

# 第1章 序 论

## 内容提要

通信技术，特别是数字通信技术近年来发展非常迅速，它的应用越来越广泛。本章主要介绍通信的基本概念及其发展简史，通信的频段划分，现代通信的发展方向等。这些基本概念是学习和理解现代通信原理与技术的基础。

## 1.1 通信的概念及其发展简史

从远古时代到现在高度文明发达的信息社会，人类的各种活动都与通信密切相关。特别是进入信息时代以来，随着通信技术、计算机技术和控制技术的不断发展与相互融合，极大地扩展了通信的功能，使得人们可以随时随地通过各种通信手段获取和交换各种各样的信息。通信渗入到社会生产和生活的各个领域，通信产品随处可见。通信已经成为现代文明的标志之一，对人们日常生活和社会活动的影响越来越大。

### 1.1.1 通信的定义

一般地说，通信（Communication）是指不在同一地点的双方或多方之间进行迅速有效的信息传递。我国古代的烽火传警、击鼓作战、鸣金收兵以及古希腊用火炬位置表示字母等，就是人类最早的利用光或声音进行通信的实例，当然，这些原始通信方式在传输距离的远近以及速度的快慢等方面都不能和今天的通信相提并论。

在各种各样的通信方式中，利用电磁波或光波来传递各种消息的通信方法就是通常所说的电信（Telecommunication）。由于电信具有信息传递迅速、准确、可靠而且几乎不受时间和空间距离限制等特点，电信技术得到了飞速发展和广泛应用。现在所说的“通信”在通常意义上都是指“电信”，本书也是如此。因此，我们不妨在这里对现代通信的概念进行重新定义：利用光或电技术手段，借助光波或电磁波，实现从一地到另一地迅速而准确的信息传递和交换。

通信从本质上讲就是实现信息传递的一门科学技术。随着社会的发展，人们对信息的需求量日益增加，要求通信传递的信息内容已从单一的语音或文字转换为集声音、文字、数据、图像等多种信息融合在一起的多媒体信息，对传递速度的要求也越来越高。当今的通信网不仅能有效地传递信息，还可以存储、处理、采集及显示信息，实现了可视图文、电子信箱、可视电话、会议电视等多种信息业务功能。通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

### 1.1.2 通信的方式

信号在信道中的传输方式从不同的角度考虑，可以有许多种。按照信息在信道中的传输

方向，可以把通信方式分为单工通信、半双工通信和全双工通信；按照通信双方传输信息的路数，通信方式又可分为串行通信和并行通信；按照信息在信道中传输的控制方式，通信方式可分为同步传输和异步传输；根据信源、信宿之间不同线路连接与信号的交互方式，通信又可以分为点到点的通信、点到多点通信以及多点到多点的通信；按照信息在通信网中的传递方式，可以将信息传输方式分为两点间直通传输、分支传输和交换传输等，不一而足。下面就这些传输方式进行简单介绍。

## 1. 单工传输、半双工传输和全双工传输

如果通信仅在两点之间进行，根据信号的传输方向与时间的关系，信号的传输方式可分为单工传输、半双工传输和全双工传输三类。

(1) 单工传输。信号只能单方向传送，在任何时候都不能进行反向传输的通信方式叫做单工传输，如图 1.1 (a) 所示。广播、电视系统就是典型的单工传输系统，收音机、电视机都只能接收信号，而不能向电台、电视台发送信号。

(2) 半双工传输。半双工传输方式中，信号可以在两个方向上传输，但时间上不能重叠，即通信双方不能同时既发送信号又接收信号而只能交替进行。即同一时间内一方不允许向两个方向传送，即只能有一个发送方，一个接收方，如对讲机。这种方式使用的是双向信道，如图 1.1 (b) 所示。

(3) 全双工传输。全双工传输方式中，信号可以同时两个方向上传输，如图 1.1 (c) 所示。这种方案使用的也是双向信道，这种通信方式使用最多。

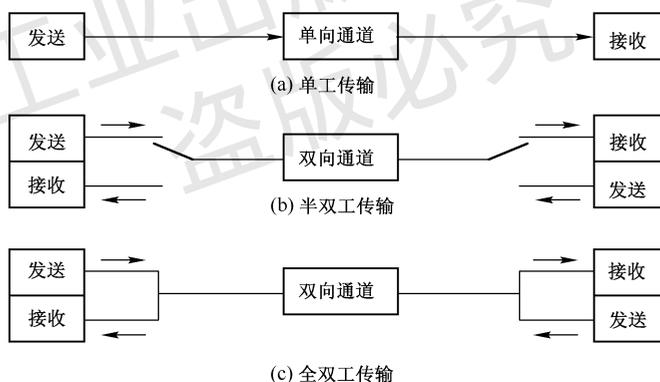


图 1.1 单工、半双工、全双工传输

## 2. 串行传输和并行传输

按照数字信息数据码元在信道中传递时是一个码元一个码元地依次传送还是一次同时并列地一起传几个码元，可将信号的传输方式分为串行传输和并行传输两类。

(1) 串行传输。在串行传输中，数据流的各个码元是一位接一位地在一条信道上传输的，如图 1.2 (a) 所示。对采用这种通信方式的系统而言，同步极为重要，收发双方必须要保持位同步和字同步，才能在接收端正确恢复原始信息。串行传输中，收发双方只需要一条传输通道。因此，该传输方式实现容易，也是实际系统中比较常用的一种传输方式。

