

现代 **移动** 通信技术丛书

蜂窝移动通信

射频工程

苏华鸿 孙孺石 杨孜勤 王秉钧 编著
张跃军 审

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

蜂窝移动通信射频工程/苏华鸿等编著. —北京:人民邮电出版社,2005.1

(现代移动通信技术丛书)

ISBN 7-115-12866-9

I. 蜂... II. 苏... III. 码分多址—移动通信—通信网 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 134517 号

内 容 提 要

本书简要地介绍了各类蜂窝移动通信系统的基本工作原理,并全面、系统地讲述了蜂窝移动通信系统射频工程的组成、特点和应用,内容包括:移动通信系统的基本原理、移动通信电波传播、天馈系统、GSM 网射频工程、CDMA 网射频工程、小灵通射频工程、第三代移动通信网射频工程以及直放站在蜂窝移动通信工程中的应用和干扰分析等。

本书可供移动通信部门从事规划设计、网络优化的工程技术人员、广大科技工作者和大专院校师生阅读和参考。

现代移动通信技术丛书

蜂窝移动通信射频工程

◆ 编 著 苏华鸿 孙儒石 杨孜勤 王秉钧

审 张跃军

责任编辑 王晓明

◆ 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>

读者热线 010-67129258

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 23.75

字数: 594 千字

2005 年 1 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12866-9/TN · 2375

定价: 44.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

进入 21 世纪,移动通信正由第二代向第三代逐步过渡。作为第二代系统的骨干网,无论是 GSM 网或者 CDMA 网,为了满足不断增长的用户要求,在不断扩容的同时,都在追求实现全服务区的无缝覆盖,这也是移动通信运营部门进行无线网络优化的重要目标。鉴于移动通信的电波传播特性,服务区内会出现许多信号覆盖“盲区”,需要对网络覆盖进行重新规划和调整;在业务负荷集中的繁忙地区,会出现通信话务“热点”,这也需要对移动通信的频率资源进行动态调配。这些问题必须采用蜂窝网的射频工程来解决,这一点不仅对目前正在运营的第二代移动通信系统,也对即将问世的第三代移动通信系统具有非常重要的意义。

解决蜂窝移动通信覆盖优化的射频工程方案有很多种,它取决于不同的地理环境、室内或小区建筑楼群的特征,也与网络原有的技术特点以及覆盖范围内所需话务量的分配等因素有关。在技术方面该射频工程需解决的问题主要有:信号源和覆盖方式的选择、无线链路预算及上下行平衡、电磁干扰及噪声的分析等。在产品方面,各类有源放大器件和无源功率合成分配器件的不断涌现也为射频工程解决方案提供了条件。

本书简明地介绍了各类移动通信网的基础技术知识,重点叙述了这些移动通信网射频工程的设计建设、技术特点和运行维护等方面的内容。全书共分七章,第 1~3 章是基础理论及相关技术的介绍,第 4~7 章分别阐述了 GSM 网、CDMA 网、PAS 网和第三代网相应的射频工程。全书以工程实践为主,简明扼要,既可以给希望了解蜂窝移动通信射频工程的工程技术人员作参考资料,也可以作为大专院校师生的辅助教材。

本书的编写得到京信通信公司的大力支持,他们提供了大量多年来实施射频工程设计、施工的相关资料,在此深表感谢。姚彦教授、希玉久教授和徐绍佑高工参加了本书稿的审订工作;此外,薛锋章教授、潘栓龙高工和张和风高工也参加了本书稿的部分编写工作。在编写过程中,我们参考了许多文献资料。对以上专家和文献作者,一并表示诚挚的谢意。

由于编写水平有限,书中难免存在疏漏和错误,敬请读者批评指正。

编者

2004.8

目 录

第一章 概述	1
1.1 移动通信的基本概念	1
1.1.1 移动通信的发展简史	1
1.1.2 我国移动通信发展概况	3
1.1.3 移动通信系统的组成	4
1.1.4 移动通信的应用	5
1.1.5 移动通信的射频工程	5
1.2 小区制移动通信网的构成方法	6
1.2.1 小区的构成和分布	6
1.2.2 蜂窝网络	9
1.2.3 分层蜂窝结构	15
1.3 移动通信的工作频段	17
1.3.1 无线电频谱及频段命名	17
1.3.2 移动通信使用的频段	18
1.4 蜂窝网络的特定环境覆盖技术	20
1.4.1 室内覆盖系统	20
1.4.2 公路、铁路覆盖系统	26
1.4.3 地下隧道覆盖系统	30
1.4.4 城市街区覆盖系统	34
1.4.5 基站覆盖延伸系统	37
参考文献	38
第2章 移动通信电波传播	39
2.1 自由空间电波传播	39
2.1.1 自由空间传播场强的计算	39
2.1.2 自由空间的传播损耗	39
2.1.3 接收输入功率	40
2.1.4 使用列线图计算 E_0 、 L_P 和 P_r	40
2.2 移动环境电波传播	41
2.2.1 接收信号电平的统计方法	41
2.2.2 移动环境电波传播的特点	42
2.2.3 阴影效应	44
2.2.4 多径衰落	47
2.2.5 时延和时延扩展	52

