



以能力为主、应用为本
作为职业教育导向的内容
体系：遵循任务导向、案例
教学的组织结构；注重职业素养
培养，启发学生创新思维的内涵设计

“十三五”职业教育规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

移动通信技术

（第2版）

宋拯 惠聪 张帆 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

移动通信技术

(第2版)

主 编 宋 拯 惠 聪 张 帆
副主编 孙 婷

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

前言

Preface

随着移动通信技术的发展和第三代移动通信系统在我国商用规模的不断扩大, 社会对通信专业技术人才的需求也迅速增加, 对通信技术人才的要求也越来越高。作为新一代的通信技术人才, 必须对移动通信系统的发展及技术应用有着充分的了解, 必须具有全程全网的概念。因此, 本书充分反映了移动通信系统的发展进程及技术应用, 以帮助学生建立全面、系统的移动通信网络及技术应用发展的概念。

开设移动通信技术课程的目的是增加学生对移动通信技术的了解, 为后续专业技能课程的学习、技能鉴定和日后的求职做好铺垫。因此, 课程教学内容应覆盖目前广泛商用的移动通信系统, 并体现系统的发展进程及技术应用。目前, 我国的移动通信网络正处在 4G 商用建设阶段, 同时, 3G 用户数开始出现月度净减, 这也预示着我国的移动通信将快速跨越 3G 阶段, 开始向 4G 的全面过渡。移动通信系统的区别主要在于其采用的无线接口不同, 因此采用的相关技术在各系统中也会有所区别。基于这一考虑, 本书编写以各运营商开通的系统为单元, 充分体现系统的发展、演进过程, 以及技术在各类系统中应用的区别, 主要介绍 IS-95 CDMA 到 CDMA2000、GSM 和 GPRS 到 WCDMA、TD-SCDMA 的发展中无线接口技术的发展和演进、LTE 系统构架和关键技术, 以及其他为保证高质量的各类通信业务的提供而采取的一系列关键技术的基本知识。

本书在编写过程中力求简单、全面地阐述各类移动通信系统的基本概念和主要技术, 突出系统的发展及技术应用的不同, 以方便学生掌握各系统的主要技术特点。

学习本课程需要有一定的通信网基础知识, 了解网络构成。书中各章节具有一定的独立性, 不同院校可视具体情况节选, 不会影响教学的完整性。

本书第 1 章和第 2 章由宋拯老师编写, 第 3 章、第 4 章、第 5 章由张帆、白金山老师编写, 第 6 章和第 7 章由惠聪老师编写, 第 8 章由孙婷老师编写。在本书的编写过程中, 得到了很多老师的帮助, 而且书中大部分的英文图、表摘自文志成老师编写的《GPRS 网络技术》和中兴通讯学院编写的《CDMA 基本原理》, 编者在此一并表示感谢。由于编者水平有限, 时间仓促, 书中难免存在不足之处, 恳请读者批评指正。

编 者

目 录

Contents

第一部分 GSM 与 GPRS

► 第 1 章 GSM 网络	3
1.1 移动通信基础	3
1.1.1 GSM 发展简史	3
1.1.2 数字移动通信技术	4
1.1.3 GSM 系统结构	7
1.1.4 接口和协议	13
1.2 移动区域定义与识别号	19
1.2.1 区域定义	19
1.2.2 移动识别号	20
1.3 GSM 系统的无线接口与系统消息	24
1.3.1 无线接口	24
1.3.2 跳频	27
1.3.3 时序调整	28
1.3.4 帧和信道	28
1.3.5 Um 接口语音处理	33
1.3.6 Um 接口控制技术	36
1.3.7 系统消息	37
1.4 系统管理功能介绍	39
1.4.1 GSM 系统的安全性管理	39
1.4.2 GSM 系统的移动性管理	40
1.4.3 GSM 移动通信网	43
1.5 GSM 通信流程简介	48
1.5.1 呼叫信令分析	48
1.5.2 呼叫流程举例分析	49
1.5.3 鉴权	51
1.5.4 切换	52
1.5.5 位置更新	54
思考与练习题	56