(2) 并行传输。并行传输中，构成一个编码的所有码元都是同时传送的，码组中的每一

位都单独使用一条通道，如图 1.2 (b) 所示。并行传输通常用于现场通信或计算机与外设之间的数据传输。

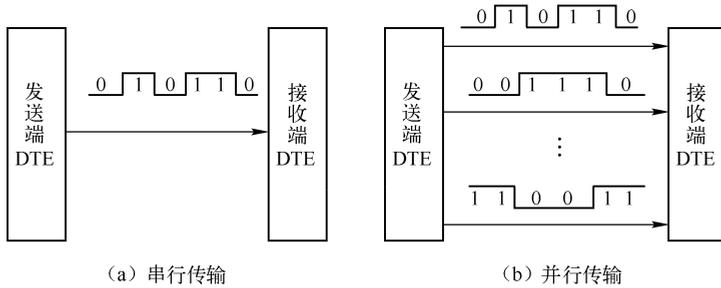


图 1.2 串行传输和并行传输

并行传输一次传送一个字符，收发之间不存在字同步问题。由于并行信道成本高，主要用于设备内部或近距离传输，长距离传输时一般多采用串行信道。所以串行传输存在着并/串、串/并变换问题，即发送端要将输入的字符通过并/串变换，形成一连串的单字符才能进入串行信道；接收端再通过串/并变换，将收到的串行码元还原成原来的并行字符结构后输出。显然，并行传输的速率高于串行传输。

### 3. 同步传输和异步传输

按照信息传输过程中，收、发两端采取的不同同步原理，可将信号的传输方式分为异步传输和同步传输两类。

(1) 异步传输。异步传输也称起止式传输，它是利用起止法来达到收发同步的。异步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。

在异步传输中，字符的传输由起始位（如逻辑电平 1）引导，表示一个新字符的开始，占一位码元时间。在每个传送的信息码之后加一个停止位（如逻辑电平 0），表示一个字符的结束，通常取停止位的宽度为 1、1.5 或 2 位码元宽度，可根据不同的需要选择。这样，接收端在收到下一个字符的起始位前，线路一直处于逻辑 0 状态，接收方就可根据特定宽度的逻辑电平从 0 到 1 的跳变来识别一个新字符的开始，如图 1.3 所示。

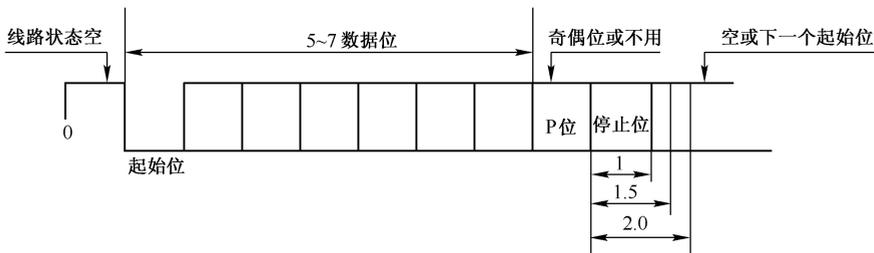


图 1.3 异步传输

异步传输方式中每个字符的发送都是独立和随机的，以不均匀的速率发送，所以这种方式被称为异步传输。该传输方法简单，但每传输一个信码都要增加 2~3 位的附加位，故传输效率较低。例如，传输一个 ASCII 码字符，每个 ASCII 码有 7 位，若停止位用 2 位，再加

上 1 位奇偶校验位和 1 位起始位，共计 11 位。11 位传输码中只有 7 位是有用信息，其传输效率只有 64%。

(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信息传输的。为了使接收方能准确地确定每个数据块的开始和结束，需在数据块的前面加上一个前文 (Preamble)，表示传输数据块的开始；在数据块的后面再加上一个后文 (Postamble)，表示数据块的结束，通常把这种加有前文和后文的一个数据块称为一帧 (Frame)。前文和后文的具体格式视传输控制规程而定。图 1.4 画出了面向字符型和面向比特型的帧结构。面向字符型的方案中，每个数据块以一个或多个同步字符 SYN 作为开始，后文是一确定的控制字符，如图 1.4 (a) 所示。面向比特型的方案中，若采用高级数据链路控制 (HDLC) 规程，则前文和后文都采用标志字段 01111110，以区分一帧的开始和结束。



图 1.4 同步传输

在同步传输方式中，数据的传输是由定时信号控制的。定时信号可由终端设备产生，也可由通信设备（如调制解调器、多路复用器等）提供。在接收端，通常由通信设备从接收信号中提取定时信号。

在实际通信过程中，常将同步传输称为同步通信，异步传输称为异步通信。显然，同步通信的效率要比异步通信的效率，因此同步通信方式更适用于高速数据传输的场合。

#### 4. 两点间直通传输、分支传输和交换传输

按照信息在通信网中的传递方式，可以将信息传输方式分为两点间直通传输、分支传输和交换传输三种，如图 1.5 所示。两点间直通传输方式是通信网中最简单的一种形式，终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的，可以直接进行信息交流。在分支传输方式中，它的每一个终端（如 A、B、C、…、N 等）经过同一个信道与转接站相互连接，各终端之间不能直通信息，而必须经过转接站转接，此种方式只在数字通信系统中出现。交换传输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通信方式，既可以把要求通信的两个终端之间的线路（自动）接通，也可以通过程序控制，先把发来的消息储存起来，然后再转发至收方。这种消息转发可以是实时的，也可是延时的。

