

A. 麦罗拉 著

聂涛 王京 李承耀 译

蜂窝移动通信 工程设计



人民邮电出版社

蜂窝移动通信工程设计

A. 麦罗拉 著
聂涛 王京 李承耀 译

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书主要介绍蜂窝移动通信工程的有关内容。全书共分十章。第一章是蜂窝移动无线电导论；第二章讲述蜂窝移动通信的数学基础；第三章介绍蜂窝移动通信的环境；第四章介绍电波传播；第五章讨论天线系统；第六章介绍同信道和邻信道干扰；第七章介绍模拟调制和数字调制；第八章讲述分集与合成；第九章介绍信号处理与编码；第十章介绍无绳电话和个人通信。

本书可供从事移动通信的科研、工程技术人员以及相关院校的师生阅读和参考。

蜂窝移动通信工程设计

◆ A. 麦罗拉 著

聂涛 王京 李承耀 译

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街14号

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:850×1168 1/32

印张:16

字数:421 千字

1997年1月第1版

印数:1—3 000册

1997年1月北京第1次印刷

图 01-95-665

ISBN7-115-06437-7/TN·1177

定价:29.00 元

版 权 声 明

本书为阿尔泰克出版社(美)独家授权的中文译本。本书的专有出版权属人民邮电出版社所有。在没有得到本书原版出版者和本书出版者的书面许可之前,任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本书的部分或全部,以任何形式(包括资料和出版物)进行传播。

©1988

本书原版版权属阿尔泰克出版社(Artech House)。

版权所有,侵权必究。

本书原版书名 Cellular Radio Performance Engineering
作者 Asha Mehrotra

译者前言

移动通信是现代通信领域中发展最为迅速的一种通信方式,它已经成为人类通信中必不可少的一种通信工具。移动通信系统在总体设计、研制、生产和安装等方面都有其自身的特点,本书作者针对这些特点,总结了近年来国际上移动通信系统的发展成果,系统地阐述了移动通信中涉及的基本理论和工程设计问题,包括通信基本理论、传播和衰落特性、天线和分集、调制和解调技术、同信道和邻信道干扰等内容。

本书的特点是侧重工程性,数学推导和具体工程实例相结合,非常适合于工程技术人员参考使用。另外,书中引用了大量较新的参考资料,公式推导严谨,条理清楚,每章后附有习题,也非常宜于作为研究生或高年级本科生教材。

本书第一章和第十章的翻译工作由李承耀完成,第二章和第九章的翻译工作由聂涛完成,第三章到第八章的翻译工作由王京完成。在本书的翻译工作中,张倩等同志也参加了翻译和审校工作,对他们的帮助我们表示衷心的感谢。

由于译者水平有限,如在本书中有错误或不能充分体现原著内容的地方,敬请读者批评指正。

前 言

蜂窝移动通信是移动通信中飞速发展的一个领域。在近十年来,移运通信的运营发生的奇迹般的变化已经对通信和社会生活产生了深刻的影响。在 80 年代初期才出现的模拟系统,当时的发展前景是不清晰的。然而,由于用户的迅速增长,在整个工业化世界中,一些低容量模拟系统已迅速由数字系统所取代。欧洲和美国已经推出自己的以 TDMA 技术为基础的系统。预期在今后几年中,大多数国家中的模拟系统将由其相应的数字系统所取代。可以预料数字式 TDMA 系统将来必定不能满足日益增长的容量要求,并将迫使系统的经营者换用更大容量的系统,例如 CDMA 系统。在世纪之交,以微蜂窝技术为基础的个人通信系统(PCS)可以是一个候选系统,用于满足单独的话音和数据通信的要求。美国近年来在 1.85~2.2GHz 频段中分配 220MHz 频谱,就是从上述发展方向考虑的。

没有一本书能包括蜂窝移动通信的所有方面。因此,本书重点将集中在一系列有关性能的题目上:蜂窝信道特性、传播、天线系统、干扰、调制、分集和信号处理。技术讨论中包括蜂窝移动通信的目前状况和未来前景,也讨论了微蜂窝技术其中包含无绳电话、PCN 和

PCS 服务。

对于在蜂窝通信中所用概率理论的简要介绍是采用一些事例,如:在反向信令信道的争用问题,峰值业务量的估计,快衰落和慢衰落,以及对电视信道的潜在移动干扰等问题。第三章对快和慢衰落的信道特性,两个独立衰落之间的空间距离,基于电平交叉速率的接收机阈值的决定,以及衰落持续时间等进行了数学分析。第四章在 900MHz 移动环境中建立了计算介值损耗所用的分析和实验模型。讨论了在建筑物、隧道、汽车库内的传播特性和 Carey 和 Okumura 的模型。

