

现代通信原理

沈保锁 侯春萍 编著

国防工业出版社

·北京·

第一章 绪 论

1.1 通信的概念

什么是通信?一般而言,通信就是由一地向另一地传递消息。在人类社会里,人与人之间要互通情报,交换消息,这就需要消息的传递。古代的烽火台、金鼓、旌旗,现代的书信、电报、电话、传真、电子信箱、可视图文等,都是人们用来传递信息的方式。

通信的方式多种多样,其中利用“电”来传递信息,是一种最有效的传输方式,这种通信方式称为电通信。电通信方式能使消息几乎在任意的通信距离上实现既迅速、有效,而又准确、可靠的传递,因此它发展迅速,应用极其广泛。

电通信一般指电信,即指利用有线电、无线电、光和其它电磁系统,对消息、情报、指令、文字、图像、声音或任何性质的消息进行传输。电信业务可分为电报、电话、数据传输、传真、可视电话等。从广义上讲,广播、电视、雷达、导航、遥控遥测、计算机通信等都应属于电通信的范畴。

通信技术是随着科学技术的不断发展,由低级到高级,由简单到复杂逐渐发展起来的。而各种各样性能不断改善的通信系统的应用,又促进了社会生产和人类文明的发展。

原始的通信方式有烽火台、书信和旗语等,它们最主要的缺点是消息传送距离短,速度慢。

真正有实用意义的电通信起源于19世纪30年代。1835年,莫尔斯电码出现;1837年,莫尔斯电磁式电报机出现;1866年,利用大西洋海底电缆实现了越洋电报通信;1876年,贝尔发明了电话机,开始了有线电报、电话通信,使消息传递既迅速又准确。

19世纪末,出现了无线电报;20世纪初电子管的出现使无线电话成为可能。从20世纪60年代以来,随着晶体管、集成电路的出现和应用,无线电通信迅速发展,无线电话、广播、电视和传真通信相继出现并发展起来。

进入20世纪80年代以来,随着人造卫星的发射,电子计算机、大规模集成电路和光导纤维等现代化科学技术成果的问世和应用,特别是数字通信技术的飞速发展,进一步促进了微波通信、卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信等各种现代通信系统的竞相发展,以不断满足人们在各个方面对通信的越来越高的要求。

通信就意味着信息的传递和交换,在当代社会中,信息的交换日益频繁,随着通信技术和计算机技术的发展及它们的密切结合,通信已能克服对空间和时间的限制,大量的、远距离的信息传递和存取已成为可能。展望未来,通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向迅速发展,各种新的电信业务也应运而生,正沿着信息服务多种领域广泛延伸。

人们期待着早日实现通信的最终目标:即无论何时、何地都能实现与任何人进行任何

形式的信息交换——全球个人通信。

1.2 通信系统的组成

通信系统是指完成信息传输过程的全部设备和传输媒介,通信系统的一般模型如图 1.2-1 所示。

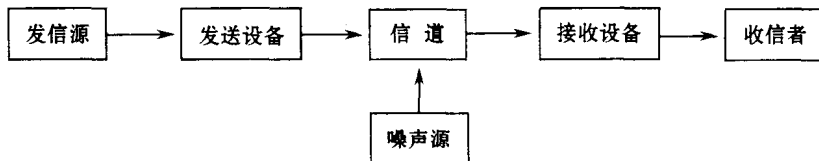


图 1.2-1 通信系统的基本模型

发信源是消息的产生来源,它同时将消息转换成电信号。根据信源输出信号的性质不同,发信源可分为模拟信源和离散信源。模拟信源(如电话机、电视摄像机)输出幅度连续的信号;离散信源(如电传机、计算机)输出离散的符号序列或文字。模拟信源可以通过信源编码变换为离散信源。随着计算机和数字通信技术的发展,离散信源的种类和数量愈来愈多(如 PCM 电话机、数字电视等),得到了广泛的应用。

发送设备的作用是将信源产生的消息信号转换为适合于在信道中传输的形式。它所要完成的功能很多,例如调制、放大、滤波、发射等。在数字通信系统中还要包括编码和加密。这里要着重指出的是调制在通信系统中所起的重要作用。由发信源发出的信号通常称为基带信号,它的特点是其频谱从零频附近开始延伸到某个通常小于几兆赫的有限值。基带信号可以直接在信道中传输,称其为基带传输(如直流电报、实线电话和有线广播等)。虽然基带传输系统是最简单的通信系统,但应用场合有限,并且对信道的利用率不高。通常,大多数通信系统需要通过调制将基带信号变换为更适合在信道中传输的形式,即频带传输。无线通信系统是用空间辐射方式来传送信号。由天线理论可知:只有当辐射天线的尺寸大于波长的 $1/10$ 时,信号才能被天线有效地发射。调制过程可将信号频谱搬移到任何需要的频率范围,使其易于以电磁波的形式辐射出去。即使在有线传输时,有时也需经过调制使信号的频率和信道有效传输频带相适应。通过调制还可以实现信道的多路复用和提高系统的抗干扰能力。

信道是传输的媒介,它的种类很多,概括起来有两种:即有线信道和无线信道。信道的传输性能直接影响到通信质量。

通信系统还要受到系统内外各种噪声干扰的影响,这些噪声来自发送设备、接收设备和传输媒介等几个方面。图 1.2-1 中的噪声源是将各种噪声干扰集中在一起并归结为由信道引入,这样处理是为了分析问题的方便。

接收设备完成发送设备的反变换,即进行解调、译码、解密等,将接收到的信号转换成信息信号。

收信者把信息信号还原为相应的消息,这里所谓的收信者不一定是人,可以是其它终端设备。

以上所述的是单向通信系统。但是在大多数场合下,信源兼为收信者,通信双方都要有发送和接收设备。

随着社会的进步和通信的发展,要求传递的信息量急剧增加,用户亦不断扩大,因此点对点通信已不能满足要求,于是便出现了通过交换来完成通信的任务,由传输系统和交换系统组成通信网。通信网中包含复用、传输和交换设备。因此,可以说“通信网的核心是交换问题”。随着通信网对交换功能越来越高的要求,目前程控数字交换机正在迅速发展之中。

