

21世纪

高等学校通信类系列教材

蜂窝通信

□ 邬国扬 孙献璞 编著



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

★ 21 世纪高等学校通信类系列教材

蜂 窝 通 信

邬国扬 孙献璞 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地阐述了蜂窝网通信的基本原理、关键技术和典型的蜂窝网通信系统,较充分地反映了当代蜂窝网通信的现状和发展趋向。

全书分为三个部分,共八章,第一部分(第1、2章)是蜂窝网通信基础知识;第二部分(第3章)是时分多址(TDMA)数字蜂窝网;第三部分(第4~8章)为码分多址(CDMA)数字蜂窝网,包括码分多址技术基础、码序列、通信原理、窄带和宽带CDMA蜂窝通信系统。

本书可作为高等学校通信工程、电子工程、无线电技术等专业的高年级学生的专业课教材或参考书,也可供研究生和通信工程技术人员参考或学习。

21 世纪高等学校通信类系列教材

蜂 窝 通 信

郭国扬 孙献璞 编著

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安翔云印刷厂

版 次 2002年6月第1版 2003年5月第2次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20.5

字 数 490千字

印 数 4 001~10 000册

定 价 23.00元

ISBN 7-5606-0390-4/TN·0098

XDUP 0660A01-2

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

自从 20 世纪 70 年代末出现蜂窝网通信以来,世界各地的移动通信行业得到了迅猛的发展,蜂窝网通信的技术本身也得到了长足的进步,已从模拟蜂窝网发展到数字蜂窝网。就多址接入方式而言,20 世纪 80 年代初模拟蜂窝网采用频分多址(FDMA)方式,80 年代后期,开发了时分多址(TDMA)体制,90 年代以后,以 GSM 为代表的 TDMA 数字蜂窝网在国内外获得了广泛应用。与此同时,又出现了码分多址(CDMA)蜂窝网系统,包括窄带和宽带两类系统。

CDMA 蜂窝网移动通信是在频分多址(FDMA)模拟蜂窝网和时分多址(TDMA)数字蜂窝网的基础上发展起来的,有很多共同点,也有继承性因素,自然也有很多独特之处。从技术角度来看,CDMA 蜂窝网通信系统的技术是最先进,同时又是最复杂的。可以说,在一定范围内,它反映了现代通信的技术水平。

本书比较系统地讲述了蜂窝网通信的基本原理、关键技术和典型系统组成,力求基本理论紧密结合实际系统,深入浅出,图文并茂。

全书共分八章,可分为三个部分。第一部分(第 1、2 章)为蜂窝网通信基础,包括蜂窝网基本概念、功能、特征和结构,以及 FDMA 模拟蜂窝通信系统的组成、工作原理等;第二部分(第 3 章)专门讨论 TDMA 数字蜂窝网,包括系统总体、无线接口、系统的控制与管理等;第三部分(第 4~8 章)是 CDMA 蜂窝网通信系统。

由于 CDMA 是以扩频通信为基础的,而 CDMA 蜂窝系统的无线传输又处于移动信道环境中,因此在第 4 章码分多址的技术基础中,讨论了扩频通信的基本概念、原理、类型及特点,数字信号扩频与调制,数字信号的纠错编码等。第 5 章为 CDMA 码序列,着重讲述 CDMA 蜂窝网通信系统中用到的 m 序列和正交的沃尔什(Walsh)函数。读者不仅要熟悉码序列的产生方法,而更重要的是要对码序列有很好的理解,尤其是对码序列的相关性概念必须透彻地理解。为此,在本章中不仅给出了相关函数、相关系数的定义、表达式,而且通过具体码序列波形,求解自相关和互相关例子,以便读者理解和掌握这些重要概念。第 6 章为 CDMA 通信原理,着重讨论 CDMA 蜂窝网通信系统中还必须解决的一些关键技术,如自动功率控制、分集接收技术等。此外,还讨论了 CDMA 蜂窝网通信容量问题,从而回答了为什么 CDMA 蜂窝网通信引起人们广泛关注的一个主要原因。第 7 章为窄带 CDMA 蜂窝通信系统,即按 IS-95 标准的“双模式”蜂窝移动通信系统,包括系统的组成、原理和呼叫的接续过程等。第 8 章为宽带 CDMA 蜂窝通信系统,着重介绍正、反向信道组成及工作原理,详细分析了卷积编码、分组交织、码元重复、正交扩频等原理和工作过程。

本书前 6 章由邬国扬老师编写,后两章由孙献璞老师编写,全书由邬国扬老师负责统

稿。在编写过程中，得到了陈太一院士的鼓励，郭梯云教授的支持，也得到了浙江万里学院领导和电信系全体老师的支持和帮助，编者在此表示感谢。

由于水平限制，书中难免有缺点和错误之处，敬希读者批评指正。

编著者
2002 年 2 月

目 录

第 1 章 蜂窝网通信概论..... 1

- 1.1 蜂窝网移动通信发展简史与现状 1
 - 1.1.1 发展简史 1
 - 1.1.2 应用现状 3
- 1.2 小区制区域覆盖 4
 - 1.2.1 带状网 4
 - 1.2.2 蜂窝网 5
- 1.3 蜂窝网移动通信概述 9
 - 1.3.1 系统结构 9
 - 1.3.2 蜂窝网的功能与特征 10
 - 1.3.3 从模拟蜂窝网到数字蜂窝网 11

