



普通高等教育“十三五”规划教材

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

# 移动通信原理

*Principle of Mobile Communication*

(第2版)

◆ 啜钢 高伟东 孙卓 刘倩 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材  
国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

# 移动通信原理

(第2版)

啜钢 高伟东 孙卓 刘倩 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书详细地介绍了移动通信的基本原理和技术。主要内容有：移动通信的基本理论，包括移动通信的无线传播环境、移动通信系统中的调制技术、抗衰落技术、蜂窝组网技术；移动通信的应用系统，包括 GSM 和移动通信系统、第三代移动通信系统、LTE 移动通信系统；5G 移动通信最新发展。每章开头有学习指导，结束有习题和思考题。

本书力求理论结合实际，在讲述基本理论的同时，更注重实际应用。

本书可作为高等学校通信工程等专业的教材，也可作为从事移动通信研究的工程技术人员的参考书。

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

移动通信原理 / 啜钢等编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2016.7

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

ISBN 978-7-121-28858-6

I. ①移… II. ①啜… III. ①移动通信—通信理论—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 109747 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 邹凤麒 王 博 段丹辉

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 19.5 字数: 624 千字

版 次: 2011 年 6 月第 1 版

2016 年 7 月第 2 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 49.80 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, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: 88254113。

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社充分发挥在电子信息领域的教育出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

(1) 专业特色鲜明：以本科通信工程专业的专业核心课程为主线。

(2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。

(3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。

(4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：

① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。

② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。

③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

# 前 言

目前,移动通信是通信领域发展最快的通信技术之一,近年来人们在继续关注第三代蜂窝移动通信系统发展的同时,已将第四代蜂窝移动通信系统投入商用,人们正在从 4G 商用网络的应用中得到无线宽带业务带来的高速、高质量的体验。与此同时,3GPP IMT-Advanced 的标准化也已经取得了巨大进展,并且已有部分的网络投入商用,相信在不久的将来 LTE-Advanced 就会得到迅猛发展。另外,5G 也正在从理论探讨和系统仿真评估阶段逐步走向制定标准的阶段。

随着移动通信技术的发展,越来越多的年轻学子和广大的工程技术人员渴望学习和了解移动通信的基本原理和新技术。为了满足高等学校电子信息类专业学生和移动通信领域广大工程技术人员需要,我们编写了此教材。编写此教材的宗旨是:以基础理论、基本技术为基础;以实际移动通信应用系统为重点,力图全面准确地介绍蜂窝移动通信系统基础理论,并且尽量选取较新的资料和作者的一些研究成果,为读者了解移动通信的发展以及新技术和方法提供帮助。另外在对移动通信原理和技术进行介绍时,避免过多的数学分析和表述,而尽量用图表和文字进行论述。

本书共 9 章,各章主要内容包括:

第 1 章,介绍了移动通信的发展,简单给出了移动通信系统的特点和应用系统。

第 2 章,较全面地介绍移动通信的无线传播环境和传播预测模型。这部分内容是移动通信的基础,也是移动通信系统设计的关键。

第 3 章,介绍移动通信中的信源编码和调制解调技术,尽管这些技术在通信工程等专业的先修课程中已有所介绍,不过这里将依据移动通信的特点和要求,重点介绍移动通信系统中所采用的调制解调技术。

第 4 章,介绍移动通信系统中的各种抗衰落和抗干扰技术、链路自适应技术,以及多天线传输技术,以期为后面介绍移动应用系统提供必要的理论基础。

第 5 章,从移动通信网的角度,介绍网络的组成和结构。

第 6 章,系统介绍 GSM 系统的业务、网络组成、信道结构,以及呼叫处理和移动性管理等技术。以 GSM 系统为例,使读者较全面地了解一个实际系统的运行过程。另外,还简单介绍了 GSM 的增强技术 GPRS 和 EDGE 系统的概念。

第 7 章,对 3G 技术基础进行介绍,包括 3G 技术的三大标准的基本概念,以及 CDMA2000 (主要是 CDMA2000 1X),WCDMA 和 TD-SCDMA 等。

第 8 章,介绍 3GPP LTE 基本技术,以及第四代移动通信系统的增强技术。

第 9 章,介绍目前 5G 移动通信系统的发展状况、研究成果和未来发展趋势。

本书第 1, 2, 6 章由啜钢编写,第 4, 5, 7, 8 章由高伟东编写,第 3 章由孙卓编写,第 9 章由刘倩编写。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

