

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

移动通信

张玉艳 于翠波 编著

Mobile Communication

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS


精品系列

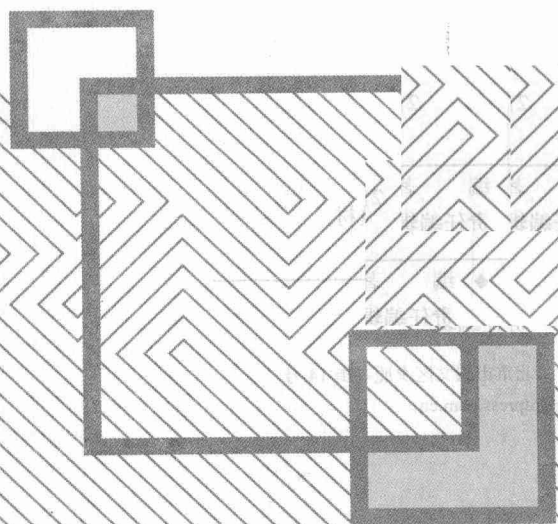
21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

移动通信

张玉艳 于翠波 编著

内 容 要 点

Mobile Communication



人 民 邮 电 出 版 社
北 京



图书在版编目(CIP)数据

移动通信 / 张玉艳, 于翠波编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.3
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-22692-1

I. ①移… II. ①张… ②于… III. ①移动通信—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第096545号

内 容 提 要

本书较全面地介绍了移动通信的基本理论和系统原理。全书共分10章,基本内容包括:移动通信概述;无线移动通信信道的特征及描述;移动通信系统的调制技术和扩频技术;常用的抗衰落技术;移动通信网组网的基本原理;移动通信在实际中的应用系统,包括GSM移动通信系统、CDMA2000移动通信系统、WCDMA移动通信系统和TD-SCDMA移动通信系统;移动通信的发展趋势。

本书可作为普通高等院校通信工程、电子信息等专业相关课程的教材,也可作为通信工程技术人员的参考用书。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

移 动 通 信

-
- ◆ 编 著 张玉艳 于翠波
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22 2010年3月第1版
字数: 534千字 2010年3月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22692-1

定价: 36.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

移动通信技术、产业和市场的高速发展,对移动通信领域的教学及教材提出了新的要求。为使读者全面理解移动通信系统的工作原理、发展现状和发展趋势,编者在多年教学经验的基础上,编写了本书。全书在内容选取和编写上具有以下特点。

(1) 首先全面介绍了移动通信基本技术及工作原理,主要内容包括移动通信信道的描述、数字调制技术、扩频技术、抗衰落技术及蜂窝组网技术。

(2) 内容紧扣移动通信的发展需求和未来移动通信的发展趋势,在介绍了移动通信的基本技术后,增加了 GSM 移动通信系统、第三代移动通信系统、LTE 和 IMT-Advanced 标准化进程和关键技术等内容。

(3) 本书叙述摒弃繁琐的理论推导和分析计算,力求通过本书的学习,读者能够掌握移动通信的基本概念和基本工作原理,并将所学的知识应用到实际的通信系统。

(4) 为便于自学,本书在每一章首先给出该章的主要内容介绍,编排了小结和练习题等内容,有助于学生巩固所学的基本概念和知识。

全书共分 10 章:第 1 章介绍移动通信的特点、发展历史,移动通信的应用和发展趋势;第 2 章介绍无线移动信道特性和描述方法,无线移动信道对接收信号的影响;第 3 章介绍数字调制、解调的基本原理及应用,OFDM 的基本原理;第 4 章介绍扩频通信的特点,扩频系统的工作原理及应用,多址接入技术、功率控制技术、RAKE 接收和多用户检测的基本原理;第 5 章介绍常用的抗衰落技术,包括分集技术、信道编码和均衡技术;第 6 章介绍蜂窝组网技术及无线系统的信道分配策略,并给出蜂窝网络设计应用实例;第 7 章介绍 GSM 移动通信系统的网络结构、空中接口的工作原理,GPRS 和 EDGE 的技术特点;第 8 章~第 9 章介绍第三代移动通信系统(CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA)的网络结构、空中接口各层原理和采用的关键技术;第 10 章介绍移动通信系统的演进路径,LTE 网络主要网元及接口的功能,IMT-Advanced 标准化进程和关键技术。

本书由张玉艳、于翠波共同编写。其中第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 6 章、第 8 章~第 10 章由张玉艳编写,第 3 章、第 5 章、第 7 章由于翠波编写,编者在教学及编写本书的过程中得到了孙学康、刘勇、鲁涔、牛敏等的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中错误不当之处难以避免,敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 4 月

