

计算机网络概述

1.1 计算机网络的定义与组成

1.1.1 计算机网络的定义

什么是计算机网络？在今天的工作与生活中，人们几乎天天都在跟计算机网络打交道，但对于什么是计算机网络的问题，在不同的教科书中有着不同的答案。

在 1946 年第一台电子计算机诞生之后，电子计算机非凡的计算速度使人们产生了如何充分利用计算机功能的想法。在 20 世纪 50 年代，美国军方就尝试将远程的雷达系统通过通信线路连接到一台大型计算机上，实现分布的防空信息的集中处理。

在 20 世纪 60 年代，随着数据通信技术的研究和数据终端的问世，在一台计算机上可以连接多个数据终端，计算机分时地为多个用户服务的多用户多任务技术已经成熟。美国航空公司建成的由一台大型计算机和分布在全国各地的两千多个订票终端组成的航空订票系统被称为计算机网络。这种以一台计算机为中心，连接若干远程数据终端的计算机网络现在一般称为面向终端的远程联机系统或集中式网络。

计算机网络技术发展到现在，在数据通信技术、计算机技术和智能终端方面已经有了巨大的进步，但集中式网络系统仍然在一些部门使用，如银行业务网络。现在的集中式网络虽然在技术及设备方面都与面向终端的远程联机系统有了本质的差别，但具有一个中心的特征没有变，银行的营业终端脱离了网络中心就不能办理业务。

集中式网络对于军方是不能接受的，因为它有网络中心。在一个军事指挥网络中，中心的毁灭其后果是可以想象的。对于网络中心的安全问题，最好的解决办法就是没有中心。1969 年，美国国防部高级计划研究局提出了多台计算机相互连接的课题，建立了多台独立的计算机相互连接，并且它们之间能够通信和共享硬件资源与信息资源的计算机网络。这个网络称为 ARPANET，它是 Internet 的前身，是计算机网络发展史上的里程碑。

在 20 世纪 70 年代初期之前，计算机网络主要是连接一些大型的计算机，通信线路主要采用电信公司提供的电话线路或数据线路。在 70 年代之后，随着小型计算机、微型计算机和个人计算机的出现与应用，小范围的多台计算机联网需求日益强烈，一些研究机构和公司研制了局域网络，比较有影响的是美国加州大学的 Newhall 环网、英国剑桥大学的剑桥环网以及美国 Xerox 公司的 Ethernet 总线网（以太网）。在局域网产品中，Ethernet

是最具生命力的,它几乎占据了现在的绝大部分局域网市场。

所谓局域网,就是在局部范围内的计算机网络,一般为一个单位或部门所拥有。局域网最主要的特征是通信线路为用户自备线路,不需要租用电信公司的通信线路,而且线路带宽不受电信公司的限制,网络数据传输速率高,更易于网络硬件资源和软件资源的共享。

通过计算机网络的发展过程可以知道,所谓计算机网络,主要是解决计算机之间的通信和资源共享问题,所以作者比较认同的计算机网络的定义是:计算机网络是利用通信线路和通信设备将多个具有独立功能的计算机系统连接起来,按照网络通信协议实现资源共享和信息传递的系统。

在这个关于计算机网络的定义中包含了四个方面的问题:一是网络中的计算机需要利用通信线路和通信设备来连接;二是网络中的计算机都是具有独立功能的计算机系统,计算机没有对网络的依赖性;三是网络中的计算机都要遵守网络中的通信协议,使用支持网络通信协议的网络通信软件;四是计算机网络的目的是实现资源共享和信息传递。

注意:这里所说的“网络”是宏观意义上的网络、物理网络。而一般所说的“网络”是指一个逻辑网络,是具有相同网络地址的一组计算机网络连接。读者在遇到“网络”一词时需注意根据上下文斟酌其含义。

1.1.2 计算机网络的组成

在 APRANET 中,网络主要由两部分组成:一是负责数据存储和数据处理的计算机和终端设备及信息资源,二是负责通信控制的报文处理机和通信线路。因此,把计算机网络划分成两部分:资源子网和通信子网。虽然计算机网络经历了多年的发展变化,但资源子网和通信子网的概念延续了下来,只不过两个子网中的成员发生了变化,而且在局域网中负责网络通信控制的“网卡”是安装在计算机机箱内部的,所以用图示表示的资源子网和通信子网结构会造成一些错觉。一般把计算机网络的组成表示成如图 1-1 所示。

