

第 1 章 概 论

随着计算机的广泛应用，特别是 Internet 的出现，人们对信息的需求和依赖越来越大，促使着数据通信的快速发展。

本章简要介绍有关数据通信的一些基本概念，包括数据通信的传输方式、主要技术指标、发展趋势以及数据通信网、计算机网的基本知识。

1.1 数据通信的概念

人们普遍认为，我们所处的时代是一个信息与网络的时代，我国目前已有的七大互联网络：中国科学技术网 (CASNet)、中国教育与科研网 (CERnet)、中国公用经济信息通信网即金桥网 (CHINAGBN)、中国公用计算机互联网 (Chinanet)(即 163 网)、中国联通网 (UNInet)、中国网通互联网 (CNCnet) 以及与其他网络物理隔离服务于军队的军网。七大网络的形成，为我国数据通信的应用和发展提供了强大而多样的网络平台。反过来，数据通信也为这些网络提供了可靠而坚实的技术基础。正因如此，这些标志着数据通信已进入了一个崭新的高速发展时期。数据通信的知识与技术已越来越普遍地受到人们关注与重视。

1.1.1 消息、信息、数据和信号

在通信中 消息、信息、数据、信号等是经常使用的名词 在某些场合 它们也相互替换 混合使用。

1. 消息 (Message)

所谓消息，是指通信过程中传输的具体原始对象，例如，电话中语音，电视中的图像画面，电报中的电文，雷达中目标的距离、高度和方位，遥测系统中测量的数据等。很显然，这些语音、图像、电文、参量、数据、符号等消息在物理特征上极不相同，各种具体消息的组成亦不可能相同。

消息通常可以分成两大类：一类是离散消息，另一类是连续消息，它们的共同特点是都具有随机性，并且都可以进行度量。

离散消息和连续消息的统计特性归纳如下：

离散消息	<ul style="list-style-type: none"> 组成离散消息的不同符号的个数是有限的 消息中各符号出现的概率可能不同,也可能相同 相邻符号的出现具有统计关联性
连续消息	<ul style="list-style-type: none"> 它是一个随机过程 在一某状态出现的概率无意义 具有统计关联性

2. 信息 (Information)

信息在意义上与消息相似，但它的含义却更抽象。通信中通常把有用的消息认为是信息，

消息可以包含信息，但消息不完全等于信息。信息在本质上看是事物的不确性的一种描述。例如，“今天中午我们去吃饭”这句话是消息，对消息的接收者来说，是经常发生的情况，可能没有什么信息。但如果是“今天中午我们吃满汉全席”，这一消息平常不可能出现，或很小，则可能就包含着较大信息。可见消息的有用程度与信息多少有关系。消息出现的概率愈小，则消息中包含的信息就愈大。

信息可以进行度量，消息中信息的多少可直观地用信息量来衡量。根据香农 (Shannon) 的理论，对于离散消息，信息量 I 可表述为

$$I = -\log_a P \quad (1-1)$$

式中 P 是离散消息发生的概率；对数的底数 a 决定着信息是 I 的单位。

$$a = \begin{cases} 2, & \text{信息量的单位为比特(bit)} \\ 10, & \text{信息量的单位为哈特莱(Hartley)} \\ e, & \text{信息量的单位为奈特(nat)} \end{cases}$$

在数据通信中，常以二进制 (1 和 0) 传输方式进行，因此，二进制的每个符号等概时所包含的信息量为

$$I = -\log_2(1/2) = 1 \text{ (bit)}$$

对于 M 进制，每个符号等概出现的消息，单一符号的信息量可表示成

$$I = -\log_2 M \text{ (bit)} \quad (1-2)$$

对于更一般情况，设消息是由一串 (m 个) 符号构成的，若各符号的出现相互独立，则一个符号的信息量为 $-\log_2 P_i, i=1, 2, \dots, m$ 。由于信息量具有相加性，则这个消息的信息量为

$$I = -\sum_{i=1}^m n_i \log_2 P_i \quad (1-3)$$

式中 n_i 为第 i 个符号出现的次数， P_i 为第 i 个符号出现的概率， m 为消息中符号的总数。

当组成消息的符号数目 N 很大很大时，第 i 个符号出现的次数 $n_i = N \cdot \frac{n_i}{N} = N \cdot P_i$ ，则它具有的信息量是 $-NP_i \log_2 P_i$ bit，这个消息所具有的信息量是所有符号信息量的和，即

$$I = -\sum_{i=1}^m NP_i \log_2 P_i = -N \cdot \sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i \quad (1-4)$$

而其中一个符号的信息量 (称为平均信息量 H) 为

$$H = \frac{1}{N} I = -\sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i \text{ (bit/符号)}$$

平均信息量有时也称为熵 (Entropy)，这是因为 H 的计算公式与热力学和统计力学中关于系统熵的公式相似的缘故。

可以证明，当消息中每个符号等概出现 ($P_1 = P_2 = \dots = P_m = P = 1/m$) 时， H 具有最大值，

$$H = -\sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m} = \log_2 m \text{ (bit/符号)} \quad (1-6)$$

在这种情况下，平均信息量等于每一个符号的信息量 I ，此时式 (1-6) 与式 (1-2) 一致。值得说明的是， H 的单位是比特/符号 (bit/符号)，而 I 的单位是比特 (bit)。

如果已知一个消息的符号个数 N 和符号的平均信息量，则消息的总信息量为

$$I = N \cdot H \quad (1-7)$$

例 1-1 已知一消息源由 A、B、C、D 四个符号组成，它们出现的概率分别为 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{3}{8}$ 和