作者联系方式: gaoweidong@bupt.edu.cn

编著者

## 《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

- |               |              |
|---------------|--------------|
| 迟惠生 (北京大学)    | 程时昕 (东南大学)   |
| 冯重熙 (清华大学)    | 李承恕 (北京交通大学) |
| 吴伟陵 (北京邮电大学)  | 吴诗其 (电子科技大学) |
| 谢希仁 (解放军理工大学) | 袁保宗 (北京交通大学) |

## 《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

**主任委员** 樊昌信 (西安电子科技大学)

### 副主任委员

- |              |                |
|--------------|----------------|
| 顾畹仪 (北京邮电大学) | 李建东 (西安电子科技大学) |
| 彭启琮 (电子科技大学) | 王金龙 (解放军理工大学)  |
| 王希勤 (清华大学)   | 王传臣 (电子工业出版社)  |
| 吴镇扬 (东南大学)   | 张思东 (北京交通大学)   |

### 委员

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 安建平 (北京理工大学)   | 鲍长春 (北京工业大学)   |
| 陈咏恩 (同济大学)     | 邓建国 (西安交通大学)   |
| 段哲民 (西北工业大学)   | 樊昌信 (西安电子科技大学) |
| 范平志 (西南交通大学)   | 方勇 (上海大学)      |
| 酆广增 (南京邮电大学)   | 顾畹仪 (北京邮电大学)   |
| 顾学迈 (哈尔滨工业大学)  | 康健 (吉林大学)      |
| 李建东 (西安电子科技大学) | 李晓峰 (电子科技大学)   |
| 刘璐 (山东大学)      | 彭启琮 (电子科技大学)   |
| 仇佩亮 (浙江大学)     | 唐朝京 (国防科技大学)   |
| 唐向宏 (杭州电子科技大学) | 田宝玉 (北京邮电大学)   |
| 王金龙 (解放军理工大学)  | 王希勤 (清华大学)     |
| 王祖林 (北京航空航天大学) | 王传臣 (电子工业出版社)  |
| 韦岗 (华南理工大学)    | 吴镇扬 (东南大学)     |
| 徐昌庆 (上海交通大学)   | 张德民 (重庆邮电大学)   |
| 张思东 (北京交通大学)   | 郑建生 (武汉大学)     |
| 朱光喜 (华中科技大学)   | 朱秀昌 (南京邮电大学)   |

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信发展简述	1
1.2 移动通信的特点和应用系统	5
1.2.1 移动通信的特点	5
1.2.2 移动通信的应用系统	6
第 2 章 移动通信电波传播与传播预测模型	8
2.1 电波传播的基本特性及其研究方法	8
2.1.1 电波传播的基本特性	8
2.1.2 电波传播特性的研究方法	9
2.2 自由空间的电波传播	10
2.3 3 种基本电波传播机制	11
2.3.1 反射与多径信号	11
2.3.2 绕射	12
2.3.3 散射	13
2.4 阴影衰落的基本特性	14
2.5 多径传播模型	14
2.5.1 多径衰落的基本特性	14
2.5.2 多普勒频移	15
2.5.3 多径信道的信道模型	15
2.5.4 多径信道的主要描述参数	17
2.5.5 多径信道的统计分析	22
2.5.6 多径衰落信道的分类	25
2.5.7 衰落特性的特征量	26
2.6 电波传播损耗预测模型	27
2.6.1 室外传播模型	27
2.6.2 室内传播模型	29
2.7 中继协同信道	30
2.7.1 再生中继信道简介	30
2.7.2 透明中继信道简介	33
第 3 章 调制技术	38
3.1 概述	38
3.2 最小移频键控	39
3.2.1 相位连续的 2FSK	39
3.2.2 MSK 信号的相位路径、频率及功率谱	41
3.3 高斯最小移频键控	42
3.3.1 高斯滤波器的传输特性	43
3.3.2 GMSK 信号的波形和相位路径	44

3.3.3	GMSK 信号的调制与解调	45
3.3.4	GMSK 功率谱	47
3.4	QPSK 调制	48
3.4.1	二相调制	48
3.4.2	四相调制	48
3.4.3	偏移 QPSK——OQPSK	50
3.4.4	$\pi/4$ -QPSK	51
3.5	正交频分复用	54
3.5.1	概述	54
3.5.2	正交频分复用的原理	54
3.5.3	正交频分复用的 DFT 实现	56
3.5.4	OFDM 的应用	57
3.6	高阶调制	58
3.6.1	数字调制的信号空间原理	58
3.6.2	$M$ 进制数字调制及高阶调制	59
3.6.3	高阶调制在 3G 及 4G 中的应用	65
<b>第 4 章</b>	<b>抗衰落技术</b>	<b>67</b>
4.1	概述	67
4.2	分集技术	68
4.2.1	宏观分集	68
4.2.2	微观分集	69
4.2.3	分集的合并方式及性能	70
4.2.4	性能比较	75
4.2.5	分集对数字移动通信误码的影响	76
4.3	信道编码	77
4.3.1	概述	77
4.3.2	分组码	77
4.3.3	卷积码	79
4.3.4	Turbo 码	85
4.4	均衡技术	88
4.4.1	基本原理	88
4.4.2	非线性均衡器	91
4.4.3	自适应均衡器	94
4.5	扩频通信	96
4.5.1	伪噪声序列	96
4.5.2	扩频通信原理	99
4.5.3	抗多径干扰和 RAKE 接收机	103
4.5.4	跳频扩频通信系统	105
4.6	无线通信中的多天线技术	108
4.6.1	多天线系统模型	108
4.6.2	多天线系统容量分析	110
4.6.3	空间复用技术	111



