

3.1 通信技术

3.1.1 通信系统

通信系统是用以完成信息传输过程的技术系统的总称。现代通信系统主要借助电磁波在自由空间的传播或在导引媒体中的传输机理来实现。

1. 通信系统的基本模型

通信的基本任务是传递信息,因此通信系统需要有三个基本要素:信源、信道和信宿。图 3-1 所示是一个简单的通信系统模型。

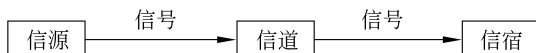


图 3-1 简单的通信系统模型

信源是信息的发送端,信道是传输信息的通道,信宿是信息的接收端。信道可以有模拟信道和数字信道,模拟信号经模-数转换后可以在数字信道上传输,数字信号经调制后也可以在模拟信道上传输。

从概念上讲,信道和电路不同,信道一般都是用来表示向某个方向传送数据的媒体,一个信道可以看成是电路的逻辑部件,而一条电路至少包含一条发送信道或一条接收信道。

2. 通信系统常用技术指标

一个通信系统的好坏,主要从有效性和可靠性这两方面来衡量。

对于模拟通信系统来说,有效性是用系统的带宽来衡量的,可靠性则是用信噪比来衡量的。由于计算机通信主要采用的是数字通信系统,因此这里主要介绍数字通信系统的性能指标。

1) 有效性

有效性反映了通信系统传输信息的“速率”,即快慢问题,主要由数据传输速率、信道带宽、信道容量来衡量。

(1) 数据传输速率。

数据传输速率是指信道每秒能传输的二进制比特数(bit per second),记作 b/s。常见的单位还有 kb/s、Mb/s、Gb/s 等。

与数据传输速率密切相关的是波特率。波特率是指信号每秒变化的次数,它与数据传输速率成正比。单位为波特(baud)。

比特率与波特率是在两种不同概念的基础上定义的速度单位。但是在采用二元波形时,波特率与比特率在数值上相等。

(2) 信道带宽。

带宽是信道能传输的信号频率宽度,是信号的最高频率和最低频率之差。带宽在一定程度上体现了信道的传输性能。

信道的最大传输速率与信道带宽存在明确的关系。一般来说,信道的带宽越大,其传输速率也越高。所以人们经常用带宽来表示信道的传输速率,带宽和传输速率几乎成了同义词,但从技术角度来说,这是两个完全不同的概念。

(3) 信道容量。

信道容量是指信道传输信息的最大能力,用单位时间内最多可传送的比特数来表示。信道容量是信道的一个极限参数。

2) 可靠性

可靠性反映了通信系统传输信息的“质量”,即好坏问题,主要由数据传输的误码率、延迟等来衡量。

(1) 误码率。

误码率是指二进制比特流在数据传输系统中被传错的概率,它是衡量通信系统可靠性的重要指标。误码率的计算公式为

$$\text{误码率} = \text{接收时出错的比特数} / \text{发送的总比特数}$$

数据在通信信道传输中因某种原因出现错误,这是正常且不可避免的,误码率只要在给定的范围内都是允许的。在计算机网络中,一般要求误码率低于 10^{-6} ,即百万分之一。

(2) 延迟。

延迟是定量衡量网络特性的重要指标,它可以说明一个网络在计算机之间传输一位数据需要花费多少时间,通常有最大延迟和平均延迟。根据产生延迟的原因不同,延迟又可分为以下几种。

① 传播延迟:由于信号通过电缆或光纤传输时需要时间,通常与传播的距离成正比。

② 交换延迟:交换延迟是网络中电子设备(如集线器、网桥或包交换机)引入的一种延迟。

③ 访问延迟:在大多数局域网中通信介质是共享的,因此访问延迟是指计算机因等待通信介质空闲才能进行通信而产生的延迟。

④ 排队延迟:在交换机的存储转发过程中,交换机将传来的包排成队列,如果队列中已有包,则新到的包需要等候,直到交换机发送完先到的包,这种情况产生的延迟就是排队延迟。

需要说明的是,一个通信系统越高效可靠,显然就越好。但实际上有效性和可靠性是一对矛盾的指标,两者需要一定的折中。就好比汽车在公路上超速行驶,速度高了,但有很大的安全隐患。所以,不能撇开可靠性来单纯追求高速度,否则欲速则不达。

3.1.2 网络传输介质

传输介质与信道是两个不同范畴的概念。传输介质是指传输信号的物理实体,而信道则着重体现介质的逻辑功能。一个传输介质可能同时提供多条信道,一条信道也可能由多

个传输介质级联而成。

常用的传输介质分为有线传输介质和无线传输介质两大类。不同的传输介质,其特性也各不相同,它们不同的特性对网络中数据通信质量和通信速度有较大影响。

1. 双绞线

双绞线是一种综合布线工程中最常用的传输介质,由两根具有绝缘保护层的铜导线相互缠绕而成(见图 3-2)，“双绞线”的名字也由此而来。实际使用时,将多对双绞线一起包在一个绝缘电缆套管里。把两根绝缘的铜导线按一定密度互相绞在一起,每根导线在传输中辐射出来的电波会被另一根导线上发出的电波抵消,有效降低了信号干扰的程度。与其他传输介质相比,双绞线在传输距离、信道宽度和数据传输速度等方面均受到一定限制,但价格较为低廉。

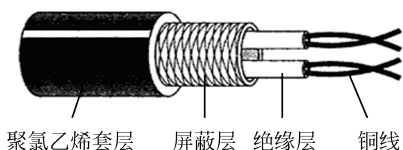


图 3-2 双绞线

根据有无屏蔽层,双绞线分为屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair, STP)与非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP)。屏蔽双绞线在双绞线与外层绝缘封套之间有一个金属屏蔽层,可减少辐射,防止信息被窃听,也可阻止外部电磁干扰的进入,

因此屏蔽双绞线比同类的非屏蔽双绞线具有更高的传输速率。但是非屏蔽双绞线也有自己的优点,主要是直径小、重量轻、易弯曲、易安装、成本低。

双绞线常见的有 3 类线、5 类线和超 5 类线,以及最新的 6 类线,数字越大,线径越大,版本越新,技术越先进,带宽也越宽,当然价格也越贵。

目前 5 类线是最常用的以太网电缆,传输速率为 100 Mb/s,主要用于 100BASE-T 和 10BASE-T 网络。超 5 类线衰减小,串扰少,性能得到很大提高,主要用于千兆位以太网电缆(1000 Mb/s)。6 类线的传输频率为 1~250 MHz,传输性能远远高于超 5 类标准,最适用于传输速率高于 1 Gb/s 的应用。

2. 同轴电缆

同轴电缆(Coaxial Cable)是指有两个同心导体,而导体和屏蔽层又共用同一轴心的电缆。同轴电缆由里到外分为四层:中心铜线(单股的实心线或多股绞合线),塑料绝缘体,网状导电层和电线外皮,如图 3-3 所示。中心铜线和网状导电层形成电流回路,因为中心铜线和网状导电层为同轴关系而得名。

