

第3章 数据传输

本章首先介绍传输介质的基本知识及所涉及的相关概念,包括传输介质的类型及其特性,传输介质的选择,随后对信号与编码、传输信道及数据传输的主要技术指标等进行了讲解。通过学习,可以对计算机网络传输介质和信道传输的主要技术指标等基础知识有一定的了解。

3.1 传输介质与分类

传输介质是通信网络传送数据时发送方和接收方之间的物理通路,如果没有介质传送信息,就不存在通信网络。

不同的传输介质具有不同的传输特性,而传输介质的特性又影响着数据的传输质量。从传输系统的整体设计来看,数据传输速率越高、允许传输距离越远则为性能优选,因此要掌握各种传输介质的特性,正确选择传输介质。

计算机网络中采用的传输介质可分为有线传输介质和无线传输介质两大类。在有线传输介质中,通信信号沿着固体媒体(如光纤或铜线)传播,无线传输介质则是运用大气和外层空间作为传播通信信号的通路。有线传输介质中双绞线、同轴电缆和光纤是常用的3种有线传输介质。无线电通信、微波通信、红外通信以及激光通信的信息载体等都属于无线传输介质。传输介质的分类如图3-1所示。

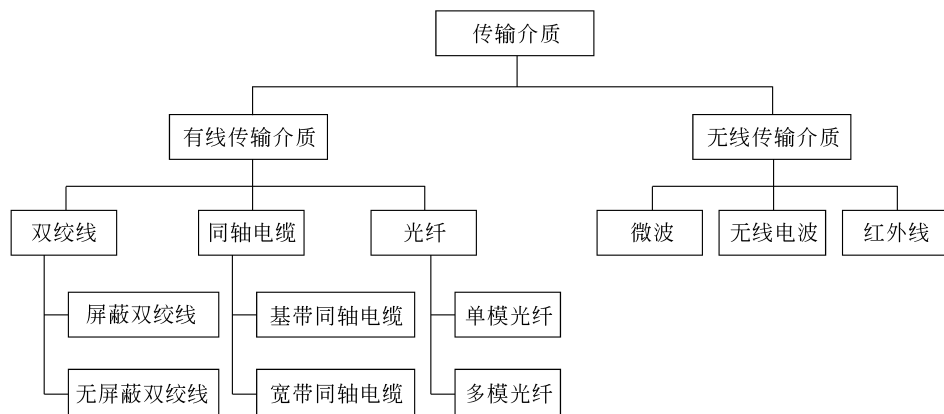


图 3-1 传输介质的类型

3.1.1 有线传输介质及其特性

1. 双绞线

双绞线(Twisted-Pair Cable)是最常用的传输介质,使用最广泛、价格低廉,用于早期电话的模拟信号传输,也可用于数字信号的传输。双绞线由螺旋状扭在一起的两根绝缘导线

组成,绝缘导线对扭在一起可以减少相互间的辐射电磁干扰。双绞线又分为两种,屏蔽双绞线和无屏蔽双绞线。

1) 无屏蔽双绞线

无屏蔽双绞线(Unshielded Twisted-Pair Cable,UTP)是目前电信中最常使用的传输介质。用于市区电话系统,它的频率范围对于传输数据和声音都很适合,一般为 100Hz~5MHz。双绞线由两个导体(通常是铜线)组成,外面是不同颜色的绝缘层,两根导线扭在一起再包一层绝缘层,组成电话线缆。绝缘层保证两根铜导线不接触,以免一条电话线的信号干扰其他电话线的信号。大多数使用电话线实际上有 4 根导线,即两条电话线与电话局相连。如果一条电话线有问题可以使用另一条电话线,如图 3-2 所示。

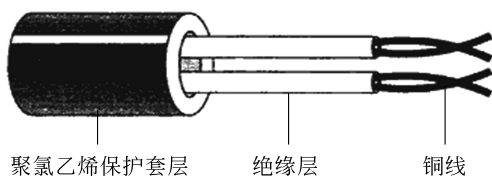


图 3-2 双绞线

UTP 的优点是成本低、容易应用。UTP 很便宜、柔软易弯曲、容易安装,但是抗干扰能力比较弱。应用在以太网、令牌环网等许多局域网技术中。

EIA 标准将 UTP 分成了 5 种类型。

- (1) 1# UTP。基本双绞线,应用在电话系统,通话质量较好,但是通信的速率较低。
- (2) 2# UTP。适合于传输声音和数据,传输速率在 4Mb/s 以上。
- (3) 3# UTP。主要用在电话系统中,对于数据传输,传输速率在 10Mb/s 以上。
- (4) 4# UTP。传输速率可以达到 16Mb/s。
- (5) 5# UTP。对于数据传输,传输速率可达 100Mb/s。

2) 屏蔽双绞线

屏蔽双绞线(Shielded Twisted-Pair Cable,STP)是在双绞线的外面包上了用金属丝编织的屏蔽层,改善了双绞线的抗电磁干扰性能。STP 是将双绞线放在由金属导线包裹,用于吸收干扰的外包材料内,然后再将其包上外皮,比无屏蔽双绞线的抗干扰能力更强,传送数据更可靠,如图 3-3 所示。

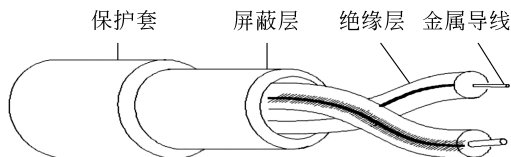


图 3-3 屏蔽双绞线

3) 双绞线的主要特性

- (1) 物理特性。双绞线芯一般是铜质的,能提供良好的传导率。
- (2) 传输特性。双绞线既可以用于传输模拟信号,也可以用于传输数字信号,最常用于声音的模拟传输。双绞线带宽可达 268kHz,而一条全双工语音通道的标准带宽是 300Hz~

4kHz,因而可以使用频分多路复用技术实现多个语音通道的复用。双绞线也可用于局域网,局域网中常用的 5 类双绞线电缆均由 4 对双绞线组成,通常用于 100Base-Tx。

(3) 连通性。双绞线普遍用于点对点的连接,也可以用于多点的连接。

(4) 地理范围。局域网的双绞线主要用于一个建筑物内或几个建筑物间的通信,在 100kb/s 速率下传输距离可达 1km,但在 10Mb/s 和 100Mb/s 传输速率下传输距离均不超过 100m。

(5) 抗干扰性。在低频传输时,双绞线的抗干扰性不亚于同轴电缆,但如果频率超过 10~100kHz,则双绞线的抗干扰能力较低。

(6) 价格。双绞线的价格比较低。

2. 同轴电缆

1) 同轴电缆的结构

同轴电缆(Coaxial Cable)由一对导体组成,可以携带较大频率范围的载波信号,其频率范围为 100kHz~500MHz,其双绞线的结构却完全不同,同轴电缆是按“同轴”的形式构成线对,最里层是内芯,向外依次为绝缘层、屏蔽层,最外层则是起保护作用的塑料外套,内芯和屏蔽层构成一对导体,如图 3-4 所示。

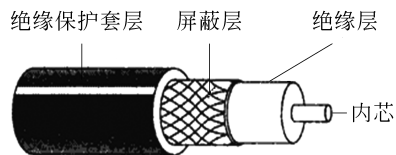


图 3-4 同轴电缆

同轴电缆分为基带同轴电缆(阻抗为 50Ω)和宽带同轴电缆(阻抗为 75Ω)。基带同轴电缆用于直接传输基带数字信号;在局域网中使用这种基带同轴电缆,可以在 2.5km 内(需加 4 个中继器),以 10Mb/s 的传输速率传送基带的数字信号。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。闭路电视所用的 CATV 电缆就是宽带同轴电缆。