► 第 2 章 GPRS	57
2.1 GPRS 概述	57
2.1.1 GPRS 的产生	57
2.1.2 GPRS 的发展	58
2.2 CSD 与 GPRS 的比较	58
2.2.1 电路交换的通信方式	58
2.2.2 分组交换的通信方式	58
2.3 GPRS 的基本功能和业务	59
2.4 GPRS 的基本体系结构和传输机制	60
2.4.1 GPRS 接入接口和参考点	60
2.4.2 网络互通	60
2.4.3 逻辑体系结构	61
2.4.4 主要网络实体	62
2.4.5 主要网络接口	64
2.5 功能分配	65
2.6 GPRS 数据传输平面	67
2.7 GPRS 信令平面	68
2.8 移动性管理	71
2.8.1 MM 状态	71
2.8.2 MM 状态功能	72
2.8.3 SGSN 与 MSC/VLR 的交互	73
2.8.4 MM 规程	75
2.8.5 安全性功能	79
2.8.6 位置管理功能	81
2.8.7 用户数据管理功能	85
2.8.8 MS 类别标志处理功能	85
2.9 无线资源管理功能	85
2.10 分组路由与传输功能	86
2.10.1 PDP 状态和状态转换	86
2.10.2 会话管理规程	87
2.10.3 静态地址与动态地址	87
2.10.4 PDP 上下文的激活规程	88
2.10.5 PDP 上下文的修改规程	89
2.10.6 PDP 上下文的去激活规程	90
2.11 业务流程举例	91
2.11.1 MS 发起的分组数据业务流程	91
2.11.2 网络发起的分组数据业务流程	91
2.12 用户数据传输	93
2.12.1 传输模式	93

2.12.2	LLC 的功能	93
2.12.3	SNDCP 的功能	94
2.12.4	PPP 的功能	94
2.12.5	Gb 接口	95
2.12.6	Abis 接口	96
2.13	信息存储	98
2.13.1	HLR	98
2.13.2	SGSN	100
2.13.3	GGSN	102
2.14	MS	102
2.15	MSC/VLR	104
2.16	编号	104
2.16.1	IMSI	105
2.16.2	P-TMSI	105
2.16.3	NSAPI/TLLI	105
2.16.4	PDP 地址和类型	106
2.16.5	TID	106
2.16.6	路由区识别	106
2.16.7	小区标识	106
2.16.8	GSN 地址	106
2.16.9	接入点名字	106
2.17	IP 相关的基础知识	107
2.17.1	NAT	107
2.17.2	FIREWALL (防火墙)	107
2.17.3	GRE	107
2.17.4	DNS	108
2.17.5	RADIUS	108

第二部分 CDMA 原理

► 第3章	CDMA 概述及原理	111
3.1	移动通信发展史及 CDMA 标准	111
3.2	CDMA 的基本原理	115
3.2.1	扩频通信技术	115
3.2.2	多址技术	117
3.2.3	CDMA 系统的实现	118
3.2.4	语音编码技术	122
3.2.5	信道编码技术	122
	思考与练习题	127

► 第4章 IS-95 CDMA 到 CDMA2000 的发展及应用	128
4.1 IS-95 CDMA	128
4.1.1 IS-95 系统概述	128
4.1.2 IS-95 系统空中接口参数	128
4.1.3 IS-95 系统信道	129
4.1.4 业务流程	136
4.2 CDMA2000 1x 系统原理	139
4.2.1 系统概述	139
4.2.2 空中接口参数	140
4.2.3 信道功能及分类	140
4.2.4 技术特点	150
4.2.5 业务流程	151
思考与练习题	159
► 第5章 CDMA 关键技术及优点	160
5.1 关键技术	160
5.1.1 功率控制	160
5.1.2 分集接收	164
5.1.3 RAKE 接收机	165
5.1.4 软切换	166
5.2 CDMA 系统的优点	170
思考与练习题	173

第三部分 WCDMA 核心网原理及关键技术

► 第6章 WCDMA 网络结构	177
6.1 WCDMA 网络的演进	177
6.1.1 UMTS 系统网络结构	177
6.1.2 UMTS R99 网络基本构成	178
6.1.3 基于 R4 的 UMTS 网络	184
6.1.4 基于 R5 的 UMTS 网络	187
6.2 WCDMA 核心网的演进	190
6.2.1 UMTS R99 向全 IP 的演进	190
6.2.2 各版本分析	191
6.3 WCDMA 与 GSM/GPRS 的比较	192
6.3.1 无线接入网和核心网之间的接口比较	192