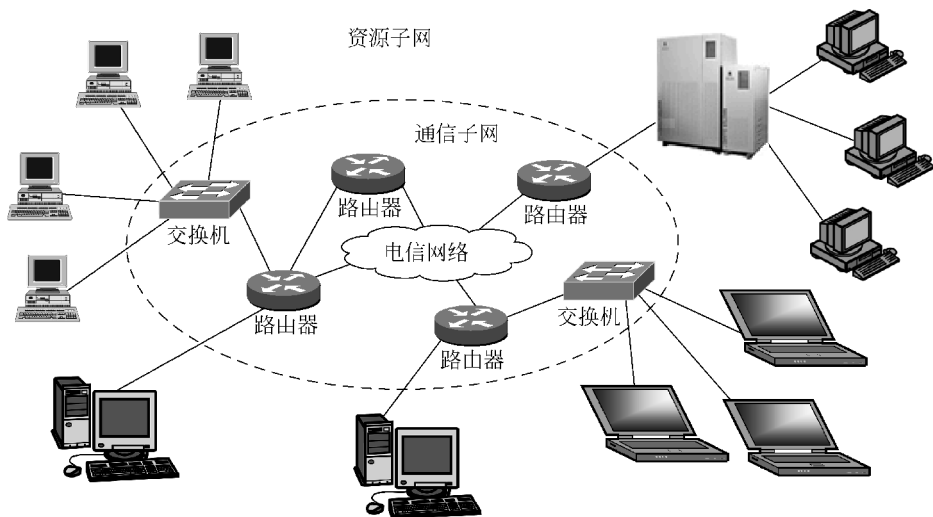


图 1-1 计算机网络的组成

资源子网中包括各种计算机、终端、打印机等硬件资源、软件资源及信息资源(其中,计算机也称作主机。主机的名称来源于计算机和数据终端组成的系统。现在这两个名词已经没有区别了);通信子网包括通信控制设备、通信传输设备、交换机、路由器及通信线路等。

1.2 网络通信协议与网络体系结构

1.2.1 网络通信协议的概念

通信就是信息的传递。在日常生活中,人与人之间的语言交流、书信往来都是通信。无论哪种形式的通信,通信双方都必须遵守一定的规则。通信双方为实现通信而制定的规则、约定与标准就是通信协议。例如,人与人之间对话时需要约定使用的语言和发言的顺序;在书信通信时,需要约定书信的语言、格式以及信封格式等。

在计算机网络中,通信的双方是计算机。为了使计算机之间能正确地通信,必须制定严格的通信规则、约定和标准,准确地规定传输数据的格式与时序。这些规则、约定与标准就是网络通信协议。

网络通信协议通常由三部分组成:语义、语法和时序。语义表示做什么,语法表示怎么做,时序表示什么时候做。

1.2.2 网络体系结构

在计算机网络中,计算机之间通信涉及的问题非常复杂。从用户提交信息开始,到信息通过通信线路传递到对方计算机,最终交付到接收用户,这个通信过程涉及网络应用程序、网络通信程序、计算机操作系统、计算机硬件系统、网络通信接口、通信线路以及通信传输网络。要让所有的计算机都能连接到一个计算机网络中,这个网络的通信协议的设计是相当困难的。即便是设计出了完美的网络通信协议,由于计算机硬件的发展、软件系统的升级以及通信网络、通信线路的变化都会影响通信协议的性能。这个网络通信协议从一诞生就将进入永无休止的升级改造,不可能实现具有实用价值的网络通信。