2.2.6 相关带宽·····	55
2.3 限定空间的电波传播·····	55
2.3.1 建筑物内电波传播·····	55
2.3.2 特定空间的电波传播·····	58
2.3.3 微小区中的电波传播·····	61
2.4 路径损耗及常用传播模型·····	64
2.4.1 传播损耗预测的基本概念·····	64
2.4.2 常用的预测模型·····	64
2.5 噪声与干扰·····	80
2.5.1 干扰和噪声的分类·····	81
2.5.2 噪声·····	81
2.5.3 干扰·····	83
参考文献·····	85

第3章 移动通信天线系统 ·····	86
3.1 天线的基本概念·····	86
3.1.1 电磁辐射与电波传播·····	86
3.1.2 辐射参数·····	90
3.1.3 电路参数·····	95
3.2 天线在移动通信中的应用·····	99
3.2.1 多径衰落与分集接收·····	99
3.2.2 同频复用与干扰抑制·····	103
3.2.3 优化覆盖与波束赋形·····	105
3.2.4 智能天线技术·····	108
3.2.5 基站天线应用选型·····	110
3.3 无源器件·····	111
3.3.1 功分器·····	111
3.3.2 电桥与耦合器·····	113
3.3.3 滤波器·····	113
3.3.4 合路器与双工器·····	114
3.3.5 无源器件的多系统合路应用·····	116
3.4 射频电缆及连接器·····	118
3.4.1 射频同轴电缆·····	118
3.4.2 漏泄电缆·····	120
3.4.3 射频连接器·····	124
3.5 塔顶放大器·····	127
3.5.1 塔放原理·····	128
3.5.2 塔放的作用·····	129
3.5.3 塔放的种类及应用·····	131

参考文献	132
第4章 GSM网射频工程	134
4.1 GSM网系统特性	134
4.1.1 时分多址系统的一般性能	134
4.1.2 收发信机主要性能	136
4.1.3 GSM数字移动通信系统的组成	140
4.1.4 GSM系统的频率配置和小区规划	143
4.1.5 GSM系统的无线接口	148
4.1.6 GSM系统的控制和管理	158
4.1.7 高速数据传输技术	165
4.1.8 DCS1800系统简介	167
4.2 GSM网直放站	168
4.2.1 直放站的工作原理和分类	169
4.2.2 直放站的应用	171
4.2.3 G网直放站的主要技术指标	174
4.2.4 GSM直放站设备	177
4.3 G网直放站应用和优化	185
4.3.1 G网直放站应用中常见的问题	185
4.3.2 无线直放站工程参数计算	187
4.3.3 使用直放站应遵循的原则	191
4.3.4 直放站应用效果的判断方法	192
4.4 G网室内信号覆盖工程	192
4.4.1 信号源和覆盖方式的选择	192
4.4.2 覆盖链路预算及上下行链路的平衡	195
4.4.3 功率分配系统设计	198
参考文献	203
第5章 CDMA网射频工程	204
5.1 CDMA概述	204
5.1.1 CDMA系统一般原理	204
5.1.2 CDMA系统特点	206
5.1.3 空中接口参数	209
5.1.4 CDMA信道结构	209
5.2 CDMA网相关技术参数	210
5.2.1 导频PN码相位偏置规划	210
5.2.2 导频搜索窗参数设置	215
5.2.3 邻区列表设置	217
5.2.4 功率控制技术	217

5.2.5	RAKE 接收机	219
5.2.6	软切换技术	220
5.3	CDMA 网基站收发信设备	220
5.3.1	蜂窝基站设备	220
5.3.2	伪导频信号发射设备	226
5.3.3	GPS 接收机	228
5.4	无线覆盖规划	228
5.4.1	频段使用计划	228
5.4.2	接续质量和相关射频参数	229
5.4.3	无线链路预算	229
5.4.4	容量计算	233
5.5	CDMA800 对 GSM900 干扰协调	234
5.5.1	可能出现的问题	234
5.5.2	可接受干扰功率建议	234
5.5.3	隔离损耗	235
5.5.4	杂散发射干扰的解决方法	236
5.6	cdma2000 1x 射频技术	237
5.6.1	cdma2000 1x 简介	237
5.6.2	cdma2000 1x 系统指标	238
5.6.3	cdma2000 1x 系统中的信道	239
5.6.4	cdma2000 1x 链路预算	246
5.6.5	cdma2000 1x 与 CDMA IS-95 容量比较	247
5.6.6	双频网组网与切换技术	248
5.7	CDMA 移动通信直放站	250
5.7.1	CDMA 直放站主要用途及分类	250
5.7.2	CDMA 直放站的特点	251
5.7.3	CDMA 直放站主要技术指标	252
5.7.4	CDMA 直放站产品类型	252
5.7.5	CDMA 直放站使用的基本原则及信源选取	253
5.7.6	无线直放站系统隔离度的计算	253
5.7.7	直放站引入网络带来的噪声影响	254
5.7.8	引入无线直放站后无线网络优化	256
5.7.9	CDMA 直放站工程参数计算	259
5.7.10	CDMA 扩大海域覆盖区所采取的措施	262
参考文献		265

