

移动通信概述

用任何方法，以任何传输媒质将信息从一地传输到另一地，均可称为通信，即通信就是信息的传递和交换。传递信息是人类生活的重要内容之一，信息传递的手段很多，从古代的烽火、信鸽，到近代的电报、无线信号传输等，其中利用无线电进行信息传输占有极为重要的地位。人们之间的通信内容不仅指双方的语言通话，还包括数据、传真、图像、控制信号等各种信息传递业务。

自 19 世纪末无线电发明以来，无线通信作为一种新兴的通信技术得到了迅速发展，因为这种通信方式很适合人们在移动过程中进行通信。特别是上世纪 70 年代末，移动通信网建立以后，移动通信已经成为人类日常生活中不可缺少的重要组成部分。移动通信是指通信者双方至少有一方处在移动状态下（或暂时静止）而实现的通信，它是利用无线电波的辐射与传播，经过空间电磁场来传递信息的通信方式。

移动体（行人、车辆、船舶、飞机）与固定体之间，移动体与移动体之间的通信分别构成了陆地移动通信、海上移动通信和航空移动通信，图 1.1 为移动通信系统的组成示意图。当前世界移动通信技术已经进入了 3G 的全面运营阶段，移动通信已经成为通信领域中最具有活力、最具有发展前途的一种通信方式，是当今信息社会中最具个性化特征的通信手段，它的发展与普及改变了社会，改变了人类的生活方式。

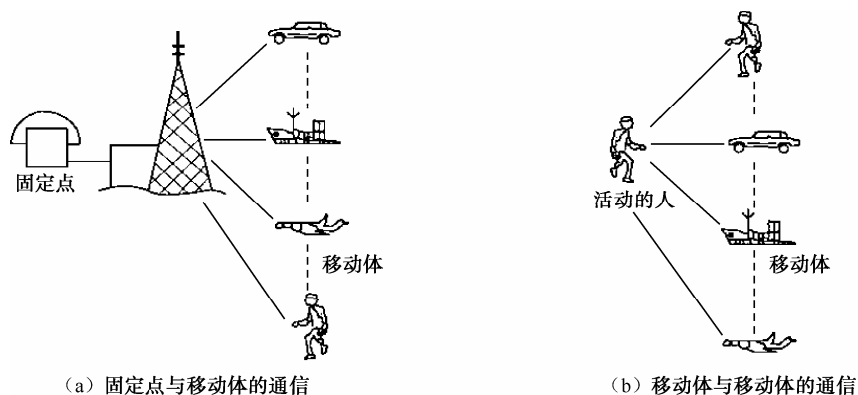


图 1.1 移动通信系统的组成示意图

在未来，移动个人通信将会得到更加快速的发展。为让读者对移动通信有初步了解，本



章首先给出与移动通信有关的一些概念,对典型的移动通信系统、移动通信的发展、应用以及主要涉及的业务范围做简要介绍。移动通信通常包括陆地蜂窝移动通信、卫星移动通信、无线寻呼、无绳电话和手持对讲机等。

1.1 移动通信的发展概况

根据信息的传输媒质不同,通信方式可分为有线通信(信息通过电缆、光缆等有线通信网络进行传输)和无线通信(信息经空间电磁波传输)。为了方便移动体之间的通信联系,只能通过无线电波来实现,即移动通信应属于无线通信的范畴。但多数移动通信网又依赖于公用交换电话网(PSTN, Public Switched Telephone Network)、公用数据网(PDN, Public Data Network)、综合业务数字网(ISDN, Integrated Service Digital Network)等有线通信网络技术。

现代移动通信技术是一门复杂的高科技新技术,不仅集中了无线通信和有线通信的最新技术成就,而且还集中了网络技术和计算机技术许多成果。它由发射系统、中继设备、接收设备等系统构成了庞大的移动通信网络设备。目前,移动通信已从模拟移动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。

1.1.1 移动通信的几个发展阶段

从20世纪的20年代至40年代为移动通信技术的早期发展阶段,在此期间,移动通信主要用于船舶、航空、警车等专用无线通信及军事通信。其使用频率在短波频段,其典型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40MHz左右。

从20世纪40年代中期至60年代初,公用移动通信业务问世,为第二个发展阶段,移动通信所使用的频率开始向更高的频段发展。1946年,美国在圣路易斯城建立起世界上第一个“公用汽车电话网城市系统”。而后,德国、法国、英国等一些国家也相继组建了公用汽车电话系统,开通了汽车电话业务。在此期间,通信设备之间的通信接续工作为人工操作,而且网络结构大都属于二级结构,这时的移动通信主要使用甚高频(VHF, Very high frequency)150MHz和特高频(UHF, Ultra High Frequency)450MHz频段,东欧的一些国家采用330MHz频段,信道间隔为50kHz~120kHz,通信方式为单工方式。此阶段可用的信道数很少,因而通信网的容量也非常小。

第三个阶段是从20世纪60年代中期至70年代中期,推出了自动交换式的三级结构网。工作频率为150MHz和450MHz,信道间隔已缩小到20kHz~30kHz,信道数目大大增加,实现了无线频道自动选择,并能自动接续到公用电话网。其典型代表是美国推出的改进型移动电话系统(IMTS, Improved Mobile Telephone Service)。在这一时期,德国也推出了具有相同技术水平的B网。因此,该阶段是移动通信系统改进与完善的阶段。

第四阶段是从20世纪70年代中期至80年代,是移动通信技术蓬勃发展的阶段。进入70年代以后,经济较发达的国家对移动电话的需求量迅速增加,同时由于微电子技术和计算机技术的迅速发展,以及人们对超高频收信机、发信机、滤波技术、小型天线等设备的研制



