

移动通信技术基础

1.1 移动通信基础知识

1. 通信技术概述

1) 通信技术及通信系统

通信是信息或其表示方式、表示媒体的时间/空间转移。现代通信技术涉及移动通信技术、数字通信技术、程控交换技术、信息传输技术、通信网络技术、接入技术等。纵观通信技术的发展,其具有显著特点:频率由低频向高频发展,通信方式从中波、短波发展到微波、毫米波。可以说通信技术的发展历史是不断开拓更高频率、不断提高通信容量的历史。数字化、大容量、远距离、保密性、可靠性等是现代通信的特点,发展趋势是移动化、个人化、宽带化、综合化、智能化。

通信系统指利用传输信道或网络将具有收/发信息功能的终端设备有机连接起来的系统,包括终端设备、交换设备、传输信道,可实现单向/双向或单工/双工通信功能。其基本模型如图 1-1 所示。

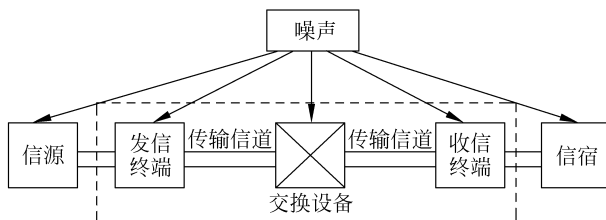


图 1-1 通信系统模型

(1) 终端设备。终端设备包括发信终端、收信终端等,除完成消息和信号的相互转换,还具有产生、识别、处理信令及信道适配等功能。不同通信业务的终端设备各异,如移动通信的手机、电话业务的电话机、传真业务的传真机、数据业务的数据终端机等。

(2) 交换设备。交换设备是通信网的核心,基本功能是汇集、转接、分配用户信号,实现用户间的选择性连接和自由通信。不同属性通信业务要求的交换设备各异:实时性强的电话业务,要求能直接接续话路的电路交换设备;实时性要求不高的数据业务,可采用分组交换设备,把数据信号分组、存储和交换,并以分组为单位,利用各信道的空闲“见缝插针”地传输。

(3) 传输设备。传输设备是连接交换节点、提供传输信号通道的系统,通常由置于系统两端的传输终端设备、通信线路和间插于线路的中继器组成。为提高传输网络的效率,现代

通信采用各种复用技术,使传输系统不仅能在“点-点”间提供许多宽带信号通道,还能在线路中串入分出/插入复用设备,沿线上/下部分通道,扩大通信系统的服务范围或覆盖范围。

2) 有线通信及无线通信

通信系统根据传输信道的不同,分为有线通信和无线通信。它们的特点分别如下:

(1) 有线通信。通信终端固定在某一地点不动;传输线路固定不动,为双绞线、电缆、光缆等全封闭式传输线;通过人造的优质信道通信,容量大、质量高;通信网络是适应固定式终端与固定式传输线的有线交换网络。有线通信的最大特点是静态的,不能随人的移动而改变,其通信容量、通信质量主要取决于所采用的交换方式与网络结构。

(2) 无线通信。通信终端和用户从全静态拓展至可移动的准动态;突破了由全封闭固定信道传输信息的约束,采用开放的无线信道传输信息;通信网络要适应通信终端和用户的准动态特性,即满足用户异地漫游等特性。无线通信采用开放、机动、灵活的无线信道代替封闭的有线信道,将静态通信方式推广至可移动的准动态,但引入了信道的时变性和随机性,降低了通信的质量与容量。

可以看出,无线通信的迅猛发展源于人类摆脱束缚的愿望。英国人麦克斯韦建立的电磁场理论以及德国人赫兹验证了电磁波的存在,使人类认识到电磁波和电磁波能量是可以控制发射的。在此基础上,意大利人马可尼发明了无线通信,并于 1896 年实现了船只和海岸间的第一次无线通信;1912 年,无线电报在一次海难中挽救了数百人的生命,充分证明了无线通信的重要性;1921 年,美国底特律警方开始使用车载无线台,它将语音通信从固定线路中解放出来,带给人类一种全新的通信观念,为无线通信的发展指明了方向。可以说,电磁理论的产生与完善,电子管、晶体管等的相继发明为无线通信奠定了良好基础,频率利用率的提高为无线通信提供了技术保障。