$\frac{1}{8}$ ，且每个符号相互独立。消息源每秒输出 2400 个符号。试求 A、B、C、D 单个符号的信息量和消息源在 1 min 内的信息量。

解：各个符号的信息量 I 可用式 (1-1) 求得：

$$I_A = I_B = -\log_2(1/4) = 2 \text{ (bit)}$$

$$I_C = -\log_2(3/8) = 1.415 \text{ (bit)}$$

$$I_D = -\log_2(1/8) = 3 \text{ (bit)}$$

每个符号的平均信息量 H 可通过式 (1-5) 求得：

$$\begin{aligned} H &= -\sum_{i=1}^4 P_i \log_2 P_i \\ &= \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{3}{8} \log_2(8/3) + \frac{1}{8} \log_2 8 \\ &= 1.905625 \text{ (bit / 符号)} \end{aligned}$$

消息源每秒输出 2400 个符号 则在 1min 内共输出 60×2400 个符号 则 1min 内的信息量

$$I_x = N \cdot H \cdot 60 \times 2400 \times 1.905625 = 274410 \text{ (bit)}$$

通过例 1-1 可以看出，离散消息符号出现的概率愈小，则信息量愈大，信息量与发生的概率成反比。另外，消息总的信息量与符号的多少成正比关系。

对于连续消息信息量的计算，可用下式计算：

$$H(x) = -\int_{-\infty}^{\infty} P(x) \ln P(x) dx \quad (1-8)$$

式中 $P(x)$ 为连续消息的概率密度函数， $H(x)$ 的单位为奈特。在数据通信中，由于数据是离散消息，故对连续消息信息量的计算不予详述。

3. 数据 Data)

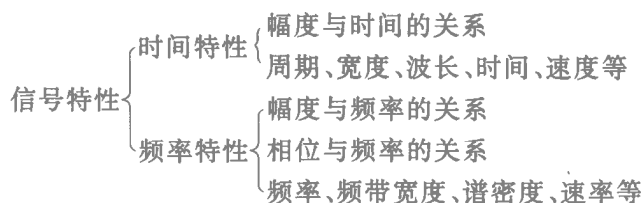
“数据”一词是人们日常工作和生活中使用频率很高的词，例如各种实验数据、测量数据、统计数据、计算机数据等。尽管人们经常遇见各种各样的数据、处理和运用数据，但数据很难严格地定义。一般可这样认为：数据是用来描述任何物体、概念、情况，且预先具有特定含义的数字、字母和符号。

在数据通信中，通常认为数据是指具有数字形式的数据，即由二进制或多进制数组成的数字序列（串）。从消息的概念来看，数据就是携带有用信息的离散消息。

4. 信号 Signal)

信号是数据的表现形式，是消息的承载者。在通信中所使用的信号，指的是电信号或光信号，即随时间变化的电压、电流或光强。信号是通信系统中传输的主体，它存在于系统的每个环节中，因此，了解信号的特性及分析方法是很有用的。信号分类和信号特性分别简要归纳如下：

信号分类 { 连续信号与离散信号(模拟信号与数字信号)
 { 确知信号与随机信号
 { 周期信号与非周期信号
 { 能量信号与功率信号



1.1.2 模拟通信、数字通信和数据通信

通信的目的是为了进行消息的传递与交换。通常把从一个地方向另一个地方进行消息的有效传递与交换称为通信 (Communication)。通信的分类形式多样,因此会出现许多概念。例如,按通信信道具体形式的不同,可分为有线通信和无线通信;按使用的频段可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信、光通信等;按具体业务与内容可分为语音通信、图像通信、数据通信、多媒体通信等;按信道中传输信号形式的不同,可分为模拟通信和数字通信。图 1-1 是一个点对点通信的模型。由图可以看出,通信系统由三部分组成:发送端、接收端和介于两者之间的信道。

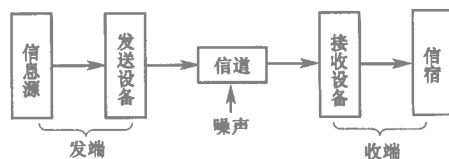


图 1-1 通信系统的模型

在图 1-1 中,信息源(简称信源)出来的信号叫基带信号。所谓基带信号,是指没有经过调制(频谱搬移)的原始电信号,其特点是信号的频率成分较低。基带信号有模拟基带信号(如电话系统中电话单机输出的信号)和数字基带信号(如计算机通信中计算机输出的信号)之分。信源出来的信号一般不能直接在信道上传输,需要由发送设备对信号进行某种变换(如调制),以适应信道的特性。在接收端,接收设备的作用正好与发送设备相反,把通过信道传过来的信号还原成基带信号。

知道了通信系统的组成,下面来说明什么是模拟通信、数字通信和数据通信,以及它们之间的区别。

通过通信系统中信源输出信号的类别与广义信道上信号的形式就可非常清楚地界定模拟通信、数字通信和数据通信。信源和信道上信号都是模拟信号时,称为模拟通信;信源是模拟信号,而信道上数字信号时,称为数字通信,显然,数字通信在发端有一个把模拟信号转换成数字信号的转换器 A/D,收端亦有相反的 D/A 转换器;如果只要信源是数字信号(数据信号),不管广义信道上信号的形式如何,都称为数据通信。为了方便理解,归纳成表 1-1。

可以看出,数据通信强调的是信源信号的形式。随着计算机的广泛应用,现代意义上的数据通信已与计算机密不可分。数据通信是人与计算机,或计算机与计算机之间的信息交换与传递的过程。现代数据通信并不是一般简单的点对点的关系,而涉及到比较复杂的网络结构、路由选择、通信协议等内容。因此,可对数据通信作如下定义:依照通信协议,利用数据传输与