图 1.2-1 所示的模型是对各种通信系统的简化概括,它反映通信系统的共性。根据所研究的对象或关心的问题不同,还会出现一些不同形式的具体通信系统模型。图 1.2-2 所示为模拟通信系统模型。图 1.2-3 所示为数字通信系统模型。

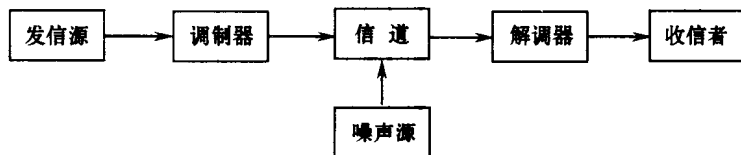


图 1.2-2 模拟通信系统模型

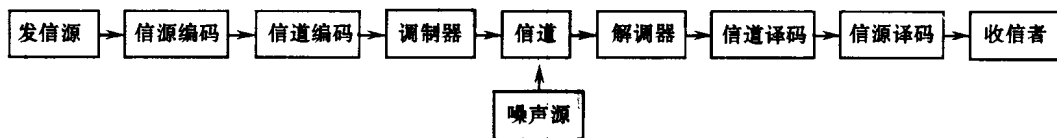


图 1.2-3 数字通信系统模型

模拟通信是指通信系统内所传输的是模拟信号。为强调调制在模拟通信系统中的重要作用,通常在模拟通信系统中将发送设备简化为调制器,接收设备简化为解调器。从原则上讲,调制和解调对信号的变换起着决定性的作用,它们是保证通信质量的关键。至于放大、滤波、变频等过程能被看作是理想线性的,可将它们合并到信道中去。

模拟通信系统信道传输的是模拟信号,其占有频带一般都比较窄,因此其频带利用率较高。缺点是抗干扰能力差,不易保密,设备不易大规模集成,不能适应飞速发展的计算机通信的要求。

数字通信传输的是数字信号。其特点是在调制之前先要进行两次编码,即信源编码和信道编码。相应地,接收端在解调之后要进行信道译码和信源译码。

信源编码的主要任务是提高数字信号传输的有效性。具体地说,就是用适当的方法降低数字信号的码元速率以压缩频带。另外,如果信息源是数据处理设备,还要进行并/串变换以便进行数据传输;如果待传的信息是模拟信号,则先要进行模数(A/D)转换,信源编码的输出就是信息码。此外,数据扰乱、数据加密、话音和图像压缩编码等都是在信源编码器内完成。接收端信源译码则是信源编码的逆过程。

信道编码的任务是提高数字信号传输的可靠性。其基本做法是在信息码组中按一定的规则附加一些码,以使接收端根据相应的规则进行检错和纠错,信道编码也称纠错编码。接收端信道译码是其相反的过程。

同步在数字通信中是不可缺少的部分(图 1.2-3 中没有画出)。同步就是建立系统收、发两端相对一致的时间关系,只有这样,接收端才能确定每一位码元的起止时刻,并确定接收码组与发送码组的正确对应关系。否则,接收端无法恢复发送的信息信号。

在数字通信系统中,调制信号是数字基带信号,调制后的信号称为数字调制信号。有时也可不经过调制而直接传输数字基带信号,这种传输方式称作数字信号的基带传输。

数字通信和模拟通信相比,有如下优点:

- (1) 抗干扰能力强。
- (2) 可采用再生中继,实现高质量的远距离通信。
- (3) 灵活性高,能适应各种通信业务的要求。
- (4) 可以很方便地与现代数字计算机相连接。
- (5) 数字信号易于加密。

(6) 便于集成化。数字通信的最大缺点就是占用频带较宽。然而,随着卫星通信、光纤通信等宽频带通信系统的日益发展和成熟,为数字通信提供了宽阔的频道,使数字通信迅猛发展,应用越来越广泛,已成为现代通信的主要传输方式,有逐渐取代模拟通信之趋势。

1.3 信息及其度量

在通信系统中,传输的对象是消息,消息是以信号的形式由发信者传送到受信者,使受信者获得实质性的信息。

消息是通信系统的传输对象,它是事物状态描述的一种具体形式。这种描述具有人们能够感知的物理特征。例如电话中的话音、电视中的图像画面等等。

信号(在这里是指电信号)是消息的载荷者。因为消息不能远距离传送,因此需要将消息变换为适合在信道中传输的电信号(电压或者电流)。

信息的含义与消息很相似,但它比消息更广泛、更抽象。信息可以被理解为消息中包含的有意义的内容。消息可以是各种各样的,但其内容可统一用信息去描述。如同运输货物的多少可用“货运量”来统一衡量一样,传输信息的多少可以用“信息量”来衡量。

消息中所含“信息量”的多少,与该消息发生的概率密切相关。例如,若有人告诉你“明天的天气会更热”,你可能会认为无所谓,因为这是你预料之中的事,因此你从这条消息中得到的信息量很少;假如有人告诉你“明天可能要地震”,你就会很震惊,因为这属于突发事件,是你没有预料到的,这条消息包含的消息量就很大。这个例子说明,一个消息愈不可预测,或者说出现的不确定性愈大,它所含的信息量就愈大,而概率描述的正是这种不确定性。

在信息论中,把消息 x 所含的信息量 I 用其出现的概率 $P(x)$ 表示,即定义为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1.3-1)$$

信息量的单位由对数底的取值决定。若对数以 2 为底,信息量的单位被称为比特(bit,后面简称为 b);若以 e 为底,称为“奈特”(nit);若以 10 为底,则称为“哈特莱”(hartley)。通常采用“比特”作为信息量的实用单位。

