

通信工程丛书

数字移动通信

郭梯云 杨家玮 李建东 编著

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

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、时间分集系统的性能	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	可增加到 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

续表

系 统	国家或地区
NMT-450/NMT-900	奥地利、比利时、丹麦、芬兰、冰岛、印度尼西亚、卢森堡、马来西亚、荷兰、挪威、澳门、沙特阿拉伯、西班牙、瑞典、瑞士、突尼斯、土耳其
Radiocomm2000	法国
RMST	意大利
TACS	中国、爱尔兰共和国、香港、阿联酋、马尔他、英国
GSM	欧洲各国

蜂窝移动通信系统自投入使用起，用户数增长迅猛。统计资料表明，1985年世界各国蜂窝网用户数总共为55.3万。到1990年5月，用户总数已超过822万，四年增长15倍。表1-3列出截止1990年5月部分国家或地区蜂窝移动电话用户数^[2]。

表 1-3 部分国家或地区移动用户数量统计

国家或地区	用 户 数	国家或地区	用 户 数
美 国	3900000	日 本	509000
加拿大	41000	中 国	15000
英 国	1010000	香 港	105000
原西德	190000	澳 门	2200
法 国	210000	新加坡	25000
意大利	94500	韩 国	53000
瑞 典	391800	中国台湾省	37500

从表中统计数字可看出，美国移动用户数量最大，占世界移动用户总数的47%。1985年10月美国的移动电话用户数为23.5万，到1990年5月激增到390万，增长了16.6倍。平均每月都以6万多用户数的高速率递增。到1990年，美国移动电话的普及率已超过15%。

欧洲各国是移动通信相当发达地区，其用户数占世界总数的

33.1%。英国是欧洲各国中移动用户数量最多的国家，共有用户101万，占欧洲总用户数的37%，普及率近18%。移动电话普及率最高的是北欧国家，平均每千人拥有移动电话38部。其中瑞典最高，达47%。最低的丹麦也达到25%。

日本的移动通信网也很发达。到1990年蜂窝系统已覆盖了90%的城市和70%的主要公路，平均年增长率为150%。

目前，蜂窝移动通信已成为各种通信网络中发展最快的一种通信系统。

我国蜂窝移动通信的发展始于80年代初期，北京、上海、广州等地率先开通900MHz蜂窝移动电话系统。至1990年底，全国共十个城市开通蜂窝网，近2万个用户。进入90年代后，发展呈现加快趋势，各地竞相上马公用移动电话。近几年来蜂窝移动通信网在我国发展速度之快已超出人们最初预料。

我国蜂窝移动通信网采用TACS体制。当前使用的设备大多从国外引进，国内一些厂家已开始生产移动通信设备。我国在“八五”期间，已着手研究数字蜂窝移动通信系统。

第三节 蜂窝移动通信网的基本概念

应该指出，从某种意义说，现今的模拟蜂窝网并不是一项新的技术，而是一种新的概念或新的想法。从使用无线信道的角度看，蜂窝系统与它之前的IMTS系统并无显著区别，都应用了模拟调频技术^[4]。关键的进展是蜂窝概念本身，它代表了一种与众不同的构成无线电话网的方式。按照这种方式组网，可大大提高系统容量。蜂窝概念在解决限制移动用户数量增加的主要障碍——无线频率拥挤问题上是一项重大突破。

蜂窝概念最早出现在贝尔系统的建议中，是研究人员在试图重新构造移动通信系统无线电覆盖区域来缓解频率拥挤问题时所想到

的。移动无线通信的传统方式借鉴于广播和电视，在覆盖区域的中心设置具有较高天线的大功率发射机以便将信号发射至整个区域。这种方式可以覆盖较大区域，达几十公里。然而，这同时意味着在此区域内有限的可供使用的信道，在呼叫量并不多时就被堵塞。例如，70年代纽约市开通的大区制贝尔移动通信系统，提供12对信道。也就是说，仅能同时提供12个通话，当第13个呼叫到来时就被堵塞。而纽约市面积达一千多平方英里，当时人口有两千万，作为公用系统来说，其容量是远远不够的^[4]。

蜂窝系统以完全不同的方式实现区域覆盖，它放弃了中心广播方式，而将整个服务区划分成许多较小的区域，用许多小功率发射机来覆盖每个小区，这样的区域称为蜂窝的小区（Cell），许多小区就可以覆盖整个服务区了（见图1-1）。

采用蜂窝状小区来实现区域覆盖的主要目的是实现所谓频率再用（Frequency Reuse），即在不同的小区内使用相同的频率，以便大大增加系统容量。用上面的例子可从概念上说明这点，若将整个市区划分成100个小区，并假设可供使用的所有频率都能用于所有小区，这样，每个小区都有12对信道可供服务，而整个城市将有1200对信道可供同时通话。

然而事情绝非如此简单，由于无线信道的开放特点，在相邻小区工作于同一频道的电台之间会产生相互干扰。因而同一频率不可能应用于每一个小区，必须间隔一定空间距离，或者说跳过若干小区后，同一频率才能再用。为了实现这一点，将若干相邻的小区组成一个区群（cluster），并将可供使用的无线频道分成若干组，区群内的各个小区使用不同的频率组，而每个区群能够使用所提供的全部无线频道。用相同频率配置的区群来覆盖整个服务区域，就实现了频率再用（如图1-2所示）。

频率再用是蜂窝系统的重要概念。为了实现频率再用，除了正确的频率配置外，在小区内应限制基站发射功率，使其能有效地覆盖整个小区，而对相邻区群内使用同一频率的小区所造成的干扰应

低于一定的门限。

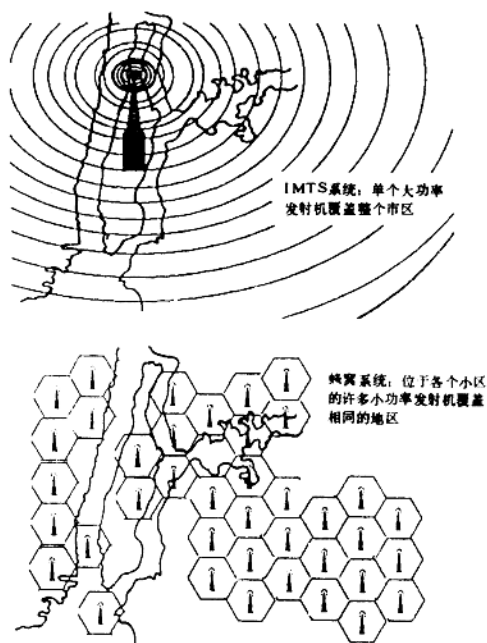


图 1-1 大区覆盖与小区覆盖

蜂窝移动系统的另一个基本概念是所谓越区切换 (handover)。将服务区域划分成小区所带来的一个很自然的问题是并非所有的移动中通话都能在单个小区内完成，例如，一辆快速行驶的汽车在一次通话中可能通过若干小区。移动台在小区范围内用所分配的频率与基站建立无线链路，通过基站连接到移动交换中心 (MSC)，然后再联接到有线电话用户或其它小区的移动用户。当移动台从一个小区进入相邻的小区时，其工作频率和接续服务都是不相同的，这就