



信息产业部 3G 移动通信培训指定教材

WCDMA 无线网络技术

信息产业部通信行业职业技能鉴定指导中心
信息产业部邮电通信人才交流中心

审定

北京邮电大学无线新技术研究所 主编
张建华 王莹 编著

信息产业部 3G 移动通信培训指定教材

WCDMA 无线网络技术

信息产业部通信行业职业技能鉴定指导中心 审定
信息产业部邮电通信人才交流中心
北京邮电大学无线新技术研究所 主编
张建华 王莹 编著

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

WCDMA 无线网络技术 / 张建华, 王莹编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.5
信息产业部 3G 移动通信培训指定教材
ISBN 978-7-115-15782-9

I. W... II. ①张...②王... III. 码分多址—宽带通信系统—技术培训—教材
IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 009986 号

内 容 提 要

本书主要介绍第三代移动通信系统中的 WCDMA 无线网络技术。作者根据多年从事 WCDMA 系统的研发和教学经验, 结合 WCDMA 系统的最新进展, 深入浅出地讲述了 WCDMA 无线接入技术的基本原理及其体系架构, 同时根据所述内容的重点和难点, 设置了相应的例题和习题, 以利于读者更快更好地理解 and 掌握本书内容。

全书共分 8 章, 主要内容包括移动通信发展的历史, 无线传播环境的基本传播机制及信道模型, WCDMA 的无线接入网系统结构, WCDMA 系统空中接口的物理层关键技术, WCDMA 的物理层处理流程, WCDMA 系统的空中接口协议, UTRA TDD 和 WCDMA 系统的演进和发展。

本书适合从事 3G 系统研发的专业技术人员, 参与 3G 网络建设、运营、维护和 3G 业务开发的工程技术人员和技术管理人员阅读, 也可作为相关 3G 培训班的培训教材, 以及电子信息工程、通信工程等专业本科生或研究生的专业教材和参考书。

信息产业部 3G 移动通信培训指定教材

WCDMA 无线网络技术

-
- ◆ 审 定 信息产业部通信行业职业技能鉴定指导中心
信息产业部邮电通信人才交流中心
 - 主 编 北京邮电大学无线新技术研究所
 - 编 著 张建华 王 莹
 - 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>
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5
字数: 370 千字 2007 年 5 月第 1 版
印数: 1-3 000 册 2007 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15782-9/TN

定价: 28.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

信息产业部 3G 移动通信培训指定教材编委会

名誉主任：刘阳生

主任：张新生 马忠林

副主任：(按姓氏笔画排序)

王晓丹 张平 李世鹤

李默芳 曹淑敏 谢飞波

编委会：(按姓氏笔画排序)

王志勤 付长东 刘宝玲 向伟

吴伟陵 张杰 张雪丽 陶小峰

啜钢 黄少华 滑玉 魏然

滕伟

秘书：蒋亮

序

移动通信的飞速发展和广泛应用,使其已经成为经济发展的强大动力。移动通信网络技术、语音业务、宽带数据业务、规划与优化、管理与维护和新业务开发等方面的工作逐渐成为社会最热门的职业选择,而移动通信知识和技能已经成为人们进入移动通信行业的必备条件。

目前正值移动通信快速发展期,第二代移动通信网络已经非常成熟和普及,第三代移动通信网络即将在中国部署和实施。中国拥有自主知识产权的第三代移动通信国际标准 TD-SCDMA 正在国内进行友好用户测试,其必将对中国移动通信产业的发展产生巨大的推动作用,并对世界移动通信产业的走向产生深远的影响。

第三代移动通信的发展必将对人才产生巨大的需求,一方面是现有通信从业人员的全面技术提升,另一方面是对新从业人才的大量需求。3G 移动通信产业的主要用人单位很多,如国家管理和认证部门、移动通信网络运营商、移动通信网络和终端设备制造商、各地规划设计院、网络规划和优化公司、设计公司、移动通信设备维修公司、数据业务增值服务提供商等都急需大批技术人才,人才培养的紧迫性越来越严重。然而,一方面企业对于 3G 人才的需求迫切,另一方面当前人才培养的主力军恰恰也是企业,这带来了标准不统一、培训课程不系统、培训师匮乏等一系列问题,不利于 3G 人才的全面成长和合理流动。