一般情况下,离散信源发出的并不是单一消息,而是多个消息(或符号)的集合。例如,经过数字化的黑白图像信号,每个像素可能有 256 种灰度,这 256 种灰度可以用 256 个不同的符号来表示。在这种情况下,我们希望计算出每个消息或符号能够给出的平均信息量。若某一信源有 n 种符号,即有 $\{x_i | i = 1, 2, \dots, n\}$,且每个消息或符号的出现是相互独立的(这种信源称为无记忆信源),各符号出现的概率为 $\{P(x_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$,那么,该信源每一个符号所含的平均信息量为

$$H(x) = P(x_1) \log_2 \frac{1}{P(x_1)} + P(x_2) \log_2 \frac{1}{P(x_2)} + \dots + P(x_n) \log_2 \frac{1}{P(x_n)} =$$

$$- \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (\text{比特/符号}) \quad (1.3-2)$$

$H(x)$ 是信源符号的平均信息量,由于它与统计热力学中熵的概念相似,所以通常又称它为信源的熵,其单位是比特/符号。

1.4 衡量通信系统的性能指标

我们采用某一通信系统进行通信时,首先考虑的就是此系统的通信质量问题。如何来衡量通信系统的质量?通信系统的性能有很多方面,例如电气性能、工艺结构、操作维修等。这里主要讨论的是通信系统的电气性能,其性能指标主要是有效性和可靠性,其次还应考虑通信系统的安全性和保密性等指标。

所谓有效性,是指要求系统高效率地传输信息,即在给定的信道内“多”、“快”地传送信息。

所谓可靠性,是指要求系统可靠性地传输消息,即指在给定的信道内接收到的信息要“准”、要“好”。

在实际的通信系统中,对有效性和可靠性这两个指标的要求经常是矛盾的,提高系统的有效性会降低可靠性,反之亦然。设计一个系统时,就会碰到如何处理这一对矛盾的问题,在实际工程中,就需根据具体情况寻找适当的折中解决办法。

模拟通信系统的有效性指标用所传信号的有效传输带宽来表征,当给出的信道容许传输带宽一定,而进行多路频分复用,每路信号所需的有效带宽越窄,信道内复用的路数就越多。显然,信道复用的程度越高,信号传输的有效性就越好。信号的有效传输带宽与系统采用的调制方法有关。同样的信号用不同的方法调制得到的有效传输带宽是不一样的。

模拟通信系统的可靠性指标用整个通信系统的输出信噪比来衡量。信噪比是信号的平均功率 S 与噪声的平均功率 N 之比。信噪比越高,说明噪声对信号的影响越小。显然,信噪比越高,通信质量就越好,如电话通常要求信噪比为 20dB~40dB,电视则要求 40dB 以上。输出信噪比一方面与信道内噪声的大小和信号的功率有关,同时又和调制方式有很大关系。因为不同的调制方式采用不同的解调器,不同的解调器对噪声的处理能力也不同。例如调频系统的有效性不如调幅系统,但是调频系统的可靠性往往比调幅系统好。

数字通信系统的有效性指标用传输速率来表征。传输速率有两种,一种是码元传输

速率,另一种是信息传输速率。

码元传输速率又称码元速率,简称传码率,它是指系统每秒钟传送码元的数目,单位是波特,常用符号“B”表示。

信息传输速率又称为信息速率,简称传信率。在信息论中是用“信息量”来衡量信息的多少,单位是b(比特),每个二进制码元含有1b的信息量。所以系统的传信率用每秒传送的信息量即每秒所传送的二进制码元数来表示,单位是比特/秒,常用符号“b/s”表示。

传码率和传信率都是用来衡量数字通信系统有效性指标的,但是注意二者既有联系又有区别,只有在二进制的情况下,传码率才与传信率在数值上相等,只是单位不同。但是对于多进制时情况是不一样的,传码率 R_B 和传信率 R_b 可以互相换算。设 N 进制的码元速率为 R_{BN} ,则

$$R_b = R_{BN} \log_2 N \quad (\text{b/s}) \quad (1.4-1)$$

或

$$R_{BN} = \frac{R_b}{\log_2 N} \quad (\text{B, 波特}) \quad (1.4-2)$$

例如,已知某信号的传信率为4800b/s,采用四进制传输时,其传码率为

$$R_{BN} = \frac{4800}{\log_2 4} = 2400 \quad (\text{B, 波特})$$

数字通信系统的可靠性指标用差错率来衡量。差错率越小,可靠性越高,差错率也有两种表示方法,一为误码率,另一个为误信率。

误码率是指接收到的错误码元数和总的传输码元个数之比,即在传输中出现错误码元的概率,记为

$$P_c = \frac{\text{接收的错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1.4-3)$$

误信率也叫误比特率,是指接收到的错误比特数与总的传输比特数之比,即传输出现错误信息量的概率,记为

$$P_b = \frac{\text{接收的错误码元比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1.4-4)$$

1.5 通信技术的发展动态*

通信技术的发展是建立在通信的基本原理基础之上的,在深入讨论通信原理之前,了解一下目前通信技术的发展动态,对于我们下面的学习是很有裨益的。

自从1876年发明电话以来,电信技术发展已经历百余年,经历了漫长的模拟网年代。20世纪80年代以来,数字技术、计算机技术与微电子技术取得的巨大成就,推动了通信各个领域的飞速发展。进入20世纪90年代以后,这种发展势头更猛。主要表现在以下几个方面。

