

通信系统

内容提要

随着人们对通信需求的不断提高,计算机网络通信、3G 移动通信、光纤通信、微波通信、卫星通信等各种现代通信技术在不断地更新。特别是进入 21 世纪以后,信息成为重要的资源,现代信息科技成果不断问世,通信技术的应用越来越广泛,因此,了解和掌握通信原理是非常重要的。

本章首先介绍通信的基本概念、通信系统的组成和分类、通信方式,然后介绍信息及其度量方式,最后介绍通信系统的性能指标。读者通过对本章的学习能够对通信系统有一个系统的了解。

学习目标与重点

- ◆ 了解通信的概念;
- ◆ 掌握模拟通信系统和数字通信系统的组成;
- ◆ 了解通信方式的分类;
- ◆ 掌握信息量、信息熵的概念和计算方法;
- ◆ 掌握通信系统的性能指标。

关键术语

通信,通信系统,信息,信息量,信息熵,有效性,可靠性

【背景导入 1-1】

Morse 电报与 Bell 电话

虽然早在 19 世纪初就有人开始研制电报,但实用电磁电报的发明主要归功于英国科学家库克、惠斯通和美国科学家莫尔斯。1836 年,库克制成电磁电报机,并于次年申请了首个电报专利。惠斯通则是库克的合作者。莫尔斯原本是美国的一流画家,出于兴趣,在 1835 年研制出电磁电报机的样机,后又根据电流通、断时出现电火花和没有电火花两种信号,于 1838 年发明了由点、画组成的“莫尔斯电码”。1858 年 7 月《Scientific American》杂志报道:……众所周知,英国人一向宣称,电磁式电报(magnetic telegraph)是由他们的同胞惠斯通教授发明的。而在大西洋彼岸,电报公司的成立,则让更多的欧洲人开始讨论,谁才是电报的真正发明者。法国巴黎的《通报》(Moniteur)认为,莫尔斯虽不是电报原理的创立者,却是第一个将该原理应用于实践的人。

电话发明前，电报已经发明了，但电报有很大的局限性，它只能传达简单的信息，而且要译码，很不方便。于是，年轻的贝尔开始琢磨，怎样才能找到一种能直接传播声音的装置，让人们可直接通话交谈呢？一次，当他正在欣赏留声机播放的音乐时，突然联想到，这留声机不正是一种电声转换装置吗！于是，贝尔开始仔细地研究留声机的构造与原理，后来终于发现，声波振动所具有的力可以作用在一簧片上，这簧片将声波转换成电流，再结合电极的装置，这样就形成了电话机的最初结构。但试验下来发现，这一装置并不能传播声音，原因在于空气中的声波能量太弱，不能推动簧片振动，怎么办呢？这时，贝尔就想到了人的耳朵。为了弄清人耳听到声音的原理，他从一个朋友那里借来了一个完整的人耳标本进行仔细研究，从而了解到：人耳之所以能听到声音首先是声波使小而薄的鼓膜振动，然后鼓膜再推动比较大的耳朵听骨振动从而产生听觉。于是，他与他的助手一起动手做了两台粗糙的样机，进行通话试验，结果尽管他们拼命呼叫，簧片也振动了，但就是听不到声音。一天，在紧张的工作之余，贝尔推开窗户想呼吸一下新鲜空气。此时，一阵悠扬的吉他声从远处传来，令人心旷神怡。他听着听着，情不自禁地跳了起来。因为他由吉他想到了助音箱。他知道，这吉他声之所以能传得很远，单凭琴弦的振动是不行的，还得借助音箱的作用，同样，也可以借助音箱来提高电话机的灵敏度。于是，贝尔立即动手设计助音箱草图，又与助手一起连夜赶制了一台有助音箱的电话机。第二天，他们两人在相隔百米的两间房子里进行新的试验。一切准备就绪，这时，贝尔往电池里加入硫酸时，一不小心一些硫酸溅到了他的腿上，痛得他直叫喊：“化特生先生，你快来呀！”这声音竟通过电话线传到了华特生那边。就这样，世界上第一台电话机诞生了，而它所传递的第一句话竟是一句呼救声！

