

第一章 绪论

本章要点

- 信息量的分类与度量。
- 熵及熵的计算方法。
- 数字通信及其特点。
- 通信系统的分类。
- 信息传输的有效性和可靠性。

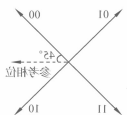
本章主要介绍通信的基本概念,如通信的定义、通信系统的组成、分类和工作方式、衡量通信系统的主要质量指标等,以使读者对通信的基本概念、术语以及本课程所要研究的主要对象有一个初步了解。这些基本概念是通信原理与技术的基础。

第一节 通信的定义

人类社会建立在信息交流的基础上,通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。从远古时代到现代文明社会,人类社会的各种活动与通信密切相关,特别是当今世界已进入信息时代,通信已渗透到社会各个领域,通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一,对人们日常生活和社会活动及发展起着日益重要的作用。

一般的说,通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。满足此定义的例子很多,如打电话是利用电话(系统)来传递消息;两个人之间的对话是利用声音来传递消息;古代的“消息树”、“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等则是利用光的方式传递消息的。

通信的目的是传递消息,消息具有不同的形式,例如:语言、文字、数据、图像、符号等等。随着社会的发展,消息的种类越来越多,人们对传递消息的要求也越来越高,通信中消息的传送是通过信号来进行的,如:红绿灯信号、狼烟、电压、电流信号等,信号是消息的载体。在各种各样的通信方式中,利用“电信号”来承载消息的通信方法称为电通信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得





到了飞速发展和广泛应用。如今,在自然科学中,“通信”与“电通信”几乎是同义词了。本课程中所说的通信,均指电通信。据此,不妨对通信重新定义:利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号),实现从一地向另一地进行消息的有效传递称为通信。

通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。当今的通信不仅要有效地传递信息,而且还要有存储、处理、采集及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

第二节 信息及其度量

摇摇

一、信息、信号及分类

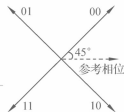
消息由信源产生,常见的消息有语言、文字、数据和图像信息等。不同的信源要求有不同的通信系统与之对应,从而形成了多种多样的通信系统,如:电话通信系统、有线电视通信系统、图像通信系统等。信息是抽象的消息,一般用数据来表示。表示信息的数据通常都要经过适当的处理和变换,变成适合信道传输的信号(电或光信号)后传输。可以说,信号是信息的一种电磁表示方法,它利用某种可以被感知和测量的物理参量——电压、电流、光波的强度或频率等来携带信息,即信号是信息的物理载体。

信号一般以时间为自变量,以表示信息的某个参量(如电信号的振幅、频率或相位等)为因变量。根据信号的因变量是否连续,可以将信号分为模拟信号和数字信号两类。

模拟信号是指因变量完全连续的随信息的变化而变化,而其自变量可以是连续的,也可以是离散的。电视图像信号、语音信号、温度传感器的输出信号等都是模拟信号;脉冲幅度信号(电平)、脉冲相位信号(电平)以及脉冲宽度信号(电平)等也属于模拟信号。这两类信号的差异只是在于它们的自变量取值连续与否。模拟信号的特点是信号的强度或频率等取值随时间连续变化,这个连续的含义是指在某一取值范围内,信号的强度可以有无限个取值。

数字信号是指信号的因变量和自变量的取值都是离散的信号。由于因变量是离散的,其状态的数量即强度的取值个数必然是有限的,故通常又把数字信号称为离散信号。例如一个二进制信号只有“0”“1”两种取值,一个四进制信号也只有“00”“01”“10”“11”四种取值。计算机以及数字电话等系统中传输和处理的信号都是数字信号。

由于模拟信号和数字信号的物理特性不同,它们对信号传输通路的要求及各自在传输中的处理过程也各不相同,但在一定的条件下,它们也可以相互转化。模拟信号可以通过抽样、量化和编码等处理过程变成数字信号,而数字信号也可以通过解码、平滑变成模拟信号。





二、信息量的度量

信源的不肯定性

“信息”一词在概念上与消息的意义相似，但它的含义却更具普遍性、抽象性。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容，消息可以有各种各样的形式，但消息的内容可统一用信息来表述。传输信息的多少可直观地使用“信息量”进行衡量。