鉴于上述状况,信息产业部通信行业职业技能鉴定指导中心、邮电通信人才交流中心和北京邮电大学无线新技术研究所联手共同推出了信息产业部 3G 移动通信培训指定教材,并在此系列教材基础上开展了全国范围的 3G 移动通信职业技能培训和认证工作。信息产业部 3G 移动通信培训教材及认证标准的实施,将有效解决目前 3G 技术人才培养和认证的标准问题,大力推进 3G 技术人才的培养和提高,为 3G 在中国的开展提供必要的人才支持和储备。

信息产业部 3G 移动通信培训指定教材具有如下特点。

1. 系统性

本套教材完整地介绍了 TD-SCDMA、WCDMA、CDMA2000 三种不同的 3G 移动通信国际主流标准,覆盖了 3G 系统整体架构和相关知识点,包括基础原理、终端、无线接入网、核心网、业务、组网、优化与规划等方面,特别是对具有自主知识产权的 TD-SCDMA 作了较系统的阐述。

2. 权威性

信息产业部通信行业职业技能鉴定指导中心是负责通信行业职业技能鉴定的法定机构,熟悉通信行业人才培养的需求和规律;北京邮电大学无线新技术研究所是国内著名的移动通信技术研究单位,具有多年研究 3G 移动通信技术和系统的知识和经验。本套教材编写通俗易懂,层次结构清晰,理论和实际相结合,非常适合 3G 移动通信系统的培训和认证工作。

3. 理论和实际紧密结合

参与本套教材的编写人员都是参加过 3G 移动通信系统开发和研究的工程技术人员和高校老师,他们不仅具有丰富的理论知识,而且具有丰富的 3G 移动通信系统、设备与软件的

开发和研究经验，因此本套教材中融合了大量实际产品和实际系统的开发经验和研究成果，这无疑会满足对企业第一线的技术人员从速掌握该技术的要求。

我相信，信息产业部 3G 移动通信指定培训教材的出版和认证标准的实施，将很大程度上推进中国 3G 人才的培训和认证工作，为中国移动通信的快速发展提供更多更好的人才。

信息产业部通信科技委主任

Handwritten signature in black ink, reading '蔡真元' (Cai Zhenyuan).

2006年12月

编者的话

在任何时间、任何地点与对方进行不受牵绊的通信，一直是多数人的期望。在 J.C.麦克斯韦尔、赫兹等开创性工作的基础上，马可尼早在 1896 年做出了第一个可用的无线电装置，进行了超过 2 英里的无线电通信，又在 1901 年实现了跨越大西洋的无线电通信。这些都促进了移动通信系统的形成。尤其在 20 世纪 70 年代后，随着大规模集成电路技术和计算机技术的迅猛发展，困扰移动通信系统的终端小型化和系统设计等关键问题得到了解决，移动通信技术进入了蓬勃发展阶段，并经历了第一代移动通信系统、第二代移动通信系统和第三代移动通信系统，以及第三代移动通信系统的演进和发展。

全球移动通信发展虽然只有短短 20 年的时间，但它已经创造了一个奇迹，截至 2006 年底，全球移动用户已经超过 20 亿户。从用户数看，2002 年底全球移动用户数已经超过了固定用户数（中国在 2003 年进入这个拐点）。截至 2004 年 5 月，近 100 个国家的移动用户数已经超过固定用户数，这一趋势仍在继续。移动用户数超过固定用户数，实质上反映了人们对移动性和个性化的需求在急剧上升。虽然目前第二代移动通信系统（例如 GSM 系统）仍在占据主导的移动通信市场，但是随着人们对数据业务、多媒体业务等的需求增长，以及对全球漫游的需求，第三代移动通信系统将逐步取代目前的第二代系统。第三代移动通信系统的空中接口技术主要有三大主流标准，包括宽带码分多址（Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA）、CDMA2000 和时分—同步 CDMA（Time Division-Synchronization CDMA, TD-SCDMA）都将在移动通信市场占据一席之地。