资料来源：<http://zhidao.baidu.com/question/265010398.html>

1.1 通信的基本概念

随着高频电子通信技术和计算机技术的不断结合和发展，通信已经能够克服空间和时间的限制，实现大量的、长距离的信息传输、交换。

实现通信的手段包括非电的和电类的，早在电信号应用于信息传输之前，追溯到我国古代，人们就利用烽火台传递信息，这是利用光进行通信；再比如“飞鸽传书”，是在人类创造了语言和文字后，用书信进行通信。当然这种古代的非电类的传输方式使得通信传递的信息量十分有限，为了在尽可能短的时间内传输更多的信息，人们在不断尝试着各种新技术。

电类的通信包括电报、电话、广播、电视、遥控、遥测、互联网和计算机通信等，由于电通信的种种优点，近百年来得到迅速的发展。现代通信方式主要借助电信号和光信号实现信息的有效传递和交换，因此应称为电信（telecommunication）或光信（opt-communication），因为光也是一种电磁波，所以光通信也属于电通信，简称通信。

通信（communication）就是从一地向另一地进行信息的传输与交换。通信系统就是实现通信的系统。

信息 (information) 是消息中有意义的部分。消息是信源产生的, 是信息的载体, 是信息的物理表现, 例如, 语音、文字、图形和图像等都是消息 (message)。消息又必须在转换成电信号后才能在通信系统中传输。信号是消息传输的手段, 是消息的物质载体。

【知识链接 1-1】

通信发明史

- 1837 年, 莫尔斯发明有线电报;
- 1876 年, 贝尔发明有线电话;
- 1918 年, 调幅无线电广播、超外差接收机问世;
- 1936 年, 商业电视广播开播;
- 1937 年, 瑞维斯发明脉冲编码调制, 标志数字通信的开始;
- 20 世纪 60 年代, 出现了电缆电视、激光通信、雷达、计算机网络和数字技术, 光电处理和射电天文学迅速发展;
- 1962 年, 开始实用卫星时代;
- 20 世纪 70 年代, 大规模集成电路、商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信、微处理机等迅猛发展;
- 20 世纪 90 年代, 卫星通信、移动通信、光纤通信广泛应用, 综合业务数字网崛起;
- 2012 年 5 月我国北斗卫星系统实现在轨卫星 12 颗, 已经初步具备区域导航、定位和授时能力。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般组成模型

通信是信息的传输与交换。完成信息传输与交换过程的所有设备和传输媒介组成了通信系统, 包括信息源、发送设备、信道、噪声源、接收设备、受信者。各组成部分的作用如下所述。

信息源 (简称信源): 把各种消息转换成原始电信号, 如麦克风。原始电信号通常具有较低的频谱分量, 所以也称之为基带信号。信源可分为模拟信源和数字信源。

发送设备: 将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。在需要频谱搬移的场合, 调制是最常见的变换方式。对于数字通信系统来说, 编码是发送设备的另一个组成部分。编码分为信源编码和信道编码: 信源编码是将连续的模拟信号变换为数字信号, 并设法降低码元速率以提高通信的有效性; 信道编码则是通过差错控制编码来实现差错控制, 以提高传输的可靠性。

信道: 信号传输的通道, 是将来自发送设备的信号传送到接收端的物理媒质, 分为有线信道和无线信道两大类。

噪声源: 集中表示分布于通信系统中各处的噪声。

接收设备: 从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。

收信者（信宿）：把原始电信号还原成相应的消息，如扬声器等。

图 1-1 所示的模型是对各种通信系统的简化和概括，它反映通信系统的共性。通信原理的讨论是围绕着通信系统的模型展开的。

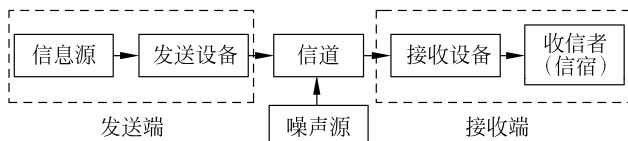


图 1-1 通信系统的一般模型

【知识链接 1-2】

关于模型

将研究的问题抽象成模型再研究是科学研究的一般方法。模型是多样的，不仅有数学模型，还有关系模型，比如程序设计流程图、通信系统方框图、仿真模型、计算机程序所表示的模型等。