第 6 章	个人接入系统 (PAS) 射频工程	267
6.1	PAS 的系统特性	267
6.1.1	PAS 的一般性能	267

6.1.2	时分双工的特点	268
6.1.3	收发信机主要性能	268
6.2	PAS 系统概要	269
6.2.1	PAS 的系统组成	269
6.2.2	PAS 的空中接口	271
6.2.3	PAS 的通信过程	272
6.3	PAS 与其他系统共站址干扰分析	276
6.3.1	PAS 与 G 网共站址干扰分析	276
6.3.2	PAS 与 C 网共站址干扰分析	277
	参考文献	281
第 7 章	3G 射频工程	282
7.1	3G 系统概要	282
7.1.1	3G 的发展	282
7.1.2	3G 系统的组成	285
7.1.3	3G 无线传输技术 (RTT)	286
7.1.4	3G 主要目标	288
7.1.5	与 3G 相关的关键技术	289
7.2	WCDMA 射频工程	291
7.2.1	WCDMA 系统概要	291
7.2.2	WCDMA 空中接口	292
7.2.3	小区搜索与同步	296
7.2.4	扰码规划	297
7.2.5	功率控制	298
7.2.6	切换	299
7.2.7	WCDMA 无线网络规划	304
7.2.8	WCDMA 系统中无线接入网的测试	321
7.3	cdma2000 技术	326
7.3.1	1xEV 技术特点	327
7.3.2	1xEV 前向信道类型	328
7.3.3	1xEV 反向链路信道	328
7.3.4	3GPP2 对 1xEV-DV 的要求	329
7.4	TD-SCDMA 射频技术	329
7.4.1	TD-SCDMA 物理信道	329
7.4.2	扩频、扰码和调制	336
7.4.3	物理层过程	338
7.4.4	TD-SCDMA 基站与塔顶放大器	343
7.5	3G 干扰分析	346
7.5.1	TDD-TDD 干扰分析	346

7.5.2	UTRA WCDMA 干扰分析	349
7.6	3G 直放站在网络优化中的作用	352
7.6.1	3G 塔顶放大器的使用	352
7.6.2	3G 光纤直放站	353
7.6.3	3G 室内分布系统	353
7.6.4	3G 无线直放站	354
7.6.5	WCDMA 无线同频直放站链路预算举例	356
7.7	W-CDMA 多载波线性功放	362
7.7.1	CDMA 技术选用线性功放	362
7.7.2	多载波线性功放的优点	363
7.7.3	前馈技术	363
7.7.4	预失真技术	365
7.8	3G 与 WLAN 结合提供高速率数据业务	366
7.8.1	WLAN 与 3GPP 互联互通	367
7.8.2	WLAN 与 3GPP2 互联互通	369
7.8.3	WLAN 的无线接入点 (AP) 设备	369
	参考文献	370

第一章 概 述

1.1 移动通信的基本概念

所谓移动通信是指通信双方至少有一方处在运动状态中的通信。例如运动着的车辆、船舶、飞机或人与固定用户之间的通信，或者移动用户之间的通信都属于移动通信。另外，移动通信还有一种情况，即通信用户的位置是可变的，这一次通信用户处在这个位置，下一次通信可能处于另一个位置，每一次通信都是使用同一个通信工具，但在每一次通信过程中用户可能并不处于运动状态。这后一类的移动通信与严格意义上的移动通信相比，两者的无线信道特性有较大的差别。

移动通信按使用环境分类有：陆地移动通信、海上移动通信、航空移动通信以及特殊使用环境（隧道、矿井、太空船等）下的通信；按服务对象分类有：公用移动通信（面向社会各阶层人士）、专用移动通信（为了保证某些特殊部门的通信所建立的通信系统）；按移动通信网的分类有：公用网（蜂窝移动电话、公用无绳电话、无线寻呼、移动卫星通信、移动数据通信），专用网（专用调度电话、集群调度电话）。

