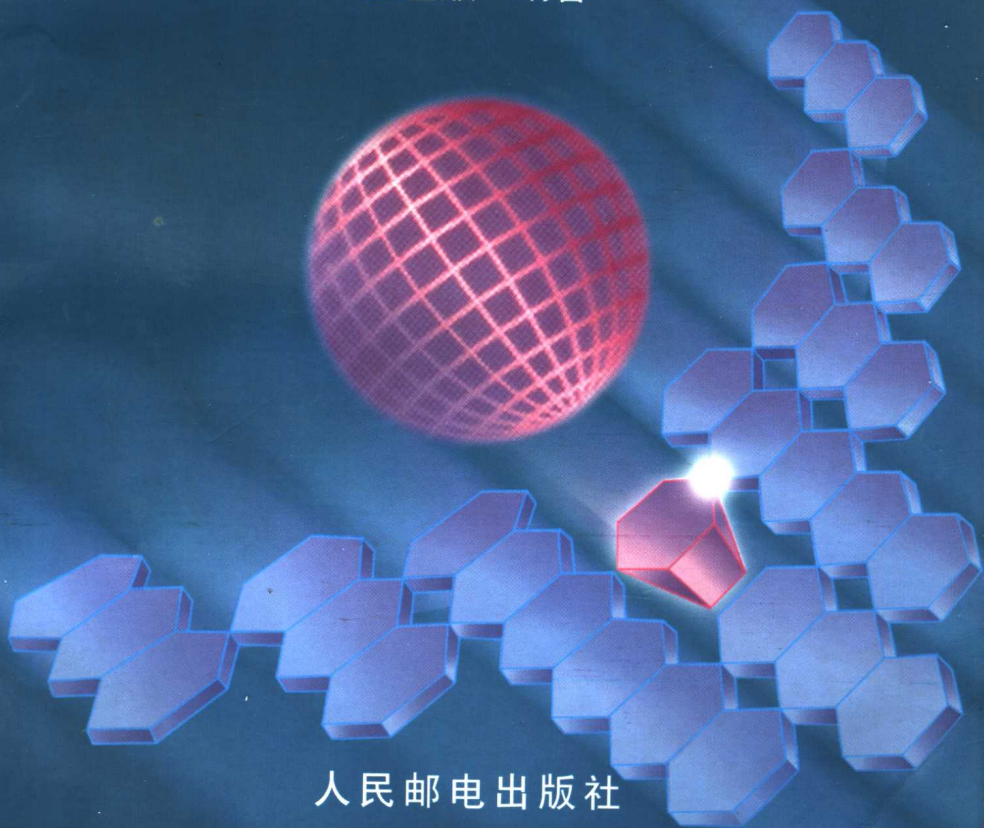


移动通信原理与应用

(修订本)

王世顺 编著



人民邮电出版社

移动通信原理与应用

修 订 本

王世顺 编著

人民邮电出版社

移动通信原理与应用

(修订本)

王世顺 编著

责任编辑 刘彬

*

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同 111 号

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1995年12月 第二版

印张:13.625 1995年12月 北京第四次印刷

字数:360千字 印数:19001—25000册

ISBN7-115-05939-X/TN·1006

定价:19.00 元

前 言

近年来,以移动用户为服务对象的移动通信,在国内外获得了极为迅速的发展。许多技术先进、经济发达的国家正在迅速开发和应用数字蜂窝系统,其中 GSM 已实现了国际联网。具有更高的频谱利用率、更好的通话质量、采用码分多址 (CDMA) 技术的第二代数字蜂窝系统也已开发成功。一些国家还在个人通信方面投入了更多的力量,以开发更多的 PCS (或 PCN) 实用化产品。在我国,到 1994 年底,模拟蜂窝电话用户已有 157 万,并于 1995 年上半年实现了全国联网。许多省、市、自治区也迅速地建立了 GSM 数字移动系统和即将建立第二代数字蜂窝系统 (CDMA)。新近成立的中国联合通信公司已在北京、天津、上海、广州等地建立了 GSM 系统,并已联网成功。这将加快我国通信事业的发展,促使服务质量不断地提高,促进社会经济和文化生活的进一步发展。