在“物理”课程中，研究物体的运动速度是先将物体抽象成一个质点，然后再建立数学模型。在“电路”课程中，正弦电压源信号是一种基本的数学模型。

对于通信信号与系统的研究，采用的是精确严谨的数学模型。

根据所传输的信号是模拟信号还是数字信号，通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统，如图 1-2 所示，后面篇幅会展开讲解。

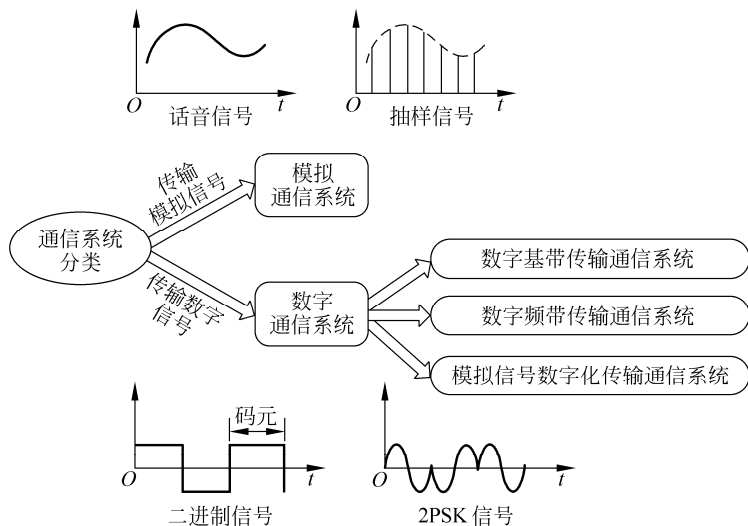


图 1-2 通信系统模型分类图

1.2.2 模拟通信系统模型

模拟通信系统指的是传输模拟信号的通信系统。对于模拟通信系统，图 1-1 可以简化为图 1-3。

在模拟通信系统中，发送设备简化为调制器，接收设备简化为解调器，以强调调制在

模拟通信系统中的重要作用。调制在通信系统中主要用来变换信号，以适合信道的传输。而接收设备则简化为解调器，用来恢复基带信号。

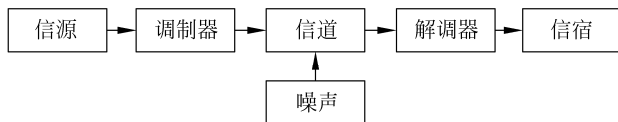


图 1-3 模拟通信系统模型

模拟通信系统的两种重要变换是调制和解调。调制是把基带信号加载到高频载波上的过程。信源输出的模拟电信号（基带信号）具有频率较低的频谱分量，一般不能直接作为传输信号而发射到信道中。经过调制，基带信号转换为已调信号，可以在信道中传输。接收端把已调信号还原成原基带信号的过程称为解调。

【知识链接 1-3】

调制解调变换中的信号

基带信号（低通信号、调制信号）：由消息变换过来的原始信号，其特点是频谱由零频附近开始延伸到某个通常小于几兆赫的有限值（频谱较低），同时含有丰富的信息量。

载波信号：在传输过程中起到载体的作用，特点是通常是高频信号，同时不含有信息量。载波可以是连续变化的正弦波，也可以是脉冲序列。

已调信号：经过调制器到解调器之间的信号。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；三是具有较高频率成分。模拟信道中传输的就是已调信号。