在一切有意义的通信中，虽然消息的传递意味着信息的传递，但对接收者而言，某些消息比另外一些消息的传递具有更多的信息。例如，甲方告诉乙方一件很可能发生的事情：“今年秋季比去年秋季冷”，比起告诉乙方一件极不可能发生的事情：“今年秋季比去年冬季冷”来说，后一消息包含的信息显然要比前者多些。因为对乙方（接收者）来说，前一事情很可能发生，不足为奇，而后一事情却极难发生，听后会使人惊奇。这表明消息确实有量值的意义，而且可以看出，对接收者来说，事件越不可能发生，越会使人感到意外和惊奇，信息量就越大。正如前面已经指出的，消息是多种多样的，因此，度量消息中所含的信息量的方法，必须能够用来估计任何消息的信息量，且与消息种类无关。另外，消息中所含信息的多少也应和消息的重要程度无关。

由概率论可知，事件的不确定程度，可用事件出现的概率来描述。事件出现（发生）的可能性越小，则概率越小；反之，概率越大。基于这种认识，可以得到：消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关。消息出现的概率越小，则消息中包含的信息量就越大。且概率为 0 时（不可能事件），信息量为无穷大，概率为 1 时（必然事件），信息量为 0。

综上所述，可以得出消息中所含信息量与消息出现的概率之间的关系应反映如下规律：

(1) 消息中所含信息量是消息出现概率的函数。

(2) 消息出现的概率越小，它所含信息量越大；反之信息量越小。

(3) 设信源发出某消息 x_i 的概率为 $P(x_i)$ ，用 $I(x_i)$ 表示消息 x_i 提供的信息量，则

有：
$$I(x_i) \text{ 越 } P(x_i) \text{ 越 } \frac{1}{P(x_i)} \text{ 越 } \frac{1}{P(x_i)}$$
 (1)

式中称 $I(x_i)$ 为消息 x_i 的自信息量，它具有随机变量的性质，它表示了一个具体的消息 x_i 所具有的不肯定程度，但不能表示 x_i 所属信源的总体不肯定度。当式中对数取 2 为底时，信息量的单位为比特（bit）；若取 e 为底，则信息量的单位为奈特（nat）；若取 10 为底，则信息量的单位为哈特莱（Hartley）。通常我们以比特作为信息量的计量单位，即通常对数都以 2 为底。

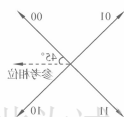
【例 1】设二进制离散信源，数字 0 或 1 以相等的概率出现，试计算每个符号的信息量。

解：二进制等概率时

$$I(0) \text{ 越 } I(1) \text{ 越 } \frac{1}{P(0)} \text{ 越 } \frac{1}{P(1)}$$

由式(1)有

$$I(0) \text{ 越 } I(1) \text{ 越 } \frac{1}{P(0)} \text{ 越 } \frac{1}{P(1)}$$





即二进制等概率时,每个符号的信息量相等,为 $\log_2 2 = 1$ 比特

【例 1-1】试计算二进制符号不等概率时的信息量(设 $P_1 = 0.7, P_2 = 0.3$)。

解:由于 $P_1 = 0.7, P_2 = 0.3$, 所以有 $H = -0.7 \log_2 0.7 - 0.3 \log_2 0.3$

利用式(1-1)得

$$H = -0.7 \log_2 0.7 - 0.3 \log_2 0.3 = 0.521 \text{ 比特/符号}$$

可见不等概率时,每个符号的信息量不同。

1.1.2 离散信源的平均信息量——熵

由有限个消息符号或状态构成的信源就是离散信源。例如一个只有 26 个字母和 2 个常用标点符号的英文打字机,它的消息数为 28;再如只可输出高、低两种电平来表示 0、1 两种代码的信源等就是离散信源,其信源的消息数为 2。

在实际通信过程中,任何离散信源发出的都是一长串的消息序列而非单个的符号,因此我们更注重考虑一串消息序列中每个消息符号的平均信息量,即信源的平均信息量。显然,我们不可能针对每个具体的消息序列去计算均值,而只能从概率统计的角度出发来解决这一问题。

定义:设某离散信源 S 可输出 N 个彼此独立的符号,各符号出现的概率分布如下:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$, 其中 $P(s_1) = p_1, P(s_2) = p_2, \dots, P(s_N) = p_N$

则该信源的平均信息量为:

$$H(S) = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (1-2)$$

由于该平均信息量 $H(S)$ 的公式与热力学、统计学中关于系统熵的公式形式一样,所以也把信源输出一个消息所提供的平均信息量,即信源的不肯定度 $H(S)$ 叫做信源熵。对数通常取 2 为底,所以常用单位为比特(比特/符号)。

