

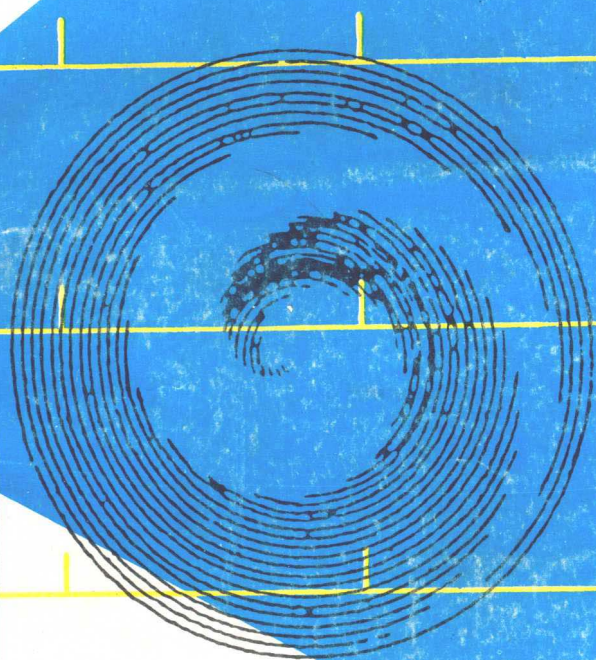


76.11.14

高等学校工科电子类教材

移动通信

郭梯云 邬国扬 张厥盛



西安电子科技大学出版社

高等学校教材

移动通信

郭梯云 邬国扬 张厥盛

西安电子科技大学出版社

1995年

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书系统地阐述了现代移动通信的基本原理、基本技术和当前广泛应用的典型移动通信系统,较充分地反映了当代数字移动通信发展的新技术。

全书共八章,内容包括移动通信概论、调制技术、电波传播、噪声与干扰、组网技术、模拟移动通信系统和数字移动通信系统等。每章均附有思考题与习题。

本书可作为高等学校工科通信与电子系统、无线电技术等专业的高年级本科生教材,也可供通信工程技术人员和科研人员作为继续教育的参考书。

高等学校教材

移 动 通 信

郭梯云 邬国扬 张厥盛

责任编辑 李纪澄

西安电子科技大学出版社出版

陕西省大荔县印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 17 12/16 字数 423 千字

1995年9月第1版 1995年9月第1次印刷 印数 1-5 000

ISBN 7-5606-0390-4/TN·0098(课)

定价: 14.00 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的、以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前言

随着社会、经济的发展,移动通信得到了越来越广泛的应用。在我国,移动通信发展的起步虽晚,但发展极其迅速。

移动通信技术的发展日新月异,从1978年第一代模拟蜂窝网电话系统的诞生至今,不过10多年,第二代全数字蜂窝网电话系统就已问世,第三代的个人通信系统的方案和实验均已开始。在这种情况下,通信工程等专业的学生和科技人员迫切需要一本移动通信教材。本书是根据对全国统编《移动通信》教材的基本要求,参考国内外最新的专著、教材和文献资料,以作者10年来为本科生、研究生讲授移动通信的讲稿为基础,经过多次修订后写成的。

全书共分八章,主要讲授现代移动通信基本概念、基本组成、基本原理、基本技术和典型系统。其内容以当前广泛应用的移动通信系统和代表发展趋势的移动通信新技术为背景,力求能反映近年来国内外移动通信的发展状况。前五章为移动通信的基础内容。其中,第一章全面概述了移动通信特点、类型、主要技术及发展趋势。第二章讲述调制技术。对于模拟移动通信系统中获得广泛应用的调频制,在先修课程《高频电子线路》基础上,着重对调频制的抗干扰性能作了进一步分析。国际上第二代蜂窝电话系统采用GMSK和 $\pi/4$ -QPSK窄带数字调制,为此该章着重讨论了它们各自的特点、信号的产生和解调方案。第三、第四章讨论移动通信信道。移动通信与其它通信相比,最大特点是能实现“动中通”,其信道条件往往是十分复杂的,为此在第三章中详细讲述了移动信道特征、传播损耗计算,并对一种抗衰落技术——分集接收进行了分析。第四章在对噪声、干扰分类基础上,着重对移动通信影响较大的邻道干扰、共道干扰和互调干扰进行了分析,并指出了如何减小各种干扰的途径。第五章介绍组网技术,主要内容包括区域覆盖方式,频道共用、选择和分配方法,网络的控制和交换,信令等。第六章讲述常用的模拟移动通信系统,主要讨论蜂窝网电话系统、集群移动通信系统及无绳电话系统的基本组成和基本工作原理。第七章专门研究数字移动通信系统,除了无线电寻呼系统和第二代无绳电话系统(CT-2等)之外,主要讲述第二代蜂窝网电话系统,对TDMA体制(以GSM为重点)和CDMA体制作了较详细的介绍。本书的第八章对未来的移动通信作了展望,即对个人通信网(PCN)作了简要说明。