第 2 章 频分多址(FDMA)模拟

蜂窝网 14

- 2.1 概述 14
 - 2.1.1 发展简况 14
 - 2.1.2 系统结构 16
 - 2.1.3 主要功能 17
- 2.2 典型系统组成 17
 - 2.2.1 移动电话交换局(MTSO) 17
 - 2.2.2 基站(BS) 18
 - 2.2.3 移动台(MS) 20
- 2.3 系统控制及其信令 23
 - 2.3.1 系统的控制结构 24
 - 2.3.2 控制信号及其功能 25
 - 2.3.3 数字信令 28
- 2.4 系统工作过程 31
 - 2.4.1 初始状态 31
 - 2.4.2 移动台被呼 31
 - 2.4.3 移动台主呼 32
 - 2.4.4 话终拆线 33

第 3 章 时分多址(TDMA)数字

蜂窝网 35

- 3.1 GSM 系统总体 35
 - 3.1.1 网络结构 36
 - 3.1.2 GSM 的区域、号码、地址与识别 39

- 3.1.3 主要业务 42
- 3.2 GSM 系统的无线接口 43
 - 3.2.1 GSM 系统的无线传输特征 43
 - 3.2.2 信道类型及其组合 45
 - 3.2.3 话音和信道编码 53
 - 3.2.4 跳频和间断传输技术 55
- 3.3 GSM 系统的控制与管理 56
 - 3.3.1 位置登记 56
 - 3.3.2 鉴权与加密 58
 - 3.3.3 呼叫接续 61
 - 3.3.4 过区切换 65
- 3.4 三种 TDMA 蜂窝系统分析比较 67
 - 3.4.1 D-AMPS 的特征 67
 - 3.4.2 JDC 系统的特征 69

第 4 章 码分多址技术基础 72

- 4.1 扩展频谱通信 72
 - 4.1.1 扩展频谱通信的基本概念 72
 - 4.1.2 扩频通信的主要特性 74
- 4.2 数据信息的扩频和调制 76
 - 4.2.1 数字信号 77
 - 4.2.2 数字信号调制 80
 - 4.2.3 数字信号扩频原理 89
- 4.3 数字信号的纠错编码 99
 - 4.3.1 纠错编码的基本原理 100
 - 4.3.2 常用的简单编码 103
 - 4.3.3 循环码 107
 - 4.3.4 卷积码与交织编码 112

第 5 章 CDMA 码序列 117

- 5.1 伪随机码(PN)的概念 117
 - 5.1.1 码序列及其波形 117
 - 5.1.2 移位寄存器 118
 - 5.1.3 码序列的相关性 120
- 5.2 m 序列 124
 - 5.2.1 m 序列的产生 125
 - 5.2.2 m 序列的特性 128
- 5.3 其它码序列 133

5.3.1 m 序列的优选对与 Gold 序列	133	7.3.2 接入信道	231
5.3.2 Walsh(沃尔什)函数	136	7.3.3 反向业务信道	237
第 6 章 CDMA 通信原理	141	7.4 系统控制功能	340
6.1 CDMA 基本原理	141	7.4.1 功率控制	240
6.1.1 多址技术选择	141	7.4.2 CDMA 系统切换	242
6.1.2 CDMA 系统的下行链路	145	7.4.3 登记注册	244
6.1.3 CDMA 系统的上行链路	150	7.4.4 呼叫处理	246
6.2 CDMA 蜂窝网的关键技术	152	7.4.5 呼叫流程图	249
6.2.1 自动功率控制	152	第 8 章 宽带 CDMA 蜂窝通信系统 ...	252
6.2.2 信号衰落与分集接收	154	8.1 概述	252
6.2.3 CDMA 系统的分集技术	163	8.1.1 个人通信与第三代移动通信	252
6.2.4 CDMA 系统的其它关键技术	168	8.1.2 宽带(CDMA)方案	255
6.3 蜂窝网的通信容量	180	8.1.3 第三代移动通信的新技术	259
6.3.1 通信系统的容量	180	8.2 宽带 CDMA 通信系统的反向信道	268
6.3.2 CDMA 蜂窝通信系统的容量	186	8.2.1 反向业务信道	269
第 7 章 窄带 CDMA 蜂窝通信系统 ...	193	8.2.2 反向信息信道	269
7.1 系统综述	193	8.2.3 反向信令信道	278
7.1.1 总体要求与标准	193	8.2.4 反向导频信道	282
7.1.2 无线信道	195	8.2.5 接入信道	282
7.1.3 CDMA 网络结构与组成	201	8.3 宽带 CDMA 通信系统的正向信道	287
7.2 CDMA 正向信道	207	8.3.1 导频信道	288
7.2.1 正向信道组成	207	8.3.2 同步信道	290
7.2.2 正向 CDMA 的控制信道	210	8.3.3 寻呼信道	300
7.2.3 正向 CDMA 业务信道	215	8.3.4 正向业务信道	304
7.3 CDMA 反向信道	226	参考文献	321
7.3.1 反向信道组成及特点	226		