1.1.1 移动通信的发展简史

移动通信从诞生至今，大致经历了 5 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。

在此期间，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 2MHz，到 20 世纪 40 年代提高到 30~40MHz。这个阶段是现代移动通信的起步阶段，其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，公用移动通信业务开始问世。1946 年，根据美国 FCC 的计划，美国贝尔公司在美国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 120kHz，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，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 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。前西德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的改进和完善阶段，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,美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统 (AMPS),建成了蜂窝移动通信网,大大提高了系统容量。1983 年,该系统首次在美国芝加哥市投入商用并于同年 12 月,在华盛顿市也开始启用。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。其他工业化国家也相继建成蜂窝式公用移动通信网。日本于 1979 年开通 800MHz 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 年建成 C 网,频段为 450MHz。英国在 1985 年建成全地址通信系统 (TACS),首先在伦敦投入使用,以后覆盖了英国全国,频段为 900MHz。加拿大建成 450MHz 移动电话系统 (MTS)。瑞典等北欧四国于 1980 年建成 NMT-450 移动通信网,并投入使用,频段为 450MHz。

第五阶段:从 20 世纪 80 年代中期至今。

这是数字移动通信系统的发展和成熟时期。

以 AMPS 和 TACS 为代表的第一代移动通信网是模拟系统。这一代蜂窝移动通信系统采用了多信道共用和频率复用技术,系统具有越区切换、漫游等功能,可以直拨市话、长话、国际长途,计费功能齐全,用户使用方便。第一代移动通信系统的主要特征是使用频分多址 (FDMA) 接入技术,传输调频电话信号。其不足之处在于模拟式蜂窝系统体制混杂,系统不能实现国际漫游,不能提供 ISDN 业务,其保密性差、设备价格高、系统容量小。

为了克服第一代移动通信系统的局限性,以满足移动通信网对大容量、高质量、智能化和综合化等的要求,北美、欧洲和日本自 20 世纪 80 年代中期起相继为第二代移动通信系统制定了 3 种不同的数字蜂窝移动通信的标准,即北美的 IS-54、欧洲的 GSM 和日本的 PDC。1989 年,美国 Qualcomm 公司将 CDMA 技术引入到蜂窝移动通信中。1993 年 7 月,美国公布了由 Qualcomm 公司提出并获得 TIA/EIA 通过的 IS-95 标准,该标准定义的 CDMA 系统 (亦称 Q-CDMA 系统)是具有双模式运行能力的窄带码分多址 (N-CDMA) 数字蜂窝移动通信系统。这些系统于 20 世纪 90 年代相继在世界各地问世并投入商用,它标志着移动通信跨入了第二代。

随着经济社会的发展以及信息个人化、业务多样化、综合化,移动通信的第三代系统进入了研制阶段。ITU 提出第三代移动通信系统的目的是为了克服第二代移动通信系统因技术局限而无法提供宽带移动通信业务的缺陷,并把它命名为 IMT-2000,它取意于工作在 2000MHz 频段上、在 2000 年左右商用的全球移动通信系统。IMT-2000 的目标是全球统一频段,统一标准,全球无缝覆盖;实现高质量服务、高保密性能、高频谱效率;提供从低速率话音业务到高达 2Mbit/s 的多媒体业务。

第三代移动通信是 21 世纪的移动通信方式,其特点是向个人通信方向发展。个人通信网是一个要求能在任何时间、任何地点与任何人进行各种业务通信的通信网。这里指的个人通信是既能提供终端移动性,又能提供个人移动性的通信方式。终端移动性是指用户携带终端连续移动时也能进行通信,个人移动性是指用户能在网中任何地理位置上,根据通信要求选择或配置任一移动的或固定的终端进行通信。提供个人通信的网络是由采用各种技术手段的多个网综合而成的一个无缝网,不管用户在哪里都能找到;用户可以在任何地方用有线方式或无线方式进网,获得双向通信能力;向用户提供的业务仅受接入网或终端网以及用户终端能力的限制;网络能够按照个人的意愿和要求来提供必要的服务功能。

近几年来,移动通信发展十分迅速,全世界 2001 年 5 月移动用户突破 7 亿,美国 2000

年 7 月 26 日突破 1 亿，中国 2001 年 8 月 15 日突破 1 亿。迄今，全世界已有 10 亿多用户。中国已达 2.2 亿用户，全国移动电话普及率达到约 15%。

1.1.2 我国移动通信发展概况

我国的移动通信发展很快。1982 年，上海首先使用 150MHz 频段开通了我国第一个模拟寻呼系统；紧接着，广州于 1984 年用同样的频段开通了我国第一个数字寻呼系统。截止到 2000 年，据不完全统计，全国的寻呼用户已超过 6500 万，每年平均以增加 1000 万户的速度发展。

1987 年我国第一个模拟移动电话网在广东珠江三角洲开通，采用的体制为 TACS。随后北京、秦皇岛、上海相继建成模拟移动电话系统，用户年增长率一直超过 100%。1994 年 11 月开始建成 GSM 数字网，1998 年模拟用户数量开始下降，2001 年 7 月关闭模拟网。到 2001 年 11 月底，我国移动用户达到约 1.4 亿户。