目 录

第1章 概述	1	2.5.5 散射	43
1.1 移动通信的概念及特点	1	2.6 阴影效应	43
1.1.1 移动通信概念	1	2.7 多径效应	44
1.1.2 移动通信的主要特点	2	2.7.1 多普勒效应	45
1.1.3 移动通信系统的分类	3	2.7.2 多径信道描述	45
1.2 移动通信的发展历史	4	2.7.3 多径接收信号分析	50
1.3 常用的无线通信系统	6	2.8 移动信道传播损耗预测模型	55
1.3.1 无绳电话系统	6	2.8.1 Okumura 模型	55
1.3.2 第二代移动通信系统	7	2.8.2 Okumura-Hata 模型	60
1.3.3 第三代移动通信系统	8	2.8.3 COST231 模型	61
1.3.4 卫星移动通信系统	10	2.8.4 ITU 模型	62
1.3.5 数字集群移动通信系统	12	2.8.5 室内传播模型	62
1.3.6 无线局域网	15	小结	66
1.4 我国移动通信的发展概况	20	习题	67
1.5 本书内容安排	21	参考文献	68
小结	21	第3章 调制解调	69
习题	22	3.1 概述	69
参考文献	22	3.2 数字相位调制	70
第2章 无线移动信道	24	3.2.1 二进制相移键控	70
2.1 无线移动信道特性	24	3.2.2 四相相移键控	72
2.1.1 无线移动信道对无线电信号的影响	24	3.2.3 偏移四相相移键控	76
2.1.2 与无线移动信道相关的基本概念	26	3.2.4 $\pi/4$ 四相相移键控	77
2.2 无线环境下的噪声与干扰	28	3.3 正交振幅调制	78
2.1.1 噪声	28	3.4 数字频率调制	81
2.1.2 干扰	29	3.4.1 二进制频移键控	81
2.3 电磁波与无线电频谱	32	3.4.2 最小频移键控	86
2.4 无线电波传输环境	34	3.4.3 高斯滤波的最小频移键控	91
2.5 无线电波传播机制	36	3.5 多载波调制	94
2.5.1 直射	36	3.5.1 子信道无重叠的多载波数据传输	95
2.5.2 反射	38	3.5.2 子信道可重叠的多载波调制	96
2.5.3 折射	39	3.5.3 正交频分复用调制	98
2.5.4 绕射	41	小结	103
		习题	104

参考文献	104	5.3.3 线性均衡	170
第4章 扩频通信技术	105	5.3.4 最大似然序列估计	173
4.1 扩频通信基本概念	105	5.3.5 判决反馈均衡	173
4.1.1 扩频通信技术简介	105	5.3.6 其他均衡方法	175
4.1.2 扩频通信系统分类及特点	107	5.3.7 自适应均衡	175
4.2 扩频系统中常用的扩频码	109	小结	177
4.2.1 理想地址码和扩频码	109	习题	178
4.2.2 码序列分析基础知识	109	参考文献	178
4.2.3 常用的较理想的码序列	111	第6章 移动通信系统组网	179
4.2.4 扩频码和地址码应用举例	122	6.1 通信网简介	179
4.3 扩频通信技术应用	123	6.1.1 通信网的构成	179
4.3.1 扩频通信理论基础	123	6.1.2 用户接入网	180
4.3.2 扩频通信的主要性能指标	125	6.2 蜂窝组网技术	184
4.3.3 直接序列扩频通信系统	125	6.2.1 移动通信网的区域覆盖	184
4.3.4 跳频扩频系统	128	6.2.2 蜂窝小区的特性	188
4.4 多址接入技术	129	6.3 无线系统的信道分配	192
4.4.1 移动通信系统中频率的使用	130	6.4 多信道共用	195
4.4.2 多址接入技术	132	6.4.1 多信道共用的意义	195
4.5 功率控制技术	137	6.4.2 话务量、服务等级和信道数的 关系	196
4.6 RAKE 接收机	139	6.4.3 空闲信道的选取	202
小结	141	6.5 蜂窝组网系统干扰和容量分析	202
习题	142	6.5.1 蜂窝组网干扰分析	202
参考文献	142	6.5.2 不同接入方式系统容量	204
第5章 抗衰落技术	143	6.6 蜂窝系统的移动性管理	207
5.1 分集	143	6.6.1 蜂窝系统服务区域划分及 编号	207
5.1.1 独立衰落路径的实现	144	6.6.2 位置更新	209
5.1.2 接收分集系统模型	145	6.6.3 切换	209
5.1.3 选择合并	146	6.7 蜂窝网络设计应用实例	211
5.1.4 门限合并	148	小结	214
5.1.5 最大比合并	149	习题	215
5.1.6 等增益合并	150	参考文献	215
5.1.7 分集方式比较	151	第7章 GSM 数字蜂窝移动通信系统	216
5.2 纠错编码	152	7.1 GSM 系统网络结构	216
5.2.1 线性分组码	153	7.1.1 GSM 系统的结构与功能	216
5.2.2 卷积码	160	7.1.2 基站子系统	217
5.2.3 交织与级联	165	7.1.3 网络子系统	218
5.3 均衡	167	7.1.4 操作维护子系统	219
5.3.1 均衡的原理	168		
5.3.2 均衡器的类型	169		