第 1 章 蜂窝网通信概论

蜂窝网移动通信简称蜂窝网通信(也称蜂窝通信),它属于移动通信范畴,具有移动通信的特点。本章在介绍移动通信发展历史和现状的基础上,着重讨论了蜂窝网的基本概念、区域覆盖、组网技术等基础性概念。

1.1 蜂窝网移动通信发展简史与现状

1.1.1 发展简史

移动通信可以说从无线电通信发明之日就产生了。1897年, M. G. 马可尼所完成的无线通信试验就是在固定站与一艘拖船之间进行的, 距离为 18 海里。

现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代, 大致经历了五个发展阶段。

第一阶段从 20 世纪 20 年代至 40 年代, 为早期发展阶段。在这期间, 首先在短波的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 2 MHz, 到 40 年代提高到 30~40 MHz。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。

第二阶段从 20 世纪 40 年代中期至 60 年代初期。在此期间内, 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, 贝尔系统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”。当时使用三个频道, 间隔为 120 kHz, 通信方式为单工。随后, 前西德(1950 年)、法国(1956 年)、英国(1959 年)等国相继研制了公用移动电话系统。美国贝尔实验室完成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, 网的容量较小。

第三阶段从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期。在此期间, 美国推出了改进型移动电话系统(IMTS), 使用 150 MHz 和 450 MHz 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。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 450 MHz 频段, 实现了自动选频与自动接续。

第四阶段从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期。这是移动通信蓬勃发展的时期。1978 年底, 美国贝尔试验室研制成功先进移动电话系统(AMPS), 建成了蜂窝状移动通信网, 大大提高了系统容量。1983 年, 首次在芝加哥投入商用。同年 12 月, 在华盛顿也开始启用。之后, 服务区域在美国逐渐扩大。到 1985 年 3 月已扩展到 47 个地区, 约 10 万移动用户。其它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 800 MHz

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450 MHz。英国在1985年开发出全地址通信系统(TACS),首先在伦敦投入使用,以后覆盖了全国,频段为900 MHz。法国开发出450系统。加拿大推出450 MHz移动电话MTS。瑞典等北欧四国于1980年开发出NMT-450移动通信网,并投入使用,频段为450 MHz。

这一阶段的特点是蜂窝状移动通信网成为实用系统,并在世界各地迅速发展。移动通信大发展的原因,除了用户数量迅猛增加这一主要推动力之外,还有几方面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,这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。随着用户数量的增加,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。第三方面的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。

第五阶段从20世纪80年代中期开始至今。这是数字移动通信系统的发展和成熟时期。

以AMPS和TACS为代表的第一代蜂窝移动通信网是模拟系统。模拟蜂窝网虽然取得了很大成功,但也暴露了一些问题。例如,频谱利用率低,移动设备复杂,费用较贵,业务种类受限制以及通话易被窃听等,最主要的问题是容量已不能满足日益增长的移动用户的需求。解决这些问题的方法是开发新一代数字蜂窝移动通信系统。数字无线传输的频谱利用率高,可大大提高系统容量。另外,数字网能提供语音、数据多种业务服务,并与ISDN等兼容。实际上,早在20世纪70年代末期,当模拟蜂窝系统还处于开发阶段时,一些发达国家就着手数字蜂窝移动通信系统的研究。到80年代中期,欧洲首先推出了泛欧数字移动通信网(GSM)的体系。随后,美国和日本也制定了各自的数字移动通信体制。泛欧网GSM已于1991年7月开始投入商用,并且很快遍布欧洲。我国从1997年开始引进GSM,不到5年功夫,GSM系统已遍及大江南北,用户数超过1亿。

20世纪80年代中期,不少国家都在探索蜂窝通信系统如何从模拟向数字方向转变的办法。美国蜂窝电信工业公司(CTIA)于1988年发布了一个称为“用户的性能需求(UPR)”的文件。其中,对第二代蜂窝网通信系统提出的主要要求是:系统的容量至少是AMPS的10倍;通信质量等于或优于现有的AMPS系统;易于过渡并和现有模拟系统兼容(双模式);先进的特征;较低的成本;蜂窝开放网络结构等。

美国的IS-54标准是遵循上述要求制定的,考虑到实现技术存在的困难,IS-54需要分阶段达到CTIA提出的标准,即全速率传输(每载波3个信道)和半速率传输(每载波6个信道)两个阶段。与此同时,美国Qualcomm公司开发的CDMA数字蜂窝网系统也是遵循上述要求进行的,并经过几次局部的现场测试后,表明这种蜂窝系统已能全面地满足CTIA提出的标准。该系统不仅具有容量大,而且还具有软容量、软切换等突出优点,因而受到人们的广泛关注。1993年7月该体制被采纳为北美数字蜂窝网标准,定名为IS-95。IS-95的载波频带宽度为1.25 MHz,每个载频含有64个信道,它能支持声码器话音和话

