

第2章 数据通信基础

在网络中任何两台计算机的信息交换都需借助于通信的手段来实现，通信的目的是实现单、双向传递信息。数据通信是指在两点或多点之间以二进制形式进行信息传输与交换的过程。同时，计算机之间的通信，必须要有一定的约定和通信规则。数据通信就是通过传输介质，采用网络、通信技术使信息数字化并传输这些数据的。本章将从计算机网络的角度出发，着重讲述有关数据通信的基本知识。

2.1 数据通信的基本概念

2.1.1 数据和信号

数据（Data）一般可以理解为“信息的数字化形式”或“数字化的信息形式”。狭义的“数据”是指具有一定数字特性的信息，如统计数据、气象数据、测量数据及计算机中区别于程序的计算数据等。但在计算机网络系统中，数据通常被广义地理解为在网络中存储、处理和传输的二进制数字编码。语音信息、图像信息、文字信息以及从自然界直接采集的各种自然属性信息均可转换为二进制数字编码在计算机网络系统中存储、处理和传输。网络中的数据通信、数据处理和数据库等通常就是指这种广义的数据。

数据有模拟数据和数字数据两种形式。

模拟数据是在一定时间间隔内连续变化的数据。因为模拟数据具有连续性的特点，所以它可以取无限多个数值。例如，声音、电视图像信号等都是连续变化的，都表现为模拟数据。

数字数据是表现为离散量的数据，只能取有限个数值。在计算机中常采用二进制形式，只有“0”和“1”两个数值。在数据通信中，人们习惯将被传输的二进制代码“0”和“1”称为码元。

信号（Signal）简单地讲就是携带信息的传输介质。在通信系统中经常使用的电信号、电磁信号、光信号、载波信号、脉冲信号、调制信号等术语就是指携带某种信息的、具有不同形式或特性的传输介质。CCITT（国际电话电报咨询委员会）在有关 Signal 的定义中也明确指出“信号是因其某种特性参数的变化来代表信息的”。信号的频谱宽度就称为该信号的带宽。

根据信号参量取值的不同，信号可分为数字信号和模拟信号，或称为离散信号和连续信号。例如，计算机输出的脉冲信号是数字信号，普通电话机输出的信号就是频率和振幅连续改变的模拟信号。

2.1.2 数据通信

数据通信的基本目的是在接收方与发送方之间交换信息，也就是将数据信息通过相应的传输线路从一台机器传输到另一台机器。这里所说的机器可以是计算机、终端设备以及其他任何通信设备。

数据在计算机中是以离散的二进制数字信号表示的，但在数据通信过程中，它究竟是以数字信号方式表示，还是以模拟信号方式表示，主要取决于选用的通信信道所允许传输的信号类型。如果通信信道不允许直接传输计算机所产生的数字信号，那么就需要在发送端先将数字信号转换成模拟信号再送入信道传输，在接收端再将收到的模拟信号还原成数字信号，这个过程称为调制和解调，相应的设备称为调制解调器。

数据的成功传输依赖于两个主要因素：被传输信号的质量和传输介质的性能。模拟或数字数据都是既能用模拟信号又能用数字信号进行传输的。但模拟信号在传输过程中会发生衰减、变形，尤其是在长距离传输后会发生严重的畸变。另外，数据传输的好坏，还与发送和接收设备的性能有关。

2.1.3 数据通信的主要技术指标

数据通信的主要技术指标是衡量数据传输的有效性和可靠性的参数。有效性主要由数据传输速率、调制速率、传输延迟、信道带宽和信道容量等指标来衡量；可靠性一般用数据传输的误码率指标来衡量。常用的数据通信的技术指标有以下几种。

1. 信道带宽和信道容量

信道带宽或信道容量是描述信道的主要指标之一，由信道的物理特性所决定。

通信系统中传输信息的信道具有一定的频率范围（即频带宽度），称为信道带宽。信道容量是指单位时间内信道所能传输的最大信息量，它表征信道的传输能力。在通信领域中，信道容量常指信道在单位时间内可传输的最大码元数（码元是承载信息的基本信号单位，一个表示数据有效值状态的脉冲信号就是一个码元，其单位为波特，即 Baud），信道容量以码元速率（或波特率）来表示。由于数据通信主要是计算机与计算机之间的数据传输，而这些数据最终又以二进制位的形式表示，因此，信道容量有时也表示为单位时间内最多可传输的二进制数的位数（也称作信道的数据传输速率），以位/秒（b/s）的形式表示，简称为 bps。

一般情况下，信道带宽越宽，一定时间内信道上传输的信息量就越多，则信道容量就越大，传输效率也就越高。香农（Shannon）定理描述了信道带宽与信道容量之间的关系，公式如下：

$$C=W\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right),$$

式中：C 为信道容量；W 为信道带宽；N 为噪声功率；S 为信号功率。

当噪声功率趋于 0 时，信道容量趋于无穷大，即无干扰的信道容量为无穷大，信道传输信息的多少由带宽决定。此时，信道中每秒所能传输的最大比特数由奈奎斯特（Nyquist）准则决定，公式如下：

$$R_{\max}=2W\log_2L(\text{bps}),$$

式中：R_{max} 为最大速率；W 为信道带宽；L 为信道上传输信号可取的离散值的个数。

若信道上传输的是二进制信号，则可取两个离散电平“1”和“0”，此时 L=2，则 log₂2=1，所以 R_{max}=2W。如某信道的带宽为 3 KHz，则信道的数据传输速率不能超过 6 Kbps。若 L=8，则 log₂8=3，即每个信号传送 3 个二进制位。带宽 3 KHz 的信道数据传输速率最大可达 18 Kbps。