本教材由无线电技术与信息系统编审委员会无线电通信编审小组评选审定并推荐出版。上海交通大学电子工程学院常务副院长宋文涛教授主审了本教材。

本书可以用作高等工科学学校通信与电子系统、无线电技术专业高年级的教科书,也可作通信工程技术人员的参考书。

本书由邬国扬编写第一、三、四、六章,张厥盛编写第二、五章,郭梯云编写第七、八章并负责全书的统稿。

鉴于编者水平,难免有不妥之处,欢迎读者指正。

编者

于西安电子科技大学

1995年5月

目 录

第一章 概论

第一节 移动通信的特点与分类 1

一、移动通信的特点 1

二、移动通信的分类 2

第二节 移动通信的基本技术

与发展方向 7

一、基本技术 7

二、移动通信的标准化 10

三、移动通信的发展方向 11

思考题与习题 12

第二章 调制

第一节 概述 13

第二节 调频(FM) 14

一、一般特性 14

二、抗干扰性能 15

第三节 最小频移键控(MSK) 18

一、对数字调制的要求 18

二、MSK 的定义 18

三、波形与相位 20

四、正交展开 21

五、MSK 信号的产生 22

六、MSK 信号的解调 23

七、MSK 信号的功率谱密度 24

第四节 用高斯滤波的最小

频移键控(GMSK) 24

一、原理 25

二、GMSK 信号的产生及频谱特性 27

三、GMSK 信号的解调与误码性能 29

第五节 $\pi/4$ 四相相移键控($\pi/4$ -QPSK) 31

一、 $\pi/4$ -QPSK 信号的相位关系 32

二、 $\pi/4$ -QPSK 信号的产生 33

三、 $\pi/4$ -QPSK 信号的检测 36

四、 $\pi/4$ -QPSK 的性能 38

思考题与习题 39

第三章 移动信道中的电波传播

与分集接收

第一节 VHF、UHF 电波传播特性 41

一、电波传播方式 41

二、直射波 41

三、大气中的电波传播 43

四、障碍物的影响与绕射损耗 44

五、反射波 45

第二节 移动信道的特征 46

一、传播路径与信号衰落 46

二、多径效应与瑞利衰落 47

三、慢衰落特性和衰落储备 50

四、多径时散与相关带宽 52

第三节 陆地移动信道的场强估算 55

一、接收机输入电压、功率

与场强的关系 55

二、地形、地物分类 57

三、中等起伏地形上传播损耗的中值 57

四、不规则地形上传播损耗的中值 60

五、任意地形地区的传播损耗的中值 62

第四节 其它移动信道的传输特点 64

一、建筑物的穿透损耗 64

二、限定空间中的电波传播 65

三、海上、航空及卫星移动信道的特点 66

第五节 分集接收 67

一、分集接收原理 67

二、分集合并性能的分析与比较 71

三、数字化移动通信系统的分集性能 75

思考题与习题 77

第四章 噪声与干扰

第一节 噪声 78

一、噪声的分类与特性 78

二、人为噪声 79

三、环境噪声和多径传播对话音质量的

综合影响 80

四、发射机产生的噪声及寄生辐射 82

第二节 邻道干扰与同频道干扰 83

一、邻道干扰 83

二、同频道干扰与射频防护比 84

三、同频道再用距离 85

第三节 互调干扰	87	四、移动台	156
一、互调干扰的基本概念及分类	87	五、系统控制与信令	161
二、发射机的互调干扰	88	六、系统的工作过程	166
三、接收机的互调干扰	92	第三节 集群移动通信系统	168
四、无三阶互调的频道组	94	一、概述	168
思考题与习题	97	二、集群系统的组成及类型	170
第五章 组网技术		三、典型的集群移动通信系统	175
第一节 频率管理与有效利用技术	99	第四节 无绳电话系统	179
一、频率管理	99	一、概述	179
二、无线信道	100	二、多信道共用的无绳电话系统	180
三、有效利用技术	103	思考题与习题	183
第二节 区域覆盖与网络结构	104	第七章 数字移动通信系统	
一、区域覆盖	104	第一节 无线电寻呼系统	185
二、网络结构	109	一、无线电寻呼系统的组成	185
第三节 信道的指配与选取控制	112	二、无线电寻呼系统所用的频率	187
一、信道配置	112	三、寻呼信号的格式	187
二、多信道共用	117	第二节 数字无绳电话系统	189
三、空闲信道的选取	121	一、CT-2 数字无绳电话系统	190
第四节 信令	122	二、其它主要无绳电话系统	
一、数字信令	123	的技术特征	199
二、音频信令	124	第三节 数字蜂窝移动通信系统	201
第五节 交换	128	一、数字蜂窝移动通信系统的多址技术	
一、交换的基本功能	128	和系统容量	202
二、移动网的通信交换	130	二、TDMA 数字蜂窝移动通信系统	218
三、固定网中的移动通信交换	131	三、CDMA 数字蜂窝移动通信系统	239
思考题与习题	134	思考题与习题	267
第六章 模拟移动通信系统		第八章 移动通信展望——个人通信	
第一节 大区制移动电话系统	135	第一节 个人通信的概念	268
一、IMTS 的组成与工作原理	135	第二节 实现个人通信的途径	269
二、系统的工作过程	136	第三节 关于个人通信的国际标准	273
第二节 蜂窝式移动电话系统	139	第四节 未来公用陆地移动	
一、概述	139	通信系统(FPLMTS)	274
二、移动交换中心(MSC)	142	思考题与习题	276
三、基站	147	参考文献	277