本书主要讲述第三代移动通信系统之一——通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunication System, UMTS）。WCDMA 是第三代移动通信的空中接口方案，截至 2005 年 7 月，全球有 74 个 WCDMA 网络商用。截至 2005 年 6 月底，全球 WCDMA 用户数为 2 830 万户，与 2004 年 9 月公布的 1 000 万用户数相比，WCDMA 阵营用户数在半年内突破 2 000 万户大关，其中日本 NTT DoCoMo 公司超过 1 300 万户；日本另外一家提供 WCDMA 网络的运营商 Vodafone 的用户超过了 130 万户；香港和记黄埔公司的用户数已突破 800 万户。可以预见，未来几年内第三代移动通信系统将成为移动通信领域的主导，尤其是 UMTS。与此同时，在市場需求的不断推动下，第三代移动通信系统的增强型技术将极大提高第三代移动通信系统的上下行数据承载能力以及系统的数据承载效率。而作为未来移动通信系统演进中采用的关键技术，包括正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）、多入多出（Multiple Input and Multiple Output, MIMO）天线系统、自适应调制与编码（Adaptive Modulation and Coding, AMC）等技术的不断发展，将在未来为演进的 UMTS 走向商用奠定重要基础。

本书详细介绍 WCDMA（包括 FDD 和 TDD 两种双工方式）的空中接口技术及其网络构架和协议等内容。第 1 章详细介绍了移动通信发展的历史，第三代移动通信系统的两种主要系统和三种主要空中接口传输技术标准，以及第三代移动通信系统的频谱分配和演进。无线信道是制约无线通信系统的最关键因素，所有的无线系统设计都无法回避它的存在。因

此，本书第2章主要讲述无线传播环境的基本传播机制（反射，绕射和散射），分析快衰落和慢衰落对系统设计的影响，最后介绍目前3GPP使用的多入多出信道模型，为后续章节的学习做好铺垫。第3章主要讲述WCDMA的无线接入网系统结构，包括逻辑网元和接口（包括Iub、Iur）的全面概述。第4章介绍WCDMA系统空中接口的物理层关键技术，主要给出WCDMA的参数、扩频和解扩原理、Rake接收机和多用户接收机原理、软切换和空时码等技术的原理，这一部分内容是理解本书第5章内容的引导。第5章描述WCDMA物理层的处理流程，尤其对编码和交织、扩频和调制、小区搜索进程、功率控制过程等作了较为详尽的阐述。第6章介绍WCDMA系统的空中接口协议，包括Uu接口协议结构模型、物理层、数据链路层、网络层和无线接口协议的改进和演化。第7章则简要介绍了UTRA TDD。由于UTRA TDD包含两个标准，一个是低码片速率的，即TD-SCDMA标准，此标准在本系列出版物中有专门教材讲述；另一个为高码片速率的，本书主要针对此标准进行讲解，并分析它和FDD的主要区别和共存的干扰等问题。随着技术和市场需求的不断发展，WCDMA系统的局限性也日渐显露。为了保持它在技术上的先进型，3GPP对WCDMA系统不断地进行演进，通过引入新的技术，衍生出不同的版本，不断地提高其在各方面的性能。第8章介绍WCDMA系统的演进和发展，包括HSDPA，HSUPA，LTE等演进阶段，以及MIMO，OFDM等最新技术原理和标准化进展。

本书尽量涵盖目前WCDMA的最新版本内容，包括R6和R7版本，尽量全面、细致、适时地阐明WCDMA无线网络技术。由于作者的知识有限，书中难免有疏漏之处，欢迎读者来信批评指正。