6.3.2 WCDMA 与 GSM 的安全性比较	197
6.4 WCDMA 核心网的关键技术	199
6.4.1 R4 核心网组网	199
6.4.2 TrFO 技术	200
思考与练习题	202

第四部分 TD-SCDMA 原理与技术

► 第7章 TD-SCDMA 概述	205
7.1 TD-SCDMA 概述	205
7.2 网络结构和接口	206
7.2.1 UTRAN 网络结构	206
7.2.2 UTRAN 通用协议模型	207
7.2.3 空中接口 Uu	207
7.3 物理层结构和信道映射	210
7.3.1 物理信道帧结构	210
7.3.2 常规时隙	210
7.3.3 下行导频时隙	212
7.3.4 上行导频时隙	212
7.3.5 三种信道模式	212
7.3.6 物理信道及其分类	212
7.3.7 传输信道及其分类	213
7.3.8 传输信道到物理信道的映射	214
7.4 信道编码与复用	215
7.5 扩频与调制	218
7.5.1 扩频与调制过程	218
7.5.2 数据调制	219
7.5.3 扩频调制	220
7.6 物理层过程	222
7.7 TD-SCDMA 的相关技术	225
7.7.1 TDD 技术	225
7.7.2 智能天线技术	226
7.7.3 联合检测技术	230
7.7.4 动态信道分配技术	231
7.7.5 接力切换技术	233
思考与练习题	237