另外,深受人们欢迎的无线寻呼系统的发展更为迅速,无线寻呼正向全省、全地区乃至全国联网方向发展。到 1994 年底,总用户已超 1027 万。

在专用网方面,诸如集群系统、无中心多信道自动选址系统、无绳电话等发展得也极为迅速。

可以相信,在不远的将来,移动通信在我国会获得更加深入的发展。

本书是作者根据近 10 年移动通信课程的教学经验、使用过的教材和讲稿,并参阅了国内外其它一些论文、报告和文献资料后编写

而成的。

本书内容立足于移动通信的普遍原理，而不拘泥于某种移动通信方式或者某个系统的阐述。因此，本书虽以较多篇幅阐述蜂窝系统，但仍既适合于公众网，也适合于专用网；既适合于理论教学，也适合于工程实际；既适合于作为相关高校无线电通信专业教材，也适合于通信工程技术人员和无线电爱好者结合自己的工作阅读、参考。

本书除介绍移动通信的基本原理和应用技术之外，还尽可能结合目前移动通信的发展，较详细地介绍分集、信源编码、信道编码、差错控制、数字调制、CDMA 数字蜂窝系统、跟踪交换、信息加密、用户鉴权等移动通信最新发展的理论和技术，以飨读者。

限于作者的水平，书中一定存在不少缺点和错误，谨请读者批评指正。

作 者

1995 年 7 月于南京

目 录

第 1 章 移动通信概述	1
1.1 引言	1
1.2 移动通信的发展概况	2
1.3 移动通信系统的工作方式、组成和特点	7
1.3.1 移动通信系统的工作方式	7
1.3.2 移动通信系统的组成	10
1.3.3 移动通信系统的特点	11
1.4 主要技术动向和发展趋势	13
复习题	15
第 2 章 移动通信的电波传播	16
2.1 引言	16
2.2 地面移动通信的电波传播	17
2.2.1 地面移动通信电波传播的基本特点	17
2.2.2 准平滑地形上的传播特性	27
2.2.3 不规则地形上的传播特性	36
2.2.4 传播特性的其它预测法	43
2.2.5 大楼穿透损耗的预测	51
2.3 限定空间的电波传播	53
2.4 海上移动通信的电波传播	56
2.5 航空（航天）移动通信的电波传播	57

2.6 计算机场强预测法.....	59
2.6.1 地形地物数据库.....	60
2.6.2 场强预测.....	64
2.6.3 爱立信公司的场强预测技术.....	65
2.7 分集接收技术.....	68
复习题	74
第3章 外部噪声和干扰	76
3.1 人为噪声.....	76
3.1.1 均值和标准方差.....	76
3.1.2 机动车平均交通噪声.....	78
3.2 干扰.....	78
3.2.1 交调干扰.....	79
3.2.2 邻波道干扰.....	91
3.2.3 同波道干扰.....	98
3.2.4 近端对远端比干扰.....	98
3.2.5 码间干扰.....	99
复习题.....	102
第4章 调制技术.....	105
4.1 角度调制的基本原理	106
4.1.1 宽带调频与窄带调频	108
4.1.2 相位调制	114
4.1.3 话音调相与数据调频	117
4.2 移动信道条件下的调频理论	120
4.2.1 无衰落情况	123
4.2.2 瑞利衰落情况	130
4.3 数字调制及其窄带应用	137
4.3.1 数字调制的一般理论	137

4.3.2 窄带应用条件	149
4.3.3 QPSK、OQPSK 及 $\frac{\pi}{4}$ -QPSK 方式	149
4.3.4 TFM、GMSK 方式	158
复习题	169
第5章 信源编码和信道编码	171
5.1 信源编码	171
5.1.1 线性预测编码	174
5.1.2 规则脉冲激励、长时预测、 线性预测语音编码	180
5.1.3 码本激励线性预测编码	189
5.1.4 矢量量化语音编码	192
5.1.5 矢量和激励的线性预测编码	195
5.2 信道编码	199
5.2.1 信道编码原理及信道编码保护	200
5.2.2 GSM 信道编码的总体方案	201
5.2.3 差错控制技术	204
复习题	219
第6章 移动通信工程	221
6.1 在移动无线电环境中的独立电磁场	221
6.2 无线电波极化影响	223
6.3 移动通信网的构成	227
6.3.1 服务区形状	228
6.3.2 蜂窝状移动通信网	232
6.3.3 小区分裂	249
6.3.4 SAT 和 DCC 的配置原则	251
6.3.5 入网方式	255