4.6.4 发射分集与时空编码	112
<b>第5章 蜂窝组网技术</b>	<b>118</b>
5.1 移动通信网的基本概念	118
5.2 频率复用和蜂窝小区	119
5.3 多址接入技术	122
5.4 码分多址关键技术	126
5.4.1 扩频技术	126
5.4.2 地址码技术	131
5.4.3 扩频码的同步	134
5.5 蜂窝移动通信系统的容量分析	137
5.6 切换和位置更新	140
5.6.1 切换技术	140
5.6.2 位置更新	143
5.7 无线资源管理技术原理	144
5.7.1 概述	144
5.7.2 接纳控制	145
5.7.3 动态信道分配	146
5.7.4 负载控制	147
5.7.5 分组调度	148
5.8 移动通信网络结构	150
<b>第6章 GSM 及其增强移动通信系统</b>	<b>155</b>
6.1 GSM 系统的业务及其特征	155
6.2 GSM 系统的结构	157
6.3 GSM 系统的信道	158
6.3.1 物理信道与逻辑信道	158
6.3.2 物理信道与逻辑信道的配置	162
6.3.3 突发脉冲	165
6.3.4 帧偏离、定时提前量与半速率信道	166
6.4 GSM 的无线数字传输	167
6.4.1 GSM 系统无线信道的衰落特性	167
6.4.2 GSM 系统中的抗衰落技术	168
6.4.3 GSM 系统中的语音编码与处理	171
6.4.4 GSM 系统中的语音处理的一般过程	171
6.5 GSM 的信令协议	172
6.5.1 GSM 信令系统概述	172
6.5.2 GSM 系统的协议模型	176
6.5.3 GSM 无线信令接口的三层协议	178
6.6 接续和移动性管理	179
6.6.1 概述	179
6.6.2 位置更新	180
6.6.3 呼叫建立过程	182
6.6.4 越区切换与漫游	187

6.6.5	GSM 安全措施	189
6.6.6	计费	191
6.7	通用分组无线业务	191
6.7.1	GPRS 业务概述	191
6.7.2	GPRS 的网络结构及其功能描述	192
6.7.3	GPRS 的移动性管理和会话管理	196
6.7.4	GPRS 的空中接口	198
6.8	增强型数据速率 GSM 演进技术	199
<b>第 7 章</b>	<b>第三代移动通信系统及其增强技术</b>	<b>204</b>
7.1	3G 概述	204
7.2	IS-95A 与 CDMA2000 1X 标准介绍	206
7.2.1	CDMA2000 1X 标准特色	206
7.2.2	CDMA 系统中的功率控制	207
7.2.3	CDMA 软切换	212
7.2.4	CDMA2000 1X 下行链路	216
7.2.5	CDMA2000 1X 上行链路	222
7.2.6	CDMA2000 1X EV-DO 介绍	225
7.3	WCDMA 标准介绍	226
7.3.1	WCDMA 标准特色	226
7.3.2	WCDMA 下行链路	227
7.3.3	WCDMA 上行链路	231
7.3.4	HSDPA/HSUPA 概述	232
7.4	TD-SCDMA 标准介绍	234
7.4.1	TD-SCDMA 标准特色	234
7.4.2	TD-SCDMA 物理信道	235
7.4.3	TD-SCDMA 系统支持的信道编码方式	236
7.4.4	TD-SCDMA 的调制、扩频及加扰方式	237
<b>第 8 章</b>	<b>LTE 移动通信系统</b>	<b>239</b>
8.1	LTE 系统	239
8.1.1	LTE 网络架构及网元	239
8.1.2	LTE 协议体系	240
8.2	LTE 通信过程	243
8.2.1	小区搜索	243
8.2.2	系统信息获取	247
8.2.3	随机接入	250
8.2.4	小区选择和重选	252
8.2.5	切换	255
8.3	LTE-Advanced 增强技术	259
8.3.1	载波聚合技术	259
8.3.2	中继技术	261
8.3.2	CoMP 技术	263
8.3.3	eICIC 技术	264