第五部分 LTE 原理与技术

► 第 8 章 LTE 概述 241

8.1 LTE 概述 241

8.2 LTE 系统 242

8.2.1 LTE 网络架构 242

8.2.2 控制平面协议结构 244

8.2.3 用户平面协议结构 244

8.2.4 S1 和 X2 接口 246

8.3 LTE 的主要指标和需求 248

8.3.1 峰值数据速率 248

8.3.2 控制面传输延迟时间 248

8.3.3 用户面延迟时间及用户面流量 248

8.3.4 频谱效率 249

8.3.5 移动性 249

8.3.6 覆盖 249

8.3.7 与已有 3GPP 无线接入技术的共存和交互 249

8.4 LTE 关键技术 249

8.4.1 OFDM 技术 249

8.4.2 多输入多输出 (MIMO) 技术 250

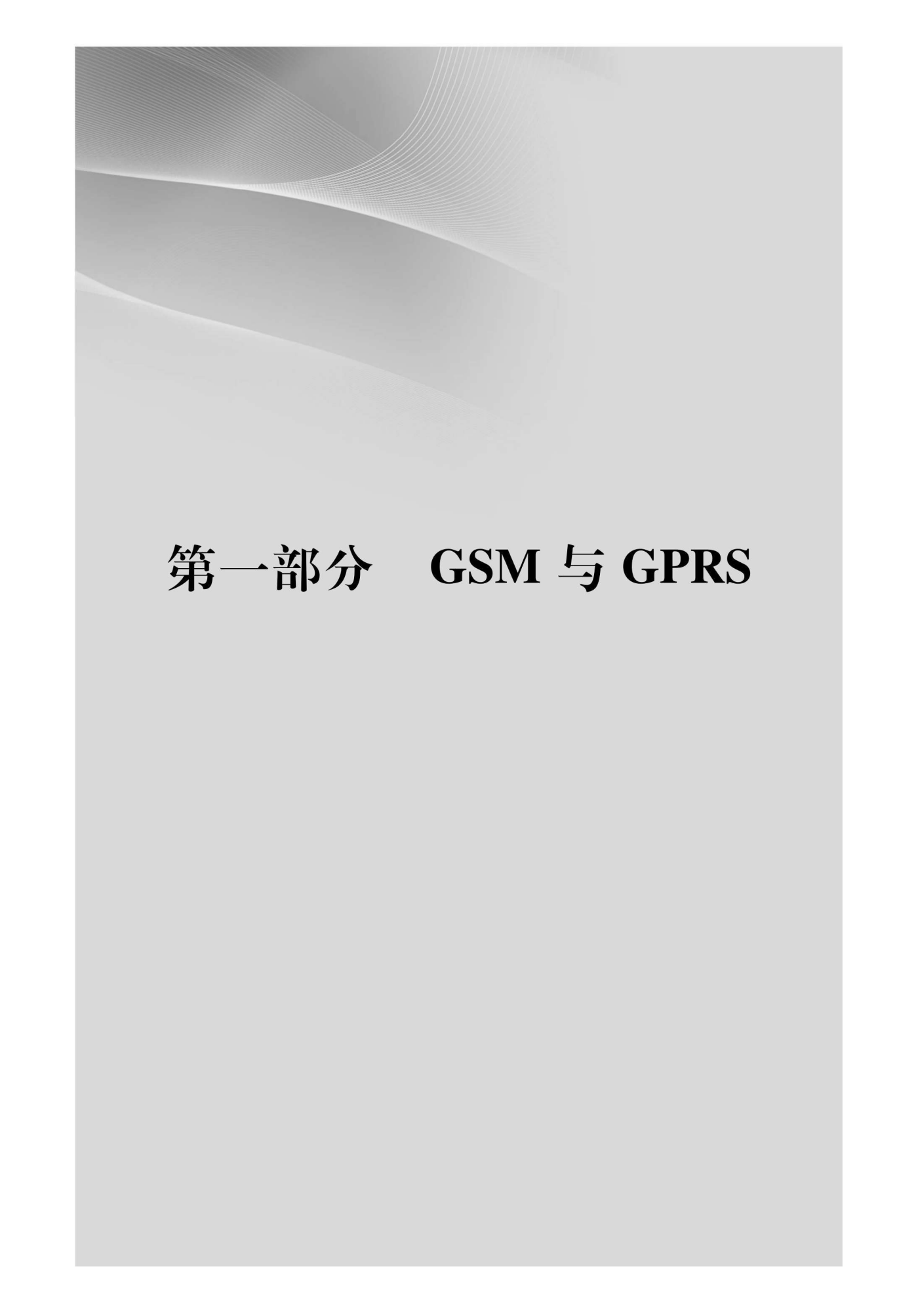
8.4.3 智能天线 250

8.4.4 软件无线电 251

8.4.5 基于 IP 的核心网 251

思考与练习题 251

► 参考文献 252



第一部分 GSM 与 GPRS

第 1 章

GSM网络

1.1 移动通信基础

1.1.1 GSM 发展简史

移动通信是指通信双方或至少一方是处于移动中进行信息交流的通信。20 世纪 20 年代移动通信技术开始在军事及某些特殊领域使用，40 年代才逐步向民用扩展；最近二十年间才是移动通信真正迅猛发展的时期，而且由于其许多的优点，前景十分广阔。

移动通信经历了由模拟通信向数字化通信的发展过程。目前，比较成熟的数字移动通信制式主要有泛欧的 GSM，美国的 ADC 和日本的 JDC（现改称 PDC）。其中 GSM 的发展最引人注目，其发展历程如下：

- 1982 年，欧洲邮电行政大会 CEPT 设立了“移动通信特别小组”即 GSM，以开发第二代移动通信系统为目标。
- 1986 年，在巴黎，对欧洲各国经大量研究和实验后所提出的八个建议系统进行现场试验。
- 1987 年，GSM 成员国经现场测试和论证比较，就数字系统采用窄带时分多址 TDMA 规则脉冲激励长期预测（RPE-LTP）语音编码和高斯滤波最小频移键控（GMSK）调制方式达成一致意见。
- 1988 年，十八个欧洲国家达成 GSM 谅解备忘录（MOU）。
- 1989 年，GSM 标准生效。
- 1991 年，GSM 系统正式在欧洲问世，网路开通运行。移动通信跨入第二代。

1. 1. 2 数字移动通信技术

1. 多址技术

多址技术使众多的用户共用公共的通信线路。为使信号多路化而实现多址的方法基本上有 3 种，它们分别采用频率、时间或代码分隔的多址连接方式，即人们通常所称的频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）和码分多址（CDMA）3 种接入方式。图 1 - 1 - 1 用模型表示了这三种方法简单的一个概念。