7.1.5 移动台	220	8.4.4 无线资源控制层	282
7.2 GSM 网络接口与协议	221	8.5 WCDMA 系统中呼叫的建立 过程	285
7.2.1 GSM 系统的主要接口	221	8.5.1 电路域呼叫过程	285
7.2.2 网络子系统的内部接口	222	8.5.2 分组域呼叫过程	289
7.3 GSM 系统主要参数	223	8.6 HSPA 网络技术	291
7.3.1 频带的划分及使用	223	8.6.1 HSPA 概述	291
7.3.2 各类空中信道	224	8.6.2 引入 HSPA 对 R99/R4 版本无 线网络结构的影响	293
7.3.3 帧结构、复帧结构	225	8.6.3 HSPA 对用户协议结构的 影响	296
7.4 GSM 系统的号码与识别	226	小结	297
7.5 GSM 的漫游、安全和呼叫管理	229	习题	298
7.5.1 用户鉴权和加密	229	参考文献	298
7.5.2 位置更新和漫游管理	232	第 9 章 TD-SCDMA 移动通信系统	299
7.5.3 切换	234	9.1 概述	299
7.5.4 呼叫的管理	236	9.2 TD-SCDMA 空中接口	301
7.5.5 移动台的状态	237	9.2.1 TD-SCDMA 空中接口协议 结构	301
7.6 通用分组无线业务	240	9.2.2 TD-SCDMA 物理层	303
7.6.1 GPRS 特点及应用	240	9.2.3 TD-SCDMA 物理信道	308
7.6.2 GPRS 网络结构	241	9.2.4 传输信道编码和复用	309
7.6.3 GPRS 空中接口 (Um)	244	9.2.5 扩频与调制	310
7.6.4 GPRS 的移动性和会话管理	248	9.2.6 TD-SCDMA 系统的码分配	312
7.7 EDGE	251	9.2.7 N 频点技术	312
7.7.1 EDGE 概述	251	9.3 TD-SCDMA 系统物理层主要工作 过程	313
7.7.2 EGPRS 特点	252	9.3.1 小区搜索	313
7.7.3 EGPRS 网络结构和无线 接口	254	9.3.2 上行同步	314
小结	255	9.3.3 随机接入过程	315
习题	256	9.4 TD-SCDMA 系统中的 HSPA 技术	316
参考文献	256	9.4.1 TD-HSDPA	316
第 8 章 WCDMA 移动通信系统	257	9.4.2 TD-HSUPA	319
8.1 WCDMA 移动通信系统的特点	257	小结	321
8.2 WCDMA 网络结构与接口	260	习题	322
8.2.1 UMTS 系统结构	260	参考文献	322
8.2.2 基于 R99、R4、R5/R6 的核心 网结构	263	第 10 章 移动通信的发展趋势	323
8.3 UTRAN 接口协议模型	270	10.1 移动通信系统的演进	323
8.4 WCDMA 空中接口	272		
8.4.1 Uu 接口协议结构	272		
8.4.2 物理层	274		
8.4.3 数据链路层	279		

IV | 移动通信

10.2	LTE	325
10.2.1	LTE 概述	325
10.2.2	LTE 的系统结构	327
10.3	IMT-Advanced	333
10.4	MIMO 和空时编码技术	335

10.4.1	MIMO 技术	335
10.4.2	空时编码	337
	小结	340
	习题	341
	参考文献	341

第 1 章 概 述

移动通信是通信领域中最有活力、最有发展前途的一种通信方式。它的发展与普及改变了社会，也改变了人类的生活方式，因而具有广阔的发展前景。为了更好地掌握移动通信的基本原理及技术，本教材首先概要地介绍移动通信的特点、移动通信的发展和移动通信的应用系统，本章主要内容如下。

- (1) 移动通信的概念、特点和分类。
- (2) 移动通信的发展历史，我国移动通信的发展概况。
- (3) 无绳电话系统的特点，不同标准无绳电话系统的特点。
- (4) 第二代(2G)移动通信系统的特点，介绍不同标准的2G移动通信系统。
- (5) 第三代(3G)移动通信系统的特点，简介不同标准的3G移动通信系统。
- (6) 卫星移动通信系统和数字集群移动通信系统的特点和标准。
- (7) 无线局域网(WLAN)的概念，重点介绍802.11系统标准。
- (8) 移动通信的发展趋势。

1.1 移动通信的概念及特点

未来通信的目标是任何人在任何时间、任何地点可以与其他任何人进行任何方式的通信。随着社会的发展，人们对通信的需求日益迫切，对通信的要求也越来越高。电报、电话、广播、电视、卫星、Internet等技术的发展和运用引领着人们一步步向未来通信的目标靠近。显然，没有移动通信，未来通信的目标是无法实现的。

1.1.1 移动通信概念

移动通信是指通信双方至少有一方在移动中(或者临时停留在某一非预定的位置上)进行信息传输和交换，这包括移动体(车辆、船舶、飞机或行人)和移动体之间的通信，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。

严格说来，移动通信属于无线通信的范畴，无线通信与移动通信虽然都是靠无线电波进行通信的，但却是两个概念。无线通信包含移动通信，但无线通信侧重于无线，移动通信更注重于其移动性。

1.1.2 移动通信的主要特点

1. 移动网络和固定网络的区别

(1) 数字移动通信系统的结构框图

图 1-1 所示是一个典型的数字移动通信系统框图，由发送端、接收端和传输介质三部分组成，发送端和接收端分别对应 4 个单元：信源和信宿，信源编码和译码，信道编码和译码，调制和解调。