① 广义信道是指不仅包括传输介质,同时也把收、发端的部分设备(功能单元)包括在内的信号通路。例如,调制信道是指从发端调制器后到收端解调器前的那部分信号通路。

交换技术，在两个功能单元之间完成数据信息的有效传递与交换。实际上，现代数据通信是计算机与数字通信相结合的一种新型通信方式和业务。

表 1-1 模拟通信、数字通信、数据通信的区分

信源信号形式	广义信道上信号形式	通信类型
模拟信号	模拟信号	模拟通信
模拟信号	数字信号	数字通信
数字信号/数据信号	数字信号	数据通信
数字信号/数据信号	模拟信号	数据通信

1.1.3 数据通信的特点

数据通信与传统的电话等通信手段相比，具有如下特点：

(1) 传统电话通信是人一人之间的通信，而数据通信是机（计算机）—机之间、人—机之间的通信。机—机间通信需要按事先约定好的规程或协议来完成，而电话通信则没有那么复杂。

(2) 电话通信的信源与信宿都是模拟的电压信号，其传输是利用现有的公用电话交换网（PSTN）。而数据通信的数据终端设备发出的数据都是离散信号（数字信号），传输时，既可以利用现有的 PSTN，又可以利用数据网络来完成。

(3) 数据通信具有差错控制能力。根据不同的可靠性要求，对数字信号可以进行差错控制编码，以达到满意的误码要求。另外，可以在数据通信的中间转换环节对信号进行抽样、判决，以消除噪声积累，而传统电话则不能。

(4) 数据通信具有灵活的接口能力，以适应各种各样的计算机与数据终端设备。

(5) 数据通信每次呼叫平均时间短，要求接续和传输响应时间快。

(6) 数据通信抗干扰能力强，因为数据信号比模拟信号的抗干扰能力要强。

(7) 数据通信容易加密，且加密技术、加密手段优于传统通信方式。

1.1.4 数据通信系统的组成

数据通信系统是通过数据电路将分布在远端的数据终端设备与中央计算机系统连接起来实现数据的传输、交换、存储和处理功能的一个系统。因此可以认为数据通信系统是由数据终端设备、数据电路、中央计算机系统三大部分组成的，如图 1-2 所示（图中未画出中央计算机）。

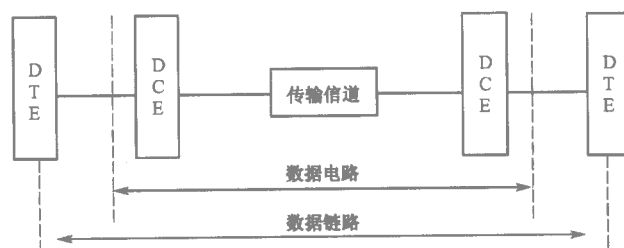


图 1-2 数据通信系统的基本组成

1. 数据终端设备 (DTE)

数据终端设备 (DTE, Data Terminal Equipment) 通常由数据输入设备 (信息源) 数据输出设备 (信宿) 和传输控制器组成。数据输入 / 输出设备是操作人员与终端之间的界面 其中输入设备有键盘、鼠标、扫描仪、传真机等 输出设备有显示器、打印机、绘图机、磁带或磁盘存储器、传真机以及各种记录仪器等；传输控制器主要执行通信网络中的通信控制，包括对数据进行差错控制、实施通信协议等。

需要说明的是，不是每一个 DTE 都包含有数据输入设备、数据输出设备和传输控制器。例如，接收数据的打印机就是一个简单的 DTE。

通常情况下，DTE 就是一台计算机，传输控制器相当于计算机内相应的控制软 / 硬件。

2. 数据电路

数据电路包括传输信道和数据电路终接设备 (DCE, Data Circuit Terminating Equipment) 它位于 DTE 和 DTE 之间 或 DTE 与中央计算机系统之间，为数据通信提供传输信道。

DCE 是 DTE 与传输信道之间的接口设备，主要功能是完成信号变换，以适应具体的传输信道要求。如果传输信道是模拟信道 (调制信道) 则 DCE 就是调制解调器 (Modem) 目前普通家庭用户通过电话线上网，就是这种类型；如果传输信道是数字信道，则 DCE 就是一个数字接口适配器，作用是对数据信号进行码型变换、电平变换、抽样、定时、信号再生等，以便能可靠、有效地传输数据信号。

3. 中央计算机系统 (CCS)

中央计算机系统 (CCS, Centre Computer System) 通过通信线路可连接多个 DTE，实现主机资源共享。CCS 主要功能是处理与管理 DTE 来的数据信息，并将结果向相应 DTE 输出。

在图 1-2 中未画出 CCS，如果考察正在通信的一个 DTE 和 CCS 时，CCS 就等同于一个 DTE。

4. 数据链路 (DL)

数据链路 (DL, Data Link) 是一个广义信道，它是指包括数据电路及其两端 DTE 中的传输控制器在内的信号通路。一般来说，在数据通信中，只有首先建立起数据链路后，才能真正完成数据传输。

1.2 数据通信网与计算机网

1.2.1 数据通信网

数据通信网 (Data Communication Network) 是数据通信系统的网络形态。图 1-2 所示的数据通信系统是网络的最简单形式。一个多用户计算机系统的远程联机数据通信，就构成网络的形态 图 1-3 所示就是一个远程联机系统。

随着时间的推移，数据通信网的概念也进一步扩展，它常常是广域计算机通信网或计算机网络的基础通信设施的代名词。例如，以太网、公用数据网、ISDN、ATM 网等 都可以称为数据通信网。从网络角度看，数据通信网的主要作用是为各种信息网络提供“通信子网”资源。

