

郭梯云 杨家玮 李建东 编著
中国通信学会主编 人民邮电出版社

(修订本)

数字移动通信

通信工程丛书



通信工程丛书

数字移动通信(修订本)

郭梯云 杨家玮 李建东 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书分为5部分,全面介绍数字蜂窝移动通信的基本理论、关键技术、体系结构、标准及发展趋势。第一部分(一、二章)介绍移动通信信道;第二部分(三~六章)介绍编码、调制、解调、扩频等技术;第三部分(七、八章)介绍数字移动通信的多址技术、网络结构及接口;第四部分(第九章)讲述 TDMA 和 CDMA 数字移动通信网;第五部分(十~十二章)介绍第三代移动通信和个人通信的发展状况及其关键技术。

本书适合于通信工程技术人员和相关专业的大专院校学生阅读使用。

通信工程丛书

数字移动通信(修订本)

◆ 编 著 郭梯云 杨家玮 李建东

责任编辑 孙宇昊

◆ 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@ pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:850×1168 1/32

印张:22.5

字数:595千字

2001年3月第2版

印数:8001-14000册

2001年3月北京第3次印刷

ISBN 7-115-09099-8/TN·1691

定价:47.00元

再版前言

《数字移动通信》一书自 1995 年 3 月出版以来,至今已有 5 年了。在这 5 年当中,移动通信的发展非常迅速,日新月异。为反映移动通信的最新进展,作者对原书做了修订,一是增加了部分章节,二是对第一版中存在的某些疏漏和印刷差错作更正。

本版的章节安排与第一版大致相同,只在最后插入两章,原第十章“移动通信的发展趋势——个人通信”作了较大修改后改为第十二章。在新增补的两章中第十章“第三代移动通信系统”由杨家玮编写,第十一章“蜂窝数字分组数据传输系统”由李建东编写。

由于作者水平有限,再版中仍难免有错误和不妥之处,欢迎读者指正。

编者于西安电子科技大学

2000.10

前 言

蜂窝移动通信网络从开始使用到现在不过十多年的时间,发展的速度十分惊人,但随着移动通信业务量的激增,模拟蜂窝通信网络面临着容量不足的压力。另外,由于计算机和数据终端的广泛应用,非话业务迅速增多,也使当前的模拟蜂窝系统适应不了移动通信业务发展的需要。因此,从 80 年代中期开始,人们一直非常重视数字蜂窝通信系统的研究和开发,目标是建立一种频谱利用率更高、通信容量更大和服务能力更强的新型蜂窝移动通信网络。

在开始阶段,人们在研究和开发数字蜂窝通信网络时,都把注意力集中于时分多址(TDMA)的体制,先后提出了三种这样的系统,即欧洲的 GSM 系统,美国的 ADC(DAMPS)系统和日本的 JDC 系统。当前,这些 TDMA 数字蜂窝通信系统,有的已经开始运营,有的已有产品投入市场。其后,人们又提出把码分多址(CDMA)用于蜂窝通信系统的方案,得到了很多人的重视和关切,因为这种蜂窝通信系统有可能提供更大的通信容量,以适应未来通信发展的需要。经过几年的努力,CDMA 蜂窝通信网络已进行过局部现场试验,并开始有产品问世。但是,到目前为止,人们对未来数字蜂窝通信系统究竟采用什么样的体制最好,依然存在不同看法。

从 1988 年以来,人们对个人通信网(PCN)的提出表现出很大的热情,许多技术先进的国家,纷纷开展个人通信网的系统结构和实现技术的研究,也提出了形形色色的设想和方案,有关个人通信的标准化工作也获得许多国际组织的重视,并着手进行研究和制定。可以预料,数字蜂窝通信网将和其他通信网一起受到 PCN 的导向而迅速发展。

本书根据数字蜂窝移动通信的最新发展,有重点地介绍其中的基本理论和关键技术、体系结构和标准要求以及发展动态和趋向。

全书内容大致可分为五部分:第一部分(第二章)是关于移动信道的特征及其对数字传输的影响;第二部分(第三到第六章)是关于编码技术、调制和解调技术、扩频技术以及抗衰落技术;第三部分(第七和第八章)是关于数字蜂窝通信系统的多址技术和网络结构与接口;第四部分(第九章)是关于国外数字蜂窝通信网介绍;第五部分(第十章)是关于个人通信的基本概念和发展动态。

本书的编写得到了国家“八·五”数字移动通信研究项目和国家863高技术项目的支持。

参加本书编写的有:郭梯云(第五章、第七章、第九章的第三节),杨家玮(第一章、第二章、第三章、第八章、第九章的第一和第二节)、李建东(第四章、第六章、第十章)。郭梯云对全书进行了审稿。

本书在编写过程中,得到西安电子科技大学信息科学研究所的领导和移动通信专业组全体同志的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误之处,敬希读者批评指正。

