

数据通信基础

计算机网络是计算机和通信技术发展的产物,网络技术的发展离不开通信技术。了解并掌握数据通信基础知识对理解网络工作原理、把握网络组建和管理方法很有帮助。本章将介绍基本的数据通信知识,使读者对网络通信中的常见术语和技术有基本的认识和把握。

3.1 数据通信的基本概念

3.1.1 数据通信系统的组成

计算机网络中,数据通信系统的任务是把源计算机所产生的数据迅速、可靠、准确地传输到目的计算机或专用外设。数据通信系统由信源、信道和信宿组成。数据通信系统的组成如图 3-1 所示。

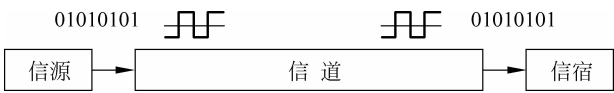


图 3-1 数据通信系统的组成(1)

信源即信息的来源,是数据的发送方;信宿即信息的目的地,是数据的接收方;信道即传输数据的通道。信源产生的数据经过编码后以信号的形式在信道上传输,并在信宿端解码为数据。

通信系统中的信源和信宿称为数据终端设备(Data Terminal Equipment,DTE),一般网络中常用的 DTE 设备有计算机、路由器、网络打印机等。大多数时候,DTE 是不能直接与信道相连的,需要一种称为数据通信设备(Data Communications Equipment,DCE)的设备完成通信管理和信号转换等工作。因而,数据通信系统的组成也可表示为图 3-2。

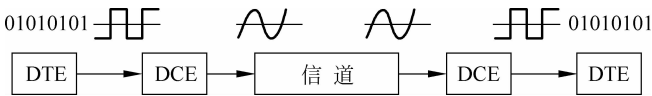


图 3-2 数据通信系统的组成(2)

通信系统中 DCE 还有一个重要的作用就是控制通信频率(时钟)。因而,一对 DTE 与 DCE 的通信中,总是由 DCE 提供时钟信号,DTE 则依靠 DCE 提供的时钟工作。常用的 DCE 有调制解调器(Modem)、CSU/DSU、交换机等。

在信源和信宿之间建立起的有效传输数据的物理通道称为信道,能容纳各种物理信号。不同的信道容纳信号的能力是不同的,如电话线路等模拟通信信道、专用数字通信信道、宽带电缆(Community Antenna Television,CATV)和光纤等。

3.1.2 信息、数据和信号

数据通信系统中,信息、数据和信号含义不同而又相互关联。信息是指数据的内容和解释,它反映了客观事物的存在形式或运动状态。

数据是信息的载体,是信息的表现形式。数据可分为模拟数据和数字数据两大类。模拟数据是在某个区间内连续变化的值,例如声音和视频都是幅度连续变化的波形,又如温度和压力也都是连续变化的值;数字数据是离散的值,例如文本信息、整数、计算机能够处理的二进制数 0 和 1。

信号则是数据的电子或电磁编码,是数据在传输过程的具体物理表现形式。对应于模拟数据和数字数据,信号也可分为模拟信号和数字信号。模拟信号是随时间连续变化的电流、电压或电磁波,可以利用其某个参量(如幅度、频率或相位等)来表示要传输的数据;数字信号则是一系列离散的电脉冲,可以利用其某一瞬间的状态来表示要传输的数据,如方波 。

3.1.3 基带、频带与宽带

通信系统中信号每秒钟变化的次数叫频率,用赫兹(Hz)作单位。信号的频率有高有低就像声音有高有低一样,低频到高频的范围叫频带(频率带宽),不同的信号有不同的频率带宽,有的适合在信道上直接传输,大部分则不适合在信道上直接传输,需经过转换。

1. 基带

信源发出的没有经过调制的原始电信号所固有的频带称为基本频带,简称基带。其特点是频率较低,信号频谱从零频附近开始。基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,如说话的声波就是模拟基带信号;而计算机中二进制数的电子编码方波则是数字基带信号。

2. 频带与宽带

频带是指对基带信号调制后所占用的高频率带宽。在通信中,由于基带信号具有频率很低的频谱分量,出于抗干扰和提高传输率考虑一般不宜直接传输,需要把基带信号变换成其频带适合在信道中传输的信号,变换后的信号就是频带信号。