编者

2006年10月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 第一代模拟蜂窝移动通信系统	2
1.2 第二代数字蜂窝移动通信系统	4
1.2.1 GSM	5
1.2.2 CDMA	5
1.2.3 中国的情况	5
1.3 第三代移动通信系统	6
1.3.1 第三代移动通信系统的提出	6
1.3.1.1 WCDMA 的发展	8
1.3.1.2 CDMA2000 的发展	9
1.3.1.3 我国第三代移动通信系统的研究	9
1.3.2 三种主要的 IMT-2000 无线传输方案的比较	9
1.3.2.1 WCDMA 技术	9
1.3.2.2 CDMA2000 技术	9
1.3.2.3 TD-SCDMA 技术	10
1.3.3 IMT-2000 频谱的划分	10
1.3.4 WCDMA 标准的演进	11
1.3.4.1 R99 版本	11
1.3.4.2 从 R99 向 R4 网络的演进	12
1.3.4.3 从 R4 向 R5 网络的演进	13
1.3.4.4 R6 版本	13
1.3.4.5 R7 版本的现状	14
1.4 第三代移动通信系统的演进	14
小结	15
思考题与练习题	16
第 2 章 无线传播环境和信道特征	17
2.1 移动无线电波传播环境	17
2.1.1 基本传播机制 (反射、绕射、散射)	18
2.1.2 大尺度衰落	19
2.1.3 小尺度衰落	20
2.1.3.1 多径衰落对数字通信系统性能的影响	20
2.1.3.2 移动通信信道的常见衰落分布	24

2.1.3.3 衰落信道的分类	27
2.1.4 AWGN	27
2.2 信道测量和建模	27
2.2.1 大尺度路径损耗模型	28
2.2.1.1 室外传播模型	29
2.2.1.2 室内传播模型	33
2.2.2 小尺度传播模型	35
2.2.2.1 双线 Rayleigh 衰落模型	36
2.2.2.2 MIMO 信道模型	36
2.2.2.3 SCM 信道模型	37
小结	38
思考题与练习题	38
第3章 WCDMA 无线接入网	40
3.1 IMT-2000 无线接入网概述	40
3.1.1 IMT-2000 标准家族	41
3.1.2 网络的兼容与演进	42
3.2 WCDMA 无线接入网系统	44
3.2.1 UMTS 系统结构	44
3.2.2 UTRAN 体系结构	46
3.2.2.1 RNC	46
3.2.2.2 UTRAN 的通用协议模型	47
3.2.2.3 UTRAN 功能概要	48
3.3 Iub 接口	51
3.3.1 Iub 接口协议	51
3.3.2 Iub 接口功能	52
3.3.3 无线网络层控制平面的应用部分	53
3.3.4 无线网络层用户平面协议	56
3.4 Iur 接口	58
3.4.1 Iur 接口协议	58
3.4.2 Iur 接口功能	59
3.4.3 无线网络层控制平面协议	60
3.4.4 无线网络层用户平面协议	62
3.5 Iu 接口	63
3.5.1 Iu 接口协议	64
3.5.2 无线网络层控制平面协议	66
3.5.3 无线网络层用户平面协议	68
3.5.4 服务区广播协议	71
小结	72

思考题与练习题	72
第4章 WCDMA 物理层技术导论	73
4.1 WCDMA 的参数	73
4.2 扩频和加扰原理	74
4.2.1 扩频码和扰码的数学性质	75
4.2.2 扩频、解扩的基本原理	78
4.2.3 WCDMA 系统中扩频与扰码	80
4.3 RAKE 接收机和多用户接收机原理	80
4.3.1 RAKE 接收机	80
4.3.2 多用户接收机	82
4.4 空时码	87
4.4.1 分集效应	87
4.4.2 空时分组码 (Alamouti 方案)	88
4.4.3 空时格码	90
4.4.4 分层空时码	91
小结	92
思考题与练习题	92
第5章 WCDMA 的物理层 (FDD)	94
5.1 传输信道到物理信道的映射	95
5.1.1 传输信道	96
5.1.2 物理信道的帧结构	97
5.1.3 传输信道到物理信道的映射	98
5.2 调制、扩频和加扰	99
5.2.1 调制	99
5.2.2 WCDMA 系统扰码的实现方法	101
5.2.3 物理信道的扩频与加扰过程	105
5.2.4 发射机特性	112
5.3 信道编码和复用	113
5.3.1 有关传输格式的参数的介绍	113
5.3.2 传输信道的一般编码和复用	114
5.3.3 传输格式检测	126
5.3.4 3G 系统可承载的业务	126
5.3.5 业务复用过程示例	128
5.4 物理层信令	130
5.4.1 上行物理层信令	130
5.4.2 下行物理层信令	132
5.5 物理层相关进程	141