按信道频率范围的不同，通常可将信道分为 3 类：窄带信道（带宽为 0~300 Hz）、音频

信道（带宽为 300~3 400 Hz）和宽带信道（带宽为 3 400 Hz 以上）。

2. 传输速率

传输速率有以下两种。

（1）数据传输速率（Rate）。数据传输速率是指通信系统单位时间内传输的二进制代码的位（比特）数，因此又称作比特率，单位用比特/秒表示，记作 b/s 或 bps。

数据传输速率的高低，由每位数据所占的时间决定，一位数据所占的时间宽度越小，则其数据传输速率越高。设 T 为传输的电脉冲信号的宽度或周期， N 为脉冲信号所有可能的状态数，则数据传输速率为

$$R = \frac{1}{T} \log_2 N (\text{bps}),$$

式中： $\log_2 N$ 是每个电脉冲信号所表示的二进制数据的位数（比特数）。如电信号的状态数 $N=2$ ，即只有“0”和“1”两个状态，则每个电信号只传送 1 位二进制数据，此时， $R = \frac{1}{T}$ 。

（2）调制速率。调制速率又称作波特率或码元速率，它是数字信号经过调制后的传输率，表示每秒传输的电信号单元（码元）数，即调制后模拟电信号每秒钟的变化次数，它等于调制周期（即时间间隔）的倒数，单位为波特（Baud）。若用 $T(\text{s})$ 表示调制周期，则调制速率为

$$B = \frac{1}{T} (\text{Baud}),$$

即 1 波特表示每秒钟传送一个码元。

显然，上述两个指标有如下的数量关系

$$R = B \log_2 N (\text{bps}),$$

即在数值上“波特”单位等于“比特”的 $\log_2 N$ 倍，只有当 $N=2$ （即双值调制）时，两个指标才在数值上相等。但是，在概念上两者并不相同，Baud 是码元的传输速率单位，表示单位时间传送的信号值（码元）的个数，波特速率是调制速率；而 bps 是单位时间内传输信息量的单位，表示单位时间传送的二进制数的个数。

3. 误码率

误码率是衡量通信系统在正常工作情况下传输可靠性的指标，也是指二进制码元在传输过程中被传错的概率。显然，它就是错误接收的码元数在所传输的总码元数中所占的比例。误码率的计算公式为

$$P_e = \frac{N_e}{N},$$

式中： P_e 为误码率； N_e 表示被传错的码元数； N 表示传输的二进制码元总数。上式只有在 N 取值很大时才有效。

在计算机网络通信系统中，要求误码率低于 10^{-6} 。如果实际传输的不是二进制码元，需折合成二进制码元来计算。在通信系统中，系统对误码率的要求应权衡通信的可靠性和有效性两方面的因素，误码率越低，设备要求就越高。

需要指出的是：对于可靠性的要求，不同的通信系统要求是不同的。在实际应用中，常常由若干码元构成一个码字，所以可靠性也常用误字率来表示，误字率就是码字错误的概率。

有时，一个码字中错两个或更多的码元与错一个码元是一样的，因为都会使这个码字发生错误，所以，误字率与误码率不一定是相等的。有时信息还用若干个码字组成一组，所以还有误组率，它是传输中出现错误码组的概率。但常使用的还是误码率。

4. 传输延迟

信道的带宽是由硬件设备改变电信号时的跳变响应时间决定的。尽管电信号的传输速率为每秒 30×10^4 km，但由于发送和接收设备存在响应时间，特别是计算机网络系统中的通信子网还存在中间转发等待时间，以及计算机系统的发送和接收处理时间，所以，在系统的信息传输过程中存在着延迟（传输延迟）。信息的传输延迟时间由以下关系式确定。

传输延迟=发送和接收处理时间+电信号响应时间+中间转发时间+信道传输延迟。

在计算机网络中由于不同的通信子网和不同的网络体系结构采用不同的中转控制方式，因此，在通信子网中存在的中转延迟只能依网络状态而定。由电信号响应带来的延迟时间则是固定的。显然，响应时间越短，延迟就越小。也就是说，信道的带宽越大，延迟越小。

2.1.4 数据的传输方式

数据在通信线路上的传输是有方向的。根据数据在线路上传输的方向和特点，数据传输可分为单工通信（Simplex）、半双工通信（Half-Duplex）和全双工通信（Full-Duplex）3种。

1. 单工通信

在单工通信方式中，数据只能按一个固定的方向传输，任何时候都不能改变数据的传输方向。如图 2-1（a）所示，A 端是发送端，B 端是接收端，任何时候数据只能从 A 端发送到 B 端，而不能由 B 端传回到 A 端。图中实线为主信道，用来传输数据；虚线为监测信道，用于传输控制信号，监测信息就是接收端对收到的数据信息进行校验后，发回给发送端确认及请求的信息。单工通信一般采用二线制。