分支传输方式及交换传输方式均属于网络通信的范畴。和两点间直通传输方式相比，这两种网络通信方式既存在信息控制问题，也有网络同步的问题。尽管如此，网络通信的基础仍是点到点的通信，因此，本书主要讲述点到点的通信方式。

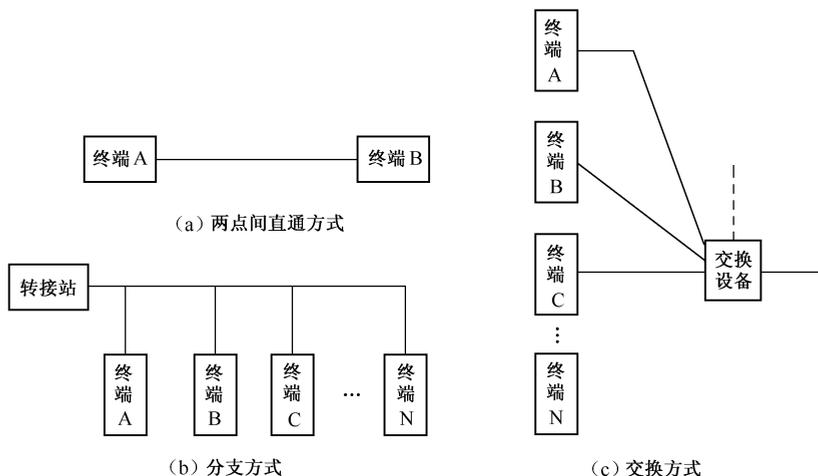


图 1.5 按网络形式划分的通信方式

### 1.1.3 通信发展史

人类自存在以来，为了生存从未停止过劳动和斗争，而这一过程是必须进行思想交流和信息传递的。所以说，有人类就有通信。最初人类利用表情和动作进行信息交换，这就是最原始的通信。在漫长的生活和劳动进化中，人类创造了语言和文字，进而用它们进行消息的传递，并一直沿用至今。

在电信号出现之前，人们还创造了许多种消息传递的方式，如古代的烽火台、击鼓、旌旗，航行用的信号灯等。所有这些都无法在较远的两地之间及时而准确地完成消息的传递。

从 1800 年伏打 (Volta) 发明电源以来，人们就开始努力试图利用电来进行通信了。

1837 年，莫尔斯 (Morse) 发明有线电报。这种电报通信通过导线中电流的有无来区别传号和空号，并利用传号和空号的长短进行电报符号的编码，这给远距离的消息传递揭开了崭新的一页。

1876 年，贝尔 (A. G. Bell) 利用电磁感应原理发明了电话机，直接利用导线上电流的强弱来传送语音信号，使通信技术的发展又进了一步。这种有线通信方式一直保留到现在，但这种系统的线路建设和维修花费很大，而且在有些环境情况下是难以实现的。

1864 年，麦克斯韦 (Maxwell) 预言了电磁波辐射的存在，1887 年，赫兹 (Hertz) 通过实验加以证实，为现代的无线电通信提供了理论根据。由于无线电波可以在空气中传播，避免了有线系统昂贵的线路建设投资，极大地推动了通信技术的发展。

20 世纪初，出现了用消息的电信号去控制高频正弦信号振幅的调制方式，这就是最早的幅度调制 AM。它的产生大大扩展了通信的内容，由原来单一的语音传送变为语音、音乐、图像等多种信号的传送，使点对点通信发展到对面对面通信（如广播、电视等），促进了人类社会文化交流和宣传教育的发展，对人类的生活具有深刻的影响。

1936 年，频率调制 FM 技术出现了。FM 信号克服了 AM 信号在传送过程中容易受到干扰而失真的缺点，不仅改善了通信的质量，还推动了移动通信的发展。AM 制和 FM 制的应用，标志着 20 世纪 30 年代是世界上模拟通信的鼎盛时期。

从 1928 年奈奎斯特 (Nyquist) 定理被提出到 1937 年瑞维斯 (A. H. Reeves) 发明 PCM

(脉冲编码调制) 通信, 通信技术由频分复用 (FDM) 发展到时分复用 (TDM), 开始由模拟通信向数字通信发展。但由于器件限制, 当时未能实现这一系统。直到 1948 年晶体管出现后, 贝尔实验室才于 1950 年试制出第一台实用 PCM 设备。通过 PCM 技术, 使模拟信号被数字化传送, 进一步提高了抗干扰能力。

数字通信不仅优化了通信质量, 还实现了人与机器、机器与机器之间的通信和数据交换, 为现代通信网的产生和发展奠定了基础。

随着通信容量的增加和通信范围的扩大, 1955 年皮尔斯 (Pierce) 提出了卫星通信的设想。1960 年, 人类历史上第一颗通信卫星 (TELSTAR) 发射成功, 为国际通信开辟了通道。这一技术的发展与大规模集成电路 (LSI) 的出现有着密切的关系。集成电路的出现, 使通信设备小型化, 可靠性提高, 对空间通信有极大的促进作用。

20 世纪 60 年代, 出现了有线电视、激光通信、雷达、计算机网络和数字技术, 光电处理技术和射电天文学飞速发展。

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、微处理机迅猛发展。

20 世纪 80 年代, 超大规模集成电路、移动通信、光纤通信得到广泛应用, 综合业务数字网迅速崛起。

1990 年以后, 卫星通信、移动通信和光纤通信进一步飞速发展, 高清晰彩色数字电视技术不断成熟, 全球定位系统 (GPS) 得到广泛应用。

当今社会是信息社会, 人们要求通信系统能够更加迅速、有效、准确、可靠地传递信息, 充分利用社会的现有财富, 更好地发挥各种资源的效用。一个完整的、综合性的信息交换网已经形成并正在日趋完善。