对于二元离散信源,若出现 0、1 的概率分别为 P_0, P_1 , 那么,该信源的熵为

$$H(S) = -P_0 \log_2 P_0 - P_1 \log_2 P_1 \quad (1-3)$$

例如:①对于二进制码的信源,如果 0、1 等概率出现,则其每个码的平均信息量(即信源熵)为:

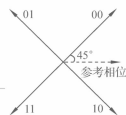
$$H(S) = -\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ 比特/符号}$$

②而对于四进制码的信源,如果 0、1、2、3 等概率出现,则其每个码的平均信息量(即信源熵)为:

$$H(S) = -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} = 2 \text{ 比特/符号}$$

这与我们通常的理解是一致的。

③而对于四进制码的信源,如果 0、1、2、3 出现的概率分别为 $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$, 则其每个码的平均信息量(即信源熵)为:



为概率来计算。当消息很长时,用熵的概念计算比较方便,而且随着消息序列长度的增加,两种计算方法的结果将趋于一致。

第三节 摇通信系统的组成

摇摇

一、通信系统的一般模型

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,通信系统的组成(通常也称为一般模型)如图 1-1-1 所示。

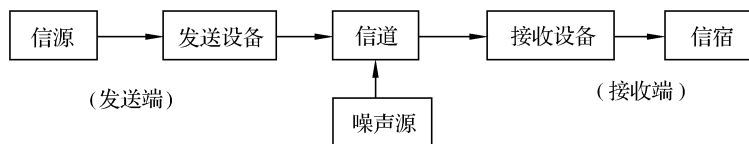


图 1-1-1 摇通信系统的一般模型

图中,信源(信息源,也称发送端)的作用是把待传输的消息转换成原始电信号,如电话系统中电话机可看成是信源。信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式,如语音信号为语音,图像信号为图像。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应的,信源也分为数字信源和模拟信源。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式,对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输的通道,可以是有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。图中的噪声源,是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号来。

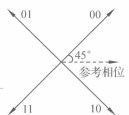
信宿(也称受信者或收终端)是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。

图 1-1-1 给出的是通信系统的一般模型,按照信道中所传信号的形式不同,可进一步具体化为模拟通信系统和数字通信系统。

二、模拟通信系统

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成可由一般通信系统模型略加改变而成,如图 1-1-2 所示。这里,一般通信系统模型中的发送设备和接收设备分别用调制器、解调器所代替。

对于模拟通信系统,它主要包含两种重要变换。一是把连续消息变换成电信号(发





端信源完成)和把电信号恢复成最初的连续消息(收端信宿完成)。由信源输出的电信号(基带信号)由于具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号送到信道中去。因此,模拟通信系统里常有第二种变换,即将基带信号转换成适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成,在收端同样需经相反的变换,它由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性:一是携带有消息,二是适合在信道中传输,三是频谱具有带通形式,且中心频率远离零频,因而已调信号又常称为频带信号。

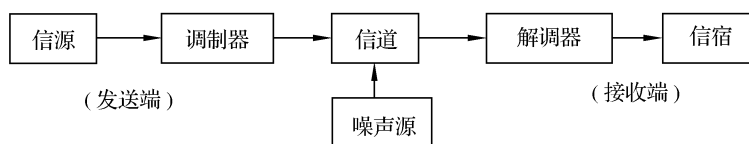


图 员原 模拟通信系统模型

必须指出,从消息的发送到消息的恢复,事实上并非仅有以上两种变换,通常在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。对信号传输而言,由于上面两种变换对信号形式的变化起着决定性作用,它们是通信过程中的重要方面。而其他过程对信号变化来说,没有发生质的作用,只不过是进行了放大和改善信号特性等,因此,这些过程都认为是理想的,而不去讨论。

三、数字通信系统

信道中传输数字信号的通信系统,称为数字通信系统。数字通信的基本特征是,它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性,从而使数字通信具有许多特殊的问题。例如前边提到的第二种变换,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与代表消息的基带信号之间的比例特性,而在数字通信中,则强调已调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。

另外,数字通信中还存在以下突出问题:第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错,原则上是可以控制的,这是通过所谓的差错控制编码来实现的。于是,就需要在发送端增加一个编码器,而在接收端相应需要一个解码器;第二,当需要实现保密通信时,可对数字基带信号进行人为“扰乱”(加密),此时在收端就必须进行解密。第三,由于数字通信传输的是按一定节拍一个接一个传送的数字信号,因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍,否则,就会因收发步调不一致而造成混乱。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息特征进行编组的,于是,在收发之间一组的编码的规律也必须一致,否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中,称节拍一致为“位同步”或“码元同步”,而称编组一致为“群同步”或“帧同步”,故数字通信中还必须有“同步”这个重要问题。综上所述,图 员原 给出了一个点对点的数字通信系统的一般模型。

