

第 3 章 信息传输

信息是对现实世界事物的存在方式或运动状态的一种综合反映,从本质上看,信息是对社会、自然界的事物特征、现象、本质及规律的描述。信息技术是完成信息获取、传输、处理、存储、输出和应用的技术。信息传输是从一端将命令或状态信息经信道传送到另一端,并被对方所接收。

信息的传输离不开计算机网络,本章从计算机网络的基本概念入手,介绍计算机网络的分类、计算机网络的拓扑结构、计算机网络的性能、计算机网络的体系结构、因特网以及因特网应用技术等。

3.1 计算机网络

1946年,世界上第一台数字电子计算机 ENIAC 由美国宾夕法尼亚大学研制成功,当时轰动了整个世界,同时也宣告了信息革命的开始。1954年,一种具有收发功能的终端诞生,利用该终端,人们可以通过电话线把数据发送到远端计算机,这标志着计算机开始与通信技术相结合。此后,这种结合越来越紧密,最初的计算机中心的服务模式逐渐被计算机网络的服务模式所取代。目前,计算机网络已经在工业、通信、文化教育、交通运输、科研、航空航天、政府机关、金融、国防等领域得到了广泛的应用。今天,网络对人类社会信息化产生的影响越来越大。人们在这个精彩的网络世界里进行远程教学、网上办公、电子购物、浏览网页、电子查询、视频点播等各项活动。那么究竟什么是计算机网络,它们是如何定义和分类的?

3.1.1 计算机网络的定义

计算机网络是将分布在不同地理位置的多台独立的计算机(一般称为主机(Host)或工作站(Station))通过传输介质按一定几何拓扑结构连接在一起所组成的计算机系统。而在不同地理范围的计算机网络还可以通过互连设备和传输介质在更大范围被连接到一起组成互连网络,在网络软件系统(包括网络通信协议、网络操作系统与网络应用软件)的控制下,连接在网络上的各台计算机之间可以实现相互通信、资源共享、分布式处理等,从而大大提高系统的可靠性与可用性。

在计算机网络发展过程的不同阶段中,人们对计算机网络提出了不同的定义。这些

定义可以分为 3 类。

(1) 资源共享的观点

以能够相互共享资源的方式连接起来,并且各自具有独立功能的计算机系统的集合。该观点准确地描述计算机网络的基本特征,这也是计算机网络最突出的优点。

(2) 广义的观点

计算机技术与通信技术相结合,实现远程信息处理或进一步达到资源共享的系统。该观点定义了计算机通信网络。

(3) 用户透明的观点

存在一个能为用户自动管理资源的网络操作系统,由它来调用完成用户任务所需要的资源,而整个网络像一个大的计算机系统一样对用户是透明的。该观点定义了分布式计算机系统。

综上所述,我们将计算机网络定义为:利用通信设备和通信线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统互连起来,在网络软件的支持下,如通信协议、信息交换方式以及网络操作系统等,来实现网络中信息传递和资源共享的系统。

3.1.2 计算机网络的分类

1. 按网络覆盖范围划分

根据计算机网络所覆盖的地理范围不同,通常将计算机网络分为局域网(Local Area Network, LAN)、城域网(Metropolitan Area Network, MAN)、广域网(Wide Area Network, WAN)三种。

局域网用于将有限范围内,如一个实验室、一幢大楼、一个校园、一个公司的各种计算机、终端与外部设备互连成网络,其覆盖距离一般不超过 10km,可大可小。局域网技术发展迅速,应用日益广泛,是计算机网络中最活跃的领域之一。典型的应用如学校的教学信息管理系统、选课管理系统、综合办公信息管理系统、财务信息管理系统、生产销售信息管理系统等。

城市地区网络常简称为城域网。城域网是介于广域网与局域网之间的一种高速网络,是在一个城市范围内所建立的计算机通信网络。城域网设计的目标是要满足几十 km 范围内的大量企业、机关、公司的多个局域网互联的需求,以实现大量用户之间的数据、语音、图形与视频等多种信息的传输功能。典型的应用如城域教育网、城域党政信息网、公用宽带城域网等。

广域网也称为远程网。广域网是连接不同地区局域网或城域网计算机通信的远程网络。通常跨越很大的物理范围,它所覆盖的地理范围从几十 km 到几千 km。广域网可覆盖一个国家、地区或横跨几个洲,形成国际性的远程网络。广域网将分布在不同地区的计算机系统互连起来,达到资源共享的目的。典型的应用如中国公用计算机互联网(CHINANET)、中国教育科研网(CERNET)、因特网等。