带内的数据传输,被人们称为窄带码分多址(N - CDMA)蜂窝网通信系统。与此相对应,SCS Mobilcom 公司(后与美国 IMM 公司合并成 Interdigital 公司)提出了一种宽带码分多址(B - CDMA)蜂窝网通信系统,载波带宽分 5 MHz、10 MHz 和 15 MHz 三种方案,信息传输速率可达 144 kb/s。这一系统于 1991 年进入实验阶段,1993 年 Interdigital 公司向 JTC 提交了 B - CDMA 的技术方案。1995 年 9 月该方案通过审议,被采纳为北美蜂窝网移动通信的公用空中接口,编号为 IS - 665,并把名称 B - CDMA (Broadband CDMA)改为 W - CDMA(Wide-band CDMA)。此后,受第三代移动通信发展的驱动,世界上许多国家纷纷提出了许多 CDMA 蜂窝网通信系统的方案和建议,可以说“CDMA”正处于方兴未艾之时。

1.1.2 应用现状

第一代的模拟蜂窝网由于没有统一标准,当前或曾经使用的各种模拟蜂窝网系统由开发它的国家根据各自不同的国情制定了不同的标准,包括使用频段、频道间隔等都不尽相同,其它国家又根据各自情况使用了不同的系统。例如我国曾选用 TACS 和 AMPS 两种系统(包括香港地区),台湾地区采用 AMPS 系统。第二代蜂窝网通信系统多采用时分多址方式(TDMA),其典型的系统有欧洲的 GSM、北美的 IS - 54 以及 IS - 95(码分多址)等。也有人把 IS - 95 称为第 2.5 代移动通信系统。我国采用的 GSM 已广泛遍及全国各地,IS - 95 系统也已经过几年的试运行,不久将正式投入商业运行。在本书第 2 章的表 2 - 1 中给出了在国际上正在使用的各种模拟蜂窝网通信系统的概况,下面的表 1 - 1 列出了这些系统被哪些国家或地区使用。

表 1 - 1 不同国家或地区内的模拟蜂窝系统

系 统	使用的国家或地区
AMPS	安圭接岛,安提瓜和巴布达,阿根廷,澳大利亚,巴哈马,巴巴多斯,百慕大群岛,玻利维亚,巴西,文莱,加拿大,开曼群岛,智利,多米尼加共和国,萨尔瓦多,危地马拉,香港,印度尼西亚,以色列,朝鲜,老挝,马来西亚,墨西哥,荷兰,新西兰,巴基斯坦,巴拉圭,秘鲁,菲律宾,波多黎各,萨摩亚群岛,新加坡,圣卢西亚,韩国,台湾,泰国,委内瑞拉,特立尼达和多巴哥,美国,维尔京群岛,扎伊尔
TACS	奥地利,巴林,中国,埃及,加纳,香港,匈牙利,印度,爱尔兰,意大利,肯尼亚,科威特,澳门,马来西亚,马耳他,毛里求斯,新西兰,尼日利亚,新加坡,西班牙,斯里兰卡,英国
NTT	哥伦比亚,香港,日本,约旦,科威特,新加坡
NMT - 450	安道尔,奥地利,比利时,中国,捷克,斯洛伐克,丹麦,波兰,爱沙尼亚,芬兰,荷兰,挪威,阿曼,俄罗斯,沙特阿拉伯,西班牙,瑞典,泰国,突尼斯,土耳其,南斯拉夫
NMT - 900	阿尔及利亚,塞浦路斯,丹麦,芬兰,荷兰,挪威,瑞典,泰国
MATS - E	法国,科威特
C - 450	德国,西班牙

第二代数字蜂窝网系统,大多采用 TDMA 多址接入方式。其有三种典型系统:欧洲的 GSM、美国的 D - AMPS(也称作 ADC)和日本的 JDC 系统。上述三种系统的特征可参阅第 3 章的表 3 - 4。

1.2 小区制区域覆盖

早期的公用移动电话系统采用大区制工作方式,虽然服务半径大到几十公里,但容纳的用户数有限,通常只有几百用户。为了解决有限频率资源与大量用户的矛盾,可以采取小区制的覆盖方式。对服务区域呈线状的,可采取线状网;而对一般的服务区而言,均采用六边形的蜂窝网格式。

为了使得服务区达到无缝覆盖,提高系统的容量,就需要采用多个基站来覆盖给定的服务区。(每个基站的覆盖区称为一个小区。)从理论上讲,我们可以给每个小区分配不同的频率,但这样需要大量的频率资源,且频谱利用率很低。为了减少对频率资源的需求和提高频谱利用率,我们需将相同的频率在相隔一定距离的小区中重复使用,只要使用相同频率的小区(同频小区)之间干扰足够小即可。