总体而言,20 世纪前期以有线通信为主,无线通信仅用于特殊领域,但已展示了崭新的通信空间,孕育着通信领域的革命。近年来,无线通信迅猛发展,新技术、新标准层出不穷,无线通信领域各种技术的互补性日趋明显。未来的无线通信网络呈现扁平化、网络异构化、IP 化等趋势,各种无线技术都将在这个网络中发挥作用。

2. 移动通信的发展历程

移动通信是现代通信的重要方面,通常定义为:通信的双方或至少一方在移动中进行信息传输和交换,包括固定点与移动体、移动体与移动体之间的通信。相比于缺乏动态性的传统有线通信,移动通信的传输线路是随终端移动而实时分配的动态无线链路。可以看出,它与有线通信的最本质区别是“移动性”,表现为终端的移动性、业务的移动性及个人身份的移动性,关键是“动中通”。

现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代,大致经历了以下几个发展阶段。

(1) 20 世纪 20—40 年代为早期发展阶段。首先在几个短波频段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 2MHz,40 年代提高到 30~40MHz。可以认为该阶段是现代移动通信的早期,特点是移动通信系统专用、工作频率较低。

(2) 40 年代中期—60 年代初。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,美国贝尔实验室建立了世界上首个公用汽车电话网,它使用 3 个频道、间隔 120kHz 进行单工通信;1949 年,FCC 正式确认移动通信是一种新的电信业务;

西德(1950 年)、法国(1956 年)、英国(1959 年)等也相继研制了公用移动电话系统。该阶段的特点是从专用移动网向公用移动网过渡,采用人工接续方式,通信网络的容量较小。

(3) 60 年代中期—70 年代中期。美国推出了改进型移动电话系统,使用 150MHz 和 450MHz 频段,实现了无线频道自动选择并能自动接续到公共电话网(PSTN);西德推出具有相同技术水平的 B 网。这是移动通信的改进、提高阶段,特点是大区制、中小容量,实现了自动选频、自动接续。

(4) 70 年代中期—80 年代中期。蜂窝状模拟移动通信(1G)成为实用系统,并迅速发展。主要原因:用户数量剧增;微电子技术迅猛发展,通信设备小型化、微型化有了可能;提出并形成了移动通信新体制,如贝尔实验室提出的蜂窝网概念缓解了移动通信系统容量与频率资源间的矛盾;计算机的发展为大型通信网管理、控制提供了技术保障。具代表性的有美国的高级移动电话系统(AMPS)、欧洲的全接入通信系统(TACS)等。上述模拟通信系统采用频分多址(FDMA)、多信道共用等技术,使用 800/900MHz 频段,传输速率约 2.4kb/s。由于是区域性移动通信系统,有多种互不兼容的制式,不能自动漫游。此外,系统不能提供数据业务,业务种类单一,通信保密性差,终端设备体积大、质量大、价格高,特别是系统容量难以满足日益增长的移动用户需求。中国于 1987 年开始建立模拟蜂窝通信系统,采用 TACS 标准。

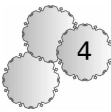
(5) 80 年代中期—90 年代中期。这是第 2 代移动通信系统(2G)的发展时期。数字通信频谱利用率高,显著提高了移动通信系统的容量,能提供语音、数据等业务。具代表性的有 1991 年美国提出的数字高级移动电话系统(D-AMPS)、1992 年欧洲推出的全球移动通信系统(GSM)、1993 年日本提出的公用/个人数字蜂窝系统(PDC)。2G 以时分多址(TDMA)和电路交换等技术为基础,主要承载语音业务,传输速率 9.6kb/s。其基本特征:以传输话音和低速数据业务为目的;提高了频谱利用率,系统容量较大,业务范围较广,有利于通信加密,可自动漫游(不能全球漫游)。中国于 1993 年在浙江嘉兴建设 GSM 实验网,并逐渐在国内推广。