20 世纪 40~50 年代, 出现了通信理论的发展高峰, 现代通信中的主要理论如过滤和预测理论、香农公式和不失真编码原理、纠错编码原理、信号和噪声理论、调制的原理以及信号检测理论等都诞生于这一时期, 它们使通信的有效性和可靠性研究出现了质的突破, 使通信由一门新兴的实用技术跃变而成为一门成熟的学科, 并且还在不断地朝着更高更新的目标进步。

## 1.2 通信系统的基本概念

### 1.2.1 信息、信号及分类

消息由信源产生, 它具有与信源相应的特征及属性, 常见的消息有语音、文字、数据和图像消息等。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、图像通信系统等。信息是抽象的消息, 一般是用数据来表示的。表示信息的数据通常都要经过适当的变换和处理, 变成适合在信道上传输的信号 (电或光信号) 才可以传输。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的物理参量——如电压、电流、光波强度或频率等来携带信息, 即信号是信息的载体。

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。根据信号的因变量的取值是否连续, 可以分为模拟信号和数字信号。模拟信号就是因变量完全连续地随信息的变化而变化的信号, 其自变量可以是连续的, 也可以是离散

的，但因变量一定是连续的。电视图像信号、语音信号、温度压力传感器的输出信号以及许多遥感遥测信号等都是模拟信号；脉冲幅度调制信号（PAM）、脉冲相位调制信号（PPM）以及脉冲宽度调制信号（PWM）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（如电压或电流）取值随时间而发生连续的变化，如图 1.6 (a) 所示。正是由于这个原因，模拟信号通常也被称为连续信号。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多个取值。如图 1.6 (a) 中所示的信号电压，在 1~1.2V 之间就可以取 1.1V, 1.11V, 1.111V 等无限多个数量值。

数字信号是指信号的因变量和自变量取值都是离散的信号。由于因变量离散取值，其状态数量即强度的取值个数必然有限，故通常又把数字信号称为离散信号，如图 1.6 中 (b)、(c) 所示。其中，图 1.6 (b) 所示为二进制数字信号，即该信号只有 0、1 两种可能的取值，图 1.6 (c) 所示为四进制数字信号，即该信号共有 0、1、2、3 四种可能取值。计算机以及数字电话等系统中传输和处理的都是数字信号。

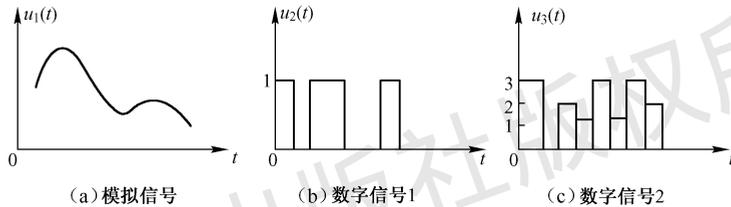


图 1.6 模拟信号、数字信号示例

由于模拟信号与数字信号物理特性不同，它们对信号传输通路的要求及其各自的信号传输处理过程也各不相同，但二者之间并非不可逾越，在一定条件下它们也可以相互转化。模拟信号可以通过抽样、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、平滑变为模拟信号输出。

## 1.2.2 通信系统的构成

### 1. 通信系统模型

尽管通信系统种类繁多、形式各异，但其实质都是完成从一地到另一地的信息传递或交换。因此，可以把通信系统概括为一个统一的模型，如图 1.7 所示。

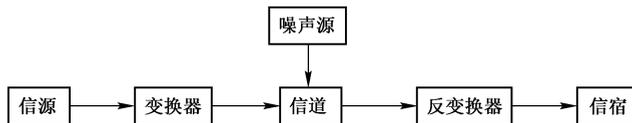


图 1.7 通信系统的基本模型

从图 1.7 中看到，一个通信系统最少应包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源六个部分。

(1) 信源和信宿。信源是信息的发出者，信宿是信息传送的终点，也就是信息接收者。

在两个人通信的情况下，信源是发出信息的人，信宿则是接收信息的人；收听广播时，收音机是信源，听收音机的人是信宿；反之，在收音机接收信号的过程中，信源是电台，而收音机却变成了信宿。

在双工通信中，信源同时也是信宿；而在半双工通信中，信源也是信宿，但通信中的同一方是不同时地充当信源和信宿的。

(2) 变换器。把信源发出的消息变换成适合在信道上传输的信号的设备就是变换器。电话通信系统中，送话器就是最简单的变换器，它把语音信号变换成电信号传送出去。在很多通信系统中为了更有效、可靠地传递信息，其变换处理装置更复杂但功能更完善。

(3) 信道。信道是所有信号传输媒介的总称，通常分有线和无线信道两种。双绞线、电缆、同轴电缆和光纤等就属于有线信道，而传输电磁信号的自由空间则是无线信道。

(4) 反变换器。反变换器具有与变换器相反的逆变换功能。变换器把不同形式的消息变换处理成适合在信道上传输的信号，但这些信号形式一般情况下是不能被信息接收者直接接收的，故接收端必须通过反变换器，把从信道上接收的信号还原成原来的消息形式。

