



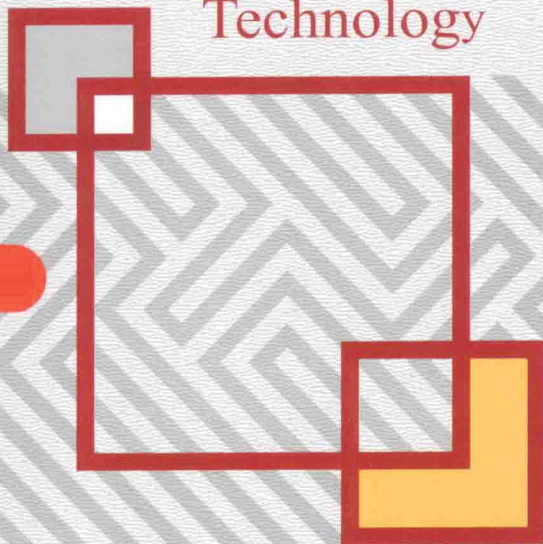
工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

张玉艳 于翠波 编著

移动通信技术

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

Mobile Communications
Technology



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

张玉艳 于翠波 编著

移动通信技术

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

Mobile Communications
Technology

人民邮电出版社
北京



精品系列

图书在版编目 (C I P) 数据

移动通信技术 / 张玉艳, 于翠波编著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2015. 1
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-35222-4

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第241543号

内 容 提 要

本书较全面地介绍了移动通信技术基础和移动通信应用系统。全书共分8章,基本内容包括:移动通信概述;无线移动信道的特性及描述;移动通信的基本技术;移动通信网组网的基本原理;移动通信的实际应用系统,包括GSM移动通信系统、WCDMA移动通信系统和LTE移动通信系统;移动通信设备中天馈系统的介绍。

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。

-
- ◆ 编 著 张玉艳 于翠波
责任编辑 滑 玉
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 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: 17.25 2015年1月第1版
字数: 420千字 2015年1月北京第1次印刷
-

定价: 46.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

据国际电信联盟（ITU）预测，到 2014 年底，全球移动用户数将达到 73 亿，将超过 70 亿的全球人口总数。移动通信已如水跟空气一样无处不在。因此，作为移动通信技术使用者，为了更好地利用这种技术，我们有必要学习移动通信的基本工作原理。编者基于多年移动通信原理及技术的教学、研究工作，结合移动通信基本原理及移动通信技术最新发展编写了本书。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、WCDMA 移动通信系统、LTE 移动通信系统等内容。

（3）增加了移动通信工程实践中所需的天馈系统的介绍。

（4）本书叙述摒弃烦琐的理论推导和分析计算。

（5）为便于自学，本书在每一章首先给出该章的主要内容介绍，然后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 8 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 章介绍移动通信的基本技术，重点介绍调制、解调的基本概念及应用，扩频系统的工作原理及应用，多址接入技术，抗衰落技术等基本概念；第 4 章介绍蜂窝组网技术，并给出蜂窝网络设计应用实例；第 5 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 6 章介绍 WCDMA 移动通信系统的网络结构、空中接口各层原理、呼叫的建立过程和 HSPA 网络技术；第 7 章介绍 LTE 网络主要网元及接口的功能，LTE-A 标准和关键技术。第 8 章介绍天馈系统的基本原理及应用。

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 7 章由张玉艳编写，第 3 章、第 5 章、第 8 章由于翠波编写。