5.5.1 小区搜索进程	141
5.5.2 随机接入进程	142
5.5.3 发送分集过程	143
5.5.4 功率控制过程	144
5.5.5 切换测量过程	145
5.5.6 压缩模式的测量过程	147
小结	149
思考题与练习题	149
第 6 章 WCDMA 无线接口协议	150
6.1 Uu 接口协议结构模型	151
6.2 物理层协议	153
6.3 数据链路层协议	153
6.3.1 媒体接入控制协议	153
6.3.2 无线链路控制协议	167
6.3.3 分组数据会聚协议	171
6.3.4 广播/多播控制协议	173
6.3.5 数据链路层的数据流	174
6.4 网络层协议	176
6.4.1 网络层的业务	176
6.4.2 无线资源控制协议	177
6.4.3 控制平面 RRC 与低层之间的相互作用	191
小结	191
思考题与练习题	192
第 7 章 WCDMA TDD 介绍	193
7.1 TDD 简介	193
7.2 物理层	194
7.2.1 WCDMA TDD 的物理信道	194
7.2.2 WCDMA TDD 的信道编码和复用	198
7.2.3 WCDMA TDD 的扩频和调制	201
7.3 TDD 和 FDD 共存的干扰分析	203
小结	204
思考题与练习题	204
第 8 章 WCDMA 的演进和发展	205
8.1 HSDPA	206
8.1.1 HSDPA 的物理层结构	206
8.1.2 HSDPA 的关键技术	206

8.1.3 HSDPA 的移动性.....	211
8.2 HSUPA 技术.....	212
8.3 MIMO 技术.....	214
8.4 LTE.....	217
8.4.1 LTE 概念的提出.....	217
8.4.2 LTE 的发展时间表.....	217
8.4.3 LTE 的关键技术.....	219
8.4.4 LTE 主要技术提案介绍.....	221
小结.....	222
思考题与练习题.....	222
附录 缩略语英汉对照表.....	223
参考文献.....	230

第 1 章 概 述

本章内容

- 移动通信发展的历史
- 第三代移动通信系统的三种主要无线传输方案
- 第三代移动通信系统的频谱和演进

本章重点

- 移动通信发展的各个阶段和特点
- 蜂窝结构和频率复用
- 第三代移动通信系统的三种主要无线传输方案特点，尤其是 WCDMA 的特点

学习本章目的和要求

- 了解移动通信发展的历史，理解移动通信发展的关键推动力和趋势
- 理解第三代移动通信系统的主要标准，并对三种主要的传输技术有深入的认识
- 理解 WCDMA 标准演进的各个阶段，了解第三代移动通信系统的演进和发展

移动通信系统是指建立交换信息的两端中至少有一方可以处于移动状态的网络系统。常见的移动通信系统有蜂窝通信系统、寻呼系统、卫星通信系统（如低轨道的铱星系统），另外还有无绳电话系统、移动集群通信系统、海事卫星系统等。上述这些系统可以分为三大类，即陆地移动通信系统、海事卫星移动通信系统和卫星移动通信系统。移动通信系统可以充分地满足用户随时随地交流信息的要求。

准确地说，常说的蜂窝移动通信系统应当是陆地蜂窝移动通信系统。在介绍蜂窝移动通信系统以前，有必要对移动通信系统的发展作一简要回顾。

在赫兹开创性工作的基础上，马可尼在 19 世纪末所作的实验证明了在收发信机移动和分离的状态下无线通信是可行的。从此电报和语音通信不再为电线、电缆所羁绊。不过，在那个时代以及之后的几十年里，研究无线通信的人还是非常少的。