同轴电缆传输交流电而非直流电,如果使用一般电线传输高频率电流,这种电线就相当于一根向外发射无线电的天线,这种效应损耗了信号的功率,使得接收到的信号强度减小。同轴电缆的同轴设计,是为了

防止外部电磁波干扰异常信号的传递,让电磁场封闭在内外导体之间,故辐射损耗小,受外界干扰影响小。

同轴电缆的优点是可以在相对较长的无中继器的线路上支持高带宽通信,其缺点是:体积大,成本高,不能承受缠结、压力和严重的弯曲,因此在现在的局域网环境中,基本已被双绞线所取代。但同轴电缆的抗干扰性能比双绞线强,当需要连接较多设备而且通信容量相当大时仍然可以选择同轴电缆。

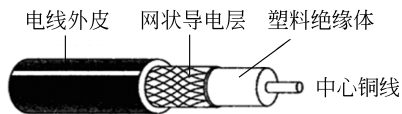


图 3-3 同轴电缆

3. 光纤

光纤(Fiber)是光导纤维的简写,是一种由玻璃或塑料制成的纤维,可作为光传导的工具。通常,光纤与光缆两个名词会被混淆。多数光纤在使用前必须由几层保护结构包覆,包覆后的缆线即被称为光缆。香港中文大学前校长高锟首先提出光纤可以用于通信传输的设想,因此获得 2009 年诺贝尔物理学奖。

光纤的传输原理是光的全反射,如图 3-4 所示。微细的光纤封装在塑料护套中,使得光纤能够弯曲而不至于断裂。通常,光纤的一端的发射装置使用发光二极管或一束激光将光脉冲传送至光纤,光纤的另一端的接收装置使用光敏元件检测光脉冲。由于光在光导纤维的传导损耗比电在电线传导的损耗低得多,一般用于长距离信息传输。

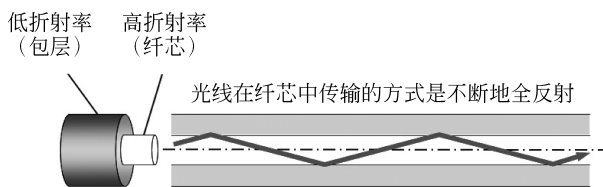


图 3-4 光纤的通信原理

光纤作为宽带接入中一种主流的方式,有通信容量大、中继距离长、保密性能好、适应能力强、体积小、重量轻、原材料来源广、价格低廉等优点,未来在宽带互联网接入中的应用非常广泛。

4. 无线介质

无线通信利用电磁波来传输信息,不需要铺设电缆,非常适合在一些高山、岛屿或临时场地搭建网络。无线介质是指信号通过空间传输,信号不被约束在一个物理导体之内,主要的无线介质包括无线电波、微波和红外线。

无线电波的传播特性与频率(或波长)有关。中波沿地面传播,绕射能力强,适用于广播和海上通信;短波趋于直线传播并受障碍物的影响,但在到达地球大气层的电离层后将被反射回地球表面,由于电离层的不稳定,使得短波信道的通信质量较差。

微波(频率范围为 300 MHz~300 GHz)通信在数据通信中占有重要地位。由于微波在空间中是直线传播的,且穿透电离层而进入宇宙空间,它不像短波那样可以经电离层反射传播到地面上很远的地方。因此微波通信主要有两种方式:地面微波接力通信和卫星通信。

1) 地面微波接力通信

由于微波是直线传输的,而地球表面是曲面,因此其传输距离受到限制,为了实现远距离通信,必须每隔一段距离建立一个中继站。中继站把前一站送来的信号放大后再送到下一站,故称为“接力”,如图 3-5 所示。

微波接力通信可传输电话、电报、图像、数据等信息,传输质量较高,有较大的机动灵活性,抗自然灾害的能力也较强,因而可靠性较高,但隐蔽性和保密性较差。

2) 卫星通信

卫星通信实际上也是一种微波通信,它以卫星作为中继站转发微波信号,在多个地面站之间通信,如图 3-6 所示。按照工作轨道区分,卫星通信系统一般分为三类:低轨道卫星通信系统(如铱星和全球星系统),中轨道卫星通信系统(如国际海事卫星系统)和高轨道卫星

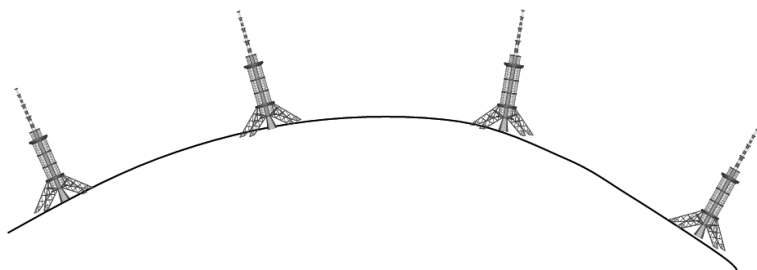


图 3-5 地面微波接力通信

通信系统。当高轨道卫星通信系统的轨道距地面约 35 800km 时,该轨道为地球同步轨道。理论上用三颗高轨道卫星即可以实现全球覆盖。

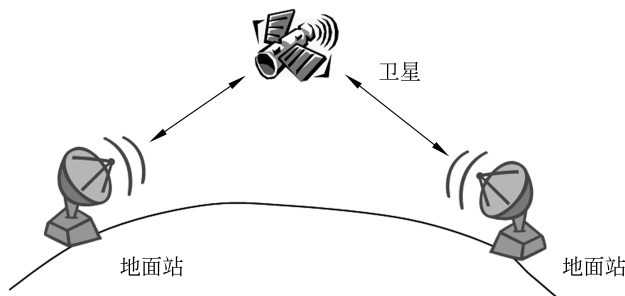


图 3-6 卫星通信

3.1.3 网络互联设备

网络互联是指应用合适的技术和设备,将不同地理位置的计算机网络连接起来,从而形成一个范围和规模更大的网络系统,实现更大范围内的资源共享和数据通信。常见的网络互联设备有以下几种。

1. 中继器

中继器(Repeater)是工作在物理层的最简单的网络互联设备,可以扩大局域网的传输距离,连接两个以上的网络段,通常用于同一幢楼里的局域网之间的互联,如图 3-7 所示。



图 3-7 中继器(网络延长器)

由于传输线路噪声的影响,承载信息的数字信号或模拟信号只能传输有限的距离,中继器的功能是对接收信号进行再生和发送,从而增加信号传输的距离。因此,中继器的主要功能是将传输介质上衰减的电信号进行整形、放大和转发,其本质上是一种数字信号放大器。例如,以太网标准规定单段信号传输电缆的最大长度为 500m,但利用中继器连接 4 段电缆后,以太网中信号传输电缆的最大长度可达 2000m。

2. 集线器

集线器的英文名称为 Hub。Hub 是“中心”的意思,集线器的主要功能是对接收到的信号进行再生整形、放大,以扩大网络的传输距离,同时把所有节点集中在以它为中心的节点上。因此,集线器可以说是一种特殊的中继器,又叫多端口中继器。它能使多个用户通过集线器端口用双绞线与网络连接。一个集线器通常有 8 个及以上的连接端口。图 3-8 所示是一个 8 口的集线器。