宽带是指比音频更宽的频率范围,包括大部分电磁波频谱。采用频分多路复用的形式可以把一个宽带物理信道分成多个子信道,每个子信道传输一路频带信号,从而实现高速传

输。如 CATV、ISDN 等。

3.1.4 数据通信技术指标

数据通信的任务是传输数据信息, 希望达到传输速度快、出错率低、信息量大、可靠性高, 并且既经济又便于使用和维护。这些要求可以使用下列技术指标加以描述。

1. 数据传输率

数据传输率是指单位时间内信道上所能传输的数据量。可用“比特率”和“波特率”来表示。

数据传输速率在数值上, 等于每秒钟传输构成数据代码的二进制比特数, 单位为比特/秒, 记做 b/s。常用的数据传输速率单位有: Kb/s、Mb/s、Gb/s 与 Tb/s, 目前最快的以太网理论传输速率为 10Gb/s。

数据传输速率计算公式: $S = 1/T(\log_2 N)$ 。

其中 T 为一个数字脉冲信号的宽度或重复周期, 单位为秒; N 表示一个脉冲所能表示的有效值状态, 通常 $N = 2^K$ (K 为二进制信息的位数)。当 $N = 2$ 时, 数据传输速率公式简化为: $S = 1/T$, 表示数据传输率等于码元脉冲的重复频率。

“波特率”也称“码元速率”、“调制速率”或者“信号传输速率”, 是指每秒传输的码元数, 单位为波特, 记做 Baud。若每个码元所含的信息量为 1 比特, 则波特率等于比特率。计算公式: $B = 1/T(\text{Baud})$, 式中 T 为信号码元的宽度, 单位为秒。

由以上两公式可以得出: $S = B \log_2 N(\text{b/s})$, 或 $B = S/\log_2 N(\text{Baud})$ 。

在计算机中, 一个符号的含义为高低电平, 分别代表逻辑“1”和逻辑“0”, 所以每个符号所含的信息量刚好为 1 比特, 因此在计算机通信中, 常将“比特率”称为“波特率”。

2. 信道带宽

信道带宽(Bandwidth)是指信道每秒传输的最大字节数, 也就是一个信道的最大数据传输速率, 单位也是“位/秒”。高带宽意味着系统的高处理能力。带宽与数据传输速率是有区别的, 前者表示信道的最大数据传输速率, 是信道传输数据能力的极限, 而后者是实际的数据传输速率。像公路上的最大限速与汽车实际速度的关系一样。

带宽本来是指某个信号具有的频带宽度, 其单位是赫兹(或千赫兹, 兆赫兹), 过去的通信主干线路都是用来传送模拟信号, 带宽表示线路允许通过的信号频带范围。但是, 当通信线路用来传送数字信号时, 传送数字信号的速率即数据传输率成为数字信道的最重要指标, 习惯上仍延续使用“带宽”来作为“数据传输率”的同义语。

3. 信道容量

信道的传输能力是有一定限制的, 信道的数据传输速率的上限, 称为信道容量, 一般表示单位时间内最多可传输的二进制数据的位数。信道容量与信道带宽、噪声功率和信号功率的关系为: $C = W \log_2(1 + S/N)$ 。

C 为信道容量; W 为信道带宽; N 为噪声功率; S 为信号功率。

4. 误码率

误码率(P_e)是指二进制数据位传输时出错的概率。它是衡量数据通信系统在正常工作情况下的传输可靠性的指标。在计算机网络中,一般要求误码率低于 10^{-6} ,若误码率达不到这个指标,可通过差错控制方法检错和纠错。

误码率计算公式为: $P_e = N_e / N$ 。式中的 N_e 为其中出错的位数, N 为传输的数据总位数。

5. 信道延迟

信号沿信道传输需要一定的时间,即信道延迟。信道延迟=计算机的发送和接收处理时间+传输介质的延迟时间+发送设备和接收设备的响应时间+通信设备的转发和等待时间。信道延迟越小,则通信系统的性能越高。

3.1.5 多路复用

数据通信系统中,信道的带宽或容量往往超过传输单一信号的需求。为了有效地利用通信线路,可以使用多路复用技术(Multiplexing)将多个数据流在一条物理链路上传输。常见的多路复用技术包括频分多路复用 FDM、时分多路复用 TDM、波分多路复用 WDM、码分多路复用 CDM。