20 世纪 20 年代，摩尔斯码的开关键控已经在电报系统得到了广泛的应用。到了 1928 年，用于警用车辆广播消息的第一个陆地移动通信系统在美国投入使用。这个系统使人们对移动状态的通话有了更直观的印象。1933 年，新泽西警察局采用了双路的移动通信装置，该系统带来的方便快捷使得 20 世纪 30 年代中期全美警察部门安装了大约 5 000 个无线电接收装置。用现在的标准来看，当时的收发装置还是相当得简陋，噪音大，臃肿而沉重，操纵也很不方便。这一阶段的特点是工作频率较低，工作在甚高频的低频段上，使用范围可达数十英里。

事实上，由于 20 世纪上半叶战争的延绵不断，导致移动通信系统军事上的应用更为迅速，其次才是满足警察、消防、海上和航空等方面的通信需求，而移动通信在民用通信的发展则

受到了冷落。现在的技术解决方案绝大部分在那时已经被提出了，当然一些相关的生产技术水平还远达不到要求，同时无线信道的复杂性等诸多因素也制约了移动通信的发展。在那个年代，移动通信的服务质量还远远无法与有线和其他无线通信相提并论，因而使得那些对于当时的移动通信合适的频段被其他无线通信技术所占用。用于世界范围内广播的长波和中波占据了低频段和高频段，而移动通信只能使用不能获得较好性能的甚高频和超高频频段。现在大家熟悉的频率复用技术也早就提出了，但是并未用于移动通信。由于技术上无法取得突破，许多年来移动通信的质量都很难令人满意。

第二次世界大战的硝烟散尽以后，尽管冷战的阴云时时掠过，但大规模的战争已远离了人们的生活，这为移动通信的发展带来了新的、广泛的契机。战后微电子技术、大规模集成电路生产技术以及计算机技术的引入加上大战中产生的许多通信技术，极大地推动了通信业的发展。战争结束后，美国人很快就推出了第一种大区制的公众移动电话服务。1946年，贝尔实验室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”。在欧洲，前联邦德国、法国等国家随后也陆续发展了公用移动电话系统。从20世纪40年代中期至20世纪60年代初期，移动通信完成了从专用网向公用移动网的过渡，采用人工接续的方式解决了移动电话系统与公用市话网之间的接续问题，这时移动通信网的容量都较小。

在20世纪60年代中期至20世纪70年代后期，移动通信技术研发主要是改进和完善移动通信系统的性能，包括直接拨号、自动选择无线信道等，同时解决了自动接入公用电话网的问题。这时的系统都采用了大区制，选择的频段以及容量都较以往有了很大的提高。在此期间，美国推出了改进型移动电话系统，使用150MHz和450MHz频段。前联邦德国也推出了具有相同技术水平的B网。

所有这些工作为蜂窝移动通信系统的出现打下了坚实的基础。20世纪70年代后，随着大规模集成电路技术和计算机技术的迅猛发展，多年来一直困扰移动通信的终端小型化和系统设计等关键问题得到了解决，移动通信系统进入了蓬勃发展阶段。经历了第一代移动通信系统、第二代移动通信系统和第三代移动通信系统，目前移动通信正在向后三代或第四代发展。下面简单介绍一下蜂窝移动通信发展的各个阶段及其特点。

1.1 第一代模拟蜂窝移动通信系统

随着用户数量的急剧增加，传统的大区制移动通信系统很快达到了饱和状态，无法满足服务要求。针对这一情况，美国的贝尔实验室提出了小区制的蜂窝式移动通信系统的解决方案，它结合频率复用技术（Frequency Division Multiplexing, FDM），可以在整个服务覆盖区域内实现自动接入公用电话网，与以前的系统相比具有更大的容量和更好的语音质量。在1978年，美国的贝尔实验室开发了AMPS（Advanced Mobile Phone Service）系统，这是第一种真正意义上具有随时随地通信能力的大容量蜂窝移动通信系统。

