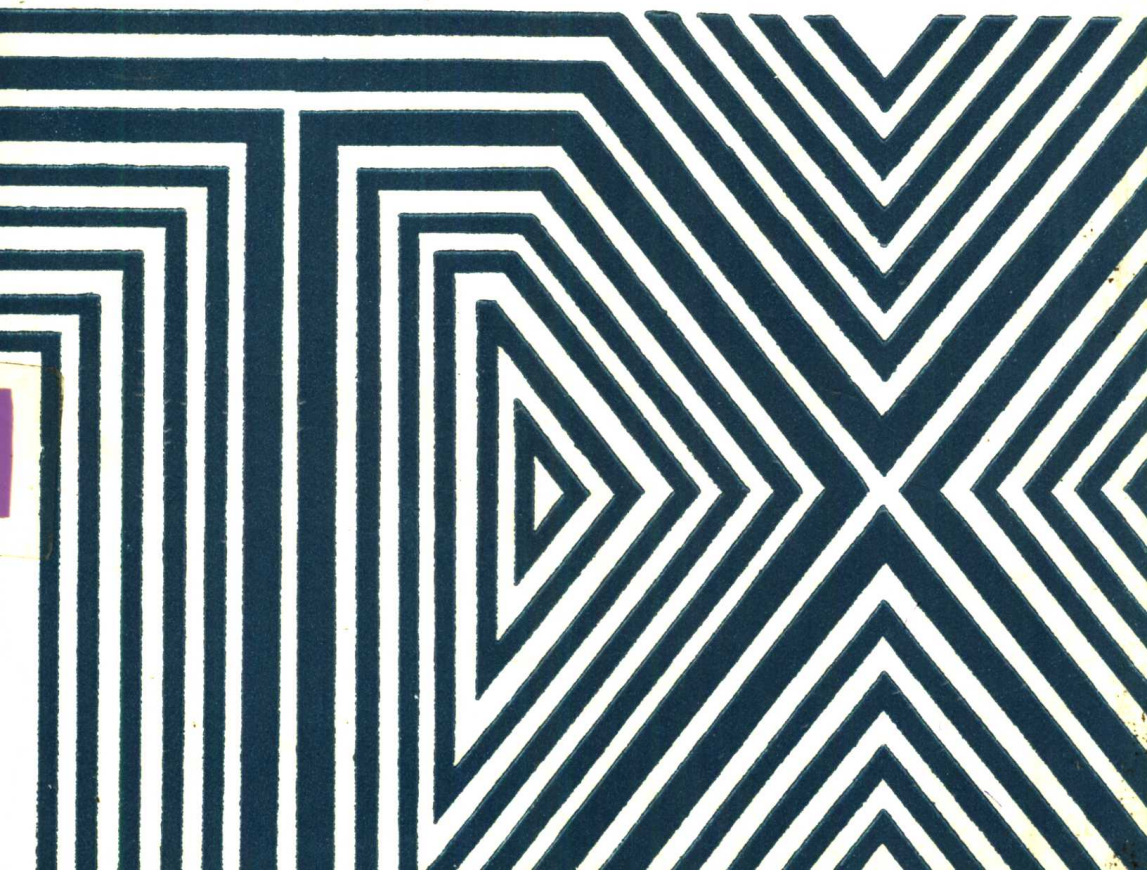


郭梯云 杨家玮 李建东 编著
中国通信学会主编 人民邮电出版社

数字移动通信

通信工程丛书



通 信 工 程 丛 书

分 组 交 换 工 程

杜治龙 编著
汪润生 审

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

登记证号 (京) 143 号

内 容 提 要

本书用通俗易懂的语言,全面、系统地阐述了数据通信的概念和分组交换的原理与技术。对分层结构,特别是对物理层规程, X.25、X.3、X.28、X.29 等与分组交换有关的重要协议以及我国使用的两种典型分组交换设备作了详尽的介绍。书中还阐明了网间互连方法、分组交换网的规划设计、对网络的维护测试以及网络的应用和发展等。全书内容丰富、图文并茂、是一本极好的工程实用书。

本书适用于通信和计算机专业的工程技术人员,对于相关专业的大专院校的师生也是一本极好的参考书。

分 组 交 换 工 程

通信工程丛书

杜治龙 编著

汪润生 审

责任编辑 王若珏

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

中国科学院印刷厂

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168 1/32 1993 年 5 月 第一版

印张: 16 16/32 页数: 264 1993 年 5 月 北京第 1 次印刷

字数: 431 千字 印数: 1—11000 册

ISBN7-115-04910-6/TN·611

定价: 16.90 元

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。

此外，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它通信网一起受到 PCN 的导向而迅速发展。

PAC 5/163

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、第九章第三节）、杨家玮（第一章、第二章、第三章、第八章、第九章第一、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。