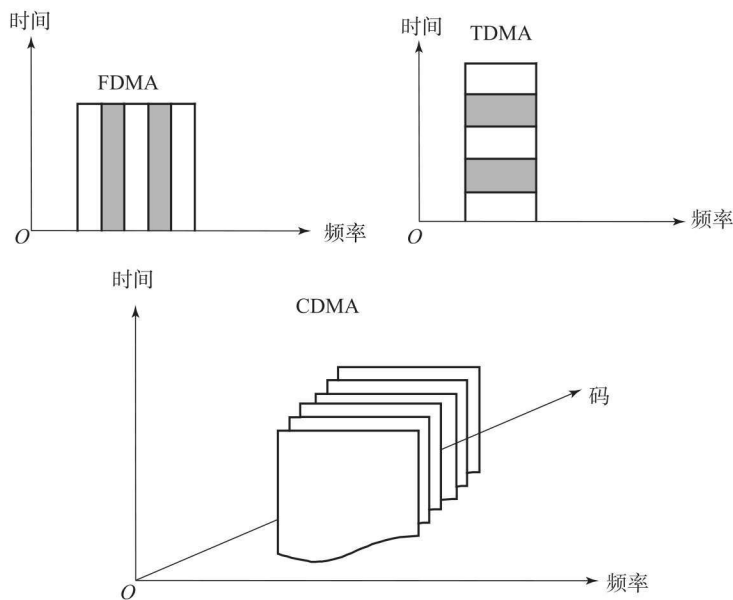


图 1 - 1 - 1 三种多址方式概念示意图

FDMA 是以不同的频率信道实现通信的，TDMA 是以不同的时隙实现通信的，CDMA 是以不同的代码序列实现通信的。

1) 频分多址

频分，有时也称为信道化，就是把整个可分配的频谱划分成许多单个无线电信道（发射和接收载频对），每个信道可以传输一路语音或控制信息。在系统的控制下，任何一个用户都可以接入这些信道中的任何一个。

模拟蜂窝系统是 FDMA 结构的一个典型例子，数字蜂窝系统中也同样可以采用 FDMA，只是不会采用纯频分的方式，比如 GSM 系统就采用了 FDMA。

2) 时分多址

时分多址是在一个宽带的无线载波上，按时间（或称为时隙）划分为若干时分信道，每一用户占用一个时隙，只在这一指定的时隙内收（或发）信号，故称为时分多址。此多址方式在数字蜂窝系统中采用，GSM 系统也采用了此种方式。

TDMA 是一种较复杂的结构，最简单的情况是单路载频被划分成许多不同的时隙，每个时隙传输一路猝发式信息。TDMA 中关键部分为用户部分，每一个用户分配一个时隙（在呼叫开始时分配），用户与基站之间进行同步通信，并对时隙进行计数。当自己的时隙到来时，手机就启动接收和解调电路，对基站发来的猝发式信息进行解码。同样，当用户要发送

信息时，首先将信息进行缓存，等到自己时隙的到来。在时隙开始后，再将信息以加倍的速率发射出去，然后又开始积累下一次猝发式传输。

TDMA 的一个变形是在一个单频信道上进行发射和接收，称之为时分双工（TDD）。其最简单的结构就是利用两个时隙，一个发一个收。当手机发射时基站接收，基站发射时手机接收，交替进行。TDD 具有 TDMA 结构的许多优点：猝发式传输、不需要天线的收发共用装置等。它的主要优点是可以在单一载频上实现发射和接收，而不需要上行和下行两个载频，不需要频率切换，因而可以降低成本。TDD 的主要缺点是满足不了大规模系统的容量要求。

3) 码分多址

码分多址是一种利用扩频技术所形成的不同的码序列实现的多址方式。它不像 FDMA、TDMA 那样把用户的信息从频率和时间上进行分离，它可在一个信道上同时传输多个用户的信息，也就是说，允许用户之间的相互干扰。其关键是信息在传输以前要进行特殊的编码，编码后的信息混合后不会丢失原来的信息。有多少个互为正交的码序列，就可以有多少个用户同时在一个载波上通信。每个发射机都有自己唯一的代码（伪随机码），同时接收机也知道要接收的代码，用这个代码作为信号的滤波器，接收机就能从所有其他信号的背景中恢复成原来的信息码（这个过程称为解扩）。