第 9 章 第五代移动通信系统技术发展	268
9.1 5G 发展状况	268
9.1.1 5G 发展概述	268
9.1.2 国际标准化组织积极推进 5G 标准制定	268
9.1.3 世界主要各国的 5G 研究动态	269
9.2 5G 概述	269
9.2.1 5G 的概念	269
9.2.2 5G 的应用场景	270
9.2.3 5G 的能力指标	270
9.3 5G 的关键技术	271
9.3.1 5G 新型网络架构	271
9.3.2 5G 关键网络技术	273
9.3.3 5G 关键无线技术	277
9.4 5G 面临的挑战和未来技术趋势	285
9.4.1 5G 挑战	285
9.4.2 5G 未来技术发展方向	287
附录 A 矩阵分解	289
附录 B 话务量和呼损率	291
附录 C 英文缩略语英汉对照表	293

# 第 1 章 概 述

本章主要介绍了移动通信原理及其应用方面的基本概念，主要包括移动通信系统的发展历程；移动通信的特点；移动通信的工作方式及移动通信的应用系统。

- 重点掌握移动通信的概念、特点；
- 理解移动通信的发展历程及发展趋势；
- 掌握移动通信的 3 种工作方式；
- 了解移动通信的应用系统。

## 1.1 移动通信发展简述

### 1. 第一代及第二代移动通信系统

移动通信的飞速发展是超乎寻常的，它是 20 世纪人类最伟大的科技成果之一。在回顾移动通信的发展进程时我们不得不提起 1946 年第一个推出移动电话的 AT&T 的先驱者，正是他们为通信领域开辟了一个崭新的发展空间。然而移动通信真正走向广泛的商用，还应该从 20 世纪 70 年代末蜂窝移动通信的推出算起。蜂窝移动通信系统从技术上解决了频率资源有限、用户容量受限、无线电波传输时的干扰等问题。20 世纪 70 年代末的蜂窝移动通信采用的空中接入方式为频分多址接入方式，即所谓的 FDMA 方式。其传输的无线信号为模拟量，因此人们称此时的移动通信系统为模拟通信系统，也称为第一代移动通信系统(1G)。这种系统的典型代表有美国的 AMPS(Advanced Mobile Phone System)、欧洲的 TACS(Total Access Communication System)等。我国建设移动通信系统的初期主要就是引入这两类系统。

然而随着移动通信市场的繁荣，对移动通信技术提出了更高的要求。由于模拟系统本身的缺陷，如频谱效率低、网络容量有限、保密性差等，已使得模拟系统无法满足人们的需求了。为此，广大的移动通信领域里的有识之士在 20 世纪 90 年代初期开发出了基于数字通信的移动通信系统——数字蜂窝移动通信系统，即第二代移动通信系统(2G)。

第二代数字蜂窝移动通信系统克服了模拟系统所存在的许多缺陷，因此 2G 系统一经推出就备受人们的注目，得到了迅猛的发展。我国 2G 移动通信网在短短的十几年就发展为世界范围的最大的移动通信网，几乎完全取代了模拟移动通信系统。在当今的数字蜂窝移动系统中，最有代表性的是 GSM 系统和 CDMA 系统。这两大系统在目前世界数字移动通信市场中占了主要份额。

GSM 系统的空中接口采用的是时分多址(TDMA)的接入方式。到目前为止 GSM 还是全世界最大的移动网，占移动通信市场的大部分份额。GSM 是为了解决欧洲第一代蜂窝系统四分五裂的状态而发展起来的。在 GSM 之前，欧洲各国在整个欧洲大陆上采用了不同的蜂窝标准，对用户来讲，不能用同一种制式的移动台在整个欧洲进行通信。另外，由于模拟网本身的弱点，使得它的容量也受到了限制。为此欧洲电信联盟在 1980 初期就开始研制一种覆盖全欧洲的移动通信系统，即目前的 GSM 系统。如今 GSM 移动通信系统已经遍及全世界，即所谓的“全球通”。