如图1-1所示，蜂窝移动通信网其在理论上是以正六边形小区覆盖整个服务面积为基础进行分析的。由于其形状酷似蜂窝，故称为蜂窝系统。一般来说，正六边形小区的中心间隔最大，覆盖面积也最大，采用正六边形小区可使整个服务区域所需的小区数最少，故所需频率组数也最少，因此正六边形小区组网是最经济的一种方式。实际的小区其形状与正六边形

小区有很大不同，它们取决于地形、建筑物的分布、天线的方向性和辐射功率等因素。除非特别说明，本书对蜂窝移动通信系统的分析都是采用正六边形小区。第一代模拟蜂窝移动通信系统的基站发射功率很大，在小区面积很大时能够达到 100W 左右；同时它们被放置在高于周围物体的建筑物和山丘的顶部。

对于蜂窝移动通信系统来说，必须抑制来自相同频段的干扰——共信道干扰（Co Channel Interference, CCI）。而为了抑制 CCI，就可以采用频率复用技术。频率复用技术就是在一定的距离之外，共信道干扰低于一定的门限之后，重复使用某一频率。如图 1-1 所示，A~F 分别代表 7 个不同的频率段，每隔一定间隔后重用相同的频段。频率复用技术可以保证蜂窝系统的频谱资源得到最大效率的利用，系统的容量也可得到极大的提高。将若干相邻的小区组成一个区群（簇），并将可共使用的无线频道分成若干组，则区群内的各个小区使用不同的频率组，从而使得每个区群都能够使用所提供的全部无线频道。用相同频率配置的区群来覆盖整个服务区域，就实现了频率复用。对于一个蜂窝移动通信系统来说，频率复用因子定义为构成一个区群的小区个数的倒数，例如图 1-1 中，频率复用因子等于 $1/7$ 。显然，频率复用因子 $\xi \leq 1$ ，且频率复用因子越大，频率资源的利用率越高。

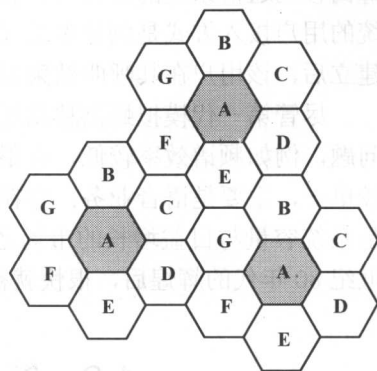


图 1-1 频率复用示意图

可以说，蜂窝化的系统设计方案解决了公用移动通信系统的大容量要求和频谱资源受限的矛盾。该系统得到了各方面的一致好评，市场的开拓非常迅速；以至于北美的第二代数字蜂窝移动通信系统都要求与它兼容。北美的发展刺激了全球范围内的蜂窝移动通信网络的研究。到 20 世纪 80 年代中期，欧洲和日本也纷纷建立了自己的蜂窝移动通信网，主要代表有英国的 ETACS（European Total Access Communication System）系统、法国的 450 系统、北欧国家的 NMT-450（Nordic Mobile Telephone System）系统，如表 1-1 所示。

表 1-1 第一代蜂窝移动通信系统

标 准	移动台发射/基站发射频率 (MHz)	信道宽度 (kHz)	信道数目	地 区
AMPS	824~849/869~894	30	832	美国
TACS	890~915/935~960	25	1 000	欧洲
ETACS	872~905/935~960	25	1 240	英国
NMT 450	453~457.5/463~467.5	25	180	欧洲
NMT 900	890~915/935~960	12.5	1 999	欧洲
C-450	450~455.74/460~465.74	10	573	前联邦德国, 葡萄牙
RTMS	450~455/460~465	25	200	意大利
NTT	925~940/870~885	25/6.25	600/2 400	日本
	915~918.5/860~863.5	6.25	560	
	922~925/867~870	6.25	480	
JTACS NTACS	915~925/860~870	25/12.5	400/800	日本
	898~901/843~846	25/12.5	120/240	
	918.5~922/863.5~867	12.5	280	
AMPS	824~849/869~894	30	832	美国