6.3.6	移动通信的联网结构	259
6.3.7	编号方式	264
6.4	信令	270
6.4.1	信令方式	270
6.4.2	信令系统	279
6.4.3	呼叫过程	283
6.5	移动通信的交换技术	286
6.5.1	空分交换	286
6.5.2	时分交换	287
6.5.3	二维交换	287
6.5.4	移动通信特有的交换技术	291
6.6	系统设计	305
6.6.1	合格信息标准和系统输出信噪比 S_0/N_0	305
6.6.2	移动通信系统基本公式	307
6.6.3	性能余量 PM	310
6.6.4	通信概率	311
6.6.5	通信范围	312
6.6.6	所需天线高度	313
6.6.7	提高抗干扰能力的措施	313
6.6.8	BHCA 计算	317
	复习题	319
第 7 章	有效利用频率技术	322
7.1	无线电频谱的性质	322
7.2	有效利用频率技术	323
7.2.1	多波道选址方式	323
7.2.2	波道指配	328
7.2.3	波道的自动选择方式	330
	复习题	334

第 8 章 移动通信系统	335
8.1 无线呼叫系统	335
8.1.1 概述	335
8.1.2 信号及编码方式	337
8.1.3 寻呼接收机	341
8.1.4 无线寻呼系统电波传播特点	345
8.1.5 无线寻呼系统中的干扰及其改善措施	345
8.2 手持式移动电话系统	347
8.2.1 概述	347
8.2.2 人体的影响	348
8.2.3 系统控制考虑	348
8.3 限定空间的移动通信系统	350
8.3.1 概述	350
8.3.2 导引辐射	350
8.3.3 利用泄漏同轴电缆的隧道通信系统	353
8.4 地面移动通信系统	354
8.4.1 概述	355
8.4.2 控制系统	356
8.4.3 无线传输的数据格式	359
8.4.4 有线传输的数据格式	361
8.4.5 TACS 系统	362
8.4.6 新一代数字移动电话系统 GSM	364
8.5 无绳电话系统	365
8.5.1 系统构成	365
8.5.2 CT-3	366
8.5.3 CT-2	369
8.6 码分多址 (CDMA) 移动通信系统	376
8.6.1 CDMA 移动通信的特点	376

8.6.2	扩展频谱通信的基本理论	376
8.6.3	Q-CDMA 数字蜂窝系统	389
8.7	集群通信调度系统	397
8.7.1	基本结构	397
8.7.2	通信方式	398
8.7.3	工作过程	398
8.7.4	信道管理	399
8.7.5	信令方式	400
8.7.6	多址协议	400
8.7.7	集群技术	401
8.7.8	各国的集群系统	401
8.8	无中心多信道自动选址移动通信系统	402
8.8.1	接续过程	403
8.8.2	空闲信道检测	403
8.8.3	选呼信令	404
8.8.4	差错控制技术	404
8.8.5	组网特点	404
	复习题	405
第9章	移动通信设备的主要性能测试	406
9.1	测试方法	406
9.1.1	发信机部分	406
9.1.2	收信机部分	411
9.2	测试仪表	417
9.3	智能化测试系统	421
9.3.1	系统硬件结构	421
9.3.2	系统软件	422
	复习题	424
	参考文献	425

第 1 章 移动通信概述

1.1 引言

通信就是信息交流。随着社会的发展,人们期望着早日实现通信的理想目标,即无论何时何地都能及时可靠地实现与任何人的任何种类的信息交换(个人通信)。为此,在大力发展固定通信的同时,需要积极发展移动通信。

移动通信就是处于移动状态的通信对象之间的通信。它包括移动用户之间的通信,以及固定用户与移动用户之间的通信。可以认为,移动通信是固定通信的延伸,也是实现人类理想通信的不可缺少的手段。旨在实现移动通信的技术系统称为移动通信系统。

由于移动通信必须采用无线方式,具有机动、灵活的特点,所以在军事和人们的生产实践以及社会活动中得到日益广泛的应用。

近年来,移动通信技术发展很快。由于大规模集成电路、计算机和微处理器的应用,大大促进了移动通信设备的小型化、自动化,并使系统向大容量和多功能方向发展。同时也说明,移动通信是先进的电子技术、计算机技术和众多通信技术的综合。

目前,移动通信按活动范围可分为航空移动通信、海上移动通信和陆上移动通信;按服务对象可分为公共移动通信和专用移动通信。陆上移动通信的需求量大,用户多,应用广,技术也较复杂。现