### 2. 第三代移动通信系统

CDMA 即码分多址接入方式。从当前人们对无线接入方式的认识角度来讲，码分多址技

术有其独特的优越性。CDMA 技术最先是由美国的高通 (Qualcomm) 公司提出的, 并于 1980 年 11 月在美国的圣地亚哥利用两个小区基站和一个移动台, 对窄带 CDMA 进行了首次现场实验。1990 年 9 月, 高通公司发布了 CDMA “公共空中接口” 规范的第一个版本。1992 年 1 月 6 日, 美国通信工业协会 (TIA) 开始准备 CDMA 的标准化。1995 年正式的 CDMA 标准出台了, 即 IS-95A。CDMA 技术向人们展示的是它独特的无线接入技术: 系统区分地址时在频率、时间和空间上是重叠的, 它使用相互准正交的地址码来完成对用户的识别。这种技术带来的好处有: ①多种形式的分集(时间分集、空间分集和频率分集); ②低的发射功率; ③保密性; ④软切换; ⑤大容量; ⑥话音激活技术; ⑦频率再用及扇区化; ⑧低的信噪比或载干比需求; ⑨软容量。这些特性在满足用户需求方面具有独特的优势, 因而得到迅速发展。当今的 3G 技术大多采用了 CDMA 无线接入方式。

尽管基于语音业务的移动通信网足以满足人们对于语音移动通信的需求, 但是随着人们对数据通信业务需求的日益增高, 人们不再满足于以语音业务为主的移动通信网为人们所提供的服务了。特别是 Internet 的发展大大推动了人们对数据业务的需求。统计表明, 目前固定数据通信网的用户需求和业务使用量已接近了语音业务。在这种情况下, 移动通信网所提供的以语音为主的业务已不能满足人们的需要了。为此移动通信业内的领军者们努力研究开发了适用于数据通信的移动系统。人们首先着手开发的是基于 2G 系统的数据系统。在不大量改变 2G 系统的条件下, 适当增加一些网络和一些适合数据业务的协议, 使系统可以较高效率传送数据业务。目前的 GPRS 就是这样的系统, 现已在我国组网投入商用。另外, CDMA20001X 也属于这一范畴。

尽管 2.5G 系统可以方便地传输数据业务, 然而由于它的先天不足, 即没有从根本上解决无线信道传输速率低的问题, 因此应该说 2.5G 还是一个过渡产品。而当今人们定义的第三代移动通信系统 (3G) 才能基本达到人们对快速传输数据业务的需求。

3G 的目标主要有以下几个方面:

(1) 全球漫游, 以低成本的多模手机来实现。全球具有公用频段, 用户不再限制于一个地区和一个网络, 而能在整个系统和全球漫游。在设计上具有高度的通用性, 拥有足够的系统容量和强大的多种用户管理能力, 能提供全球漫游。它是一个覆盖全球的、具有高度智能和个人服务特色的移动通信系统。

(2) 适应多种环境, 采用多层小区结构, 即微微蜂窝、微蜂窝、宏蜂窝; 将地面移动通信系统和卫星移动通信系统结合在一起, 与不同网络互通; 提供无缝漫游和业务一致性, 网络终端具有多样性; 与第二代系统共存和互通, 开放结构, 易于引入新技术。

(3) 能提供高质量的多媒体业务, 包括高质量的话音、可变速率的数据、高分辨率的图像等多种业务, 实现多种信息一体化。

(4) 足够的系统容量, 强大的多种用户管理能力, 高保密性能和服务质量。用户可用唯一的个人电信号码 (PTN) 在任何终端上获取所需要的电信业务, 这就超越了传统的终端移动性, 真正实现个人移动性。

为实现上述目标, 对无线传输技术提出了以下要求:

(1) 高速传输以支持多媒体业务。室内环境至少 2Mb/s, 室外步行环境至少 384kb/s, 室外车辆环境至少 144kb/s。

(2) 传输速率按需分配。

(3) 上下行链路能适应不对称业务的需求。

(4) 简单的小区结构和易于管理的信道结构。

(5) 灵活的频率和无线资源的管理、系统配置和服务设施。

当前 3G 技术标准主要有 3 个：欧洲的 WCDMA、北美的 CDMA2000 和我国的 TD-SCDMA。

随着 3G 逐渐走向商用，3G 演进技术也在世界范围内受到重视。根据两大标准化组织 3GPP(3G Partnership Project, 第三代合作伙伴计划)和 3GPP2(3G Partnership Project2, 第三代合作伙伴计划 2)的标准发展进程可以清晰地看出 3G 演进路线。