对天线系统的研究包含小区基站和移动天线的选择,以及各种不同的辅助设备,诸如发信机组合器、接收机多路耦合器、双工器、传输线等的逻辑理由。第五章广泛地论述了盲区效应天线安装和互调等,以及同信道和邻信道的问题,也包含了远近效应。已经表明在蜂窝移动通信中同信道问题是很重要的。第六章建议采用减轻同信道干扰的某些技术。并讨论了模拟和数字调制。第七章的重点是对移动数字调制的要求,以及用 MSK、GMSK 和 $\pi/4$ DQPSK 如何满足这些要求。也讨论了小区基站和移动台的分集和组合(以及最佳方法)的不同技术。第九章讨论了蜂窝移动通信的信号处理和数据格式方面的问题。包括基带信号特性,滤波,非线性信道均衡器的应用,以及帧同步作用的巴克码。讨论了消除衰落效应的有用的分组码的大数判决和交织技术。简要叙述了采用 RELPC 和 CELP 算法的更新的语音编码。最后,第十章讨论了对微蜂窝系统的要求,以及对无绳电话(CT1 和 CT2)和数字式欧洲无绳电信(DECT)系统的要求。第 10 章也论述了称为 PCS/PCN 的新一代服务;讨论了其在欧洲和美国的现状。

本书可供将从事蜂窝领域实际工作的工程师和高年级大学生或

者研究生之用。对于工程师,假定他们都具有电气工程学士学位和某些移动通信方面的工作知识。对于大学生,则假定他们已学习过通信工程的高年级课程。

谨以数语表谢意。首先,我得感谢 TASC 公司同意出版本书;我感谢我的同事 Richard G. Moldt 帮助我校阅全书,感谢 Michael Scheidt 在编写本书期间的不同阶段给予的参考意见;我特别感谢华盛顿大学的 R. Pickholtz 教授,他帮助我编写本书,我也要感谢华盛顿大学的我的研究生,他们对我的帮助是提出了一些恰当的问题,促使我思考;我也得感谢本书的审阅人提出的极好意见。

我编写这本书,如果没有全家的持续支持是完成不了的。感谢我的妻子 Nisha,我的女儿 Anuja、Sonia 和 Vinita,我的儿子 Neil。特别感谢我 17 岁的女儿 Sonia,她绘制了所有附图,并在最近几年中为本书的工作尽心尽力。

目 录

第一章 蜂窝移动通信导论	1
1.1 移动通信简史	1
1.2 本书的组织	6
参考文献	7
第二章 数学基础	8
2.1 引言	8
2.2 统计理论	9
2.2.1 概率论的定义与公理	10
2.2.2 联合、边缘与条件概率	11
2.2.3 随机变量、概率分布与概率密度	13
2.2.4 契比雪夫不等式	17
2.2.5 随机变量的变换	18
2.2.6 常用的概率分布	19
2.2.7 电平交叉率与衰落平均时段	31
2.2.8 随机过程	32
2.2.9 功率谱密度	33
2.2.10 线性时恒系统	34

2.2.11 窄带噪声的正交表示	35
2.3 小结	36
习题	37
附录 2A	40
参考文献	43
第三章 蜂窝移动通信的环境	44
3.1 介绍	44
3.2 快衰落与慢衰落的统计特性	47
3.2.1 短期统计	49
3.2.2 快、慢衰落的联合统计特性	55
3.3 接收信号的频谱密度	57
3.4 电平交叉	62
3.5 电场、磁场的空间相关性	67
3.6 两个信号的相关性:相干带宽	70
3.7 信道模拟器设计	74
3.8 环境噪声	76
3.8.1 点火噪声	77
3.9 结论	79
习题	80
参考文献	81
第四章 电波传播	83
4.1 介绍	83
4.2 传播特性	86
4.2.1 与传播有关的参数	86
4.2.2 地形参数	91
4.3 自由空间传播	95
4.3.1 发射功率与接收场强密度的关系	96
4.3.2 自由空间损耗	98
4.4 平坦表面的传播	99
4.4.1 复式介电常数等式	104

4.4.2 反射系数	105
4.5 地面曲率效应	106
4.6 地球半径的等效概念	109
4.6.1 平坦球面布灵顿-3 损耗方式	112
4.7 电波传播体积:菲涅尔区	114
4.8 刀形边缘传播	121
4.8.1 多重刀形绕射	123
4.9 不平坦表面准则	129
4.10 UHF 传播模型	131
4.10.1 在 UHF 频段的普通测试模型	141
4.10.2 测试结果	144
4.10.3 对模型的修正	150
4.11 结论	156
习题	158
参考文献	160
第五章 天线系统	162
5.1 概述	162
5.2 天线增益	163
5.2.1 两个天线的组合增益	169
5.2.2 极化	172
5.2.3 带宽	173
5.3 基站天线	174
5.4 移动台天线	177
5.5 附属设备	188
5.5.1 合路器	189
5.5.2 接收耦合器	194
5.5.3 双工器	197
5.5.4 馈线	198
5.6 蜂窝系统天线的问题	200
5.6.1 死区	201