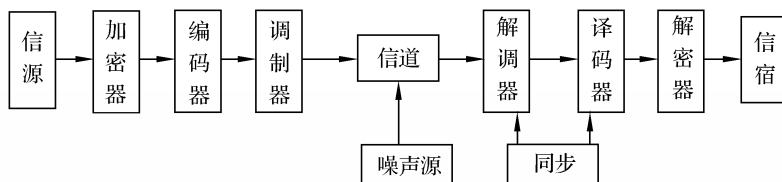


图 员原 点对点数字通信系统的一般模型





需要说明的是,图中调制器、解调器、加密器、解密器、编码器、解码器等环节,在具体通信系统中是否全部采用,要取决于具体设计条件和要求。但在一个系统中,如果发送端有调制、加密、编码,则接收端必须有解调、解密、解码。

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是,数字通信的发展速度已明显超过模拟通信,成为当代通信的主流。与模拟通信相比,数字通信具有以下优点:

1. 抗干扰能力强

由于在数字通信中,传输的信号幅度是离散的,以二进制为例,信号的取值只有两个,这样接收端只需判别两种状态。信号在传输过程中受到噪声的干扰,必然会使波形失真,接收端对其进行抽样判决,以辨别是两种状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确性,就能正确接收(再生)。而在模拟通信中,传输的信号幅度是连续变化的,一旦叠加上噪声,即使噪声很小,也很难消除。

数字通信抗噪声性能好,还表现在微波中继通信中,它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后,只要不发生错码,它仍然像信源中发出的信号一样,没有噪声叠加在上面。因此中继站再多,数字通信仍具有良好的通信质量。而模拟通信中继时,只能增加信号能量(对信号放大),而不能消除噪声。

2. 差错可控

数字信号在传输过程中出现的错误(差错),可通过纠错编码技术来控制,以提高传输的可靠性。

3. 易于加密

数字信号与模拟信号相比,它容易加密和解密。因此,数字通信保密性好。

4. 易于与现代技术相结合

由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展,许多设备、终端接口均采用数字信号,因此极易与数字通信系统相连接。

但是相对于模拟通信来说,数字通信主要有以下两个缺点。

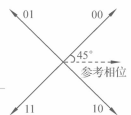
1. 数字信号占用的频带宽

以电话为例,一路模拟电话通常只占据 3.4kHz 带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 7.2kHz 的带宽。因此,如果系统传输带宽一定的话,模拟电话的频带利用率要高出数字电话的 2 倍。

2. 系统设备比较复杂

数字通信中,要准确地恢复信号,接收端需要严格的同步系统,以保持接收端和发送端严格的节拍一致、编组一致。因此,数字通信系统及设备一般都比较复杂,体积较大。

不过,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点已经弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占主导地位。





第四节摇通信系统的分类及通信方式

摇摇

一、通信的分类

通信的目的是传递消息,按照不同的分法,通信可分成许多类别,下面将介绍几种较常用的分类方法

摇摇按传输媒质分

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是媒质看得见、摸得着。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

摇摇按信道中所传信号的特征分

前面已经指出,按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应的把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

摇摇按工作频段分

按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表 员原列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

工作频率和工作波长可互换,其关系为:

$$\lambda \text{ 越 } \frac{\text{悦}}{\text{枣}} \quad (\text{员原})$$

式中 λ ——工作波长,单位为皂;

枣——工作频率,单位为匀扎;

悦——电波在自由空间中的传播速度,悦越猿伊员园⁸米/秒

表 员原 摇摇 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波摇长	频段名称	常用传输媒介	用摇途
猿扎~猿园猿扎	员园 ⁴ ~员园 ⁶ 皂	甚低频 灾云	有线线对 超长波无线电	播音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
猿园~猿园猿扎	员 ³ ~员 ⁴ 皂	低频 蕴云	有线线对 长波无线电	播导航、信标、电力线通信
猿园猿扎~猿园扎	员 ² ~员 ³ 皂	中频 酝云	同轴电缆 中波无线电	播调幅广播、移动陆地通信、业余无线电



(续表)