如何解决这个问题呢?其实,在邮政信函的通信过程中就可以找到答案。图1-2所示是一个简化的邮政信函通信过程。

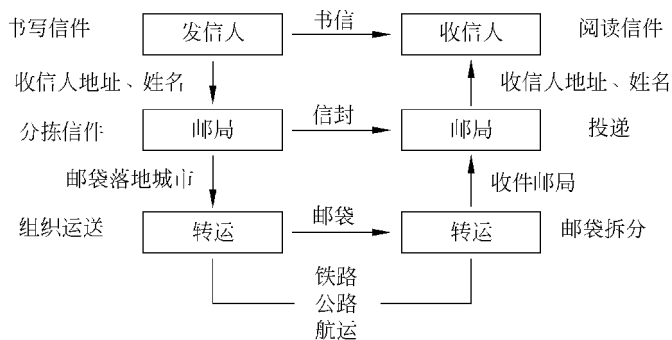


图 1-2 邮政信函的通信过程

在邮政信函通信过程中,通信的内容是发信人书写的信件。信件的格式、语言文字等需要使用和收信人约定的通信协议。信件写好之后需要通过邮局寄送,所以要把信件

装在一个信封内,信封上需要按照邮局的格式规定书写收信人的地址、姓名,以便邮局根据收信人地址投递。

邮局为了提高工作效率,需要对信件进行分拣,将寄送到同一城市的信封装入一个邮袋,在邮袋上贴上落地城市的标签,送给邮政转运部门去运送。

邮政转运部门根据落地城市信息将该邮袋和其他邮寄物品一起组织运送。装有信封的邮袋可能搭载火车、集装箱汽车或飞机到达目的城市。

邮袋到达落地城市后,邮政转运部门根据邮袋上的地址标签接收邮袋,拆开邮袋后将信封交给邮局投递部门。投递员根据信封上的地址、姓名将信投递到收信人。收信人拆开信封得到信件内容。

从上述邮政信函通信过程可以得到如下结论。

1. 整个通信过程是分层进行的

邮政信函通信过程可以分为用户、邮局、转运三个层次,每个层内只知道自己应该做什么,而不关心其他层做什么。发信人不关心邮局如何将信件送到收信人,邮局不关心转运部门如何将邮袋运送到目的城市;转运部门不关心邮袋内装的是什么,邮局不关心信件内容是什么。对于用户来说,整个通信过程是透明的。

2. 通信协议是对应层之间的协议

整个通信过程中的通信协议(规则和约定)也是分层的,每个层内有自己的通信协议。发信人和收信人遵守双方约定的书信格式、语言文字协议;邮局和邮局之间按照信封上的用户信息传递邮件;转运部门按照邮袋上的落地城市标签运送和接收邮袋。各层内的协议与其他层协议无关。

3. 层与层之间只存在简单的接口关系

在邮政信函通信过程中的各层之间只存在简单的接口关系。发信人需要按照邮局的要求提供收信人的地址、姓名信息;邮局分拣部门需要为邮政转运部门提供邮袋落地城市地址信息。如果邮局或邮政转运部门内部的生产组织方式发生了变化,例如邮袋的运输由铁路改为汽车集装箱,对用户和邮局没有任何影响。

将邮政信函通信过程中的经验应用到计算机网络通信系统中,就产生了网络体系结构。即将计算机网络系统划分成若干功能层次,各个层内使用自己的通信协议完成层内通信,各层之间通过接口关系提供服务,各层可以采用最合适的技术来实现,各层内部的变化不影响其他层。

网络体系结构的研究使计算机网络的发展进入了一个新的阶段。1974年IBM公司提出了世界上第一个网络体系结构SNA(System Network Architecture)。之后,其他公司相继提出了各自的网络体系结构。

1.3 OSI 参考模型

为了有一个统一的标准解决各种计算机的联网问题,1974年国际标准化组织ISO(International Standards Organization)组织了大批科学家制定了一个网络体系结构,称

作开放式系统互连模型 OSI(Open System Interconnection)。所谓“开放”,就是说只要遵守 OSI 标准,任何计算机系统都可以连接到这个计算机网络中。OSI 参考模型如图 1-3 所示。