2) 同轴电缆的主要特性

(1) 物理特性。同轴电缆可以工作在较宽的频率范围内。

(2) 传输特性。基带同轴电缆仅用于数字传输,使用的是曼彻斯特编码,数据传输速率最高可达 10Mb/s。宽带同轴电缆既可用于模拟信号传输又可用于数字信号传输。

(3) 连通性。同轴电缆适用于点对点或点对多点连接。

(4) 地理范围。传输距离取决于传输信号形式和传输的速率,如果传输速率相同,则粗缆的传输距离较细缆的传输距离要长。通常基带电缆的最大传输距离限制在几千米,宽带电缆的传输距离则可达几十千米。

(5) 抗干扰性。同轴电缆的抗干扰性能比双绞线强。

(6) 价格。同轴电缆的价格比双绞线高,但比光纤低。

3. 光纤

1) 光纤的结构

光纤(Optical Fiber)是一种光传输介质,是光导纤维的简称,它由能传导光波的石英玻璃纤维(或塑料纤维)外加保护层构成。与金属导线相比,具有重量轻、线径细的特点。用光纤传输电信号时,在发送端先要将其转换成光信号,在接收端要由光检测器还原成电信号。由于可见光的频率高达 10^8 MHz,因此光纤传输系统具有足够的带宽。光缆由一束光纤组装而成,用于传输调制到光载频上的信号,如图 3-5 所示。

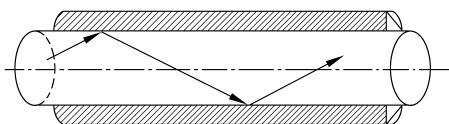


图 3-5 光波在纤芯中传播

2) 光纤的主要特性

(1) 物理特性。在计算机网络中采用两根光纤进行数据传输。

(2) 传输特性。光纤通过内部的全反射来传输一束经过编码的光信号,与双绞线和同轴电缆相比,光纤传送数据的速度相当快。光纤最低传送速率是 100Mb/s,一般可达吉比特每秒,而双绞线的最大传送速度是 100Mb/s。双绞线或同轴电缆传送电信号,而光纤传送光信号,其中一种光源是发光二极管(LED),另一种光源是激光。光纤频带很宽,传送速率极高,因此能够传送大量的数据。

(3) 连通性。光纤普遍用于点对点的链路。

(4) 地理范围。光纤可以在 6~8km 的距离内不用中继器传输,因此适合在几栋建筑物之间通过点对点的链路连接局域网络。

(5) 抗干扰性。光信号不受电磁或噪声干扰,也不会互相干扰,因此可以进行长距离数据传输;同时,它的安全性也很好。

(6) 价格。光纤的价格比双绞线和同轴电缆都高。

4. 网线选择及制作

1) 选择网线需要考虑的因素

传输介质的选择是由许多因素决定的,除受局部网络拓扑结构的制约外,其他因素也起作用。例如,某一部门已经有了通信线路,要更换这些传输介质所需费用等。如果要建立一个新网络,设计者必须考虑到购买介质的费用、传送速度、所用介质的出错率和安全性等。以下是通常需要考虑的因素。

(1) 网络容量。支持所期望的局部网络通信量。

(2) 可靠性。所建网络必须满足可用性和可靠性的要求。

(3) 支持的数据类型。根据应用环境确定所能支持的数据类型。

(4) 环境范围。保证网络环境,在所要求的环境范围内提供服务。

(5) 费用。选择网线时既要满足要求,同时也要考虑所需费用。双绞线费用最低,是应用最广的连接设备与网络的线缆。同轴电线的费用介于双绞线和光纤之间,费用最高的通信导线是光纤。

(6) 速度。双绞线的传输速率可以达到百兆比特每秒,光纤的速度最快。

(7) 出错率。双绞线和同轴电缆相比,更容易受电磁和电流波动的影响,抗干扰能力弱,光纤不受电磁干扰,误码率低。微波传送,受天气的影响较多。

(8) 安全性。双绞线和同轴电缆都使用铜导线,因而容易被窃听,而从光纤上窃取数据则很困难。无线电或微波传送也存在安全隐患。

2) 网线的制作

(1) 双绞线的制作与应用。将两根具有绝缘保护层的导线按一定的密度互相缠绕在一起形成一个线对,以降低信号的干扰。常用的双绞线由 4 个线对扭转在一起,铜导线的直径

为 0.4~1mm,扭绞方向为逆时针,绞距为 3.81~14cm,这些线对被标示了不同的颜色,如表 3-1 所示。

表 3-1 导线色彩编码

线对	1	2	3	4
色彩码	白蓝、蓝	白橙、橙	白绿、绿	白棕、棕

要使双绞线能够与网卡、集线器、交换机等设备相连,还需要 RJ-45 接头,在制作接头时,必须符合国际标准,美国电子工业协会和美国电信工业协会(TIA)制定的双绞线制作标准 T568A 和 T568B 中对线序排列有明确规定,如表 3-2 所示。

表 3-2 线序标准

引脚号	1	2	3	4	5	6	7	8
T568A 标准	白绿	绿	白橙	蓝	白蓝	橙	白棕	棕
T568B 标准	白橙	橙	白绿	蓝	白蓝	绿	白棕	棕

(2) 同轴电缆的制作与网络。首先根据需要剪裁一定长度的同轴电缆,使用剥线钳剥去适当长度的外皮、屏蔽层、绝缘层等部分,并将 BNC 连接器装在同轴电缆的端口,然后插在 T 型接头上。设备连接完成后,在同轴电缆的两端一定要加上端接匹配器。

(3) 光纤的制作。常用的光纤有 8.3μm 芯 125μm 外层单模、62.5μm 芯 125μm 外层多模、50μm 芯 125μm 外层多模和 100μm 芯 140μm 外层多模。在使用光纤互连多个设备时,必须考虑光纤的单向特性,如果要进行双向通信,就应该使用双股光纤。

安装光纤时需要特别注意,所用光纤端头都要磨光,通过电烧烤或其他方法将光学接口连在一起,确保光通道不被阻塞。在敷设光纤时,不能拉得太紧,也不能形成直角。光纤的连接方法主要有永久性连接、应急连接、活动连接。

① 永久性连接(又叫热熔),是使用放电的方法将两根光纤的连接点熔化并连接在一起。其主要特点是连接衰减最低,但连接时需要专用设备(熔接机)和专业人员进行操作,而且连接点也需要专用容器保护起来。

② 应急连接(又叫冷熔),应急连接是将两根光纤固定并粘接在一起。主要特点是连接迅速可靠,但连接点长期使用会不稳定,衰减大幅度增加,所以只能短时间内应急使用。

③ 活动连接,利用各种光纤连接器件(插头和插座),将站点与站点或站点与光纤连接起来的一种方法。这种方法灵活、简单、方便、可靠,在实际使用光纤连接设备时,应注意其连接器型号。

3.1.2 无线传输媒体及其特性

无线传输媒体通过空间传输,不需要架设或敷设电缆或光纤,目前常用的无线传输媒体有无线电波、微波、红外线和激光等。

1. 无线电波

便携式计算机的出现,以及在军事、野外等特殊场合下移动式通信连网的需要,促进了数字化无线移动通信的发展,出现无线局域网产品。

无线电波是全向传播,不同的频段可以用于不同的无线电通信。例如无线电广播,包括调频广播和调幅广播等,只要收音机能够接收到当地广播电台的信号就能够收到电台的广播,电视天线无论指向哪里都能够接收到电视信号,如果调整电视天线使其直接指向发送台的方向则可以接收到更清晰的图像。