第一章 概 论

第一节 移动通信的特点与分类

随着社会的发展,人们对通信的需求越来越高。由于人类政治、经济活动范围日趋扩大及效率的不断提高,就要求实现通信的最高目标——在任何时候、任何地方与任何人都能及时沟通联系、交流信息。不难设想,没有移动通信是无法实现这一目标的。

所谓移动通信,顾名思义就是通信的一方或双方是在移动中实现通信的。也就是说,至少有通信一方处在运动中或暂时停留在某一非预定的位置上。其中,包括移动台(汽车、火车、飞机、船舶等移动体上)与固定台之间通信;移动台与移动台之间通信;移动台通过基站与有线用户通信等。

一、移动通信的特点

移动通信与固定点间通信相比,具有下列主要特点:

(1) 移动通信的传输信道必须使用无线电波传播。在固定通信中,传输信道可以是无线电波,也可以是有线电,但移动通信中,由于至少有一方处于运动状态,显然必须使用无线电波传播。

(2) 电波传播特性复杂。在移动通信系统中由于移动台不断运动,不仅有多普勒效应,而且信号的传播受地形、地物的影响也将随时发生变化。例如,受建筑物阻挡造成的阻影效应,会使信号发生慢衰落;多径传播会使信号发生快衰落,即信号幅度出现快速、深度衰落,致使接收信号场强的瞬间变化达 30 dB 以上。因此,只有充分研究移动信道的特征,才能合理设计各种移动通信系统。

(3) 干扰多而复杂。移动通信系统除去受天电干扰、工业干扰和各种噪声的干扰外,基站常有多部收、发信机同时工作,服务区内的移动台分布不匀且位置随时在变化,故干扰信号的场强可能比有用信号高达几十分贝(如 70~80 dB)。通常将近处无用信号压制远处有用信号的现象,称为远近效应,这是移动通信系统的一种特殊干扰。此外,还有多部电台之间发生的邻道干扰、互调干扰以及使用相同频道而产生的共频道干扰等。

(4) 组网方式多样灵活。移动通信系统组网方式可分为小容量大区制和大容量小区制两大类。前者采用一个基站(或称基地台)管辖和控制所属移动台,并通过基站与公用电话网(PSTN)相连接,以进行无线用户与有线用户相互之间的通信。小区制根据服务区域,可组成线状网(如铁路、公路沿线)或面状的蜂窝网。在蜂窝网中由若干小区组成一个区群,每个小区均设基站,区群内的用户使用不同信道(在频分多址中即为使用不同的频道)。移动台从一个小区驶入另一个小区时,需进行频道切换,亦称过境切换;此外,移动台从一个蜂窝网业务区驶入另一个蜂窝网业务区时,被访蜂窝网亦能为外来用户提供服务,这种过程称为漫游。移动通信网为满足这些要求,必需具有很强的控制功能,如通信(呼叫)的建立和拆除,频道的控制和分配,用户的登记和定位,以及过境切换和漫游的控制等。

(5) 对设备要求更为苛刻。一般移动通信设备都是便携式或装载于汽车、飞机等移动体中, 不仅要求操作简便、维修方便, 而且要保证在振动、冲击、高低温等恶劣环境下工作, 此外, 还要求设备体积小、重量轻和省电等。

(6) 用户量大而频率有限。我国现有 A、B、C、D、E 和 F 六个频段总共约 5 000 个频点, 远远满足不了通信业务增长的需要。为了解决这一矛盾, 除了开辟新的频段之外, 缩小频道间隔(如将频道间隔从 25 kHz 缩窄到 12.5 kHz, 频道数目即可增加一倍), 研究各种有效利用频率技术和新的体制是移动通信面临的重要课题。

二、移动通信的分类

移动通信有多种分类方法, 如按使用对象可分为民用、军用; 按使用区域可分为陆地、海上和空间; 按经营方式可分为公用网和专用网; 按组网方式可分为大区制和小区制; 按信号形式可分为模拟和数字; 按多址连接方式, 可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA); 按无线电频道工作方式, 可分为同频单工、异频单工、异频双工(简称双工)和半双工。在本节中只简要地讨论传输方式和常用的移动通信系统类型。