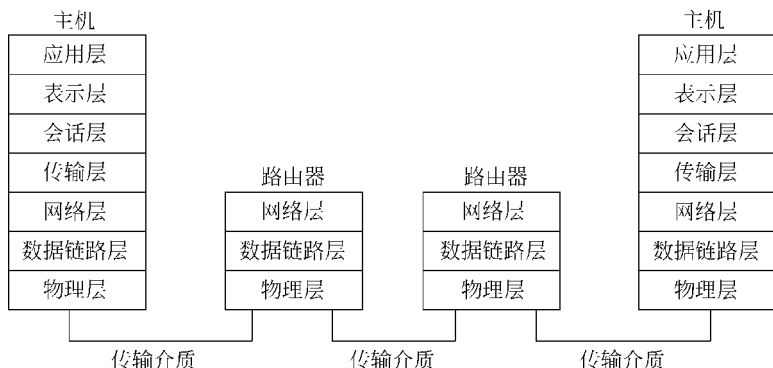


图 1-3 OSI 参考模型

OSI 参考模型将网络通信功能划分成 7 个层次,详细地定义了各层所包含的服务,以及层次之间的相互关系。其中,物理层的主要功能是利用传输介质为通信网络节点之间建立、管理和释放物理连接,实现比特流的透明传输;数据链路层的主要功能是在物理层的基础上,在通信实体之间建立数据链路连接,通过流量控制与差错控制实现相邻节点之间无差错的传输;网络层的主要功能是在通信网络中选择最佳路由;传输层的主要功能是实现端到端的可靠性数据传输;会话层的主要功能是建立和维护通信双方的会话连接;表示层的主要功能是处理两个系统中的信息表示方法;应用层的主要功能是为应用程序提供网络通信服务。

OSI 参考模型对计算机网络发展的作用是巨大的,但到目前为止,市场上还没有按照 OSI 参考模型开发的产品,所以 OSI 参考模型只是一个概念性框架。

1.4 TCP/IP 参考模型

ARPANET 对计算机网络的发展有着不可磨灭的功绩,计算机网络的许多概念和方法都源于 ARPANET。在 ARPANET 中使用的网络体系结构称作 TCP/IP 参考模型,它是由著名的传输层协议 TCP 和网络层协议 IP 而得名,通常人们称之为 TCP/IP 协议。在 1973 年,ARPANET 上的计算机节点有 40 多个;到 1983 年,ARPANET 上的计算机节点达到了 100 多个,而且美国国防部通信局公开了 TCP/IP 协议技术内容,许多计算机设备公司都表示支持 TCP/IP 协议,所以 TCP/IP 协议成为公认的计算机网络工业标准或事实上的计算机网络标准。图 1-4 所示是 TCP/IP 参考模型和 OSI 参考模型的对应关系。

TCP/IP 参考模型将网络体系结构划分成 4 层,其最底层“网络接口层”其实并不是一个具体的功能层,TCP/IP 参考模型没有定义该层如何实现,它允许主机在连接到 TCP/IP 网络时使用任意流行的协议。就像邮局将邮袋交给邮政转运部门一样,只要能够把邮袋送达目的地,通过铁路运输还是公路运输是没有关系的。所以在 TCP/IP 网络

OSI		TCP/IP
应用层	-----	应用层
表示层		
会话层		
传输层		传输层
网络层	-----	互连网络层
数据链路层	-----	网络接口层
物理层		

图 1-4 TCP/IP 参考模型和 OSI 参考模型的对应关系

中,互连网络层以下可以是任意类型的局域网,也可以是电信公司的 X.25 网络、帧中继网络、电话网络等,它们只是运送网络数据报文的通道。正是 TCP/IP 网络的这种兼容性与适应性,使得该网络获得了巨大的成功。

TCP/IP 参考模型的互连网络层和 OSI 参考模型的网络层对应,一般也称为网络层或互连层。该层主要完成主机到主机的通信服务和数据报的路由选择。TCP/IP 参考模型的传输层主要为网络应用程序完成进程到进程(端到端)的数据传输服务。

TCP/IP 参考模型的应用层是网络服务应用程序,例如文件传输协议 FTP、超文本传输协议 HTTP、简单邮件传输协议 SMTP、远程登录协议 TELNET 及域名系统 DNS、简单网络管理协议 SNMP 等人们熟知的应用程序。当然,应用层也包含用户自己开发的网络应用程序,如网络聊天程序和网络游戏等。

1.5 TCP/IP 协议网络中的数据传输过程

在如图 1-5 所示的网络中,用户甲在计算机 A 上使用网络应用程序 X 给在计算机 B 的用户乙发送了一个信息“ok”。现在来看这个“ok”信息是如何通过 TCP/IP 网络传输的。