编者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 引言.....	1
第二节 发展简史与现状.....	2
一、发展简史.....	2
二、应用现状.....	4
第三节 蜂窝移动通信网的基本概念.....	7
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	21
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	37
五、衰落率	43
六、电平通过率	44
七、衰落持续时间	47

第四节 多径传播对数字传输的影响	49
一、时延扩展	49
二、相关带宽	52
三、随机调频	56
四、衰落信道的类型	59
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	68
一、多径传播仿真	68
二、GSM 的多径信道传播模型	71
第三章 语音编码技术	76
第一节 引言	76
一、语音编码的基本概念	76
二、语音编码技术的进展与现状	79
第二节 语音波形编码	85
一、时间量化与抽样定理	86
二、幅度量化	87
三、脉冲编码调制 (PCM)	94
四、增量调制 (ΔM)	97
第三节 参量编码	100
一、语音信号产生模型及其特征参数	101
二、线性预测编码 (LPC)	107
第四节 数字移动通信中实用语音编码技术	111
一、激励源与混合编码	111
二、规则脉冲激励长期预测编码 (RPE-LTP)	112
第四章 数字调制解调技术	128
第一节 最小频移键控 (MSK)	128

一、MSK 的基本概念及特点	128
二、MSK 信号的功率谱	134
三、MSK 调制解调器	135
四、MSK 的性能	139
第二节 GMSK 调制	140
一、GMSK 调制的原理	140
二、GMSK 信号的功率谱	144
三、GMSK 调制器	147
四、GMSK 信号的解调	150
五、GMSK 系统的性能	157
第三节 TFM 和 GTFM 调制	170
一、TFM 调制方式的定义及其相位函数的选择	170
二、TFM 的解调	176
三、GTFM	185
第四节 平滑四电平调频	190
一、平滑四电平调频的基本原理	190
二、平滑四电平调频系统的性能分析	195
第五节 $\pi/4$ DQPSK 调制	201
一、 $\pi/4$ DQPSK 的原理	201
二、 $\pi/4$ DQPSK 的解调	206
三、 $\pi/4$ DQPSK 的性能	210
第六节 正交振幅调制 (QAM)	217
一、正交振幅调制的原理	217
二、16 进制星型 QAM (16-Level Star QAM)	221
三、叠加式 QAM (SQAM-Superposed QAM)	227
第五章 扩频技术	238
第一节 概述	238
一、扩频技术的基本类型	238

二、扩频通信系统的主要特点	239
第二节 伪随机序列	240
一、最大长度线性反馈移位寄存器序列 (m 序列)	242
二、戈尔德 (Gold) 序列	251
三、M 序列	254
第三节 直接序列扩频 (DS)	255
一、系统组成	255
二、功率谱密度	258
三、处理增益和抗干扰性	261
四、多进制码移键控扩频系统	266
五、直接序列扩频系统的同步	270
第四节 跳频	278
一、系统组成	278
二、抗干扰性能	283
三、跳频同步	286
第六章 抗衰落技术	290
第一节 分集技术的基本原理	291
一、分集技术的基本概念	291
二、分集信号的合并技术	293
第二节 分集系统的性能	298
一、选择性宏分集系统的性能	298
二、单接收机选择性微分集系统的性能	302
三、频率分集系统的性能	307
四、时分集系统的性能	311
第三节 隐分集系统及其性能	315
一、编码、交织及跳频相结合的抗衰落性能	316
二、GSM 的交织编码及跳频的方案	321
三、时频调制加跳频	324

第四节 自适应均衡技术及应用	326
一、自适应均衡技术的原理	326
二、自适应均衡技术的应用	329
三、窄带 TDMA 系统中的实用均衡技术	335
第五节 分集和自适应均衡相结合	349
一、最佳分集合并和均衡相结合的结构	349
二、最佳分集合并和均衡相结合的性能	353
第六节 扩频抗多径技术	357
第七章 多址方式和系统容量	370
第一节 多址的基本原理	371
一、频分多址 (FDMA)	371
二、时分多址 (TDMA)	372
三、码分多址 (CDMA)	378
第二节 系统容量	385
一、概述	385
二、TDMA 数字蜂窝通信系统的容量	391
三、CDMA 数字蜂窝通信系统的容量	394
第八章 系统结构与接口	406
第一节 引言	406
第二节 系统概述	407
一、总体结构	407
二、功能实体	408
三、公众陆地移动通信网 (PLMN) 的分系统	410
四、系统配置与接口	412
第三节 数字蜂窝网系统构成	417
一、移动台 (MS)	417
二、基站系统 (BSS)	432

