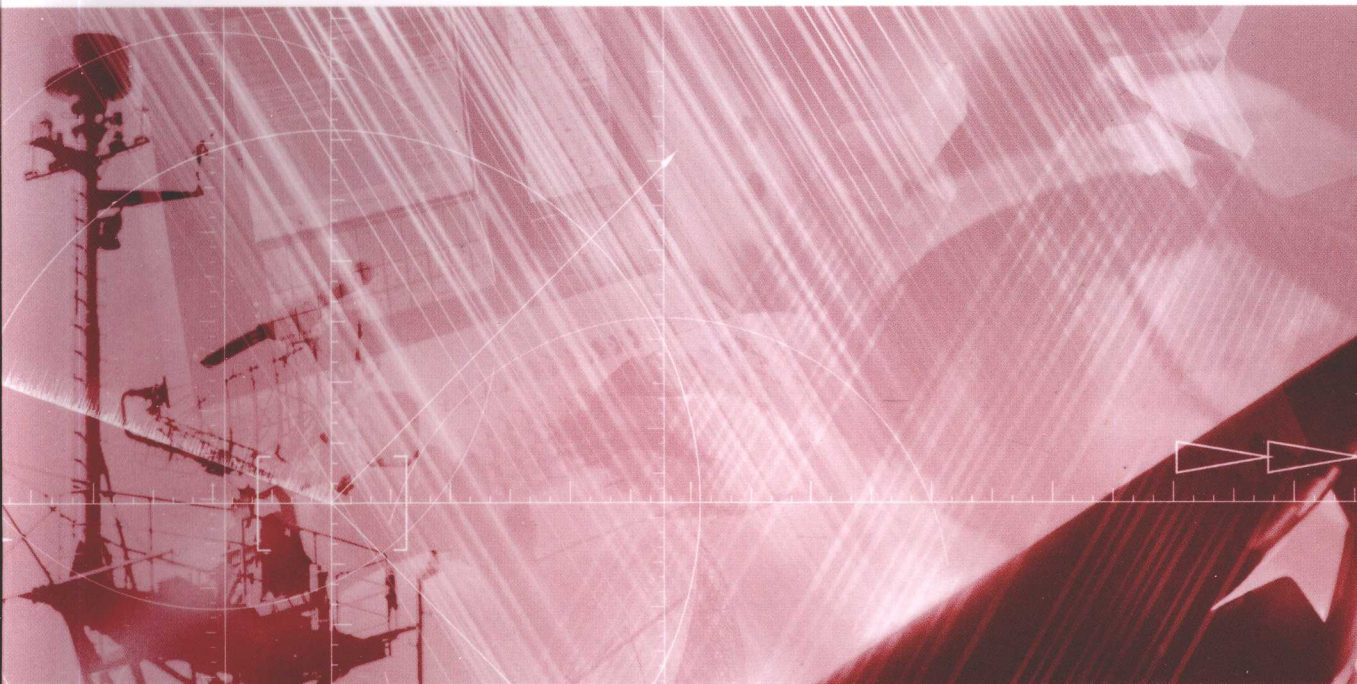


中国通信企业协会通信网络运维专业委员会
通信网络运维人员系列培训教材



移动通信基站安装 与维护技术

冯璞 韩卫东 主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信企业协会通信网络运维专业委员会
通信网络运维人员系列培训教材

移动通信基站安装 与维护技术

冯璞 韩卫东 主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

移动通信基站安装与维护技术 / 冯璞, 韩卫东主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.7 (2009.12 重印)

(通信网络运维人员系列培训教材)

ISBN 978-7-115-17884-8

I. 移… II. ①冯…②韩… III. 移动通信—通信设备—安装—技术培训—教材—移动通信—通信设备—维修—技术培训—教材 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 042672 号

内 容 提 要

本书是电信企业网络运维人员系列培训教材之一, 是根据运维人员的实际工作需求编写的。全书共分 15 章, 较为系统、全面地介绍了移动通信发展状况及未来发展趋势; 针对无线覆盖技术、电波传播、GSM 和 CDMA 系统的基本原理等进行详细地论述, 对从事相关工作的技术人员有很强的借鉴作用; 重点介绍了基站子系统的组成和各个部分的安装与维护要求; 最后介绍了移动通信设备的指标、测试以及管理和安全生产。

本书内容实用, 通俗易懂, 理论联系实际, 适用于从事移动通信基站自维和代维工作的初、中级技术人员和管理人员。

通信网络运维人员系列培训教材 移动通信基站安装与维护技术

-
- ◆ 主 编 冯 璞 韩卫东
 - 责任编辑 王建军
 - 执行编辑 李 静
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.5 2008 年 7 月第 1 版
字数: 404 千字 2009 年 12 月北京第 2 次印刷

ISBN 978-7-115-17884-8/TN

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

随着我国通信运营企业网络建设日趋完善和通信市场竞争格局的形成,通信运营企业间竞争的重点已经转到充分利用网络资源,提供高质量的服务上来。这就需要一大批专业化、高素质的通信网络运维人才。

中国通信企业协会充分发挥行业组织的作用,积极开展通信网络运维人员资格评定工作,旨在提高运维人员的综合素质,同时提供一个客观评价运维人员水平的统一、权威的标准。为了配合人员资格评定工作,在政府、运营企业、设备制造商、维护企业的大力支持下,运维专委会组织推出了“通信网络运维人员系列培训教材”。