有了新的突破,加之新理论、新体制也在不断发展和完善,为模拟蜂窝移动通信系统的诞生奠定了坚实的基础。1974年美国联邦通信委员会(FCC, Federal Communications Commission)在800MHz频段上为蜂窝移动通信分配了40MHz的带宽。同时,北欧也推出了北欧移动电话系统(NMT),在1978年的年底,美国贝尔实验室成功研制了高级模拟移动电话系统(AMPS),建成了蜂窝状移动通信网,大大提高了系统容量。1983年,AMPS首次在芝加哥投入使用,之后,服务区域在美国逐渐扩大,并且发展到太平洋的许多国家。1979年日本推出了日本自动移动电话系统(NAMTS),而英国在1985年也推出了全址通信系统(TACS, Total Access Communications System)。这些系统均采用频分多址(FDMA)方式。早期的蜂窝移动通信系统主要工作在150MHz和450MHz频段上,后来为了有效利用频率资源,增加移动通信系统的信道容量,大多数移动通信系统均采用800MHz和900MHz的工作频段,信道间隔为12.5kHz~30kHz。

第五阶段是从20世纪80年代中期开始,该阶段是数字蜂窝移动通信系统发展和成熟时期。模拟蜂窝移动通信系统自80年代推出以来,发展非常迅速,其中以AMPS和TACS系统为代表的模拟蜂窝网取得了很大成功。但是,模拟蜂窝移动通信系统暴露出频谱利用率低、不能提供数据服务、保密性差等弱点,其主要原因还是在于其信道容量已不能满足日益增长的移动用户的需求,所以到了80年代中期,欧、美、日等国家都开始开发数字蜂窝移动通信系统。

为了建立一个全欧洲统一的数字蜂窝移动通信系统,欧洲邮电主管部门会议于1982年成立了移动通信特别小组(GSM, Groupe Spécial Mobile),1988年推出了欧洲移动通信系统标准,于1992年投入运营时分多址(TDMA)方式的GSM标准数字蜂窝移动通信系统。GSM标准的工作频段最初设定在900MHz,称为GSM900。目前由于通信容量的需要,已将GSM标准推广到新的1800MHz频段和1900MHz频段,基本结构不变,分别称为DCS1800和PCS1900。

由于美国的模拟蜂窝移动通信系统(AMPS)十分发达,这就要求新的数字蜂窝移动通信系统可与模拟蜂窝移动通信系统兼容,不仅能提供好的服务质量,而且能扩大系统容量,所以美国推出的数字蜂窝移动通信标准均是数字模拟兼容的双模体制。美国电信工业协会于1989年制定了模拟数字兼容的数字蜂窝移动通信标准IS—54。DAMPS是美国数字蜂窝移动通信系统(TDMA方式)体制,它是在AMPS系统上发展而来的。DAMPS系统是AMPS系统频谱利用率的4.24倍,信道数是AMPS的3.75倍。

PDC是日本数字蜂窝移动通信系统的标准,与美国的DAMPS系统体制基本相同。

1993年7月16日美国电信工业协会正式通过了美国QUALCOMM公司提出的世界上第一个码分多址(CDMA)方式的蜂窝移动通信标准IS—95。1995年11月1日,香港和记黄埔公司采用摩托罗拉公司的CDMA系统正式开通了全球第一个CDMA商用网。韩国三星电子公司于1996年4月1日也正式开通了CDMA系统。2002年中国联通在我国大规模推广CDMA系统,并且很快使之得到普及。

目前,移动通信技术的发展非常迅速,从第一代模拟移动通信系统应用,到第二代数字移动通信系统的普及。而今,第三代移动通信系统已经全面运营,它主要有WCDMA, CDMA2000, TD—SCDMA三种移动通信的无线传输技术。第三代数字手机款式的主要特点是具有超大显示屏、触摸式键盘,具有摄像头、微机接口等。总之,第三代数字手机集通信、



笔记本电脑、商务通三者的功能优势于一体。2001年10月1日,日本NTT下属的DoCoMo公司在世界同行的瞩目下正式推出全球第一个基于WCDMA标准的3G商用服务;日本KDDI公司于2002年4月1日正式推出基于CDMA 2000 1X的3G服务与DoCoMo公司竞争,使日本的3G通信被推向了一个小小的高潮。在移动互联服务基础较好的韩国,SK电信和韩国电信公司的3G商用服务也已经出炉。此外,美国Sprint PCS移动通信公司已将自己设在全国的移动通信网络升级为以CDMA 2000 1X为标准的第三代网络。这被认为是美国无线互联网产业的一个里程碑。欧洲近期推出UMTS的第三代数字手机,这种数字手机将能使用户得到更好的互联网服务,数字手机屏幕将能接收到更好的图像。目前第三代移动通信(3G)已经步入市场,这又是移动通信进程中的重要一步,第四代移动通信已为时不远了。

1.1.2 我国移动通信的发展

我国民用移动通信起步较晚,直到1987年才采用了全址通信系统(TACS)体制900MHz频段,作为我国蜂窝移动通信系统标准。1987年年底在广州开通了第一个模拟蜂窝移动通信系统,之后其发展速度非常快。但由于模拟移动网通信存在容量小、业务类型少、信号质量不好、防盗打性能差等问题,在2001年12月31日,模拟蜂窝移动通信系统被淘汰出局,第一代移动通信设备在全国范围内停止使用。

第二代移动通信泛指数字蜂窝移动通信系统,我国目前主要采用GSM制和CDMA制,分别采用时分多址(TDMA, Time Division Multiple Access)方式和码分多址(CDMA, Code Division Multiple Access)方式。GSM系统由中国移动通信公司和中国联通公司运营,CDMA系统由中国联通公司运营。1994年广州、深圳、珠海、惠州四个城市相继引入GSM系统,至今我国GSM系统已运营近三十年。2002年中国联通公司大规模推广CDMA系统,并且很快使之普及。现在我国几乎人人都持有一部手机,除非经济特别不发达地区。