图 3-8 8 口集线器

集线器是一种物理层共享设备,Hub 本身不能识别 MAC 地址和 IP 地址,当同一局域网内的 A 主机给 B 主机传输数据时,数据包在以 Hub 为架构的网络上是以广播方式传输的,由每一台终端通过验证数据报头的 MAC 地址来确定是否接收。也就是说,在这种工作方式下,同一时刻网络上只能传输一组数据帧的通信,如果发生碰撞还要重试。这种方式就是共享网络带宽。

3. 网桥

网桥(Network Bridge)又称桥接器,工作在数据链路层,独立于高层协议,是用来连接两个具有相同操作系统的局域网的设备。网桥的作用是扩展网络的距离,减轻网络的负载。在局域网中每一条通信线路的长度和连接的设备数都是有限的,如果超载就会降低网络的工作性能。对于较大的局域网可以采用网桥将负担过重的网络分成多个网段,每个网段的冲突不会被传播到相邻网段,从而达到减轻网络负担的目的。由网桥隔开的网段仍属于同一局域网。网桥的另一个作用是自动过滤数据包,根据数据包的目的地址决定是否转发到其他网段,因此网桥是一种存储转发设备。

网桥可以是专门的硬件设备,也可以由计算机加装的网桥软件来实现。

4. 交换机

交换机(Switch)意为“开关”,是一种用于电(光)信号转发的网络设备,如图 3-9 所示。它可以为接入交换机的任意两个网络节点提供独享的电信号通路。最常见的交换机是以太网交换机。其他常见的还有电话语音交换机、光纤交换机等。



图 3-9 交换机

在计算机网络系统中,交换概念的提出改进了共享工作模式。交换机工作于 OSI 参考模型的第二层,即数据链路层。交换机内部的 CPU 在每个端口成功连接时,通过将 MAC

地址和端口对应,形成一张 MAC 表。在今后的通信中,发往该 MAC 地址的数据包将仅送往其对应的端口,而不是所有的端口。因此,交换机可以在同一时刻进行多端口之间的数据传输,而且每个端口都可以视为各自独立的,相互通信的双方独自享有全部带宽,从而提高数据传输速率、通信效率和数据传输的安全性。

交换机相比网桥也具有更好的性能,因此,也逐渐取代了网桥。目前,局域网内主要采用交换机来连接计算机。

5. 路由器

路由器(Router)如图 3-10 所示,用于连接多个逻辑上分开的网络。逻辑网络代表一个单独的网络或者一个子网。当数据从一个子网传输到另一个子网时,可通过路由器的路由功能来完成。因此,路由器的基本功能就是进行路径的选择,找到最佳的转发数据路径。路由器具有判断网络地址和选择 IP 路径的功能,它能在多网络互联环境中,建立灵活的连接,可用完全不同的数据分组和介质访问方法连接各种子网,路由器只接受源站或其他路由器的信息,属网络层的一种互联设备。

6. 网关

网关(Gateway)又称网间连接器、协议转换器,如图 3-11 所示。网关在网络层以上实现网络互联,是最复杂的网络互联设备,仅用于两个高层协议不同的网络互联,主要作用就是完成传输层及以上的协议转换。大多数网关运行在应用层,可用于广域网和广域网、局域网和广域网的互联。



图 3-10 路由器



图 3-11 网关

网关使用在不同的通信协议、数据格式或语言甚至体系结构完全不同的两种系统之间,网关就相当于一个翻译器。与网桥只是简单地传达信息不同,网关对收到的信息要重新打包,以适应目的系统的需求。

3.1.4 数据交换技术

交换(Switching)是指通信双方使用网络中通信资源的方式,早期主要采用电路交换,现在主要采用分组交换。

1. 电路交换

考虑有线电话机的连接情况。2 部电话机只需要 1 对电话线就能够互相连接。5 部电话机两两相连,则需 10 对电话线。很容易推算出, n 部电话机两两相连,需要 $C_n^2 = n(n-1)/2$ 对电话线。当电话机数量很大时,这种连接方法需要电话线的数量与电话机数的平方成正比。因此,当电话机的数量增多时,使用交换机来完成全网的交换任务,可以大大减少电话线的数量,如图 3-12 所示。理论上, n 部电话机通过交换机连接,只需要 n 条电话线。

电话交换机接收到拨号请求后,会把双方的电话线接通,通话结束后,交换机再断开双方的电话线。这里,“交换”的含义就是转接,即把一条电话线转接到另一条电话线,使它们连通起来。因此,可以把电话交换机看作电话线路的中转站。从通信资源分配的角度看,“交换”就是按照某种方式动态分配电话线路资源。交换机决定了谁、什么时候可以使用电话线路。电路交换必定是面向连接的,也就是说必定有通信线路直接连接通信的双方。电路交换的三个阶段是建立连接、通信、释放连接。

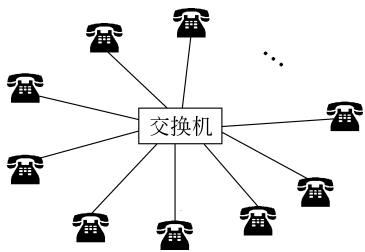


图 3-12 电话交换机

大型电路交换网络示意如图 3-13 所示。图中 A 和 B 的通话经过了 4 个交换机,通话是在 A 到 B 的连接上进行的。C 和 D 的通话只经过了 1 个本地交换机,通话是在 C 到 D 的连接上进行的。

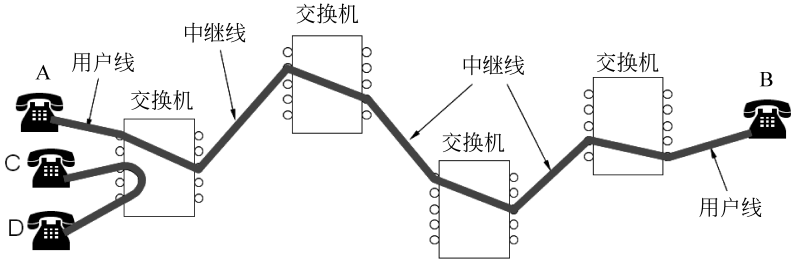


图 3-13 大型电路交换网络示意图

电路交换的缺点是:由于通信双方会临时独占连接上的所有通信线路,因此导致通信线路不能被其他主机所共享。而一般来说,计算机数据具有突发性,如果计算机通信的双方也使用电路交换方式,必然会导致通信线路的利用率很低。

2. 分组交换

下面通过一个例子来介绍分组交换。假定发送端主机有一个要发送的报文,而这个报文较长,不便于传输,则可以先把这个较长的报文划分成 3 个较短的、固定长度的数据段。为了便于控制,需要在每个数据段前面添加“首部”,里面含有必不可少的控制信息,分别构成 3 个分组,如图 3-14 所示。