下面针对不同的服务区来讨论小区的结构和频率的分配方案。

1.2.1 带状网

带状网主要用于覆盖公路、铁路、海岸等,如图 1-1 所示。

基站天线若用全向辐射,覆盖区形状是圆形的(图 1-1(b))。带状网宜采用有向天线,使每个小区呈扁圆形(图 1-1(a))。

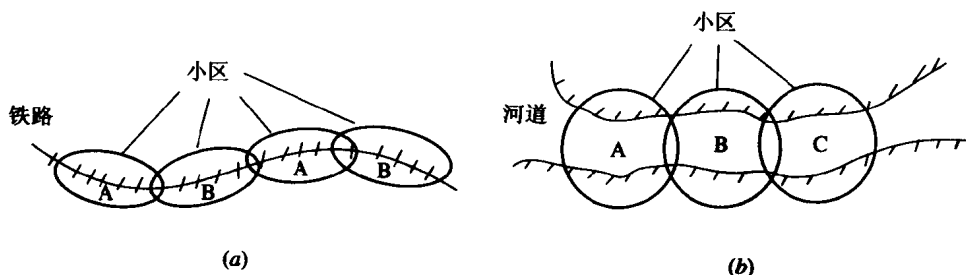


图 1-1 带状网

带状网可进行频率再用。若以采用不同信道的两个小区组成一个区群(在一个区群内各小区使用不同的频率,不同的区群可使用相同的频率),如图 1-1(a)所示,称为双频制。若以采用不同信道的三个小区组成一个区群,如图 1-1(b)所示,称为三频制。从造价和频率资源的利用而言,当然双频制最好;但从抗同频道干扰而言,双频制最差,还应考虑多频制。

设 n 频制的带状网如图 1-2 所示。每一个小区的半径为 r , 相邻小区的交叠宽度为 a , 第 $n-1$ 区与第 1 区为同频道小区。据此,可算出信号传输距离 d_s 和同频道干扰传输距离 d_i 之比。若认为传输损耗近似与传输距离的四次方成正比,则在最不利的情况下可得到相应的干扰信号比,如表 1-2 所示。由表可见,双频制最多只能获得 19 dB 的同频干扰抑制比,这通常是不够的。

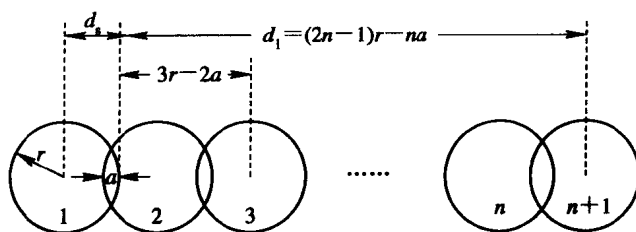


图 1-2 带状网的同频道干扰

表 1-2 同频道干扰

		双频制	三频制	n 频制
d_s/d_1		$\frac{r}{3r-2a}$	$\frac{r}{5r-3a}$	$\frac{r}{(2n-1)r-na}$
I/S	$a=0$	-19 dB	-28 dB	$40 \lg \frac{1}{2n-1}$
	$a=r$	0 dB	-12 dB	$40 \lg \frac{1}{n-1}$

1.2.2 蜂窝网

在平面区域内划分小区，通常组成蜂窝式的网络。在带状网中，小区呈线状排列，区群的组成和同频道小区距离的计算都比较方便，而在平面分布的蜂窝网中，这是一个比较复杂的问题。

1. 小区的形状

全向天线辐射的覆盖区是个圆形。为了不留空隙地覆盖整个平面的服务区，一个个圆形辐射区之间一定含有很多的交叠。在考虑了交叠之后，实际上每个辐射区的有效覆盖区是一个多边形。根据交叠情况不同，若在每个小区相间 120° 设置三个邻区，则有效覆盖区为正三角形；若每个小区相间 90° 设置四个邻区，则有效覆盖区为正方形；若每个小区相间 60° 设置六个邻区，则有效覆盖区为正六边形；小区形状如图 1-3 所示。可以证明，要用正多边形无空隙、无重叠地覆盖一个平面的区域，可取的形状只有这三种。那么这三种形状中哪一种最好呢？在辐射半径 r 相同的条件下，计算出三种形状小区的邻区距离、小区面积、交叠区宽度和交叠区面积如表 1-3 所示。