(一) 传输方式

无线电传输方式有单向传输和双向传输。在大多数通信网中, 采用的是双向传输, 单向传输只用于无线电寻呼系统。双向传输可分为单工、双工和半双工三种工作方式。

1. 单工通信

所谓单工通信是指通信双方电台交替地进行收信和发信。根据收、发频率的异同, 又可分为同频单工和异频单工。单工通信常用于点到点通信, 参见图 1-1 所示。

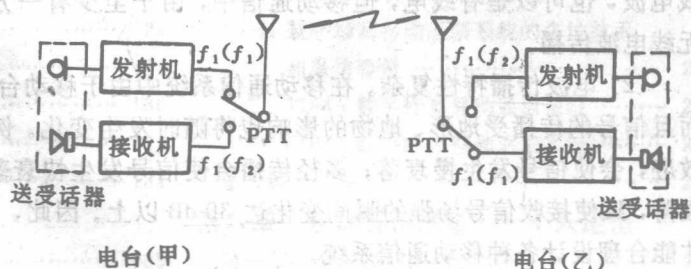


图 1-1 单工通信

同频单工是指通信双方(如图中电台甲和电台乙)使用相同的频率 f_1 工作, 发送时不接收, 接收时不发送。平常各接收机均处于守候状态, 即把天线接至接收机等候被呼。当电台甲要发话时, 它就按下其送受话器的接讲开关(PTT), 一方面关掉接收机, 另一方面将天线接至发射机的输出端, 接通发射机开始工作。当确知电台(乙)接收到载频为 f_1 的信号时, 即可进行信息传输。同样, 电台(乙)向电台(甲)传输信息也使用载频 f_1 。同频单工工作方式的收发信机是轮流工作的, 故收发天线可以共用, 收发信机中某些电路也可共用, 因而电台设备简单、省电, 且只占用一个频点。但是, 这样的工作方式只允许一方发送时另一方进行接收, 例如在甲方发送期间, 乙方只能接收而无法应答, 这时即使乙方启动其发射机也无法通知甲方使其停止发送。此外, 任何一方当发话完毕时, 必须立即松开其接讲开关, 否则将收不到对方发来的信号。

异频单工通信方式, 收发信机使用两个不同的频率分别进行发送和接收, 例如电台甲的发射频率及电台乙的接收频率为 (f_1) , 电台乙的发射频率及电台甲的接收频率为 (f_2) 。不过, 同一部电台的发射机与接收机还是轮换进行工作的, 这一点它是与同频单工相同

的。异频单工与同频单工差异仅仅是收发频率异同而已。

2. 双工通信

所谓双工通信,是指通信双方可同时进行传输消息的工作方式,有时亦称全双工通信,如图 1-2 所示。图中,基站的发射机和接收机分别使用一付天线,而移动台通过双工器共用一付天线。双工通信必须使用一对频道,以实施频分双工(FDD)工作方式。这种工作方式使用方便,同普通有线电话相似,接收和发射可同时进行。但是,在电台的运行过程中,不管是否发话,发射机总是工作的,故电源消耗较大,这一点对以电池作电源的移动台而言是不利的。为缓解这个问题,在一些简易通信设备中可以采用半双工通信方式。

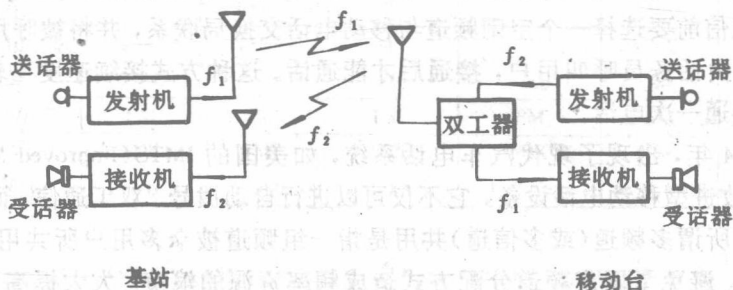


图 1-2 双工通信

3. 半双工通信

半双工通信的组成与图 1-2 相似,移动台采用单工的“按讲”方式,即按下按讲开关,发射机才工作,而接收机总是工作的。基站工作情况与双工方式完全相同。

(二) 常用移动通信系统

随着移动通信应用范围的扩大,移动通信系统的类型也越来越多,下面将分别简述几种典型的移动通信系统。

1. 无线电寻呼系统

无线电寻呼系统是一种单向通信系统。无线电寻呼系统的用户设备是袖珍式接收机,称作袖珍铃,俗称“BB 机”,这是由于它的振铃声近似于“B...B...”声音之故。

图 1-3 示出了无线电寻呼系统的组成。其中,寻呼控制中心与市话网相连,市话用户要呼叫某一“袖珍铃”用户时,可拨寻呼中心的专用号码,寻呼中心的话务员记录所要寻找的用户号

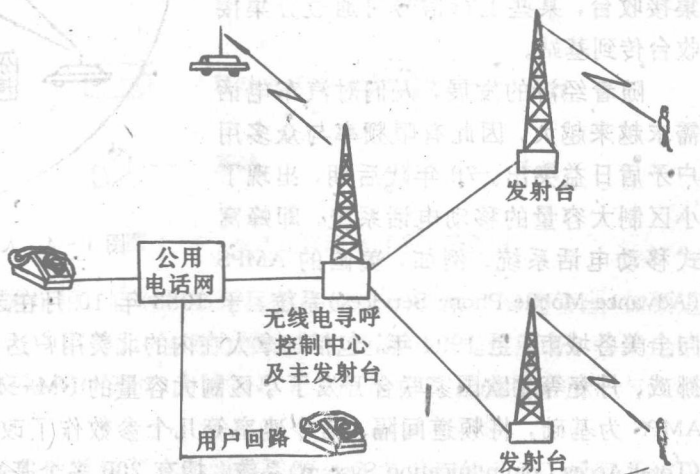


图 1-3 无线电寻呼系统示意图

码及要代传的消息,并自动地在无线信道上发出呼叫;这时,被呼用户的袖珍接收机会发出呼叫声,并能在液晶屏上显示主呼用户的电话号码及简要消息。如有必要,袖珍铃用户利用邻近市话电话机与主呼用户通话。无线电寻呼系统虽然是单向的传输系统,通话双方不能直接利用它对话,但由于袖珍接收机小巧玲珑、价格低廉、携带方便,受到用户欢迎,因而在国内外发展极为迅速。