信号传输的过程中并非只有调制、解调这两种变换，通常在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，变换对信号起决定性作用，它是通信过程中的重要方面。

【通信实例 1-1】

中波广播电台

模拟通信系统的一个例子是中波广播电台（见图 1-4），如发射频率为 1450kHz。

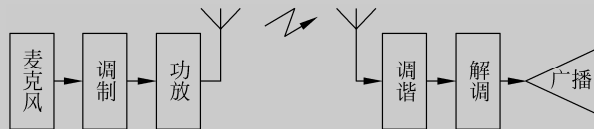


图 1-4 模拟通信系统（广播电台）

在此模拟通信系统中，麦克风将语音转换为音频信号，经过调制把 0.3~3.4kHz 的低频音频信号加载到 1450kHz 高频载波上，变成已调信号，经过各级功率放大器以一定功率从天线发射出去。

接收端从天线耦合接收来的高频已调信号已经混叠信道中的噪声，因此需要经过谐振选频网络进行选频，尽可能地滤除带外噪声。此相对纯净的已调信号经过解调，取出原 0.3~3.4kHz 的低频音频信号，然后通过低频功放、喇叭等设备就可以收听语音了。

1.2.3 数字通信系统模型

信道中传输数字信号的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。

在模拟通信中强调变换的线性特性，即已调信号参量代表消息的基带信号参量之间的比例特性，而数字通信中，则强调消息和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问题：

(1) 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信道编码器，而在接收端相应需要一个信道译码器。

(2) 当需要实现保密通信时，可对数字基带信号进行“扰乱”（加密），此时在接收端就必须进行相应的解密。

(3) 由于数字通信传输是一个接一个按一定节拍传送的数字信号，因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍，即系统的“同步”问题。

数字通信系统可进一步细分为数字基带传输通信系统、数字频带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统，下面分别加以说明。

1. 数字基带传输通信系统（对应本书第 5 章）

在数字通信系统中，把发送端没有数字调制器、接收端没有解调器的通信系统称为数字基带传输通信系统，如图 1-5 所示。图中波形变换器包括编码器、加密器等，接收滤波器亦包括译码器、解密器等。

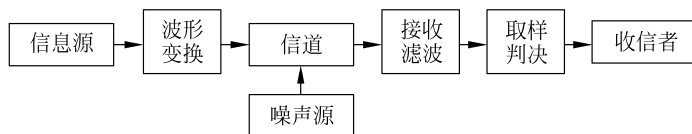


图 1-5 数字基带传输通信系统

2. 数字频带传输通信系统（对应本书第 6 章）

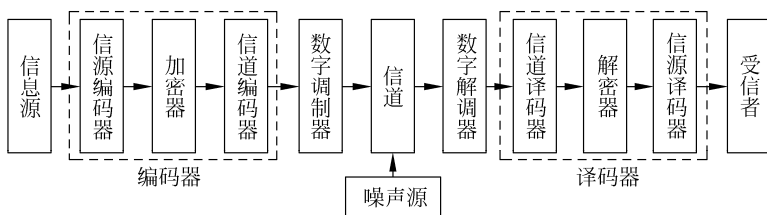


图 1-6 数字频带传输通信系统

数字频带传输通信系统（数字调制系统）如图 1-6 所示，图中各模块的功能如下所述。

信源编码器与信源译码器：提高信息传输的有效性，完成模/数转换。

信道编码器与信源译码器：增强信号的抗干扰能力。

加密器与解密器：保证所传信息的安全。

数字调制器与解调器：形成适合在信道中传输的带通信号。

同步：使收发两端的信号在时间上保持步调一致。同步可分为载波同步、位同步、群

同步和网同步等。图 1-6 中，同步环节没有示意，这是因为它的位置往往不是固定的，在此主要强调信号流程所经过的部分。

图中调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节，在通信系统中是否全部采用，要取决于具体设计条件和要求。

同一系统中，如果发送端有调制/加密/编码，则接收端必须有解调/解密/译码。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