频率范围	波波长	频段名称	常用传输媒介	用途
30~300 MHz	1~10 m	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动通信、短波广播、 定点军用通信、业余无线电
3~30 MHz	10~100 m	甚高频 VHF	同轴电缆 超短波无线电	电视、调频广播、空中管制、 车辆通信、导航、集群通信、无 线寻呼
30~300 MHz	1~10 m	特高频 UHF	波导 微波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、 点对点通信、移动通信
300~3000 MHz	10~100 cm	超高频 SHF	波导 微波无线电	微波接力、卫星和空间通 信、雷达
3000~30000 MHz	10~10 cm	极高频 EHF	波导 微波无线电	雷达、微波接力、射电天文 学
300000~3000000 MHz	1000~100 μm	红外、可见 光、紫外	光纤 激光空间传播	激光通信

按调制方式分

前面已经指出,根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对各种信号调制后再送到信道中传输的总称。调制的方式很多,将分别在本章中论述。

按业务的不同分

按通信业务分,通信系统可分为话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务通信发展迅速,它主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中,各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输。

另外从广义的角度来看,广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴,因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展,目前它们已从通信中派生出来,形成了独立的学科。

按通信者是否运动分

通信还可按收发信者是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活等特点,能使用户随时随地快速可靠地进行信息传递,因此,已被列为现代通信中的三大新兴通信方式之一。

另外,通信还有其他一些分类方法,如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等;按用户类型可分为公用通信和专用通信;按通信对象的位置不同可分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

二、通信方式

从不同角度考虑问题,通信的工作方式通常有以下几种。

按照消息传送的方向与时间分

对于点对点之间的通信,按消息传送的方向与时间,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信,是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,如图 1-1-1 所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。这里,信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和寻呼机上。

所谓半双工通信方式,是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1-1-2 所示。对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

所谓全双工通信,是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1-1-3 所示。在这种方式下,双方都可同时进行收发消息。很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话、手机等。

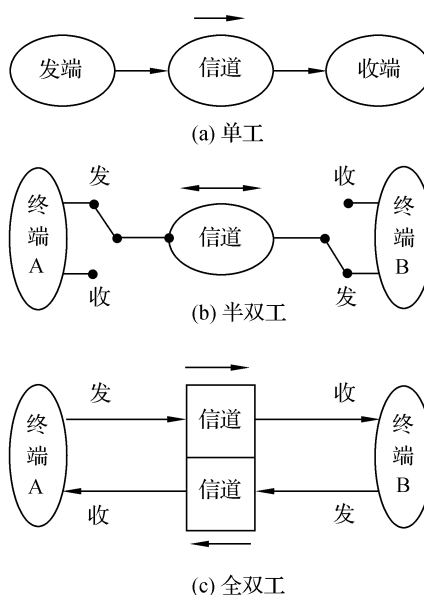


图 1-1-1 单工、半双工和全双工通信方式示意图

按照数字信号排序方式分

在数字通信中,按照数字信号代码排列顺序方式的不同,可将通信方式分为串行传输和并行传输。

所谓串行传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如图 1-1-4 所示。如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并行传输通信方式,如图 1-1-5 所示。

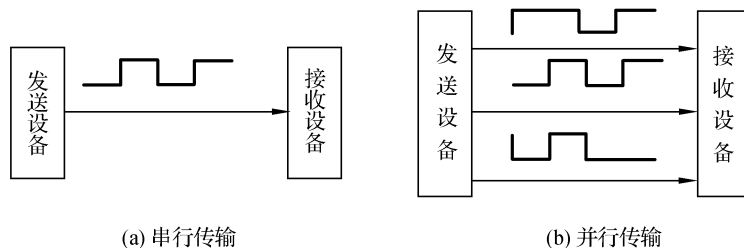


图 1-1-4 串行和并行传输方式

一般的数字通信方式大都采用串行传输,这种方式只需占用一条通路,缺点是传输时间相对较长;并行传输方式在通信中也会用到,它需要占用多条通路,优点是传输时间较短。



按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种：两点间直通方式、分支方式和交换方式，它们的示意图如图 1-1-1 所示。

直通方式是通信网络中最为简单的一种形式，终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的。在分支方式中，每一个终端（终端 A、终端 B、终端 C、…、终端 N）经过同一信道与转接站相互连接，此时终端之间不能直通信息，必须经过转接站转接，此种方式只在数字通信中出现。交换方式是终端之间通过交换设备灵活地进行线路交换的一种方式，即把要求通信的两终端之间的线路接通（自动接通），或者通过程序控制实现消息交换，即通过交换设备先把发方来的消息存储起来，然后再转发至收方，这种消息转发可以是实时的，也可以是延时的。