2. 公用移动电话通信系统

公用移动电话通信系统是最典型的移动通信系统,使用范围广、用户数量多。通常所说的汽车电话就是属于公用移动电话通信系统。

早在 1946 年美国圣路易市启用了第一个公用汽车电话通信网,采用人工接续方式,移动用户在通信前要选择—个空闲频道与移动电话交换局联系,并将被呼用户的电话号码告诉话务员,由话务员呼叫用户,接通后才能通话。这种方式接续速度比较慢,往往需要几分钟才能接通一次电话。

到了 1964 年,出现了现代汽车电话系统,如美国的 IMTS(Improved Mobile Telephone Services),即改进型移动电话设备,它不仅可以进行自动拨号、双工通信,而且采用了多频道共用技术。所谓多频道(或多信道)共用是指—组频道被众多用户所共用,实行“动态分配频道”方式,避免了固定频道分配方式造成频率资源的浪费,大大提高了频率利用率。

IMTS 系统工作频段分 150 MHz 和 450 MHz 两种,采用大区制组网方式,如图 1-4 所示。基站(或基地台)包括多部收发信机,一般天线高架,覆盖半径为几十公里。由于基站功率较大、而移动台功率较小,为解决上行信号较弱问题(如远离基站或电波传播条件较差时),在服务区内可增设若干外围接收站,或称分集接收台,某些上行信号可通过分集接收台传到基站。

随着经济的发展,人们对汽车电话需求越来越大,因此有限频率与众多用户矛盾日益突出。70 年代后期,出现了小区制大容量的移动电话系统,即蜂窝式移动电话系统。例如,美国的 AMPS

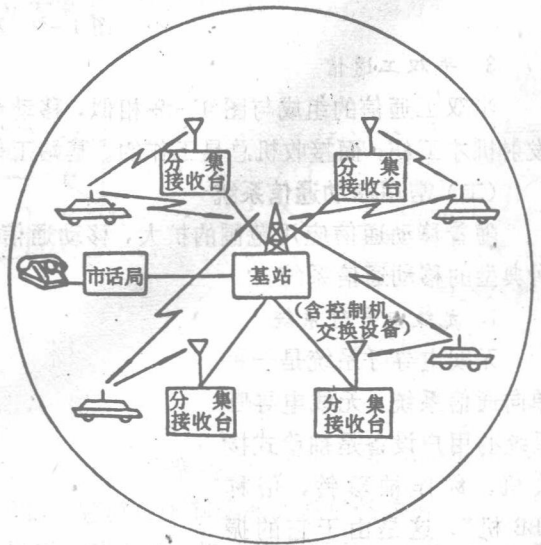


图 1-4 大区制移动电话系统示意图

(Advance Mobile Phone Services)系统,于 1983 年 10 月在芝加哥正式投入商用,并逐步推向全美各城市。至 1994 年,包括加拿大在内的北美用户达 1 000 万。在欧洲,瑞典、芬兰、挪威、丹麦等北欧国家联合开发了小区制大容量的 NM-450 和 NMT-900 系统。英国以 AMPS 为基础,将频道间隔、信令速率等几个参数作了改变后,于 1985 年开通了 TACS(Total Access Communication System)系统,拥有 200 多个基站,覆盖英国 82% 的地域。上述各种小区制移动电话系统主要性能如表 1-1 所示。

表 1-1 典型的小区制移动电话系统性能

系统名称		AMPS (美国)	TACS (英国)	NMT(北欧)		C—450 (德国)	NTT (日本)
				NMT—450	NMT—900		
无线频段(MHz)		900	900	450	900	450	800
收发间隔(MHz)		45	45	10	45	10	55
频带宽度(MHz)		25×2	25×2	4.5×2	25×2	4.4×2	25×2
频率间隙(kHz)		30	25	25	12.5	20	12.5
发射功率 (W)	基 站	40	100	50	25,6,1.5	20	25.5
	车 台	3	4~10	15	6	15	1
	手 机	0.6	0.6~1.6	2	2	—	1
小区半径 (km)	市 区	2~7	1~4	4	2	>2	2~3
	效 区	10~20	<15	20	10	25	5~10
话音调制方式		FM	FM	FM	FM	FM	FM
数字信令调制		FSK	FSK	FSK	FSK	FSK	FSK
方式及速率		10 kb/s	8 kb/s	1.2 kb/s	1.2 kb/s	5.28 kb/s	2.4 kb/s

小区制移动电话系统网络结构称为“蜂窝式”，在空间上实现频率复用。图 1-5 示出了蜂窝式移动通信系统的组成，图中一个六角形区域称为一个小区(或称无线区)，七个小区构成一个区群。图中小区编号代表不同的频道组，经过合理地配置频道，可以使相邻区群使用相同的频道，既提高了频率再用率，又能把同频干扰限制在允许的范围。

蜂窝式移动通信系统可以进行移动用户与市话用户之间的通信，也可以进行移动用户相互之间的通信。其中移动电话局(亦称移动业

务中心)在通信网中起控制和协调作用。它对所在地区已注册登记的用户实施管理(如频道分配、频道转换、指定移动台发射功率等)，也能为外地来的漫游用户提供服务。移动电话局又是移动通信网与公用电话交换网(PSTN)的接口单元，通过它以完成移动用户与市话用户的通信。