一、电话网的规模和技术层次均有质的变化

目前我国所有的县都开通了程控交换机,其电话网规模已成为仅次于美国的世界第二大电话网。从网络能力方面:建成了以光缆为主,微波、卫星综合利用,固定电话、移动

通信、多媒体通信多网并存、覆盖全国城乡,通达世界各地,形成了大容量、高速度、安全可靠的电信网。光缆干线形成八纵八横网状格局,覆盖全国省会以上城市和 70 个地市,新的长途传输网全部采用 SDH 技术,这在世界通信领域中,实现了全世界第一个真正统一标准。目前传输速率 10Gb/s 的 SDH(STM64)系统已经投入商用。为了充分利用光纤容量,研究了各种光复用技术,有波分复用(WDM),光时分复用,光码分复用。其中,波分复用已进入实用化阶段,波分复用的使用更极大地提高了光纤传输容量,在同一光纤中可传送 16 个波长,每波长速率为 2.5Gb/s 的波分复用系统的容量达 40Gb/s。内含 40 个波长的容量达 100Gb/s 的波分复用系统已经有了商品化产品。在 1996 年,实验系统的波分复用信道数已达 132,总传输容量达 2.6Tb/s。通信网中采用大容量光纤传输后,若采用电子交换,则仍存在电子瓶颈,因此提出了光交换技术和全光网,目前已有试验网报道,它正趋向实用化。当光纤传输速率达到每根光纤能传送几十万条电路,能为多媒体业务提供足够带宽时,再也没有必要为某一单项业务去建立专门的网络。这也为网络融合创造了条件。

二、移动通信

移动通信发展始于 20 世纪 80 年代。第一代移动通信是模拟移动通信系统,其最重要的技术特征是采用模拟技术,即各功能模块用模拟电路单元来实现。第一代系统实现的频率可重复使用的蜂窝结构,不间断通话的越区切换,全区漫游的自由接入等特点和功能,是对移动通信发展的重大贡献。第一代系统主要有 AMPS、TACS、NMT 等。

第二代移动通信是数字移动通信系统,其最重要的技术特征是数字技术,即各功能模块用数字处理单元来实现。第二代移动通信系统采用的用户鉴权识别技术,推出的个人便携式手机,使用的大容量移动网络,都对移动通信飞速发展和普及起了决定性作用。主要标准体制有三种 TDMA 方式:泛欧 GSM、北美 D-AMPS(IS-54)、日本 PDC 和 CDMA 方式的 IS-95 标准。目前世界上有一百多个国家和地区选用 GSM 方式,我国也在 1994 年将 GSM 暂定为我国的第二代蜂窝移动通信的标准。数字移动通信由于其突出优点,必将取代模拟移动通信。

我国移动通信发展开始于 1987 年,10 年间用户突破 1000 万,到 1998 年 8 月突破 2000 万,是增长最快的一项通信业务。预计到 21 世纪初,移动通信用户数将会超过固定通信用户数,成为当今通信的发展主流与最大市场。

由于社会信息化进程越来越快,仅仅通话已不能满足人们对信息交流的需要,除话音外的各种多媒体信息业务和服务将成为必不可少的通信业务。计算机互联网的兴起和运用,给通信的发展、进步与变革带来不可估量的影响。

面对信息技术和通信技术的进步与发展,面对已经来临的 21 世纪,必须研究和开发新一代移动通信系统。国际电信联盟(ITU)提出 IMT-2000 作为第三代移动通信的发展目标,就必须充分要考虑这些技术发展和进步。

ITU 早在 1985 年即提出了第三代移动通信系统的概念,当时称之为未来公众陆地移动通信系统(FPLMTS),后来在 1996 年更名为国际移动通信系统,即 IMT-2000(International Mobile Telecommunication),其中“2000”的含义为“工作在 2000MHz 频段、即在 2000 年左右投入商用,初期最高传输速率为 2000Kb/s”。IMT-2000 对无线传输技术(RTT)提出了如下要求:

(1) 高速传输以支持多媒体业务。

- 室内环境要求至少 2Mb/s。
- 室内外步行环境要求至少 384kb/s。
- 室外车辆运动中要求至少 144kb/s。
- 卫星移动环境要求至少 9.6kb/s。

(2) 传输速率能按需分配。

(3) 上、下行链路能适应不对称需求。

IMT-2000 对无线传输技术的评估准则包括:频谱效率、覆盖效率、低成本、高性能、易于过渡、知识产权(IPR)最少。

目前,IMT-2000 技术体制与规范工作正处在实质性阶段,有关会议、活动异常活跃。

第三代移动通信 IMT-2000 的标准化工作正在国际电联(ITU)统一指导下,有组织地按步骤进行:

1998 年 6 月前(ITU 规定的提交方案截止日)向 ITU 提出的 IMT-2000 的 RTT 候选方案共 15 个,其中 10 个属于陆地移动通信系统,另 5 个属于卫星移动通信系统;

1997 年 6 月-1999 年 3 月对关键技术进行评选并确定方案和基本参数;

1998 年 10 月-1999 年 12 月制定详细的技术规范。

第三代移动通信系统涉及到很多新的、关键技术,重点将围绕 W-CDMA 的关键技术,即对各种智能技术进行研究,主要有:

(1) 自适应智能化无线传输技术。IMT-2000 针对多媒体业务消息,第一阶段目标速率可达 2Mb/s,对不同用户传送不同类型业务信息,它们对传输信道特征、信息类型、延时要求、流量分布、服务质量要求等都应能自适应改变,这就要涉及业务综合方法、综合功率分配、测量和控制技术,自适应调制等技术。同时需要考虑各种越区条件及采用联合检测相结合的功率控制方案;需要研究无线接口的标准方案。

(2) 智能接收技术。主要研究智能化抑制与对消及智能化多用户检测技术。目前虽已提出不少方案,它们各有千秋,但实际应用起来尚有较大困难。

(3) 智能业务接入。主要包括用户业务接入、信道分配、通信容量的智能控制,以期实现频率资源更加合理、充分地应用。重点研究自适应业务量接入、自适应变化的资源动态配置(DRA)技术,包括微小区-皮小区在内的动态信道分配(共享带宽能力)技术、各种自适应算法(与功率控制相结合等)、蜂窝的动态规划、各种提高频率资源有效利用率的方法,与有线网智能化、宽带化结合在一起,研究由第二代进入第三代的接入方法等。

(4) 同步 CDMA 的同步方式、跟踪、范围、特点以及多媒体同步技术,尤其是不同媒体之间的同步(同步模型)研究,及在移动信道下传输所带来的影响和解决方法的研究。