2. 半双工通信

在半双工通信方式中，数据可以双向传输但必须交替进行，同一时刻一个信道只允许单方向传输数据。如图 2-1（b）所示，数据可以从 A 端传输到 B 端，也可以从 B 端传输到 A 端，但两个方向不能同时传送；监测信息也不能同时双向传输。半双工通信中，设备 A 和 B 都具有发送和接收数据的功能。半双工通信方式适用于终端之间的会话式通信，由于通信设备需要频繁地改变数据的传输方向，因此，数据传输效率较低。半双工通信一般也采用二线制。

3. 全双工通信

全双工通信可以双向同时传输数据，如图 2-1（c）所示，它相当于两个方向相反的单工通信方式的组合，通信的任何一方在发送数据的同时也能接收数据，因此，全双工通信一般采用四线制。因其数据传输效率高，控制简单，但组成系统的造价高，主要用于计算机之间的通信。

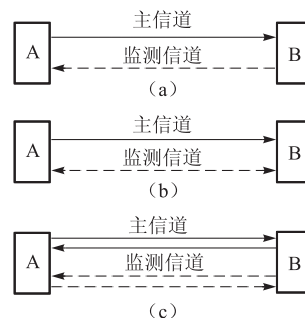


图 2-1 数据传输的 3 种通信方式

(a) 单工通信；(b) 半双工通信；

(c) 全双工通信

2.2 数据传输技术

2.2.1 基带传输

计算机或终端等数字设备产生的、未经调制的数字数据所对应的电脉冲信号通常呈矩形波形式，它所占据的频率范围通常从直流和低频开始，因而这种电脉冲信号被称为基带信号。基带信号所固有的频率范围称为基本频带，简称基带（Baseband）。在信道中直接传输这种基带信号的传输方式就是基带传输。在基带传输中整个信道只传输这一种信号。

由于在近距离范围内，基带信号的功率衰减不大，从而信道容量不会发生变化，因此，计算机局域网系统广泛采用基带传输方式，如以太网、令牌环网等都采取这种传输方式。基带传输是一种最简单、最基本的传输方式，它适合于各种传输速率要求的数据。基带传输过程简单，设备费用低，适合于近距离传输的场合。

2.2.2 频带传输

由于基带信号频率很低，含有直流成分，远距离传输过程中信号功率的衰减或干扰将造成信号减弱，使得接收方无法接收，因此基带传输不适合远距离传输；又因远距离通信信道多为模拟信道，所以，在远距离传输中不采用基带传输而采用频带传输的方式。频带传输就是先将基带信号调制成便于在模拟信道中传输的、具有较高频率范围的信号（这种信号称为频带信号），再将这种频带信号在信道中传输。由于频带信号也是一种模拟信号，因此频带传输实际上就是模拟传输。计算机网络系统的远距离通信通常都是频带传输。

基带信号与频带信号的变换由调制解调技术完成。

2.2.3 宽带传输

宽带是指比音频带宽更宽的频带，它包括大部分的电磁波频谱。利用宽带进行的传输称为宽带传输。宽带传输系统可以是模拟或数字传输系统，它能够在同一信道上进行数字信息和模拟信息的传输。宽带传输系统可容纳全部广播信号，并可以进行高速数据传输。在局域网中，存在基带传输和宽带传输两种方式。基带传输的数据传输速率比宽带传输速率低。一个宽带信道可以被划分为多个逻辑基带信道。宽带传输能把声音、图像、数据等信息综合到一个物理信道上进行传输。宽带传输采用的是频带传输技术，但频带传输不一定是宽带传输。

2.2.4 串行与并行通信

1. 串行通信

计算机中，通常用8位二进制代码表示一个字符。在数据通信中，人们可以将待传输的每个字符的二进制代码按照由低位到高位顺序依次进行发送，到达对方后，再由通信接收装置将二进制代码还原成字符，这种工作方式称为串行通信。串行通信方式的传输速率较低，但只需要在接收端与发送端之间建立一条通信信道，因此费用较低。目前，在远程通信中，人们一般采用串行通信方式。

2. 并行通信

在并行通信中，人们可以利用多条并行的通信线路，将表示一个字符的 8 位二进制代码同时通过 8 条对应的通信信道发送出去，每次可发送一个字符代码。并行通信的特点是在通信过程中，收发双方之间必须建立并行的多条通信信道，这样，在传输速率相同的情况下，并行通信在单位时间内所能传输的码元数将是串行通信的 n 倍， n 为并行通信的信道数。但由于要建立多个通信信道，因此造价较高，一般主要用于近距离传输。

2.2.5 同步技术

在数据通信系统中，接收端收到的信息应与发送端发出的信息完全一致，这就要求在通信中收发两端必须有统一的、协调一致的动作。若收发两端的动作互不联系，互不协调，则收发之间就要出现误差，随着时间的增加，误差的积累将会导致收发“失步”，因而使系统不能正确传输信息。为了避免收发“失步”，使整个通信系统可靠地工作，需要采取一定的措施。将这种统一收发两端动作、保持收发步调一致的过程称为同步。因此，同步问题是数据通信中的一个重要问题。