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

2014 年 5 月

目 录

第1章 概述	1	2.7.2 多径信道描述	45
1.1 移动通信的概念及特点	1	2.7.3 多径接收信号分析	48
1.1.1 移动通信概念	1	2.8 移动信道传播损耗预测模型	51
1.1.2 移动通信的主要特点	2	2.8.1 Okumura 模型	51
1.1.3 移动通信系统的分类	3	2.8.2 Okumura-Hata 模型	57
1.2 移动通信的发展历史	4	2.8.3 COST231 模型	57
1.3 常用的无线通信系统	6	2.8.4 ITU 模型	59
1.3.1 第二代移动通信系统	6	小结	60
1.3.2 第三代移动通信系统	8	习题	61
1.3.3 卫星移动通信系统	9	第3章 移动通信基本技术	63
1.3.4 数字集群移动通信系统	12	3.1 调制解调概述	63
1.3.5 无线局域网	14	3.1.1 数字相位调制	64
1.3.6 LTE 移动通信系统	19	3.1.2 正交振幅调制	67
1.4 我国移动通信的发展概况	20	3.1.3 数字频率调制	69
小结	22	3.1.4 多载波调制	76
习题	22	3.2 扩频通信	80
第2章 无线移动信道	24	3.2.1 扩频通信技术简介	80
2.1 无线移动信道特性	24	3.2.2 扩频通信系统分类及特点	81
2.1.1 无线移动信道与无线电信号	24	3.2.3 扩频系统中常用的扩频码	83
2.1.2 无线电信号描述	26	3.2.4 多址接入技术	85
2.2 无线环境下的噪声与干扰	28	3.3 抗衰落技术	91
2.2.1 噪声	28	3.3.1 分集	91
2.2.2 干扰	29	3.3.2 纠错编码技术	96
2.3 电磁波与无线电频谱	32	3.3.3 均衡技术	98
2.4 无线电波传播环境	34	小结	99
2.5 无线电波传播机制	36	习题	101
2.5.1 直射	36	第4章 移动通信系统组网	103
2.5.2 反射	38	4.1 蜂窝组网技术	103
2.5.3 折射	39	4.1.1 移动通信网的区域覆盖	103
2.5.4 绕射	41	4.1.2 蜂窝小区的特性	107
2.5.5 散射	43	4.2 无线系统的信道分配	112
2.6 阴影效应	43	4.3 多信道共用	115
2.7 多径效应	44	4.3.1 多信道共用的意义	115
2.7.1 多普勒效应	45	4.3.2 话务量、服务等级和	

信道数的关系	116	5.7 EDGE	172
4.3.3 空闲信道的选取	122	5.7.1 EDGE 概述	172
4.4 蜂窝组网系统干扰和容量分析	123	5.7.2 EGPRS 特点	173
4.4.1 蜂窝组网干扰分析	123	5.7.3 EGPRS 网络结构和无线接口	175
4.4.2 不同接入方式系统容量	124	小结	176
4.5 蜂窝系统的移动性管理	127	习题	177
4.5.1 蜂窝系统服务区域划分	128	第6章 WCDMA 移动通信系统	178
4.5.2 位置更新	130	6.1 WCDMA 移动通信系统的特点	178
4.5.3 切换	130	6.2 WCDMA 网络结构与接口	181
4.6 蜂窝网络设计应用实例	131	6.2.1 UMTS 系统结构	181
小结	134	6.2.2 UMTS 的核心网结构	184
习题	134	6.3 UTRAN 接口协议模型	191
第5章 GSM 移动通信系统	136	6.4 WCDMA 空中接口	193
5.1 GSM 系统网络结构	136	6.4.1 Uu 接口协议结构	193
5.1.1 GSM 系统的结构与功能	136	6.4.2 物理层	195
5.1.2 基站子系统	137	6.4.3 数据链路层	200
5.1.3 网络子系统	138	6.4.4 无线资源控制层	203
5.1.4 操作维护子系统	140	6.5 WCDMA 系统中呼叫的建立过程	206
5.1.5 移动台	141	6.5.1 电路域呼叫过程	206
5.2 GSM 网络接口与协议	141	6.5.2 分组域呼叫过程	210
5.2.1 GSM 系统的主要接口	141	6.6 HSPA 网络技术	212
5.2.2 网络子系统的内部接口	142	6.6.1 HSPA 概述	212
5.3 GSM 系统主要参数	143	6.6.2 HSPA 无线网络结构	214
5.3.1 频带的划分及使用	143	6.6.3 HSPA 用户协议结构	217
5.3.2 各类空中信道	144	小结	218
5.3.3 帧结构、复帧结构	145	习题	219
5.4 GSM 系统的号码与识别	146	第7章 LTE 移动通信系统	220
5.5 GSM 的漫游、安全和呼叫管理	150	7.1 概述	220
5.5.1 用户鉴权和加密	150	7.2 LTE 的系统结构	224
5.5.2 位置更新和漫游管理	153	7.2.1 LTE/SAE 的网络结构	224
5.5.3 切换	155	7.2.2 E-UTRAN 的结构及接口	225
5.5.4 呼叫的管理	157	7.2.3 核心网 (EPC) 结构及接口	229
5.5.5 移动台的状态	158	7.3 LTE 的空中接口	232
5.6 通用分组无线业务	161	7.3.1 空中接口协议	232
5.6.1 GPRS 特点及应用	161	7.3.2 物理层	233
5.6.2 GPRS 网络结构	162	7.3.3 数据链路层	236
5.6.3 GPRS 空中接口 (Um)	165	7.3.4 RRC 层	239
5.6.4 GPRS 的移动性和会话管理	169		

7.4 LTE 关键技术	240
7.4.1 OFDM 技术	240
7.4.2 MIMO 技术	247
7.4.3 干扰抑制技术	250
7.4.4 自动化网络技术	251
7.4.5 载波聚合技术	252
7.4.6 无线中继技术	255
小结	257
习题	258