本系列教材以运维专委会“理论与实践相结合,以实践为重点”的培训理念与方法为指导,根据运维人员的实际工作需求以及运维人员资格评定的需要,从理论知识、实践操作、案例等方面对运维人员工作中经常遇到的实际问题进行了阐述。教材的编写及评审者既有国内著名邮电大学的学者,同时又有来自通信网络运营企业、维护企业等第一线的高级技术人员、管理人员,此外,国内外的著名通信设备制造商也给予了大力协助。

本书是系列教材之一,适用于通信行业内从事通信网络移动通信基站自维和代维工作的初、中级技术人员及管理人员。

本书主编单位:中国通信建设总公司

参与编写人员:李文昌、周然、赵银山、余世伟、孙文杰、袁立云、李树宇、尚瑞、李铁兵、史俊青

本书由运维专委会组织专家进行了评审,评审单位:中国电信集团公司、中国网通(集团)公司、中国移动通信集团北京有限公司、中国联合通信有限公司、中国铁通集团有限公司、广电总局无线电台管理局、北京邮电大学、人民邮电出版社、中国通信建设总公司、成都军通通信有限公司、广东南方通信建设股份有限公司。

参与评审人员:赵建军、罗刚、钟星、田松礼、王蒙达、严峰、宫本文、黄欣、林中、张秀芳、漆枫、符艾琦、邝立安、范贵福、陈勇

在这里对他们辛勤的工作表示感谢。由于编者水平有限,本书中难免存在不妥和错误之处,欢迎同行和读者批评指正。

中国通信企业协会
通信网络运维专业委员会
2008年1月

序 言

目前，日益专业化、集中化、多元化的通信网络运维模式正在推动着我国运维服务市场的繁荣发展。

推动通信网络运维人员素质提高，培养一大批专业化的、具有综合素质的人才队伍，对于提高网络质量、提升企业竞争力具有非常重要的意义。

可喜地看到，中国通信企业协会通信网络运维专业委员会充分发挥行业中介组织的作用，在积极推动通信网络运维服务市场规范化建设的同时，努力探索在行业内开展通信网络运维人员资格评定工作。此项工作的开展将有利于提高运维服务企业综合实力，为行业内维护人员提供一个客观、公正、统一、权威的评价标准，促进通信网络运行维护产业的健康发展。为配合运维服务人员资格评定工作，通信网络运维专业委员会组织相关单位和企业的专家推出了“通信网络运维人员系列培训教材”。

通信网络运维是一项对理论知识和实践经验要求都非常高的工作，由于通信网络运维涉及的专业繁杂、应用的设备种类众多，本系列教材以运维专委会“理论与实践相结合，以实践为重点”的培训理念与方法为指导，根据运维人员的实际工作需求以及运维人员资格评定的需要，从理论知识、实际操作、案例等方面对运维人员工作中经常遇到的实际问题进行了阐述。教材的编写及评审者既包括通信院所的专家，也包括来自通信网络运营企业、维护企业等一线的管理、技术专家。

本系列教材是适用于通信行业内从事通信网络维护服务企业人员资格评定的专用教材，也可作为通信运营企业维护部门的参考资料。

1/11

目 录

第 1 章 移动通信系统概述	1
1.1 移动通信的特点及分类	1
1.2 移动通信的发展历程	2
1.3 数字移动通信技术	3
1.4 无线电频谱管理与使用	7
第 2 章 GSM 系统的基本原理	12
2.1 GSM 系统的结构	12
2.2 GSM 的 TDMA 信道	15
2.3 语音、信道编码和交织	18
2.4 GSM 的调制技术	20
2.5 GSM 的控制和管理	20
2.6 GPRS 系统	25
第 3 章 码分多址 (CDMA) 系统和移动通信的发展	28
3.1 码分多址 (CDMA) 技术	28
3.2 CDMA 系统的特点	36
3.3 移动通信无线频率的分配	36
3.4 第三代移动通信的发展	37
第 4 章 基站子系统	41
4.1 基站子系统的组成	41
4.2 基站主设备	42
4.3 基站外部接口协议	50
4.4 基站设备的组网及操作维护系统	52
4.5 直放站的组成和功能	53
第 5 章 天馈线系统	60
5.1 天线基本知识	60
5.2 天线技术	65
5.3 天线的类型和选择方法	68

5.4 智能天线技术	70
5.5 馈线和塔顶放大器	83
5.6 天馈线系统的安装	84
5.7 天馈线系统测试和故障处理	89
第 6 章 移动通信的传输系统	91
6.1 准同步数字 (PDH) 传输系统	91
6.2 同步数字体系 (SDH)	96
6.3 光纤传输系统	102
6.4 微波传输系统	106
6.5 传输系统维护中的常见故障	109
第 7 章 通信电源系统	115
7.1 概述	115
7.2 基站的交流供电系统	116
7.3 基站的直流供电系统	118
7.4 蓄电池	128
7.5 不间断电源设备 (UPS)	138
7.6 太阳能电池和风力发电机组	145
7.7 电源系统的维护	149
第 8 章 燃油发电机组	159
8.1 油机	159
8.2 同步发电机	169
8.3 燃油发电机组的使用与维护	171
第 9 章 基站设备与铁架的安装	176
9.1 基站环境 and 安全要求	176
9.2 基站铁件和设备的安装	177
第 10 章 动力设备与环境监控系统	182
10.1 概述	182
10.2 动力环境监控系统的结构和组成	185

