法)来解决。目前

常使用频道重复利用的方法来扩容,增加用户容量。但除此之外,每个城市在通信建设中要做出长期增容的规划,以适应今后的发展需要。

#### (6) 通信系统复杂。

由于移动台在通信区域内随时运动,需要随机选用无线信道,进行频率和功率控制、地址登记、越区切换及漫游存取等,这就使其信令种类比固定网要复杂得多。此外,由于在入网和计费方式上特殊的要求,移动通信系统是比较复杂的。

### 1.2.2 移动通信的分类

移动通信有以下多种分类方法:

- (1) 按使用对象可分为民用网和军用网。
- (2) 按使用环境可分为陆地通信、海上通信和空中通信。
- (3) 按多址方式可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)等。
- (4) 按覆盖范围可分为广域网和局域网。
- (5) 按业务类型可分为电话网、数据网和综合业务网(多媒体网)。
- (6) 按工作方式可分为同频单工、异频单工、双工和半双工。
- (7) 按服务范围可分为专用网和公用网。
- (8) 按信号形式可分为模拟网和数字网。

### 1.2.3 无线频谱

#### 1. 频谱资源的管理

频谱是一种宝贵的通信资源,无论是国际上还是各个国家都有相应的机构负责分配和控制频谱的使用。国际上负责管理频谱的机构是世界无线电管理大会(World Administrative Radio Conference, WARC),现称为世界无线电通信大会(World Radio communication Conference, WRC),它是ITU中最重要的会议,确立不同地区和国家使用频谱的世界性指导原则。此外,各国政府也有相应的管理机构负责给不同的频段指定具体的用途及频谱的分配方式,如我国的无线电管理局(State Radio Regulation of China, SRRC)、美国的联邦通信委员会(Federal Communication Commission, FCC)、日本的无线工商业协会(Association of Radio Industries and Businesses, ARIB)和欧洲的欧洲电信标准化协会(European Telecomm Standards Institute, ETSI)等。虽然各国确切的频率分配存在差异,但整个世界范围内针对相同的业务还是倾向于采用同一频率范围。

#### 2. 频谱的分配方式

各国对频谱资源的分配策略不尽相同,概括起来有以下几种方式。

##### 1) 指配方式

指配方式是指由管理机构分配给特定的运营商。例如,在我国,国家无线电管理机构对无线电频率实行统一划分和分配。目前中国移动、中国联通和中国电信等运营商使用的频谱资源均由国家无线电管理局分配。



## 2) 拍卖方式

拍卖方式是指由政府或管理机构拍卖给出价最高者。该方式在欧美各国比较流行,但也存在争议。有些人认为,基于市场的拍卖方式最为公平也最有效率,且能给政府带来巨大的收入;另一些人则认为,拍卖方式将扼杀创新,限制竞争,不利于技术改进。拍卖使得只有大公司或大集团才能买得起频谱,而公司也因此背上了沉重的债务包袱,这势必影响系统的迅速建设开通,这个包袱也会最终转嫁到用户身上。

## 3) 评选方式

评选方式是指政府部门对申办业务的运营公司经济实力、技术支撑、网络运营经验、服务状况等指标进行综合评审和权衡后,确定获得频率或执照的最佳对象,并收取相应的费用。

与拍卖方式不同的是,评选方式不仅要考虑竞争者的经济实力,同时也要考虑其组网方案、经营能力等多方面的综合因素,这样可以避免频率拍卖而产生的一些弊端,更有利于通信业务的开展。

## 4) 开放方式

开放方式是指一些特定的频段被作为开放频段而留出,只要符合一定的行业规定,就可以无需许可而免费使用。相关的行业规定一般包括特定的标准、功率电平等,设置这些开放频段(unlicensed band)的目的是鼓励创新和降低成本。例如,ISM(Industrial Scientific Medical)频段,该频段在各国规定并不统一,如在美国有三个频段,即902~928 MHz、2.4~2.4835 GHz、5.725~5.850 GHz,而在欧洲900 MHz的频段则有部分用于GSM系统,我国亦如此。基本上,各国将2.4 GHz作为共同的ISM频段。因此无线局域网、蓝牙、ZigBee等无线网络,均可工作在2.4 GHz频段上。

## 5) 重叠方式

重叠方式是指在已分配了的频谱上重复分配一个业务作为次要业务,原有业务称为主要业务。一般会对次要业务的功率谱密度等做出严格的限制,以尽量减小对主要业务的影响。超宽带(Ultra Wideband, UWB)系统就是这种工作方式。FCC给UWB的定义为绝对带宽大于0.5GHz(10dB带宽)或相对带宽大于20%(绝对带宽与中心频率之比),其频率范围跨越了现存的多个系统的频段。为了减小对现存系统的干扰,FCC同时也给出了UWB发射功率的严格限制(FCC频谱模板)。

除以上几种频谱分配方式外,一种更灵活、更高效的频谱分配方式——认知无线电(Cognitive Radio, CR)成为了新的研究热点。它通过感知周围的频谱环境,找出一个时间、空间、频率的范围,在此范围内即使以中高功率发射也不会对其他用户产生干扰。把这种方式用在很宽的频带上,就能产生大量新的可用带宽,为新的无线系统和应用提供大量机会。

## 3. 移动通信系统所使用的频段

目前,蜂窝移动通信系统使用的频段主要有:800 MHz频段(CDMA)、900 MHz频段(AMPS、TACS、GSM)、1800 MHz频段(DCS1800)、2 GHz频段(cdma2000、WCDMA、TD-SCDMA)以及2.3 GHz和2.5 GHz频段(LTE)。我国主要移动通信系统频谱分配如表1-3所示。