(5) 噪声源。噪声源并不是一个人为实现的实体，但它在实际通信系统中是客观存在的。虽然噪声可以由消息的初始产生环境、构成变换器的电子设备、传输信道以及各种接收设备等信号传输所经过环节中的一个或几个中产生，为分析方便起见，在模型中把噪声集中由一个噪声源表示，从信道中以叠加的方式引入。

既然信号可以分为模拟信号和数字信号，相应的通信系统也可分为模拟通信系统和数字通信系统。

## 2. 模拟通信系统

信源发出的消息经变换器变换处理后，送往信道上传输的是模拟信号的通信系统就称为模拟通信系统，或者说，模拟通信系统传送和处理的都是模拟信号。如图 1.8 所示是根据早期模拟电话通信系统结构画出的模拟通信系统模型。图中的送话器和受话器相当于变换器和反变换器，分别完成语音/电信号和电信号/语音的转换，使通话双方的语音信号得以以电信号的形式传送，不再受到距离的约束和限制。

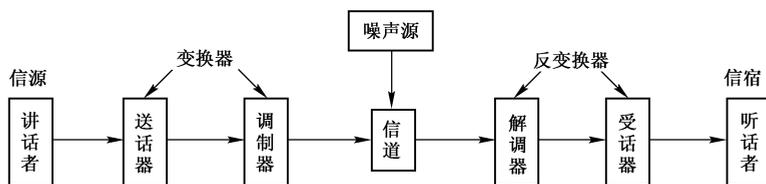


图 1.8 模拟通信系统模型

由于模拟信号的频谱较窄，模拟通信系统的信道利用率较高。但因为连续信号中混入噪声后很难清除，使得输出的还原信号产生波形失真，系统抗干扰能力差，且不易实现保密通信。

## 3. 数字通信系统

信源发出的信息经变换处理后，送往信道上传输的是数字信号的通信系统就是数字通信

系统，即传送和处理数字信号的系统就是数字通信系统，如图 1.9 所示就是根据数字电话传输系统的结构画出的数字通信系统模型。在发送端，声/电变换设备将语音变换为模拟电信号，再由模/数变换设备将该模拟电信号转换成二进制数字信号，经编码、加密后送至信道传输。在接收端，该数字信号经解码、解密及数/模变换和电/声变换，最后还原成声音信号送给听话者。

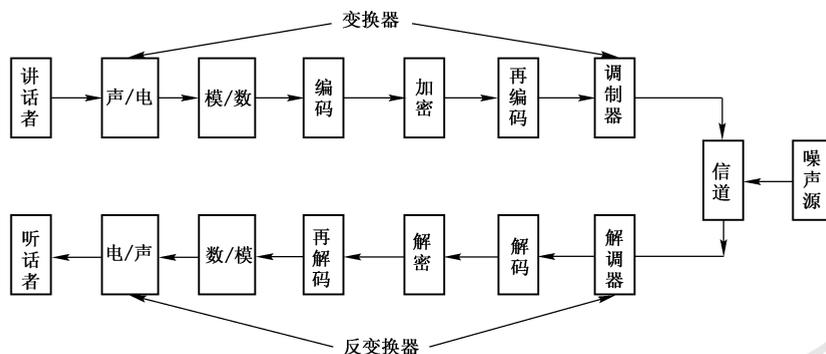


图 1.9 数字通信系统模型

和模拟通信系统相比，数字通信主要具有如下优点：

(1) 抗干扰能力强，数字信号可以通过中继再生消除噪声积累，理论上其传输距离可以无限远。

(2) 可以通过差错控制编码，在接收端发现甚至纠正错误，提高了通信的可靠性。

(3) 数字信号传输一般采用二进制，故可以使用计算机进行信号处理，实现复杂系统的远距离控制，如由雷达、数字通信设备、计算机及导弹系统组成的自动化空防系统。

(4) 由于数字信号易于加密处理，所以数字通信保密性强。

(5) 数字通信系统易于集成化，体积小、重量轻、可靠性高。

但是，数字通信最突出的缺点就是占用频带宽，如一路模拟电话信号占用 4kHz 带宽，而一路数字电话信号却要占用 20 ~ 64kHz 的带宽。当然，随着高频率、短波长通信技术的不断发展和完善，带宽问题已基本得到缓解和解决。

### 1.2.3 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，它涉及到系统的各个方面，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、准确地传输信息，通信系统的指标主要应从信息传输的有效性和可靠性两方面来考虑。

#### 1. 有效性

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相互矛盾，但可以彼此互换。

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

输同样的信息，所需要的频带宽度和系统的性能都是不一样的。调频（FM）信号的频带宽度高于调幅（AM）信号，但它的抗噪声性能却优于 AM 信号。采用多路复用技术可以提高系统的有效性，显然，信道复用程度越高，则信号传输所用的频带越窄，系统的有效性就越好。

在数字通信系统中，一般用信息传输速率来衡量有效性。传输速率有码元速率和信息速率之分。码元速率（ $R_B$ ）又称传码率，是指系统每秒传送的码元个数，而不管码元是何进制，单位为“波特”（Baud），简称为“B”。信息速率（ $R_b$ ）又称比特率，指系统每秒传送的信息量，单位为比特/秒，常用符号 b/s 表示。

注意，虽然码元速率和信息速率都表示系统传输信息的速度，但二者的概念是不同的，使用时不可混淆。不过，它们之间在数值上可以换算。设信息速率为  $R_b$ ， $N$  进制码的码元速率为  $R_{BN}$ ，则二者之间的关系为：