10.3 集中监控系统安装工程及验收	191	13.2 通信局(站)接地电阻要求 ..	217
第 11 章 空调	194	13.3 基站的防雷保护措施	218
11.1 空调器结构和工作原理	194	13.4 基站防雷与接地系统的维护	221
11.2 空调技术名词	197	第 14 章 基站的维护管理	225
11.3 空调系统的分类、型号和指标	199	14.1 概述	225
11.4 空调的安装及工程验收要求 ..	202	14.2 基站维护的接收	226
11.5 空调系统的使用与维护	204	14.3 基站维护项目的资源配置 ..	227
第 12 章 铁塔	210	14.4 维护制度	228
12.1 铁塔的基本结构	210	14.5 维护方案	231
12.2 铁塔的维护	212	14.6 基站的日常维护	232
第 13 章 基站的接地与防雷	215	14.7 基站的突发性维护	235
13.1 基站接地系统的组成	215	第 15 章 安全生产	239
		15.1 安全生产管理	239
		15.2 安全操作	247

第1章 移动通信系统概述

所谓移动通信,是指通信双方或至少一方是处于移动中进行信息交互的通信,可以是移动体与移动体之间的通信,也可以是移动体与固定体之间的通信。

按照移动体所处的运动区域的不同,移动通信可分为陆地移动通信、海上移动通信和空中移动通信。目前实际使用的移动通信系统有航空(航天)通信系统、航海通信系统、陆地移动通信系统和国际海事移动通信系统(INMARSAT)。陆地移动通信系统有无绳电话系统、集群移动通信系统和蜂窝移动通信系统等,其中以蜂窝移动通信系统应用最为广泛,而目前的蜂窝移动通信系统以数字移动通信发展最为迅速。本章着重介绍数字移动通信系统。

1.1 移动通信的特点及分类

移动通信系统由于用户的移动性,其管理技术要比固定通信复杂;同时,由于移动通信网中依靠的是无线电波的传播,其传播环境要比固定网中有线媒质的传播特性复杂。因此,移动通信有着与固定通信不同的特点。

1.1.1 移动通信的特点

(1) 无线电波传播环境复杂。移动通信的电波处在特高频(300~3 000 MHz)频段,即分米微波段,传播的主要方式是空间传播,又称视距传播。电磁波在传播时不仅有直射信号,而且还会经地面、建筑群或障碍物等产生反射、折射、绕射传播,从而产生多径传播引起的快衰落、阴影效应引起的慢衰落等各种形式的衰落。因此移动通信系统应配有分集接收等抗衰落措施,才能保证正常运行。

(2) 噪声和干扰严重。移动台在移动时既受到环境噪声的干扰,又有系统干扰。由于系统内有多个用户,必须采用频率复用技术,因此,移动通信系统有互调干扰、邻道干扰、同频干扰等主要的系统干扰,这就要求移动通信系统有合理的同频复用规划和无线网络优化等措施。

(3) 用户的移动性。用户具有移动性和移动的不可预知性,因此,系统中要有完善的管理技术来对用户的位置进行登记、跟踪,不因为位置的改变而中断通信。

(4) 频率资源有限。无线频率资源是有限的,ITU对无线频率的划分有严格的规定,因此,在移动通信系统中采用频率复用和跳频等技术,提高系统的频率利用率是移动通信系统的又一重要特点。

1.1.2 移动通信的分类

(1) 按服务对象分类

公用移动通信：为社会各阶层人士服务的移动通信。

专用移动通信：为了保证某些特殊部门的通信所建立的移动通信系统。

(2) 按组网方式分类

可分为蜂窝状移动电话、公用无绳电话、无线市话、移动卫星通信、移动数据通信、专用调度电话、集群调度电话等。

(3) 按工作方式分类

可分为单向通信方式和双向通信方式两大类。后者又可分为单工通信方式、双工通信方式和半双工通信方式 3 种。

(4) 按采用的技术分类

分为模拟移动通信系统和数字移动通信系统。

1.2 移动通信的发展历程

蜂窝移动通信系统是 20 世纪 80 年代发展起来的。移动电话的服务区域被划分成若干相邻小区，小区内设有基站。基站负责本小区内移动电话用户之间通话的转接以及移动用户与市话用户的转接。由于通常用正六边形来等效一个小区，而一个个相邻的正六边形小区类似蜂窝状，因此人们称之为蜂窝式移动通信。蜂窝式移动通信按覆盖面积又可分为：卫星小区（小区半径为 10~500 km，适用于农村和稀路由地区）；宏蜂窝（小区半径 < 35 km，适用于低密度区）；微蜂窝（小区半径 < 1 km，适用于户外高密度区）和微微蜂窝（小区半径 < 100 m，适用于户内）等。

移动通信按不同的传输方式分为模拟和数字移动通信。我国移动通信经历了第一代模拟移动通信、第二代窄带数字移动通信和正在建设的第三代宽带数字移动通信。

由于模拟移动通信存在频谱利用率低、保密性能差以及易受干扰等缺点，因此我国的模拟移动通信系统已于 2001 年年底退网。

第二代数字通信系统在我国普遍被采用，中国移动、中国联通以 GSM 系统为主。GSM (Global System for Mobile Communication) 系统是全球移动通信系统的英文缩写，它是由西欧国家组成的移动通信特别小组在 20 世纪 80 年代开始研制开发，90 年代初投入商用的一种数字蜂窝移动通信制式系统。它采用了时分多址 (TDMA) 技术。