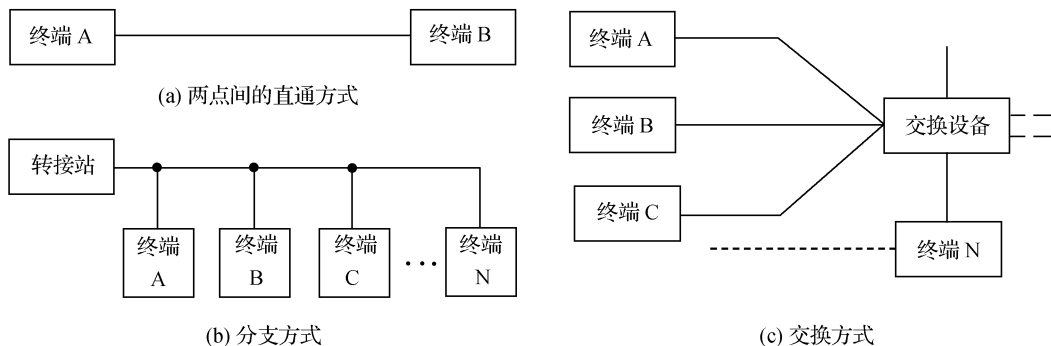


图 1-1-1 按网络形式划分的通信方式

分支方式及交换方式均属网通信的范畴。无疑，它们和点与点直通方式相比，还有其特殊的一面。例如，通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等；通信网中既有信息控制问题，也有网同步问题。尽管如此，网通信的基础仍是点与点之间的通信，因此，本书中只把注意力集中到点与点通信上，而不涉及网通信的其他问题。

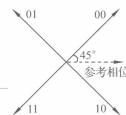
第五节 通信系统的主要性能指标

通信系统的性能指标是衡量一个通信系统好坏与否的标准。没有这些指标，就无法评价一个系统，也无法设计一个系统。因此，了解通信系统的性能指标是很重要的。

通信系统的性能指标是一个十分复杂的问题，它涉及通信系统的各个方面，诸如有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性以及维护使用等。通信的目的是为了迅速、准确的传输信息，因此通信系统的性能指标主要应从信息传输的有效性和可靠性两方面来考虑。

一、有效性指标的具体表述

有效性是指信息传输的效率问题，即衡量一个系统传输信息的多少和快慢，可靠性则是指系统接收信息的准确程度。两个指标对系统的要求常常是相互矛盾的。一般情况下，要增加系统的有效性就要降低可靠性，反之亦然。在实际中，常常依据系统的实际要求采取相对统一的办法，即在满足一定可靠性的指标下，尽量提高信息的传输速率；或者，





在维持一定的有效性的情况下,尽可能提高系统的可靠性。

在模拟通信系统中,有效性一般用系统的有效传输频带来表示。采用不同的调制方式传输相同的信息,所需要的频带宽度和系统的性能都是不一样的。调频信号(调频)的频带宽度高于调幅信号(调幅),但它的抗噪声性能却优于调幅信号。采用频分多路复用方式可以提高系统的有效性,显然,在带宽有限的系统中,系统的复用程度越高,则传输每路信号所用的带宽就越窄,有效性就越好。

在数字通信系统中,一般用信息的传输速率来衡量系统的有效性。信息传输速率越高,系统的有效性就越好。信息传输速率有码元速率和信息速率之分。

码元速率(码元速率)又称传码率,是指系统每秒传输的码元个数,单位为“波特”(波特),简称为“波”。数字信号有二进制和多进制之分,但码元速率(码元速率)与数的进制无关,只与信息码元的宽度(码元宽度)有关。

$$R_B \text{ 越 } R_{码元} \quad (1.1.1)$$

通常在给出码元速率的情况下,要说明码元的进制。

信息速率(信息速率)又称比特率,是指系统每秒传送的信息量,单位为比特/秒,常用符号(比特/秒)来表示。例如某系统在(时间)内传送了(码元)个二进制符号,每个符号的平均信息量为(比特/符号),则该系统的信息传输速率(信息速率)为(比特/秒)。