蜂窝式移动通信系统由于妥善地缓解了有限频率资源与众多用户的矛盾，尽管系统成本较高，还是得到了越来越广泛的应用，可以说它是一种很有吸引力的公用移动电话系统。

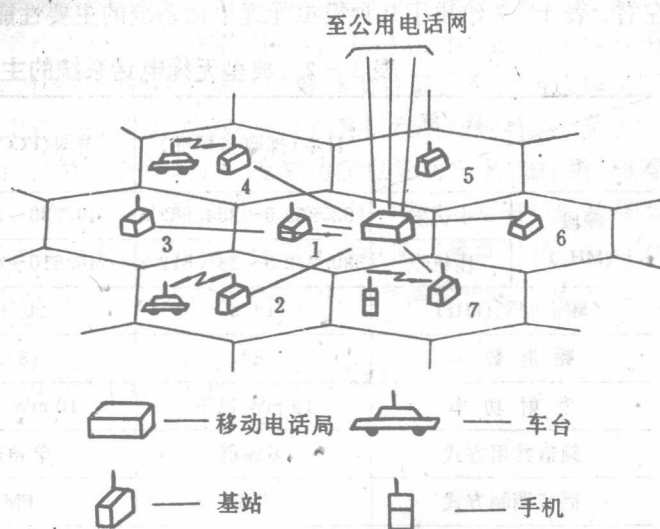


图 1-5 蜂窝式移动通信系统示意图

3. 无绳电话系统

简单的无绳电话机是把普通的电话单机分成座机和手机两部分，座机与有线电话网连接，手机与座机之间用无线电连接，这样作允许携带手机的用户可以在一定范围内自由活动中进行通话，见图 1-6。因为手机与座机之间不需要用电线连接，故称之为“无绳”电话机。

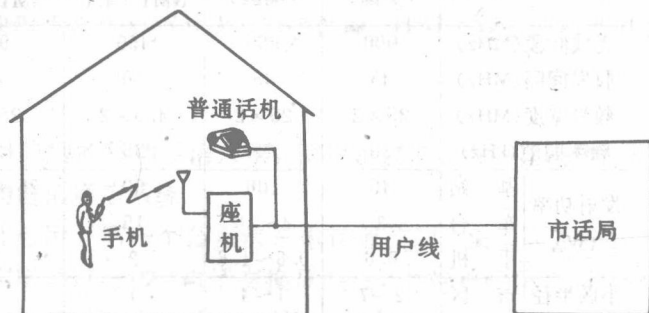


图 1-6 无绳电话系统示意图

随着通信技术的发展，无绳电话也朝着网络化的方向发展，比如在用户比较密集的地区设置基站，基站与

有线电话网连接，并有若干个频道为用户所共用。用户在基站的无线覆盖区域内，可选用空闲频道，经过基站进入有线电话网，对有线网中的固定用户发起呼叫并建立通信链路。

无绳电话的手机、座机或基站所发射的功率均在 10 mW 以下，无线覆盖半径约在 100 m 左右。表 1-2 给出了几种模拟无绳电话系统的主要性能。

表 1-2 典型无绳电话系统的主要性能

系 统		日本(邮政省标准)	美国(FCC 标准)	欧洲(CEPT 标准)
性 能	频 段			
	(MHz)			
	手机发	253.862 5~254.962 5	49.830~49.990	914.012 5~914.987 5
	座机发	380.212 5~381.312 5	46.610~46.970	959.012 5~959.987 5
频道间隔(kHz)		12.5	20/40	25
频 道 数 目		88	18/9	40
发 射 功 率		10 mW 以下	10 mW 以下	10 mW 以下
频道共用方式		多频道	单频道	多频道
话音调制方式		FM	FM	FM
控 制 信 号		副载波 FM	单音	副载波 FM

无绳电话是一种以有线电话网为依托的通信方式，也可以说它是有线电话网的无线延伸。具有发射功率小、省电、设备简单、价格低廉、使用方便等优点，因而发展十分迅速，目前已经有数字式无绳电话系统。

当前所用的无绳电话系统大多数只具有单方向呼叫功能，即移动用户所持手机可向有线电话网的固定用户发起呼叫。近年来，人们正在致力研究解决无绳电话的这种缺陷，预计在不远的将来一定会出现可以双向呼叫并具有过区切换功能的无绳电话网络。

4. 集群移动通信系统

集群移动通信系统属调度性专用通信网。无线电调度也是一种常用的移动通信业务，

广泛应用于公共汽车、出租汽车及大型工矿企业、车站、码头、机场等进行生产调度和指挥。早期的无线调度系统是由基站控制所属移动台构成专用的无线电话系统,众多移动用户共用一个频道,任一用户都能听到调度台的呼叫,即所谓是“一呼百应”系统,而移动用户之间是不能直接通话的。

到了 70 年代,国际上出现了一种具有选呼功能的调度系统,它利用选呼设备在一个共用频道上,能选择任一属台作为通信对象而不干扰其它移动用户。因为呼叫信号决定于用户地址码,因此,移动用户只有收到自己的号码时才有响应,并能自动发出回呼信号,否则处于禁听、禁讲的守候状态。显然,选呼系统比简单的“一呼百应”系统更符合使用者的要求。