(6) 90 年代中期,为解决移动通信的中速数据传输问题,推出以通用分组无线业务(GPRS)为代表的第 2.5 代移动通信系统(2.5G),能提供语音及中速率数据服务。由于数据通信和多媒体业务发展势头迅猛,目前,移动通信从 2G 向第 3 代移动通信系统(3G)过渡。3G 的目标是移动宽带多媒体通信,核心技术是宽带码分多址(WCDMA)。

可以看出,1G 为模拟蜂窝系统,主要采用模拟技术、FDMA 技术,终端设备体积大、功耗高、安全性差,只能实现语音通信,漫游能力差;2G 是数字蜂窝系统,主要采用数字技术、TDMA 技术,通信容量较大,能提供多种业务,以 GSM 为代表;3G 主要基于宽带 CDMA 技术。三代移动通信系统的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 三代移动通信系统的比较

第一代移动通信系统	第二代移动通信系统	第三代移动通信系统
模拟(蜂窝)	数字(双模式,双频)	多模式,多频
仅限语音通信	语音和数据通信	当前通信业务(语音、中速数据)之外的新业务
仅为宏小区	宏/微小区	卫星/宏/微/微微小区



续表

第一代移动通信系统	第二代移动通信系统	第三代移动通信系统
主要用于户外覆盖	户内/户外覆盖	无缝全球漫游,供户内外使用
与固定 PSTN 完全不同	固定 PSTN 的补充	与 PSTN 综合,作为信息技术业务(数据网、互联网)的补充
以企业用户为中心	企事业和消费者	通信用户
主要接入技术: FDMA	主要接入技术: TDMA	主要接入技术: WCDMA
主要标准: AMPS、TACS	主要标准: GSM、IS-136(或 D-AMPS)、PDC	主要标准: 三模式宽带 CDMA (WCDMA)直接序列、多载波和时分双工(TDD)

作为目前发展最快、应用最广泛的通信手段,数字化、个人化、智能化、宽带化是现代移动通信的主要特征。其最终目标是实现 5W+4Z 的通信:5W 即“实现任何人可以在任何时间、任何地方、以任何方式与任何人进行任何种类的通信”;4Z 即“移动化、个性化、智能化和虚拟化”。移动通信业务将最终实现与平台的无关性、网络的无关性及与设备的无关性等。移动通信系统的发展历程及趋势如图 1-2 所示。

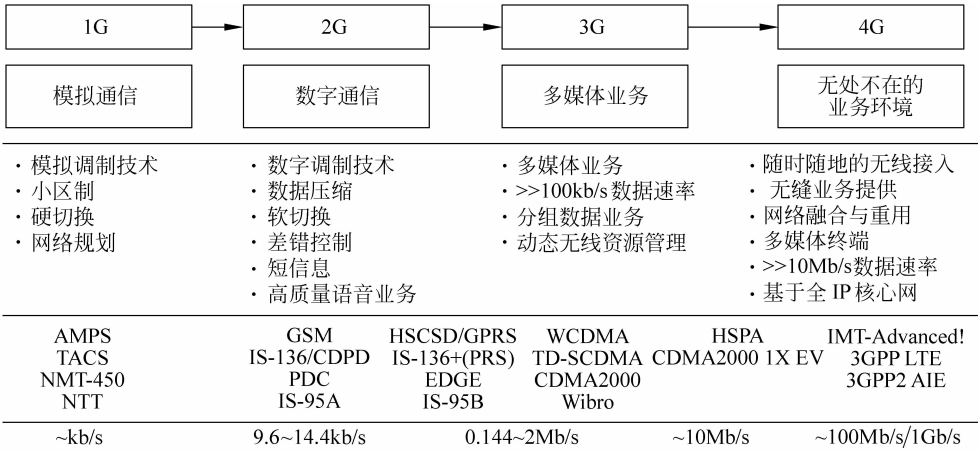


图 1-2 移动通信系统的发展历程及趋势

3. 移动通信的主要特点

移动通信的主要特点如下:

(1) 移动通信必须利用无线电波传输信息。

移动通信用户可以在一定范围自由活动,只能利用无线电波传输信息,通信系统运行环境复杂。无线电波随着传播距离的增加发生弥散消耗,还受地形、地物的遮蔽发生“阴影效应”。此外,无线电波经多点反射,会从多条路径到达接收地点,这些多径信号的幅度、相位和到达时间各异,它们互相叠加会产生电平衰落和时延扩展。同时,移动通信常常在快速移动中进行,不仅会引起多普勒频移进而产生随机调频,还使得电波传输特性发生快速的随机起伏导致通信质量受到严重影响,因此移动通信系统须根据移动信道的特征进行科学、合理

的设计。

(2) 移动通信是在复杂的干扰环境中运行。

移动通信系统在一个无线小区内同时进行通信的情况很多,同一基站多部收/发信机同时工作必然会产生许多干扰信号。此外,还有各种工业干扰和人为干扰。移动通信系统存在通道干扰、互调干扰、邻道干扰、多址干扰等,以及近基站强信号会压制远基站弱信号(“远近效应”)。因此,移动通信系统需采用多种抗干扰、抗衰落技术措施以减少这些干扰信号的影响。

(3) 移动通信业务量的需求与日俱增。

移动通信可以利用的频谱资源非常有限,但不断地扩大移动通信系统的通信容量始终是移动通信发展中的焦点。要解决上述问题,一方面要开辟和启动新的频段,另一方面要研究发展新技术、新措施,提高频谱利用率。因此,合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提。

(4) 移动通信系统网络结构多种多样,网络管理和控制必须有效。

根据通信地区的不同需要,移动通信网络结构多种多样,如带状、面状、立体状等;移动通信网络可以组成单网运行,也可以多网并行并实现互连互通。为此,移动通信网络必须具备很强的管理和控制能力,如用户登记和定位,通信链路的建立和拆除,信道分配和管理,通信的计费、鉴权、安全和保密管理,用户过境切换和漫游控制等。

(5) 移动通信设备必须适于在移动环境中使用。

移动通信设备要求体积小、重量轻、省电、携带方便、操作简单、可靠耐用和维护方便,还应保证在振动、冲击、高低温环境变化等恶劣条件下能够正常工作。

可以看出,移动通信最主要的特点是全动态的,即终端、信道、网络都要满足动态特性。此外,移动通信的容量与质量瓶颈主要在于传输信道,即无线空中接口。

4. 移动通信的基本技术

移动通信特有的信道特性对系统的技术应用提出了诸多挑战。现代移动通信的发展也是以多种先进技术的出现和发展为基础的,涉及调制技术、抗干扰技术、电波传播特性、多址接入技术、组网技术、语音编码技术等。下面主要介绍调制技术、抗干扰技术,电波传播特性、多址接入技术、组网技术分别在 1.3 节~1.5 节中介绍,语音编码技术在第 3 章阅读材料 4“音频编/解码技术”中介绍。

1) 调制技术

调制的目的是把要传输的模拟信号或数字信号变换成适合信道传输的信号(已调信号)。调制技术本身是有线通信系统常用的技术,但模拟和数字移动通信系统也广泛应用。考虑到移动通信信道带宽有限、干扰和噪声影响大、存在多径衰落等,已调信号应具有较高的频谱利用率,以及较强的抗干扰、抗衰落能力。以 2G 系统为例,作为其关键技术之一的数字调制技术基本要求:已调信号的频谱窄而带外衰减快,也就是频率利用率高,易于采用相干或非相干解调,抗噪声和抗干扰能力强,适合在衰落信道中传输等。