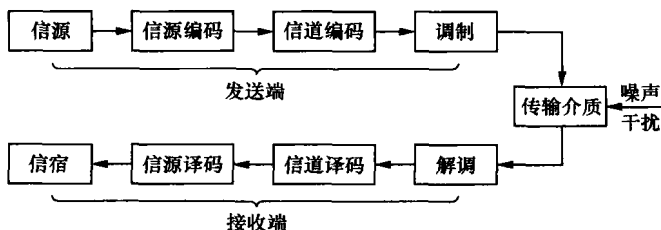


图 1-1 典型的数字移动通信系统框图

① 信源和信宿。信源是指发送信息的单元，信宿是指接收信息的单元，通信就是在信源与信宿之间传输信息的过程。

② 信源编码和译码。信源编码的目的是压缩数据率，去除信号中的冗余，提高传输的有效性；信源译码是信源编码的逆过程。

③ 信道编码和译码。信道编码的目的是增加信息的冗余，使其具有检错和纠错的能力，试图以最少的监督码元为代价，换取可靠性的最大程度的提高；信道译码是信道编码的逆过程，也是实现检错和纠错的过程。

④ 调制和解调。调制是指载波调制，目的是实现频谱搬移，使调制后的信号适应无线信道的特点，适合在无线信道传输；解调是调制的逆过程。

⑤ 传输介质。传输介质为发射端和接收端提供了连接的物理信道。传输介质可以为携带电信号的一对明线；可以为已调光波束上携带信息的光纤；可以为以声波方式传输信息的海洋信道；可以为数据存储介质，如磁盘、光盘等；也可以为自由空间，携带信息的信号通过天线在空间辐射传输，即为我们在移动通信中经常提到的移动无线信道。

移动无线信道是移动通信信号传输的载体，决定了移动通信和有线通信的区别。

(2) 移动通信和有线通信的区别

有线通信，比如目前我国广泛应用的公用交换电话网 PSTN，其终端固定在某一地点，传输通过陆地中继线路进行，中继线路包括光纤、铜缆、微波中继及卫星中继等。PSTN 中的网络配置是静态的，信道是封闭的，且是人造的，从而是优质的。除非终端用户改变地点或所需业务变更，网络需重新配置，否则网络不需改变配置。

移动通信中，终端是移动的，网络配置是动态的，无线网络必须每隔很短的时间就为用户重新配置一次，保证用户在移动时能实现漫游和无缝切换。无线网络提供给用户的带宽会受到射频带宽资源的限制。无线信道是开放的，存在各种干扰和噪声，引起信号的多径效应和衰落现象，所有的移动通信技术都是为了克服和消除这些影响，用以解决移动通信中信息

传输的有效性、可靠性和安全性问题。下面介绍移动通信的主要特点。

2. 移动通信的主要特点

(1) 移动通信必须利用无线电波进行信息传输。

移动通信利用无线电波在空间进行开放式传播来实现信息传输,这种传播介质允许通信中的用户可以在一定范围内自由活动,其位置不受束缚,移动通信系统的性能与无线电波的传播特性紧密相关。

(2) 移动通信是在复杂的干扰环境中运行。

在无线通信中,承载信息的传输手段为电磁波信号,电磁波信号在传输过程不可避免地要受到噪声或干扰的破坏。噪声是指与信号无关的一些破坏性因素,如各种工业噪声、交流声、脉冲噪声、银河系噪声、大气噪声、宇宙噪声、太阳噪声以及由元器件内部各种微观粒子的热骚动所产生的热噪声等。干扰则是指与信号有关的一些破坏性因素。移动通信系统中的干扰是指终端自身产生的干扰、终端间和终端与基站间的相互干扰。不同的系统,关注的干扰源不同,一般包括同频干扰、邻频干扰、互调干扰、多址干扰,以及近端无用强信号对远端有用弱信号的干扰(称为“远近效应”)等。故在设计移动通信系统时,必须采用抗干扰、抗衰落技术对抗和减少这些有害干扰的影响。

(3) 移动通信可以利用的频谱资源有限。

目前陆地移动通信系统的频段范围主要在 UHF 频段。电磁波频谱特性具有有限性、非消耗性、三维性、易受污染性和共享性等特点。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。为了解决这一矛盾,一方面要开辟和启用新的频段,向更高的频段延伸;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,为了满足对移动通信业务量与日俱增的需求,移动通信系统的发展和后续演进都与频谱效率的不断提高紧密相关。

(4) 由于通信用户的随机移动性,网络管理和控制必须有效。

移动用户需要在任何地点、任何移动速度下都能得到可靠的通信服务,所以移动用户的移动范围是在通信区域内的不规则运动。移动通信网络必须具备很强的管理和控制功能,比如用户的位置登记和定位,通信链路的建立和拆除,信道的分配和管理,通信的计费、鉴权、安全和保密管理,以及用户越区切换和漫游的控制等。

(5) 移动终端必须适于在移动环境中使用。

对移动终端的主要要求是体积小、重量轻、省电、操作简单、携带方便和维修方便,还应保证在震动、冲击、高低温变化等恶劣环境中正常工作。为了满足不同人群的需要,移动终端必须能适应新技术、新业务的发展。移动终端的设计和制造是移动通信系统运营良好的重要保证。