编 者

1994.10

目 录

第一章 绪论	1
第一节 引言	1
第二节 发展简史与现状	1
一、发展简史	1
二、应用现状	4
第三节 蜂窝移动通信网的基本概念	8
第四节 从模拟网到数字网	12
第二章 移动信道	17
第一节 引言	17
一、概述	17
二、陆地移动无线电波传播	20
三、地形环境分类	22
第二节 自由空间传播	25
第三节 多径传播的基本特性	28
一、概述	28
二、反射与多径信号	32
三、多普勒频移	36
四、多径接收信号的统计特征	36
五、衰落率	42
六、电平通过率	43
七、平均衰落持续时间	46
第四节 多径传播对数字传输的影响	48
一、时延扩展	48

二、相关带宽	52
三、随机调频	55
四、衰落信道的类型	58
第五节 阴影效应	60
第六节 电波传播的路径损耗预测	63
第七节 多径传播的仿真与模型	67
一、多径传播仿真	67
二、GSM 的多径信道传播模型	70
第三章 语音编码技术	75
第一节 引言	75
一、语音编码的基本概念	75
二、语音编码技术的进展与现状	78
第二节 语音波形编码	84
一、时间量化与抽样定理	84
二、幅度量化	86
三、脉冲编码调制(PCM)	94
四、增量调制(ΔM)	96
第三节 参量编码	99
一、语音信号产生模型及其特征参数	100
二、线性预测编码(LPC)	106
第四节 数字移动通信中实用语音编码技术	110
一、激励源与混合编码	110
二、规则脉冲激励长期预测编码(RPE-LTP)	111
第四章 数字调制解调技术	127
第一节 最小频移键控(MSK)	127
一、MSK 的基本概念及特点	127
二、MSK 信号的功率谱	132

三、MSK 调制解调器	133
四、MSK 的性能	137
第二节 GMSK 调制	139
一、GMSK 调制的原理	139
二、GMSK 信号的功率谱	142
三、GMSK 调制器	144
四、GMSK 信号的解调	147
五、GMSK 系统的性能	155
第三节 TFM 和 GTFM 调制	167
一、TFM 调制方式的定义及其相位函数的选择	167
二、TFM 的解调	172
三、GTFM	181
第四节 平滑四电平调频	186
一、平滑四电平调频的基本原理	186
二、平滑四电平调频系统的性能分析	190
第五节 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 调制	196
一、 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 的原理	197
二、 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 的解调	200
三、 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 的性能	205
第六节 正交振幅调制(QAM)	211
一、正交振幅调制的原理	212
二、16 进制星型 QAM(16-Level Star QAM)	216
三、叠加式 QAM(SQAM-Superposed QAM)	221
第五章 扩频技术	232
第一节 概述	232
一、扩频技术的基本类型	232

二、扩频通信系统的主要特点	233
第二节 伪随机序列	234
一、最大长度线性反馈移位寄存器序列(m 序列)	236
二、戈尔德(Gold)序列	245
三、M 序列	248
第三节 直接序列扩频(DS)	249
一、系统组成	249
二、功率谱密度	253
三、处理增益和抗干扰性	256
四、多进制码移键控扩频系统	260
五、直接序列扩频系统的同步	265
第四节 跳频	273
一、系统组成	273
二、抗干扰性能	278
三、跳频同步	280
第六章 抗衰落技术	285
第一节 分集技术的基本原理	286
一、分集技术的基本概念	286
二、分集信号的合并技术	288
第二节 分集系统的性能	293
一、选择性宏分集系统的性能	293
二、单接收机选择性微分集系统的性能	297
三、频率分集系统的性能	302
四、时间分集系统的性能	306
第三节 隐分集系统及其性能	311
一、编码、交织及跳频相结合的抗衰落性能	311
二、GSM 的交织编码及跳频的方案	316
三、时频调制加跳频	319

第四节 自适应均衡技术及应用	321
一、自适应均衡技术的原理	321
二、自适应均衡技术的应用	324
三、窄带 TDMA 系统中的实用均衡技术	329
第五节 分集和自适应均衡相结合	343
一、最佳分集合并和均衡相结合的结构	343
二、最佳分集合并和均衡相结合的性能	347
第六节 扩频抗多径技术	351
第七章 多址方式和系统容量	364
第一节 多址的基本原理	365
一、频分多址(FDMA)	365
二、时分多址(TDMA)	366
三、码分多址(CDMA)	371
第二节 系统容量	379
一、概述	379
二、TDMA 数字蜂窝通信系统的容量	384
三、CDMA 数字蜂窝通信系统的容量	388
第八章 系统结构与接口	399
第一节 引言	399
第二节 系统概述	400
一、总体结构	400
二、功能实体	401
三、公众陆地移动通信网(PLMN)的分系统	403
四、系统配置与接口	405
第三节 数字蜂窝网系统构成	409
一、移动台(MS)	409
二、基站系统(BSS)	424