5.6.2 接收天线和发射天线的隔离度	204
5.6.3 天线安装	207
5.7 接收机噪声	208
5.7.1 噪声等效带宽	208
5.7.2 噪声系数	209
5.7.3 级联网络	211
5.8 互调	213
5.9 结论	217
习题	218
参考文献	221
第六章 同信道和邻信道干扰	222
6.1 简介	222
6.2 同信道干扰	223
6.2.1 概率统计模型	230
6.2.2 减小同信道干扰	235
6.3 邻信道干扰	240
6.3.1 邻信道干扰的控制	241
6.4 近端与远端之比	246
6.5 结论	247
习题	249
参考文献	249
第七章 模拟调制和数字调制	251
7.1 介绍	251
7.2 模拟角调制	254
7.2.1 角调制特性	255
7.2.2 FM 频谱	256
7.2.3 FM 信号生成	259
7.2.4 FM 解调	262
7.3. 数字技术的详细要求	266
7.3.1 频谱利用率的调制技术	267

7.3.2	邻信道干扰	269
7.3.3	好的比特差错率(BER)性能	269
7.3.4	有效的利用移动台直流电源功率	270
7.3.5	适用于蜂窝移动通信环境	271
7.3.6	实现容易	271
7.4	数字调制	271
7.4.1	BFSK 调制	271
7.4.2	BPSK 调制	276
7.4.3	QPSK 和 OQPSK	282
7.5	移动通信中实际的使用调制方式	289
7.5.1	MSK 调制	289
7.5.2	GMSK 调制	300
7.5.3	$\pi/4$ -DQPSK 调制	306
7.6	平滑频率调制	314
7.7	结论	317
	习题	318
	参考文献	320
第八章	分集与合成	322
8.1	简介	322
8.2	分集技术	324
8.2.1	时分分集	324
8.2.2	频分分集	325
8.2.3	空间分集	325
8.2.4	角度分集(方向分集)	328
8.2.5	场元素分集	332
8.2.6	极化分集	333
8.2.7	RAKE 分集	334
8.3	检波前和检波后合成器	334
8.4	合成技术	338
8.4.1	扫描分集合成器的细节	342
8.4.2	选择合成	346

8.4.3 最大比例合成	350
8.4.4 等增益合成	353
8.5 FSK 调制的分集有效性	355
8.6 选择合成、最大比例合成与等增益合成的比较	357
8.7 结论	359
习题	360
参考文献	362
第九章 信号处理与编码	363
9.1 简介	363
9.2 信号处理	365
9.2.1 基带信号的性质	365
9.2.2 基带滤波要求	372
9.2.3 锁相环原理	376
9.2.4 巴克码	401
9.2.5 均衡器	402
9.2.6 FM 系统中的语音处理	409
9.3 分组编码	416
9.3.1 香农界	416
9.3.2 硬判决与软判决	418
9.3.3 码率、冗余、权与距离	422
9.3.4 通过能力与编码增益	424
9.3.5 编码通信中报文传输的要求	426
9.3.6 多数表决(时间分集)	430
9.3.7 使突发差错随机化的交织技术	431
9.4 语音编码	438
9.4.1 语音编码的传输率	439
9.4.2 利差激励线性预测声码器	441
9.4.3 CELP 语音编码器	450
9.5 小结	451
习题	452
参考文献	452

第十章 微蜂窝移动通信:无绳电话和个人通信	454
10.1 概述	454
10.2 微蜂窝系统	456
10.2.1 微蜂窝系统的技术和运营要求	458
10.3 无绳电话	467
10.3.1 技术要求	471
10.3.2 无绳电话与蜂窝移动通信的比较	476
10.3.3 第一代无绳电话 CT-1	477
10.3.4 第二代无绳电话 CT-2	478
10.3.5 数字欧洲无绳电信(DECT)系统	483
10.4 PCN 服务	487
10.4.1 PCN 与蜂窝的比较	489
10.4.2 欧洲的 PCN	489
10.4.3 美国的 PCN	491
10.4.4 CDMA 系统期望具有的技术特性	492
10.5 小结	494
习题	494
参考文献	495

第一章

蜂窝移动通信导论

1.1 移动通信简史

移动通信的早期历史是与警察的先驱工作有关。早在 1921 年,美国底特律市的警察就在其车辆中使用了频带为 2MHz 的移动电话。第一个双向移动通信系统约在 1933 年年中交付使用——也用的是 2MHz 频带——使用者为纽约市警察局。在 1934 年,FCC 准许用四个信道,其频带范围为 30~40MHz。到了 1940 年底,在警用车辆中就使用了 10000 多台无线电发信机,都为调幅发信机。阿姆斯特朗首先采用 FM 调制改变了移动通信的发展方向。虽然 FM 调制最初是在娱乐业中使用,后来,在 1940 年,FCC 准许 FM 调制用于除了娱乐业之外的其他服务中。这促进了移动通信的发展,而使陆地移动通信进入了一个新阶段。在陆地移动通信中使用调频的短短六年时间是如此可贵,其结果是各种类型的发信机就都改为调频发信机了。

在 1946 年,贝尔电话实验室(BTL)为美国圣路易斯市开办了第一个公用移动系统。在 1947 年,在纽约市与波士顿之间“高速公路”