【通信实例 1-2】 频移键控系统（FSK）

数字频带传输通信系统的一个例子是频移键控系统（FSK），如图 1-7 所示。

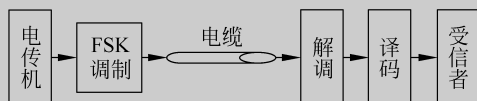


图 1-7 频移键控系统（FSK）

3. 模拟信号数字化传输通信系统

上面论述的数字通信系统中，信源输出的信号均为数字基带信号，实际上，在日常生活中大部分信号（比如语音信号、图像信号）为连续变化的模拟信号。那么要实现模拟信号在数字系统中的传输，则必须在发送端将模拟信号数字化，即 A/D 转换；在接收端需进行相反的操作，即 D/A 转换。实现模拟信号数字化传输的系统如图 1-8 所示。

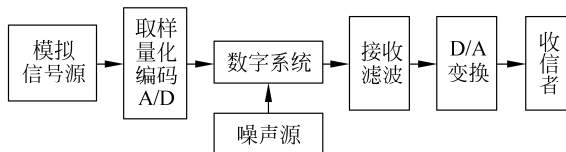


图 1-8 模拟信号数字化传输

【对比分析 1-1】 数字通信系统与模拟通信系统

数字通信的优点：

(1) 抗干扰能力强。在数字通信系统中，传输的信号是数字信号。以二进制为例，信号的取值只有两个，这样发送端传输的和接收端需要接收、判决的电平也只有两个值，如“1”码时取值为 A，“0”码时取值 0。传输过程中受信道噪声的影响波形失真。在接收端恢复信号时，首先对其进行抽样判决，才能确定是“1”码还是“0”码，并再生“1”、“0”码的波形。因此只要不影响判决的正确性，即使波形有失真也不会影响再生后的信号波形。

而在模拟通信中，如果模拟信号叠加上噪声后，即使噪声很小，也很难消除它。数字通信抗噪声性能好，还表现在微波中继通信时，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（信道编码）技术来控制。

(3) 易加密。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，许多设备终端接口的输入、输出均使用数字信号，因此极易与数字通信系统相连接。正因为如此，数字通信才得以高速发展。

数字通信的缺点：

(1) 频带利用率不高。数字通信中，数字信号占用的频带宽。以电话为例，一路数字电话一般要占据 20~60kHz 的带宽，而一路模拟电话仅占用约 4kHz 带宽。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好几倍。

(2) 需要严格的同步系统。数字通信中，要准确地恢复信号，必须要求接收端和发送端保持严格同步，因此，数字通信系统及设备一般都比较复杂，体积较大。

克服数字通信不足的办法：

虽然单路数字信号占用的频带宽，而使系统的频带利用率低，但它可通过增大系统传输带宽来补偿。在微波通信中，频带资源较富裕，故可通过提高系统工作频率加大系统频带宽度，提高频带利用率。

数字通信因要求有严格的同步系统，故设备复杂、体积较大。随着数字集成技术的发展，各种大规模集成器件的体积不断减小，加上数字压缩技术的不断完善，数字通信设备的体积将会越来越小。因此，数字通信的两个缺点也越来越显得不重要了。

阶段思考

1-1 以无线广播和电视为例，说明图 1-1 所示模型中信息源、收信者及信道包含的具体内容。

1-2 信源编码和信道编码有什么区别？

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

从不同的角度，通信系统可有不同的分类方法，下面分别介绍这些分类。

(1) 按照业务类型分

按照通信系统业务类型的不同，可以分为语音通信和非语音通信（常见的为数据通信）。电话通信是语音通信最典型的例子；互联网是非语音通信的典型代表。

(2) 按照传输方式分

按照传输方式的不同，分为基带传输系统和频带传输系统。基带传输系统用于传输基带信号，如市话系统、计算机局域网等。已调信号是一种频带信号，频带传输系统用于传输调制以后的信号，如广播系统、卫星通信系统等。