中国联通还开通了采用 CDMA 技术的移动通信系统，目前已升级为 cdma 2000 1x 制式。CDMA 即码分多址系统 (Code Division Multiple Access)，是在数字扩频通信基础上发展起来的一种新的无线通信技术，具有容量大（比 G 网大 4~5 倍）、通话质量好、不易掉话、保密性能强、传输速率高的优点，它为移动通信系统向第三代过渡打下了一个良好的基础。

目前，移动通信系统正在向第三代过渡，第三代移动通信系统 (3G) 与第二代移动通信系统 (2G) 的主要区别在于，它是以宽带多媒体移动通信为目标，提供语音、图像、音乐、视频、网页浏览、电话会议、电子商务等多种信息服务，而第二代移动通信系统是以语言和低速率数据通信为主要目标。与第二代移动通信系统相比，第三代移动通信系统具有不可比拟的业务范围和业务性能，可提供高速移动环境 (144 kbit/s)、步行慢速移动环境 (384 kbit/s)、

室内静态环境 (2 Mbit/s) 的数据传输速率。

第三代移动通信系统有 cdma 2000、WCDMA 和 TD-SCDMA 3 种制式。其中 TD-SCDMA 是由我国提出的第三代移动通信标准。

1.3 数字移动通信技术

1.3.1 数字调制技术

数字调制是使在信道上传送的信号特性与信道特性相匹配的一种技术。就语音业务而言, 经过语音编码所得的数字信号必须经过调制才能实际传输。在无线传输系统中是利用载波来携带语音编码信号的, 即利用语音编码后的数字信号对载波进行调制。载波频率按照数字信号“1”、“0”变化而对应变化则称之为移频键控 (FSK); 相应地, 载波的相位按照数字信号“1”、“0”变化而对应变化则称之为移相键控 (PSK); 载波的振幅按照数字信号“1”、“0”变化而对应变化则称之为振幅键控 (ASK)。通常的移频键控 (FSK) 在频率转换点的相位一般并不连续, 这会使载波功率谱产生较大的旁瓣分量。为了克服这一缺点又提出了一些改进的调制方式, 其中具有代表性的调制方式有最小移频键控 (MSK) 和高斯预滤波最小移频键控 (GMSK)。

高斯预滤波最小键控 (GMSK) 的频谱旁瓣低, 频谱利用率高, 而误码性能与差分移相键控 (DPSK) 差不多, 因此在 GSM 移动通信系统中得到了应用。这种调制技术的射频已调波信号具有确定的相位关系并且包络恒定, 称之为恒包络调制技术。它具有频谱旁瓣分量低、误码性能好等特点。

目前在数字移动通信系统中广泛使用的调制技术还有二相移相键控 (BPSK)、四相移相键控 (QPSK) 和正交调幅 (QAM) 等。这类调制技术的频谱利用率较高, 但对调制器和功率放大器的线性要求非常高, 因此设计难度和成本较高。

1.3.2 多址技术

所谓多址方式, 就是把多个用户接入一个公共的传输媒质实现相互间通信时, 给每个用户的信号赋以不同的特征, 以区分不同的用户。

移动通信中常用的多址方式有频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA) 和码分多址 (CDMA)。

1.3.2.1 频分多址 (FDMA)

频分多址 (FDMA) 是把整个可分配的频谱划分成许多单个无线载频, 每个载频信道可以传输一路语音或控制信息, 在通信时, 不同的移动台占用不同频率的信道进行通信。

频分多址 (FDMA) 的特点:

- (1) 信道的带宽相对较窄 (25~30 kHz), 但相邻信道间要留有防护带;
- (2) 与时分多址 (TDMA) 系统相比, 频分多址 (FDMA) 系统的复杂度较低, 容易实现;
- (3) 采用单路载波 (SCPC) 设计, 需要使用高性能的射频 (RF) 带通滤波器来减少邻

道干扰，因而成本较高。

1.3.2.2 时分多址 (TDMA)

时分多址 (TDMA) 是把时间分成周期性的帧，每一帧再分割成若干个时隙，每一个时隙就是一个通信信道。通信时，给每个用户分配一个时隙，使各个移动台在每帧内只能按指定的时隙向基站发射 (接收) 信号，这样，同一个频道就可以供几个用户同时进行通信。

在 GSM 系统中，无线路径上采用时分多址 (TDMA) 方式。每一频点 (频道或载频) 上可分成 8 个时隙，每一时隙为一个信道，因此，每个载频最多可有 8 个移动用户同时使用，如图 1-1 所示。

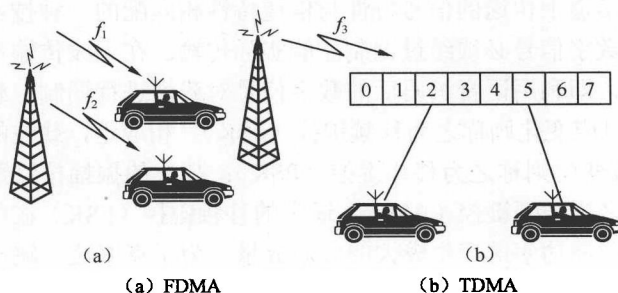


图 1-1 频分多址和时分多址方式

图 1-1 中所示是一个方向的情况，在相反方向上必定有一组对应的频率 (FDMA) / 时隙 (TDMA)。

时分多址 (TDMA) 系统具有如下特点。

- (1) TDMA 系统中几个用户共享单一的载频，其中每个用户使用彼此互不重叠的时隙。
- (2) TDMA 系统中的数据发射不是连续的，而是以突发方式发射。由于用户发射机可以在不同的时间 (绝大部分时间) 关掉，因而耗电较少；同时，移动台可以在空闲的时隙里监听其他基站，从而使其越区切换大为简化。
- (3) 共享设备的成本低。由于每一载频为许多客户提供业务，因此 TDMA 系统共享设备的每客户平均成本与 FDMA 系统相比大大降低了。但移动台较复杂，它比 FDMA 系统移动台完成更多的功能，需要复杂的数字信号处理。