需要注意的是:虽然码元速率和信息速率都表示系统传输信息的速度,但二者却有概念上的不同,使用时不可混淆。不过它们之间在数值上可以换算。由前面的知识可知,在信源符号等概率出现且相互独立的情况下,一位(进制)进制码元所包含的信息量是同样情况下(二进制)二进制码元所包含信息的(进制)倍。因此码元速率和信息速率的关系可表示为:

$$R_B \text{ 越 } R_{信息} \cdot \text{进制} \quad (1.1.2)$$

可见,在二进制系统中,信息速率和码元速率是相等的,即

$$R_B \text{ 越 } R_{信息} \cdot \text{进制} \quad (1.1.3)$$

比较两个通信系统的有效性时,有的情况下单看信息传输速率是不够的,因为两个传输速率相同的系统可能具有不同的频带宽度,这时带宽窄的系统有效性显然应该高一些。所以,衡量有效性更全面的指标应是系统的频带利用率 η ,系统的频带利用率 η 定义为:系统单位时间内在单位频带上传输的信息量,它的单位为比特/秒/赫兹(比特/秒/赫兹)。若某系统在带宽为(赫兹)的频带内传输的信息速率为(比特/秒),则此时该系统的频带利用率为:

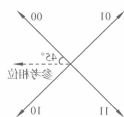
$$\eta \text{ 越 } \frac{R_{信息}}{B} \quad (1.1.4)$$

系统的频带利用率越高,则系统的有效性就越好。

二、可靠性指标的具体表述

可靠性是关于消息传输质量的指标,它衡量了收、发信息之间的相似程度,可靠性的高低反映了系统抗干扰能力的强弱。

在模拟通信系统中,可靠性通常用系统的输出信噪比来衡量。系统的信噪比定义为信号的功率与信道噪声功率的比值。通常在接收端恢复的信号与发送端发送的原始信号是有差别的,这种差别主要受两方面的影响:





(员) 信号在传输过程中叠加的噪声,即加性干扰。

(圆) 由于信道传输特性的不理想导致的影响,即乘性干扰。

加性干扰无论信号的有无始终存在,而乘性干扰却只有在有信号时才存在。由于加性干扰不可克服,一般在噪声分析过程中,主要考虑加性噪声的影响。这种影响造成的误差可以用输出信噪比来衡量,输出信噪比越高,通信质量越好。输出信噪比除了与信号功率和噪声功率的大小有关外,还与信号的调制方式有关,所以改变系统的调制方式,也可以改善系统的可靠性。

衡量数字通信系统可靠性的指标,可用信号在传输过程中出错的概率来表述,即用差错率来衡量。差错率越大,表明系统可靠性愈差。差错率通常用误码率和误比特率两种方法表示。

误码率是指发生差错的码元数在传输总码元数中所占的比例,更确切地说,误码率就是码元在传输系统中被传错的概率。用表达式可表示成

$$P_c = \frac{\text{传错的码元个数}}{\text{传输的总码元个数}} \quad (1.1.1)$$

误比特率是指错误接收的信息量在信息传输总量中所占的比例,它表示传输每比特信息时被错误接收的概率。用表达式可表示成

$$P_b = \frac{\text{传错的比特数}}{\text{传输的总比特数}} \quad (1.1.2)$$

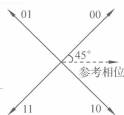
通信系统的有效性和可靠性,是一对矛盾。一般情况下,要增加系统的有效性,就要降低可靠性,反之亦然。在实际中,常常依据实际系统的要求采取相对统一的办法,即在满足一定可靠性指标下,尽量提高消息的传输速率,即有效性;或者,在维持一定有效性的条件下,尽可能提高系统的可靠性。

本章小结

信号是信息的一种电磁表示方法,根据信号的因变量是否连续,可以将信号分为模拟信号和数字信号两类。借助电信号(含光信号)实现从一地到另一地进行消息的有效传递称为通信。传输信息的多少可直观地使用“信息量”进行衡量。消息中所含信息量与消息出现的概率有关。

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。按照信道中所传信号的形式不同,通信系统可进一步分为模拟通信系统和数字通信系统。与模拟通信相比,数字通信具有抗干扰能力强、易加密、便于计算机处理等优点,成为现代通信的主流。

通信系统的主要性能指标包括信息传输的有效性和可靠性两方面,在模拟通信系统中,有效性一般用系统的有效传输频带来表示;可靠性通常用系统的输出信噪比来衡量。在数字通信系统中,一般用信息的传输速率来衡量系统的有效性,用信号在传输过程中的差错率来衡量系统的可靠性。通信系统的有效性和可靠性,是一对矛盾。一般情况下,要增加系统的有效性,就要降低可靠性,反之亦然。