调幅(AM)比调频(FM)使用的频率低得多,频率低的信号更易受到大气的干扰,但传送的距离远;短波和民用波段无线电广播也都使用很低的频率,能够远距离传送信号;电视台则用较高的频率传送图像和声音的混合信号,电视频道不同就是传送信号的频率不同,电视机在每个频道以不同频率接收不同的信号。

- (1) 频率范围为 30~300Hz 的是低频长波。
- (2) 频率范围为 300~3MHz 的是中频中波,通常用于中波通信。
- (3) 频率范围为 3~30MHz 的是高频短波,用于短波通信。它是利用地面发射无线电波,通过电离层的多次反射到达接收端的一种通信方式。
- (4) 频率范围为 30~300MHz 的是甚高频(VHF)。
- (5) 频率范围为 300~3000MHz 的是特高频(UHF),电磁波可穿过电离层,不会因反射而引起干扰,可用于数据通信。具体频段名称等如表 3-3 所示。

表 3-3 无线电波频段和波段名称

频 段 名 称	频率范围/Hz	波 段 名 称	波长范围/m
极低频(ELF)	3~30	极长波	$10^8 \sim 10^7$
超低频(SLF)	30~300	超长波	$10^7 \sim 10^6$
特低频(ULF)	300~3000	特长波	$10^6 \sim 10^5$
甚低频(VLF)	$3 \sim 3 \times 10^4$	甚长波	$10^5 \sim 10^4$
低频(LF)	$30 \sim 3 \times 10^5$	长波	$10^4 \sim 10^3$
中频(MF)	$300 \sim 3 \times 10^6$	中波	$10^3 \sim 10^2$
高频(HF)	$3 \sim 3 \times 10^7$	短波	$10^2 \sim 10$
甚高频(VHF)	$30 \sim 3 \times 10^8$	超短波	$10 \sim 1$
特高频(UHF)	$300 \sim 3 \times 10^9$	分米波	$1 \sim 0.1$
超高频(SHF)	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^{10}$	厘米波	$0.01 \sim 0.1$
极高频(EHF)	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^{11}$	毫米波	$0.001 \sim 0.01$

2. 微波

微波的传送是单向的,并且信号沿直线传播。所以传送信号时一个微波站的天线必须指向另一个微波站。微波信号受雨雪等天气环境和微波站之间障碍物的影响较大。微波传送有地面微波传送和卫星微波传送。

1) 地面微波

地球上两个微波站之间的微波传送方式叫地面微波传送。微波通信的载波频率很高,可同时传送大量信息,如一个带宽为 2MHz 的频段可容纳 500 条话音线路,用来传输数字数据,速率可达数兆比特每秒。微波通信的工作频率很高,与通常的无线电波不同,它是利

用无线电波在对流层的视距范围内沿直线传播的。由于地球表面是曲面,而微波沿直线传播,这就给传送微波的地面微波站带来了问题,因此微波在地面的传播距离有限。通常可以增加天线高度提高传输距离,天线越高传播距离越远,一般两个微波站之间的通信距离为30~50km,超过一定距离后就要用微波中继站来接力。每个中继站的主要功能是变频和放大,这种通信方式称为微波接力通信。

微波传送是当今远程通信最常用的形式,长途电话和数据通信都使用这种介质。微波通信可传输电话、电报、图像、数据等信息,其主要特点如下。

(1) 微波波段频率高,信道容量大,传输质量比较平稳,但受天气影响较大。

(2) 与电缆通信相比,微波接力信道灵活性大,抗灾能力较强,特别适合不易架设线缆的地区;但通信隐蔽性和保密性不如电缆通信。

2) 卫星微波

通信卫星是太空中的大型微波发送器和接收器,当利用地球同步卫星做中继来转发微波信号时,克服了地面微波通信的距离限制,一颗地球同步卫星可以覆盖1/3以上的地球表面。从理论上讲,3颗这样的卫星就可以覆盖地球上全部的通信区域,通过它,各个地面站之间都可进行互相通信。由于卫星信道频带宽,也可采用频分多路复用技术将其分为若干子信道,有些用于由地面站向卫星发送(称为上行信道),有些用于由卫星向地面转发(称为下行信道)。地面站接收或发送数据与卫星配套使用。地面站与卫星之间的微波传送也用视线法则,只是传送距离不同而已。卫星在与地球相对静止的同步轨道上运行,固定在地球上方的某一位置,从卫星上发出的信号只能到达地面特定的区域,微波的视线传送到地球表面产生一个覆盖区,地面站只有在覆盖区内才能接收卫星传送的信号。卫星将地面上地对空通信的信号由转发器接收、放大,改变频率(因为向地球传送必须使用不同的频率,以防止发出信号与接收信号相互干扰)后再将信号传回地面。

卫星通信的优点是容量大、传输距离远;缺点是传播延迟长,对于数百千米高度的卫星来说,从发送站通过卫星转发到接收站的传播延迟数百毫秒,这相对于地面电缆的传播延迟来说,两者要相差几个数量级。

3. 红外线技术

像微波通信一样,红外通信和激光通信也有很强的方向性,都是沿直线传播的。这3种技术都需要在发送方和接收方之间存在一条视线(Lind of Sight)通路,故它们统称为视线媒体。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3种视线媒体由于都不需要敷设电缆,对于连接不同建筑物内的局域网特别有用。这3种技术对环境气候较为敏感,例如雨、雾和雷电。

3.2 信号与编码

数据通信是计算机技术与通信相结合的一种通信方式和业务。数据通信实际上是大家在共享信息,这个共享可以是本地的,也可以是远程的。数据通信是指依照通信协议,在两个设备之间利用传输介质进行的数据交换。它可实现计算机与计算机、计算机与终端以及终端与终端之间的数据信息传递。它是计算机网络的实现基础,也是信息社会不可或缺的一种高效通信方式。数据通信包含两方面的含义:数据的传输和数据的处理。数据传输是

数据通信的基础,而数据处理使数据的远距离交换得以实现。

现代通信技术是借助电子和电气设备以及光等介质,在两点之间以符号和字符形式进行信息交换与传送,因此数据通信就是将数据用电信号或光信号表示,再通过传输媒体正确地传输给接收者。为此,需要通过信道来传输数据信号,而信道并不是完全理想的,存在着传输失真和噪声干扰等问题,会使数据信号发生差错,因此要进行必要的差错控制。同时,为了使整个数据通信过程能按一定的规则有序进行,通信双方必须建立共同遵守的协议并具有执行这些协议的功能,只有这样才能实现有意义的数据通信。

3.2.1 信号及其转换

1. 数据信号的基本概念

1) 数据

“数据”的含义非常广泛,人们几乎每天都要见到,例如各种实验数据,各类统计报表等。人们通常用数字或字母(符号)来表示数据,因此它是一个有意义的实体。可以说,数据是预先约定的具有某种含义的数字或字母(符号)或它们的组合。数据涉及事物的表示形式,是信息的载体,而信息则是数据的内容和解释。例如,人们约定用负电压表示二进制数字“0”,用正电压表示二进制数字“1”,这里数字“0”和“1”就是数据。