1.3.2.3 码分多址 (CDMA)

在通信系统中，如果多用户使用的频率和时间都是重叠的，而给每个移动台分配一个独特的码序列，用这种不同的正交编码序列来区分不同的用户，在发送时，信号信息和该用户的码序列相乘进行扩频调制，在接收端，接收器采用与发端同样的码序列对宽带信号进行解扩，恢复出原始信号，而其他采用不同码型的信号因为和接收机本地产生的码型不同而不能被解调。这种靠不同的码序列来区分不同的移动台的通信方式，称为码分多址。

码分多址具有以下主要特点。

- (1) 系统容量大。CDMA 语音信道中实际有语音的时间只占 25%~35%，可降低干扰 60%~70%，系统容量大约可增 3 倍；小区采用定向覆盖，可降低干扰 2/3，又可增大容量近 3 倍。实际上 CDMA 无线信道容量比 FDMA 大近 10 倍，比 TSMA 大近 4~6 倍。

(2) 有很强的抑制干扰和多径衰落的能力。CDMA 的扩频系统可以利用自相关运算把多径干扰信号解扩去除。

(3) 具有软容量和小区呼吸功能。CDMA 系统容量取决于系统的干扰量，系统忙时只需少许增加系统噪声即可增加通话用户，即所谓的软容量。小区呼吸功能是指负荷量动态控制。重负荷的小区通过降低导频信号功率，缩小覆盖范围，从而减少负荷；而轻负荷的小区可适当扩大覆盖范围，增加负荷。这种动态控制小区覆盖范围的方法，可增大容量。

(4) 软切换。当一个移动台超越小区或扇区时，由于工作频率相同，所差的只是地址码序列不同，因此不需要频率的切换，称之为软切换。CDMA 的软切换是先切后断，切换负荷低，可靠性高。

(5) 存在多址干扰和远近效应。CDMA 的用户地址码不可能完全正交，这在解扩的过程中必然带来用户间的干扰；再者，CDMA 的信道也采用地址码分割，并公用载波，增加信道的同时干扰也随着增加。由于信道地址码的相互作用，任何一个信道将受到其他不同地址码信道的干扰，称为多址干扰。多址干扰直接限制容量的扩大。远近效应的根本原因也是因为地址码的正交性，CDMA 系统通过自动功率控制会减轻其影响。

最常用的码分多址技术都是基于以下两种扩频通信方式。

(1) 跳频技术

跳频技术是扩频通信中的一种。GSM 系统中使用跳频技术，其主要功能是：可以有效地减小传播信道对某个频率的选择性衰落；可避免多径信号的干扰。

跳频分为基带跳频和射频跳频两种，基带跳频是在不同的时隙使用不同频率发射机发射。射频跳频则是使用两个发射机，一个固定发射载频 F_0 （含逻辑信道 BCCH），在 BCCH 上携带跳频序列信息，使 MS 在接收端同步跳频，保证正确解码；另一个发射机受一定的伪随机序列（如 RS 编码中的某个 5、4、7、0、6、3、1 序列）控制，频率合成器使发射频率按序列跳变（如 f_5 、 f_4 、 f_7 、 f_0 、 f_6 、 f_3 、 f_1 ），原理如图 1-2 所示。

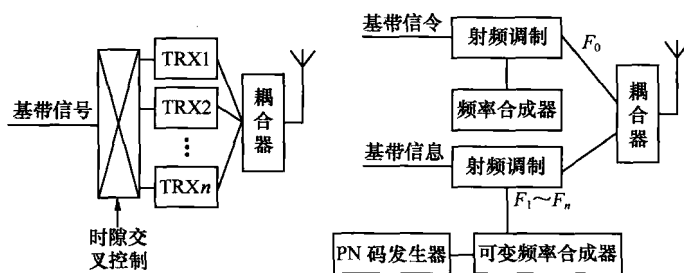


图 1-2 基带跳频与射频跳频

跳频系统最重要的参数是跳频增益 G （扩频增益）， $G = 20 \lg$ “扩频带宽（ B_{RF} ）/信息速率（ B_b ）”，而 $B_{\text{RF}} = \text{“跳频数 } N \times \text{信息带宽 } B_b\text{”}$ ，所以跳频处理增益等于选用的跳频频率数。例如一个具有可供选用的频率数 $N = 10$ 的跳频系统，则跳频增益 $G = 20 \text{ dB}$ 。显然跳频的频点数越多，增益越大，但对频率资源和频率合成器件就是挑战。在相同 S/N 下，跳频系统可以得到更大的容量；而在相同的容量下，跳频系统可以获得更高的信息质量。

(2) 扩频技术

扩频通信就是将信息信号的频谱扩展后再进行传输，从而提高系统的抗干扰能力，使之在强干扰甚至信号被噪声淹没的情况下，能保持可靠的通信。

常用的扩频通信技术如下。

- 直接扩频 (DS): 将要传递的信息数据用一高速伪随机序列调制, 由于伪随机序号的速率 (带宽) 远大于信息数据速率, 因而被调制信号的频谱被扩宽。
- 跳频 (FH): 荷载信息的信号受伪随机序列的控制, 在一组预先指定的频率上离散地跳变, 从而扩展了发射信号的频谱。