在未来的发展中,中国移动与中国联通,一个主攻GSM,一个主攻CDMA,市场竞争将依然激烈。中国移动将着重发展以GSM—GPRS—UMTS为路径的演进之路,中国联通虽仍将努力耕耘GSM网络,但其投资重心和业务重心都将转移至CDMA。由于CDMA 2000 1X在数据业务上的一定优势,所以中国联通将CDMA 2000 1X看做是今后在移动互联领域发展的首选。

2000年5月,我国提交的TD—SCDMA第三代移动通信标准被国际电信联盟正式采纳,成为第三代移动通信无线接口技术规范之一。这是我国电信历史上的第一次,也为扭转民族移动通信产业被动局面,为我国移动通信的迅速发展提供了难得机遇。目前,中国正在加紧研究、完善TD—SCDMA第三代移动通信标准,并推进其应用。

在我国范围内,移动通信已从当初固定通信的一种补充和延伸手段,发展成为一个独立承载通信功能的主要网络。

1.1.3 3G、4G 移动通信系统

自2000年开始,伴随着第三代移动通信系统(3G)的大量论述,以及2.5G产品GPRS系统的过渡,3G走上了移动通信舞台的前沿,于21世纪初期投入商用。当前,移动通信技



术的发展呈现加快趋势,当第三代移动通信系统方兴未艾之时,第四代移动通信系统(4G)的讨论已经如火如荼的展开,国际上通信技术发达的国家已着手制定 4G 的标准和产品,部分国家的标准已提交国际电信联盟(ITU, International Telecommunications Union),目前正在标准化。从技术上看,4G 系统在 3G 业务多媒体化的基础上,以无缝灵活支持高速宽带无线互联网业务为主要目标,打破蜂窝网结构,引入网络动态特性,并能做到在任何地方宽带接入互联网,实现多网融合。

1.1.4 移动通信的发展趋势

目前移动通信设备正朝着数字化、宽带化、小型化、可视化的方向发展。未来移动通信网也会向综合化、智能化、全球化、个人化的方向发展。蜂窝、无绳、寻呼和集群等各种移动通信系统将在第三代通信网中,以全球通用、系统综合为基本出发点逐步融合,力图建立一个全球性的移动综合业务数字网。借助各种高、中、低轨道卫星移动通信系统,解决全球覆盖,满足三维空间的个人移动性。移动通信网作为一种理想的智能接入网,将来必然要与固定通信网综合成全球一体网,实现人类通信的最高境界——个人通信。

1.2 移动通信的特点及分类

基于人们对移动通信设备的要求,移动通信与固定通信不同,它是通信环境比较差的一种通信方式。

1.2.1 移动通信的特点

因为移动台所处的位置和周围地理环境不断变化,使通信设备极易受外界环境因素的影响,所以移动通信具有与其他通信方式相比所独有的特点。

1. 移动通信必须利用无线电波进行信息传输

移动通信中的移动终端到基站之间必须靠电磁波,通过无线信道来传送信息,电磁波这种传播媒介允许通信中的用户在一定范围内自由活动,其位置不固定。但电磁波的传播特性受到诸多因素的影响。

在移动通信系统中,移动台不断运动,移动通信的运行环境复杂多变,随着传播距离的增加,电磁波会发生弥散损耗。城市地形起伏,高层建筑林立且形状各异,电磁波传播条件恶劣,会受到地形、地物、地貌的遮蔽而发生“阴影效应”。到达接收点的信号由直射波和各个方向的反射波叠加而成,是电波的多径传播,如图 1.2 所示。这些电磁波都是从同一天线发射出来的,但到达接收点的途径不同,而且移动台处于运动状态中,因此移动台接收的信号电平起伏不定,相位不断变化,其合成信号的强度不同,最大可相差 30dB 以上,即产生所谓的衰落现象,严重影响通信质量。因此,只有充分研究电波传播的规律,才能进行合理的系统设计。解决方法是在移动通信设备中采用自动功率控制(APC)电路。

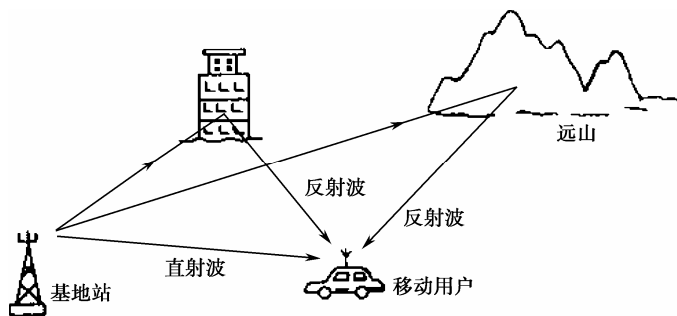


图 1.2 电波的多径传播示意图

2. 强干扰环境下工作

移动通信的信号质量不仅取决于设备本身的性能,还与外界噪声干扰有关。处于运动状态的移动台设备,外界环境变化很大,移动台很有可能进入强干扰区进行通信。处于移动台接收机附近的发射设备、汽车的点火系统、工厂的高频热合机、高频炉等电磁设备,对移动通信的信号影响也很严重。最常见的干扰有互调干扰、邻频道干扰及同频干扰等。因此,在系统设计时,应根据不同的外界环境和不同的干扰形式,采取不同的抗干扰措施。解决方法是在移动通信设备中采用各种变频电路和滤波器等技术。