(5) 新的高效信源编码和信道编译码技术的研究。

(6) 越区切换技术研究(软切换、硬切换以及 W-CDMA 中激励切换技术),与地面各类网、卫星网互联及信令变换的研究。

(7) 信道传播特性的研究(包括更高工作频段 30GHz~60GHz)。

(8) 用于移动业务的多媒体终端。

(9) 更高速率、更高频段多媒体移动通信集成系统(第四代)方案的研究。

(10) 跟踪 IMT-2000 无线传输技术, 卫星移动通信系统接入技术和相关技术研究。

第三代移动通信系统是向未来个人通信演进的一个重要发展阶段, 具有里程碑和划时代的意义, 预计商用化还需要 5~8 年时间, 让我们关注其发展态势, 迎接它的到来。

三、计算机互联网(Internet)

Internet 即我们所说的“因特网”, 是计算机网络及通信领域中的一个热门技术。Internet 是由无数个信息节点构成的一个覆盖全球的网, 它连接着一个个不断产生新信息的节点, 创造着大量的信息资源以服务于社会。Internet 可以看成是把各种各样的计算机与通信网动态地连接在一起, 产生、传播和应用信息。

Internet 的定义很多, 从不同学科、不同角度, 对它都有不同的理解, 因此很难给 Internet 下一个比较全面规范的定义, 一般认为 Internet 的定义应包含以下三方面的内容:

(1) Internet 是一个基于 TCP/IP 协议簇的网络。

(2) Internet 是一个由各种网络和计算机组成的整体, 是一个连接各种网络和计算机的网间网。

(3) Internet 是所有可被访问和利用的信息资源的集合。

Internet 的基本技术体制是采用无连接操作和统计复用方式。

作为 Internet 的基础——TCP/IP 协议簇, 源于 20 世纪六、七十年代的 ARPANET, 并且于 1977 年—1979 年之间制定出 TCP/IP 体系结构和协议规范。这个协议的重要之处在于它是独立于网络和计算机硬件的, 它是一种网间网协议, 它解决了不同网络技术之间的互连和互通问题, 这就使它具有了全局连接性。TCP/IP 协议簇的出现为 Internet 的发展铺平了道路。Internet 的发展曾经历过艰难的起步阶段, 随后在特殊的强制与支持条件下, 迎合了市场机遇, 从而迅速地发展起来了。进入 20 世纪 90 年代以来, 其发展势头越来越猛。

近年来 Internet 的技术和应用层出不穷, 对社会发展和人民生活以及现有电信业务产生了巨大的影响。其发展趋势受到全世界普遍关注。未来 Internet 技术发展将具有以下三大趋向: 网络走向宽带化、协议不断改进、应用与电信业务走结合发展道路。

1. 网络走向宽带化

(1) 增加骨干网带宽。作为下一代 Internet(NGI)初期行动, 1996 年 10 月美国 34 所著名大学在芝加哥发起了一个开发用于科研、教学的下一代 Internet 项目——Internet 2 (简称 I2), 它比现在的 Internet 快 100 倍, 采用先进的网络技术与协议, 促成与开发一系列新应用领域, 以确保美国在通信、计算机、科研、教育上的领先地位。I2 的总体结构中的最重要的组成单元是一些速率在 1Gb/s 以上的数据交换机或路由器。I2 将是一种 2.4Gb/s 的多媒体网络, 主要用于教育与科研。

(2) IP 与 ATM 结合。提高 Internet 带宽的一个有效途径是将 IP 协议的高效率与面向连接协议的可靠性相结合。IP 与 ATM 结合有两种基本模型: 叠加模型(Overlay Model)、对等模型(Peer Model)或称为集成模型(Integrated Model)。

(3) IP over SDH/SONET。这是将 IP 数据分组通过点到点协议(PPP)映射到 SDH/SONET 帧上, 按照 SDH/SONET 某次群(STM-N)的速率进行连续传输的技术, 因此也称为“Packet Over SDH/SONET”或“PPP Over SDH/SONET(POS)”。

(4) Internet 接入速率提高。目前提供的高速 Internet 接入技术主要包括有线调制

及解调器(Cable Modem)、ISDN、XDSL(包括不对称数字用户环 ADSL、高比特率数字用户线 HDSL、极高比特率数字用户线 VDSL)和 DBS(直播卫星)等等。

2. 协议不断改进

经过二十多年的发展,TCP/IP 技术已深入到社会的各个领域。到今天,Internet 包括了全世界上万个计算机网络,几百万台主机。Internet 的成功应归功于 TCP/IP 协议簇。1981 年制定的 Internet Protocol Version 4(IPV4)是我们现在所使用的 TCP/IP 协议簇的核心。

由于 Internet 的飞速膨胀,TCP/IP 协议簇面临自身发展问题。其中最主要的是:受 IPV4 的 32 位地址长度的限制,使 Internet 剩余地址匮乏,限制了 Internet 的发展;为使数据包能在 Internet 上更快地传输,需要对 IPV4 数据包头中的一些冗余或实际应用中并不使用的功能进行简化,以适应多媒体业务需要,满足实时传输需要和改进 Internet 上数据服务质量 QoS。故 Internet 协议最新版本 IPV6,经多年讨论在 1995 年应运而生了。主要改善内容为:

- (1) 寻址空间扩大。
- (2) 业务质量功能得到提高。
- (3) 功能增强。

IPV6 协议还存在一些问题,主要有:

- (1) 向 IPV6 的过渡可能会在相当长的时间内影响 TCP/IP 协议的互操作性能。
- (2) IPV6 协议新功能的说服力不强。
- (3) IPV6 所基于的技术仍然不尽人意。

3. 应用与电信业务结合发展

Internet 可以与下述应用相结合:

- (1) Internet 与电话结合——Internet 电话。从业务、技术、软件、产品的发展角度以及 Internet 业务提供者(ISP)的角度看,都有很好的发展前景。
- (2) Internet 与传真结合——Internet 传真。
- (3) Internet 与电子商务结合——Internet 电子商务。
- (4) Internet 与寻呼系统结合——Internet 寻呼。
- (5) Internet 与会议电视结合——Internet 会议电视,此外,Internet 还可以与其它电信业务相结合。