数字调制技术的基本类型有振幅键控、频移键控和相移键控(PSK)3 种。实际应用中,多采用这几种基本调制类型改进或综合而成的技术,主要分两类:一类是线性调制技术,包括相移键控、四相相移键控、偏置键控-四相相移键控、 $\pi/4$ -差分四相相移键控、多电平相移键控等,这些调制方式对设备要求较高,但频谱利用率较高;另一类是连续相位调制技术,

包括最小频移键控、高斯最小频移键控、高斯频移键控和受控调频等,优点是已调信号具有较窄的功率谱,对放大设备没有线性要求,但频谱利用率较低。GSM 采用的就是高斯最小频移键控调制技术。正是由于采用特定的调制方式和相应的加密方法,数字移动通信系统才具有良好的通信质量及保密性能。

2) 抗干扰技术

移动通信信道中,除大量环境噪声和干扰外,还有大量电台产生的干扰和电波反复反射产生的多径干扰。因此,设计、开发和制造移动通信网络及其设备时,必须考虑网络运行环境中出现的各种干扰,并采取有效的抗干扰措施。移动通信系统常用的抗干扰措施有以下几种。

(1) 利用信道编码进行检错和纠错,包括前向纠错(FEC)和自动请求重传(ARQ)等技术,能有效降低通信传输差错率,保证移动通信的质量和可靠性。

(2) 广泛采用分集技术、自适应均衡技术以及采用具有抗码间干扰和时延扩展能力的调制技术,以克服由多径干扰引起的多径衰落。

(3) 采用扩频技术和调频技术,以提高移动通信系统的综合抗干扰能力。

(4) 采用扇区天线、多波束天线和自适应天线阵列等技术,以减少蜂窝移动通信网络的共道干扰。

(5) 在 CDMA 通信系统中使用干扰抵消和多用户信号检测技术,减少多址干扰。

1.2 移动通信系统构成及分类

1.2.1 移动通信系统构成

移动通信系统的模型如图 1-3 所示。其覆盖区域划分为类似蜂窝的多个小区,每个小区设置了为用户提供接入和信息转发服务的基站。

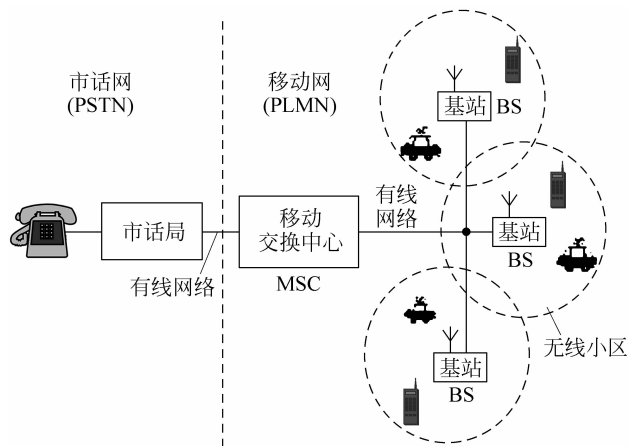


图 1-3 移动通信系统模型

1) 移动台

移动台(MS)是用户使用的移动终端设备,最常见的是手机。它是用户进入移动通信系

统进行通信的接口设备,用户通过移动终端设备接收来自系统的各种信号,也通过它向系统发送自己的信号。数字移动台一般框图如图 1-4 所示。

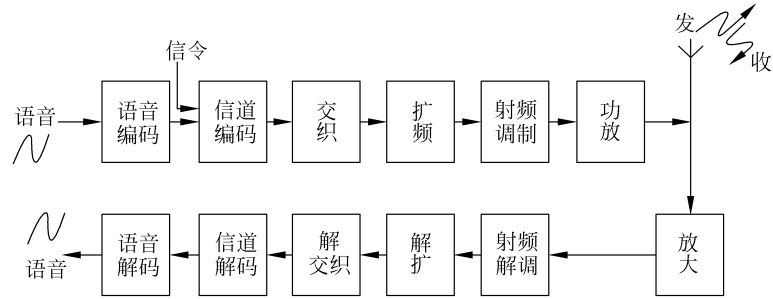


图 1-4 数字移动台一般框图

2) 基站

基站(BS)的作用是实现覆盖范围内的移动终端与移动通信系统之间的无线电通信。基站都有覆盖范围,主要由发射机功率和基站天线高度决定。数字移动通信系统的基站模型如图 1-5 所示。