(3) 按照信号类型分

按照信号类型的不同，分为模拟通信系统和数字通信系统。模拟通信系统用于传输模拟信号，如无线电广播系统。数字通信系统用于传输数字信号，如计算机网络等。

(4) 按照信道类型分

按照信道类型的不同，信道分为有线信道和无线信道，因此，通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统。电话网、有线电视网等是有线通信系统。电视广播系统、卫星通信系统等是无线通信系统。

(5) 按照复用方式分

按照不同的复用方式分类，可分为频分复用通信系统、时分复用通信系统、波分复用通信系统、码分复用通信系统等。

(6) 按照多址方式分

按照不同的多址方式分类，可分为频分多址通信系统、时分多址通信系统、码分多址通信系统等。

1.3.2 通信方式

信号在信道中传输，可采用多种方式，包括串行和并行传输；单工、半双工和全双工传输；同步和异步传输。下面分别介绍这些传输方式。

1. 串行传输和并行传输

(1) 串行传输

串行传输指数据一位接一位地在一条信道上传输。收发双方要保持位同步和字符同步。收发双方只需要一条传输通道。串行传输实现容易，在通信系统中是一种常用传输方式。

(2) 并行传输

并行传输指一个字符的所有比特同时传送，每一位单独使用一条通道。

显然，在相同发送时钟控制的情况下，并行数据速率高于串行数据速率，但并行信道成本高，所以，远距离通信串行传输方式更具有明显的优势，表 1-1 对其进行了对比说明。

表 1-1 串行传输和并行传输举例

方式	串序（串行）	并序传输（并行）
说明	一条通道	多条导线传输
实例	COM、RS-232（计算机）	打印机口（计算机）

2. 异步传输和同步传输

在传送数字信号时，接收端必须有与数据同频率的时钟来指挥逐位读取数据。这种在接收端使数据比特与时钟在频率和相位上保持一致的机制称为同步。常用的两种同步方法有字符同步和位同步，也叫异步传输和同步传输。

(1) 异步传输

异步传输也称为起止式传输，每次只传送一个字符，用起始位和停止位来指示被传输字符的开始和结束。

(2) 同步传输

同步传输不是以一个字符而是以一个数据块为单位进行传输。如面向字符型和面向比特型的帧结构。

3. 单工、半双工与全双工传输

按照信号传输方向和时间关系分为单工、半双工与全双工传输，如图 1-9 所示。

(1) 单工传输：信号只能在一个方向传输。

(2) 半双工传输：信号可以在两个方向上传输，但不能同时传输，必须是交替进行。一个时间只能允许向一个方向传送。

(3) 全双工传输：信号可以同时两个方向上传输。信道是一种双向信道。

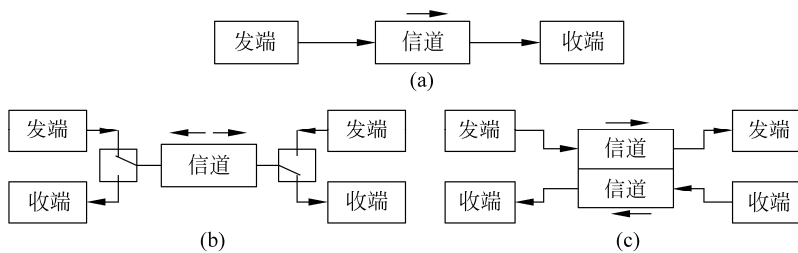


图 1-9 传输方向分类
(a) 单工；(b) 半双工；(c) 全双工

单工、半双工与全双工的通信传输应用如表 1-2 所列。

表 1-2 单工、半双工与全双工传输举例

方式	单工	半双工	全双工通信
实例	BP、广播、电视	对讲机	电话、手机

1.4 信息及其度量

1.4.1 信息与信息量的概念

前文已经介绍过，信息是消息中包含的有意义的内容，是消息的不确定性的度量，是消息的统计特性的定量描述。