3GPP 标准的演进如图 1.1 所示。

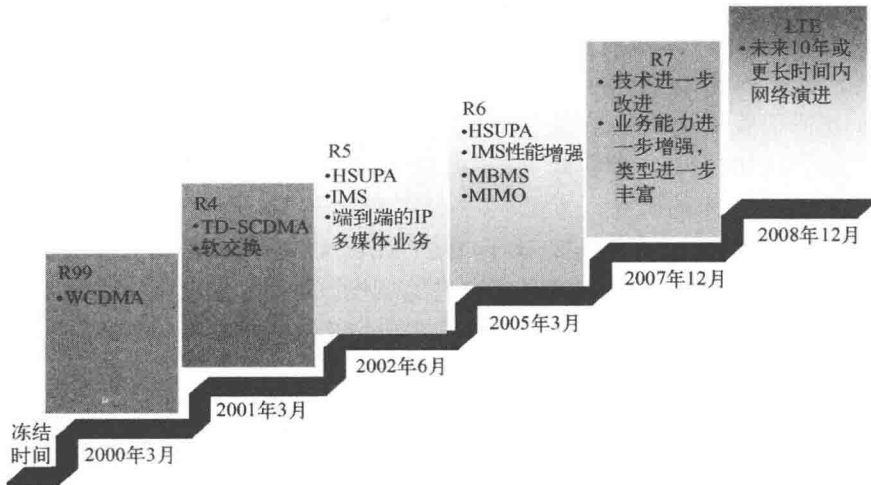


图 1.1 3GPP 标准的演进历程

3GPP 的网络演进是分阶段的平滑演进，R99 系统考虑到了对 GSM 的兼容，现有的 2G 客户和 3G R99 客户会继续把他们的业务通过 CS 域和 PS 域功能的结合来传输；R4 系统对 CS 域进行了大的改动，引入了软交换，并在 BSS 引入 Iu 接口，以适应未来发展的需要；R5 系统则在 PS 域引入 IMS 子系统，提供基于 IP 的实时多媒体业务，并支持未来新业务的开发。同时在 R5 系统引入了下行链路增强技术，即 HSDPA 技术，可在 5MHz 的信道带宽内提供最高 14.4Mb/s 的下行数据传输速率。随后，又在 R6 中引入了上行链路增强技术，即 HSUPA 技术，可在 5MHz 信道带宽内提供最高 5.8Mb/s 的上行数据传输速率。

### 3. 下一代移动通信系统

为应对 WiMAX 等新兴无线宽带技术的竞争，进一步改进和增强现有 3G 技术以提高 3G 技术在宽带无线接入市场的竞争力，2004 年年底，3GPP 提出了 3G 长期演进——3G LTE(Long Term Evolution)计划。为了实现向 LTE 演进的系统目标，3GPP 提出了一系列新技术和实现方案，而且不考虑与现有 WCDMA 系统的后向兼容。LTE 重新定义了空中接口和核心网络，摒弃了 CDMA 技术而采用 OFDM 技术，只支持分组域，这导致 LTE 与已有 3GPP 各版本标准不兼容，现有 3G 网络很难平滑演进到 LTE。3GPP 于 2008 年 1 月通过 FDD LTE 地面无线接入网络技术规范的审批，目前 LTE 已完成修订阶段，并被纳入 3GPP R 8 之中。

需要说明的是，这里所介绍的 3GPP 的标准演进同时包括了 WCDMA 及 TD-SCDMA 的演进方案。

3GPP2 标准的演进如图 1.2 所示。

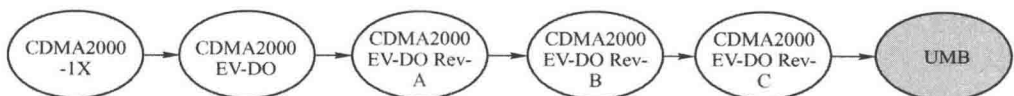


图 1.2 3GPP2 标准的演进路线

3GPP2 中核心网和无线接入网的演进是相互独立的, 核心网将向全 IP 过渡。为了满足下一代移动通信中高速率的数据业务并保持前后向兼容性, 3GPP2 中无线接入技术的演进, 即 AIE(Air Interface Evolution, 空中接口演进)将分阶段 1 和阶段 2 两个阶段进行。其中, 阶段 1 完成多载波 HRPD(High Rate Packet Data, 高速分组数据), 即 Rev.B Nx EV-DO, 主要目标是提高峰值数据速率并保持后向兼容, 同时尽可能减小对基础硬件的影响, 通过对多个 HRPD 载波的捆绑, 既保持良好的后向兼容, 又能够推进标准化和市场化进程; 阶段 2 实现增强数据分组空中接口(E-PDAI), 其峰值数据速率目标是前向链路依据不同的移动性, 可以支持 100~500Mb/s; 反向链路支持 50~150Mb/s, 同时降低系统时延。2007 年最新推出的 CDMA2000 演进升级版本 UMB(超移动宽带)空中接口规范采用 OFDMA、MIMO、LDPC 等先进技术, 并支持全 IP 业务。但实际上在 3GPP LTE 的竞争下, 2008 年高通公司宣布放弃 UMB 技术而转向 LTE 技术的研究。