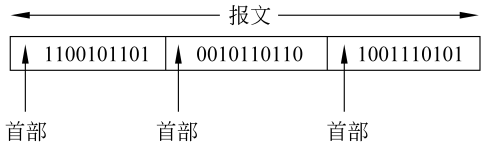


图 3-14 报文拆分为 3 个分组

分组交换方式以分组作为数据传输单元,发送端依次把各分组发送到接收端。每个分组的首部含有目的地址等控制信息。分组交换网中的节点交换机(一般是路由器)根据收到的分组首部中的目的地址等信息,把分组转发到下一个节点交换机。节点交换机使用这种存储-转发的方式进行接力转发,最后分组就能到达目的地。所谓存储-转发,是指分组交换

机把接收到的分组放进自己的存储器中排队等候,然后依次根据分组首部中的目的地址选择相应端口转发出去。

接收端主机收到 3 个分组后剥去首部恢复成原始数据段,并把这些数据段拼接为原始报文。这里假定分组在传输过程中没有出现差错,在转发时也没有被丢弃。

目前流行的因特网(Internet)就是采用分组交换的方式传输数据的。因特网由许多网络和路由器组成,路由器负责将这些网络连接起来,形成更大的网络,称为网络互联。路由器的用途是在不同的网络之间转发分组,即进行分组交换。源主机向网络发送分组,路由器对分组进行存储-转发,最后把分组交付目的主机。

在路由器中,输入端口和输出端口之间没有直接连线。路由器采用存储-转发方式处理分组的过程是:①先把从输入端口收到的分组放入存储器暂时存储;②根据分组首部的目的地址查找转发表,找出分组应从哪个输出端口转发;③把分组送到该端口并通过线路传输出去。如图 3-15 所示的分组交换网络示意图中,主机 H_1 的分组既可以通过路由器 A、B、E 到达主机 H_5 ,也可以通过路由器 A、C、E 到达主机 H_5 。路由器视当时网络的流量和阻塞等情况来决定选择哪个端口通过哪条线路把分组转发出去,是动态选择的。

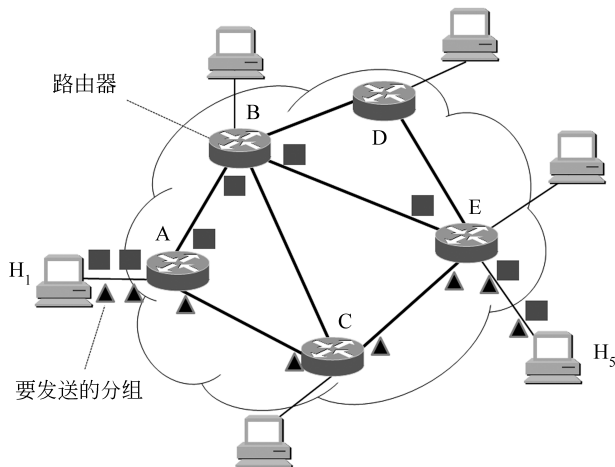


图 3-15 分组交换网络示意图

分组交换与电路交换相比有如下优点。

(1) 分组交换不需要为通信双方预先建立一条专用的物理通信线路,不存在连接的建立时延,用户随时可以发送分组。

(2) 由于采用存储-转发方式,路由器具有路径选择功能,当某条传输线路发生故障时可选择其他传输线路,提高了传输的可靠性。

(3) 通信双方的不同分组是在不同的时间分段占用物理连接,而不是在通信期间固定占用整条通信连接。在双方通信期间,也允许其他主机的分组通过,大大提高了通信线路的利用率。

(4) 加速了数据在网络中的传输。分组是逐个传输的,可以使后一个分组的存储操作与前一个分组的转发操作并行,这种流水线方式减少了传输时间。

(5) 分组长度固定,因此路由器缓冲区的大小也固定,简化了路由器中存储器的管理。

(6) 分组较短,出错概率较小,使出错重发的数据量也比较少,不仅提高了可靠性,也减少了时延。

分组交换相对电路交换有如下缺点。

(1) 由于数据进入交换节点要经历存储-转发过程,从而引起转发时延(包括接收分组、检验正确性、排队、发送分组等),实时性较差。

(2) 分组必须携带首部,造成了一定的额外开销。

(3) 可能出现分组失序、丢失或重复,分组到达目的主机时,需要按编号进行排序并拼接为报文。

对于计算机使用的数据来看,总体性能上分组交换要优于电路交换。早期主要采用电路交换,然而现在及以后将主要采用分组交换,包括因特网采用的也是分组交换。目前采用电路交换方式的有线电话网,正逐渐被因特网所取代。

3.1.5 多路复用技术

一般情况下,通信信道的带宽远大于用户所需的带宽,使用多路复用技术可以让多个用户共用同一个信道,共享信道资源可以提高信道利用率,降低通信成本。如图 3-16 所示, A_1 、 B_1 、 C_1 分别与 A_2 、 B_2 、 C_2 通信,使用多路复用技术只需要一个信道,而不使用多路复用技术则需要 3 个信道。

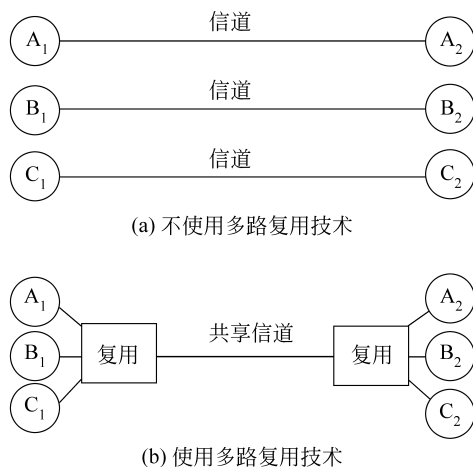


图 3-16 3 对用户同时通信时的信道分配情况

目前信道复用技术主要有频分多路复用、时分多路复用、波分多路复用、码分多路复用、空分多路复用、统计时分多路复用、极化波分多路复用等,下面介绍几种常用的复用技术。

1. 频分多路复用

频分多路复用(Frequency Division Multiplexing, FDM)是按频率分割多路信号的方法。即将信道的可用频带分成若干互不交叠的频段,每路信号占据其中一个频段。在接收端用适当的滤波器将多路信号分开,分别进行解调和终端处理。采用频分复用技术时,不同用户在同样的时间占用不同的带宽资源。

2. 时分多路复用

时分多路复用(Time Division Multiplexing, TDM)在信道使用时间上进行划分。按一定原则把连续的信道使用时间划分为一个个很小的时间片,把各个时间片分配给不同的通信用户使用。相邻时间片之间没有重叠,一般也无须隔离,以提高信道的利用率。由于划分的时间片一般较小,可以将其想象成把整个物理信道划分成了多个逻辑信道交给各个不同的通信用户使用,相互之间没有任何影响。

3. 波分多路复用

波分多路复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)本质是光信号的频分复用。它是将两种或多种不同波长的光载波信号(携带各种信息),在发送端经复用器汇合在一起,耦合到同一根光纤中进行传输的技术;在接收端,经解复用器将各种波长的光载波分离,然后由光接收机做进一步处理以恢复原信号。