3. 多普勒效应

移动台的载体运动达到一定速度时,如高速行驶的汽车、火车、超音速飞机、卫星等,接收到的信号载波频率将随着载体的运动速度而改变,产生不同的频移,通常把这种现象称为多普勒效应,它将产生随机调频,其示意图如图 1.3 所示。

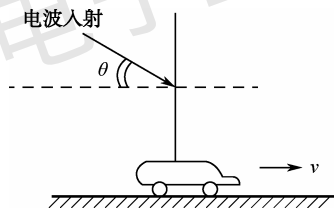


图 1.3 多普勒效应示意图

移动设备产生的多普勒频移为

$$f_d = v / \lambda \times \cos \theta \quad (1-1)$$

式中, v 为移动台载体的运动速度, λ 为工作波长, θ 为电波入射角。此式表明,移动速度越快,入射角 θ 越小,则多普勒效应就越严重,从而使到达接收机的电波载频发生变化越明显,严重影响通信质量。因此只有采用锁相技术,才能接收到信号,所以移动通信设备都毫无例外采用了锁相技术。

【例 1-1】 在图 1.3 中,车载移动设备运动速度为 120km/s,运动方向如图中所示,通信发射机发射的信号频率为 900MHz,电波入射角为 60° ,多普勒效应产生的频率偏移为多少?其接收频率变高了还是变低了?

解: 因多普勒效应产生的频率偏移为

$$f_d = v / \lambda \times \cos \theta = 120 \text{ m/s} \times 10^3 \times 900 \times 10^6 / (3 \times 10^8) \times 0.5 = 180 \text{ kHz}$$

因车载设备背向波源运动,所以产生的频偏为负值,接收频率会变低。

4. 跟踪交换技术

由于移动台经常处于运动状态,可能移动的范围很大,超出本地的服务区域,而且移动



台处在不同区域时,随时可能开、关机。因此,为了实现实时可靠的通信,移动通信必须有自己的跟踪交换技术,如位置登记、越区切换及漫游访问等跟踪交换技术。

5. 可用频谱资源非常有限,通信业务需求量与日俱增

移动通信可以利用的频谱资源非常有限,不断提高移动通信系统的通信容量,始终是移动通信技术发展中的热点。要解决这一难题,一方面要开辟和启动新的频段;另一方面要研究和发展各种新技术,采取新措施,提高频带利用率。因此,对有限频谱的合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提,这是国际组织和各国频谱管理机构的重要职责。

6. 系统网络结构多种多样,网络管理和控制必须有效

移动通信网络可以根据不同通信地区的需要配置成带状(如铁路、公路等服务区)、面状(一个城市或地区服务区)或立体状(地面通信设施、低轨道卫星通信网络)等。移动通信网络既可单网运行,也可多网并行实现互连互通。为此,移动通信网络必须具备很强的管理和控制功能,如用户的登记和定位,通信链路的建立和拆除,信道的分配和管理,通信的计费、鉴权、安全和保密管理,越区切换和漫游控制等。

7. 对移动台的要求

由于移动台长期处于运动状态中,经常会遇到碰撞、灰尘、日晒、雨淋等情况,故要求移动设备应具有较强的抗冲击、防尘、防水防潮等能力,才能适应室外环境的变化,保持设备性能稳定可靠。由于移动台在基站覆盖区域内可以全方位运动,故移动台的天线在水平方向应无方向选择性。另外,为便于携带,移动台应具有体积小、重量轻、省电和操作简便等特点。

1.2.2 移动通信的分类

按使用环境不同,移动通信的形式主要有陆地移动通信、海上移动通信和航空移动通信三大主要类型,特殊的使用环境还有地下(如隧道、矿井、地铁等)、水下(如潜艇)和深空(如航天);按其服务对象,可分为军事移动通信设备、专业移动通信设备和公众移动通信设备;按交通工具来分,有汽车、坦克、火车、船舶、飞机和航天飞行器等的移动通信设备,还有个人便携移动通信设备等;按工作方式可分为单工、半双工和全双工;按组网方式及业务性质,又分为公用蜂窝移动电话系统、无线寻呼系统、集群移动通信系统、无绳电话系统、卫星移动通信系统等。

1.3 移动通信的工作方式

按通信状态和频率使用方法不同,无线通信的传输方式分为单向广播式传输和双向应答式传输。无线寻呼系统属于单向传输,而双向传输有单工、双工和半双工三种基本工作方式。

1.3.1 单工制

所谓单工制通信，是指通信的双方电台在同一时间只能有一方发送信号，而另一方接收信号的收信和发信方式。通信者双方发送信息时不接收，接收信息时不发送，通信双方电台交替进行收信和发信。平时通信双方的接收机均处于守候状态，天线接到接收机等待被呼。单工制又分为同频单工和双频单工（异频单工）两种。

同频单工制是指基站和移动台均使用相同的工作频率，如图 1.4（a）所示。图中通信 A、B 双方的收、发信机，其工作频率均为 f_1 。通常通信双方的接收机均处在“守听状态”。当某方需要发话时，按下发话按钮，关掉自己的接收机，接通发射机，从而使自己的发射机工作。此时由于对方的接收机仍处在守听状态，故可实现通信。如果要听到对方的回话，必须松开发话按钮，使自己的移动设备处于接听状态，而对方要按下发话按钮进行发话。另外，通信双方的任何一方发话完毕，必须立刻松开发话按钮，否则会接收不到对方发来的信号。这种操作通常称为“按讲”工作方式。

双频单工制是指通信双方使用两个频率，例如，A 方以 f_1 发射，B 方以 f_1 接收；而 B 方以 f_2 发射，A 方以 f_2 接收，如图 1.4（b）所示。同样使用“按讲”方式工作，双频单工与同频单工的差异仅仅在于收发频率的异同。单工通信常用于点到点通信，例如，人们通常使用的手持对讲机就是以单工制方式工作的。