在蜂窝移动通信系统中，一般把用户终端称为移动台，而把与其对应的接入点称为基站。尽管表 1-1 中所列的第一代模拟蜂窝移动通信系统可以在基站和移动台间传输相对低速率的数据，但它们关注的主要还是语音信号的传输，而且通常称为模拟通信系统。之所以被称为

模拟通信系统，是因为语音信号在射频载波发送以前没有进行数字编码。然而，第一代模拟蜂窝移动通信系统的所有命令和控制信道都可以是数字的。而且第一代模拟蜂窝移动通信系统的用户接入方式是频分多址（Frequency Division Multiple Access, FDMA），即当一个呼叫建立后，该用户在其呼叫结束以前一直占用一个频段。

尽管第一代模拟蜂窝移动通信系统取得了巨大的成功，但是在使用过程中也暴露出一些问题，例如频谱效率较低，有限的频谱资源和无限的用户容量的矛盾十分突出；业务种类比较单一，主要是语音业务；存在同频干扰和互调干扰；保密性较差。当然最主要的因素仍然是系统容量与日益增长的市场之间的矛盾。因此第一代模拟蜂窝移动通信系统在经历了 20 世纪 80 年代的辉煌后，很快就被 20 世纪 90 年代推出的数字蜂窝移动通信系统所取代。

1.2 第二代数字蜂窝移动通信系统

随着超大规模集成电路、低速语音编码以及近二十年来计算机等技术的发展，数字化处理技术与模拟技术相比具有更大的优势，现代通信已经由模拟方式转向数字化处理方式。1992 年，第一个数字蜂窝移动通信系统，即欧洲的全球移动通信系统（Global System for Mobile Communications, GSM）在欧洲铺设，由于其优越的性能，该系统在全球范围内以令人吃惊的速度扩张，目前该系统的用户数超过世界上蜂窝移动通信系统用户的 60%，是全球最大的蜂窝移动通信网络。在这之后，美国的数字 AMPS（Digital AMPS, DAMPS）和日本的个人数字通信系统（Personal Digital Communication, PDC）等也相继投入使用。这些系统的空中接口都采用了时分多址接入（Time Division Multiple Access, TDMA）的接入方式。1995 年采用码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）接入方式的美国高通公司推出了 IS-95（Industrial Standards-95）系统。第二代数字蜂窝移动通信系统较第一代的 FDMA 蜂窝移动通信系统有许多优势，如频谱效率高，系统容量大，保密性能好，语音质量好等。第二代的 TDMA 蜂窝移动通信系统在频谱的利用上仍旧采用了频率复用技术。表 1-2 列出了第二代数字蜂窝移动通信系统。下面就具有典型特点的 GSM 和 CDMA 系统作简要说明。

表 1-2 第二代数字蜂窝移动通信系统

	GSM	IS-54	PDC	IS-95
引入年代	1990 年	1991 年	1993 年	1993 年
使用频谱 (MHz)	890~915 (反向) 935~960 (前向)	824~849 (反向) 869~894 (前向)	810~830&1429~ 1453 (反向) 940~960&1477~ 1501 (前向)	824~849 (反向) 869~894 (前向)
调制方式	GMSK($B_T=0.3$)	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	OQPSK (反向) QPSK (前向)
载波带宽 (kHz)	200	30	25	1 250
信道数据速率 (kbit/s)	270.833	48.6	42	1 228.8
语音编码方式/输出码率 (kbit/s)	RELTP-LTP/13	VSELTP/8	VSELTP/6.7	QCELP/8
信道编码	CRC+ ($r=1/2$; $K=5$) 卷积码	CRC+ ($r=1/2$; $K=6$) 卷积码	CRC+卷积码	CRC+ ($r=1/3$; $K=9$)卷积码 (反向) CRC+ ($r=1/2$; $K=9$)卷积码 (前向)
均衡器类型	自适应	自适应	自适应	