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

或者

$$R_{BN} = R_b / \log_2 N \quad (\text{B}) \quad (1-2)$$

若四进制码的码元速率为 1200B，则它的信息速率为 2400b/s。

在二进制码的传输过程中，如果信源发送 0、1 的概率相等，则其码元速率和信息速率在数值上也相等，只是单位不同。

$$R_b = R_{B2} \quad (1-3)$$

即这时每个二进制码元含 1bit 的信息量（详见第 6 章）。

比较两个通信系统的有效性时，有的情况下单看传输速率是不够的，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更高一些。所以，衡量有效性更全面的指标应是系统的频带利用率  $\eta$ ，即系统在单位时间、单位频带上传输的信息量，它的单位是比特/秒/赫兹（bit/s/Hz 即 bit/(s·Hz)）。二进制基带系统中，最大的频带利用率为  $\eta = 2\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ ，多进制基带系统中的最大频带利用率大于  $2\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。

在频带调制系统中，不同调制方式的频带利用率可能不同。二进制调幅系统的频带利用率仅为  $0.5\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ ，而多进制调幅或调相系统的频带利用率却可以达到  $6\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。总而言之，单位频带利用率越高，则系统的有效性就越好。

## 2. 可靠性

可靠性是关于消息传输质量的指标，它衡量收、发信息之间的相似程度，取决于系统的抗干扰能力。

在模拟通信中，可靠性通常用系统的输出信噪比来衡量。通常，接收端恢复的信号与发送端发送的原始信号是有差别的，这种差别受两个方面的影响：

- (1) 信号传输时叠加噪声，即产生加性干扰。
- (2) 信道传输特性不理想导致的影响，即形成乘性干扰。

加性干扰无论信号的有无始终存在，而乘性干扰却只有当信号存在时才存在。由于加性干扰不可克服，一般在噪声分析过程中，主要考虑加性干扰的影响。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，通信的质量就越好。输出信噪比除了与信号功率和噪声功率的大小有关以外，还与信号的调制方式有关，所以改变调制方式，也可以改善系

统的可靠性。

数字通信系统的可靠性用差错率，即误比特率和误码率来衡量。误码率 ( $P_e$ ) 是指错误接收的码元个数在传输的码元总数中所占的比例。更确切地说，误码率是指码元在传输过程中被错误接收的概率，即

$$P_e = \frac{\text{传错码元的个数}}{\text{传输的码元总数}} \quad (1-4)$$

误比特率 ( $P_b$ ) 是指错误接收信息的比特数在传输信息的总比特数中所占的比例，它表示传输每 1 比特信息被错误接收的概率，即

$$P_b = \frac{\text{传错的比特数}}{\text{传输的总比特数}} \quad (1-5)$$

有效性和可靠性是相互矛盾的，提高有效性就会降低可靠性，反之亦然。因此，在设计、调试一个系统时，必须要兼顾二者，合理解决，根据实际情况，在首先满足其中一项指标的前提下，尽量提高另一项指标。

### 1.3 通信的频段划分

为了最大限度地有效利用频率资源，避免或减小通信设备的相互干扰，根据各类通信采用的技术手段、发展趋势及其社会需求量，划分规定出各类通信设备的工作频率而不允许逾越。按照各类通信使用的波长或频率，大致可将通信分为长波通信、中波通信、短波通信和微波通信等。为了使读者能够对各种通信过程中所使用的频段形成一个比较全面的印象，如表 1.1 所示列出了各类通信使用的频段及其说明，以供参考。

表 1.1 通信使用的频段及主要用途

频段名称	频率范围 ( $f$ )	波段名称	波长 ( $\lambda$ )	常用传输媒介	用途
甚低频 (VLF)	3Hz ~ 30kHz	超长波	$10^8 \sim 10^4$ m	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
低频 (LF)	30 ~ 300kHz	长波	$10^4 \sim 10^3$ m	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
中频 (MF)	0.3 ~ 3MHz	中波	$10^3 \sim 10^2$ m	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
高频 (HF)	3 ~ 30MHz	短波	100 ~ 10m	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
甚高频 (VHF)	30 ~ 300MHz	米波	10 ~ 1m	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
特高频 (UHF)	0.3 ~ 3GHz	分米波	100 ~ 10cm	波导 分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
超高频 (SHF)	3 ~ 30GHz	厘米波	10 ~ 1cm	波导 厘米波无线电	雷达、微波接力、卫星和空间通信
极高频 (EHF)	30 ~ 300GHz	毫米波	10 ~ 1mm	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
紫外、红外可见光	$10^5 \sim 10^7$ GHz	光波	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	光纤 (有线) 激光空间通信 (无线)	光通信

其中,工作频率 $f$ 和工作波长 $\lambda$ 可按式(1-6)进行互换, $c$ 为电波在自由空间中的传播速度,通常取 $c=3\times 10^8\text{m/s}$ 。

$$\lambda = c/f \quad (1-6)$$

## 1.4 现代通信的发展方向

随着社会信息化程度的深入,信息交流已经成为人们随时随地的需要,而实现信息传递和交流的通信已经由单一的通信设备、技术、体制发展演变为一个集光纤通信、移动通信、卫星通信和微波中继通信等多种通信手段于一身、具有多种业务功能的复杂的综合通信网,满足人们更高的通信需求。