因此 数据通信网与“通信子网”在功能概念上是等价的 如图 1-4 所示。

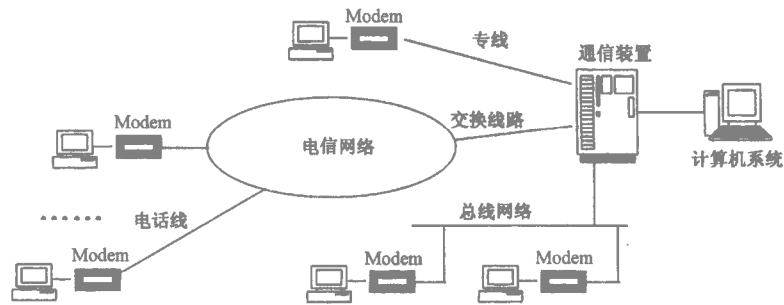


图 1-3 远程联机系统

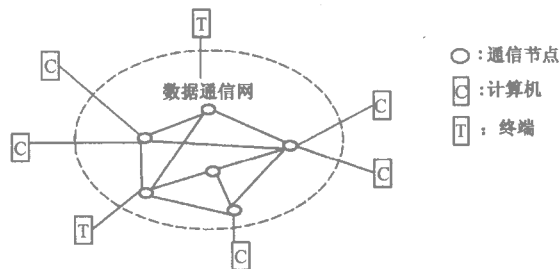


图 1-4 数据通信网

数据通信网，从硬件组成上看，是由完成数据传输、处理、交换功能的结点和链路两部分组成；从网络结构上看，是由硬件部分和软件部分组成的。

数据通信网的拓扑结构形式有五种，即总线、星状、树状、环状及网状，分别如图 1-5(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 所示。

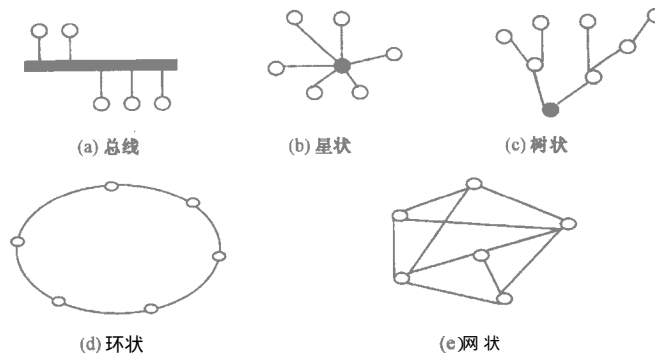
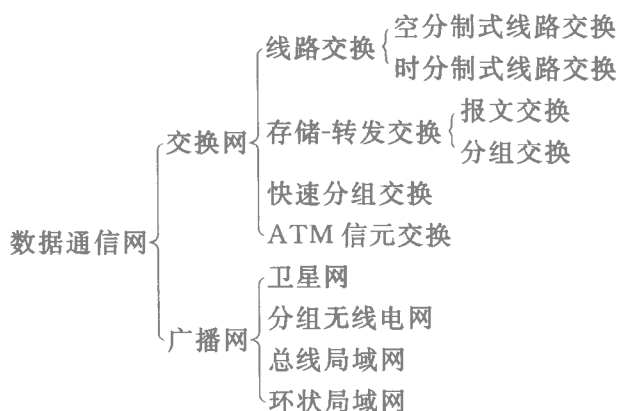


图 1-5 数据通信网的拓扑结构

数据通信网从传输技术角度考虑，可分为交换网和广播网，简单归纳如下。



交换网及其技术的详细内容将在第 4 章专门讨论。

1.2.2 计算机网

计算机网 (Computer Network) 同数据通信网一样, 也处在不断发展之中, 很难有一个权威而确切的意义, 大致有以下三种具有代表性说法:

(1) 计算机网是以能够共享资源 (硬件、软件和数据) 的方式相互连接起来, 各自又具有独立功能的计算机系统的集合体。这是从资源共享的观点来定义的。

(2) 计算机网是存在一个能为用户自动管理资源的网络操作系统, 由它来调度用户在完成其任务时所需要的资源。整个网络如同一台大型计算机系统, 其拥有的一切资源对用户都是透明的。这是从对用户透明的角度来定义的。

(3) 计算机网是计算机技术与通信技术相结合, 使多个计算机系统互连起来, 实现远程处理或进一步达到资源共享的系统。这是从广义的角度来定义的。

从以上不同定义, 可以看出计算机网有一个共同点, 就是强调计算机网络必须具备“资源共享”的能力。要实现这种能力, 除了靠网络操作系统进行自动资源管理外, 更重要的要靠计算机网的开放互连环境的支持。

1.2.3 联系与区别

随着信息技术的发展, 数据通信网与计算机网已密不可分。计算机网中必须有数据传输网络, 而数据通信网离不开计算机系统的支撑。计算机网络的目的是进行数据的传送, 这也正是数据通信网的目的。

计算机网络属于面向应用的网络, 而数据通信网属于面向通信 (传输) 的网络。例如, 以太网、公共数据网 ISDN、ATM 网及帧中继网等, 都是面向通信的网络, 它们为面向应用的网络提供通信资源的基础设施, 计算机网络正是建立在这些网络基础之上的应用型网络。

1.3 数据传输方式

在数据通信中, 数据在信道上按一定的方式 (模式) 传送。通常按数据代码传输的顺序可以分为并行传输和串行传输; 按数据传输的同步形式, 可分为同步传输和异步传输; 按数据传输的流向和时间关系, 可分为单工、半双工和全双工数据传输。下面分别加以介绍。

1.3.1 串行传输与并行传输

1. 串行传输 (Serial Transmission)

串行传输指的是组成字符的数字串（二进制代码）排成一行，一个接一个地在一条信道上进行数据传送 如图 1-6(a) 所示。

串行传输是较简单的一种传输方式，它容易实现，且成本低，在长距离连接中也比较可靠；缺点是为了解决收、发双方码组或字符的同步，需要外加同步措施，同时单位时间内每次只传送 1 个比特位，所以速度慢。

2. 并行传输 (Parallel Transmission)