3.2 计算机网络基础

3.2.1 计算机网络概述

1. 计算机网络的定义

计算机网络是指将地理位置不同的具有独立功能的多台计算机(主机)及其外围设备,通过通信线路连接起来,在网络操作系统、网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下,实现信息传递以及其他网络应用的计算机系统。

对于普通网络使用者来说,计算机网络提供的功能和应用非常多,如即时通信、电子商务、信息检索、网络娱乐等。但是对于网络专业人士来说,网络的功能非常单一:网络中任意一台主机,都可以把数据传输给任意另外一台主机。实现任意两台主机之间的数据传输,是计算机网络要解决的根本问题。

只要实现了任意两台主机之间的数据传输,就可以开发出各种具体的网络应用,如即时通信、资源共享、数据集中处理、均衡负载与相互协作、提高系统的可靠性和可用性、分布式处理、信息检索、办公自动化、电子商务与电子政务、企业信息化、远程教育、网络娱乐、军事指挥自动化等。只要开动脑筋并勇于实践,就可以在因特网提供的数据传输服务的基础上,开发出新的应用。像滴滴打车、美团外卖等,都是近些年才开发出来的新应用。

2. 计算机网络的功能

1) 数据通信

数据通信(或数据传输)是计算机网络的基本功能之一。

2) 资源共享

计算机网络的主要目的是资源共享。

3) 进行分布式处理

由于有了网络,许多大型信息处理问题可以借助于分散在网络中的多台计算机协同完成,解决单机无法完成的信息处理任务。特别是分布式数据库管理系统,它使分散存储在网络中不同计算机系统的数据,在使用时好像集中管理一样方便。

4) 提高系统的可靠性和可用性

提高可靠性表现在网络中的计算机可以通过网络彼此互为备份,一旦某台计算机出现故障,它的任务可由网络中其他计算机代为完成,避免了单机情况下可能造成的系统瘫痪。

提高可用性是指网络中的工作负荷均匀地分配给网络中的每台计算机。当某台计算机的负荷过重时,通过网络和一些应用程序的控制和管理,可以将任务交给网络中其他较空闲的计算机进行处理,从而均衡各台计算机的负载,提高每台计算机的可用性。

3. 计算机网络工作模式

计算机网络的工作模式主要有两种:客户/服务器(Client/Server,C/S)模式和对等(Peer to Peer,P2P)模式。

1) 客户/服务器模式

客户/服务器模式简称 C/S 模式,它把客户(Client)端与服务器(Server)区分开来。每一个客户端软件的实例都可以向一个服务器或应用程序服务器发出请求。

C/S 模式通过不同的途径应用于很多不同类型的应用程序,最常见的就是目前在因特网上的网页。例如,当用户访问苏州大学网站时,该用户的计算机和网页浏览器就被当作一个客户,同时,存放苏州大学网站的计算机、数据库和应用程序就被当作服务器。当用户的网页浏览器向苏州大学网站请求一个指定的网页时,苏州大学的服务器会从指定的地址找到网页或者生成一个网页,再发送回该用户的浏览器。

C/S 模式是一个逻辑概念,而不是指计算机设备。在 C/S 模式中,请求一方称为客户,响应请求一方称为服务器,如果一个服务器在响应客户请求时不能单独完成任务,还可能向其他服务器发出请求,这时,发出请求的服务器就成为另一个服务器的客户。从双方建立联系的方式来看,主动启动通信的应用称为客户,被动等待通信的应用称为服务器。

C/S 模式的应用非常多,例如 Internet 上提供的 WWW、FTP、E-mail 服务等都是采用 C/S 模式进行工作的。

2) 对等模式

对等模式通常被称为对等网,网络中的各个节点被称为对等体。与传统的 C/S 模式中服务由几台服务器提供不同的是,在 P2P 网络中,每个节点的地位是对等的,具备客户和服务器双重特性,可以同时作为服务使用者和服务提供者。P2P 网络利用客户端的处理能力,实现了通信与服务器端的无关性,改变了互联网以服务器为中心的状态,重返“非中心化”。P2P 网络的思想打破了互联网中传统的 C/S 结构,令各对等体具有自由、平等通信的能力,体现了互联网自由、平等的本质。

基于 P2P 的应用也非常多,比如 QQ 聊天软件、Skype 通信软件等。

3.2.2 计算机网络的组成

计算机网络是一个非常复杂的系统。对不同的网络,其组成也不尽相同,一般将计算机网络分为硬件和软件两个部分。硬件部分主要包括计算机设备、网络传输介质和网络互联设备。软件部分则主要包括网络协议软件、网络操作系统和网络应用软件等。

1. 计算机网络硬件系统

1) 计算机设备

网络中的计算机设备包括服务器、工作站、网卡和网络共享设备等。

(1) 服务器。

服务器通常是一台速度快、存储量大的专用或多用途计算机。它是网络的核心设备,负责网络资源管理和用户服务。在局域网中,服务器对工作站进行管理并提供服务,是局域网系统的核心;在因特网中,服务器之间互通信息,相互提供服务,每台服务器的地位都是同等的。通常服务器需要专门的技术人员对其进行管理和维护,以保证整个网络的正常运行。根据所承担的任务与服务不同,服务器可分为文件服务器、远程访问服务器、数据库服务器和打印服务器等。

(2) 工作站。

工作站是一台具有独立处理能力的个人计算机,是用户向服务器申请服务的终端设备。用户可以在工作站上处理日常工作,并随时向服务器索取各种信息及数据,请求服务器提供各种服务,如传输文件、打印文件等。随着家用电器的智能化和网络化,越来越多的家用电器如手机、电视机顶盒、监控报警设备等都可以接入到网络中,它们也是网络的硬件组成部分。

(3) 网卡。

计算机与外界局域网的连接是通过主机箱内插入一块网络接口板(或者是在笔记本电脑中插入一块 PCMCIA 卡)。网络接口板又称为通信适配器或网络适配器(Network Adapter)或网络接口卡(Network Interface Card, NIC),但是更多的人愿意使用更为简单的名称“网卡”,如图 3-17 所示。

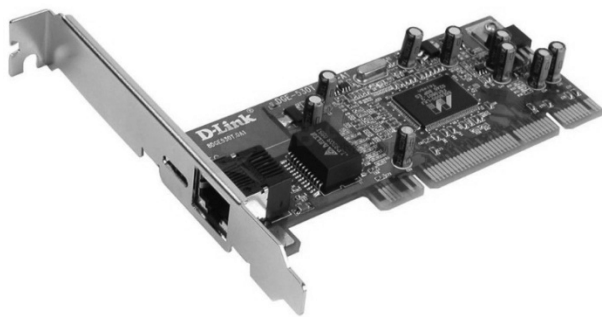


图 3-17 网卡

网卡上面装有处理器和存储器(包括 RAM 和 ROM)。网卡和局域网之间的通信是通过电缆或双绞线以串行传输方式进行的。而网卡和计算机之间的通信则是通过计算机主板上的 I/O 总线以并行传输方式进行的。因此,网卡的一个重要功能就是要进行串行与并行转换。由于网络和计算机总线上的数据传输速率并不相同,因此在网卡中必须装有对数据进行缓存的存储芯片。