下面从几个现代通信技术发展的热点领域来介绍现代通信的发展。

### 1. 光纤通信

由于光载波的频率约100THz,远远高于微波载波频率(1~10GHz),使得光纤通信系统的信息容量增加约100倍,每芯光纤的通话路数高达百万。据计算,人类有史以来积累的所有知识,在一条单模光纤里,用3~5分钟即可传输完毕。

这种巨大的带宽潜力,再加上光纤通信传输损耗小、中继距离长、抗电磁干扰能力强、保密性好、体积小、重量轻等优点,推动了光纤通信系统在全球的开发与应用。

自1977年世界上第一个光纤通信系统在芝加哥投入运行以来,光纤通信的发展速度极快,截至1995年,全球铺设光缆总长度达1100万千米。

进入21世纪,光纤通信以高速光传输技术、宽带光接入技术、节点光交换技术、智能光联网技术为核心,重点开发全光通信、光孤子通信、密集波分复用、宽带副载波光通信、光量子通信等技术。

### 2. 移动通信

在微电子技术和计算机技术的推动下,移动通信得到了迅猛的发展,从最初简单的无线对讲和广播方式发展成为把有线、无线融为一体,固定、移动互连互通的遍及全球的通信系统。目前正是移动通信技术发展最为活跃的时期,而且这种势头还将至少保持10年。

移动通信利用多种新技术,尤其是超大规模的集成电路工艺、技术的发展,通过固定接入、移动蜂窝接入和无线本地环路接入等多种接入设备接入核心网,实现了无线宽带接入,使无线传输速率从第二代系统(2G)的9.6Kb/s提高到第三代的不小于2Mb/s,乃至第四代的100Mb/s,充分支持各种多媒体无线数据业务,如手机支付、视频通话等,进一步促进了移动业务与IP业务的融合。

总之,未来的移动通信就是在更高的频段上实现更高的频率利用率,以宽带化、分组化、智能化、综合化和个人化为趋势,向数字化、微型化和标准化发展。

### 3. 卫星通信

卫星通信是在空间技术和微波通信技术的基础上发展起来的一种通信方式,它利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电信号,可实现两个或多个地球站之间的通信。

通信卫星可分为非同步（含低轨道 LEO、中轨道 MEO）和同步（同步轨道 GEO）两类。以低轨道卫星为基础的系统，具有时延短、路径损耗小、能有效地频率复用、卫星互为备份、抗毁能力强等特点，多星组网可实现真正意义上的全球覆盖，如典型的“铱”系统、“全球星”系统。以静止轨道卫星为基础的系统，使用卫星少，可实现昼夜通信，监控卫星系统简单。这些系统正在逐步产业化、商业化和国防化。

从 1964 年 4 月美国成立了一个国际商用卫星通信组织起，卫星通信由于其通信距离远、覆盖面积广、不受地理条件限制且可以大容量传输等优点，使用遍及全球，通信容量极大增加。随着小天线地球站——VSAT 卫星通信系统和 GPS 全球定位系统等技术发展成熟，现在，几乎绝大部分国际活动都通过卫星进行实况转播，使全球各国人们及时同步地了解国际事件，增进了人们的相互沟通和理解，缩短了人们的空间距离。

我国自 20 世纪 70 年代就开始使用卫星通信完成国际通信业务，并从 1985 年开始利用卫星进行国内通信。目前，我国已有多颗同步通信卫星与地球上近 200 个国家和地区开通了国际卫星通信业务。

#### 4. 量子通信

量子通信是指利用量子纠缠效应进行信息传递的一种新型的通信方式，是近二十年发展起来的新型交叉学科，是量子论和信息论相结合的新的研究领域。量子通信主要涉及：量子密码通信、量子远程传态和量子密集编码等几个方面。

2016 年 8 月 16 日，中国成功发射了世界第一颗量子科学实验卫星“墨子号”，用于探索卫星平台量子通信的可行性。该卫星由中国科学技术大学和中国科学院上海技术物理研究所共同研制，卫星上装备了量子密钥通信机、量子纠缠发射机、量子纠缠源等载荷设备，是世界上第一个太空中的量子通信终端。

以中华文明的物理学创始人墨翟（墨子）命名，“墨子号”量子科学实验卫星将开创人类量子通信卫星的先河，在实现一系列量子通信科学实验目标的同时，还尝试通过地面站与地面光纤量子通信网络的链接，为未来覆盖全球的天地一体化量子通信网络建立技术基础。量子通信作为未来通信安全的关键技术，必将会被大规模商用，为信息社会的发展提供更为可靠的安全保障。

## 习 题 1

### 一、填空题

1.1 通信（Communication）是指不在（ ）地点的（ ）或（ ）之间进行迅速有效的信息传递。

1.2 串行传输的数据码元是一位接一位地在（ ）条信道上传输的。对采用这种通信方式的系统而言，同步极为重要，收发双方必须要保持（ ）同步和（ ）同步，才能在接收端正确恢复原始信息。

1.3 在并行传输中，构成一个编码的所有码元都是同时传送的。由于一次传送一个字符，并行传输的收发之间不存在（ ）同步问题，但可能存在（ ）变换和（ ）变换问题。显然，并行传输的速率高于串行传输。由于并行信道成本高，主要用于（ ）或（ ）传输，（ ）传输时一般多采

用串行信道。

1.4 同步传输不是以一个字符而是以一个数据块为单位进行信息传输的。为使接收方能准确确定每个数据块的 ( ) 和 ( )，需要给数据块分别加上一个前文和后文。通常把这种加有前文和后文的一个数据块称为 ( )。前文和后文的具体格式根据 ( ) 而定。