另外, 移动 WiMAX 技术的崛起打破了 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 三足鼎立的格局, 使竞争进一步升级, 并加快了技术演进的步伐。随着移动通信技术和宽带无线接入技术的不断发展和融合, 能够在移动状态下为用户提供宽带接入的宽带无线移动技术逐渐成为未来无线通信技术的重点。以 3GPP、3GPP2、WiMAX 三大阵营为代表的 4 种技术——WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA(以下简称 TD)和 WiMAX, 成为目前最具发展潜力的宽带无线移动技术。

WiMAX 的演进如图 1.3 所示。

在 WiMAX 系列标准中, IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e 是核心标准, 但随着技术的演进和标准的不断完善, 这两大标准已经成为不兼容的两种技术。

IEEE 802.16e 采用了很多先进技术来获得高数据速率, 包括 OFDMA、先进编码技术 CTC、自适应编码和调制 AMC、混合自动重传请求 HARQ、自适应波束成型、空时码 STC 及 MIMO(多入多出)等技术。IEEE 802.16e 可以使用不同的载波带宽(1.75~20MHz)。例如, 在 10MHz 载波带宽下, 单用户速率可以达到 30Mb/s, 可以支持 120km/h 的移动速度。

IEEE 802.16e 不仅具备 IEEE 802.16d 的性能, 而且具备移动、切换等功能, 支持多种业务和应用。从应用场景和范围来看, IEEE 802.16e 更为广泛。因此, IEEE 802.16e 将成为 WiMAX 标准的主流, 甚至会用于固定接入。

随着 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e 技术逐渐走向商用, IEEE 802.16 工作组开始研究 WiMAX 下一步演进路线, 为此成立了 IEEE 802.16m 工作组, 并于 2006 年底获得 IEEE 的正式批准。IEEE 802.16m 的目标是成为下一代移动通信技术, 以及 ITU 即将讨论的 IMT-Advanced 标准之一; 传输目标是固定状态下传输速率达到 1Gb/s, 移动状态下达到 100Mb/s。

移动通信的进一步演进方向是 IMT-Advanced 或称第四代移动通信系统(4G), 无论是 LTE 还是 IEEE 802.16m 都在向 IMT-Advanced 标准化演进。对于 IEEE 802.16m 来说, 由于它的方案与 4G 的演进方案本质区别较小, 两者可以适当融合, 所以 IEEE 802.16m 的进一步完善可以成为一种新的 IMT-Advanced 技术方案。2010 年 10 月, ITU-R 经审议一致通过将收到的 6 个 4G 标准候选提案融合为 2 个——LTE-Advanced 和 WirelessMAN-Advanced(IEEE 802.16m)。

归纳起来, 4G 是具备宽带接入和具有分布式特征的网络, 4G 是一个采用全 IP 的网络结构。也就是说, 它的核心网采用 IP 网结构, 整个无线接口也采用 IP 技术。4G 网络采用许多新的技术和新的方法来支撑, 包括: AMC(Adaptive Modulation and Coding, 自适应调制和编码技术)、自适应混合 ARQ 技术、MIMO(多输入多输出)和 OFDM(正交频分复用)技术、智



图 1.3 WiMAX 的演进

能天线技术、软件无线电技术，以及网络优化和安全性等。另外，为了使 4G 与各种通信网融合必须使 4G 网络支持多种协议。

## 1.2 移动通信的特点和应用系统

### 1.2.1 移动通信的特点

所谓移动通信，是指通信双方或至少有一方处于运动中进行信息交换的通信方式。显然，这是一种在人们的生活和工作中非常实用的通信方式。例如，固定点与移动体(汽车、轮船、飞机)之间、移动体与移动体之间、人与活动中的人或人与移动体之间的信息传递，都属于移动通信。

移动通信系统包括无绳电话、无线寻呼、陆地蜂窝移动通信、卫星移动通信等。移动体之间通信联系的传输手段只能依靠无线通信。因此，无线通信是移动通信的基础，而无线通信技术的发展将推动移动通信的发展。当移动体与固定体之间通信联系时，除依靠无线通信技术外，还依赖于有线通信网络技术，例如，公众电话网(PSTN)、公众数据网(PDN)、综合业务数字网(ISDN)。