1.3.3 双工方式

(1) 频分双工 (FDD)

频分双工就是收发信各占用一个频率 (段)。这种方式的特点是收、发信号同时进行, 时延小, 收发时各占用不同频率, 技术相对比较成熟, 设备成本较高。这种方式适合于大区制的国际间和国家范围的覆盖。

(2) 时分双工 (TDD)

时分双工即收、发信使用同一频率, 但使用不同时间隙。这种方式的特点是频谱利用灵活, 不需要成对的频谱; 上下行使用相同频率, 上下行链路的传播特性相同, 有利于使用智能天线等新技术; 支持不对称数据业务, 根据上下行业务量来自适应调整上下行时间隙宽度; 成本低, 无收发隔离的要求, 可以使用单片 IC 来实现 RF 收发信机。

这种方式的缺点是通信距离 (小区半径) 受电波传播的时延限制, 通常小区半径为 FDD 系统的 30% 左右; 不连续发射, 抗快衰落和多普勒效应的能力低于 FDD 系统。在高速移动环境的情况下性能较差, 故目前 TDD 系统仅支持终端移动速度不超过 120 km/h。

1.3.4 频率复用技术

在移动通信系统中, 频率资源是有限的, 为提高频谱利用率, 在相隔一定距离 (地理区域) 后重新使用相同的频率组, 这种同频复用且进行频率分组的方式可以提高频率利用率。因此, 合理利用频率资源既可以提高用户数量, 又可以避免相邻小区间的干扰。

频率复用就是指在数字蜂窝系统中重复使用相同的频率。频率复用的方式是把有限的频率分成若干组, 依次形成一簇频率, 分配给相邻小区使用, 如图 1-3 所示。

每个小区使用一组频道, 邻近的小区使用不同的频道。由于小区内基地台服务区域缩小, 因此在整个服务区中, 同一组频道可以多次重复使用, 因而大大提高了频率利用率。

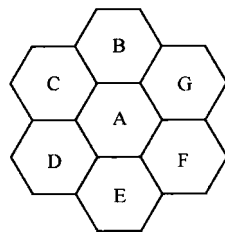


图 1-3 蜂窝小区中频率复用示意

在实际应用中常采用 4/12 和 3/9 频率复用分组方式。其中 4/12 分组方式是把频率分成 12 组, 并轮流分配到 4 个站点, 即每个站点可用到 3 个频率组。4/12 复用的小区组成如图 1-4 所示。

采用 3/9 复用方式时, 是把有限的频率分成 9 组, 并轮流分配到 3 个站点, 每个站点可用到 3 个频率组, 如图 1-5 所示。中国联通的 GSM 系统就是采用这种分组方式。

从以上两种频率复用方式可以看出, 随着频率复用的密度增加, 即频率分组的减少, 频率的利用率就越高, 用户数会增加, 频率复用的间距也减少了, 同时也带来了小区间的干扰。在频率复用的时候, 主要考虑的是 C/I, 如同频干扰保护比 C/I (当不同小区使用相同频率时,

另一小区对服务小区产生的干扰)、邻频干扰保护比 C/N (在频率复用模式下, 邻近频道对服务小区使用的频道进行的干扰) 等。GSM 系统中一般要求同频干扰保护比 $C/I \geq 9 \text{ dB}$, 邻频干扰保护比 $C/I \geq -9 \text{ dB}$ 。

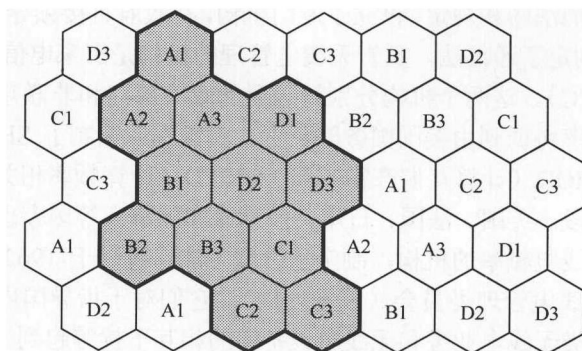


图 1-4 按 4/12 方式复用的小区示意

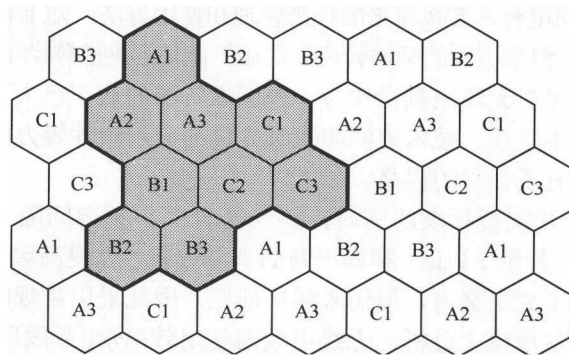


图 1-5 按 3/9 方式复用的小区示意

当确定了频率复用关系后, 也就确定了所需划分的频率组 N 。如对于 4/12 频率复用模式来说, $N = 12$; 对于 3/9 复用模式来说, $N = 9$ 。