第 8 章 天馈系统	259
8.1 天线	259
8.1.1 天线原理	259
8.1.2 天线的性能指标	260
8.1.3 天线的类型	263
8.2 馈线	266
小结	267
习题	267
参考文献	268

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技术，本章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 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。
- ④ 第三代（3G）移动通信系统的特点，介绍不同标准的 3G 移动通信系统。
- ⑤ 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。
- ⑥ 无线局域网（WLAN）的概念，重点介绍 802.11 系统标准。
- ⑦ LTE 移动通信系统的特点。

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 等技术的发展和应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 所示为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。

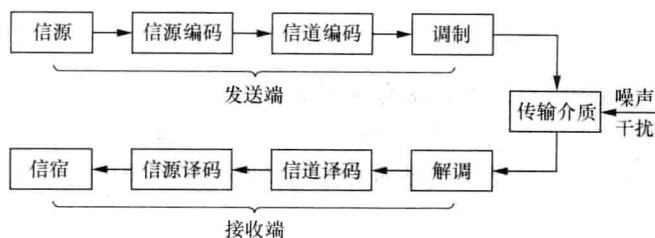


图 1-1 典型的数字移动通信系统框图

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无线移动信道。

无线移动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的。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的

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、大气噪声、宇宙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,可分为地面移动通信系统、水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

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，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 7 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，联邦德国（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。联邦德国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高级移动电话系统（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。联邦德国于 1984 年完成 C 网，频段为 450MHz。英国在 1985 年开发出全接入通信系统（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 1986 年开发出 Radiocom 2000 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,还有技术进步所提供的条件。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 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 21 世纪初。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后向兼容,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。

第 7 阶段从 21 世纪初至今。近年来,随着第三代移动通信系统在全球范围内的推广商用,移动业务主体开始向更高速率、更高质量的无线通信业务逐步转变,如多媒体业务、在线游戏等。虽然 3G 移动通信系统相比于 2G 网络有了更大的容量和更好的服务质量,但仍存在一定的局限性,比如不同通信速率、不同频段的不同业务间的无缝漫游等。为了满足用户的进一步需求,2004 年底,3G 技术长期演进(Long Term Evolution, LTE)项目被启动, LTE 技术降低了系统延迟,提高了小区容量,改善了边缘用户的吞吐量性能,在最大 20MHz 带宽下能够提供下行 100Mbit/s 和上行 50Mbit/s 的峰值速率。

在 2005 年 10 月 18 日结束的 ITU-R WP8F 第 17 次会议上, IMT-Advanced 通信系统的概念被 ITU-R 提出。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,叫作 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做出评估,最终选定相关技术作为 4G 标准。这标志着第四代(4G)移动通信系统的标准化进程正式启动。

LTE 系统相对于 3G 标准在各个方面都有了不少提升,具有相当明显的 4G 技术特征,但并不能完全满足 IMT-Advanced 提出的全部技术要求,因此 LTE 不属于 4G 标准。为了实现 IMT-Advanced 的技术要求, 3GPP 标准化组织提出了增强型长期演进(LTE-Advanced, LTE-A)计划。LTE-A 系统是 LTE 的长期演进版本, LTE-A 支持与 LTE 的前后向兼容性,采用原 LTE 的全部功能。LTE-A 的终端可以接入 LTE(Rel-8)系统, LTE 终端也可以使用 LTE-A 系统提供的频点。作为 LTE 进一步发展的驱动力, LTE-A 期望在同等的成本效率下提供更高的数据传输速率,并且作为 4G 技术,能够完全满足 ITU 提出的 IMT-Advanced 需求。

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、无绳电话系统等,新的、先进的移动通信系统不断涌现。下面简单介绍在用的、典型的移动通信系统,主要包括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、无线局域网和 LTE 移动通信系统。

1.3.1 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 1-1 所示。

表 1-1 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 1 429~1 453
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	1 250	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	1 228.8	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。

1.3.2 第三代移动通信系统

1. 第三代移动通信标准

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。截至 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 1-2 所示。

表 1-2 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—直接系列扩频（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一时分双工技术。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 1-3 所示。