截止到 2002 年中国蜂窝移动用户的发展情况见表 1.1。

表 1.1 中国蜂窝移动用户发展情况 (单位: 万户)

年份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
中国移动总用户数	156.78	362.94	684.81	1325	2357	4324	8526	14100	20037
中国移动模拟用户数	150.04	347.27	520.7	640.3	626.8	459	250		
中国移动数字用户数	6.74	15.67	164.11	683	1729.8	7829	6400	10050	12929.8
中国联通 GSM 移动用户数		3	10	40	141	521	1850	3930	5400
中国联通 CDMA 移动用户数								120	701.2

从市场发展趋势分析，可以预见我国的蜂窝移动电话市场还会在一定时期内保持较高的增长速度，并逐渐向移动数据发展过渡。“十五”期间，我国的移动数据用户规模将达到 4500 万~5000 万，其中，宽带用户达到 400 万~450 万。

从网络发展的目标分析，到 2005 年，移动通信网将覆盖全国所有县市以及绝大部分交通干线、旅游区。数据通信网络将覆盖全国所有中心城镇。网络接通率将达到 95% 以上；全国的等效语音信道数将达到 2000 万左右，网络交换容量将达到 3.64 亿户左右；将建成适应各种业务发展需要的客户服务、计费、结算与信息系统和 No. 7 信令网、网管网和同步网等支撑网。

从技术发展的目标分析，“十五”期间，GSM 和 CDMA 仍将是网络的主流，技术发展的重点是在现有网络的基础上，完善网络覆盖、增强网络业务提供能力；优化网络、提高运行质量和服务质量，将成为工作的重点之一。考虑到移动通信业务也将由语音扩展到数据业务的情况，因此，加强移动数据网建设，尤其是根据市场需求加快第二代移动通信网的建设，以提供多种速率的移动数据业务，开展丰富的特色服务，是技术发展的重要方面。第三代移动通信系统的网络和业务的试验工作将积极进行，并根据技术的成熟程度，适时引入第三代移动通信系统，实现移动网络由第二代向第三代的升级，提供以移动数据多媒体业务为

主要特征的第三代业务，促进我国移动通信发展水平的全面提高。与此同时，还要关注第四代移动通信的技术发展。

从业务发展目标分析，“十五”期间，随着移动通信技术的进步，新移动运营商的出现，移动通信领域的竞争会越来越激烈，竞争的手段和方式也会由最初的、最简单的价格战，而向比服务质量、比综合业务的深层次发展。因此，努力拓展业务领域，积极向一个综合业务运营商角色转变已成为目前各个移动运营商思考的重点。同时，移动通信与其他业务领域（如固定网、因特网）的相互融合和相互渗透已经成为一种必然。总体上讲，“十五”期间移动通信领域的业务发展策略主要包括：①语音业务仍是移动通信领域的基本业务，是各移动运营商收入的主要来源。②预付费业务和灵活的资费套餐业务是吸引新用户的有效手段。③IP电话业务成为长途电话领域引入竞争、提高长话收入的有效手段。④移动智能业务是移动运营商丰富业务种类、开拓市场空间、提高服务水平、增加业务收入的主要手段。⑤短消息、移动数据和移动因特网开始逐步成为移动业务领域的热点。⑥新业务应用具有良好的应用前景。

1.1.3 移动通信系统的组成

移动通信系统一般由移动台（MS）、基站（BS）及移动业务交换中心（MSC）组成。它与市话网通过中继线相连接，如图 1.1 所示。

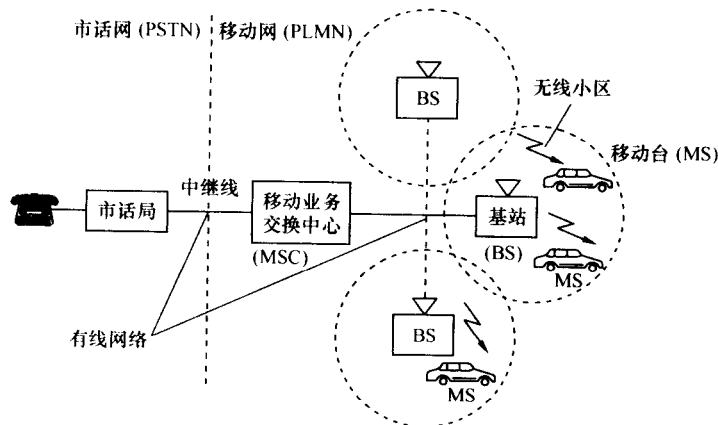


图 1.1 移动通信系统的组成

基站和移动台设有收、发信机和天馈线等设备。每个基站都有一个可靠通信的服务范围，称为服务区。服务区的大小主要由发射功率和基站天线的高度决定。按照服务面积的大小可将服务区分为大区制、中区制和小区制 3 种制式。大区制是指一个城市由一个无线区覆盖。大区制的基站发射功率很大，无线区覆盖半径在 30~50km 范围。小区制一般是指覆盖半径为 1~35km 的区域，且由多个无线区链合而成整个服务区的制式。小区制的基站发射功率很小。目前发展方向是将小区进一步划小，成为宏区、毫区、微区、微微区，其覆盖半径降至 50m 以下。中区制则是介于大区制和小区制之间的一种过渡制式。