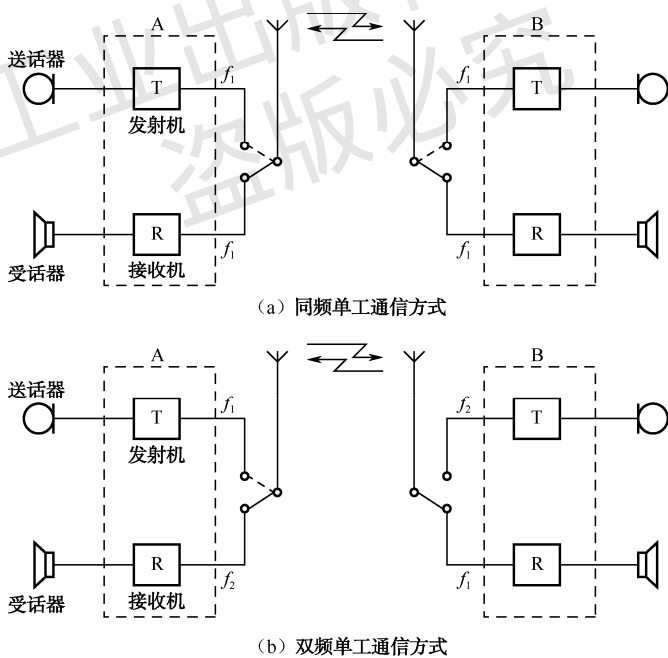


图 1.4 单工通信方式示意图

1.3.2 半双工制

半双工制是指通信的双方有一方（如基站）在通信的过程中，既能发射信号，也能接收

信号，以双工制方式工作，而另一方（如移动台）只能是以单工制方式工作，如图 1.5 所示。图中 A 方使用天线共用器，以双工制方式工作，收发信机交替工作，既能发话，也能收话，例如，以 f_1 发射，以 f_2 接收；而 B 方采用“按讲”方式工作，例如，以 f_1 接收，以 f_2 发射。目前的集群移动通信系统大多采用半双工制方式工作。半双工通信方式的优点是设备简单、功耗小、克服了单工通话断断续续的现象，但操作仍不太方便，所以半双工制主要用于专业移动通信系统中，如汽车调度等。

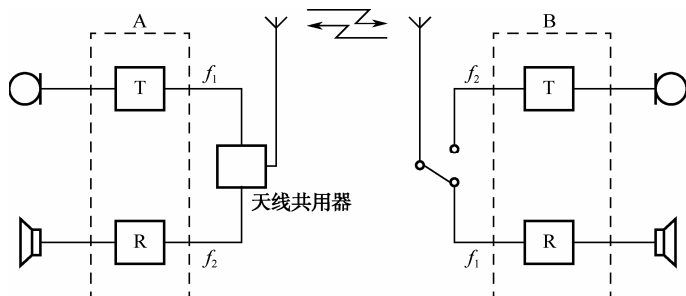


图 1.5 半双工通信方式示意图

1.3.3 双工制

双工制通信的任一方电台在发话的同时也能收听对方讲话，双方均使用天线共用器而不采用“按讲”方式工作。这当然也需要采用两个频率（一个频率对），每个频率形成一个方向的通信，如图 1.6 所示。双工制通信的特点是不管是否发话，发射机总是在工作，故电能消耗大，对以电池为电源的移动台不利。因此，在一些移动通信系统中，移动台只在工作时才打开发射机，而接收机总是工作的，通常称这种工作方式为准双工制方式。目前数字蜂窝移动电话系统采用准双工制工作方式。

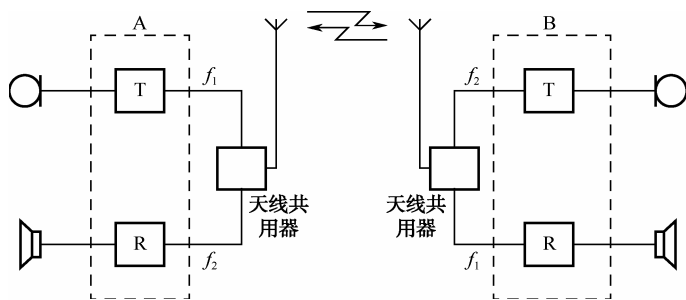


图 1.6 双工通信方式示意图

另外，在数字化通信设备中，常常采用时分双工制（TDD），其工作原理为一个时隙 T_{S1} 由 A 发 B 收，另一个时隙 T_{S2} 由 B 发 A 收；由于采用了数字技术，收、发切换速度极快，人们感觉不到在切换，因此虽然其本质是单工制，但在感觉上达到了和双工制一样的效果。



1.4 移动通信技术中的关键词

在移动通信系统中,人们经常会提到的关键词有信号、噪声、系统、频谱、信噪比、场强等。

1.4.1 系统与信号

通常认为,系统是指由若干相互关联、相互作用的事物,按一定规律组合而成的具有特定功能的整体。通信系统的任务是传输信息(语言、文字、图像、数据等),为了便于传输,先将信息按一定规律由转换设备转换成相对应的信号(扬声器将语言转换成电信号,光端机将电信号转换成光信号等)。

信号(Signal)是消息(Message)的载体,一般表现为随时间变化的某种物理量,而消息是信号的具体内容。在消息中包含一定数量的信息(Information),所以信号是信息的一种表示方法,通过信号传递信息。但信息的传送一般都不是直接的,它必须借助于一定形式的信号(电信号、光信号、电磁波信号等)才能传输和进行处理。在移动通信技术中,我们主要关心的是用做信息传输手段的电磁波信号。