1.1.3 移动通信系统的分类

依据不同的划分标准,移动通信系统有多种分类方法。

(1) 按使用对象不同,可分为民用移动通信系统和军用移动通信系统。

(2) 按使用环境不同,可分为陆地移动通信系统、海上移动通信系统和空中移动通信系统。

(3) 按多址方式不同,可分为频分多址(FDMA)移动通信系统、时分多址(TDMA)移动通信系统和码分多址(CDMA)移动通信系统。

- (4) 按覆盖范围不同,可分为广域移动通信系统和局域移动通信系统。
- (5) 按业务类型不同,可分为电话移动通信系统、数据移动通信系统和多媒体移动通信系统。
- (6) 按工作方式不同,可分为单工移动通信系统、双工移动通信系统和半双工移动通信系统;
- (7) 按服务范围不同,可分为专用移动通信系统和公用移动通信系统。
- (8) 按信号形式不同,可分为模拟移动通信系统和数字移动通信系统。

1.2 移动通信的发展历史

通常 1897 年被认为是人类移动通信元年。这一年, M.G.马可尼在固定站与一艘拖船之间完成了一项无线通信试验,实现了在英吉利海峡行驶的船只之间保持持续的通信。这第一次向世人展示了无线电通信的魅力,由此揭开了世界移动通信历史的序幕。

移动通信的出现,为人们带来了无线电通信的更大自由和便捷。移动通信已经成为现代社会中不可或缺的生活必需品和通信手段。现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代,大致经历了 6 个发展阶段,但真正发展却开始于 20 世纪 40 年代中期。

第 1 阶段从 20 世纪 20 年代至 20 世纪 40 年代,为早期发展阶段。在此期间,首先在短波几个频段上开发出专用移动通信系统,其代表是美国底特律市警察使用的车载无线电系统。该系统工作频率为 2MHz,到 20 世纪 40 年代提高到 30~40MHz。可以认为这个阶段是现代移动通信的起步阶段,特点是专用系统开发,工作频率较低。

第 2 阶段从 20 世纪 40 年代中期至 20 世纪 60 年代初期。在此期间,公用移动通信业务开始问世。1946 年,根据美国联邦通信委员会(FCC)的计划,贝尔公司在圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话网,称为“城市系统”。当时使用 3 个频道,间隔为 120kHz,通信方式为单工。随后,前西德(1950 年)、法国(1956 年)、英国(1959 年)等国家相继研制了公用移动电话系统。美国贝尔实验室解决了人工交换系统的接续问题。这一阶段的特点是从专用移动网向公用移动网过渡,接续方式为人工,移动通信网的容量较小。

第 3 阶段从 20 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代中期。在此期间,美国推出了改进型移动电话系统(Improved Mobile Telephone Service, IMTS),使用 150MHz 和 450MHz 频段,采用大区制、中小容量,实现了无线频道自动选择,并能够自动接续到公用电话网。前西德也推出了具有相同技术水平的 B 网。可以说,这一阶段是移动通信系统改进与完善的阶段,其特点是采用大区制、中小容量,使用 450MHz 频段,实现了自动选频与自动接续。

第 4 阶段从 20 世纪 70 年代中期至 20 世纪 80 年代中期。20 世纪 70 年代,美国贝尔实验室提出了蜂窝小区和频率复用的概念,现代移动通信开始发展起来。1978 年,美国贝尔实验室开发了先进的数字移动电话系统(Advanced Mobile Phone Service, AMPS),这是第一种真正意义上的具有随时随地通信的大容量的蜂窝移动通信系统。其他工业化国家也相继开发出蜂窝式公用移动通信网。日本于 1979 年推出 800MHz 汽车电话系统(HAMTS),在东京、大阪、神户等地投入商用。前西德于 1984 年完成 C 网,频段为 450MHz。英国在 1985 年开发出全地址通信系统(Total Access Communication System, TACS),首先在伦敦投入使用,以后覆盖了全国,频段为 900MHz。法国开发出 450 系统。加拿大推出 450MHz 移动电话系统(Mobile Telephone System, MTS)。瑞典等北欧四国于 1980 年开发出 NMT-450(Nordic Mobile Telephone, NMT)移动通信网,并投入使用,频段为 450MHz。这些系统都是双工的

基于频分多址 (Frequency Division Multiple Access, FDMA) 的模拟制式系统, 被称为第一代蜂窝移动通信系统。这一阶段的特点是蜂窝状移动通信网络结构成为实用系统, 并在世界各地迅速发展。移动通信大发展的原因, 除了用户要求迅猛增加这一主要推动力之外, 还有技术进展所提供的条件。首先, 微电子技术在这一时期得到长足发展, 使得通信设备的小型化、微型化有了可能性, 各种轻便电台被不断地推出。其次, 提出并形成了移动通信新体制。随着用户数量增加, 大区制所能提供的容量很快饱和, 这就必须探索新体制。在这方面最重要的突破是贝尔试验室在 20 世纪 70 年代提出的蜂窝网的概念。蜂窝网, 即所谓小区制, 由于实现了频率再用, 大大提高了系统容量。可以说, 蜂窝概念真正解决了公用移动通信系统要求容量大与频率资源有限的矛盾。第三方面进展是随着大规模集成电路的发展而出现的微处理器技术日趋成熟以及计算机技术的迅猛发展, 从而为大型通信网的管理与控制提供了技术手段的保证。