并行传输是将数据以成组的方式在两条以上的并列信道上同时传输，如图 1-6(b) 所示。通常是将构成一个字符的几位二进制码同时送到几个并列的信道上传输，另外加一条控制线传送控制信号，以指示各条信道上已出现某一字符的信息，通知接收器对各条信道上的电压进行采样。

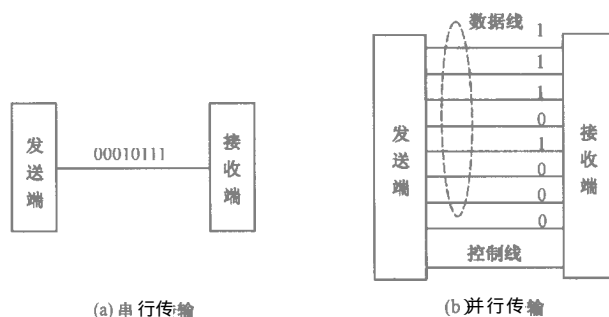


图 1-6 串行与并行传输方式

并行传输主要优点是速度快，一个单位时间可传送多个比特信息，不需要外加措施来进行收、发同步 缺点是要求有多条信道 成本高 不适合远距离传输。

串行传输是远距离数据传输常采用的一种方式，并行传输仅在短距离之间使用，如计算机与打印机之间的数据传输。

1.3.2 异步传输与同步传输

上面讲过，并行传输是通过在收、发两端之间多加一根控制线来完成数据的同步。那么在串行传输中是靠什么方式来实现收、发间的数据同步呢？下面进行简要介绍。

1. 异步传输 (Asynchronous Transmission)

异步传输方式是指收、发两端各自有相互独立的位（码元）定时时钟，数据率是收发双方约定的，收端利用数据本身来进行同步的传输方式。这种方式是一种起止式同步法，具体是在每一个字符的二进制码（8bit）的前后分别加上起始位和结束位，以表示一个字符的开始和结束。通常起始位为“0”，即一个码元宽度的零电平做起始位；结束位为一个高电平，宽度可以是 1、1.5 或 2 个码元的宽度。图 1-7 绘出了异步传输时的数据格式。在通信中常把 1 个码元宽度的倒数称为波特率。

异步传输的优点是实现简单，不需要收发之间的同步专线；缺点是传输速率不高，而且效

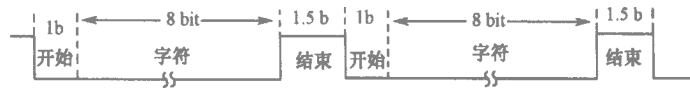


图 1-7 异步传输数据格式

率较低 效率通常为 $\frac{7}{11} \sim \frac{7}{10}$ 。

2. 同步传输 (Synchronous Transmission)

同步传输是相对于异步传输而言的，指收发双方要采用统一的时钟节拍来完成数据的传送。接收端在收到的数据流中正确地区分一个一个的码元，都必须建立在准确的码元同步基础之上。在同步传输中，数据的发送一般以帧（群）为单位，一帧包含有许多个字符，在每帧的开始或结束都必须加上预先规定好的码元序列（特殊码组）作为标记。同步传输的数据格式如图 1-8 所示。

同步传输时，每个字符不需要单独加起始位和终止位，因此效率高，但实现起来比较复杂。

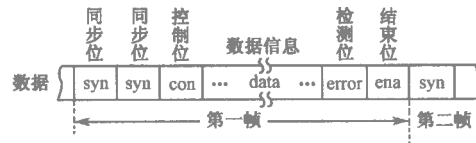


图 1-8 同步传输的数据格式

关于同步的详细内容，将在第 6 章专门讲述。

1.3.3 单工、半双工和全双工传输

在通信中，根据信号传送的方向与时间的不同，通信方式可以分为单工通信（电视、广播形式）半双工通信（对讲机）全双工通信（电话）三种方式。实际上 数据通信在传输时亦有这三种形式。

1. 单工传输方式 (Simplex Mode)

单工传输是指数据从一个终端只能发出，另一个终端或多个终端只能接收的一种工作方式。例如，计算机到显示器之间、键盘、鼠标到计算机之间都是这种方式。严格地讲，单工传输信道是一个单向信道 不可逆 即从 A 只能传送到 B 而不能从 B 送到 A。但是，在数据通信中，个别情况下，也有逆向传送速率非常低的一些起控制作用的“数据”。这种情况不是下面讲的双工情况，因为其中真正的数据一直都是从 A 到 B 传送的，而从 B 没有向 A 传真正的数据，只是用于检测或控制的信号。

2. 半双工传输方式 (Half-Duplex Mode)

半双工传输是指数据既可以从终端 A 发送到终端 B 也可以从终端 B 传向终端 A 但是不能同时进行。也就是说，要么 A 发 B 收 要么 B 发 A 收。非常清楚，半双工传输需要双向信道。例如，传真机利用电话线传送数据，就是半双工传输方式。

3. 全双工传输方式 (Full-Duplex Mode)

全双工传输是指终端 A 与终端 B 之间，它们同时可以进行数据的收发，其信道必须是双

向信道。全双工传输可以采用四线或两线传输。四线制时收发间提供了两条物理信道，一发一收，互不影响；二线制可以采用回波抵消技术，使两个方向的数据共享一个信道带宽。

单工、半双工和全双工传输方式分别如图 1-9(a)、(b)、(c) 所示。这三种方式各有优缺点，单工方式只需单向信道；半双工虽然传输效率不如全双工方式，但它线路少，系统成本低，比较实用，常用在数据量不是很大的场合。