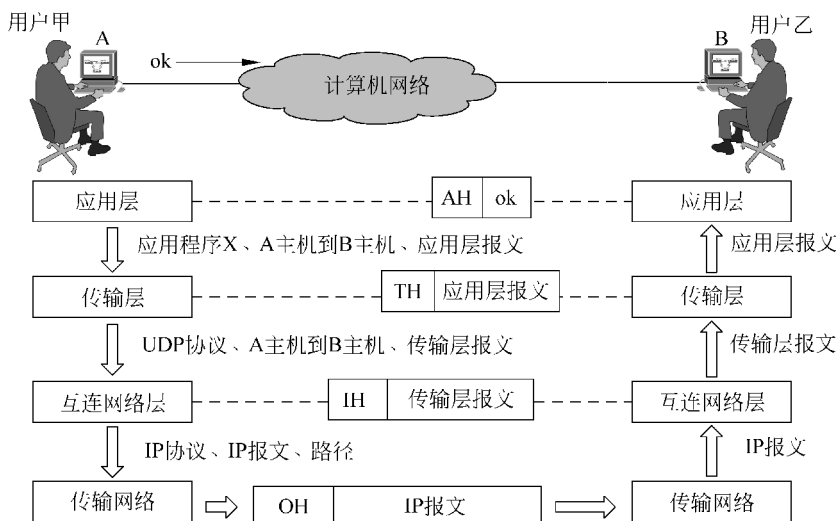


图 1-5 TCP/IP 协议网络中的数据传输过程

当用户甲确定发送信息后,应用程序 X 在“ok”数据上添加与该程序之间的约定信息,这些协议信息称作协议报头,在应用层称作应用层报头(AH)。这个报头就像邮政信函中的信封一样。

应用层将需要传递的信息(用户数据“ok”和应用层报头 AH)作为应用层报文交给传输层,同时告诉传输层,这是一个应用程序 X 的通信报文,发送方是主机 A,接收方是主机 B,该报文的接收者是应用程序 X。

传输层接收到应用层报文后,根据应用程序 X 的要求选择一种传输层协议,例如 UDP 协议。传输层根据选择的协议在应用层报文外边又添加一些协议信息,例如告诉接收方传输层这个报文的接收者是应用程序 X。这些作为传输层协议报头(TH)加在应用层报文外边,形成传输层报文,就像邮政信函通信中把信封装进一个邮袋并贴上标签一样。

传输层将传输层报文(应用层报文和传输层报头)交给互连网络层去传输,同时告诉互连网络层该报文需要按照 UDP 协议处理,接收方是计算机 B,发送方是计算机 A。

互连网络层接收到传输层报文后,又在传输层报文外面加上一个互连网络层协议报头(IH),其中包括接收方主机地址、发送方主机地址以及其他协议信息,形成互连网络层报文(简称为 IP 报文),就像邮政通信中将邮袋装进了集装箱,并在集装箱外贴上了路条一样。

互连网络层将 IP 报文交给下层的其他协议网络去传输,同时告诉下层网络,这是一个 IP 报文,接收方需要按照 IP 协议去处理该报文。

互连网络层告诉下层其他协议网络的还有一个信息,就是 IP 报文传输的路径。TCP/IP 网络的互连网络层的一个重要功能就是路由选择。互连网络层在知道了目的主机地址后首先进行路由选择,检查是否有到达目的主机的路径。只有查到确实有路径可以到达目的主机时,互连网络层才将 IP 报文交给下层的其他协议网络去传输。下层的其他协议网络不知道 TCP/IP 协议的主机地址,就像邮政部门把集装箱交给其他物流公司去运输一样,物流公司看不懂邮政编码表示的地址,只需要邮政部门告知集装箱运到哪里去。由此可以看到,在 TCP/IP 网络中,虽然可以让各种协议的网络为其传输 IP 报文,但它还是需要知道物理网络的结构,知道经过怎样的路径传递 IP 报文。

对于下层的其他协议网络,需要根据互连网络层指示的路径传递 IP 报文。当然,对于不同协议的网络,具体的传递方式会有所不同,主要体现在如何准确无误地把 IP 报文传递到目的地。下层网络对于 TCP/IP 网络来说就像是一个货运公司,每个货运公司会有自己的运营及管理机制,但最终目的是完成货物的安全运输。下层网络中使用的网络通信协议是不同的,而且这些协议与 TCP/IP 网络是无关的,只是下层网络的数据传输速率(货运公司的工作效率)会影响整个网络的数据传输速率。选择一个好的下层网络(货运公司)对于提高网络的性能还是很有用处的。