移动业务交换中心主要是提供路由器进行信息处理和对整个系统进行集中控制管理。移动业务交换中心还因系统不同而有几种名称，如在 AMPS 系统中，移动业务交换中心称为移动交换局（MTSO），而在 NMT-450 及 900 系统中，它又称为移动交换机（MTX）。

移动通信的工作条件一般都比较差，在陆地上受地形、地物和环境干扰等因素的影响较严重。

1.1.4 移动通信的应用

目前已有的移动通信业务主要有：

(1) 汽车调度通信：出租汽车公司或大型车队建有汽车调度台，车上有汽车电台，可以随时在调度员与司机之间保持通信联系。

(2) 公众移动电话：这是与公用市话网相连的公众移动电话网。大中城市一般为蜂窝小区制，小城市或业务量不大的中等城市常采取大区制。用户有车台和手持台两类。

(3) 无绳电话：这是一种接入市话网的无线话机。它将普通话机的机座与手持收发话器之间的连接导线取消，而代之以用无线电波在两者之间建立无线连接，故称为无绳电话。一般可在 50~200m 的范围内接收或拨发电话。

(4) 无线寻呼：这是一种单向无线通信，主要起寻人呼叫的作用。当有人寻找配有寻呼机的个人时，可用一般电话拨通寻呼台，寻呼台的操作员将被寻呼人的寻呼机号码由寻呼台的无线寻呼发射机发出，只要被寻呼人在该寻呼台的覆盖范围之内，其所配的寻呼机收到信号即发出设定的声响或振动（俗称 BP 机或 BB 机）。

(5) 集群无线电话：这实际上是把若干个原各自使用单独频率的单工工作调度系统，集合到一个基台工作。这样，原来一个系统单独用的频率现在可以为几个系统共用，故称为集群系统。

(6) 卫星移动通信业务：这是把卫星作为中心转发台，各移动台通过卫星转发通信。它特别适合于在海上移动的船舶之间的通信，也适用于航空通信。

(7) 个人移动通信：个人可在任何时候、任何地点与其他人通信，只要有一个个人号码，不论该人在何处，均可通过这个个人号码与其通信。

1.1.5 移动通信的射频工程

若移动通信系统设计恰当，则可以几乎无限制地覆盖世界各地。若移动通信服务区的地形是规则的，没有诸如隧道、山岗、高大建筑物、地形凹陷等复杂情况，其覆盖效果尤其好。然而，当移动通信系统发展到一定阶段后，就不应满足于初期系统的基本服务要求，而应把注意力集中于优化和改善服务。这是相当重要的，因为移动通信运营者之间的竞争决定于覆盖的质量。实际上，提高覆盖质量或增加覆盖面积可以为每个移动通信系统运营者带来更大的收益。需要加强覆盖的区域可分为如下几类：

(1) 盲区：移动通信区域内较小的盲点以及移动通信工作区的边界地带称为盲区。在这些盲区中，可能出现的问题是语音质量较差或经常掉话，甚至完全不能通话。

(2) 高密度区：在用户密度特别高，话务量特别大的“热点”地区，如购物中心、娱乐中心、商务中心、会议中心、停车场等地区，经常出现移动通信信道被占满而使通信质量下降，甚至出现阻塞的情况。

(3) 边缘地区：这些地区是现有服务区的边界，其服务质量勉强能达到要求，但同时该地区又有很多潜在的用户。只有更好地覆盖才能吸引更多的用户。

(4) 狭长地区：这些狭长地区有很高的业务量。它们从一个主要的服务区延伸出来，或

者连接两个相邻系统，比如一条穿过人口密度较低区域的繁忙的高速公路。在这种情况下，用户希望有连续的服务。

尽管其在人口稠密的一般地区覆盖质量很好，但以上问题很可能导致用户的不满，并损害移动运营公司的声誉。因此，这将降低用户基数的增长速度。同时，如果另一移动运营公司在这一地区覆盖得更好，那么用户可以更换到其他的公司。

根据不同的地理环境及应用场合，解决这些覆盖问题的方案是不同的，这需要认真分析，区别对待。目前，国内一些公司已经开发设计出一系列高标准、高性价比的无线覆盖整体解决方案：

(1) 室内覆盖综合解决方案：目前存在多种室内微蜂窝覆盖系统方案，解决室内优化覆盖问题。

(2) 城市街道覆盖综合解决方案：掉话、切换频繁、单通、有杂音等现象是城市街道网络覆盖经常出现的问题，通过反复路测，配合客户调整网络参数，结合微蜂窝、直放站进行优化覆盖，可提供完整的综合解决方案。