数据可以分为模拟数据和数字数据两种。

(1) 模拟数据。模拟数据是在某个区间产生连续的值,像声音和视频等。大多数用传感器收集的数据,例如温度和压力,都是连续值。

(2) 数字数据。数字数据指产生离散的值,例如文本信息和整数。

2) 信号

信号是数据的电磁或电子编码,信号发送是指沿传输介质传播信号的动作。在通信系统中,利用电信号把数据从一个点传到另一个点。从信号的形式上分,信号可以分为模拟信号和数字信号两种。

(1) 模拟信号。表示模拟数据的信号称作模拟信号。模拟信号在时间上和幅度数值上都是连续的,是一种连续变化的电磁波,如图 3-6 所示。这种电磁波可以按照不同频率在各种介质上传输。大多数用传感器收集的是温度和压力、语音这样的数据,它们都是连续变化的模拟信号。

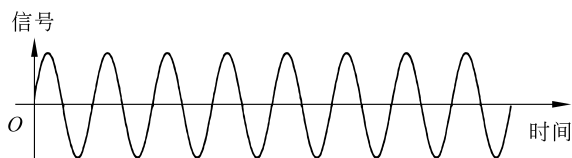


图 3-6 模拟信号的波形

(2) 数字信号。数字信号是表示数字数据的信号。数字信号是一种离散的脉冲序列。例如计算机所使用的二进制代码“0”和“1”,如图 3-7 所示。计算机中传输的就是典型的数字信号。人们常用位的间距和位的速率来描述数字信号。位的间距是指发送一个信号位所需要的时间。位速率是指每秒传输的位数,单位为比特每秒(bit per second, bps)。

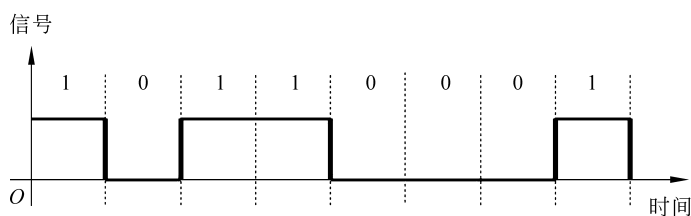


图 3-7 数字信号的波形

3) 信道

各种数据终端设备要交换数据,就要传输信号,信道就是传送信号的通路。通常分为物理信道和逻辑信道。物理信道是指用来传送信号的物理通道,网络中两个结点的物理通路也称为通信链路,由传输介质及相应的中间通信设备组成。通常所说的信道是指物理信道,而逻辑信道是指在物理信道的基础上,由结点内部或结点之间建立的连接来实现的,在信号的发送方和接收方之间并不存在物理传输介质的信道,因此通常也把逻辑信道称为连接。信道可按不同方式进行分类。例如按传输介质不同可分为有线信道和无线信道;按允许通过的信号类型不同,可以分为模拟信道和数字信道,等等。

需要注意的是,信道和电路的概念和含义是不同的,信道通常是表示向某一个方向传送数据的介质,可以被看成是电路的逻辑部件,而一条电路至少包含一条发送(或接收)信道。

2. 模拟信号与数字信号的转换

数字信号和模拟信号都可用于数据通信,但是它们之间的差异明显,用途也各不相同。数字信号的变化非常明显,没有中间的变化过程,模拟信号既有信号大小的逐渐变化又有频率的变化。不同的传送技术和网络使用的信号类型也不同。电话网络传送的是模拟信号,如果用其传送数字信号就必须进行模数转换。如果使用数字网络(如 DDN)就不用将数字信号转换成模拟信号。

模拟数据和数字数据都可以用模拟信号和数字信号表示,因而也可以用这些形式来传输,如图 3-8 所示。

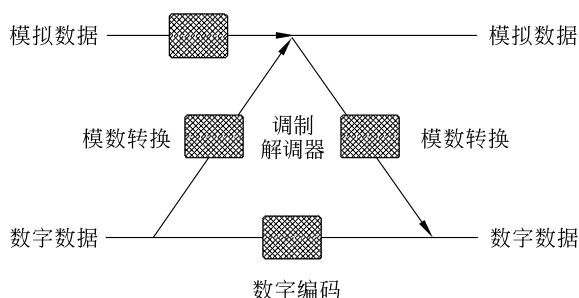


图 3-8 模拟数据和数字数据的对应关系

模拟信号和数字信号在传输介质上进行传输时,为取得较好的传输质量,采用了不同的信道(数字信道和模拟信道)和不同的信号变换技术。数字信道主要用于传输数字信号。模拟信道主要用于传输模拟信号。

1) 数字信号转换为模拟信号

有时候,人们需要将计算机中的数字信号通过传输介质转换为模拟信号进行传输。例如,某个计算机的数据要通过公用电话网传输到另外一个地方,因为计算机的数据是数字的,而公用电话线传输的数据是模拟信号,那么计算机所产生的数字数据必须转换为模拟信号进行传输。数字数据采用调制的方法转换为模拟信号的过程,如图 3-9 所示。

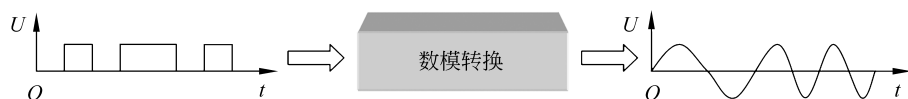


图 3-9 数字信号转换为模拟信号

数字信号可以利用调制解调器转换成模拟信号,所产生的信号占据以载波频率为中心的某一频谱。大多数调制解调器都用语音频谱来表示数字数据,因此数字数据能在普通的音频电话线上传输。在线路的另一端,调制解调器再把载波信号解调还原成原来的数字数据。

将数字信号转换为模拟信号的方法称为调制。可以通过调制解调器来进行调制和解调,调制的基本方法主要有振幅、频率和相移 3 种。

(1) 幅移键控法 (Amplitude-Shift Keying, ASK), 又称调幅 (AM Amplitude Modulation), 是用载波频率的不同幅度来表示两个二进制值, 如图 3-10 所示。

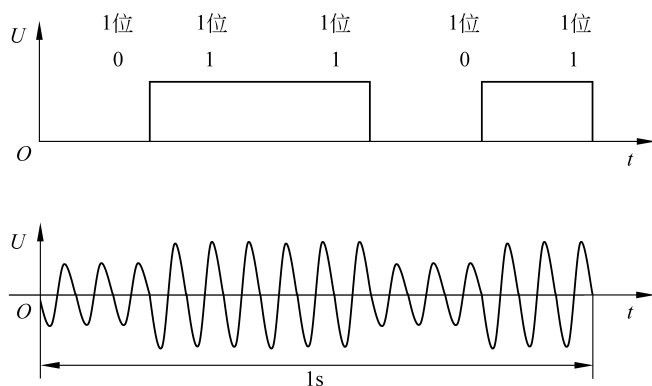


图 3-10 幅移键控

(2) 频移键控法 (Frequency-Shift Keying, FSK), 又称调频 (Frequency Modulation, FM), 是用不同的载波频率(相同的幅度)来表示两个二进制值, 如图 3-11 所示。