2. 功率控制

当手机在小区内移动时，它的发射功率需要进行变化。当它离基站较近时，需要降低发射功率，减少对其他用户的干扰，当它离基站较远时，就应该增加功率，克服增加了的路径损耗。

所有的 GSM 手机都可以以 2 dB 为一等级来调整它们的发送功率，GSM900 移动台的最大输出功率是 8 W（规范中最大允许功率是 20 W，但现在还没有 20 W 的移动台存在）。DCS1800 移动台的最大输出功率是 1 W。相应地，它的小区也要小一些。

3. 蜂窝技术

移动通信的飞速发展一大原因是发明了蜂窝技术。移动通信的一大限制是使用频带比较有限，这就限制了系统的容量，为了满足越来越多的用户需求，必须要在有限的频率范围尽可能大地扩大它的利用率，除了采用前面介绍过的多址技术等以外，还发明了蜂窝技术。

那么什么是蜂窝技术呢？

移动通信系统是采用一个叫基站的设备来提供无线服务范围的。基站的覆盖范围有大有小，我们把基站的覆盖范围称为蜂窝。采用大功率的基站主要是为了提供比较大的服务范围，但它的频率利用率较低，也就是说基站提供给用户的通信通道比较少，系统的容量也就大不起来，对于话务量不大的地方可以采用这种方式，我们也称之为大区制。采用小功率的基站主要是为了提供大容量的服务范围，同时它采用频率复用技术来提高频率利用率，在相同的服务区域内增加了基站的数目，有限的频率得到多次使用，所以系统的容量比较大，这种方式称为小区制或微小区制。下面我们简单介绍频率复用技术的原理。

4. 频率复用

1) 频率复用的概念

在全双工工作方式中，一个无线电信道包含一对信道频率，每个方向都用一个频率作发射。在覆盖半径为 R 的地理区域 C_1 内使用无线电信道 f_1 ，也可以在另一个相距 D 、覆盖半

径也为 R 的小区内再次使用 f_1 。

频率复用是蜂窝移动无线电系统的核心概念。在频率复用系统中,处在不同地理位置(不同的小区)上的用户可以同时使用相同频率的信道(见图 1-1-2),频率复用系统可以极大地提高频谱效率。但是,如果系统设计得不好,将产生严重的干扰,这种干扰称为同信道干扰。这种干扰是由于相同信道公共使用造成的,是在频率复用概念中必须考虑的重要问题。

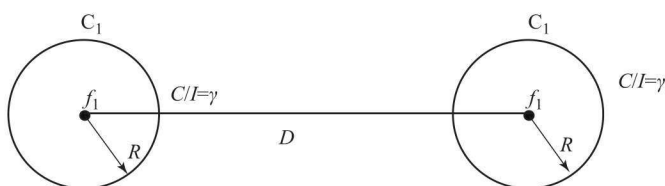


图 1-1-2 同频复用示意图

2) 频率复用方案

可以在时域与空间域内使用频率复用的概念。在时域内的频率复用是指在不同的时隙里占用相同的工作频率,叫作时分多路(TDM)。在空间域上的频率复用可分为两大类:

(1) 两个不同的地理区域里配置相同的频率。例如在不同的城市中使用相同频率的 AM 或 FM 广播电台。

(2) 在一个系统的作用区域内重复使用相同的频率——这种方案用于蜂窝系统中。蜂窝式移动电话网通常是先由若干邻接的无线小区组成一个无线区群,再由若干个无线区群构成整个服务区。为了防止同频干扰,要求每个区群(即单位无线区群)中的小区,不得使用相同频率,只有在不同的无线区群中,才可使用相同的频率。单位无线区群的构成应满足两个基本条件:

- 若干个单位无线区群彼此邻接组成蜂窝式服务区域。
- 邻接单位无线区群中的同频无线小区的中心间距相等。
- 一个系统中有许多同信道的小区,整个频谱分配被划分为 K 个频率复用的模式,即单位无线区群中小区的个数,其中 $K=3、4、7$,当然还有其他复用方式,如 $K=9、12$ 等。