1.5 模拟信号就是 ( ) 完全连续地随信息的变化而变化的信号，其自变量可以是 ( ) 或 ( ) 的，但 ( ) 一定是连续的。

1.6 模拟通信系统的有效性一般用系统 ( ) 来表示。采用不同调制方式传输同样的信息，所需要的频带宽度和系统的性能都是 ( ) 的。

1.7 数字通信的主要优点是 ( )、( ) 和 ( )，主要质量指标是 ( ) 和 ( )，它们在数字通信系统中具体为 ( ) 和 ( )。

1.8 衡量通信系统主要指标是有效性和可靠性，前者主要是消息传输的 ( )，后者指消息传输的 ( )。当数字基带信号的传码率上升时，误码率会变 ( )。

## 二、单选题

1.9 在传统方式下，广播、电视系统是典型的 ( ) 传输系统；当某广播或电视频道节目采用听众/观众互动方式进行时，该广播、电视系统又成为 ( ) 传输系统。因此，综合而言，广播、电视系统是典型的 ( ) 传输系统。

- A. 单工                      B. 半双工                      C. 双工                      D. 不确定

1.10 异步传输方法简单，但每传输一个信码都要增加 2~3 位的附加位，故传输效率较低。如传输一个汉字字符，每个汉字码有 16 位，若停止位用 2 位，再加上 1 位奇偶校验位和 1 位起始位，其传输效率只有 ( )。

- A. 50%                      B. 60%                      C. 70%                      D. 80%

1.11 信道是所有信号传输媒介的总称，通常分有线信道和 ( ) 两种。

- A. 卫星信道                      B. 无线信道                      C. 移动信道                      D. 电磁信道

1.12 数字通信最突出的缺点就是 ( )。

- A. 码间串扰严重                      B. 占用频带宽                      C. 传输效率不高                      D. 传输速率低

1.13 衡量系统有效性最全面的指标是 ( )。

- A. 系统的频带利用率                      B. 系统的带宽                      C. 系统的响应速率                      D. 系统的传输速率

## 三、多选题

1.14 在异步传输中，字符的传输由起始位引导，表示一个新字符的开始，占 ( ) 位码元时间。每个传送的信息码之后都有停止位，表示一个字符的结束，其宽度通常为 ( ) 位码元宽度。

- A. 1                      B. 1.5                      C. 2                      D. 4

1.15 信号是信息的一种电磁表示方法，它利用某种可以被感知的物理参量，如 ( ) 等来携带信息。

- A. 电压                      B. 电流                      C. 光波强度                      D. 频率

1.16 数字信号是信号的 ( ) 取值都是离散的信号，其状态数量即强度的取值个数必然有限。计算机以及数字电话等系统中传输和处理的都是数字信号。

- A. 电流                      B. 电压幅度                      C. 因变量                      D. 自变量

1.17 和模拟通信系统相比，数字通信系统主要具有 ( ) 等优点。

- A. 抗干扰力强                      B. 传输可靠性高  
C. 通信保密性强                      D. 易于集成，体积小、重量轻

1.18 通信系统的指标主要应从信息传输的 ( ) 方面来考虑的。

- A. 经济性                      B. 有效性                      C. 可靠性                      D. 电磁污染

1.19 在二进制基带系统中,最大的频带利用率为( );多进制基带系统中的最大频带利用率可能为( )。

- A.  $1\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$               B.  $2\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$               C.  $3\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$               D.  $4\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$

1.20 模拟通信系统的输出信噪比会受到( )的影响。

- A. 信号传输时叠加的噪声                      B. 元件的非线性  
C. 信道传输特性不理想导致                      D. 转接器件的密合性

1.21 按照各类通信使用的波长或频率,大致可将通信分为( )等。

- A. 长波通信                      B. 中波通信                      C. 短波通信                      D. 微波通信

#### 四、判断题(正确的打√,错误的打×)

1.22 ( ) 通信就是利用电磁波或光波来传递各种消息的。

1.23 ( ) 根据信号传输方向与时间的关系,信号的传输方式可分为单工传输、半双工传输和全双工传输三类。

1.24 ( ) 一般情况下,并行传输的速率低于串行传输。

1.25 ( ) 在异步传输方式中,虽然每个字符的发送都是独立和随机的,但其发送速率仍然是均匀的。

1.26 ( ) 由于同步通信的效率高于异步通信,高速数据传输的场合下一般都选用同步通信方式。

1.27 ( ) 表示信息的数据通常都要经过适当的变换和处理,才能变成适合在信道上传输的信号进行传输。

1.28 ( ) 虽然噪声可以由消息的初始产生环境、构成变换器的电子设备、传输信道以及各种接收设备等所有信号传输环节中的一个或几个产生,为分析方便起见,在模型中把噪声集中由一个噪声源表示,从信道中以叠加方式引入。

1.29 ( ) 码元速率( $R_B$ )又称传码率,是指系统每秒传送的码元个数;信息速率( $R_b$ )又称比特率,指系统每秒传送的信息量。一般情况下,  $(R_B) \geq (R_b)$ 。

1.30 ( ) 无论有无信号,加性干扰始终存在,而乘性干扰却只有当信号存在时才存在。

1.31 ( ) 有效性和可靠性是相互矛盾的,提高有效性就会降低可靠性,反之亦然。