第 5 阶段从 20 世纪 80 年代中期开始至 20 世纪 90 年代后期。20 世纪 80 年代中期, 随着日益增长的业务需求, 推出了数字移动通信系统。第一个数字蜂窝标准 GSM (Global Standard for Mobile Communications) 是基于时分多址 (TDMA) 方式, 于 1992 年由欧洲提出。美国提出了两个数字标准, 分别为基于 TDMA 的 IS-54 和基于窄带 DS-CDMA 的 IS-95。日本第一个数字蜂窝系统是个人数字蜂窝 (PDC) 系统, 于 1994 年投入运行。在这些数字移动通信系统中, 应用最广泛、影响最大的是采用 TDMA 技术的 GSM 系统和采用 CDMA 技术的 IS-95 系统。从此移动通信跨入了第二代数字移动通信系统。

第 6 阶段从 20 世纪 90 年代后期至今。20 世纪 90 年代后期, 移动通信业务和移动通信用户呈高速增长趋势。随着全球经济一体化和社会信息化的进展, 在移动通信中多媒体业务和 IP 业务的比例高速增长, 这使得第二代通信系统在系统容量和业务种类上逐渐趋于饱和, 很难满足个人通信的要求。为了适应用户对不同业务, 如会议、多媒体、数据接入、Internet 等的要求, 移动通信需要高到 2Mbit/s 的数据速率和更严格的服务质量 (QoS)。另一方面, 近十年技术的进步, 特别是微电子、数字信号处理等方面的进步, CDMA 多址方式在移动通信中的应用等, 又为移动通信的发展创造了技术条件。市场和技术的双重驱动, 为第三代移动通信系统的发展奠定了基础。

20 世纪 90 年代末开始是第三代 (3G) 移动通信技术发展和应用阶段。1999 年 11 月 5 日, 在芬兰赫尔辛基召开的 ITU TG8/1 第 18 次会议上最终确定了 3 类共 5 种技术标准作为第三代移动通信的基础, 其中 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 是 3G 的主流标准, 国际电信联盟在 2000 年 5 月批准了针对 3G 网络的 IMT-2000 无线接口的 5 种技术标准。

随着信息社会对无线 Internet 业务需求的日益增长, 第三代移动通信系统 2Mbit/s 的最高传输速率已远远不能满足需求, 第三代移动通信系统正逐步采用各种速率增强型技术。CDMA2000 1x 系统增强数据速率的下一个发展阶段称为 CDMA2000 1xEV, 其中 EV 是 Evolution (演进) 的缩写, 意指在 CDMA2000 1x 基础上的演进系统。新的系统不仅要和原有系统保持向后兼容, 而且要能够提供更大的容量, 更佳的性能, 满足高速分组数据业务和语音业务的需求。CDMA2000 1xEV 又分为两个阶段: CDMA2000 1xEV-DO 和 CDMA2000 1xEV-DV。WCDMA 和 TD-SCDMA 系统增强数据速率技术为 HSDPA/HSUPA, HSDPA/HSUPA 统称 HSPA, HSPA+ 是在 HSPA 基础上的演进。3G 无线系统高速解决方案需要数据传输具有非对称性、峰值速率高、激活时间短等特点, 能够更加有效利用无线频谱资源, 增加系统的数据吞吐量。

近年来, 在传统蜂窝移动通信技术高速发展的同时, 宽带无线接入技术 (如移动 WiMAX) 也开始提供移动功能, 试图抢占移动通信的部分市场。为了保证 3G 移动通信的持续竞争力,

移动通信业界提出了新的市场需求，要求进一步加强 3G 技术，提供更强大的数据业务能力，向用户提供更好的服务，同时具有与其他技术进行竞争的實力。因此，3GPP 和 3GPP2 相应启动了 3G 技术长期演进（Long Term Evolution, LTE）和空中接口演进（Air Interface Evolution, AIE）。2007 年 2 月，3GPP2 鉴于新的标准与 CDMA2000 1xEV-DO 有较大差别，将新的空中接口标准命名为超移动宽带（Ultra Mobile Broadband, UMB），并于 2007 年 4 月正式颁布。

2003 年后，WP8F 开始了 E3G 和 B3G 频率需求和候选频段的工作，在 2005 年 10 月 18 日结束的 ITU-R WP8F 第 17 次会议上，ITU 给了超 3G 技术一个正式的名称 IMT-Advanced。按照 ITU 的定义：IMT-2000 技术和 IMT-Advanced 技术拥有一个共同的前缀“IMT”，表示移动通信；当前的 WCDMA, CDMA2000, TD-SCDMA 及其增强型技术统称为 IMT-2000 技术；未来新的空中接口技术，叫做 IMT-Advanced 技术。根据国际电联（ITU）的工作计划，在 2008 年年初将开始公开征集下一代通信技术 IMT-Advanced 标准，并开始对候选技术和系统作出评估，最终选定相关技术作为 4G 标准。

1.3 常用的无线通信系统

随着移动通信技术的不断发展，移动通信应用领域不断扩大，落后的移动通信系统不断被淘汰，如无线寻呼系统、第一代模拟蜂窝移动通信系统等，新的、先进的移动通信系统不断涌现，如第三代蜂窝移动通信系统等。下面简单介绍在用的、典型的移动通信系统，主要包括无绳电话系统、第二代移动通信系统、第三代移动通信系统、卫星移动通信系统、数字集群移动通信系统和无线局域网。

1.3.1 无绳电话系统

1973 年，美国推出最早的商用无绳电话 CT0，简称子母电话机，适用于家庭，如图 1-2 所示。

普通的电话机被分为座机和手机两部分，座机与有线网络相连，手机与座机之间利用无线方式进行连接。携带手机的用户不需要与座机有线连接，却可以在一定范围内自由活动的同时进行通话。这样的座机和手机合在一起，称为无绳电话。目前已经有多种系统支持的无绳电话机终端。