电磁波信号的特性可以从时间特性(时域)和频率特性(频域)两个方面描述。在时域中,信号可表示为时间函数的数学表达式,即电磁波信号是时间 t 的函数,它具有一定的波形,有一定的时间特性,如出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小、随时间变化的快慢等。同时,信号在一定的条件下可以分解为许多不同频率的正弦分量,即信号具有一定的频率成分,表现为一定的频率特性。因此,用于无线通信的电磁波信号既是一个时间的函数,也可表示为一个频率的函数。

在无线通信中传输的语音、数据和图像的电磁波信号,其形式可以多种多样,也存在多种分类方式,如确定性信号与随机信号、连续信号与离散信号、模拟信号与数字信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号等。

模拟信号与数字信号是依据信号的幅度的属性认定的,如果一个信号的幅度在某一时间范围内能取任意值,这个信号就是模拟信号;如果一个信号的幅度仅能取得有限个值,这个信号就是数字信号。

1.4.2 信号强度

移动通信是无线通信,它是利用电磁波的辐射与传播,经过空间来传送信息的通信方式。在讨论信号的电波传播时,必须定量表示信号的强弱,因此有必要了解信号强度(Signal Intensity, SI)的概念。当信号沿着传输媒介传播时,其强度会有损耗或衰减,为了补偿这些损耗,可以在不同的地点加入一些放大器,以获得一定的增益。

信号强度最简单的表示方法是用功率来表示,工程上常用分贝(dB)来表示信号强度,即

$$SI=10\lg(P_2/P_1)(\text{dB}) \quad (1-2)$$

式中, P_2 是信号的功率, P_1 是固定参考信号的功率,通常 P_1 取1mW。信号的功率越大,其



信号强度就越高。

【例 1-2】 某通信发射机发射的信号功率为 1W，其信号强度为多少？当发射功率增大为原来的 2 倍时，则信号强度增加了多少？

解：当信号功率为 1W 时，信号强度为

$$SI = 10\lg(P_2/P_1) = 10\lg(1W/1mW) = 30dB$$

当发射功率增大为原来的 2 倍 ($2P_2$) 时，则信号强度为

$$\begin{aligned} SI_2 &= 10\lg(2P_2/P_1) = 10[\lg 2 + \lg P_2 - \lg P_1] \\ &= 10[\lg 2 + \lg(P_2/P_1)] \\ &= 10\lg 2 + 10\lg(P_2/P_1) = 10\lg P_2/P_1 + 3dB \end{aligned}$$

即信号强度相应增加了 3dB。

1.4.3 噪声与信噪比

在通信系统中，信号不可避免地要受到噪声的干扰，噪声可分为乘性噪声和加性噪声。乘性噪声与信号密切相关，可通过选择元器件、正确设计工作点和减小信号电平等措施得到克服；而加性噪声独立于携带消息的信号，它始终干扰有用信号。在通信系统中，加性噪声分为内部噪声和外部噪声。外部噪声主要包括无线电噪声（如其他的无线电设备及收发信机等）、工业噪声（如电力线、电焊机、汽车点火等）和天电噪声（闪电、宇宙射线等）；内部噪声是由组成通信系统的各部件所产生的，如热噪声、散弹噪声等。

噪声对信号的干扰程度用信号与噪声的功率比表示，即信噪比（Signal to Noise Ratio, SNR），用 S/N 或 SNR 来表示，单位为分贝（dB）。系统要求接收到的 S/N 值必须大于一定数值，这样接收端才能滤掉噪声，分辨出信号。一般来说， S/N 越高，信号质量越好。信噪比的计算公式为

$$SNR = 10\lg S/N \text{ (dB)} \quad (1-3)$$

式中， S 是信号的功率， N 表示噪声的平均功率。按照上述公式，当 $S=2N$ 时， $SNR=3dB$ 。

无线通信系统发射端的功率要受到各种因素的制约，不能任意提高发射功率，否则不仅会造成不必要的能源浪费，而且会对其他信号造成干扰。

1.4.4 频谱

实际上，一个电磁波信号是由多种频率分量叠加形成的，由傅里叶变换分析可知，电磁波信号可分解为不同频率的分量，而每一个频率分量都是正弦波。

一个信号的频谱（Frequency Spectrum）是指它所包含的频率范围。一个信号的绝对带宽是指它的频谱宽度。对于许多信号而言，其绝对带宽是无限的，但是一个信号的绝大部分能量都集中在相当窄的频带内，这个频带称为有效带宽。

1.4.5 有效性和可靠性

人们对通信系统的要求是多方面的，如信息传输的有效性、可靠性、适应性、标准性、



经济性等,其中有效性和可靠性起主导和决定性作用。有效性是通信系统传输信息速度的表征,如数字通信系统的传输速率(传码率、波形速率、码元速率等);而可靠性是对通信系统传输信息质量上的要求,如数字通信系统的误码率、误信率、误字率、误句率等。

人们总希望通信系统传输信息既快又准确,即具有高的有效性和高的可靠性。然而有效性和可靠性是一对矛盾,在具体的通信系统的应用中,只能依据实际需要取得相对统一。例如,在满足可靠性一定的性能指标下,尽量提高传输速率;或者在维持一定有效性的前提下,尽量提高信息的传输质量。设计通信系统时,系统的可靠性和有效性应统筹兼顾。

1.5 移动通信系统的频段使用

频率作为一种资源并非取之不尽,用之不竭。在同一时间、同一场所、同一方向不能使用相同的频率,否则将形成“同频”干扰,无法进行通信。因而频率的利用必须按一定的规则有序地进行,这个规则就是国际电信联盟(ITU)召开的世界无线电管理大会上制定的国际频率分配表。国际频率分配表按照大区域和业务种类,共将全球划分为三大区域,大致如下:第一区域是欧洲、非洲、原苏联及蒙古和部分亚洲地区;第二区域是南美洲和北美洲;第三区域是亚洲和大洋洲地区。业务类型划分为固定业务、移动业务、广播业务、卫星业务及遇险呼叫等。各国可根据具体国情适当调整。