常用的数据传输的同步方式有两种：异步传输方式和同步传输方式。

1. 异步传输方式

异步传输方式是一种计算机网络中常用的、也是最简单的同步方式，是指同一个字符内相邻两位的间隔是固定的，而两个字符间的间隔是不固定的，即所谓的字符内同步，字符间异步。在异步方式下，不传送字符时，线路一直处于高电平（“1”）状态。传送字符时，发送端在每个字符的首尾分别设置 1 位起始位（低电平，相当于数字“0”状态）和 1.5 或 2 位停止位（高电平，相当于数字“1”状态），分别表示字符的开始和结束。起始和停止位中间的字符可以是 5 位或 8 位二进制数，一般 5 位二进制数的字符停止位设为 1.5 位，8 位二进制数的字符停止位设为 2 位，而 8 位字符中包括 1 位校验位。发送端按确定的时间间隔（或位宽）或固定的时钟发送一个字符的各位。接收端以识别起始位和停止位并按相同的时钟（或位宽）来实现收发双方在一个字符内各位的同步。当接收端在线路上检测到起始位的脉冲前沿（从“1”到“0”的跃变）到来时，就启动本端的定时器，产生接收时钟，使接收端按与发送端相同的时间间隔顺序接收该字符的各位。当接收端一旦接收到停止位时，就将定时器复位，准备接收下一个字符代码。接下来若无字符发送，系统则连续以“1”电平填充字符的空间，直至下一个字符的到来。异步传输方式如图 2-2 所示。

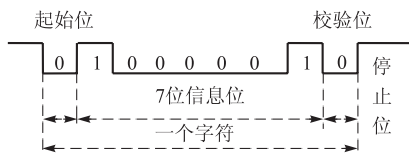


图 2-2 异步方式的同步过程

方式又称为起止式同步。

异步方式由于附加了起始位和停止位，并增加了传输开销，所以传输效率有所下降。但如果出现错误，只需重发一个字符即可，且这种方式控制简单、易实现，适于低传输速率场合。

2. 同步传输方式

同步传输不是以字符为单位而是以数据块为单位进行传输的。在传输中，字符之间不加起始位和停止位。为了使接收方容易确定数据块的开始和结束，需要在每个数据块的前后加上起始和结束标志，以便使发送方与接收方之间能建立起一个同步的传输过程，同时还可以用这些标志来区分与隔离连续传输的数据块。数据块起始和结束标志的特性取决于数据块是面向字符的还是面向比特的。在面向字符的方式中，数据块的内容是由若干个字符组成的，起始和结束标志由特殊的字符（如 SYN，EOT 等）构成，如图 2-3（a）所示；在面向比特的方式中，其数据块的内容不再是字符流，而是一串比特流。相应的首尾标志可以是某一特殊的位模式，如在面向比特的高级数据链路控制规程 HDLC 中用位模式 01111110 作为数据块的起始和结束标志。同步方式的同步结构如图 2-3（b）所示。

同步传输方式的传输效率高、开销小，但如果在传输的数据中有一位出错，就必须重新传输整个数据块，而且控制也比较复杂。

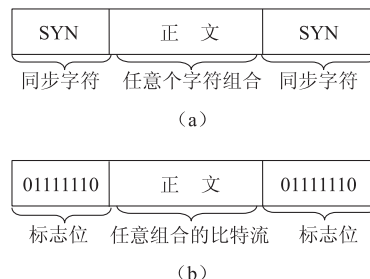


图 2-3 同步方式的同步过程

2.3 多路复用技术

一般情况下，在远程数据通信或计算机网络系统中，传输信道的传输容量往往大于一路信号传输单一信息的需求，所以为了有效地利用通信线路，提高信道的利用率，人们研究和开发了通信链路的信道共享和多路复用技术。多路复用器连接许多低速线路，并将它们各自所需的传输容量组合在一起后，仅由一条速度较高的线路传输所有信息。其优点是在远距离传输时，可极大地节省电缆的安装和维护费用，降低整个通信系统的费用，并且多路复用系统对用户是透明的，提高了工作效率。

多路复用技术通常分为两类：频分多路复用（Frequency Division Multiplexing，FDM）和时分多路复用（Time Division Multiplexing，TDM）。

2.3.1 频分多路复用

频分多路复用（FDM）的例子很多，如无线广播、无线电视中将多个电台或电视台的多组节目对应的声音、图像信号分别加载在不同频率的无线电波上，然后同时在同一无线空间中传播。接收者根据需要接收某种特定频率的信号进行收听或收看。同样，有线电视也是基于同一原理。总之，频分复用是把线路或空间的频带资源分成多个频段，并将其分别分配给多个用户，每个用户终端通过分配给它的子频段传输，这种方法主要用于电话和有线电视系统。在频分多路复用中，各个频段都有一定的带宽，称为逻辑信道。为了防止相邻信道的信号频率相互覆盖而造成干扰，须在相邻的两个信号的频率段之间设立一定的“保护”带，要求保护带对应的频谱没有被使用，以保证各个频带互相隔离不会交叠。

2.3.2 时分多路复用

时分多路复用（TDM）是将传输信号的时间进行分割，使不同的信号能在不同的时间内传输，即将整个传输时间分为许多时间间隔（称为时隙或时间片），每个时间片被一路信号占用。时分多路复用就是通过在时间上交叉发送每一路信号的一部分，来实现用一条线路传输多路信号。实际上，在时分多路复用线路上任一时刻只有一路信号存在，而频分却是同时传输若干路不同频率的信号。因为数字信号是有限个离散值，所以适合采用时分多路复用技术，而模拟信号一般采用频分多路复用技术。时分多路复用技术的实现有两种常用的方法。