IP 报文到达接收主机后,接收主机上的互连网络层打开 IP 报头,并根据目的主机地址查看是否是应该接收的报文。核对正确后,去除互连网络层协议报头 IH,根据 IH 中指示的上层协议类型,将传输层报文交给传输层的 UDP 协议去处理。接收主机上的传

输层去除传输层报头 TH,根据 TH 中指示的应用层接收程序,将应用层报文交给应用层的应用程序 X。这时,计算机 B 上的用户乙就可以通过应用程序 X 看到用户甲发给他的 ok 信息了。

1.6 计算机网络的分类

计算机网络的分类方法很多,常见的有以下几种。

1.6.1 按网络的工作方式分类

按照计算机网络的工作方式进行分类,可以很好地反映网络的用途和特点。按照计算机网络的工作方式可以分成集中式网络和分布式网络。

1. 集中式网络

集中式网络是指由一台功能较强的主机设备通过通信系统和远地的终端设备连接起来,分时地为远程终端服务的计算机网络。常见的集中式网络是银行业务网络。由于银行业务网络中的所有账户信息及账目数据都存储在中心主机的数据库中,银行各个营业网点的业务终端只有依靠中心主机的服务才能办理业务。

集中式网络是在面向终端的远程联机系统的基础上形成的。在今天的网络中,终端设备一般都是微机智能终端,集中式的含义是指作为终端设备的计算机系统均围绕中心主机工作,只有在主机系统的支持下,终端系统才能提供服务。

2. 分布式网络

由多台具有独立工作功能的计算机系统互连组成的计算机网络称为分布式网络。在分布式网络中,计算机系统间通过通信实现资源共享。

分布式网络是具有一般意义的计算机网络。在分布式网络中,没有中心主机的概念,便于发挥计算机各自的性能。各个计算机系统既能独自工作,又能在网上进行信息交换,共享硬件、软件和信息资源。Internet 就是一个分布式网络。

1.6.2 按网络的覆盖范围分类

按照计算机网络覆盖的地理范围进行分类,可以反映不同网络的技术特征。对于覆盖不同地理范围的网络,所采用的数据传输技术不同,因此有不同的技术特点与网络服务功能。一般按网络覆盖的地理范围分成局域网、广域网和城域网。

1. 局域网

局域网(Local Area Network, LAN)是使用自备通信线路和通信设备,并且覆盖较小地理范围的计算机网络。它一般为一个单位或部门所拥有。

局域网最主要的特征是使用自备通信线路和通信设备组建计算机网络。在局域网中没有网络通信费用,网络传输速率只受通信线路传输速率的限制。一般情况下,局域网中的数据传输速率较高,可以是公用通信网中数据传输速率的几十倍到几万倍,达到 $10 \sim 10000 \text{ Mb/s}$ 。

2. 广域网

广域网(Wide Area Network, WAN)是租用公用通信线路和通信设备,并且覆盖较大地理范围的计算机网络。Internet 就是一个广域网。

由于广域网覆盖的地理范围大,可能跨地区、跨省、跨国家,所以必须租用公用通信线路。广域网租用线路的距离越长,数据传输速率越大,通信线路费用就越高。受通信费用和公用通信线路数据传输速率的限制,一般广域网中的数据传输速率较低,一般在几千比特每秒到几兆比特每秒之间。

局域网之间也可以通过公用通信线路互连形成广域网,广域网的底层大部分是局域网。所以在广域网中,通信干线由于需要使用公用通信线路,所以数据传输速率较低,但本地局域网内的数据传输速率可以很高。

3. 城域网

从地理覆盖范围的角度来看,城域网(Metropolitan Area Network, MAN)是介于局域网和广域网之间的网络。较早时期,城域网和广域网的实现技术没有什么区别,所以在一段时间内城域网的概念几乎消失了。近些年来,随着高速局域网的出现和光纤通信网络的普及,局域网的数据传输速率达到了万兆比特每秒,通信距离达到了几十千米,电信运营商利用高速局域网技术和光纤线路在所覆盖的城市范围内建立了提供各种信息服务业务的计算机网络,在这个网络上可以实现语音、图像、数据、视频、IP 电话等多种增值业务,为城区单位组建虚拟网络。现在的城域网是覆盖城区范围,提供各种信息服务业务的高速计算机网络,是现代化城市建设的重要基础设施。