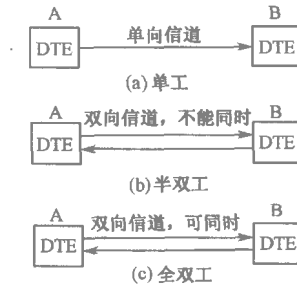


图 1-9 传输方式

1.4 数据通信系统的主要质量指标

在衡量、比较和评价数据通信系统的好坏、优劣时，必然要涉及到系统的技术性能指标问题，否则就无法衡量。技术性能指标通常是从整个系统的角度综合提出的。一般一个数据通信系统有如下技术指标。

- (1) 有效性：指系统中传输数据的“速度”问题，也就是快慢问题；
- (2) 可靠性：指传输数据的“质量”问题，即好坏问题；
- (3) 适应性：指系统使用的环境条件与要求；
- (4) 标准性：指系统中各接口、结构和协议等是否符合国际、国内标准；
- (5) 维修性：指系统是否维修方便；
- (6) 工艺性：指系统对各种工艺的要求；
- (7) 经济性：指系统的价格成本。

从数据传输的角度看，有效性和可靠性是数据通信系统最主要的两方面指标。下面介绍数据通信系统的几个主要技术指标。

1.4.1 传输速率

传输速率是系统有效性指标，表征了单位时间内传送的数据信息的多少，速率越高，说明系统有效性越好。传输速率通常有以下三种具体形式。

1. 码元传输速率 (R_b)

码元传输速率通常也叫码元速率、数码率、传码率、码率、波形速率或调制速率，一般用 R_b 表示。码元速率是指单位时间（秒）内传送码元的数目，单位为波特 Baud（常用大写符号 B 来表示），例如，某系统在 2 秒内共传送 4800 个码元，则系统的码元速率为 2400 波特。

码元速率与数据信号的进制数没有关系，只与码元的宽度 T_b 有关， R_b 与 T_b 互为倒数关系，即

$$R_B = 1/T_b \quad (1-9)$$

T_b 的单位为秒 (s) 时, R_B 单位为波特 (B)。例如, 一个数码序列的码元宽度 T_b 为 833×10^{-6} s 则码元速率为:

$$R_B = 1/T_b = \frac{1}{(833 \times 10^{-6})} \approx 1200 \text{ (B)}$$

2. 数据信息速率 (R_b)

数据信息速率也叫信息速率、传信率、比特率等。信息速率用符号 R_b 表示, 单位为比特/秒 (bit/s、b/s 或 bps)。信息速率是指单位时间 (秒) 内传送数据的信息量。信息速率与当前传送数据的进制数有关系。例如一个四进制数据源在 1s 内共送出 600 个统计独立的码元, 则该数据源的信息速率为 $R_b = 600 \times \log_2 4 = 1200 \text{ bit/s}$ 。

CCITT 建议的国际标准化数据速率 (普通电话交换网中, 同步方式发信) 为 600, 1200, 2400, 4800 和 9600 bit/s。

3. 数据传输速率

数据量除用比特、码元表示外, 还可以用字符、码组、帧等表示, 时间单位也可以是分 (min)、小时 (h) 等, 这样数据传输速率 (单位时间内的数据量) 可有多种形式及单位, 如字符/min、码组/min 等。

4. 码率 R_B 与比特率 R_b 之间的关系

在二进制数字信号中, 码元速率 R_B 与信息速率 R_b 在数值上是相等的, 但单位不同。

在一般情况下 R_b 与 R_B 是不同的, 信息速率总是大于或等于码元速率的, 它们的关系是:

$$\text{信息速率} = \text{码元速率} \times \text{码元携带的信息量}$$

对多进制 M 进制数字信号 R_b 与 R_B 关系如下:

$$R_b = R_B \cdot \log_2 M \quad (1-10)$$

4.2 差错率

差错率是衡量数据通信系统可靠性的指标, 表示在时间单位内系统传送数据时出现错误的概率。通常有以下几种表示差错率的方法。

(1) 误码率 (码元差错率):

$$P_e = \frac{\text{传输中出错的码元总数}}{\text{传输码元的总数(正确 + 错误)}} \quad (1-11)$$

(2) 误信率 (误比特率):

$$P_b = \frac{\text{出现错误的信息量(比特数)}}{\text{系统传输的总信息量(比特数)}} \quad (1-12)$$

(3) 误组率:

$$P_s = \frac{\text{出错的码组数}}{\text{系统传输的总码组数}} \quad (1-13)$$

当采用专用电话线传输数据时, CCITT 对系统极限误码率的建议值是 5×10^{-5} (当信息速率为 1200 bit/s、600 bit/s 和 200 bit/s 时)。

例 1-2 某数据系统码元传输速率为 1200 波特, 在半小时内共收到 54 bit 错误信息 则系统误信率为:

$$P_b = \frac{54}{1200 \times 30 \times 60} = 2.5 \times 10^{-5}$$

1.4.3 频带利用率 (η_B)

频带利用率是衡量数据通信系统有效性的一个指标，用来描述数据传输速率与系统传输带宽之间的关系。频带利用率表示单位频带内所能传输的信息速率（比特数），其表示式为

$$\eta_B = \frac{\text{系统传输速率}}{\text{系统频带宽度}} = \frac{R_B(R_b)}{B} \times 100\% \quad (1-14)$$

频带利用率的单位是波特/赫 (B/Hz) 或比特·秒⁻¹/赫 (bit·s⁻¹/Hz)。

在二进制基带传输系统中，最高频带利用率为 $\eta_B = 2 \text{ B/Hz}$ ，这是一种理想情况。

在某些场合，也用功率利用率来反映系统性能。功率利用率是在额定的误码率条件限定下，系统所要求的最低归一化信噪比，即每比特的信号能量与噪声的单边功率谱密度之比。

1.4.4 可靠度

可靠度是衡量系统正常工作能力的一个指标。其定义式为

$$\text{可靠度} = \frac{\text{系统正常工作时间}}{\text{系统工作总时间}} \times 100\% \quad (1-15)$$