远距离传输系统中使用多路复用技术可大大节省电缆的安装和维护费用。

1. 频分多路复用

频分多路复用(Frequency-Division Multiplexing, FDM),是指物理信道的载波带宽被划分为多种不同频带的子信道,每个子信道可以并行传送一路信号,如图 3-3 所示。

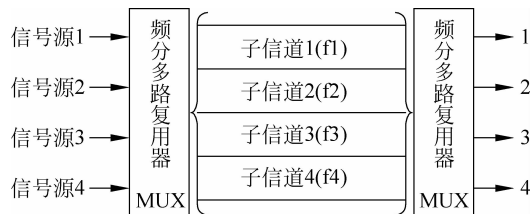


图 3-3 频分多路复用示意图

FDM 比较适合于传输模拟信号,常用于模拟传输的宽带网络中。宽带网络中信道的可用频带被分成若干个互不交叠的频段,每路信号用其中一个频段传输,再用频分多路复用器将信道上的多路信号分离,送给不同的信宿接收。

2. 时分多路复用

时分多路复用(Time-Division Multiplexing, TDM),是将物理信道的传输时间分为许多时间片(又称为时隙),而将若干个时隙组成时分复用帧,用帧中某一固定序号的时隙组成一个子信道,每个子信道传输一路信号。

时分多路复用又分为同步时分(Synchronous TDM, STDM)和异步时分(Asynchronous

TDM,ATDM)。同步时分指多个发送端以固定的时隙分配信道,如图 3-4 所示;异步时分又称统计时分复用,它能动态地按需分配时隙:只给想发送数据的发送端分配其时隙段,当用户暂停发送数据时,则不给它分配时隙,以避免每个时隙段中出现空闲时隙。TDM 技术广泛应用于包括计算机网络在内的数字通信系统。

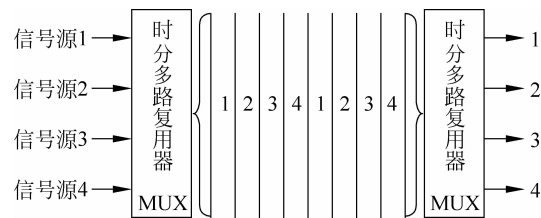


图 3-4 同步时分多路复用示意图

3. 波分多路复用

波分多路复用(Wave-Division Multiplexing,WDM),是在同一根光纤中同时传输两个或众多不同波长光信号的技术。WDM 将多个不同波长的光信号在发送端经合波器(Multiplexer)汇合在一起,并耦合到同一根光纤中进行传输,在接收端,经分波器(Demultiplexer)将各种波长的光载波信号分离,然后由光接收机作进一步处理以恢复原始信号。WDM 极大地提高了光纤的传输容量,是当前光纤通信网络扩容的主要手段。

4. 码分多路复用

码分多路复用(Code-Division Multiplexing,CDM),又称码分多址。我们常说的CDMA 就是码分多路复用接入。每个用户可在同一时间使用同样的频带进行通信,但使用的是基于码型的分割信道的方法,即为每个用户分配一个地址码,各个码型互不重叠,通信各方之间不会相互干扰。码分多路复用主要用于无线通信系统,特别是移动通信系统。它不仅可以提高通信的语音质量和数据传输的可靠性以及减少干扰对通信的影响,而且增大了通信系统的容量。

3.2 数据传输方式

数据传输方式是指数据在信道上传递的方式。按被传输的数据信号的特点,可分为基带传输、频带传输和宽带传输;按数据传输的顺序可分为并行传输和串行传输;按数据传输的流向和时间可分为单工、半双工和全双工传输;按数据传输的同步方式可分为同步传输和异步传输。

3.2.1 基带传输、频带传输与宽带传输

1. 基带传输

基带传输是指在信道中直接传送基带信号,传输介质的整个信道被一个基带信号占用。

基带传输不需要调制解调器,设备花费小,具有速率高和误码率低等优点;但是,数字基带直接传送数字,传输的速率愈高,传输的距离愈短。因此,基带传输比较适合短距离传输,如音频市话、计算机和外设间的传输、大多数局域网的信号传输。常见的网络设计标准10Base-T使用的就是基带传输。