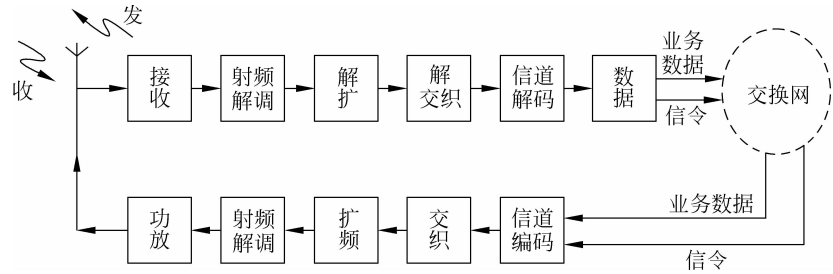


图 1-5 数字移动通信系统基站模型

3) 移动交换中心

移动交换中心(MSC)的主要任务是实现服务区内各个小区之间的信息交换、服务区内外的信息交换、对服务区内各个小区进行集中控制管理等,并通过有线网络与 PSTN 连接,实现移动、固定用户间的通信,构成有线、无线相结合的通信网。显然,服务区内任意两个移动用户间的通信需经 BS、MSC 等转接完成。

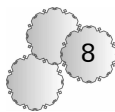
1.2.2 移动通信系统分类

移动通信系统有多种分类方法,这里简要介绍其中的两种:按基站覆盖范围的不同,分为大区制、小区制、蜂窝制;按通话状态和频率使用方法的不同,分为单工制、半双工制和双工制。

1. 按基站覆盖范围的不同分类

1) 大区制

移动通信系统通过基站提供无线服务,基站的覆盖范围有大有小。采用大功率的基站也称大区制,能提供较大的服务范围,但频率利用率较低。大区制通常只设一个基站负责服



务区内的移动通信,如图 1-6(a)所示。基站输出功率 $50\sim 200\text{W}$,天线高度几十至百余米,覆盖范围 $30\sim 50\text{km}$ 。大区制有一个至数个无线频道,用户几十至几百个。该体制网络结构简单、所需频道数少、无须交换设备、投资少、见效快,但上行/下行信道不均衡严重(基站发射功率约 200W 、移动台发射功率仅 0.6W)、频率利用率低,适合用户数较少的区域使用。

2) 小区制

小区制把整个服务区域划分为若干小区,各小区分别设置一个基站,负责本小区的移动通信,如图 1-6(b)所示。它采用 FDMA 等技术来提高频率资源利用率,在相同的服务区域内增加了基站数目。这样,有限的频率资源可以多次使用,通信系统的容量较大。同时,在移动交换中心统一控制下,实现了小区间移动用户通信的转接以及与 PSTN 的互通。小区制以管理和设备的复杂为代价,获得较高的频率资源利用率。通常,小区越小、频率利用率越高,系统容量也越大,但系统控制、管理较为复杂,且投资较高。

3) 蜂窝制

为进一步提高移动通信系统的容量,可以将小区制的每个小区分为若干个微小区(称为蜂窝),每个微小区覆盖范围仅数千米,如图 1-6(c)所示。每个微小区使用一个无线通信频率,但相隔一定距离时该通信频率可以重复使用而不会互相干扰,提高了无线频谱资源的利用率。通常,基站设置在微小区的顶点,采用 120° 定向天线发射 $5\sim 10\text{W}$ 的电磁波实现无线信号覆盖。目前,以通信容量较大的蜂窝制作为移动通信系统的主要方式,能为密集用户群提供良好的移动通信服务。