四、三网融合的网络发展动向

电信技术发展经历了漫长的模拟网年代(1876 年—1972 年),高速发展的数字化年代(1973 年—1980 年)和业务综合年代(1981 年—1996 年),即 ISDN 和 B-ISDN 时代。

20 世纪 90 年代以来,技术的巨大进步和管制环境的急剧变化,也从外部和内部强烈冲击着电信业、有线电视业和计算机业这三大信息行业。随着电信市场的开放以及用户对多种业务需求的与日俱增,国际上出现了所谓“三网融合”的潮流,即原先独立设计运营的传统电信网、计算机网和有线电视网正在趋向于相互渗透和相互融合。相应地,三类不同的业务、市场和产业也正在相互渗透和相互融合,电信与信息产业正在进行结构重组,电信与信息管理体制和政策法规也正在发生与之相适应的重要变革。以三大业务来分割三大市场和行业的时代已告结束,三网融合已成为未来信息业发展的重要大趋势。

作为三网融合的技术基础,主要是得到了以下几个主要领域的技术进步的支持,即:数字技术、光通信技术、软件技术、TCP/IP 协议等。

尽管三网融合已成为不可避免的趋势,从技术上已无重要障碍可言,但目前阻碍这一进程的因素还不少,主要有:不同部门之间的利益冲突;通信界、计算机界和有线电视界观念上的巨大区别;各种标准之间和各种结构之间不兼容、甚至缺乏共同的技术语言;各种技术之间的透明度和网络互连、互通不理想;尚未找到价廉物美的接入技术,因而接入网部分的融合最困难。可见三网融合还将是一个长期而艰巨的过程。

习 题

1-1 设英文字母 C 出现的概率为 0.023, E 出现的概率为 0.105, 试求 C 与 E 的信息量。

1-2 设某地方的天气预报晴占 $4/8$, 阴占 $2/8$, 小雨占 $1/8$, 大雨占 $1/8$, 试求每个消息的信息量。

1-3 设有四个消息 A、B、C、D, 分别以概率 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/8$ 和 $1/2$ 传递, 每一消息的出现都是相互独立的, 试计算其平均信息量。

1-4 一个离散信号源每毫秒发出 4 种符号中的一个, 各相互独立符号出现的概率分别为 0.4、0.3、0.2、0.1, 求该信号源的平均信息量与信息传输速率。

1-5 设一信息源的输出由 128 个不同的符号组成, 其中 16 个出现的概率为 $1/32$, 其余 112 个出现概率为 $1/224$, 信息源每秒钟发 1000 个符号, 且每个符号彼此独立, 试计算该信息源的平均信息速率。

1-6 设一数字传输系统传递二进制码元的速率为 1200B, 试求该系统的信息传输速率, 若该系统改为八进制码元传递, 传码率仍为 1200B, 此时信息传输速率又为多少?

1-7 已知二进制数字信号的传输速率为 2400b/s。试问变换成四进制数字信号时, 传输速率为多少波特?

第二章 信 道

在第一章论述通信系统模型时曾经指出信号传输必须经过信道。信道是任何一个通信系统必不可少的组成部分,信道特性将直接影响通信的质量。因此,讨论信道特性对研究信号传输原理是很有必要的。

信道中的噪声是客观存在的,它以多种形式存在于信道之间。为分析方便,在图 1.2-1 中将噪声放在一个方框内。由于噪声的存在,将会对有用信号产生干扰而直接影响传输质量。本章也将对噪声的一些随机特性从统计学的角度进行讨论。

研究信道和噪声的目的是为了提高传输的有效性和可靠性。了解信道和噪声的具体情况,可以合理地选择信号的调制和传输方式。因此,对信道与噪声的分析是研究通信原理的基础。

2.1 信道的定义和分类

通常人们所说的信道是指信号的传输媒介,例如架空明线、电缆、光纤、波导、电磁波等等。虽然这种定义是非常直观易懂的,但是在通信系统的分析研究中,为了简化系统模型和突出重点,常常根据所研究的问题,把信道范围适当扩大。除了传输媒介外,还包括有关的部件和电路,如天线与馈线、功率放大器、滤波器、混频器、调制器与解调器等等。我们将这种扩大范围的信道称为广义信道,而把仅包括传输媒介的信道称为狭义信道。

广义信道是从信号传输的观点出发,针对所研究的问题来划分信道。在模拟通信系统中,主要是研究调制和解调的基本原理,其传输信道可以用调制信道来定义。调制信道的范围是从调制器的输出端到解调器的输入端。从调制和解调的角度来看,从调制器输出端到解调器输入端的所有转换器以及传输媒介,不管其中间过程如何,只是实现了已调信号的传输,因此可以将其视为一个整体。在研究调制、解调问题时,定义一个调制信道是非常方便的。

在数字通信系统中,如果我们只关心编码和译码问题,可以定义编码信道来突出研究的重点。编码信道的范围是从编码器的输出端至译码器的输入端。因为从编码和译码的角度来看,编码器是把信源所产生的消息信号转变为数字信号,译码器则是将数字信号恢复成原来的消息信号,而编码器输出端至译码器输入端之间的一切环节只是起了传输数字信号的作用,所以可以将其归为一体来讨论。调制信道和编码信道的划分如图 2.1-1 所示。

应该指出,狭义信道(传输媒介)是广义信道中十分重要的组成部分,实际上,通信效果的好坏,在很大程度上将依赖于狭义信道的特性。因此,在研究信道的一般特性时,传输媒介是讨论的重点。由于本书研究的重点是通信的基本原理,今后所提到的信道均指广义信道。