2. 频带传输

频带传输是先将基带信号变换(调制)成便于在模拟信道中传输的、具有较高频率范围的频带信号,再将这种频带信号在模拟信道中传输。计算机网络的远距离通信通常采用的是频带传输。

频带传输能克服基带传输同频带过宽的缺点,提高线路的利用率;但是需要在发送端和接收端增加信号频率变换设备(调制解调器),费用相应增加。家庭用户拨号上网就属于这一类通信。

3. 宽带传输

宽带传输是指利用频分多路复用技术,将信道容量分解成两个或更多的信道,每个信道可以携带不同的信号,所有信道都可以同时发送信号,这就是宽带传输。宽带传输数据传输速率范围为 $0\sim 400\text{Mb/s}$,而通常使用的传输速率是 $5\sim 10\text{Mb/s}$ 。宽带传输优点是多路复用,信道容量大大增加;相比基带传输,宽带传输距离较远,可达几十千米。网络通信中广泛采用宽带传输技术。

3.2.2 并行传输与串行传输

1. 并行传输

并行传输是构成字符的多个数据位在并行信道上同时传输的方式。例如,8位代码的字符要用8条信道并行同时传输,还可附加一位数据校验位(如图3-5),一次即可传一个字符,收、发双方不存在字符同步问题。并行传输速度快,但信道多、投资大,主要用于近距离通信,不适于做较长距离的通信。最典型的例子是计算机和并行打印机之间的通信,网络传输中很少采用。

2. 串行传输

串行传输是构成字符的二进制代码在一条信道上逐位传输的方式。按位发送,逐位接收,需要进行串并转换(如图3-6);同时还要确认字符,所以要采取同步措施。串行传输速度虽慢,但只需一条传输信道,投资小,易于实现,对于覆盖面极其广阔的公用电话系统来说具有更大的现实意义。

串行传输是计算机网络通信采取的一种主要方式。

3.2.3 异步传输与同步传输

在串行传输中,通信双方收发数据序列必须在时间上取得一致,这样才能保证接收的数据与发送的数据一致(即同步),有两种不同的同步方法。

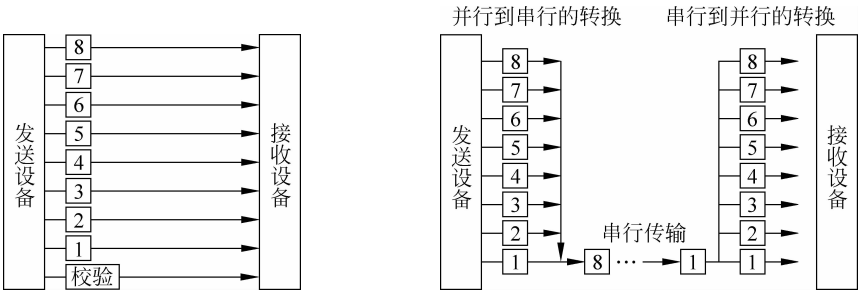


图 3-5 并行传输示意图

图 3-6 串行传输示意图

1. 异步传输

在异步传输中,被传输的任何两个字符之间间隔时间可以不同,但在一个字符时间之内,收发双方各数据位必须同步。发送方每传送一个字符都要在字符前加 1 个起始位,表示字符的开始,在字符代码和校验码后加 1 或 2 个停止位,表示字符的结束;接收方根据起始位或停止位判断一个字符开始或结束。这种传输方式又称为起-止式同步。

异步传输是面向字符的传输,传输的单位是字符;异步传输对时序的要求较低,每个字符之间的时间间隔是任意的;由于每个字符都需要多使用 2 或 3 个二进制位,增加了通信的开销,因而传输效率较低,适合于低速通信。

2. 同步传输

同步传输是面向比特的传输,传输的单位是带格式的数据块(帧)。在数据块之前先发送一个或多个同步字符 SYN,用于接收方进行同步检测,从而使通信双方进入同步状态;在同步字符之后,可以连续发送多个字符或数据块,发送完毕,再使用同步字符来标识整个发送过程结束。