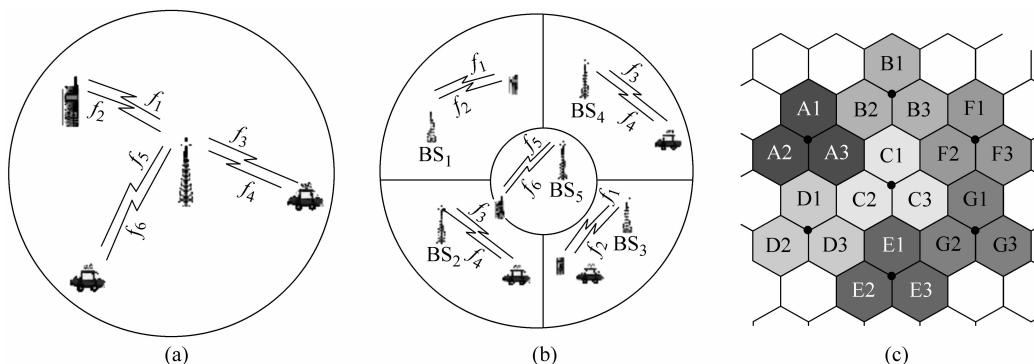


图 1-6 移动通信网区域覆盖方式

2. 按通话状态和频率使用方法的不同分类

1) 单工通信

单工通信指通信双方的终端只能交替地进行发信、收信,常用于“点-点”通信,如图 1-7 所示。根据收信/发信频率是否相同,分为单频单工和双频单工。

(1) 单频单工。单频指通信双方使用相同的工作频率 f_1 ,单工指通信双方的操作采用“按-讲”方式。甲方需要通信,按压“按-讲”开关(PTT),甲方的发射机工作,这时乙方接收机处于收听状态,实现甲至乙的通话;同理,也可实现由乙至甲的通话。该方式设备简单、功耗小,但通话可能出现断续现象。此外,同一地区多部移动终端使用相邻的频率时,相距

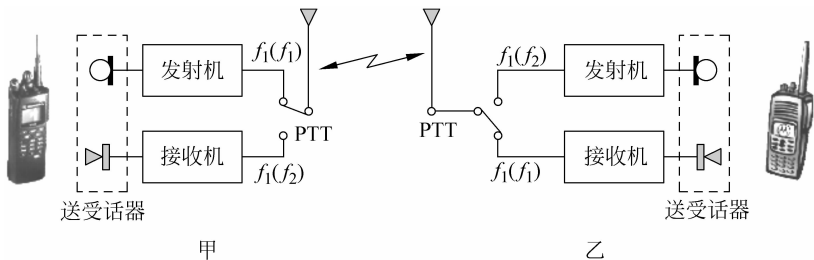


图 1-7 单工通信系统模型

较近的移动终端间会产生干扰。

(2) 双频单工。双频单工指通信双方使用两个频率 f_1 和 f_2 ，操作采用“按-讲”方式。同一移动终端(如甲方)的收/发信机交替工作，只是收信/发信发各用一个频率。

2) 双工制

双工制指通信双方的终端可以同时工作，无须“按-讲”开关，与普通市话的使用类似，如图 1-8 所示。该方式操作方便，但无论是否通信发射机始终在工作，对以电池为能源的移动终端不利。目前，移动通信系统广泛应用双工制通信方式。