在安装网卡时必须将管理网卡的设备驱动程序安装在计算机的操作系统中。这个驱动程序以后就会告诉网卡,应当从存储器的什么位置将局域网传输过来的数据块存储下来。网卡还要能够实现以太网协议。

网卡并不是独立的自治单元,因为网卡本身不带电源而是必须使用所插入的计算机的电源,并受该计算机的控制。因此网卡可看成一个半自治的单元。当网卡收到一个有差错的帧时,它就将这个帧丢弃而不必通知它所插入的计算机。当网卡收到一个正确的帧时,它

就使用中断来通知该计算机并交付给协议栈中的网络层。当计算机要发送一个 IP 数据包时,它就由协议栈向下交给网卡组装成帧后发送到局域网。

随着集成度的不断提高,网卡上的芯片的个数不断地减少,虽然各个厂家生产的网卡种类繁多,但其功能大同小异。

MAC(Media Access Control 或者 Medium Access Control)地址,意译为媒体访问控制,或称为物理地址、硬件地址,用来定义网络设备的位置。MAC 地址是由网卡决定的,是固定的,通常由网卡生产厂家烧入网卡的 EPROM(一种闪存芯片,通常可以通过程序擦写),它存储的是传输数据时真正赖以标识发出数据的计算机和接收数据的主机的地址。

MAC 地址用来表示互联网上每一个站点的标识符,采用十六进制数表示,共 6 个字节(48 位)。其中,前 3 个字节是由 IEEE 的注册管理机构 RA 负责给不同厂家分配的代码(高位 24 位),也称为编制上唯一的标识符(Organizationally Unique Identifier),后 3 个字节(低位 24 位)是由各厂家自行指派给生产的适配器接口,称为扩展标识符(唯一性)。一个地址块可以生成 2^{24} 个不同的地址。MAC 地址实际上就是适配器地址或适配器标识符,形象地说,MAC 地址就如同我们身份证上的身份证号码,具有全球唯一性。

网卡是工作在链路层的网络组件,是局域网中连接计算机和传输介质的接口,不仅能实现与局域网传输介质之间的物理连接和电信号匹配,还涉及帧的发送与接收、帧的封装与拆封、介质访问控制、数据的编码与解码以及数据缓存的功能等。

(4) 共享设备。

共享设备是指为众多用户共享的高速打印机、大容量磁盘等公用设备。

2) 网络传输介质

计算机网络通过通信线路和通信设备把计算机系统连接起来,在各计算机之间建立物理通道,以便传输数据。通信线路就是指传输介质及其连接部件,如 3.1.2 节介绍的双绞线、同轴电缆、光纤等,这里不再重复介绍。

3) 网络互联设备

网络互联设备,如 3.1.3 节介绍的中继器、集线器、网桥、交换机、路由器等,这里不再重复介绍。

2. 计算机网络软件系统

计算机网络软件系统是实现网络功能所不可或缺的,根据软件的特性和用途,可以将其分为以下几个大类。

1) 网络协议软件

网络中的计算机要想实现正确的通信,通信双方必须共同遵守一些约定和通信规则,这就是通信协议。连入网络的计算机依靠网络协议实现互相通信,而网络协议是靠具体的网络协议软件的运行支持才能工作。凡是连入计算机网络的服务器和工作站上都运行着相应的网络协议软件。网络协议软件是指用以实现网络协议功能的软件。网络协议软件的种类非常多,不同体系结构的网络系统都有支持自身系统的网络协议软件,体系结构中不同层次上又有不同的网络协议软件,对某一网络协议软件而言,到底把它划分到网络体系结构中的哪一层是由网络协议软件的功能决定的。所以,对同一网络协议软件,它在不同体系结构中所属的层不一定一样,目前网络中常用的通信协议有 NETBEUI、TCP/IP、IPX/SPX 等。有关通信协议会在 3.2.4 节有更多的介绍。

2) 网络操作系统

网络操作系统(Network Operating System,NOS)是在网络环境下,用户与网络资源之间的接口,是运行在网络硬件基础之上的,为网络用户提供共享资源管理服务、基本通信服务、网络系统安全服务及其他网络服务,实现对网络资源的管理和控制的软件系统。网络操作系统是网络的核心,其他应用软件系统需要网络操作系统的支持才能运行。对网络系统来说,特别是局域网,所有网络功能几乎都是通过网络操作系统来体现的,网络操作系统代表着整个网络的水平。

目前,网络操作系统主要有 Windows、UNIX 和 Linux。随着计算机网络的不断发展,特别是计算机网络互联,以及异质网络的互联技术和应用的发展,网络操作系统开始朝着能支持多种通信协议、多种网络传输协议、多种网络适配器和工作站的方向发展。

3) 网络管理软件

网络管理软件对网络中的大多数参数进行测量与控制,以保证用户安全、可靠、正常地得到网络服务,使网络性能得到优化。

4) 网络应用软件

网络应用软件是指为某一应用目的开发的网络软件,如即时通信软件、浏览器、电子邮件程序等软件。

3.2.3 计算机网络的分类

计算机网络的分类方法很多。

- (1) 按传输介质可分为有线网和无线网。
- (2) 按数据交换方式可分为直接交换网、存储转发交换网和混合交换网。
- (3) 按通信传播方式可分为点对点式网和广播式网。
- (4) 按通信速率可分为低速网、中速网和高速网。
- (5) 按使用范围可分为公用网和专用网。
- (6) 按网络覆盖范围可分为广域网、局域网和城域网。
- (7) 按拓扑结构可分为总线型结构、环状结构、星状结构、树状结构、网状结构及混合结构等。

本书重点介绍 2 种最常用的分类方式,即按网络覆盖范围和按网络拓扑结构分类。

1. 按网络覆盖范围划分

计算机网络按网络的地理覆盖范围可分为广域网、局域网和城域网。

1) 广域网

广域网(WAN)又称远程网,是在广阔的地理区域内进行数据传输的计算机网络。其作用范围通常为几十到几千千米,可以覆盖一座城市、一个国家甚至全球,形成国际性的计算机网络。