随着通信技术的发展，无绳电话技术经过延伸发展，已经形成了多种数字式无绳电话系统。无绳电话系统经历了从模拟到数字，从室内到室外，从专用到公用的发展历程，最终形成以公用交换电话网（PSTN）为依托的多种网络结构。

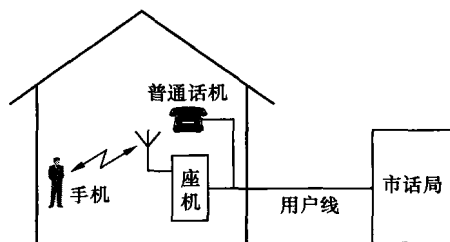


图 1-2 无绳电话系统示意图

20 世纪 70 年代出现的无绳电话系统称为第一代模拟无绳电话系统（CT-1），亦称子母机系统，仅供室内使用，用无线信道代替有线电缆，用户可在座机周围 100~200m 范围内方便地使用手机通话。由于采用模拟技术，通话质量不很理想，保密性也差。

20 世纪 90 年代中期出现的第二代的数字无绳电话系统，具有容量大、覆盖面宽、支持数据通信业务、具有双向呼叫和越区切换功能、应用灵活、成本低廉等特点，其典型的代表有英国的 CT-2、泛欧数字无绳电话系统（DECT）、日本的个人手持电话系统（PHS）和美国

的个人接入通信系统（PACS）等。表 1-1 给出了几种数字无绳电话系统的主要参数。

表 1-1 数字无绳电话系统的主要参数

	CT-2/CT-2 ⁺	DECT	PHS	PACS
地区	欧洲/加拿大	欧洲	日本	美国
双工方式	TDD/TDD	TDD	TDD	FDD
频段/MHz	864~868 944~948	1 880~1 900	1 895~1 918	1 850~1 910/1 930~1 990
载波数/对/MHz	40	10	77	16
每载波承载信道数	1	12	4	8/对
信道速率/(kbit/s)	72	1 152	384	384
调制方式	GFSK	GFSK	$\pi/4$ -DQPSK	$\pi/4$ -DQPSK
语音编码速率/(kbit/s)	32	32	32	32
平均手机发射功率/mW	5	10	10	25
峰值手机发射功率/mW	10	250	80	200
帧长度/ms	2	10	5	2.5

表 1-1 中, DECT 入选 IMT-2000 (3G) 的数字无绳通信标准 (称为 IMT-FT)。它的基本思路是将无绳电话进一步向个人通信网的方向发展, 使其不仅可以提供家用无绳电话、无线电话亭 (Telepoint) 的功能, 而且可以用作无绳门户交换机 (CPBX)、无线本地环路 (WLL)、无线局域网 (WLAN) 等系统。

PHS 和 PACS 在我国获得了广泛应用, 也就是我们通称的小灵通。2009 年 02 月, 中国电信、中国联通接到工业和信息化部相关文件, 2011 年前将妥善完成小灵通退市的相关工作。

1.3.2 第二代移动通信系统

20 世纪 60 年代末, 美国贝尔实验室提出了蜂窝通信系统的概念和理论, 移动通信的应用得到了普及, 通常将空中接口部分采用模拟技术的蜂窝移动通信系统称为第一代移动通信系统。2000 年左右, 各国逐步关闭了模拟蜂窝移动通信系统。数字蜂窝移动通信系统称为第二代 (2G) 移动通信系统。相比于第一代移动通信系统, 2G 移动通信系统具有以下特点。

- (1) 业务范围扩大, 除提供话音业务外还提供数据、图像等多种非话业务。
- (2) 抗干扰性强, 通信的安全保密性好。
- (3) 提高了网络管理和控制的有效性和灵活性, 易于实现国际漫游。
- (4) 设备成本降低, 用户终端的体积和重量变小。
- (5) 频谱利用率高, 可以提高系统容量。

2G 移动通信系统主要包括下面几种标准: 1991 年美国提出的先进的数字移动电话系统 (D-AMPS); 1992 年欧洲推出的商用全球移动通信系统 (GSM); 1993 年日本提出的个人数字蜂窝 (PDC); 1993 年美国提出的 IS-95, 即 N-CDMA。各个标准的主要系统参数如表 1-2 所示。

表 1-2 第二代移动通信系统的主要参数

各项指标	GSM	IS-95	D-AMPS	PDC
上行频段/MHz	890~915	824~849	824~849	810~830 或 1429~1453
下行频段/MHz	935~960	869~894	869~894	940~960 或 1 477~1 501
调制方式	GMSK	OQPSK（上行） QPSK（下行）	$\pi/4$ -QPSK	$\pi/4$ -QPSK
载波带宽/kHz	200	1250	25	30
语音编码方式	REL P-LTP	QCELP	VSELP	VSELP
信道编码方式	CRC+卷积码	CRC+卷积码	CRC+卷积码	CRC+卷积码
信道数据速率/（kbit/s）	270.833	1228.8	48.6	42
语音编码速率/（kbit/s）	13	8	8	6.7
多址方式	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA