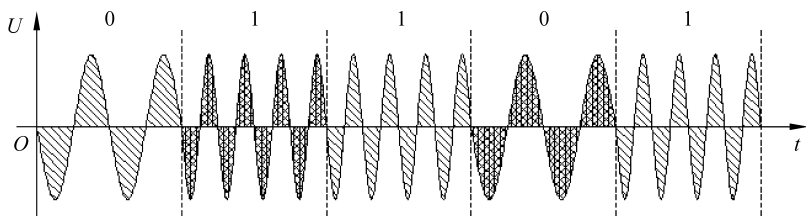


图 3-11 频移键控

(3) 相移键控法(Phase-Shift Keying, PSK), 又称相位调制(Phase Modulation, PM), 用不同的相位角度(相同的幅度)来表示两个二进制值, 如图 3-12 所示。信号的差异在于相移, 而不是频率或振幅。通常情况下, 一个信号的相移是相对于前一个信号而言的。

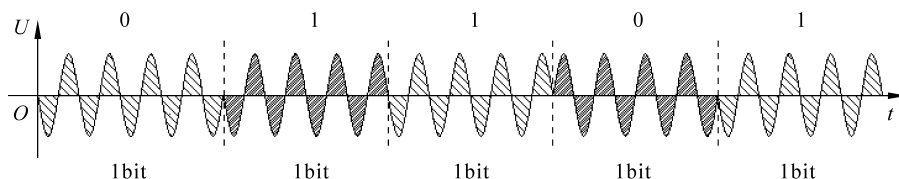


图 3-12 相移键控

(4) 正交调幅(Quadrature Amplitude Modulation, QAM), 正交调幅是为每位分配一个给定振幅和相移的组合信号。即假设使用两种不同的振幅和 4 种不同的相移。把它们结合起来可定义 8 种不同的信号, 如图 3-13 所示。

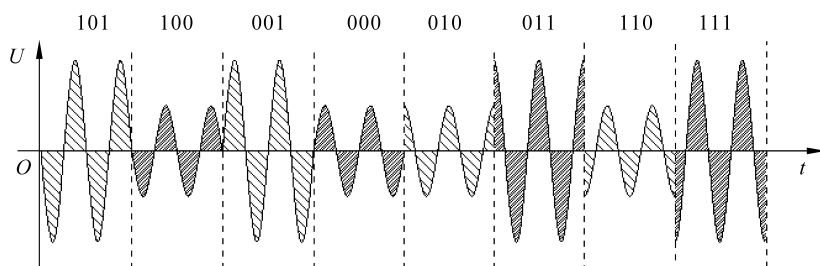


图 3-13 正交调幅

2) 模拟数据转换为数字信号

模拟数据也可以用数字信号表示, 又称模数转换或解调, 它是从载波频段变换到基带, 再通过编码解码器来实现。对于声音信号来说, 编码解码器直接接收声音的模拟信号, 然后用二进制流近似地表示这个信号。数字化模拟信号的方法主要有两种。现在主要采用脉码调制方法。

(1) 脉幅调制(Pulse Amplitude Modulation, PAM)。PAM 的处理过程比较简单, 在将模拟数据转化为数字信号时, 按一定的时间间隔对模拟信号进行采样, 产生一个振幅等于采样信号的脉冲。图 3-14 显示了定期采样的结果。

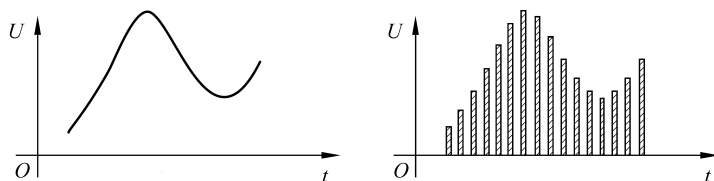


图 3-14 脉幅调制

(2) 脉码调制(Pulse Code Modulation, PCM)。脉码调制是将模拟信号转化为数字信号编码的最常见的方法, 主要用于对声音信号进行编码。PCM 的方法是指以采样定理为基础, 为采样信号分配一个预先确定的振幅。这种处理方法称为脉码调制。若对连续变化的

模拟信号进行周期性采样,只要采样频率大于或等于有效信号最高频率或其带宽的两倍,则采样值包含了原始信号的全部信息。利用低通滤波器可以从这些采样信号中重新构造出原始信号。脉冲信号具有很宽的频带,如果在带宽较窄的通信介质上传送脉冲信号,会滤去一些谐波分量,造成脉冲波形畸变而导致传输失败,此时必须将数字数据变换成一定频率范围的模拟信号才能在窄带通信介质上传送。

信号数字化的转换过程包括采样、量化和编码 3 个步骤,如图 3-15 所示。

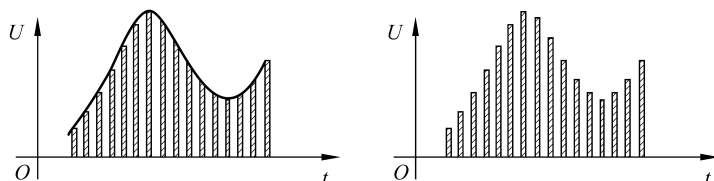


图 3-15 脉码调制

① 采样(Sampling)。采样是将一个时间连续变化的物理量转换成非连续的物理量。即以一定的时间间隔把模拟信号的瞬时值作为样本来代表原信号。设一个连续变化模拟数据的最高频率或带宽为 $F_{\max}$,根据采样定理,若取样频率大于或等于 $2F_{\max}$,则取样后的离散序列就可以无失真地恢复出原始的连续模拟信号,所以取样频率

$$F_1 = 1/T_1 \geq 2F_{\max}$$

或

$$F_1 \geq 2B_s$$

式中, T_1 为采样周期; B_s 为原始信号的带宽。

② 量化(Quantization)。量化是将连续的模拟信号变为时间上离散的值(即分级处理)的过程。将采样所得到的脉冲信号幅度按量级比较并取整再以某个最小数量单位的整数倍来表示采样值的大小。这个最小数量单位称为量化单位,量化后的最大整数倍数称为量化级。显然,量化单位越小,则量化的精度越高、量化级越大。对于语音数据,量化成 128 级就能够达到足够的精度。

③ 编码(Coding)。编码是将量化值用相应的二进制编码表示。例如量化级为 128 时,可用 7 位二进制数表示一个语音的采样值。大多数语音的频谱范围为 300~3400Hz,当取带宽是 4kHz 时,采样频率是 8000 次每秒。如果有 N 个量化级,那么每次采样将需要 $\lg N$ 位二进制码。每个采样值的二进制码组称为码字,其位数称为字长。此过程由模数转换器来实现。PCM 系统的数字化语音的量级 N 通常为 256,每次取样 $\lg N = 8$ 位(即 8 比特),每秒进行 8000 次取样,所以语音信号的数据传输率为

$$8 \times 8\text{kHz} = 64\text{kb/s}$$

量化、编码过程是将采样后离散的模拟量模数转换为数字量。采样频率越快、脉冲振幅越多,则传输的质量也就越高,价格也越贵。随着每秒传输的数据量的增加,传输速率也必须相应地提高,费用也随之上涨。

3) 模拟数据的模拟信号传输

模拟数据的模拟信号传输是指对任意的模拟信息都用模拟信号来表示,如图 3-16 所示。其方法也是采用调制的方法。

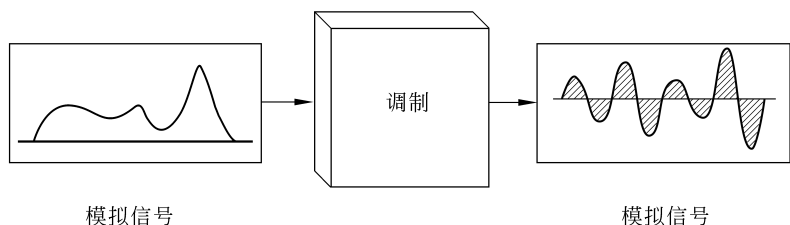


图 3-16 任意模拟信号的调制

(1) 调幅(Amplitude Modulation, AM)。在调制时,载波幅度随原始的模拟数据幅度变化而得到的信号(已调信号),而载波的频率是不变的。载波通信就是采用幅度调制的一种模拟通信方式。