广域网常借用公用电信网络进行通信,数据传输的带宽有限。

广域网的主要特点是地理覆盖范围大、传输速率低、传输误码率高、网络结构复杂。

2) 局域网

局域网(LAN)是将较小地理范围内的计算机或外围设备通过高速通信线路连接在一起的通信网络。局域网是最常见、应用最广泛的网络。作用范围通常为几十米到几千米,常

用于组建一个办公室、一幢大楼、一个校园、一个工厂或一个企业的计算机网络。

目前常见的局域网主要有以太网和无线局域网两种。

局域网的主要特点是地理范围比较小、传输速率高、延迟和误码率较小。

3) 城域网

城域网(MAN)也称市域网,地理覆盖范围介于 WAN 与 LAN 之间,一般为几千米至几万米。所采用的技术基本上与 LAN 相似,是一种大型的局域网。

城域网主要是在一座城市范围内建立计算机通信网。

城域网技术对通信设备和网络设备的要求比局域网高,在实际应用中被广域网技术取代,没有能够推广使用。

2. 按网络拓扑结构划分

计算机网络按拓扑结构可分为总线型结构、环状结构、星状结构、树状结构、网状结构以及混合结构等。

1) 总线型结构

总线型拓扑结构采用单根数据传输线作为通信介质,所有的站点都通过相应的硬件接口直接连接到通信介质上,而且能被其他所有站点接收,所有节点工作站都通过总线进行信息传输,如图 3-18 所示。

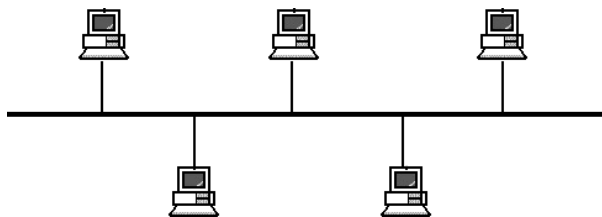


图 3-18 总线型结构

总线型结构的网络采用广播方式传输数据,因此,连接到总线上的设备越多,网络发送和接收数据就越慢。

总线型结构的优点如下。

- (1) 网络结构简单,节点的插入、删除比较方便,易于网络扩展。
- (2) 设备少,造价低,安装和使用方便。
- (3) 具有较高的可靠性。单个节点的故障不会涉及整个网络。

总线型结构的缺点如下。

- (1) 故障诊断困难。
- (2) 故障隔离困难,一旦总线出现故障,将影响整个网络。
- (3) 所有的数据传输均使用一条总线,实时性不强。

2) 环状结构

环状结构是网络中各节点通过一条首尾相连的通信链路连接起来的闭合环路。

每个节点只能与它相邻的一个或两个节点设备直接通信,如果与其他节点通信,数据需依次经过两个节点之间的每个设备,如图 3-19 所示。

环状结构有 2 种类型:单环结构和双环结构。双环结构的可靠性高于单环结构。

环状结构的优点如下。

- (1) 各节点不分主从,结构简单。
- (2) 两个节点之间只有一条通路,使得路径选择的控制大大简化。

环状结构的缺点如下。

- (1) 环路是封闭的,可扩充性较差。
- (2) 可靠性差,任何节点或链路出现故障,将危及全网,并且故障检测困难。

3) 星状结构

星状结构的每个节点都由一条点对点链路与中心节点(公用中心交换设备,如交换机、集线器等)相连,如图 3-20 所示。

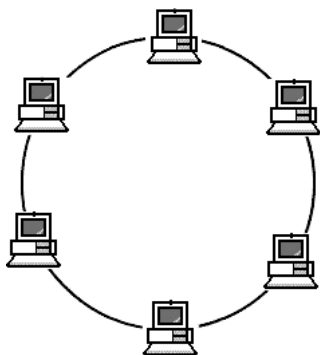


图 3-19 环状结构

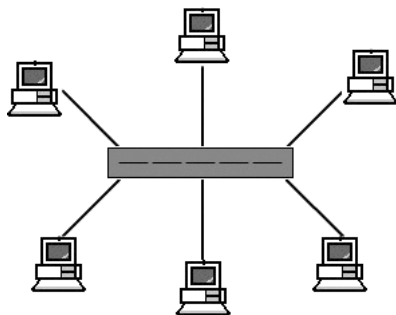


图 3-20 星状结构

星状网络中信息的传输是通过中心节点的存储转发技术实现的。一个节点要发送数据,首先需要将数据发送到中心节点,然后由中心节点将数据转发至目的节点。

星状结构的优点如下。

- (1) 结构简单,增删节点容易,便于控制和管理。
- (2) 采用专用通信线路,传输速度快。

星状结构的缺点如下。

- (1) 可靠性较低,一旦中心节点出现故障就会导致全网瘫痪。
- (2) 网络共享资源能力差,通信线路利用率不高,且线路成本高。

4) 树状结构

树状结构也称星状总线型拓扑结构,是从总线型和星状结构演变来的。网络中的每个节点都连接到一个中央设备如集线器上,但并不是所有的节点都直接连接到中央集线器上,大多数节点先连接到一个次集线器,次集线器再与中央集线器连接,如图 3-21 所示。