三、交换分系统	439
第四节 无线接口	450
一、概述	450
二、物理层(L1)	453
三、数据链路层(L2)	474
四、第三层(L3)	485
第五节 地面接口	491
一、概述	491
二、MSC 和 BSS 间的接口	491
三、BSC 和 BTS 间的接口	499
四、MSC/HLR/VLR/EIR 间的接口	500
第六节 接续和移动管理过程	502
一、概述	502
二、MAP 的使用	503
三、呼叫处理	506
四、位置登记/删除	511
五、越区切换进程	514
第九章 国外数字蜂窝系统介绍	519
第一节 概述	519
第二节 TDMA 数字蜂窝系统	522
一、泛欧数字移动通信系统(GSM)介绍	522
二、D-AMPS 系统(IS-54)介绍	532
三、日本数字蜂窝系统简介	538
四、TDMA 系统比较	539
第三节 码分多址(CDMA)蜂窝移动通信系统介绍	541
一、概述	541
二、传输方式	546
三、系统功能	565

第十章 第三代移动通信系统	584
第一节 概述	584
一、进展概况	584
二、系统组成	586
三、无线接口协议结构	588
四、基本特点	589
五、关键技术	590
第二节 W-CDMA 的无线传输技术	591
一、概述	591
二、FDD 模式的无线传输	591
三、TDD 模式的无线传输	604
第三节 cdma2000 的无线传输技术	611
一、前向链路	612
二、反向链路	621
第三节 UWC-136 简介	626
一、概述	626
二、无线传输技术(RTT)要点	628
第十一章 蜂窝数字分组数据传输系统	633
第一节 CDPD 系统	633
一、CDPD 网络结构及协议体系	633
二、CDPD 空中接口中的物理层及 MAC 层	637
三、CDPD 空中接口中的逻辑链路层控制	645
四、CDPD 空中接口中的 SDCP	648
五、CDPD 中的无线电资源管理	651
第二节 GPRS 系统	655
一、GPRS 的网络结构和协议体系	656
二、GPRS 的空中接口协议	658

第三节	EDGE	664
第十二章	移动通信的发展趋势——个人通信	670
第一节	个人通信的概念	670
第二节	个人通信系统的进展	672
一、	低功率系统	672
二、	数字蜂窝系统	674
三、	移动卫星通信系统	676
四、	无线 LAN/WAN	680
五、	专用移动无线电和寻呼系统	685
第三节	个人通信网的主要技术进展	686
一、	业务的种类	686
二、	蜂窝的结构	688
三、	信道指派方案和资源分配	688
四、	数据库管理	692
五、	软件无线电技术	696
六、	CDMA 中的关键技术	700

第一章 绪 论

第一节 引 言

现代社会已步入信息时代,在各种信息技术中,信息的传输即通信起着支撑作用。由于人类社会生活对通信的需求越来越高,世界各国都在致力于现代通信技术的开发以及现代综合通信网的建设。

移动通信是现代通信技术中不可缺少的部分。顾名思义,移动通信就是通信双方至少有一方在运动状态中进行信息交换。例如,移动体(车辆、船舶、飞机或行人)与固定点之间,或者移动体之间的通信都属于移动通信的范畴。另外,还有一种可移动的概念,即通信用户的位置是可变的,但在通信过程中用户可能并不处于运行状态。这类通信也可称为移动通信,但与严格意义的移动通信相比,两者的无线信道特性有较大差别。

现代移动通信技术是一门复杂的高新技术,不但集中了无线通信和有线通信的最新技术成就,而且集中了网络技术和计算机技术许多成果。目前,移动通信已从模拟通信发展到了数字移动通信阶段,并且正朝着个人通信这一更高级阶段发展。未来移动通信的目标是,能在任何时间、任何地点、向任何个人提供快速可靠的通信服务。

第二节 发展简史与现状

一、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本世纪 20 年代,到数字移动通信系统出现为止,大致经历了五个发展阶段。

第一阶段从本世纪 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 40 年代提高到 30~40MHz。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 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 120kHz,通信方式为单工,随后,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 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。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 450MHz 频段,实现了自动选频与自动接续。

第四阶段从 70 年代中期至 80 年代中期。这是移动通信蓬勃发展时期。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。其他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 800MHz 汽车电话系统(HAMTS),在东京、大阪、神户等地投入商用。西德于 1984 年完成 C 网,频段为 450MHz。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 900MHz。法国开发出 450 系统。加拿大推出 450MHz 移动电话系统 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 450MHz。

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,除了用户要求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 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 80 年代中期开始。这是数字移动通信系统发展和成熟时期。

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,最主要的问题是其容量已不能满足日益增长的移动用户需求。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 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