(3) 城市小区覆盖综合解决方案：利用一点对多点无线覆盖系统、光纤远端无线系统、综合射频转发系统等方案可以解决城市小区的优化覆盖问题。

(4) 城市地铁综合解决方案：利用室内覆盖和隧道覆盖基本技术，可以成功解决城市地铁的优化覆盖问题。

(5) 隧道、溶洞覆盖综合解决方案：利用光纤直放站、无线直放站、太阳能直放站以及基站塔顶放大器等手段可实现超大型公路隧道、铁路隧道及溶洞等的优化覆盖。

(6) 公路、铁路综合解决方案：利用微蜂窝、无线直放站、光纤直放站、太阳能直放站等多种方案可以实现公路、铁路的优化覆盖。

(7) 广大乡村覆盖综合解决方案：利用塔顶放大器、微蜂窝放大器、远端无线系统以及高增益多波束定向天线等多种手段可解决边远农村的覆盖。

(8) 电梯覆盖解决方案：有多种手段可实现进出电梯和高速运行中电梯内的切换。

(9) 海域、海岛覆盖综合解决方案：海域、海岛覆盖是新兴的覆盖目标区域。由于该覆盖区的特殊性，区域广、话务量少，可以利用大功率直放站或塔顶放大器实现覆盖，做到最佳性价比。

(10) 风景区覆盖综合解决方案：这种综合解决方案可以提供从室外风景区覆盖到室内溶洞覆盖，从名胜古迹到地下暗河覆盖。

(11) WLAN 综合解决方案：采用 GSM/CDMA 和 WLAN “三网合一” 解决方案，将是移动运营商最佳选择的方案，可为将来 3G 引入打下良好的基础。

(12) 其他：实际上，还会有其他一些优化覆盖系统方案，如航母游乐港室内信号覆盖系统、大型展览场馆、大型运动会场馆覆盖系统等。

1.2 小区制移动通信网的构成方法

1.2.1 小区的构成和分布

大区制移动通信网的构成比较简单，适用于用户密度不大或通信容量较小的系统，一般

用户数在 1000 个以下，总业务量在 20 爱尔兰以下。在用户密度较大或通信容量较大的情况下，一般采用小区制移动通信网。

所谓小区制移动通信网就是将整个服务区划分为多个无线电区，每个无线电区分别设置一个基地台（基站）负责对本区的通信联络进行控制，同时又可在移动电话交换中心的统一控制下，实现无线电区之间移动用户通信转接及移动用户和市话用户的联系。根据用户的区域分布，小区制移动通信网可以是链状网和网状网。

1. 链状网

链状网主要用于覆盖公路、铁路、海岸、城市街道等，如图 1.2 所示。

基站若用全向辐射天线，其覆盖区的形状是圆形的。链状网宜采用有向天线，使每个小区是扁圆形。链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，如图 1.2 (a) 所示，称为二频组。若以采用不同信道的三个小区组成一个区群，如图 1.2 (b) 所示，称为三频组。若以采用不同信道的四个小区组成一个区群，如图 1.2 (c) 所示，称为四频组。从造价和频率资源的利用而言，当然二频组最好；但从抗同频道干扰的性能而言，二频组最差，还应考虑采用多频组。

在移动通信中，由于移动台经常处于运动状态，所以在基地台与移动台之间的电波传播状态也随时随地发生着变化，所以小区域与小区域之间很难找到一个明显的分界线。但为了在区域的边缘地区也能随时随地保证通信不中断，往往设计时要考虑一定的场强交叠区。这个交叠区的大小与地形、地物的影响有密切关系。一般说，希望相邻两个区域的场强交叠有一适当的深度，使得移动台接收一个区域的基地台的信号很差，而接收另一个区域基地台的信号却很好（移动台对两个基地台的通信都不良的概率分别等于对每一基地台不良的概率之积，一般很小），这样就可以通过调整交叠深度减少可能出现的弱电场地带。但是在二频制的情况下，重叠过深就会导致更加严重的越区干扰。