树状结构的优点如下。

- (1) 易于扩充,增删节点容易。
- (2) 通信线路较短,网络成本低。

树状结构的缺点如下。

(1) 可靠性差,除了叶子节点之外的任意一个工作站或链路发生故障都会影响整个网络的正常运行。

- (2) 各个节点对根的依赖性太大,如果根发生故障,则全网不能正常工作。

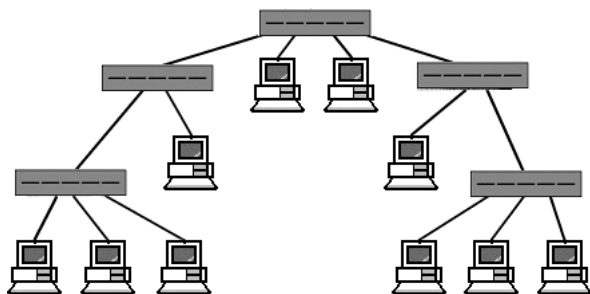


图 3-21 树状结构

5) 网状结构

网状结构是将各节点与通信链路连成不规则的形状,每个节点至少与其他两个节点相连,如图 3-22 所示。

大型互联网一般都采用网状结构,如 Internet 的主干网。

网状结构的优点如下。

- (1) 可靠性好。
- (2) 数据传输有多条路径,所以可以选择最佳路径以减少延时,改善流量分配,提高网络性能。

网状结构的缺点如下。

- (1) 结构复杂,不易管理和维护。
- (2) 线路成本高,路径选择比较复杂。

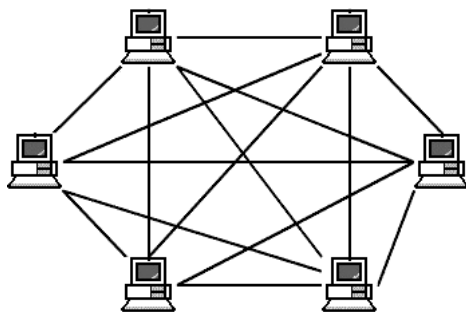


图 3-22 网状结构

6) 混合结构

混合结构是由几种拓扑结构混合而成的。在实际应用的网络中,拓扑结构常常不是单一的,而是混合结构,如图 3-23 所示。

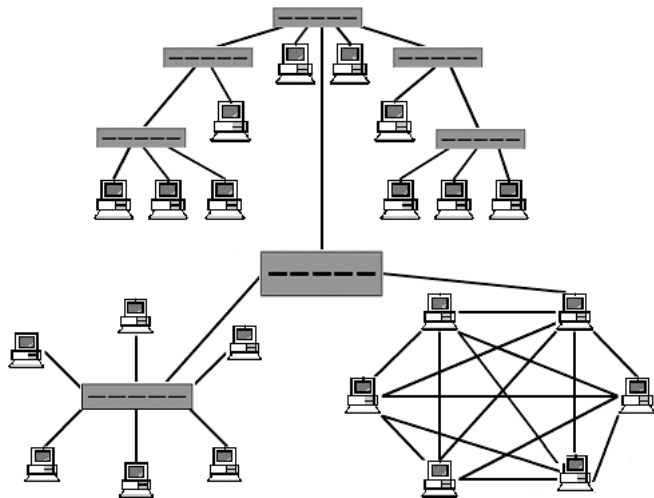


图 3-23 混合结构

3.2.4 计算机网络体系结构

计算机网络的体系结构是网络各层及其协议的集合,网络协议依据功能一般采用分层的方式来实现,好处是:结构上各层之间是独立的,灵活性好,易于实现和维护,能促进标准化工作。层数要适当,层数太少会使每一层的协议太过复杂,层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多困难。

1. 通信协议介绍

相互通信的两个计算机系统必须高度协调才能进行通信工作,它们之间的数据交换必须遵守事先约定好的规则,这些规则明确规定了所交换的数据的格式以及有关的同步问题。

网络协议就是为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定,一般包含以下组成要素。

语法:数据与控制信息的结构或格式。

语义:需要发出何种控制信息,完成何种动作以及做出何种响应。

同步:事件实现顺序的详细说明。

这种协调是相当复杂的。分层可将庞大而复杂的问题转化为若干较小的局部问题,而这些较小的局部问题比较易于研究和处理。下面举一个生活中协议分层的例子。

张经理和李经理是好朋友,他们约定,每周互相分享一本图书给对方。每周张经理负责挑选好图书,而把图书发送的任务交给秘书小张。小张把图书分解为书页,通过传真的方式,一页页传真给李经理的秘书小李,最后由小李装订成册交给李经理。反过来,李经理也是如此(见图 3-24)。

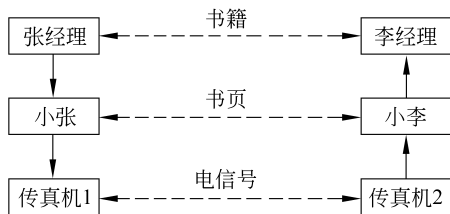


图 3-24 生活中协议分层的例子

发送和接收信息(这里的信息是图书)的任务分成了三个层次,分别是张经理、小张、传真机 1,以及李经理、小李、传真机 2。这个任务是通过分层的方式完成的,上层使用下层提供的服务。例如,张经理和李经理负责挑选有价值的图书,而发送和接收图书的工作使用了小张和小李提供的服务;小张和小李负责把图书分解为书页以及把书页装订成图书,而扫描和打印书页的工作则使用了传真机提供的服务。

这里,张经理和李经理是对等实体,他们在“图书”的粒度上通信(交流),他们有每周分享图书的“协议”;小张和小李是对等实体,他们在“书页”的粒度上通信(交流),他们有书页分解以及图书装订方式的“协议”;传真机 1 和传真机 2 是对等实体,它们每次发送或接收的都是一个个电信号,它们在“电信号”的粒度上通信,它们有非常具体的链路协议。这里协议分三层,上层使用下层提供的服务;相同层之间是对等实体,对等实体之间有通信协议。这里只有最底层的传真机之间存在实际的物理通道,可以进行电信号的通信。而上面两层的对等实体之间并没有实际的物理通道,可以认为他们进行的是虚拟通信,但又不能否认他们之间通信的存在。

同理,在计算机通信时,如果主机 1 的进程 A 向主机 2 的进程 B 通过网络发送文件,如图 3-25 所示,可以将工作进行如下划分。

第一层文件传送模块,与双方进程直接相关。如进程 A 确信进程 B 已做好接收和存储

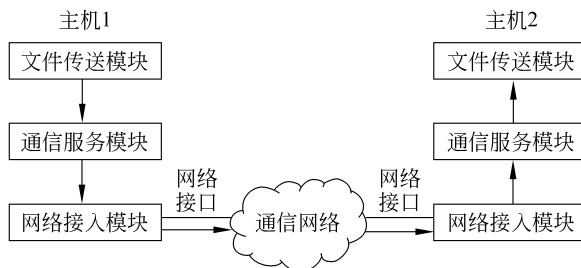


图 3-25 协议分层举例

文件的准备,进程 A 与进程 B 协调好一致的文件格式。

第二层通信服务模块,负责文件的发送和接收工作,为上层文件传输模块提供具体的文件传输服务。主机 1 的通信服务模块接收进程 A 的文件,并负责文件发送工作。主机 2 的通信服务模块负责文件接收工作,并把接收到的文件提交给进程 B。

第三层网络接入模块,负责与网络接口有关的细节工作。如规定帧的传输格式、帧的最大长度、通信过程中同步方式等,为上层通信服务模块提供网络接口服务。

2. 网络体系结构

计算机网络体系结构就是计算机网络及其部件应完成的功能的精确定义。体系结构是抽象的,而实现则是具体的,是真正可以运行的计算机硬件和软件。具体来说,实现就是在遵循体系结构的前提下,用硬件或软件完成这些功能。

在网络发展初期,各个公司都有自己的网络体系结构,但是随着社会的发展,不同网络体系结构的用户迫切要求能互相交换信息。为了使不同体系结构的计算机网络都能互联,国际标准化组织 ISO 于 1978 年提出了“异种机联网标准”的框架结构,这就是著名的开放系统互联参考模型(Open Systems Interconnection Reference Model, OSI/RM),简称为 OSI。

OSI 得到了国际上的承认,成为其他各种计算机网络体系结构依照的标准,大大地推动了计算机网络的发展。

OSI 定义了网络互联的七层框架(自下而上依次是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层),详细规定了每一层的功能,以实现开放系统环境中的互联性、互操作性和应用的可移植性。只要遵循 OSI 标准,一个系统就可以和位于世界上任何地方的也遵循同一标准的其他任何系统进行通信。

但是在市场化方面,OSI 却失败了。大概有以下几个原因:国际标准化组织的专家们在完成 OSI 标准时没有商业驱动力;OSI 协议的实现过分复杂,且运行效率低;OSI 标准的制定周期太长,按 OSI 标准生产的设备无法及时进入市场;OSI 的层次划分不太合理,有些功能在多个层次中重复出现。国际标准 OSI 并没有得到市场认可,但是非国际标准的 TCP/IP 获得了最广泛的应用,成为事实上的国际标准。

TCP/IP 是四层体系结构,自上而下依次是应用层、传输层、网络层和网络接口层,但最下面的网络接口层并没有具体内容。因此往往采取折中的办法,即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点,采用一种有五层协议的体系结构,自上而下依次是应用层、传输层、网络层、数据链路层、物理层。其中应用层在传输层提供的可靠的网络数据传输服务的基础上,实现具体的网