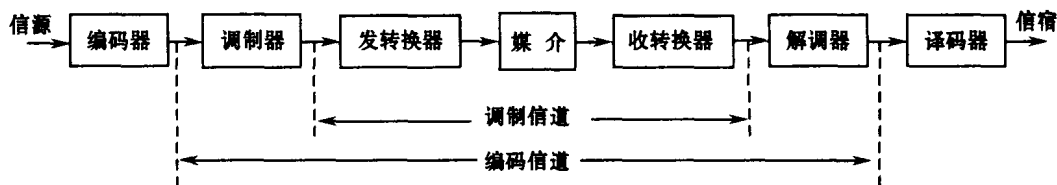


图 2.1-1 调制信道和编码信道的划分

2.2 信道模型

为了研究信道特性,需要找出信道的数学模型。调制信道属于模拟信道,通过对调制信道进行大量的反复考察之后,可以发现它们具有以下共同的特性:

(1) 它们具有一对(或多对)输入端和一对(或多对)输出端。

(2) 绝大多数的信道是线性的,即满足叠加原理。

(3) 信道具有衰减(或增益)频率特性和相移(或延时)频率特性。在某些信道如短波信道中,衰减特性随时间而变化。

(4) 即使没有信号输入,在信道的输出端仍有一定的功率输出(噪声)。为此,我们可以将调制信道用一个时变线性网络来表示,如图 2.2-1 所示。

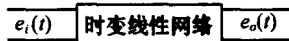


图 2.2-1 调制信道模型

网络的输入与输出之间的关系可以表示为:

$$e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t) \quad (2.2-1)$$

式中, $e_i(t)$ 是输入的已调信号, $e_o(t)$ 是信道的输出, $n(t)$ 为加性噪声(或称加性干扰), 它与 $e_i(t)$ 不发生依赖关系。

$f[e_i(t)]$ 由网络的特性确定, 它表示信号通过网络时, 输出信号与输入信号之间建立的某种函数关系。信道还可以分为恒参信道和变参信道。对于恒参信道来说, 信道的参数不随时间变化。例如架空明线、同轴电缆以及中长波、地面波传播均属于恒参信道。这时若信道特性为 $h(t)$, 则输出信号可表示为

$$e_o(t) = e_i(t) * h(t) + n(t) \quad (2.2-2)$$

对于变参信道来说, 信道的参数随时间变化。例如短波电离层反射、超短波流星余迹散射、多径效应和选择性衰落均属于变参信道。描述变参信道的特性, 可使用下面的表达式:

$$e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t) = K(t)e_i(t) + n(t) \quad (2.2-3)$$

式中, $K(t)$ 称为乘性干扰, 它依赖于信道的特性, 是一个较为复杂的时间函数, 它与信号是相乘关系。变参信道对信号的影响可归结为两个因素: 一是乘性干扰 $K(t)$ 的影响; 二是加性干扰 $n(t)$ 的影响。通过对 $K(t)$ 和 $n(t)$ 两种干扰的研究, 我们就可确定信道对信号的影响。

编码信道是包括调制信道、调制器以及解调器的信道, 它与调制信道模型明显不同。调制信道对信号的影响是通过 $K(t)$ 及 $n(t)$ 使调制信号发生模拟变化; 而编码信道对所

传输的数字信号的影响最终表现在数字序列的变化上,即数字信道使其输出的数字信号与编码器输出的数字序列不一致,这时译码器译出的数字信号就会以某种概率发生差错,引起误码。因此编码信道所关心的是,在经过信道传输之后数字信号是否出现差错以及出现差错的可能性有多少。所以编码信道常常用数字信号的转换概率来描述。在常见的二进制数字传输系统中,编码信道的模型如图2.2-2所示。其中 $P(0/0)$, $P(1/0)$,

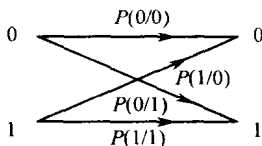


图 2.2-2 二进制编码信道模型

$P(1/1)$, $P(0/1)$ 称为信道的转移概率。 $P(0/0)$ 表示发端发“0”码而收端判为“0”码的概率, $P(1/0)$ 表示发“0”码而收端错判为“1”码的概率,同理可以定义 $P(1/1)$ 和 $P(0/1)$ 。所以 $P(0/0)$ 和 $P(1/1)$ 为正确的转移概率,而 $P(1/0)$ 和 $P(0/1)$ 为错误的转移概率。由概率论可知

$$P(0/1) = 1 - P(1/1) \quad (2.2-4)$$

$$P(1/0) = 1 - P(0/0) \quad (2.2-5)$$

转移概率完全由编码信道的特性所决定,一个特定的编码信道就有其相应确定的转移概率关系。而编码信道的转移概率一般需要对实际信道作大量的统计分析才能得到。

在编码信道中,若数字信号的差错是独立的,也就是数字信号的前一个码元差错对后面的码元无影响,称此信道为无记忆信道。如果前一码元的差错影响到后面码元,这种信道称为有记忆信道。有记忆信道的数学模型比较复杂,这里不再进一步讨论。

2.3 恒参信道

恒参信道的特性与时间无关,是一个非时变线性网络,该网络的传输特性可用幅度-频率及相位-频率特性来表示。

一、幅度-频率特性

所谓幅度-频率特性是指已调信号中各频率分量在通过信道时带来不同的衰减(或增益),造成输出信号的失真。

对于理想的无失真传输信道,它的传递函数应满足

$$H(\omega) = Ke^{-j\omega t_d} \quad (2.3-1)$$

式中, K 是传输系数, t_d 是延迟时间,它们都与频率无关。由式(2.3-1)可知, $|H(\omega)| = K = \text{常数}$,因此理想无失真传输信道的幅频特性如图2.3-1虚线所示,它是一条水平线。

但是,这种理想的幅度-频率特性在实际中是不存在的。首先是信道不可能具有无限宽的传输频带,它的低端和高端都要受到限制,通常称这种频率的限制为下截频和上截频;其次即使是在有效的传输频带内,不同频率处的衰减(或增益)也不可能完全相同。图2.3-1实线是一个典型的音频信道的幅度-频率特性曲线。