1.6.3 按网络传输技术分类

网络采用的传输技术有不同的特点。按照网络传输技术的不同,可以把计算机网络分成广播式网络和点对点式网络。

1. 广播式网络

广播式网络是指网络中的所有计算机共享一条公共通信信道的计算机网络。在广播式网络中,当一台计算机发送数据时,其他计算机只能接收数据,并根据数据报文中的目的地址判断是否是发送给自己的数据。如果是,接收并处理该报文,否则丢弃该报文。

2. 点对点式网络

点对点式网络是指网络中的通信节点之间存在一条专用通信线路的计算机网络。点对点式网络通信控制比较简单,但两台计算机之间的通信线路可能存在多个中间节点和多条通信路由。所以在点对点式网络中,计算机之间的通信可能需要中间节点的转发和路由选择。

1.6.4 按网络拓扑结构分类

网络拓扑结构是指将网络中的实体抽象成与其大小、形状无关的点,将连接实体的线路抽象成线,使用点、线表示的网络结构。按照网络拓扑结构,计算机网络可以分成星型、总线型、环型、网状以及由多个星型组成的树型结构和由星型、环型组成的星环结构。下

面介绍基本的星型、总线型、环型、树型和网状拓扑结构网络。

1. 星型网络

星型拓扑结构网络是指各个节点使用一条专用通信线路和中心节点连接的计算机网络。在星型拓扑结构网络中,任何两个节点之间的通信都需要经过中心节点。图 1-6(a)所示是以交换机作为中心节点的星型网络,图 1-6(b)所示是星型网络拓扑结构图。

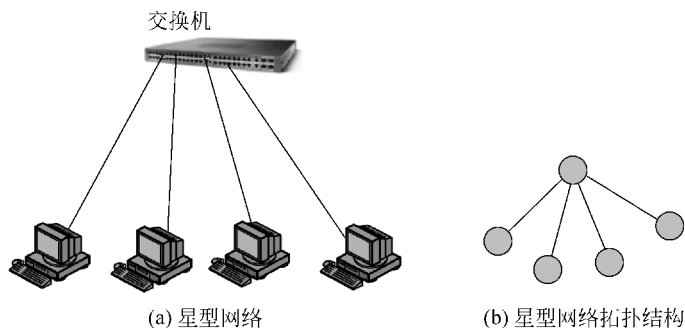


图 1-6 星型网络和星型网络拓扑结构

星型网络结构简单,其通信控制容易实现,便于网络的维护和管理。

2. 总线型网络

网络中的所有计算机共享一条通信线路的计算机网络称作总线型网络。图 1-7(a)所示是总线型网络示意图,图 1-7(b)所示是总线型网络拓扑结构图。

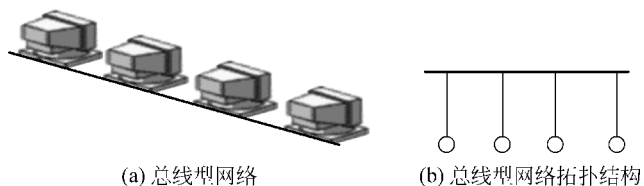


图 1-7 总线型网络和总线型网络拓扑结构

总线型网络的主要代表是总线型局域网和无线局域网。在早期的总线型局域网中,通信线路采用同轴电缆(类似有线电视电缆)。虽然在线路上既可以发送数据也可以接收数据,但由于只有一条信道,一个节点不能同时接收和发送数据。总线型网络中的通信线路的费用是最低的,但通信控制方法比较复杂,由于在网络中同一时刻只允许一个节点发送数据,因而控制节点的发言权是通信控制中的主要问题。

3. 环型网络

当网络中的通信线路构成封闭的环路时,其拓扑结构为环型。较为典型的环型局域网有令牌环网和剑桥环网。早期的城域骨干网 FDDI 也是环型网络。在环型局域网中,所有的计算机共享一条通信线路,通信线路需要构成一个封闭的环,其用途主要是解决共享线路上各个节点的发言权算法问题。