表 1-3 3G 的主流标准性能对比

标准 性能指标	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP
带宽	5MHz	1.25MHz	1.6MHz
多址方式	CDMA	CDMA	CDMA/TDMA
码片速率	3.84Mchip/s	1.228 8Mchip/s	1.28Mchip/s
双工方式	FDD/TDD	FDD	TDD
帧长	10ms/15 时隙/帧	5、10、20、40、80ms/16 时隙/帧	5×2ms/7×2 时隙/2 子帧/帧
语音编码	自适应多速率语音编码器（AMR）	可变速率声码器 IS-773、IS-127	自适应多速率语音编码器（AMR）
信道编码	卷积码和 Turbo 码	卷积码和 Turbo 码	卷积码和 Turbo 码
信道化码	前向 OVSF，扩频因子 512~4； 反向 OVSF，扩频因子 256~4	前向：Walsh 和长码； 反向：Walsh 和准正交码	OVSF，扩频因子 16~1
扰码	前向：18 位 GOLD 码； 反向：24 位 GOLD 码	长码和短 PN 码	扰码，长度固定为 16
功率控制	开环+闭环	开环+闭环	开环+闭环
切换	软切换	软切换	接力切换
导频结构	上行专用导频； 下行公共或专用导频	上行专用导频； 下行公共或专用导频	下行公共导频 DwPTS； 上行同步 UpPTS
基站同步	同步/异步	GPS 同步	同步

1.3.3 卫星移动通信系统

随着数字蜂窝网的发展，地面移动通信达到无缝覆盖，实现在任何地方都做到可靠通信是移动网络的目标之一。但受到地形和人口分布等客观因素的限制，这一问题现在不可能解

决，在将来的几年甚至几十年也很难得到解决。这不是因为技术上不能实现，而是由于在这些地方建立地面通信网络耗资过于巨大。而卫星通信有着良好的地域覆盖特性，正好是对地面移动通信的补充。

卫星移动通信系统是指利用人造地球通信卫星作为空间链路的一部分进行移动通信业务的通信系统，如图 1-2 所示。卫星移动通信不受地理条件的限制，具有全球范围的覆盖面，信道频带宽，通信容量大，电波传播稳定，通信质量好。但卫星通信系统造价昂贵，运行费用高。

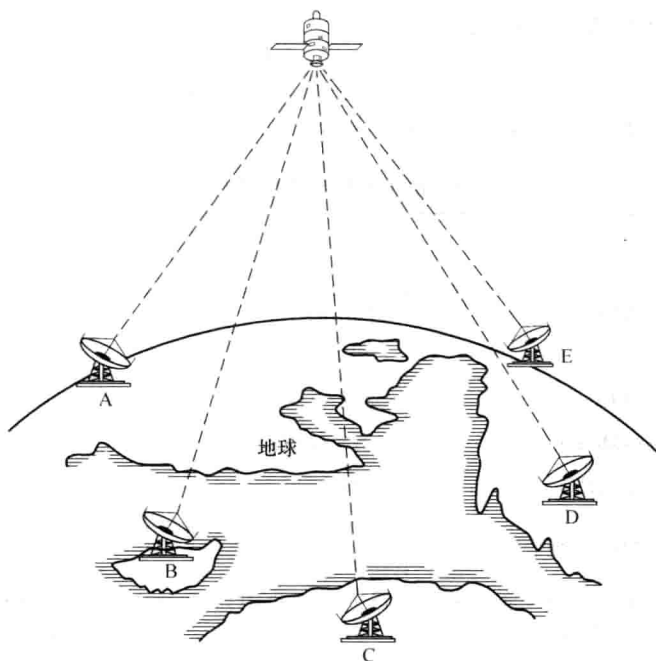


图 1-2 卫星通信示意图

下面以对地静止卫星通信系统为例，如图 1-3 所示，简单介绍卫星移动通信系统的工作原理。

对地静止卫星是指卫星的运行轨道在赤道平面内，轨道离地面高度约为 35 800km（经常称 36 000km）。卫星运行方向与地球自转方向相同，绕地球一周的公转时间为 24 小时，与地球自转一周的时间相同。地球上的地球站与卫星的相对位置如同静止一样，故称对地静止卫星通信系统，也称地球同步卫星通信系统。

如图 1-3 所示，若以 120° 的等间隔在同步轨道上配置三颗卫星，则在地球表面上除两极地区外，其他区域都在覆盖范围之内，部分区域为两颗卫星波束覆盖的重叠地区。因此，可借助于在重叠区内的地球站作为中继站，实现不同卫星覆盖的地球站之间的通信。按图 1-3 所示等间隔配置三颗同步卫星，就可以实现全球通信，这一特点是任何其他通信方式所不具备的。

卫星通信系统由通信地球站分系统（简称地球站）、通信卫星、跟踪遥测及指令系统和监控管理系统 4 大部分组成，其中的地球站是卫星系统与地面公众网的接口，地面用户通过地球站出入卫星系统形成链路。卫星在空中起中继站的作用，即把地球站发上来的电磁波放大后再返送回另一地球站。跟踪遥测及指令系统的任务是对卫星上的运行数据及指标进行跟踪