IS-95 由于采用码分多址方式（CDMA），除了具有前面介绍的第二代移动通信系统的优势外，还具有如下特点。

- （1）频谱利用率比 FDMA、TDMA 高得多。
- （2）支持软切换技术。

在 2G 向第三代（3G）移动通信系统的过渡过程中出现了多种移动通信技术。下面主要介绍 GSM 和 IS-95 的演进技术。

1997 年欧洲提出 GSM 系统的演进版——2.5G 的通用分组无线业务（General Packet Radio Service, GPRS）技术，1999 年提出 2.75G 的 GSM 演进的增强数据速率（Enhanced Data rate for GSM Evolution, EDGE）技术，让使用 900MHz、1 800MHz、1 900MHz 频段的网络提供第三代移动通信网络的部分功能，并且能大大改进目前在 GSM 系统上提供的标准化服务。

美国电信工业协会（TIA）于 1999 年 7 月公布的 CDMA2000 Release 0 版本为 CDMA2000 标准的第一个版本。它沿用 IS-95B 的开销信道，并增加了新的业务信道和补充信道。2000 年 3 月，3GPP2 完成了 Release A 版本，增加了新的开销信道及相应的信令。2002 年 4 月，3GPP2 公布的 Release B 版本与 Release A 版本基本相同，只做了很少的改动。

1.3.3 第三代移动通信系统

1. 第三代移动通信标准的提出

第三代移动通信标准通常指无线接口的无线传输技术标准。截止 1998 年 6 月 30 日，提交到 ITU 的陆地第三代移动通信无线传输技术标准共有 10 种。ITU 延续了在多址接入方面以码分多址（CDMA）为主，辅以时分多址或者两者相结合的策略。1999 年 11 月 5 日在芬兰赫尔辛基召开的 ITU TG8/1 第 18 次会议上最终确定了 5 种技术标准作为第三代移动通信的基础，如表 1-3 所示。

表 1-3

IMT-2000 无线接口的 5 种技术标准

多址接入技术	正 式 名 称	习 惯 称 呼
CDMA	IMT-2000 CDMA-DS	WCDMA
	IMT-2000 CDMA-MC	CDMA2000
	IMT-2000 CDMA-TDD	TD-SCDMA/UTRA-TDD
TDMA	IMT-2000 TDMA-SC	UWC-136
	IMT-2000 TDMA-MC	EP-DECT

采用码分多址接入（CDMA）技术的 3 种候选方案成为第三代移动通信的主流标准。3 种主流标准的工作方式分别为频分双工—直扩（FDD-DS）、频分双工—多载波（FDD-MC）和时分双工（TDD），对应的标准分别为 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA/UTRA-TDD。

（1）IMT-2000 CDMA-DS

IMT-2000 CDMA-DS 又称宽带码分多址（Wide band CDMA，WCDMA）。WCDMA 的核心网基于演进的 GSM/GPRS 网络技术，空中接口采用 DS-CDMA 多址方式。

WCDMA 技术可在同一个载频内对同一用户同时支持语音、数据和多媒体业务；基站收发信机之间可以不用全球定位系统（GPS）同步；采用优化的分组数据传输方式；支持不同载频之间的切换；采用上、下行快速功率控制；反向采用导频辅助的相干检测技术，解决了 CDMA 中反向信道容量受限的问题；还采用了自适应天线、多用户检测、分集接收和分层小区结构等技术。

（2）IMT-2000 CDMA-MC

IMT-2000 CDMA-MC 又称 CDMA2000。CDMA2000 是基于 IS-95 标准的各种 CDMA 制造厂家的产品和不同运营商的网络构成的一个家族概念，从 IS-95 演进而来的 CDMA2000 标准是一个体系结构，称为 CDMA2000 家族，它包含一系列子标准，经过融合后含多载波（Multi-Carrier，MC）方式，即单载波（1x）、三载波（3x）等。

CDMA2000 可支持语音、分组和数据等业务，并且可实现 QoS 的协商。CDMA2000 沿用了 IS-95 的主要技术和基本技术思路，如帧长为 20ms、软切换和功率控制技术、需要 GPS 同步等，同时也在提高性能和容量上做了一些实质性的改进。

（3）IMT-2000 CDMA-TDD

IMT-2000 CDMA-TDD 目前包括低码片速率 TD-SCDMA 和高码片速率 UTRA-TDD 两个技术。TD-SCDMA（Time Division Synchronous CDMA）采用时分—同步码分多址技术。UTRA-TDD 采用通用陆地无线接入—时分双工技术。TD-SCDMA 是中国提出的国际标准，目前已经在我国国内建网，而 UTRA-TDD 标准制定现在已处于停顿状态，所以通常提到 IMT-2000 CDMA-TDD 即指 TD-SCDMA。

TD-SCDMA 采用时分双工（TDD）技术，频谱分配上更加容易，且由于时隙等资源的灵活调配，在提供上下行非对称的高速数据方面有很大的优势。TD-SCDMA 系统上下行使用相同频率，上下行链路的传播特性相同，易于引入智能天线、多用户检测等新技术，有利于提高无线频谱利用率。

2. 3 大主流技术标准性能对比

3G 的 3 大主流技术的网络基础、核心网、空中接口、码片速率、载频间隔、扩频方式、同步和功控速度等主要技术特点如表 1-4 所示。