3) 频率复用距离

允许同频率重复使用的最小距离取决于许多因素,如中心小区附近的同信道小区数、地理地形类别、每个小区基站的天线高度及发射功率。

频率复用距离 D 由下式确定:

$$D = \sqrt{3KR}$$

其中, K 是图 1-1-2 中所示的频率复用模式。则:

$$D = 3.46R \quad (K=4)$$

$$D = 4.6R \quad (K=7)$$

如果所有小区基站发射相同的功率,则 K 增加,频率复用距离 D 也增加。增加了的频率复用距离将减小同信道干扰发生的可能。

从理论上来说, K 应该大些,然而,分配的信道总数是固定的。如果 K 太大,则 K 个小区中分配给每个小区的信道数将减少,随着 K 的增加而划分 K 个小区中的信道总数减少,则中继效率就会降低。同样道理,如果在同一地区将一组信道分配给两个不同的工作网络,

系统频率效率也将降低。

因此，现在面临的问题是，在满足系统性能的条件下如何得到一个最小的 K 值。解决它必须估算同信道干扰，并选择最小的频率复用距离 D 以减小同信道干扰。在满足条件的情况下，构成单位无线区群的小区个数 $K = i^2 + ij + j^2$ (i 、 j 均为正整数，其中一个可为零，但不能两个同时为零)，取 $i = j = 1$ ，可得到最小的 K 值为 $K = 3$ 。

不同的频率复用方案如图 1-1-3 所示。

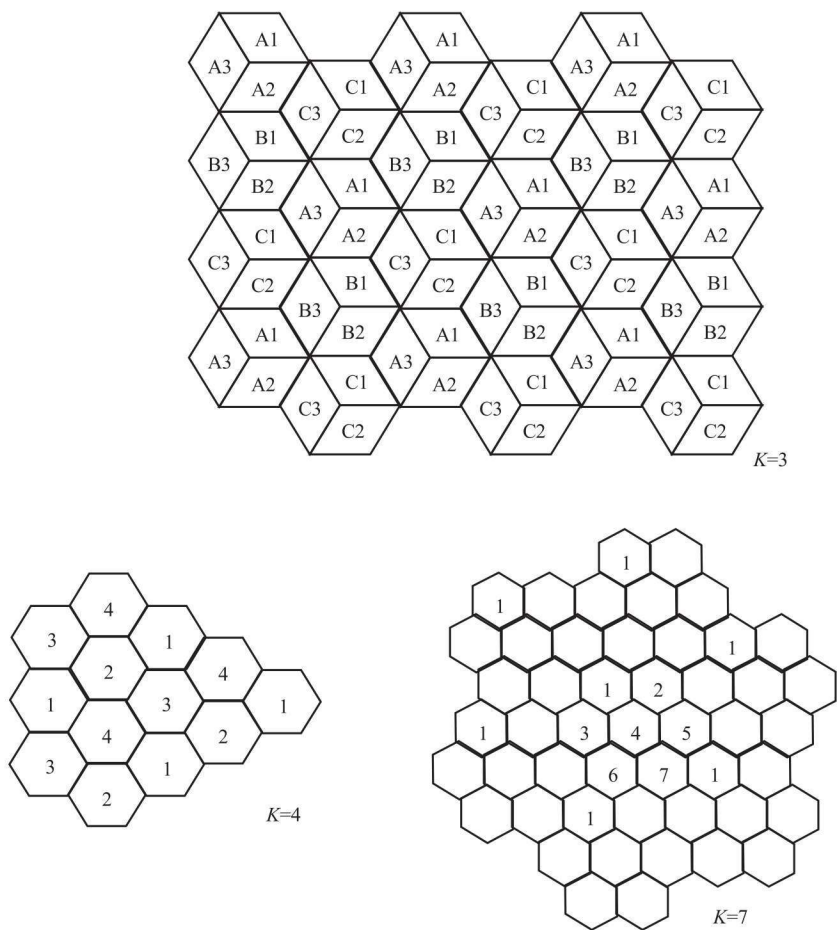


图 1-1-3 不同的频率复用方案

1.1.3 GSM 系统结构

1. 系统的基本特点

GSM 数字蜂窝移动通信系统（简称 GSM 系统）是完全依据欧洲通信标准化委员会（ETSI）制定的 GSM 技术规范研制而成的，任何一家厂商提供的 GSM 数字蜂窝移动通信系统都必须符合 GSM 技术规范。