(2) 调频(Frequency Modulation, FM)。在调制时,载波频率随原始的模拟数据的频率变化而得到的信号,而载波的幅度是不变的。

(3) 调相(Phase Modulation, PM)。在调制时,载波相位随原始的模拟数据的相位变化而得到的信号,而载波的幅度是不变的。

3.2.2 数据编码

数字编码是指用数字信号来表示数字信息。例如,当将计算机内的数据传输到打印机时,使用的就是数字信号,这时计算机的二进制编码“1”和“0”是由电压脉冲的方波来体现和传输的。

数字编码的目标是使经过编码的二进制信号有利于传输。下面简单介绍几种比较常见的编码方法。

1. 不归零编码

数字信号用两种不同的电压的电平脉冲序列来表示。例如,在数据表示时,将高电平定为“1”,低电平定为“0”,在传送一个二进制位时,电压是保持不变的,这种编码方式称为不归零(Non-Return to Zero, NRZ)编码,如图 3-17(a)所示。

经过不归零编码的数字信号最大的传输问题是没有同步信号,难以决定一位的结束和另一位开始,若接收方不能区分每个数据位,就不能正确接收数据,若要增加同步时钟脉冲,就要增加传输线。另外,由于脉冲序列含有直流分量,当有连续多个“1”或“0”信号时,直流分量会累积,这样就不可能采用变压器耦合方式来隔离通信设备和通信线路,不能保护通信设备的安全。因此,在数据传输时不采用这种编码的数字信号。

2. 伪三元码

伪三元码(Pseudo Ternary Encoded)采用的是多级二进制编码技术,即码元选用两个以上的信号电平,如图 3-17(b)所示。其编码规则为,二进制“0”,正负交替出现,二进制“1”无信号转换。

3. 曼彻斯特编码

在传输数字信号时可以采用曼彻斯特编码(Manchester Coding)和差分曼彻斯特编码,如图 3-17(c)、(d)所示。这两种编码都是采用了双相位技术,常用于局部网络传输。在曼彻斯特编码中,每个数据位的中心都有一个跳变,既作为时钟信号,又作为数据信号,能起到位

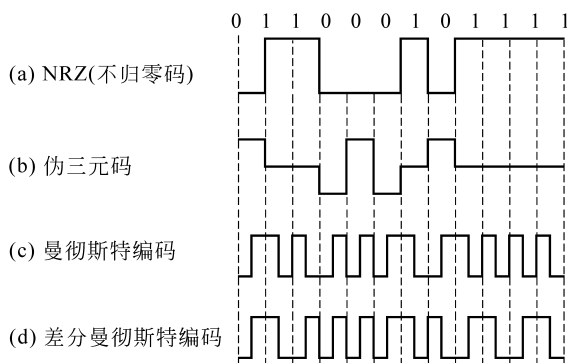


图 3-17 数字数据的数字信号编码

同步信号的作用。在曼彻斯特编码中,可以用这个跳变的方向来判断这位数据是“1”还是“0”。在本例中的编码规则是,每个二进制位的中间都有跳变;二进制“0”表示从低电平到高电平的跳变;二进制“1”表示从高电平到低电平的跳变。

4. 差分曼彻斯特编码

在差分曼彻斯特编码(Differential Manchester Coding)中,每个数据位的中心都有一个跳变,该跳变仅提供时钟定时,起到位同步信号的作用,以每位数据位的开始是否有跳变来表示这位数据是“1”还是“0”。其编码规则是,二进制“0”表示每个二进制位的开始有跳变;二进制“1”表示每个二进制位的开始无跳变。

曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码都带有数据位的同步信息,又称为自同步编码。由于这两种编码的每个数据位都有跳变,整个脉冲序列的直流分量比较均衡,因此可以采用变压器耦合方式进行电路隔离。

曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码在数据波形上携带了时钟脉冲信息,可将时钟和数据包含在信号数据流中。在传输编码信息的同时,可将时钟同步信号一起传输到对方,这种编码称为字同步编码。接收端利用这个跳变来产生接收同步时钟脉冲,因此传输速率较高。

3.3 信号的传输

3.3.1 数据传输

1. 数据的传输模式

数据的传输模式是指数据在信道上传输所用的方式。在计算机内部各个部件之间,计算机与各种外部设备之间,计算机与计算机之间都是以通信的方式传递交换数据信息。数据传输模式可以分为不同的类型,如果按数据代码传输的顺序可以分为两种基本方式:并行传输和串行传输。按数据传输的同步方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、双工和全双工数据传输。按传输的数据信号特点可分为基带传输、频带传输和数字数据传输。

2. 数据的同步传输技术

在数据通信系统中,通信系统的接收端收到的数据序列和发送端发来的数据序列在时

间上必须取得同步,以准确地进行数据传输。因此说,收发两端工作的协调一致是实现信息传输的关键。在通信过程中,接收端必须按照发送端发出的每个码元的重复频率及起止时间来接收数据,而且接收时还要不断校准时间和频率,这一过程称为同步。所谓同步就是建立系统的收发两端必须在时间上保持步调一致。在数据通信系统中主要有位(码元)同步、群(码组、帧)同步、网同步等。

(1) 位同步是数据通信系统接收数据码元的需要。位同步是使接收端对每一位数据都要和发送端保持同步。位同步可分为外同步法和自同步法。

① 外同步法是指在发送数据时,先向接收端发出一串同步时钟脉冲,接收端按照这一时钟脉冲频率和时序,在接收数据时始终与发送端保持同步。

② 自同步法是指接收端能从数据信号波形中提取同步信号的方法,最典型的自同步方法就是曼彻斯特编码。

(2) 群同步。在数据传输系统中为了有效地传递数据报文,通常还要对传输的信息分成若干组,这样,接收端要准确地恢复这些数据报文,就需要组同步、帧同步或信息包同步,这类同步统称为群同步。

对数据通信系统来说,最基本的同步是收发两端的时钟同步,这是所有同步的基础。为了保证数据准确地传递,要求接收端的定时信号频率与发送端定时信号频率相同,定时信号与数据信号间保持固定的相位关系。