由于城市中各部门、各系统都要求各自建立自己的调度系统,使移动通信频率拥挤现象更为严重。到了 80 年代,出现了集群移动通信系统。所谓“集群”,一是将各用户部门所需的基站及控制设备,集中建站、统一管理,各部门只需建立各自的调度台和配置相应的车台和手机;二是采取动态分配空闲频道的办法实现多频道共用,从而充分利用频率资源及信道设备。

集群系统采用半双工通信方式,基站的转发器为双工方式,而移动用户为异频单工。系统具有多种呼叫类型,如组呼、选呼、全呼及优先呼叫等。除此之外,系统还可与公用电话交换网(PSTN)或专用电话交换机(PABX)互连,以供移动用户与有线用户建立通信。

除了上述几种典型移动通信系统之外,近年来出现的无中心控制移动通信系统也引起了广泛注意。它把控制功能分散到各移动台中,系统内各移动台都具有自动选择空闲频道、发送和接收控制信令以及自动选呼等功能,因此系统具有机动灵活的特点,免去了基站的投资及维护管理。但这一系统的移动台稍复杂,控制功能也受到一定的约束。随着微电子技术的发展,移动台的体积、重量及成本可望进一步减小。因此,无中心控制移动通信系统是一种颇有发展前途的移动通信系统。同样,分组无线电通信系统也是一种待发展的移动通信系统,目前以数据传输为主,未来将向宽带、多种业务综合传输发展。

第二节 移动通信的基本技术与发展方向

一、基本技术

移动通信包含无线信道及有线信道,可以说移动通信综合了各种通信技术,固定通信中许多新技术、新设备都可用到移动通信中来,但它在技术上仍有很多特点,其主要技术如下:

1. 调制技术

由于调频信号接收机可使用限幅器来减小移动信道中电场起伏的影响,并具有较强的抗干扰性能,因此除了早期移动通信曾经使用过调幅(AM)外,目前在 VHF、UHF 频段上,已广泛使用调频(FM)方式,包括直接调频和间接调频。

未来的移动通信将朝着数字化方向发展,其中的关键技术之一是数字调制技术。对数字调制技术的主要要求是:已调信号的频谱窄、带外衰减快;易于采用相干解调或非相干解调;抗噪声和抗干扰的能力强,并适宜在衰落信道中传输。目前,在移动通信系统所采

用的数字调制方式,除 FSK 外,还有 GMSK 和 $\pi/4$ -QPSK 等,这方面的内容将在第二章中讨论。

2. 移动信道中电波传播的模式及抗衰落措施

移动信道属于随参信道,尤其是陆地移动通信,传播路径十分复杂,不仅受地形、地物的影响,使信号产生慢衰落,而且由于多径效应产生快衰落现象,因此要想找到普遍适用的传播模式和计算公式,用来表征移动信道是十分困难的。目前普遍采用理论分析和统计测试相结合的方法,估算不同地形、地物情况下的传播损耗,并合理地考虑衰落储备,为系统设计提供依据。为了克服信号衰落,分集接收技术是一种行之有效的办法。在第三章中将着重讨论 VHF、UHF 的电波传播及衰落问题,并对不同分集接收技术的方法及其抗衰落性能进行讨论和分析。此外,扩频技术是一种有效的抗多径衰落技术,它将在第七章中讨论。

3. 抗干扰措施

在移动信道中,不仅存在大量的环境噪声和干扰(如汽车点火系统等产生的人为噪声),还有大量电台产生的干扰,如邻道干扰、共道干扰和互调干扰等。如何提高通信电台的抗干扰能力,历来都是人们非常关注的问题。而随着通信网络的迅速发展,如何从组网技术上提高通信系统的抗干扰能力,已成为摆在人们面前的重要课题,有关干扰和抗干扰问题将在第四章中讨论。

4. 组网技术

移动通信面临用户量大、频道拥挤,干扰严重等问题,解决这些问题的重要方法就是按一定的规范组成各种移动通信网,以满足用户的不同需求。

移动通信组网涉及的技术很多,其中有效利用频率资源至关重要,现代移动通信系统一般都使用多频道共用技术,实行动态分配频道以提高频率利用率。因此网内必须建立频道分配、频道选择的规约,并需要有一信令系统以完成通信网的控制。整个移动通信网是由移动台、基站和控制交换中心几部分组成,并且还要与公用电话网互连。如何保证全网协调工作,这就少不了网络的监测和控制。不同的通信网要求不同的交换功能,如简单的专用移动通信网可用人工接续,由话务员接线完成交换功能,也可用小型交换机自动进行交换。而大容量的公用移动通信网必须具有很强的交换控制功能,它除了一般通信网的控制交换功能之外,还需要有移动业务所特有的某些功能,如位置登记、过境切换、频道转换、功率控制等。因此,需要有一部专用交换机,或普通交换机经过改装增加所需功能。有关组网技术将在第五章集中介绍。

5. 移动电台的小型化

陆上移动台分为个人携带的手机及车台,这类电台的小型化和低功耗至关重要,电台小型化与低功耗的基本技术如表 1-3 所列。其中,在移动电台,电源往往是影响体积、重量的主要因素。为了省电,简单的办法是不发射时立即断开发射部分电路。稍复杂一些的有 VOX(声控发射)技术,即对输入语音进行监测,仅在有语音时才接通发射机电路。在接收机中采用间歇接收技术,平时接收机处于守候状态,只有接收机前端电路处于工作状态,仅当收到必要的信息时才接通全部接收电路。这些省电技术对降低电源消耗会产生显著效果。