三、交换分系统	447
第四节 无线接口	471
一、概述	471
二、物理层 (L1)	474
三、数据链路层 (L2)	495
四、第三层 (L3)	506
第五节 地面接口	513
一、概述	513
二、MSC 和 BSS 间的接口	513
三、BSC 和 BTS 间的接口	521
四、MSC/HLR/VLR/EIR 间的接口	522
第六节 接续和移动管理过程	524
一、概述	524
二、MAP 的使用	525
三、呼叫处理	528
四、位置登记/删除	533
五、越区切换进程	537
第九章 国外数字蜂窝系统介绍	542
第一节 概述	542
第二节 TDMA 数字蜂窝系统	545
一、泛欧数字移动通信系统 (GSM) 介绍	545
二、D-AMPS 系统 (IS-54) 介绍	555
三、日本数字蜂窝系统简介	561
四、TDMA 系统比较	565
第三节 码分多址 (CDMA) 蜂窝移动通信系统介绍	565
一、概述	565
二、传输方式	570
三、系统功能	591

第十章 移动通信的发展趋势——个人通信	611
第一节 个人通信的概念.....	611
第二节 个人通信系统的进展.....	613
一、低功率系统.....	613
二、数字蜂窝系统.....	616
三、移动卫星通信系统.....	618
四、无线 LAN/WAN	620
五、专用移动无线电和寻呼系统.....	622
第三节 个人通信网的主要技术进展.....	623
结束语.....	642

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, 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 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，预计 1995 年将覆盖欧洲主要城市、机场和公路。可以说，在未来十多年内数字蜂窝移动通信将处于一个大发展时期，极有可能成为陆地公用移动通信的主要系统。

与其它现代技术的发展一样，移动通信技术的发展也呈现加快趋势，目前，当数字蜂窝网刚刚进入实用阶段，正方兴未艾之时，关于未来移动通信的讨论已如火如荼地展开。各种方案纷纷出台，其中最热门的是所谓个人移动通信网。关于这种系统的概念和结构，各家解释并未一致。但有一点是肯定的，即未来移动通信系统将提供全球性优质服务，真正实现在任何时间、任何地点、向任何人提供通信服务这一移动通信的最高目标。

二、应用现状

目前，尽管第一个数字蜂窝网 GSM 已经投入实用，模拟蜂窝网仍然是公用移动通信系统的主体。模拟蜂窝网不存在世界范围统一标准。当前正在使用的各种模拟蜂窝系统由开发它们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，信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。欧洲各国在开发第二代蜂窝网即数字蜂窝移动网时，试图建立统一的标准，

GSM 标准就是在这种背景下产生的。表 1-1 给出了目前正在使用着的各种蜂窝系统的概况, 表 1-2 列出了这些系统被哪些国家使用^[1]。

表 1-1 各类蜂窝系统概况

名 称	投入使用 时间	信道间隔 (kHz)	频率 (MHz)	信道数	特 点
NAMTS	1978	25	870-885 (b-m) 925-940 (m-b)	600	可增加至 1000 信道
NMT-450	1981	25	453-457.5 (m-b) 463-467.5 (b-m)	180	信道容量低, 无线 覆盖好, 适用 农村地区
AMPS	1983	30	825-845 (m-b) 870-890 (b-m)	666	城市地区使用, 大容量
C-450	1985		451.3-455.7 (m-b) 461.3-465.74 (b-m)		
TACS	1985	25	890-915 (m-b) 935-960 (b-m)	1000	容量比 AMPS 高 50%
NMT-900	1986	12.5	890-915 (m-b) 935-960 (b-m)	1999	城市地区使用, 适合于手持机
GSM	1991		890-915 (m-b) 935-960 (b-m)		数字系统, ISDN 兼容

注: m-b 指移动台至基站, b-m 指基站至移动台。

表 1-2 使用各类系统的国家或地区

系 统	国家或地区
AMPS	澳大利亚、加拿大、新西兰、泰国、美国
C-450/NETZ-C	联邦德国
NAMTS	日本、科威特