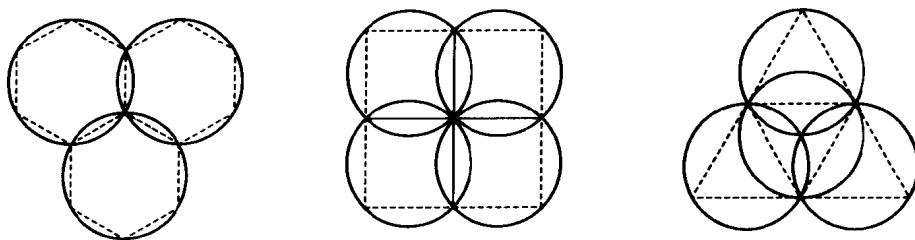


图 1-3 小区的形状

表 1-3 三种形状小区的比较

小区形状	正三角形	正方形	正六边形
邻区距离	r	$\sqrt{2}r$	$\sqrt{3}r$
小区面积	$1.3r^2$	$2r^2$	$2.6r^2$
交叠区宽度	r	$0.59r$	$0.27r$
交叠区面积	$1.2\pi r^2$	$0.73\pi r^2$	$0.35\pi r^2$

由表可见,在服务区面积一定的情况下,正六边形小区的形状最接近理想的圆形,用它覆盖整个服务区所需的基站数最少,也就最经济。正六边形构成的网络形同蜂窝,因此把小区形状为六边形的小区制移动通信网称为蜂窝网。

2. 区群的组成

相邻小区显然不能用相同的信道。为了保证同信道小区之间有足够的距离,附近的若干小区都不能用相同的信道。这些不同信道的小区组成一个区群,只有不同区群的小区才能进行信道再用。

区群的组成应满足两个条件:一是区群之间可以邻接,且无空隙无重叠地进行覆盖;二是邻接之后的区群应保证各个相邻同信道小区之间的距离相等。满足上述条件的区群形状和区群内的小区数不是任意的。可以证明,区群内的小区数应满足下式:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (1-1)$$

式中, i, j 为正整数。由此可算出 N 的可能取值如表 1-4。相应的区群形状如图 1-4 所示。

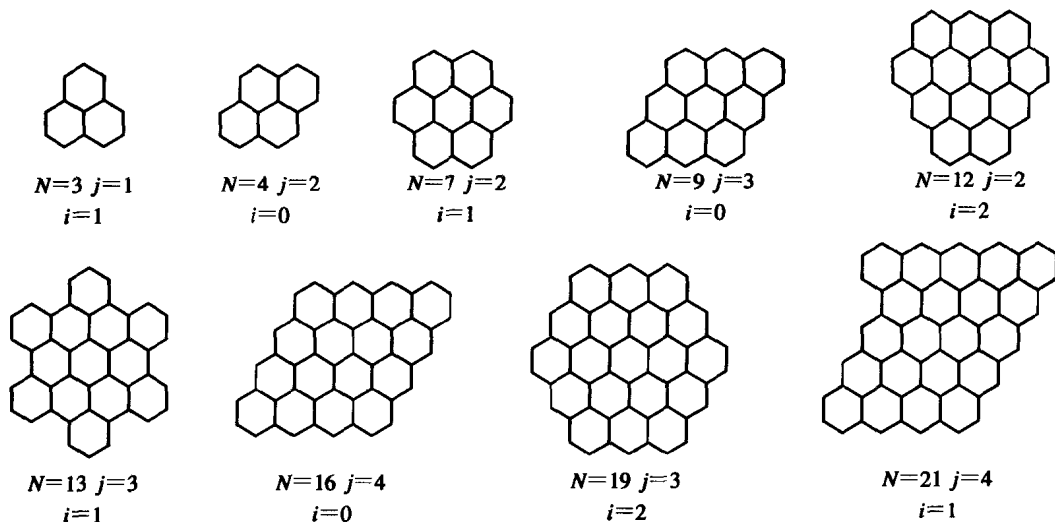


图 1-4 区群的组成

表 1-4 群区小区数 N 的取值

$j \backslash N \backslash i$	0	1	2	3	4
1	1	3	7	13	21
2	4	7	12	19	28
3	9	13	19	27	37
4	16	21	28	37	48

3. 同频(信道)小区的距离

区群内小区数不同的情况下,可用下面的方法来确定同频(信道)小区的位置和距离。如图 1-5 所示,自某一小区 A 出发,先沿边的垂线方向跨 j 个小区,再向左(或向右)转 60° ,再跨 i 个小区,这样就到达同信道小区 A。在正六边形的六个方向上,可以找到六个相邻同信道小区,所有 A 小区之间的距离都相等。

设小区的辐射半径(即正六边形外接圆的半径)为 r ,则从图 1-5 可以算出同信道小区中心之间的距离为

$$\begin{aligned}
 D &= \sqrt{3}r \sqrt{(j + i/2)^2 + (\sqrt{3}i/2)^2} \\
 &= \sqrt{3(i^2 + ij + j^2)} \cdot r \\
 &= \sqrt{3N} \cdot r \quad (1-2)
 \end{aligned}$$