在,我国许多城市和部门都在积极发展无线电话系统、无线寻呼系统、集群调度系统、无绳电话(CT-2)系统,以及其它形式的移动通信系统。预计今后若干年内,移动通信业务将有更大的发展,并将在整个通信业务中占据更加重要的地位。

1. 2 移动通信的发展概况

19 世纪末发明无线电不久,人们就认识到用无线电可以实现与地平面上移动体的通信,而这种可能性主要用于海上。至今,移动通信在技术、设备和服务规模等方面都取得了巨大的进展。移动通信的发展进程大致可分为三个阶段。第一阶段是本世纪 40 年代中期以前,这是移动通信的早期发展阶段。在此期间,初步进行了一些传播特性的测试,在短波的几个频段上进行了一些通信应用,例如 1921 年出现了有效的警车移动通信系统——最早的 2MHz 系统。第二阶段是 40 年代后期到 60 年代后期。在此期间,美国、荷兰、西德、日本以及英、法等国相继建立了各种用途的移动通信系统,例如船舶、飞机、汽车等各个专用系统,并于 1946 年在圣路易市出现了第一个公用通信系统。从技术上看,50 年代中期,实现了移动电话系统和公共电话网的连接,但接续是由话务员完成的。1964 年,出现了用户能直接拨号自动交换的 MJ 系统。MJ 系统是 IMTS 系统的一部分。从 60 年代至今,可视为第三阶段,即新体制的论证、研制和应用阶段。随着移动通信系统的广泛使用,用户不断增加与可用波道数目有限之间的矛盾越来越尖锐。显然,解决这一矛盾的途径是开发新频段和研究频率有效利用的技术以及体制。在此期间,日本、美国均开发了 800MHz 频段,并研制了蜂窝式模拟移动电话系统。例如,1976 年日本研制了“陆上移动电话系统”(LMTS),1979 年美国研制成功了“高级移动电话业务”AMPS (Advance Mobile Phone Service),又称为先进的移动电话业务,1992 年 10 月后又改

为自动信息处理业务。这两个系统均采用了先进的移动通信技术和交换技术。其主要性能如表 1.1 所示。

表 1.1 美国 AMPS 和日本 LMTS 系统的主要性能指标

性能指标		AMPS	LMTS
通 信 系 统	话音接续	全双工	全双工
	话音质量	在 90% 以上业务区内, 射频 $S/N > 18\text{dB}$, 与公共电话质量基本相同	在 76% 的业务区内可懂度 $> 80\%$
	呼损率	2%	3%
	交换	按键拨号, 全自动交换	按键拨号, 全自动交换
射 频 系 统	无线区	城市: 小区半径可达 4.8~16.1km 小区极限半径 1.61km	城市: 小区半径 5km 郊区: 小区半径可达 10km
	射频频段	移动台发: 825~845MHz 基站发: 870~890MHz	800MHz 频段
	用户数	几十万	10 万
	带宽	20MHz $\times$ 2 (收、发)	25MHz $\times$ 2 (收、发)
	波道间隔	30kHz	25kHz
	波道数	666	500 $\times$ 2
	调制	窄带调相	窄带调相
	频率稳定度	基站: $\pm 1 \times 10^{-6}$ 移动台: $\pm 2.5 \times 10^{-6}$	2×10^{-6}
	发射机输出功率	基站: 45W 移动台: 12W	25W 5W

续表

性能指标		AMPS	LMTS
交换 和 控制 系 统	跟踪交换	基站接收信号电平和监测音 延时测量启动话音波道交换	基站 S/N 监测启动话音波 道交换
	无线信令方式	建立波道中用数字信号, 话 音波道中用数字信号和单音 信号	建立波道中用数字信号, 话 音波道中用数字信号和单音 信号
	寻呼的选择	移动台扫描控制波道	等待呼叫波道
	话音波道选择	由移动交换中心分配	由移动控制台分配

英国在对各国移动通信体制作了详尽研究后, 于 1983 年在美国 AMPS 采用的 FCC 标准的基础上, 制订了自己的体制为全入网通信系统 TACS (Total Access Communication System)。也称为全存取通信系统。由于这种系统具有相当多的优点, 我国也将 TACS 作为自己的标准。表 1.2 给出了 FCC 和 TACS 标准的简要比较。

表 1.2 FCC 和 TACS 标准比较

标 准	FCC	TACS
频 带 (MHz)	800	900
信道容量 (信道数)	666/832	1000/1320
信道间隔 (kHz)	30	25
带 宽 (MHz)	20/25	25/33
双工间隔 (MHz)	45	45
数据速率 (kbit/s)	10	8
话音调制频偏 (kHz)	-8~+8	-6.4~+6.4
产品举例	CMS 8800	CMS 8810