1. 同步时分多路复用

同步时分多路复用（STDM）采用固定时间片的分配方式，即将传输信号的时间按特定长度连续地划分成特定的时间段，再将每一时间段划分成等长度的多个时间片，每个时间片再以固定的方式分配给各路数字信号，各路数字信号在每一时间段都顺序分配到一个时间片。

由于在时分复用方式中，时间片是预先分配且固定不变的，所以无论时间片的拥有者是否传输数据都要占有一定的时间片，这就造成了时间片的浪费，即时间片的利用率很低，为了克服 STDM 的缺点，引入了异步时分复用（ATDM）技术。

2. 异步时分多路复用

异步时分多路复用（ATDM）技术又被称为统计时分复用或智能时分复用（ITDM），它能动态地按需分配时间片，避免每个时间段中出现空闲的时间片。

ATDM 的实质是只有当某一路用户有数据需要发送时才把时间片分配给它。当用户暂停发送数据时就不给它分配线路资源（时间片），而是将线路的空闲时间片用于其他用户的数据传输，这样每个用户的传输速率可以高于平均速率（这是通过多占时间片来实现的），且最高可达到线路总的传输能力（即占有所有的时间片）。如线路总的传输能力为 28.8 Kbps，有 3 个用户共用此线路，在 STDM 方式中，每个用户的最高速率为 9 600 bps，而在 ATDM 方式中，每个用户的最高速率可达 28.8 Kbps。

2.4 数据交换技术

交换即转接，是数据在两个设备之间的一种通信。但在实际运用中直接连接两个设备是不现实的，一般是通过有中间节点的网络把数据从源地发送到目的地，以实现通信。中间节点并不关心数据的内容，目的是提供一个交换设备。用这个交换设备把数据从一个节点传到另一个节点，直至到达目的地。

通常使用的数据交换技术有 3 种：电路交换、报文交换和分组交换。

2.4.1 电路交换技术

电路交换技术就是通过网络中的节点在两个站之间建立一条专用的通信线路。例如，常用的电话通信系统就是通过电路交换来实现的。

电路交换在进行数据通信的过程中，必须在两个站之间建立一条实际的物理连接。这种连接是节点之间的连接序列。在每条线路上，通道专用于连接。电路交换方式的通信包括以

下3个阶段。

(1) 线路建立：在数据传输前，必须建立端到端的线路连接。

(2) 数据传送：线路一旦建立起来，就可以完成数据的传输，传输的数据信号可以是数字的也可以是模拟的。

(3) 线路拆除：在数据传送结束后，就要结束线路连接，通常由两个端中的一个来完成线路的拆除。

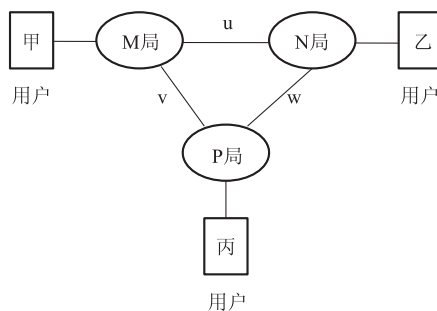


图 2-4 电路交换

电路交换具有以下几个特点。

(1) 呼叫建立时间长且存在呼损。电路建立阶段，在两端建立一条专用通路需要花费一段时间，这段时间称为呼叫建立时间。电路建立过程中，由于交换网繁忙等原因可能使得建立失败，此时交换网就要拆除已建立的部分电路，而用户需要挂断重拨，这个过程称为呼损。

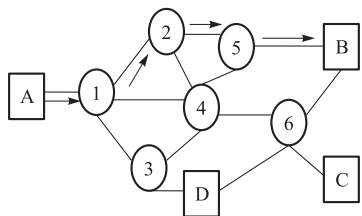
(2) 电路交换对用户来说是“透明”的，即交换网对用户信息的编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不加以限制，但对通信双方而言必须做到双方的收发速度、编码方法、信息格式、传输控制等都一致才能完成通信。

(3) 数据传输速率固定。一旦线路建立起来后，除通过传输链路的传播延时外，不会再引入别的延时，因此非常适合进行实时大批量、连续的数据传输。

(4) 线路利用率低。线路建立后，通道容量在连接期间为使用用户所专用，即使没有数据传送，别人也不能使用，故线路利用率较低。

2.4.2 报文交换技术

报文交换是网络通信的另一种方法。其不需要在两个站点之间建立一条专用通路。如果一个站点想要发送一个报文（发送信息的一个逻辑单位），只需要把目的地址附加在报文上，然后把报文通过网络中的各节点依次进行传送。网络中的每个节点接收整个报文，并先暂存起来，然后再转发到下一个节点。



在电路交换的网络通信中，每个节点是一个电子或机电结合的交换设备。这种交换设备发送二进制位同接收二进制位一样快。报文交换节点通常是一台通用的小型计算机。它具有足够的存储容量来缓存进入的报文。一个报文在每个节点的延迟时间等于接收报文的所有位所需的时间加上等待时间和重传到下一个节点所需的延迟时间。