可靠度是一个比较综合的可靠性指标，它反映了系统的整体性能。影响可靠度的因素很多，如系统及各功能单元的可靠性（无故障工作时间）、信道的质量、维护水平、操作水平等，这些都与可靠度有直接关系。

1.5 数据通信的发展

1.5.1 通信的简单回顾

广义地讲，自从有了人类，也就有了通信。通信一直伴随着人类社会的生存与发展。在生活和劳动过程中，人与人之间始终进行着消息的相互传递，只不过是通信的距离近在咫尺而已。

在 2500 年前的中国古代，诸侯列国之间战事频繁。人们通过烽火台来传递军情，当烽火台烟火升起时（“1”信号）表示敌人入侵的消息，无烟时（“0”信号），表示无敌情。这可能算是最早的数据通信形式。

真正的通信应从人们利用“电信号”传递信息时起。电信始于 19 世纪 30 年代，以 1838 年 Samuel F. B. Morse（莫尔斯）试验成功有线电报为标志。在此以前，人们开始研究磁、电现象，这一阶段（几百年）为通信理论基础准备阶段。在 19 世纪 30 年代以后的一个世纪内，高斯与韦伯、库克与惠斯登、莫尔斯发明电报机，麦克斯韦发表电磁场理论，赫兹进行的电磁辐射实验，洛奇表演无线通信，贝尔发明电话机，马可尼实现横贯大西洋间的无线通信，美国、英国首先开始进行无线电广播和播送电视节目，等等。这一阶段构成了通信初级实用阶段。1948 年香农提出了信息论，成为近代通信阶段的标志。其间电子计算机、人造卫星、通信网的形成与发展，构成了通信技术快速发展，通信种类繁多，形式多样的电信时代。从 20 世纪 80 年代以后，以光纤通信广泛应用、综合业务数字网（ISDN）、Internet 迅猛崛起为标志，人类进入了现代通信时代。

数据通信的发展大致也经历了 20 世纪 50 年代的萌芽时期，到现在的高速发展和广泛应用时期。实际上，“数据通信”一词是计算机出现后，在远程联机系统形成的时候才开始使用的。很自然，数据通信与计算机网络是密不可分的。

1.5.2 数据通信的发展趋势

数据通信的发展趋势主要有以下几个方面。

(1) 向高速化、宽带化方向发展。早期的以太网 (Ethernet) 的数据传输速率只有 10 Mbit/s，目前速度已达数百兆以至千兆比特；电话专线进行的数据传输，速率由初期几百比特到现在几万比特；公用分组交换网数据速率由 64 kbit/s，发展到帧中继的 2 Mbit/s，直到现在的 2.5 Gbit/s。可以看出，数据通信的传输速率越来越高，系统使用的频带也越来越宽。

(2) 向多媒体方向发展。过去的通信主要是以计算机输出的数据信号为传输对象的，随着信息处理的发展，越来越多的图形、图像、声音、影像等多媒体信息的传输已经成为传输的对象。这对数据通信提出了更高的要求，同时也为之提供了广阔的应用前景。

(3) 数据通信技术与移动通信技术、智能网技术的结合，有利于通信业务（智能业务）的拓展。数据通信扮演着越来越重要的角色。

(4) 数据通信技术在网络的硬件和软件之间要能够提供（实现）“无缝”连接。

(5) 数据通信为各种网络应能提供信号通道，实现多网合一，资源共享，使其成为真正的“信息高速公路”。

1.6 数据通信研究的主要内容

我们知道，数据通信是通信技术与计算机技术密切结合的产物，因此涉及到许多内容，简要归纳如下。

1. 数据传输

数据传输主要解决如何为数据提供一个可靠而有效的传输通路。数据传输有基带传输和频带传输之分。这些内容在第 3 章讲述。

2. 数据交换

在网络通信中，数据交换是完成数据传输的关键。交换描述了网络中各节点之间的信息交互方式。它可分为电路交换、报文交换、分组交换等。这方面内容在第 4 章介绍。

3. 通信协议

通信协议是通信网络的“大脑”，它与网络操作系统、网络管理软件共同控制和管理着数据网络的运行。此内容在第 5 章介绍。

4. 通信处理

通信处理涉及到数据的差错控制、码型转换、数据复接、流量控制等内容。这方面内容在第 2 章介绍。

5. 同步

同步问题是数据通信的一个重要方面，如何强调也不过分。数据通信主要有码元同步、帧同步和网同步。第 6 章介绍同步的基本概念和基本原理。

在数据通信中，除上述内容外，还涉及网络的管理、网络安全等技术。

本章小结

数据通信是通信技术和计算机技术结合的产物。本章介绍了消息、信息、数据、信号以及模拟通信、数字通信、数据通信的基本概念。在此基础上，讨论了数据通信系统的组成以及数据通信网、计算机网的概念与组成。介绍了数据通信的传输速率、频带利用率、差错率、可靠度等主要技术指标以及并行传输、串行传输、异步传输、同步传输、单工 / 半双 / 全双工传输等传输方式。这些概念是研究数据通信的基础。

思考与练习

- 1-1 什么是数据通信？什么是数字通信？如何区分它们？
- 1-2 数据通信系统由哪几部分组成，画出其模型图。
- 1-3 举例说明数据的并行 / 串行传输、异步 / 同步传输、单工 / 半双工 / 全双工传输。
- 1-4 数据通信的有效性指标和可靠性指标，具体可以用什么来衡量？
- 1-5 某消息由 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 和 S_8 等 8 个符号组成，它们的出现相互独立，对应的概率分别是 $1/128, 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4$ 和 $1/2$ 。
 - (1) 求每个单一符号的信息量；
 - (2) 求消息的平均信息量。
- 1-6 在 1200 bit/s 的电话线路上经测试在 2 小时内共有 54 bit 误码信息，问系统误码率是多少？
- 1-7 在串行传输中，数据波形的时间长度 $T=833 \times 10^{-6} \text{ s}$ 。试求当采用二进制和十六进制时，数据信号的速率（码元速率）和信息速率各为多少？
- 1-8 什么是数据电路？什么是数据链路？
- 1-9 计算机网是如何定义的？
- 1-10 数据通信网的拓扑结构形式有哪几种？