表 1-3 电台小型化的基本技术

小型化	电 路 组 成	元器件少的电路结构
		尽量采用集成电路
	元件、部件小型化	高频、中频滤波器小型化, 低频滤波器有源化
		话筒、扬声器、拨号盘、连接件、开关等小型化
	高密度组装技术	采用片状元件、小型封装件、多层布线基板
低功耗	电池长效、小型化	锰、镍镉、锂等电池
	电路低功耗	CMOS、GaAs 及大规模集成
	高效率功率放大器	GaAs, FET, 工作点最佳化
	省电技术	VOX(声控发射)
		间歇接收

电台主要性能, 根据 CCIR(国际无线电咨询委员会)建议, 对移动台的主要指标规定如表 1-4 和表 1-5 所示。

表 1-4 发射机主要指标

指 标 名 称		技 术 要 求
载波功率(W)		基站 10~50; 车、船台 5~25
载 频 容 差 $\Delta f/f$		150 MHz 30/25 kHz 频率间隔 10×10^{-6} , 12.5 kHz 8×10^{-6} 450 MHz 30/25 kHz 频率间隔 5×10^{-6} , 12.5 kHz 3×10^{-6} 900 MHz 3×10^{-6}
调制特性	调制灵敏度	由产品技术条件规定, 典型值 1~10 mV
	最大允许频偏	± 5 kHz(FM 带宽 16 kHz)
	高频调制特性	6 kHz 时, 频偏比额定频偏低 6 dB 6~20 kHz 以 14 dB/oct 递减
	剩 余 频 偏	< -35 dB
寄 生 调 幅		$\leq 3\%$
音频非线性失真		基站 $\leq 7\%$, 车(船)台 $\leq 10\%$
邻道辐射功率		比载波功率低 70 dB 以上
杂散辐射功率		当载波功率 > 25 W 时, 低于载波功率 70 dB 以上 当载波功率 ≤ 25 W 时, 应不超过 2.5 μ W
互 调 抗 拒 比		不低于 70 dB
发射机启动时间		≤ 100 ms

表 1-5 接收机主要指标

指标名称	技术要求
灵敏度	$\leq 2.0 \mu\text{V}(\text{e. m. f.})$ 12 dB 信纳比
邻道选择性	$\geq 70 \text{ dB}$
互调干扰抑制	$\geq 70 \text{ dB}$
阻塞	$\geq 90 \text{ dB}$
寄生响应抑制	$\geq 70 \text{ dB}$
大信号信噪比	$U_{\text{RF}}=26\sim 30 \text{ dB}\mu\text{V}$ 时, $S/N=40\sim 50 \text{ dB}$
音频响应	当负载为耳机时, 相对于 6 dB/oct 去加重特性, 偏离 $\leq \pm 3 \text{ dB}$
音频失真	基站 $\leq 7\%$; 车(船)台 $\leq 10\%$
限幅特性	射频电平变化自灵敏度增加 94 dB; 音频输出电平变化 $\leq 3 \text{ dB}$
杂散辐射	$\leq 2 \times 10^{-9} \text{ W}$
接收机启动时间	$\leq 150 \text{ ms}$
静噪关闭时间	$\leq 250 \text{ ms}$

二、移动通信的标准化

近 20 年来, 移动通信发展十分迅速, 它所能达到的技术水平, 往往综合体现了整个通信技术邻域已经发展的高度。在这种情况下, 移动通信的标准化问题便显得十分重要。没有技术体制的标准化就不能组成互连的移动通信网; 没有设备规范及测试方法的标准化, 也无法进行大规模生产。正因为如此, 国际上对移动通信标准化历来就非常重视, 近年来更加活跃。

国际电信联盟(ITU)是联合国机构中最早成立的一个国际电信组织, 它下设国际无线电咨询委员会(CCIR)、国际电话电报咨询委员会(CCITT)等四个常设机构, 主要研究电信技术和业务问题, 制定标准和规划, 分配和管理频谱资源, 以改进和合理使用各种信道、提高电信业务的效率, 协调国际合作, 尽量使之成为公众普遍利用。

CCIR 第八研究组是专门从事移动通信技术和业务方面的研究的, 按专业分为陆地、水上、航空和移动卫星通信四个小组。每四年为一个研究期, 其工作程序是: 首先列出研究课题, 经过中期、末期会议反复讨论, 最后经 CCIR 全会形成一系列建议、报告和课题, 编印成绿皮书。由于它是国际间对移动通信技术、业务合作研究的成果, 一旦作出了某项决定, 形成了某些建议, 各国都把它们视同国际标准, 尽可能地参照执行。

CCIR 已公布了多种建议或报告, 主要有:

Rec 478—3. 25~1 000 MHz 陆地移动业务的设备技术特性和频道划分的原则;

Rec 539—2. 未来国际无线寻呼系统的技术特性;

Rec 584—1. 国际无线寻呼标准码及其格式;

Rec 622. 用于陆地公用移动电话的模拟蜂窝网系统的技术特性;

Rec 623. 陆地移动业务的数字传输速率和调制技术;