目前移动通信主要使用甚高频(VHF)的130~300MHz频段,以及特高频(UHF)的450MHz、800MHz、900MHz和1800MHz频段。其主要原因首先是这些频段电波的传输特性在视距范围内,一般为几十千米,而大部分车辆等移动体的日常运动半径也在这个范围内,因此这些频段适合于移动通信。其次由于天线长度决定于电波的波长,而移动台中使用最多的是四分之一波长的鞭状天线,故在这些频段,移动台的天线很短,便于携带。再者这些频段可以用较小的发射功率,获得较好的信噪比,抗干扰能力强。不同业务的移动通信系统所使用的频段如下所列。

① 无线寻呼系统。常用的频段是130~300MHz,频率间隔为25kHz。

② 数字蜂窝移动电话系统。我国采用GSM制式,其工作频率范围如下:移动台(MS)→基站(BS)之上行频率为890~915MHz,基站(BS)→移动台(MS)下行频率为935~960MHz,信道间隔为200kHz。

双频GSM制式蜂窝移动电话系统在1800MHz频段使用的频率如下:上行频率为1710~1785MHz,下行频率为1805~1880MHz。

采用CDMA制式的数字蜂窝移动电话系统使用的频率如下:中国联通公司的上行频率为825~839MHz,下行频率为870~884MHz。

第三代蜂窝移动电话系统(IMT-2000)使用的频率为2GHz左右,即在1700~2300MHz的范围内。

③ 无绳电话系统。第一代无绳电话系统(CT1)的工作频段为45/48MHz,信道间隔为25kHz。第二代无绳电话系统(CT2)的工作频段为时分复用(TDM):1900~1920MHz;频分复用(FDM):1880~1900MHz和1960~1980MHz。

④ 集群移动通信系统。常使用的频段为380MHz、450MHz和800MHz左右。

⑤ 无中心多信道选址系统。我国规定该系统使用915~917MHz频段。



1.6 移动通信的主要业务

移动通信的业务是指移动通信系统为了满足用户的通信需求而提供的服务。随着移动通信的不断发展,移动通信的业务种类更加丰富多样,而且不同的系统其业务类型有所不同。但其基本业务包括:语音通话业务、短消息业务、语音信箱服务和传真、数据通信业务、人工查询业务、来电显示、呼叫限制等。

1.6.1 移动通信的主要业务

下面以 2G 系统为例,简单介绍移动通信的主要业务。

1. 语音通话业务

语音通话业务是移动通信系统的最基本业务。系统为移动用户间或移动用户与固定用户之间提供实时的双向通话。紧急呼叫业务是提供在紧急情况下的一种简单拨号方式,接至最近紧急服务中心的特殊服务业务,如 119、120 等。

2. 短消息业务

点对点短消息业务利用呼叫状态或空闲状态,由控制信道传送信息,信息量一般较小。它可分为移动台(MS)发送的短消息业务和移动台(MS)接收的短消息业务,还包括小区广播式的短消息业务,即网络在某一特定区域,以一定间隙向移动用户广播通用消息,如天气预报、会议通知、信息提示等,也是利用控制信道进行传送。

3. 人工查询业务

用户可以拨打系统的免费查询电话,如中国移动的 10086、中国联通的 10010,进行查询服务,例如,话费查询、业务查询、办理或取消业务、紧急停机等。

4. 语音信箱业务

语音信箱是存储声音信息的设备,按语音信息归属的用户进行存储,用户可根据需要随时提取。在其他用户呼叫某用户而不能接通时,可将声音存入此用户的语音信箱,或直接拨打该用户的语音信箱留言。

5. 其他业务

其他业务有来电显示、呼叫转移、呼叫等待、呼叫限制等。因业务种类很多,这里就不一一述说了。

1.6.2 3G 移动通信的主要业务

当前我国的 3G 系统已经投入商用,3G 系统的用户数量快速增加,在此对 3G 的业务市



场特点进行简单介绍。

1. 语音通信业务仍占主流，数据业务份额不断上升

尽管 3G 移动通信系统的最大特点是更高的数据通信业务能力，但目前对 3G 运营商来说，语音通信业务仍是他们的主要收入来源，但数据业务收入比重不断上升的趋势还是非常明显的。

2. 新业务层出不穷

随着 3G 网络运营经验的增加，其在业务创新方面的能力逐渐发挥出来。例如，移动 3D 音乐下载业务，该项业务已经在日韩、欧美等市场获得用户认可，业务量迅速增加，给运营商带来了直接的经济效益；移动 P2P 应用业务，通过 P2P 业务共享软件、图片、文件、视频等；流媒体业务，流媒体业务是指把连续的影像和声音信息经过压缩处理后放到网络服务器上，使移动终端可以边下载边播放；交互性，点播、直播、触发式监控；实时性，可边下载边播放；暂时性，客户端可接收、处理和回放流内容，处理和播放完随即被清除。3G 系统的视频/流媒体业务如表 1.1 所示。