同步传输通常要比异步传输快得多,因为接收方不必对每个字符进行开始和停止的操作。一旦检测到帧同步字符,它就在接下来的数据到达时接收它们。另外,同步传输的开销也比较少,适合于高速通信。

3.2.4 单工、半双工和全双工传输

在数据通信系统中,根据通信双方的分工和数据传输方向可将数据传输方式分为三种:单工、半双工和全双工,如图 3-7 所示。在计算机网络中主要采用双工方式。

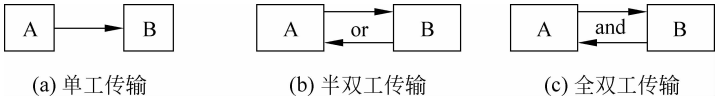


图 3-7 单工、半双工和全双工传输

1. 单工传输

单工传输只支持数据在一个方向上传输,任何时候都不能改变传输方向。例如,在家中收看电视节目。单工传输不适用于网络通信系统。

2. 半双工传输

半双工传输是指接收与发送共用一个载波信道,数据可以沿两个方向传送,但同一时刻只能发送或只能接收数据的传输方式。它实际上是一种切换方向的单工通信。

由于这种方式要频繁变换信道方向,故效率低,但可以节约传输线路。早期的对讲机以及早期集线器等设备都是基于半双工传输的产品。随着技术的不断进步,半双工传输会逐渐退出历史舞台。

3. 全双工传输

全双工传输是指在发送数据的同时也能够接收数据,两者同步进行,就像我们平时打电话一样,说话的同时也能够听到对方的声音。全双工数据传输是通过两个信道完成的,它相当于将两个方向相反的单工通信方式组合起来。

全双工传输效率高,控制简单,但造价高,适用于计算机之间的通信。目前的网卡、交换机一般都支持全双工传输。

3.3 传输介质及其主要特性

传输介质分为有线和无线两大类。双绞线、同轴电缆和光纤是常用的三种有线传输介质;无线电、微波、红外以及激光则属于无线传输介质。传输介质的特性对网络数据通信质量有很大影响,应根据需要正确选择。

3.3.1 双绞线

双绞线是指两根螺旋状绞在一起的绝缘铜线,多个线对再按照一定的组距绞在一起。多个双绞在一起的线对外面包裹着一层绝缘防护套,即构成双绞线电缆。计算机网络中双绞线一般用于数字信号传输。

双绞线电缆分为非屏蔽双绞线和屏蔽双绞线。屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair, STP)的每个线对带有屏蔽层(图 3-8(a)),所以抗干扰性好,性能高,用于远程中继线时,最大距离可以达到十几千米;但 STP 成本较高,所以一直没有广泛使用。屏蔽电缆在欧洲国家应用比较广泛。

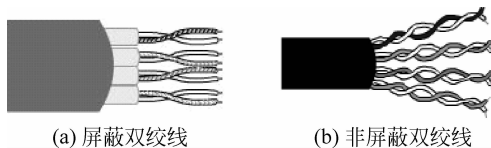


图 3-8 双绞线

非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP)是指不带屏蔽层的电缆,表皮内包含的线对数量不定,但最常见的是 4 对,每一线对都由特定的颜色代码标识(图 3-8(b))。常见的 UTP 电缆包括 5 类、超 5 类以及 6 类线,传输距离一般不超过 100 米。由于 UTP 电缆成本低、带宽高,而且安装容易,目前在局域网中被广泛使用。如标准以太网 10BASE-T 和快速以太网 100BASE-T 就是使用 UTP 的,分别提供 10Mb/s 和 100Mb/s 的传输速率。

3.3.2 同轴电缆

同轴电缆由“同轴”的内外两个导体组成,最里层是内芯,向外依次为绝缘层、屏蔽层、塑料外套,内芯和屏蔽层构成一对导体。如图 3-9 所示。同轴电缆分为基带同轴电缆(阻抗 50Ω)和宽带同轴电缆(阻抗 75Ω)。

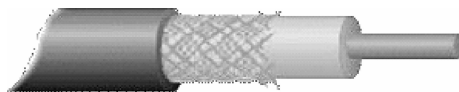


图 3-9 同轴电缆

基带同轴电缆又可分为粗缆和细缆两种,都用于直接传输数字信号,数据传输速率最高可达 10Mb/s。基带 50Ω 电缆每段可支持几百台设备,在大系统中还可以用转接器将各段连接起来,最大距离限制在几千米,在同样数据速率条