3. 数据通信的方式

所谓的单工、双工等数据通信方式,是指数据传输的方向。

(1) 单工通信。这种通信方式是指通信只在一个方向上进行,即数据传输是单向的。单工通信在发送方和接收方之间有明确的方向性,如图 3-18(a)所示。

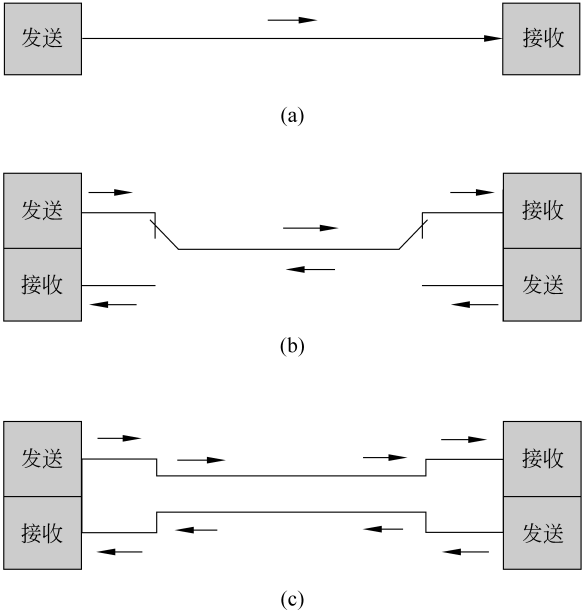


图 3-18 数据通信方式

(2) 半双工通信。这种通信方式是指通信可以在两个方向上进行,但不能同时进行传输,在任意时刻信息只能向一个方向传输,如图 3-18(b)所示。

(3) 全双工通信。这种通信方式是指通信可以在两个方向上同时进行,如图 3-18(c)所示。

4. 数字信号传输

在线路上传输二进制数据可以采用并行传输或串行传输两种模式。在并行传输时,每一个时钟脉冲有多位数据被发送,而在串行传输时,每一个时钟脉冲只发送一位数据。

1) 并行传输

并行传输(Parallel Transmission)是将 n 位由“1”和“0”组成的二进制数组成一组,在发送时 n 位同时发送,数据以成组的方式在两条以上的并行信道上同时传输,这就是并行传输。在传输过程中,使用 n 根线路同时发送 n 位信号,每一位都有其自己的线路并且同一组中的所有 n 位都能够在一个时钟脉冲从一个设备同时传送到另一个设备上。例如采用 8 位代码字符时可以用 8 条信道并行传输,另加一条“选通”线用来通知接收器,以指示各条信道上已出现某一字符的信息,接收器可对各条信道上的电压进行取样,如图 3-19 所示。

与串行传输相比,并行传输的优点在于传输速度。它可以将 n 位数据同时传输,因此提高了传输速度,此外并行传输不需要另外措施就可实现收发双方的字符同步。但是它的缺点也比较明显,即成本高。并行传输需要 n 根通信线路来传输数据,这使得并行传输只能用于短距离传输。在长距离传输时使用多条线路要比使用一条单独线路昂贵,而且长距离的传输要求较粗的导线来降低信号的衰减,所以很难将它们放入一条电缆里;另外,在进行长距离传输时,导线上的电阻也会阻碍信号的传输,从而使信号的到达有快有慢,会给接收端带来麻烦。并行传输适用于计算机和其他高速数字系统,特别适于在设备之间距离较近时使用。最常见的例子是计算机和外围设备之间的通信,以及 CPU、存储器模块和设备控制器之间的通信。

2) 串行传输

串行传输(Serial Transmission)是指数据信号以串行方式在一条信道上一位一位地从一端传输到另一端。仅需要一根通信线路就可以在两个通信设备之间进行数据的串行传输,方法简单、易于实现、成本比较低。串行传输如图 3-20 所示。

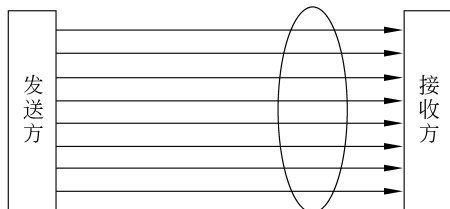


图 3-19 并行传输



图 3-20 串行传输

串行传输和并行传输的区别在于组成一个字符的各码元是依顺序逐位传输还是同时传输。串行传输的优点是只需要一个通信信道,比并行传输的传输成本低。通常情况下,在设备内部采用并行通信方式时需要在发送方和通信线路之间的接口以及通信线路和接收方之间的接口进行转换。缺点是需要外加同步措施,且由于每次只能发送一个二进制位,所以其

传输速度比较慢。

3.3.2 信道

任何一个通信系统都可以看作是由发送设备、传输信道和接收设备三大部分组成。传输信道是指以传输所用的物理媒质为基础,为发送设备和接收设备而建立的由有线或无线线路(包括交换设备)组成的信号通路。数据传输信道的特性对通信的质量影响很大。

1. 信道的分类

信道可按不同方式来分类。

1) 从概念上分

(1) 广义信道是指广义上的信号传输通路。它通常是将信号的物理传输媒介与相应的信号转换设备结合起来看作是一个信道,常用的信道如调制信道、编码信道等。

(2) 狭义信道是指传输信号的具体的传输所用的物理介质,例如电缆、光纤、微波、卫星中继等传输线路。

2) 按传输介质分

(1) 有线信道包括双绞线、同轴电缆、光纤等。有线信道性能稳定、外界干扰小、保密性强、维护便利,但是一次性投资较大。

(2) 无线信道是利用无线电波在空间中进行信号的传输。主要有微波、卫星、中波、短波、超短波等。无线信道不用敷设线缆,因此通信成本低,通信的建立比较灵活、可移动性大,但受环境气候影响较大,保密性较差。

3) 按允许通过的信号类型分

(1) 模拟信道是指信道上允许通过的是模拟信号。模拟信道的质量用信号在传输过程中的失真和输出信噪比来衡量。

(2) 数字信道是指信道上允许通过的是数字信号,例如 PCM 数字电话信道。大部分数据信号都是数字的,故数字信道更便于传输数据。

4) 按传输的工作方式分

(1) 单向(单工)信道是只能沿一个固定方向传输的信道,使用它进行信号传输的方式称为单工传输方式。

(2) 半双向(半双工)信道是指可以分时沿两个方向进行信号传输的信道。

(3) 双向(全双工)信道是指可以同时沿两个方向进行双向信号传输的信道,全双工传输工作方式必须采用双向信道。

5) 按传输信息复用的形式分

按传输信息复用的形式不同,网络可分为有频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、波分复用(WDM)和混合复用等。

(1) 频分多路复用(Frequency Division Multiplexing, FDM)技术是一种按频率来划分信道的复用方式,它把整个物理介质的传输频带按一定的频率间隔划分为若干个较窄的信道,每个信道提供给一个用户使用。频分复用技术主要用于模拟信号,普遍应用在电视和无线电信号的传输中。使用 FDM 技术时,信号通常被发送设备调制成不同的载波频率,这些调制信号组合成一个能够在线路上传输的复合信号。每一个载波都有一个独立的信道来传输信号,它必须是独立的一条没有被使用的带宽,以防止叠加干扰。

(2) 时分多路复用(Time Division Multiplexing, TDM)技术是把许多输入信号结合起来,再一起传出去。它利用时间分片方式来实现传输信道的多路复用,即将传输介质上的信号分成不同的周期,每个周期再分成不同的时间片,将每个时间片分给固定的用户使用。TDM 技术主要用于数字信号,因此和 FDM 把信号结合成一个单一复杂信号的做法不同, TDM 保持了信号的物理独立性,而从逻辑上把它们结合在一起。

从如何分配传输介质资源的观点出发,时分多路复用又可分为静态时分复用和动态时分复用两种。

(3) 波分多路复用(Wave Division Multiplexing, WDM)技术就是用多路复用器把多个光源复合成一个光信号,在一根光纤上同时传输几个不同波长的光信号,不同波长的光线载有不同的电信号。波分多路复用利用了光辐射的高频特性及光纤频带宽、损耗低的特点,在发射端对每个信道的电信号进行调制,形成不同波长的光载波信号,然后将这些信号合成一路输出,用光纤传输到终端用户。在终端用光分波器把输入的多路光载波信号分成单一波长的光载波信号,送给相应波长的光接收机,经过光接收机的解调后,输出相应频道的电信号。