1.4 无线电频谱管理与使用

1.4.1 无线电频谱管理

无线电频谱管理是一种有限的自然资源, 它广泛地应用于通信及其他一些领域中。由于无线电频谱是有限的, 而电台的数量飞速增加, 因此必然形成频率不够分配的局面, 而频率短缺又限制了无线电业务的发展, 所以如何从技术上挖掘无线电频谱的潜力以及科学地管理和使用无线电频谱, 已经引起相关部门的重视并努力地去解决它。移动通信主要是无线通信, 对频谱的依赖性很大。特别是近 10 余年来, 移动通信已从过去的点对点通信或简单的调度网发展到多种手段的通信系统和复杂的综合网, 对无线电频率的使用越来越多。

世界各国早就开始重视频谱管理, 在 1927 年在华盛顿召开的电联代表大会上首次给各类无线电业务划分专用频带, 以防止和减少相互的干扰, 随后又制定出无线电规则, 并在以后多

次的无线电行政大会上进行修改,一直沿用至今。国际电联设有相关的常设机构,其中国际无线电咨询委员会(CCIP)和国际频率登记委员会(IFRB)对频谱管理更是做了大量的研究工作,并负责主持日常业务工作。许多国家对无线电频率的管理和开发也十分重视,针对频谱管理制定了一些十分严格的法则和规定,设立了专门机构,在政府直接领导下实行统一集中管理。如美国早在1934年就制定了通信法,负责无线电管理的机构是国家电信和信息总局(NTIA)及联邦通信委员会(FCC)。这两个机构分别管理联邦政府部门和非联邦政府部门使用的无线电频谱,而国际上的频率协调则由美国国务院负责。美国先后编制了SHADOW(进行视距内地形范围的计算)、INMOD(计算互调产物)和FOR/FD(计算频率相关抑制和频率距离)等软件作为管理的技术手段。英国、法国、日本、前苏联和加拿大等国家也在20世纪70年代先后成立了相应的管理无线电频率的机构,制定了管理方法。我国于1962年成立了全国无线电管理委员会和各省市无线电管理委员会(或管理局),它们对于指导国内和各地部门合理地利用无线电频率,防止各类无线电业务和无线电设备间的相互干扰等起到了重要的作用。

实践证明,对频谱进行科学管理和分配是十分有效的。以美国为例,20世纪70年代初,其已拥有几百万台陆上移动电台,若按原来的频谱管理和使用方法,陆上移动电台数量已经饱和,数量几乎不可能再增加,但采用新的频谱管理方法后,能使容纳的移动电台数量增加几百倍。

近几年来,我国全民对无线电频谱作为一种国家资源的认识已大大提高。国家和各省市无线电管理部门已在技术管理、技术监测和编制先进的应用软件等方面做了许多工作,对无线电频谱的管理能力也有了很大的提高。

长期以来,人们在开发新频段的同时,还在努力缩小频谱间隔(如从50 kHz缩小到25 kHz,再到12.5 kHz,甚至5 kHz)和提出新的调制方式,以提高频率利用率。尽管在单个信道的信息容量方面做了大量努力,但仍未解决问题,因此采用常规的方法已无法满足电台数量急剧增长的要求。从理论上分析,无线电频谱使用效率 η 由频段所携带的信息量 M 、通信时间 t 、使用的频段 Δf 和占据的立体空间 V 等衡量,以公式表示为:

$$\eta = M(t \cdot \Delta f \cdot V)$$

所以不能用通常那种简单的网络规划来进行频率指配,而要在指配前进行电磁兼容分析,这就要求对整个频谱传播的物理特性进行详尽的了解,采用一种新的频谱管理方法。为了促进无线通信事业,乃至整个通信事业更快、更好地发展,满足无线用户尤其是移动用户急剧增加、无线业务种类不断增加的需求,人类必须充分利用频率资源。根据无线电频率资源的特点和性质,对它的充分利用,不外乎以下3个方面。

(1) 对频率实施严格的管理与协调。国际上已由专门的部门对各种无线电业所使用的频率、频率容限、必要带宽等内容以规则形式做了详尽的规定,而且不断地进行修正和补充,如国际无线大会(WARC或WRC等)经常开会分析讨论,并不断提出新的方法、措施,制定有关规定。相应地,我们国家以及各级无线电管理局(或委员会)也在不断地加强对频率资源的指配、监测和监理等管理工作。

据了解,目前我国各级无线电管理局(或委员会),尤其是国家无线监测中心的无线电检测设备已经比较完善,手段也比较先进,监理工作已开展,加大了频率管理工作的力度。

(2) 开发新频段。这是一项十分艰苦的工作。目前已有关于极高频(30~300 GHz)的开发报道。

(3) 研究并采用各种频率的有效利用技术。这方面的研究一直比较活跃,归纳起来,大

致可分为两大类:

一类是提高无线电波的频谱利用率,使每个信道所占用的频谱尽可能减少,如采用高效调制技术,或者采用扩频技术等使实际占用的频谱减少;另一类是提高无线电信道的利用率,在服务等级(GoS)一定、给定信道间隔条件下,就统计而言,使每一个信道所能容纳的用户数量为最大,或者说能承载和完成的话务量为最大。用句通俗的话来说,就是使信道空闲时间最小。关于有效利用频率的各种技术,如图1-6所示。