表 1.1 3G 系统的视频/流媒体业务

类 别	业 务 描 述
视频通话	个人、企业沟通点对点视频、会议电话视频
	被叫关机、无人接听、忙转视频邮箱
	被叫关机、无人接听、忙的时候，主叫可通过菜单选择自录视频，可选择定时呼叫对方
	即时会议：点对点视频通话中，其中一方按特殊键+被叫号码，发起呼叫第三方加入
	通话过程中，其中一方将图表、文本的图像推送给对方
个性视频	角色替代：视频通话中，如果用户不想让对方看到自己，或者为了好玩，可以用卡通人物替代显示，并且可以有表情和动作
	个性留言：到运营商门户网站选择播放运营商提供的 Flash 短片、电影片断、图片和音乐，同时将生日留言、节日祝贺、情侣悄悄话等配音加上，并且可以选择多个片断接在一起；可以拨打特服号码视频录像，并到运营商网站选择背景图片、短片，例如生日、节日的烟花背景，用网络设备将两个视频混合；定时呼叫对方播放，或者通过邮件发送
	多媒体彩铃业务：用户可以设定自己的特色视频彩铃，作为被叫时播放给主叫听
视频点播直播	电影、电视、MTV、体育短片点播，电视直播，远程教育
远程医疗	医院大客户合作方案：开展无线远程医疗业务，设立远程医疗档案，可以在线诊断，离线录像诊断，运营商小额支付代收诊费
视频广告	商家可以根据用户的订购情况，推送免费的视频广告，如楼盘、汽车、衣食等
视频报警	个人安全综合业务：用户按紧急求助键后，网络智能服务器可以自动启动录像，并且主动呼叫（同时短消息通知）设定的求助号码，呼通后连通
视频监控	家庭、企业无线视频监控设备（视频手机的变种，分配移动号码，可以租赁给用户），用户可直接拨打接通后查看，可以定时录像，然后到相关网站查看
	交通路口监控：用户可以到运营商的网站查看某路口的交通状况

续表

类 别	业 务 描 述
智能家居	家庭视频门铃, 宠物喂养的视频, 都可以和手机互通
条码识别	条码识别: 用户到商场, 想了解食品是否安全和厂家情况, 可以直接用手机摄像头拍摄条码, 网络则直接提供产品相关信息

3G 业务的花样翻新表现了运营商正在努力创造更多、更丰富的业务, 以期待将更多的用户吸引至 3G 网络, 而随着新的运营商不断采用 3G 网络, 更多更好的 3G 新业务还会被开发出来。从全球 3G 发展的态势来看, 运营商的数量和用户的数量明显增加, 但由于 3G 用户的需求差异性非常大, 因此并不存在“杀手级业务”, 要想在 3G 市场的激烈竞争中取得成功, 必须积极掌握新技术, 寻找创新的商业模式, 建立牢固的产业链。



习题 1

1. 填空题

- (1) 移动通信是指通信双方至少有_____处在移动状态下(或暂时静止)而实现的通信, 它是利用_____的辐射与传播, 经过空间来_____的通信方式。
- (2) 单工通信是指通信双方电台_____的进行收信和发信的方式; 双工通信是指通信双方的任一方电台可在_____的通信方式, 双方均使用天线共用器而不采用“按讲”方式工作。
- (3) 按使用环境, 移动通信的形式主要有_____移动通信、_____移动通信和_____移动通信三大类。
- (4) 移动台的载体运动达到一定速度时, 如高速行驶的汽车、火车、超音速飞机、卫星等, 接收到的信号载波_____将随着载体的运动_____而改变, 产生不同的_____, 通常把这种现象称为多普勒效应。
- (5) 当移动台在运动中通信时, 接收信号的频率会发生变化, 这称为_____。由于移动而引起的接收信号的附加频移称为_____。
- (6) 一个信号的频谱是指它所包含的_____范围。
- (7) 对于许多信号而言, 其绝对带宽是无限的, 但是一个信号的绝大部分能量都集中在相当窄的频带内, 这个频带称为_____。
- (8) 在无线通信系统中, 噪声对信号的干扰程度用_____表示, 即信噪比, 用 S/N 或 SNR 来表示, 单位为分贝 (dB)。
- (9) 移动通信的业务是指_____而提供的服务。

2. 是非判断题 (正确画√, 错误画×)

- (1) 移动通信系统是指所有的通信设备组成部分, 在通信过程中都是处于移动状态的。()
- (2) 3G、4G 移动通信系统仅仅是指系统的载波频率为 3GHz、4GHz。()
- (3) 人们总希望通信系统传输信息又快又准确, 即满足有效性和可靠性, 在具体应用中, 完全可以同时满足这两个要求。()



(4) 不论是 2G、3G、4G 移动通信系统,其基本业务都包括语音通话业务、短消息业务、语音信箱服务和传真、数据通信业务、人工查询业务、来电显示、呼叫限制等。()

3. 选择题(将正确答案的序号填入括号内)

(1) 在移动通信系统中,信道内传输的是()。

- A. 电磁波信号 B. 光信号 C. 声音信号 D. 图像信号

(2) 移动通信系统的工作频段为()。

- A. 音频频段 B. 视频频段 C. 高频微波频段 D. 光频频段

(3) WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 是()的三大主流标准。

- A. 2G 系统 B. 3G 系统 C. 光纤系统 D. 电视广播系统

4. 简答题

(1) 移动通信有何特点?

(2) 移动通信设备的工作方式有哪几种?它们的主要区别在哪里?

(3) 现行蜂窝移动电话系统分几代?主要制式分别是什么?复用方式分别是什么?我国主要采用什么制式?分别由哪几家运营公司经营?

5. 画图题

(1) 查阅有关参考书,画出双工通信系统的工作示意图,并简述其工作过程。

(2) 画出多普勒效应示意图,并说明什么场合接收频率变高,什么场合接收频率变低。

6. 计算题

(1) 在图 1.3 中,车载移动设备运动速度为 150km/s,运动方向如图中所示,通信发射机发射的信号频率为 1900MHz,电波入射角为 60° ,车载接收机接收到的频率为多少?如果车载移动设备运动方向与图中相反,接收机接收到的频率又为多少?

(2) 某发射机发射的信号功率为 10W,其信号强度为多少?当发射功率增大为原来的 4 倍时,则信号强度增加了多少?