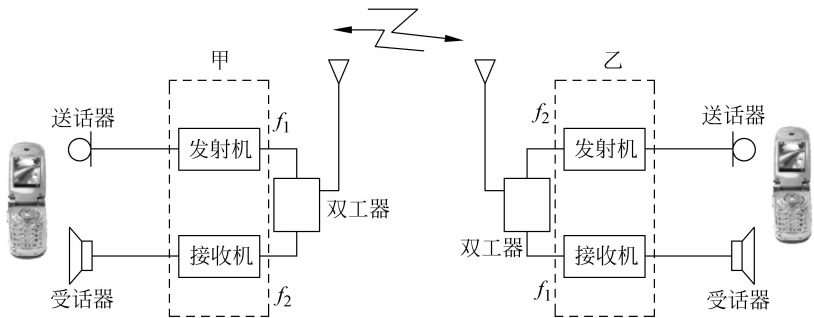


图 1-8 双工通信系统模型

1.3 移动通信的电波传播

1.3.1 无线电波的传播方式

1. 无线电波的波段划分

无线电波按波长的不同，分为长波(波长 $>1\,000\text{m}$)、中波(波长 $100\sim1\,000\text{m}$)、短波(波长 $10\sim100\text{m}$)、超短波和微波(波长 $<10\text{m}$)等。各波段相关参数及应用如表 1-2 所示。

表 1-2 无线电波各波段相关参数及应用

序号	频段	频段范围	传播方式	传播距离	可用带宽	干扰量	应 用
1	甚低频	3~30kHz	波 导	数千千米	极有限	宽扩展	世界范围远距离无线导航
2	低频	30~300kHz	地波、天波	数千千米	很有限	宽扩展	远距离无线民航战略通信

续表

序号	频段	频段范围	传播方式	传播距离	可用带宽	干扰量	应 用
3	中频	300~3 000kHz	地波、天波	数千千米	适中	宽扩展	中距离“点-点”广播及水上移动通信
4	高频	3~30MHz	天波	数千千米	宽	有限的	远/短距离“点-点”广播,移动通信
5	甚高频	30~300MHz	空间对流层,散射、绕射	几百千米以内	很宽	有限的	短/中距离“点-点”移动,局域网声音和视频广播,个人通信
6	特高频	300~3 000MHz	空间对流层,散射、绕射视距	<100km	很宽	有限的	短/中距离“点-点”通信,声音和视频广播,个人通信,卫星通信
7	超高频	3~30GHz	视距	约 30km	很宽	有限的	短/中距离“点-点”通信,声音和视频广播,移动通信,卫星通信
8	极高频	30~3 000GHz	视距	20km	很宽	有限的	短/中距离“点-点”移动通信,个人通信,卫星通信

无线电波传输时,会产生折射、反射、散射、绕射和吸收等现象。为了确定无线通信系统的频率、功率、增益、灵敏度、信噪比、工作方式等,需了解无线电波的传播特性。

2. 电磁波频谱分布及应用

电磁波的频谱分布及应用如图 1-9 所示。各种电磁波的波长或频率之所以不同,缘于产生电磁波的波源各异。例如,无线电波是由电磁振荡发射的;微波是利用谐振腔及波导管激励与传输,通过微波天线向空间发射的;红外辐射是由于分子的振动和转动能级跃迁时产生的;可见光与近紫外辐射是由于原子、分子中的外层电子跃迁时产生的;紫外线、X 射线

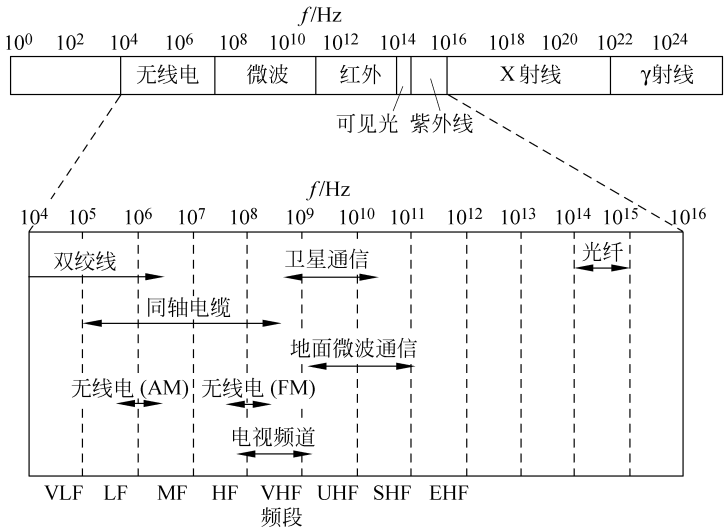


图 1-9 电磁波的频谱分布及应用