件下,粗缆的传输距离较细缆的长。

宽带同轴电缆用于频分多路复用的模拟信号传输,也可用于不使用频分多路复用的高速数字信号和模拟信号传输。宽带 75Ω 电缆可以支持数千台设备,但在高数据传输率下(50Mb/s)使用宽带电缆时,设备数目限制在 20~30 台。宽带电缆的传输距离可达几十千米。闭路电视所使用的 CATV 电缆就是宽带同轴电缆。在同轴电缆上使用频分多路复用技术可以支持大量的视、音频通道。

与双绞线相比,同轴电缆的抗干扰能力强,数据传输能力大,但是由于同轴电缆安装和维护麻烦,而且成本更高,大多数局域网仍使用双绞线作为其首选的传输介质。

3.3.3 光导纤维

光导纤维简称光纤,由能传导光信号的石英玻璃纤维加保护层构成。光纤不受电磁干扰的影响,适于干扰很强的环境中;光纤支持很高的带宽,数据传输率可达 Gb/s 级;传输距离达数十千米,十分适合于高速数据主干线。每条光纤线路实际上都包含两根光缆。一根用于发送,另一根用于接收,如图 3-10 所示。

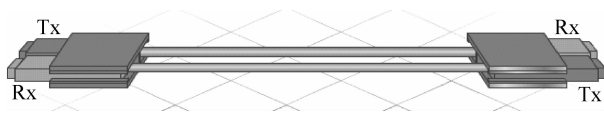


图 3-10 光纤线路示意图

光纤分为单模光纤和多模光纤两种,两种光纤工作在不同的波长区。光纤有三个工作波长区: $0.85\mu\text{m}$ (微米)、 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波长区。其中 $0.85\mu\text{m}$ 波长区为多模光纤通信方式, $1.55\mu\text{m}$ 波长区为单模光纤通信方式, $1.3\mu\text{m}$ 波长区有多模和单模两种方式。

单模光纤具备 $10\mu\text{m}$ 的芯径,只能传一种光,且光束只能沿纤芯直线通行,如图 3-11(a) 所示。单模光缆的光源通常为 LED 激光,另外,单模光纤怕弯曲,对熔接要求较高,很容易产生附加损耗。单模光纤成本高,数据传输快,传输距离长,约为 3000 米,通常用于主干、大容量、长距离的系统。

多模光纤的纤芯直径为 $50\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$,可传输多种光,光信号在纤芯内折线通行,如图 3-11(b) 所示。多模光纤生成光脉冲的光源一般是 LED 可见光,其成本较低,性能比单模光纤差。但由于多模光纤易于安装和维护,成本低,广泛应用于小容量、短距离的系统中,一般适用于长度在 2000 米以内的链路。



图 3-11 光纤结构示意图

3.3.4 无线传输媒体

无线传输媒体不需要架设或铺埋线缆,比较适合于特殊场合下的数据传输。目前常用的无线媒体有无线电波、微波、红外线和激光。

微波是无线电波的一种,微波通信的载波频率为 $2\sim 40\text{GHz}$ 范围。由于工作频率很高,与通常的无线电波不一样,微波是沿直线传播的。直接传播的距离与天线的高度有关,天线越高传播距离越远,超过一定距离后就要用中继站来接力。由于地球表面是曲面,微波在地面的传播距离有限。

红外通信和激光通信也像微波通信一样,有很强的方向性,都是沿直线传播的。这三种技术都需要在发送方和接收方之间有一条视线通路,故它们统称为视线媒体。所不同的是,红外通信和激光通信把要传输的信号分别转换为红外光信号和激光信号直接在空间传播。

这三种视线媒体由于都不需要铺设电缆,对于连接不同建筑物内的局域网特别有用。这三种技术对环境气候较为敏感,例如雨、雾和雷电。相对来说,微波对一般雨和雾的敏感度较低。

3.3.5 传输媒体的选择

传输媒体的选择取决于以下诸因素:网络拓扑的结构、实际需要的通信容量、可靠性要求、能承受的价格范围。