移动通信的主要特点如下。

#### (1) 移动通信利用无线电波进行信息传输

移动通信中基站至用户间必须靠无线电波来传送信息。由于无线传播环境十分复杂，导致了无线电波传播特性一般很差。表现在传播的电波一般是直射波和随时间变化的绕射波、反射波、散射波的叠加，造成所接收信号的电场强度起伏不定，最大可相差 20~30dB，这种现象称为衰落。另外，移动台的不断运动，当达到一定速度时，固定点接收到的载波频率将随运动速度  $v$  的不同，产生不同的频移，既产生多普勒效应，使接收点信号场强的振幅、相位随时间、地点而不断地变化，严重影响通信的质量。这就要求在设计移动通信系统时，必须采取抗衰落措施，以保证通信质量。

#### (2) 移动通信在强干扰环境下工作

在移动通信系统中，除了一些外部干扰外(如城市噪声、各种车辆发动机点火噪声、微波炉干扰噪声等)，自身还会产生各种干扰。主要的干扰有互调干扰、邻道干扰及同频干扰等。因此，无论是在系统设计中，还是在组网时，都必须对各种干扰问题予以充分的考虑。

① 互调干扰。所谓互调干扰是指两个或多个信号作用在通信设备的非线性器件上，产生与有用信号频率相近的组合频率，从而对通信系统构成干扰的现象。产生互调干扰的原因是由于在接收机中使用“非线性器件”引起的。如接收机的混频，当输入回路的选择性不好时，就会使干扰信号随有用信号一起进入混频级，最终形成对有用信号的干扰。

② 邻道干扰。它是指相邻或邻近的信道(或频道)之间的干扰，是由于一个强信号串扰弱信号而造成的干扰。例如，有两个用户距离基站位置差异较大，且这两个用户所占用的信道为相邻或邻近信道时，距离基站近的用户信号较强，而距离基站远的用户信号较弱，因此，距离基站近的用户有可能对距离基站远的用户造成干扰。为解决这个问题，在移动通信设备中，使用了自动功率控制电路，以调节发射功率。

③ 同频干扰。同频干扰是指相同载频电台之间的干扰。由于蜂窝式移动通信采用同频复用来规划小区，这就使系统中相同频率电台之间的同频干扰成为其特有的干扰。这种干扰主要与组网方式有关，在设计和规划移动通信网时必须予以充分的重视。



### (3) 通信容量有限

频率作为一种资源必须合理地安排和分配。由于适于移动通信的频段仅限于 UHF 和 VHF，所以可用的通道容量是极其有限的。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措施，如窄带化、缩小频带间隔、频道重复利用等方法来解决。目前常使用频道重复利用的方法来扩容，以增加用户容量。但每个城市要做出长期增容的规划，以利于今后的发展需要。

### (4) 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跟踪技术。这就使其信令种类比固定网要复杂得多。在入网和计费方式上也有特殊的要求，所以移动通信系统是比较复杂的。

### (5) 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、震动、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。这给移动台的设计和制造带来了很大困难。

## 1.2.2 移动通信的应用系统

移动通信的应用系统大致包括以下几种。

### (1) 蜂窝式公用陆地移动通信系统

蜂窝式公用陆地移动通信系统适用于全自动拨号、全双工工作、大容量公用移动陆地网组网，可与公用电话网中任何一级交换中心相连接，实现移动用户与本地电话网用户、长途电话网用户及国际电话网用户的通话接续；与公用数据网相连接，实现数据业务的接续。这种系统具有越区切换、自动或人工漫游、计费及业务量统计等功能。

### (2) 集群调度移动通信系统

集群调度移动通信系统属于调度系统的专用通信网。这种系统一般由控制中心、总调度台、分调度台、基地台及移动台组成。

### (3) 无绳电话系统

无绳电话最初是应有线电话用户的需求而诞生的，初期主要应用于家庭。这种无绳电话系统十分简单，只有一个与有线电话用户线相连接的基站和随身携带的手机，基站与手机之间利用无线电沟通。

但是，无绳电话很快得到商业应用，并由室内走向室外。这种公用系统由移动终端(公用无绳电话用户)和基站组成。基站通过用户线与公用电话网的交换机相连接而进入本地电话交换系统。通常在办公楼、居民楼群之间、火车站、机场、繁华街道、商业中心及交通要道设立基站，形成一种微蜂窝或微微蜂窝网，无绳电话用户只要看到这种基站的标志，就可使用手机呼叫。这就是所谓的“TelePoint”(公用无绳电话)。

### (4) 无线电寻呼系统

无线电寻呼系统是一种单向通信系统，既可公用也可专用，仅规模大小有差异。专用寻呼系统由用户交换机、寻呼控制中心、发射台及寻呼接收机组成。公用寻呼系统由与公用电话网相连接的无线寻呼控制中心、寻呼发射台及寻呼接收机组成。

### (5) 卫星移动通信系统

卫星移动通信系统利用卫星中继，在海上、空中和地形复杂而人口稀疏的地区中实现移动