报文交换具有以下几个特点。

- (1) 发送端和接收端在通信时不需建立一条专用的通路。
- (2) 与电路交换相比，报文交换没有建立线路和拆除线路所需的等待时延。
- (3) 线路利用率高，节点间可根据线路情况选择不同的传输速率，从而能高效地传输数据。
- (4) 要求节点具有足够的存放报文数据的能力，节点一般由微机或小型机担当。
- (5) 数据传输的可靠性高，每个节点在存储转发的过程中都进行差错控制，如检错、纠

错等。

(6) 报文交换的传输时延大。由于对完整报文采用了存储转发的方式, 因此节点转发的时延较大, 不适用于交互式通信, 如电话通信。由于每个节点都要把报文完整地接收、存储、检错、纠错、转发, 会产生节点延迟, 并且报文交换对报文的长度没有限制, 报文可以很长, 这样就有可能使报文长时间地占用某两个节点之间的链路, 不利于实时交互通信。分组交换正是针对报文交换的不足而提出的一种改进方式。

报文交换的主要应用领域是电子邮件、电报、非紧急的业务查询和应答等。

2.4.3 分组交换技术

分组交换也称为包交换, 该方式是把长的报文先分割成若干个较短的报文分组, 再以报文分组为单位进行发送、暂存和转发。每个报文分组, 除要传输的数据和地址信息外, 还带有数据分组的编号。报文在发送端被分组后, 各组报文可按不同的传输路径进行传输。经过节点时, 同样要被存储、转发, 最后在接收端将各报文分组按编号顺序再重新组装成完整的报文。

分组交换有以下几个特点。

(1) 分组交换方式具有电路交换和报文交换的共同优点。

(2) 由于报文分组较短, 在传输出错时, 检错容易并且重发时花费的时间较少, 有利于提高存储转发节点的存储空间利用率与传输效率。

(3) 报文分组在各节点间的传输比较灵活, 且可自行选择各分组的路径, 每个节点收到一个报文后, 即可向下一个节点转发, 不必等到其他分组到齐。

分组交换方式已经成为当今公用数据交换网中主要的交换技术, 它的主要应用领域是快速查询和应答的场合, 如电子转账、股票牌价等。

分组交换方式在实际应用中又可分为数据报和虚电路两种。

1. 数据报方式

数据报交换方式把任意一个分组都当作单独的“小报文”来处理, 而不管它是属于哪个报文的分组。如图 2-5 所示, 若要将报文从 A 站发送到 C 站, 则应先在 A 站将报文分成 3

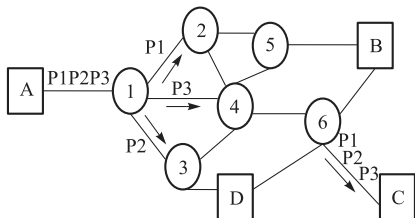


图 2-5 数据和交换方式

个分组 (P1, P2, P3), 按次序连续地发送给节点 1, 节点 1 每接收一个分组都先存储下来, 并分别对它们进行单独的路径选择和其他处理。例如, 它可能将 P1 发送给节点 2, P2 发送给节点 3, P3 发往节点 4, 这种选择主要取决于节点 1 在处理每一个分组时各条链路的负荷情况以及路径选择的原则和策略。由于每个分组都带有地址和分组编号, 虽然它们不一定经过同一条路径, 但最终都要通过节点 6 到达目的站。这些分组到达节点

6 的顺序可能会被打乱, 但节点 6 可以对分组进行排序和重装, 当然目的站 C 也可以完成这些排序和重装工作。

上述这种分组交换方式简称为数据报传输方式, 作为基本传输单位的“小报文”被称为数据报 (Datagram)。

从以上讨论可以看出, 数据报工作方式具有以下几个特点。

- (1) 同一报文的不同分组可经不同的传输路径通过通信子网。
- (2) 同一报文的不同分组到达目的节点时可能出现乱序、重复与丢失现象。
- (3) 每一个分组在传输过程中都必须带有目的地址与源地址。
- (4) 数据报方式的报文传输延迟较大, 适用于突发性通信, 不适用于长报文、会话式通信。

2. 虚电路方式

所谓虚电路就是两个用户的终端设备在开始互相发送和接收数据之前需要通过通信网络建立逻辑上的连接, 这种连接一旦建立, 将会一直保持, 直到用户不再需要发送和接收数据时才被清除。

虚电路方式的主要特点是: 所有分组都必须沿着事先建立好的虚电路传输, 存在一个虚呼叫建立阶段和拆除阶段(清除阶段)。与电路交换相比, 并不意味着在发送方与接收方之间存在着像电路交换方式那样的专用线路, 而是选定特定路径进行传输, 分组途经的所有节点都对这些分组进行存储转发, 这是与电路交换在本质上的区别。

虚电路方式具有以下几个特点。

- (1) 每次发送报文分组之前, 必须在发送方与接收方之间建立一条逻辑连接。
- (2) 一次通信的所有报文分组都从这条已建好的逻辑连接的虚电路上通过, 因此报文分组不必带有目的地址、源地址等辅助信息, 报文分组到达目的节点时不会出现丢失、重复与乱序的现象。
- (3) 报文分组通过每个虚电路上的节点时, 节点只需要进行差错检测, 而不需要进行路径选择。
- (4) 通信子网中每个节点都可以和其他任何节点建立多条虚电路连接。