6) 按信道的使用方式分

(1) 专用信道指两用户间固定不变的数据电路,由专用线路或通信网中固定路由提供。传输质量可以得到保证。

(2) 公用(交换)信道。通信网中的用户在通信时由交换机随机确定的数据传输电路,这类电路由于其路由的随机性,其传输质量也相对不稳定。

2. 信道的特性

不同类型的信道其特性也不同。具体如下。

1) 电缆信道

电缆信道通信容量大,传输质量稳定,受外界干扰小,可靠性高。

2) 光纤信道

光纤信道由光纤组成。由于光纤的不同,其传输特性也不尽相同,通常可分为单模光纤和多模光纤。当纤芯直径小于 5mm 时,光在光波导中只有一种传输模式,这样的光纤称为单模光纤;纤芯直径较大时,光在光波导中可能有许多沿不同途径同时传播的模式,这种光纤称为多模光纤。用光纤来传输信号时,在发送端先要将电信号转换成光信号,而在接收端还要将其还原成电信号,光源可以采用激光二极管或发光二极管。

光纤的主要传输特性为损耗和色散,光纤的损耗会影响传输的中继距离,而色散会影响传输的码率。

光纤传输的主要优点是传输速度快,频带宽,通信容量大,抗干扰能力强,不受外界电磁干扰的影响,所以传输距离远。

3) 微波信道

微波通信是电磁波在视距范围内传输的一种通信方式,其载波频率一般为 2~40GHz。由于微波是沿直线传播的,而地球表面是曲面,所以微波在地面的传播距离受地形和天线高度的限制,直接传播时天线越高距离越远。两站间的通信距离一般为 30~50km,故长距离传输时,必须建立多个中继站。

微波中继通信具有较高的接收灵敏度和较高的发射功率。但受天气影响较大,在传播

中通过不利地形或环境时会出现衰落现象。

4) 卫星信道

卫星通信实际上也是微波通信的一种方式,它是利用地球同步卫星作中继来转发微波信号。卫星通信可以克服地面微波通信距离的限制,信道频带宽,也可以采用频分多路复用技术,所以卫星通信信道适用于远距离通信,其传输容量大,传输质量和可靠性都优于地面微波通信,其缺点是传输延迟长。

3. 信道容量

通信就是为了可靠、有效地传输信息。信息论提出并解决了信道的可靠性与有效性的问题,即对于给定的信道,当无差错传输时,信道的信息传输量的极限问题。由香农的信息论成果可知,信道传输存在极限并有相应的计算公式,这个极限就是信道容量。信道容量是一个理想的极限值,它是一个给定信道在传输差错率趋于 0 的情况下在单位时间内可能传输的最大信息量。信道容量的单位是比特每秒(b/s)。

3.3.3 数据传输的主要技术指标

在通信系统中,通信质量是人们关心的问题。所谓通信质量,是指整个通信系统的性能,主要是传输的有效性和可靠性。其主要技术指标具体体现在以下几个方面。

1. 传输速率

传输速率是描述数据传输系统的重要技术指标,数据传输速率在数值上等于每秒传输构成数据代码的二进制位数,单位为比特每秒(b/s)。

常用的数据传输速率单位有千比特每秒(kb/s)、兆比特每秒(Mb/s)、吉比特每秒(Gb/s)与太比特每秒(Tb/s),它们之间的换算关系如下:

$$1\text{Kb/s} = 1 \times 10^3 \text{b/s}$$

$$1\text{Mb/s} = 1 \times 10^6 \text{b/s}$$

$$1\text{Gb/s} = 1 \times 10^9 \text{b/s}$$

$$1\text{Tb/s} = 1 \times 10^{12} \text{b/s}$$

2. 信道带宽

信道带宽的本来意思是指某个信号具有的频带宽度,因为一个特定的信号往往是由许多不同的频率成分组成的,所以一个信号的带宽是指该信号的各种不同频率成分所占据的频率范围。带宽的单位是赫兹(Hz)、千赫兹(kHz)、兆赫兹(MHz)。例如,在传统的通信线路上传送的电话信号是模拟信号,标准带宽是 0.3~3.4kHz。

在计算机网络中,数字信道的带宽用来表示网络的通信线路所能传送数据的能力,因此网络带宽表示在单位时间内从网络的某一点到另一点所能通过的“最高数据量”。即单位时间内在一个信道上能够传送的二进制位数,单位是比特每秒(b/s)。这也是数字信号的传输速率,常见的带宽单位有千比特每秒(kb/s)、兆比特每秒(Mb/s)、吉比特每秒(Gb/s)、太比特每秒(Tb/s)。

3. 吞吐量

吞吐量(Throughput)表示在单位时间内通过某个网络(或信道、接口)的数据量。通过吞吐量可以测量实际上到底有多少数据量能够通过网络。吞吐量会受到网络的带宽或网络的额定速率的限制。例如,对于一个 100Mb/s 的以太网,其额定速率为 100Mb/s,那么这个

数值也是该以太网的吞吐量的绝对上限值。因此,对带宽为 100Mb/s 的以太网,其典型的吞吐量可能只有 70Mb/s。

4. 误码率和误组率

数据在传输过程中会因受到外界的干扰而出现差错。误码率和误组率是衡量数据通信系统在正常工作情况下的传输可靠性的两个重要指标。

(1) 误码率。误码率是在一定时间内,二进制数据在传输时出错的概率。设传输的二进制数据总位数为 N ,其中出错的位数为 N_e ,则误码率 P_e 为

$$P_e = \frac{N_e}{N} \quad (3-1)$$

在一般情况下,计算机网络要求的误码率必须低于 10^{-6} ,即平均每传输 10^6 位数据仅允许错一位。

(2) 误组率。误组率(P_B)是指在传输的码组总数中发生差错的码组数所占的比例,即码组错误的概率。在数据传输过程中往往存在着随机性与突发性的干扰,造成传输错误,但是在一块或一帧中的一个二进制位差错和几个二进制位差错都导致数据块(或帧)出错,所以使用误码率还不能确切地反映其差错所造成的影响,因此,采用误组率 P_B 来衡量差错对通信的影响。

$$P_B = \frac{b_1}{b_0} \quad (3-2)$$

其中, b_1 为接收出错的组数; b_0 为总的传输组数。

误组率在一些采用块或帧检验以及重发纠错的应用中能反映重发的概率,进而反映出该数据链路的传输效率。在某些数据通信系统中,以码组为一个信息单元进行传输,此时使用误组率更为直观。

【例 3-1】 在 9.6kb/s 的线路上进行 1h 的连续传输,经测试发现 150 位的差错,则该数据通信系统的误码率是多少?

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{N_e}{N} \\ &= \frac{150}{9600 \times 3600} = 4.34 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

由此可知,误码率为 4.34×10^{-8} 。

5. 延迟

延迟是一个非常重要的性能指标。

延迟(Delay 或 Latency)是指一个报文或分组从网络的一端传送到另一端所需要的时间。它由传播延迟、发送延迟、处理延迟、排队延迟组成。

网络中的延迟由以下几部分组成。

(1) 传输延迟。传输延迟也称发送延迟,是主机或路由器发送数据帧所需要的时间,也就是从开始发送数据帧的第一个二进制位到该帧的最后一个二进制位发送完毕所需时间。

发送延迟 = 数据帧长度(单位为比特)/发送速率(单位为比特每秒)

网络不同,发送延迟也不同,它与发送帧的长度成正比,与发送速率成反比。

(2) 传播延迟。传播延迟是电磁波在信道中传播一定的距离需要花费的时间。