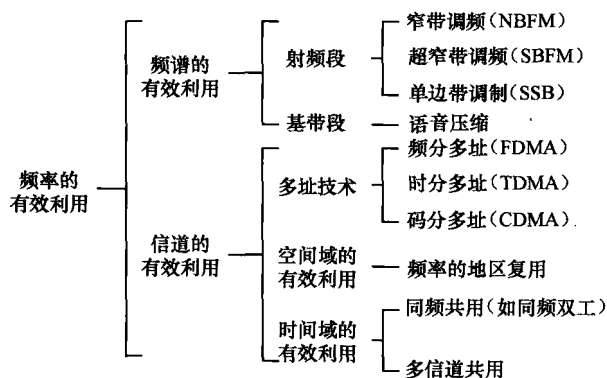


图 1-6 无线电频率有效利用示意

1.4.2 移动通信的频谱特性和管理

移动通信使用的频谱要考虑以下几个方面的因素:

- (1) 无线电管理局(或管理委员会)的规定和指配;
- (2) 电波传播特性;
- (3) 环境噪声及各种干扰情况(要进行电测);
- (4) 覆盖区域范围;
- (5) 区域内地形、地物及各种障碍情况;
- (6) 设备特性;
- (7) 经济成本。

在移动通信中,移动用户与基站之间的通信是主要的一个环节,除海上和航空以及高频远距离移动通信外,多用直射波传播或距内传播,因此甚高频、特高频以及超高频频段用得较多。这几个频段的波长较短,相应的天线物理尺寸小,设备的尺寸也较小,比较符合移动通信的要求。这几个频段大致有以下一些特性。

(1) 30~60 MHz。属于高频低端,其特点是自由空间传播损耗小,受地形、地物影响也小一些,但噪声电平较高,比较适合于通信距离稍远(50~80 km)、地形有些起伏但环境噪声不大的情况使用。

(2) 100~300 MHz,属甚高频高端,其特点是自由空间传播损耗较大,受地形、地物影响不太大(比低端要大些),噪声电平仍较高,适合中等距离(25~50 km)使用。

(3) 400~600 MHz,属特高频段,自由空间传播损耗大,受地形、地物影响也较大,但环境噪声电平较低,适合于城市中近距离(服务半径在30 km以内)的移动通信使用。

(4) 800~1 000 MHz,属特高频频段,自由空间传播损耗更大,但噪声小、电波穿透能

力强, 适合于城市近距离使用。

移动通信所受的噪声干扰主要是环境噪声, 而环境噪声中又以人为噪声为主。它一般以脉冲的形式出现, 例如汽车发动机的噪声、车上各种电器设备的噪声 (如雨刷、喇叭……), 不仅是本车的, 会车时别的车辆噪声也会产生干扰。车载台经过高压电站、大功率变压器和工业区等还会受到强大原噪声的干扰。一般来说, 城市的人为噪声比郊区要大, 大城市比小城市要大。至于接收机本身的噪声, 比人为噪声要小得多。图 1-7 所示为 ITT 手册上刊载的平均人为噪声功率曲线。

由图 1-7 可见, 人为噪声变化规律为每倍频均按 7.5 dB 递减, 因此 400 MHz 要比 100 MHz 低 15 dB 左右, 而城市人为噪声要比郊区高 20 dB 左右。故从减少干扰看, 频段高显然是有利的。

噪声中还有宇宙噪声, 它也随频率增高而减少, 通常高于 300 MHz 时, 可忽略不计。电波传播损耗量随频段增高而增加, 这有许多公式可以计算出来。通常传播损耗是每倍频程增加 6 dB 左右, 按此计算, 400 MHz 平均人为噪声功率曲线比 100 MHz 要增加 12 dB 左右的传播损耗, 如图 1-7 所示。

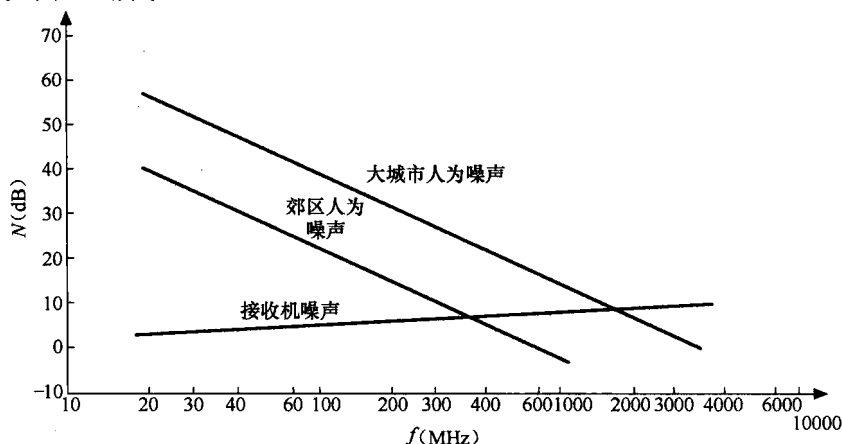


图 1-7 平均人为噪声功率曲线

设备特性和经济成本也是必须考虑的, 因为频段高也使元器件的价格增高。

从近几年的发展来看, 移动通信使用的频段已由 800~1 000 MHz 升高到 2 000 MHz 以上, 随着移动通信发展到第四代, 还将升高到 5 000~6 000 MHz 或更高。根据国际电联 1979 年的有关规定, 划分给移动通信的主要频段 (MHz) 如下:

- 29.7~47.0
- 47.0~50.0 (此部分和广播共用)
- 54.0~68.0 (此部分和广播共用)
- 68.0~74.8
- 75.2~87.0
- 87.0~100.0 (此部分和广播共用)
- 138.0~144.0
- 148.0~149.9
- 150.05~156.7625
- 156.8375~174.0