由于虚电路方式兼有分组交换与线路交换两种方式的优点, 因此在计算机网络中得到了广泛应用。如 X.25 网就支持虚电路交换方式。

2.4.4 ATM 技术

异步传输模式(ATM)实际上也是一种高速分组交换技术。区别在于, 传统分组交换的基本数据传输单元是分组, 而 ATM 的基本数据传输单元是信元, 它将数字、语音、图像等所有的数字信息都分解为长度固定的信元(Cell)。信元由信元头和信息段组成, 传输系统通过信元头识别通路。在 ATM 中规定每个信元有一个 5 B 的信元头和一个 48 B 的信息段, 信元长度为 53 B。这样每个信元的传输时间相同, 从而可以把信道的时间划分成一个时间片序列, 每个时间片用于传输一个信元。当有信元发送时, 便逐个时间片地把信元投入信道; 接收时, 若信道不空, 也将逐个时间片地取得信元, 时间片和信元一一对应, 这样可极大简化对信元的传输控制, 便于采用高速硬件对信头进行识别和交换处理。

2.5 差错控制技术

所谓差错就是在通信接收端收到的数据与发送端实际发出的数据不一致的现象。任何一条远距离通信线路, 都不可避免地存在一定程度的噪声干扰, 这些噪声干扰的后果可能导致差错的产生。为了保证通信系统的传输质量, 降低误码率, 需要对通信系统进行差错控制。

差错控制就是为防止由于各种噪声干扰等因素引起的信息传输错误或将差错限制在所允许的尽可能小地范围内而采取的措施。

2.5.1 差错产生的原因与类型

当数据从信源出发,经过通信信道时,由于通信信道总存在一定的噪声,在到达信宿时,接收到的信号将是传输信号与噪声叠加后的结果。在接收端,接收电路在取样时应先判断信号电平。如果噪声对信号叠加的结果在电平判决时出现错误,就会引起传输数据的错误。

通信信道的噪声主要有两类。

(1) 热噪声,它是由传输介质导体的电子热运动产生的。特点是:一直存在,幅度较小,且强度与频率无关,是一种随机差错。

(2) 冲击噪声,它是由外界电磁干扰引起的。特点是:幅度较大,是一种突发差错,也是引起传输差错的主要原因。

在通信过程中产生的传输差错,是由随机差错与突发差错共同形成的。

2.5.2 差错检测与控制

1. 差错检测

数据在通信线路上传输时,由于传输线路上的噪声或其他干扰信号的影响,往往使发送端发送的数据不能正确地被接收,这就产生了差错。差错可用误码率 P_e 来度量。

P_e =接收的错误码元数/接收的总码元数,

对于一般电话通信线路,当传输率在 600~2 400 Baud 时,其 P_e 在 10^{-4} ~ 10^{-6} 之间就可以满足对传输质量的要求,但在计算机与计算机之间传输数据时,则要求 P_e 低于 10^{-9} 。为此,需采取相应措施来提高传输质量。

(1) 选择好的通信线路,即改善通信线路的电气性能,使误差的出现概率降低到系统要求的水平。该方法要求通信线路的传输速率高,这样必然使线路的造价高,且不容易达到理想的效果。引起误差的噪声可能来自外部,也可能来自通信线路,因此,选择好的通信线路、采取有效的屏蔽措施、改善设备等,虽然可以减少差错,但受经济条件和技术条件的限制,不能做到完全消除差错。

(2) 在通信线路上,设法检查错误,并采取措施对错误进行差错控制,即在数据传输时,采取一定的方法发现并纠正错误。

能够发现并自动纠正差错的有效方法是对传输的数据进行抗干扰编码,即给被传送的数据码元按一定的规则增加一些码元(这些码元称为冗余码),使冗余码元与被传送的信息码元之间建立一定的关系,这种关系就是抗干扰编码。发送时,冗余码与信息码一同发送,经信道传输后,接收端按照预先确定的编码规则进行译码,进而发现错误并纠正错误。能够发现错误的码称为检错码,能够纠正错误的码称为纠错码。

2. 差错控制方法

在数据通信系统中,差错控制包括差错检测和差错纠正两部分,具体实现差错控制的方法主要有以下几种。

(1) 反馈重发检错法,又称自动请求重发(Automatic Repeat Request, ARQ)法,其工

作原理是：由发送端发出能够发现错误（检错）的编码（检错码），接收端依据检错码的编码规则来判断编码中是否有差错产生，并通过反馈信道把判断结果用规定的信号告知发送端。发送端根据反馈信息，把接收端认为有差错的信息再重新发送一次或多次，直至接收端接收正确为止。接收端认为正确的信息不再重发，而继续发送其他信息。因 ARQ 法只要求发送端发送检错码，接收端只要求检查有无错误，而无须纠正错误，因此，该法设备简单，容易实现。

（2）前向纠错法（Forward Error Correcting, FEC）是由发送端发出能纠错的码，接收端收到这些码后，通过纠错译码器不仅能自动地发现错误，而且还能自动地纠正传输中的错误，然后把纠错后的数据传送到接收端。