如表 1.1 所示,美国联邦通信委员会 (FCC) 在其标准中,规定公众移动通信频率为 825~845MHz (移动台发,基站收) 和 870~890MHz (基站发,移动台收),共 666 对信道频率,且收发频率间隔 (即双工间隔) 为 45MHz。

为了鼓励竞争, FCC 还将 825~835 和 835~845 各 10MHz 的两组频率分别规定为 A 系统和 B 系统,可见 A 系统工作频率低, B 系统工作频率高。FCC 还在 835 和 880MHz 上下各划出 21 个信道,作为各自系统的控制信道,例如将第 313~333 信道定为 A 系统的控制信道。

在有些国家和地区不存在蜂窝网业务的竞争问题,即只有一个经营者,此时信道数可以加倍,而且其中一套控制信道可用作话音信道。

在 TACS 技术规范中,也存在上述相同问题。所不同的是,它是将 890~915MHz (移动台发,基站收) 和 935~960MHz (基站发,移动台收) 两个频段高端预留 10MHz 后,再从中间分开为两个频率段,且低频率段仍为 A 系统 (有时也称为 A 网),高频率段仍为 B 系统 (有时也称为 B 网)。TACS 规范中还规定了各个系统的 21 个控制信道。具体规定是: A 系统用第 23 到第 43 信道作为自己的控制信道, B 系统用第 323 到第 343 信道作为自己的控制信道。在我国有些省市,有时从两个公司引进 TACS 设备。由于这两个公司的设备组成、接口等有差异,互不兼容,因而需采用 A 系统和 B 系统;如果只采用由一家公司引进的设备时,则全频段可供其使用,控制信道为第 23 到第 43 信道,其它信道均用作通话的话音信道,于是使系统信道获得大大扩展。

为适应我国移动通信事业的迅猛发展,1995 年国家无线电委员会又以 3 号文形式作出数字蜂窝系统用频新规定。将 948~960MHz 以及 903~915MHz 划归数字蜂窝系统使用,还具体规定: 948~954MHz (基站发) 和 903~909MHz (基站收) 供邮电系统的蜂窝系统用; 954~960MHz (基站发) 和 909~915MHz 供联合通信公司的

蜂窝系统用。

除以上制式外，还有 NMT-450、NMT-900、HCMTS 等系统。以上均是模拟蜂窝系统。数字蜂窝系统已出现了多种制式并出现了两代产品。在第一代产品中全球蜂窝系统 GSM、数模兼容的 D-AMPS（又称 ADC）系统和日本数字蜂窝通信系统 JDC。其中以 GSM 商用最早、最广泛，也最早引入中国，目前，我国有相当多的省市开通了 GSM 数字蜂窝系统，并很快实现全国联网。第二代数字蜂窝系统样品——采用码分多址（CDMA）的数字蜂窝系统已经出现，并将在我国建网。它的容量将更大、技术更先进。

专用网系统则以集群系统发展尤为迅速；无绳电话系统则以 CT-2 发展最快，欧洲数字无绳电话 DECT 也处在积极开发之中；寻呼系统用户的发展是移动通信中最快的，寻呼信息表达形式也有数字、中文、外文、语音及图像等多种。

移动网的组成已从小区制的实际应用向移动分组交换网过渡。后者的优点是控制时间短，线路效率高，较易实现设备小型化。这个特点在实现移动通信系统的多功能化方面，更具有积极意义。

最近几年来，移动通信的发展在我国十分迅速。全国已有很多城市和部门建立了众多的公用网和专用网。仅模拟蜂窝系统用户，到 1994 年末，已达 156.7 余万户，并实现了全国性联网，而专用网用户则更多。

最后，需提请读者注意的是：在电信标准中有几种“TACS”标准，表 1.3 给出了这几种“TACS”频率使用规定。

由于我国实际使用的 935~948MHz 和 890~903MHz 更接近于表中序号 6 所列频率范围。所以它是我国所采用的模拟蜂窝电话系统的技术标准。通常购买手机时，手机资料给出的工作频段为 E-TACS，由表 1.3 可见，能在 E-TACS 中使用的手机在 TACS 完全可以使用。由于 E-TACS 是扩充的 TACS，其信道数为 1320，即为表 1.2TACS 中所列。