第 2 章 数据通信技术基础

在数据通信中，要实现数据可靠而有效的传输，将涉及到许多内容与具体技术，如在数据终端设备中，如何对数据进行编码、压缩、差错控制，如何完成多路信号的复用与复接等。另外，数据传输的信道也是一个基本方面。下面分别进行介绍。

2.1 传输信道概述

信道 (Channel) 是组成通信系统的三大部分之一，它是通信中一个非常重要的概念，信道的特性直接影响着通信的质量。

通俗地讲，信道是指以传输介质为基础的信号通路。信道是由有线或无线电路提供的信号通路，也可以是指定的一段频带，它让信号通过，同时又对信号加以限制和损害。信道的作用是传输信号。

为了更好地理解信道概念，下面对信道进行分类与定义。

2.1.1 信道的类型

信道可以按照多种不同方式进行分类，因此，同一信道可能就会有多种不同的叫法。

1. 按范围分类

根据信道的范围大小不同，信道可以分为狭义信道和广义信道。狭义信道通常是指传输信号的具体媒介。如各种明线、电缆、光缆等。通常我们说的各种具体传输介质都是狭义信道范畴。广义信道是指不仅包含具体的物理介质，而且还包含了终端（收、发两端）的部分设备（转换器）在内的那段信号通路。例如，调制信道、编码信道、数据链路、数据电路等都属于广义信道。

2. 按传输的信号类型分类

通信中传输的信号形式通常有两大类，模拟信号和数字信号，因此信道被分成模拟信道 (Analog Channel) 和数字信道 (Digital Channel)。

模拟信道传输的是在幅度和时间上都连续变化的模拟信号，如利用电话线通过调制解调器实现与 Internet 相连时，电话线就是一个模拟信道；普遍广播（采用振幅调制 / 调频方式）的中波、短波信道也是模拟信道。

数字信道是指在信道上只能传输数字信号的信道。例如，数字电话信道、由计算机组成的局域网络、机—机之间的信道通常被认为是数字信道。

大部分的传输信道属模拟信道，利用模拟信道也可以构成数字信道，以实现数据信号传输，但通常需要采用调制与解调技术。

3. 按信道的使用方式分类

按照信道的使用方式可以分为专用信道与公用信道。专用信道指两点或多点之间的线路（信号通路）是固定不变的，通常是用户自己架设或专门租用的专用线路或固定路由的专用通

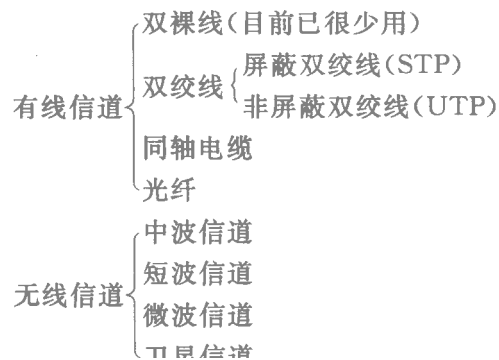
路。如民航系统、电力系统自己组网，用于企业内部通信目的的信道。公用信道是指通过公用交换网络，为广大用户（任何用户）提供服务的信道。如公用电话网、数字数据网等。

4. 按传输媒质分类

根据具体传输媒质（介质）的不同，可以分为有线信道和无线信道。

有线信道是指能够看得见，摸得着的信号线路；无线信道是指以自由空间为传输媒介的信道，也就是看不见、摸不着的那类信道。

有线信道和无线信道常见的介质形式如下：



5. 根据传输序列出错的关系分类

在数字通信中，码元发生错误与前后码元有时候是有关联的。根据这一关系，把数字信道可以分为记忆信道和无记忆信道。前者是指每个码元发生错误是与其前后码元之间是有一定关系的；而后者指当前码元的差错与其他码元无关系。

另外，有时候人们也把信道分为单工信道、半双工信道和全双工信道，这是按通信工作方式来分类的，也有人将信道分为硬信道（有线信道）和软信道（无线信道）以及固定信道和移动信道，变参信道和恒参信道等。这些通过名词都可以理解其定义。

需要说明的是，上面所列各种信道，其范围各不相同，也可相互包含。

2.1.2 信道容量

信道容量（Channel Capacity）是指通信系统的最大传输速率，也就是指信道极限传输能力。

1. 模拟信道的信道容量

模拟信道的信道容量可以通过香农（Shannon）定理来获得。香农定理指出：在加性高斯白噪声信道中，传输功率受限的信号，信道的极限传输速率（信道容量） C 为

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (\text{bit/s}) \quad (2-1)$$

式中， B 为信道频带宽度，基本单位为 Hz； S/N 是平均信号噪声功率比（信噪比）。式（2-1）通常称为香农公式。

香农公式告诉我们，在给定 C 、 S/N 的条件下，高斯白噪声信道的极大传输能力为 C 而且此时能够做到无差错传输。反过来讲，如果信道的实际传输速率 $R > C$ 值，则不可能实现无差错传输。

另外，香农公式也告诉我们，维持同样大小的信道容量 C 可以通过调整信道的 B 与 S/N 来达到，即信道容量可以通过系统带宽与信噪比的互换而保持不变。例如，如果 $S/N=7$ ， $B=$