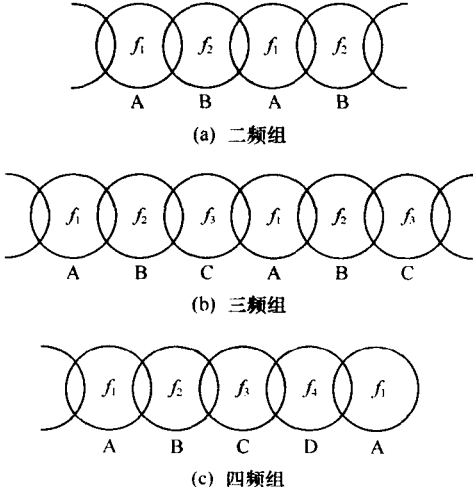


图 1.2 链状网

所以在区域边缘地区也能随时随地保证通信不中断，往往设计时要考虑一定的场强交叠区。这个交叠区的大小与地形、地物的影响有密切关系。一般说，希望相邻两个区域的场强交叠有一适当的深度，使得移动台接收一个区域的基地台的信号很差，而接收另一个区域基地台的信号却很好（移动台对两个基地台的通信都不良的概率分别等于对每一基地台不良的概率之积，一般很小），这样就可以通过调整交叠深度减少可能出现的弱电场地带。但是在二频制的情况下，重叠过深就会导致更加严重的越区干扰。

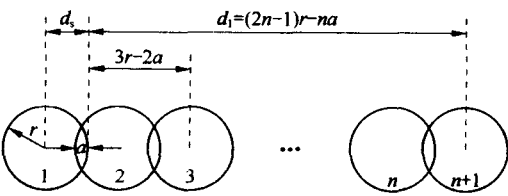


图 1.3 链状网的同频道干扰

n 频组的链状网如图 1.3 所示。每个小区的半径为 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，可以算出信号传输距离 d 和同频道干扰传输距离 d_1 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，二频组最多只能获得 19dB 的同频道干扰抑制比，这通常是不够的。

表 1.2

同频道干扰

		二 频 组	三 频 组	n 频 组
d_s/d_1		$r/(3r-2a)$	$r/(5r-3a)$	$r/[(2n-1)r-na]$
I/S	$a=0$	-19dB	-28dB	$40\lg [1/(2n-1)]$
	$a=r$	0dB	-12dB	$40\lg [1/(n-1)]$

2. 网状网

网状网主要用于服务区较宽的区域，例如汽车电话系统。它是多个小区平面分布，并以一定的重复图案无间隙地覆盖着整个服务区，构成比较复杂，以下主要介绍这种组网方式。

移动通信的电波传播受到地形、地物等影响，小区形状比较复杂。若假设无线电波在所有方向上都均匀传播以及在收、发之间没有障碍物的话，那么小区将提供理想的圆形形状覆盖。但是，事实上，当考虑到地形、地物，特别是无线电波遇到障碍物后，小区覆盖的形状变化非常大，如图 1.4 所示。在小区的某些地方还会出现信号覆盖不到的盲区。由于在微蜂窝环境中可能出现非常独特的覆盖形状，因此，在网络规划阶段，至少在理论规划阶段，为简化规划和设计，可采用模型化的方法，即设服务区的地形、地物相同，而且基站也是规则配置的。



图 1.4 理论上和实际小区覆盖之间的差异

如上所述，为研究方便，假定整个服务区的地形、地物相同，基站采用全向天线，它的覆盖区大体上是一个圆，即无线区是圆形的。当多个小区彼此邻接覆盖整个服务区时，用圆的内接正多边形来近似地代替圆，是比较方便符合实际情况的。可以证明，由正多边形彼此邻接构成平面时，只能是正三角形、正方形和正六边形，如图 1.5 所示，它们分别称为正三角形小区、正方形小区和正六边形小区。下面分别介绍它们的特征。

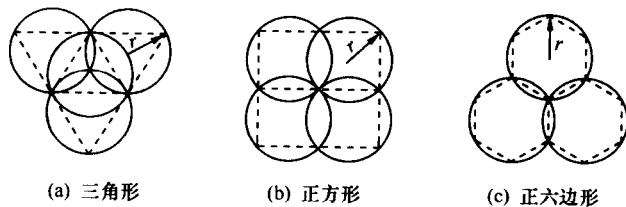


图 1.5 各种网状区域组成方式

由正多边形彼此邻接构成平面时，只能是正三角形、正方形和正六边形，如图 1.5 所示，它们分别称为正三角形小区、正方形小区和正六边形小区。下面分别介绍它们的特征。

(1) 小区间隔：设小区的半径为 r 。采用上述 3 种方法覆盖平面时，对于相邻小区的中心间隔，若正三角形为 r ，则正方形为 $\sqrt{2}r$ ，正六边形为 $\sqrt{3}r$ 。由此可知，正六边形的小区间隔最大，如图 1.6 所示。

(2) 小区面积与重叠面积：采用半径相同的圆形小区来配置小区时，单位小区面积与重叠部分的面积随正多边形不同而异，如图 1.7 所示。表 1.3 示出了正三角形、正方形和正六边形单位小区面积及它们的重叠部分的面积。由此表可知，覆盖相同区域时，采用正六边形的结构所需的小区数目最少。重叠小区宽度也随正多边形不同而异，正三角形为 r ，正方形为 $(2-\sqrt{2})r = 0.59r$ ，正六边形为 $(2-\sqrt{3})r = 0.27r$ 。重叠小区宽度的定义如图 1.8 所示。