FEC 方式的优点是发送时不需要存储，也不需要反馈信道，适用于单向实时通信系统。其缺点是译码设备复杂，所选纠错码必须与信道干扰情况紧密对应。

（3）混合纠错法，是反馈重发检错和前向纠错两种方法的结合，是由发送端发出，同时具有检错和纠错能力的编码，接收端收到编码后检查差错情况，如差错在可纠正范围内，则自动纠正；如差错很多，超出了纠错能力，则经反馈信道送回发送端并要求重发。

前向纠错和混合纠错方法具有理论上的优越性，但由于对应的编码/译码相当复杂，且编码效率很低，因而很少被采用。

3. 信道编码

（1）垂直冗余校验码。垂直冗余校验是以字符为单位的校验法。一个字符由 8 位组成，其中低 7 位是信息码，最高位是冗余校验位。校验位可以使每个字符代码中“1”的个数为奇数或偶数。若字符代码中“1”的个数为奇数，则称为奇校验；若“1”的个数为偶数，则称为偶校验。例如，一个字符的 7 位代码为 1010110，有 4 个“1”（偶数个）；若为奇校验，则校验位为 1，即整个字符为 11010110。

同理，若为偶校验，则校验位应为 0，即整个字符为 01010110。

垂直冗余校验能发现传输中任意奇数个错误，但不能发现偶数个错误。

（2）水平冗余校验码。水平冗余校验把数个字符组成一组，对一组字符的同一位（水平方向）进行奇或偶校验，得到一系列校验码。发送时，是一个接一个地发送字符，最后发送一系列校验码。如：一组字符包括 5 个字符，见表 2-1，每个字符的信息代码是 7 位，传送时，是先顺序传送 0、1、2、3、4 五个字符的 $b_1 \sim b_7$ 位，最后传送校验位，假设水平校验采用偶校验。水平冗余校验能发现长度小于字符位数（现在为 7 位）的突发性错误。

表 2-1 水平冗余校验

	0 1 2 3 4	校验位
b_1	0 0 1 0 1	0
b_2	1 0 1 1 0	1
b_3	0 0 0 1 0	1
b_4	1 1 1 0 1	0
b_5	0 1 0 1 1	1
b_6	0 0 0 1 0	1
b_7	0 1 1 0 1	1

(3) 水平垂直冗余校验码。同时进行水平和垂直冗余校验就得到了水平垂直冗余校验码。具体地说,就是对表 2-1 中的 5 个字符均再增加一位校验位 b_8 , 见表 2-2。 b_8 是垂直校验位, 每行的最右一位是水平校验位。它们可以是奇校验或偶校验。表 2-2 均是偶校验。水平垂直校验码也称方阵码, 这种码有较强的检错能力, 它不但能发现所有一位、二位或三位的错误, 而且能发现某一行或某一列上的所有奇数个错误。方阵码广泛用于计算机网络通信及计算机的某些外部设备中。

表 2-2 水平垂直冗余校验

	0 1 2 3 4	校验位
b_1	0 0 1 0 1	0
b_2	1 0 1 1 0	1
b_3	0 0 0 1 0	1
b_4	1 1 1 0 1	0
b_5	0 1 0 1 1	1
b_6	0 0 0 1 0	1
b_7	0 1 1 0 1	1
b_8	0 1 0 0 0	1

(4) 循环冗余校验码。循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check, CRC) 是一种较为复杂的校验方法。它利用事先生成的一个二进制校验多项式 $g(x)$ 去除要传送的二进制信息多项式 $m(x)$, 得到的余式就是所需的循环冗余校验码。它相当于一个 n 位长的二进制串。采用循环冗余校验的信息编码是在要传送的信息位后附加若干个校验位, 发送时, 应将信息码和冗余码一同传送至接收端; 接收时, 先对传送来的码字用发送时的同一多项式 $g(x)$ 去除, 若能除尽, 则说明传输正确, 否则说明传输出错。

循环冗余校验码的检错能力与校验码的位数有关, 校验码位数越多, 说明检错能力就越强。此外, 产生循环冗余校验码的规则也影响检错能力。

本章小结

计算机网络是现代计算机技术和通信技术相结合的产物, 在学习计算机网络前必须对数据通信的基本原理有所了解。数据通信的目的是传输信息, 信息的表现形式是数据。数据分模拟数据和数字数据。信号是数据的电编码或电磁编码, 信号有模拟信号和数字信号两种。数据传输方式有基带传输与频带传输, 在数据传输过程中需要保证收发双方同步并进行差错检测与控制; 同步方式有同步传输与异步传输。为保证数据传输高效正确, 要对数据进行抗干扰编码。本章主要是通过以上知识点的学习, 使学生了解数据通信的基本知识。

习 题

1. 消息、数据和信号三者的关系是什么? 信号的类型有几种?

2. 什么是数据速率和调制速率？举例说明它们之间的关系。
3. 什么是基带传输？基带传输有几种数字编码？编码方式有什么特点？
4. 什么是频带传输？频带传输有几种数字信号的调制方式，各有什么特点？
5. 阐述频分多路复用技术和时分多路复用技术的区别。
6. 数据通信方式有几种？各有什么优缺点？