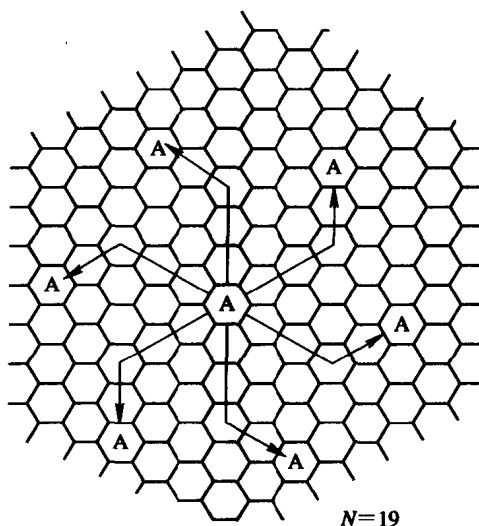


图 1-5 同信道小区的确定

可见群内小区数 N 越大,同信道小区的距离就越远,抗同频干扰的性能也就越好。例如: $N=3$, $D/r=3$; $N=7$, $D/r=4.6$; $N=19$, $D/r=7.55$ 。

4. 中心激励与顶点激励

在每个小区中,基站可设在小区的中央,用全向天线形成圆形覆盖区,这就是所谓“中心激励”方式,如图 1-6(a)所示。也可以将基站设计在每个小区六边形的三个顶点上,每个基站采用三副 120° 扇形辐射的定向天线,分别覆盖三个相邻小区的各 $1/3$ 区域,每个小区由三副 120° 扇形天线共同覆盖,这就是所谓“顶点激励”,如图 1-6(b)所示。采用 120° 的定向天线后,所接收的同频干扰功率仅为采用全向天线系统的 $1/3$,因而可以减少系统的同道干扰。另外,在不同地点采用多副定向天线可消除小区内障碍物的阴影区。

5. 小区的分裂

在整个服务区中每个区的大小可以是相同的,这只能适应用户密度均匀的情况。事实上服务区内的用户密度是不均匀的,例如城市中心商业区的用户密度高,居民区和市郊区

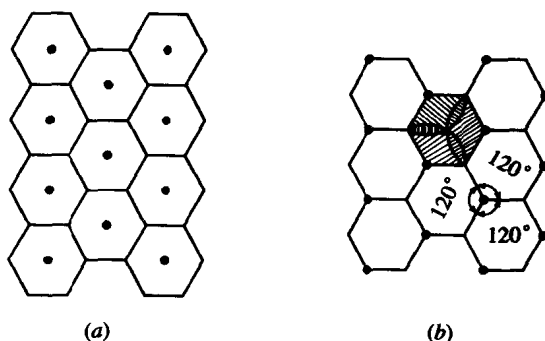


图 1-6 两种激励方式

(a) 中心激励; (b) 顶点激励

的用户密度低。为了适应这种情况，在用户密度高的市中心区可使小区的面积小一些，在用户密度低的市郊区可使小区的面积大一些。如图 1-7 所示。另外，对于已设置好的蜂窝通信网，随着城市建设的发展，原来的低用户密度区可能变成了高用户密度区，这时相应地在该地区设置新的基站，将小区面积划小。解决以上问题可用小区分裂的方法。