由图2.3-1可见,这种信道的不均匀衰减会使传输信号的各个频率分量受到不同的

衰减,从而引起传输信号的失真。但是这种失真可以通过信道均衡来加以改善。所谓信道均衡就是用一个补偿网络使信道总的幅频特性趋于平坦。

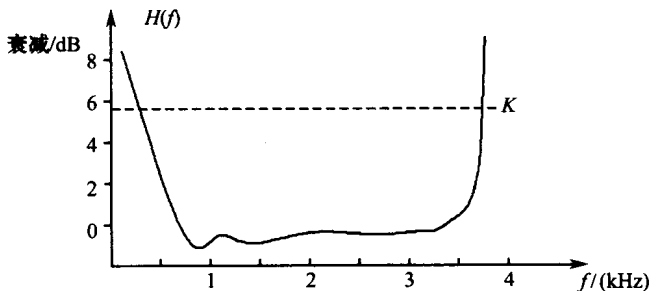


图 2.3-1 音频电话信道的幅度频率特性

二、相位-频率特性

为了实现无失真的信号传输,除了要求满足幅频特性为常数外,还要求信道的相位和频率呈线性关系,即有

$$\varphi(\omega) = -\omega t_d \quad (2.3-2)$$

式中, t_d 为延迟时间,与频率无关。

但是,实际信道的相频特性并不是线性的,因而使信号通过信道时会产生相位失真。相位失真对模拟语音信号的影响并不明显,因为人耳对相位失真不太灵敏,但是它对数字信号产生的影响很大。尤其是当传输速率较高时,相位失真将会引起严重的码间串扰,对通信有很大的危害。

信道的相位-频率特性常用群时延-频率特性来表示。所谓群时延-频率特性是指相位-频率特性的导数,即

$$\tau(\omega) = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} \quad (2.3-3)$$

式中, $\varphi(\omega)$ 为相位-频率特性, $\tau(\omega)$ 为群时延-频率特性。

从式(2.3-1)可以看出,对于理想的无失真信道,其相频特性是线性的,则群时延-频率特性是一条水平直线,如图 2.3-2 所示。

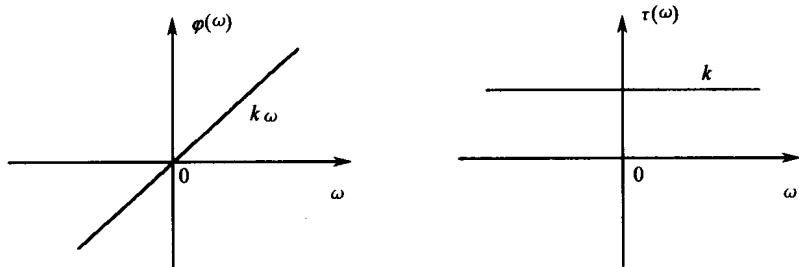


图 2.3-2 理想的相位-频率特性及群时延-频率特性

在实际的信道中,群时延-频率特性并不总是一条水平直线。因此,当信号通过这样的信道时,不同的频率分量会有不同的时延,从而引起信号的失真。一个典型的群时延-频率特性曲线如图 2.3-3 所示。

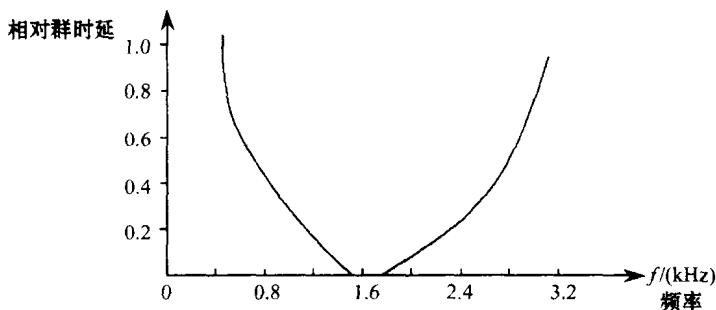


图 2.3-3 实际的群时延 - 频率特性

群时延失真如同幅频失真一样,也是一种线性失真,因此也可以通过均衡加以补偿。

2.4 变参信道

变参信道的参数随时间变化,所以它的特性比恒参信道要复杂,对传输信号的影响也较为严重。影响信道特性的主要因素是传输媒介,如电离层的反射和散射,对流层的散射等等。

在变参信道中,传输媒介参数随气象条件和时间的变化而随机变化。如电离层对电波的吸收特性随年份、季节、白天和黑夜在不断地变化,因而对传输信号的衰减也在不断地发生变化,这种变化通常称为衰落。但是,由于这种信道参数的变化相对而言是十分缓慢的,所以称这种衰落为慢衰落。慢衰落对传输的信号影响可以通过调节设备的增益来补偿。

变参信道的传输媒介,无论是电离层反射还是对流层散射,它们的共同特点是:由发射点出发的电波可能经多条路径到达接收点,这种现象称为多径传播,如图 2.4-1 所示。

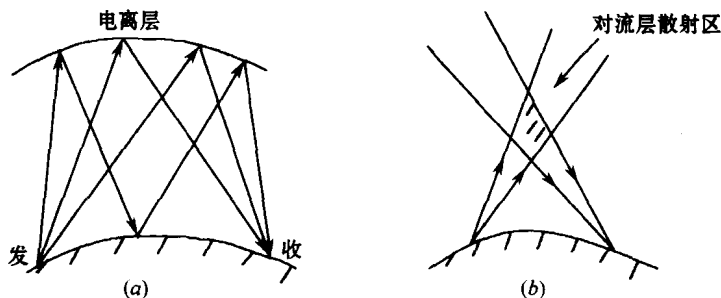


图 2.4-1 多径传播示意图

(a) 电离层反射; (b) 对流层散射。

由于各条路径的衰减和时延都在随时间变化,所以接收点合成信号的强弱也必然随时间不断地变化,这种现象就是所谓的多径效应。由多径效应所引起的信号变化比慢衰落要快得多,故称之为快衰落。

在多径传播时,由于各条路径的等效网络传播函数不同,于是各网络对不同频率的信号衰减也就不同,这就使接收点合成信号的频谱中某些分量衰减特别严重,这种现象称为