GSM 系统作为一种开放式结构和面向未来设计的系统具有下列主要特点：

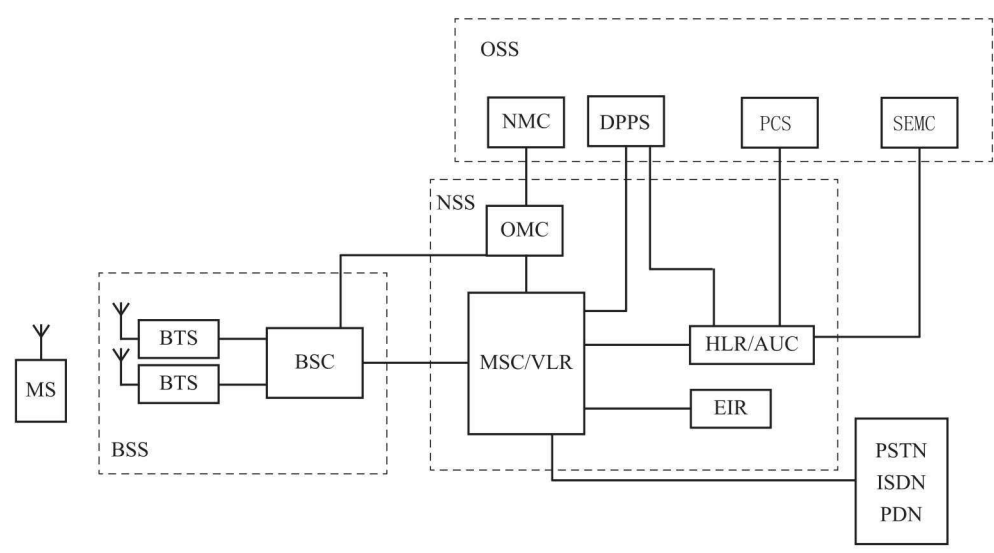
- GSM 系统是由几个子系统组成的，并且可与各种公用通信网（PSTN、ISDN、PDN 等）互连互通。各子系统之间或各子系统与各种公用通信网之间都明确和详细定义了标准

化接口规范，保证任何厂商提供的 GSM 系统或子系统能互连。

- GSM 系统能提供穿过国际边界的自动漫游功能，对于全部 GSM 移动用户都可进入 GSM 系统而与国别无关。
- GSM 系统除了可以开放语音业务，还可以开放各种承载业务、补充业务和与 ISDN 相关的业务。
- GSM 系统具有加密和鉴权功能，能确保用户保密和网络安全。
- GSM 系统具有灵活和方便的组网结构，频率重复利用率高，移动业务交换机的话务承载能力一般都很强，保证在语音和数据通信两个方面都能满足用户对大容量、高密度业务的要求。
- GSM 系统抗干扰能力强，覆盖区域内的通信质量高。
- 用户终端设备（手持机和车载机）随着大规模集成电路技术的进一步发展，能向更小、轻巧和增强功能趋势发展。

2. 系统的结构与功能

GSM 系统的典型结构如图 1-1-4 所示。由图可见，GSM 系统是由若干个子系统或功能实体组成的。其中基站子系统（BSS）在移动台（MS）和网络子系统（NSS）之间提供和管理传输通路，特别是包括了 MS 与 GSM 系统的功能实体之间的无线接口管理。NSS 必须管理通信业务，保证 MS 与相关的公用通信网或与其他 MS 之间建立通信，也就是说 NSS 不直接与 MS 互通，BSS 也不直接与公用通信网互通。MS、BSS 和 NSS 组成 GSM 系统的实体部分。操作支持子系统（OSS）则提供运营部门一种手段来控制和维护这些实际运行部分。



OSS：操作支持子系统	BSS：基站子系统	NSS：网路子系统
NMC：网路管理中心	DPPS：数据后处理系统	SEMC：安全管理中心
PCS：用户识别卡个性化中心	OMC：操作维护中心	MSC：移动业务交换中心
VLR：访问用户位置寄存器	HLR：归属用户位置寄存器	AUC：鉴权中心
EIR：移动设备识别寄存器	BSC：基站控制器	BTS：基站收发信台
PDN：公用数据网	PSTN：公用电话网	ISDN：综合业务数字网
MS：移动台		

图 1-1-4 GSM 系统结构