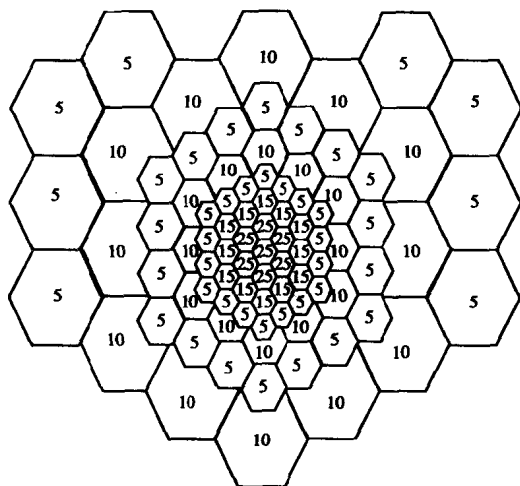


图 1-7 用户密度不等时的小区结构

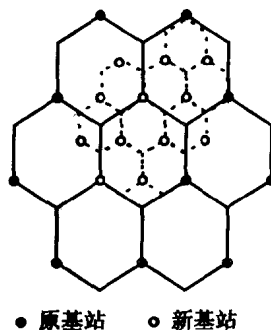


图 1-8 小区分裂

以 120° 扇形辐射的顶点激励为例，如图 1-8 所示，在原小区内分设三个发射功率更小一些的新基站，就可以形成几个面积更小些的正六边形小区，如图中虚线所示。

上述蜂窝状的小区制是目前大容量公共移动通信网的主要覆盖方式。

1.3 蜂窝网移动通信概述

1.3.1 系统结构

通常，蜂窝网移动通信系统中有若干个移动电话交换局(MTSO)，也称作移动电话交换中心(MSC)。图 1-9 示出了蜂窝网移动通信系统的主要结构。

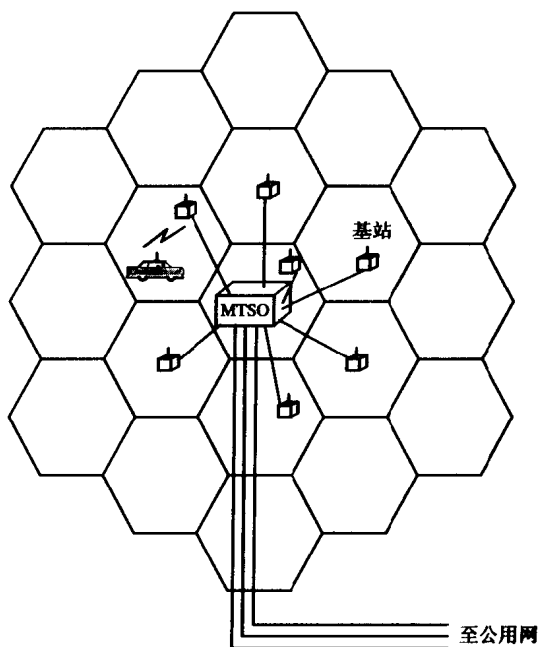


图 1-9 蜂窝网移动通信系统的结构

由图可见，蜂窝网移动通信系统本身由三大部分组成，即移动电话交换局(或交换中心)、基站和移动台。其中，MTSO(或 MSC)是蜂窝网的控制中心，它与公用网(如公用电话交换网—PSTN 或综合业务数字网—ISDN，或公用数据网—PDN)和所辖的基站相连，其连接方式通常有电缆、光缆或数字微波线路等，它们之间都有相应的接口标准。移动交换中心一般由专用的数字程控交换机组成，它不仅具有普通程控交换机所具有的交换、控制功能，而且还具有适应移动通信特点的移动性管理功能(如过境切换、漫游等)，以完成移动用户主呼或被呼、建立通信路由等所必需的控制和管理功能。根据服务区域及移动用户的数量，在一个 MTSO(或 MSC)所管辖范围内建立几十个甚至几百个基站。为了控制方便，在 MTSO 与基站(BS)之间，可加入基站控制器(BSC)。

每个基站主要由多部信道机组成，信道机数量主要由通信容量来决定，在频分多址(FDMA)方式情况下，一部信道机只能与一个移动用户进行发射和接收，且收、发频率各 1 个；在时分多址(TDMA)方式下，一部信道机允许与若干个移动用户进行发射和接收。例

如,在 GSM 系统中,全速率工作情况下,有 8 个时隙(即有 8 个信道),除了 1 个信道用作信令信道外,其它 7 个信道可用来传输业务信息。在这种情况下,允许有 7 个移动用户同时与基站进行双向的无线通信。

基站信道机主要由发射机、接收机组成,天线多采用有向天线。此外,基站还配有定位接收机,用于监测移动台的位置。

移动台可以是装载在汽车上的电台,也可以是手持式电台(简称手机)。它由发射机、接收机、逻辑控制单元、按键式电话拨号盘和送受话器等组成。

1.3.2 蜂窝网的功能与特征

1. 蜂窝网通信系统的主要功能

各种蜂窝网移动通信系统均具有下列主要功能:

(1) 具有与公用电话网进行自动交换的能力。

(2) 双工通信,话音质量接近市话网。

(3) 双向自动拨号,包括移动用户与市话用户间的直接拨号以及移动台之间的直接拨号。移动台可采用预拨号方式,在按“发送键”前不占用无线链路,可把被呼号码存入寄存器中并在显示屏上显示,有修改功能。

(4) 能适应不同业务密度需要。例如初建时,小区半径较大,适合业务密度较低状况。当用户密度增大时,通过可增加信道机构以满足较多用户的需要。当用户密度很大时(例如市中心),通过小区分裂(减小小区半径)可以满足高业务密度地区的用户需要。

(5) 采用小区制信道再用技术,提高频率使用效率。

(6) 具有自动功率控制、自动过境切换信道(在 FDMA 方式时即为频道)技术。

(7) 设备通用性较强,接口标准规范统一。

(8) 各地之间可以联网,具有自动漫游功能。

2. 蜂窝网通信的主要特征

采用正六边形的蜂窝状小区来实现区域覆盖的主要目的是实现所谓频率(或信道)再用,即在不同的小区内使用相同的频率,提高频率利用率,以便扩大服务范围,增加系统的通信容量。

然而事情并非如此简单,由于无线信道的开放特点,在相邻小区工作于同一频道的电台之间会产生相互干扰,这种干扰称为同频道干扰。为了保证通信质量,信号与干扰的功率比必须大于某一个门限值。在频分多址(FDMA)情况下,同一频率不可能应用于相邻小多,必须间隔一定空间距离,或者说跳过若干小区后,同一频率才能再用。为了实现这一点,将若干相邻的小区组成一个区群,区群内的各个小区使用不同的频率组,而每个区群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,就实现了频率再用。

图 1-10 示出了频率再用的含义。由 7 个小区(A、B、C、D、E 和 F)构成 1 个区群。小区 8 与小区 1 均使用 A 频道(或频道组)。由式(1-2)可算出再用距离为

$$D = \sqrt{3N} r = \sqrt{2} r \quad (1-3)$$

式中 r 为小区的辐射半径。