思考题

1. 什么是通信？常见的通信方式有哪些？

2. 通信系统是如何分类的？

3. 何谓数字通信？数字通信的优缺点是什么？

4. 试画出模拟通信系统的模型，并简要说明各部分的作用。

5. 试画出数字通信系统的一般模型，并简要说明各部分的作用。

6. 衡量通信系统的主要性能指标是什么？对于数字通信具体用什么来表述？

7. 何谓码元速率？何谓信息速率？它们之间的关系如何？

习题

1. 设英文字母 A 出现的概率为 $\frac{1}{26}$ ，字母 B 出现的概率为 $\frac{1}{26}$ ，试求 A 和 B 的信息量各为多少？

2. 某信源的符号集由 $\{a, b, c, d, e, f\}$ 组成，设每个符号独立出现，其概率分别为 $\frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}$ ，试求该信息源输出符号的平均信息量。

3. 设一数字传输系统传送二进制信号，码元速率 $R_B = 1200$ Baud，试求该系统的信息速率 R_B ？若该系统改为传送十六进制信号，码元速率不变，则此时的系统信息速率为多少？

4. 已知某数字传输系统传送八进制信号，信息速率为 $R_B = 4800$ Baud，试问码元速率为多少？

5. 已知某系统的码元速率为 $R_B = 1200$ Baud，接收端在 $t = 1$ s 内共收到 $N = 1000$ 个错误码元，试求系统的误码率 P_B 。

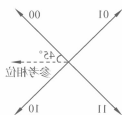
6. 已知某四进制数字信号传输系统的信息速率为 $R_B = 4800$ Baud，接收端在 $t = 1$ s 内共收到 $N = 1000$ 个错误码元，试计算该系统 P_B 。

7. 在强干扰环境下，某电台在 $t = 1$ s 内共接收到正确信息量为 $I = 1000$ bit，假定系统信息速率为 $R_B = 4800$ Baud。

(1) 试问系统误信率 P_B 。

(2) 若具体指出系统所传数字信号为四进制信号， P_B 值是否改变？为什么？

(3) 若假定信号为四进制信号，系统传输速率改为 $R_B = 1200$ Baud， $t = 1$ s 内共接收到正确信息量为 $I = 1000$ bit，则 P_B 值为多少？





实训

实训 用 74LS138 可编程器件设计各种数字信号

一、实训目的

1. 熟悉 74LS138 可编程器件的功能、管脚说明、芯片的使用与编程方法。
2. 熟练操作计算机下载接口的使用。

二、实训内容

用 74LS138 可编程器件进行开发编程。

编程输出：

1. 正弦波

2. 三角波

3. 锯齿波

4. 正弦波方波

5. 三角波

6. 锯齿波

7. 正弦波

8. 正弦波方波

9. 三角波方波

10. 三角波伪随机序列码

11. 锯齿波伪随机序列码

三、实训设计要求

1. 要求编写输出波形要求没有毛刺和抖动，波形稳定性好。

2. 晶振时钟采用 10MHz 从 74LS138 的 14 脚输入。

3. 编程有两种方法：一种是采用语言编程法；另一种是采用数字逻辑电路编程转换法，任选一种即可。计算机下载接口的使用。

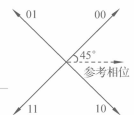
四、实训报告要求

1. 设计报告内容，列出元器件清单。

2. 画出上述输出的各种方波信号、不同码元速率的伪随机序列码的波形图。

3. 记录并分析实训结果。

4. 实训的心得与建议。



第二章 模拟调制系统

本章要点

- 常规双边带调幅(AM)、抑制载波的双边带调幅(DSB)、单边带调制(SSB)和残留边带调制(VSB)的基本原理。
- 调频信号及其解调原理。
- 频分复用(FDM)原理。

第一节 模拟调制的功能及分类

模拟信号由于从消息变换过来的原始信号具有频率较低的频谱分量,不宜直接在信道中传输。因此在通信系统的发送端通常需要进行调制,而在接收端进行相应的解调。调制是指按原始电信号的变化规律去改变载波某些参量的过程。通常调制可分为模拟调制和数字调制两种方式。以模拟信号为调制信号,对连续的正余弦载波进行调制,使载波的参数(幅度或角度)随着调制信号的作用而变化,这种调制方式称为模拟调制。数字调制将在第四章进行介绍。

调制在通信过程中具有十分重要的作用,不仅能将调制信号的频谱搬移到所希望的位置上,转换为适合于信道传输的已调信号,而且对系统传输的有效性和可靠性有着很大的影响。调制方式往往决定了通信系统的性能。

本章将介绍常规双边带调幅(AM)、抑制载波的双边带调幅(DSB)、单边带调制(SSB)、残留边带调制(VSB)、调频(FM)和调相(PM)等几种方式的调制解调过程,并讨论它们的抗噪声性能。