2. 根据网络中各个结点之间的关系划分

根据网络中各个结点之间的关系,可以把计算机网络分成对等网络(Peer to Peer, P2P)和客户机/服务器(Client/Server, C/S)网络。

Peer 在英语里有“对等者、伙伴、对端”的意义。P2P 可以理解为对等计算或对等网络。对等连接是指两台主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方还是服务提供方。在对等网络环境中,彼此连接的多台计算机之间都处于对等的地位,各计算机有相同的功能,无主从之分。一般来说整个网络不依赖专用的集中服务器,也没有专用的工作站。网络中的每一台计算机既能充当网络服务的请求方,又可对其他计算机的请求做出响应,提供资源和服务。

C/S 网络通常采取两层结构,服务器负责数据的管理,客户机负责完成与用户的交互任务。在 C/S 网络中,客户机是服务的请求方,服务器是服务的提供方,服务器是网络的核心,客户机从服务器获得所需要的网络资源。C/S 结构在技术上已经很成熟,它的主要特点是交互性强、具有安全的存取模式、响应速度快、有利于处理大量数据。

3. 按网络的拓扑结构划分

在研究计算机网络组成结构时,可以采用拓扑学中一种研究与大小形状无关的点、线特性的方法,即抛开网络中的具体设备,把工作站、服务器等网络单元抽象为“点”,把网络中的电缆等通信介质抽象为“线”。这样,从拓扑学的观点看,计算机网络就变成了点和线组成的几何图形。我们称它为网络的拓扑结构。网络中的结点有两类:

- (1) 转接结点,只转接和交换信息的结点。
- (2) 访问结点,是信息交换的源结点和目标结点。

网络的拓扑类型主要分为总线型、星型、环型、树型、网状型等,如图 3.1 所示。

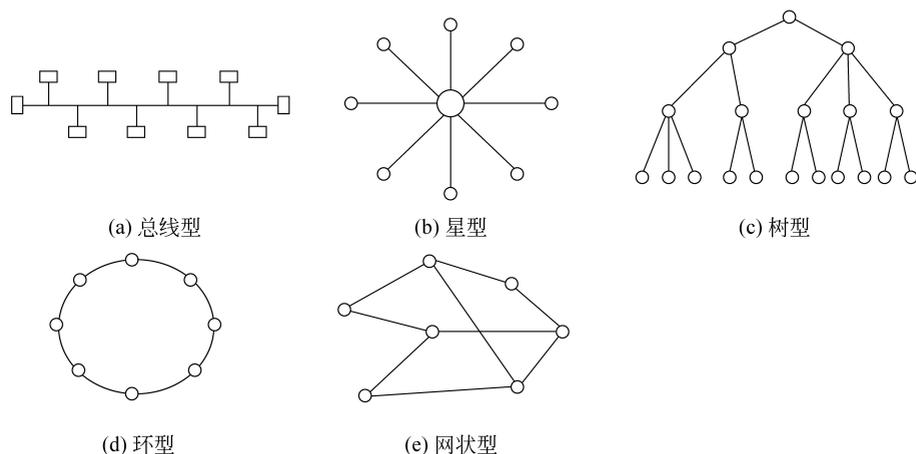


图 3.1 网络拓扑结构

(1) 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构的网络是将各个结点与一根总线相连,如图 3.2 所示。总线型网络

中的所有结点都通过总线进行信息传输,任何一个结点的信息都可以沿着总线沿两个方向传输,并被总线中任何一个结点所接收。

总线型网络的主要优点是:结构简单灵活,对结点设备的装卸非常方便,可扩充性好。当某个工作结点出现故障时不会造成整个网络的故障,因而可靠性高。

总线型网络的主要缺点是:对通信线路(总线)的故障敏感。任何通信线路的故障都会使得整个网络不能正常运行。总线型网络结构是最传统的、也是最广泛使用的一种网络结构。

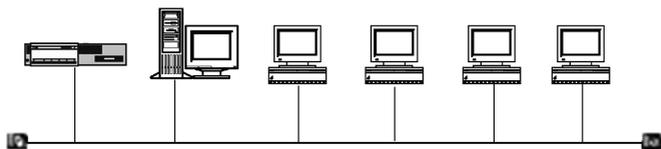


图 3.2 总线型拓扑结构

(2) 星型拓扑结构

星型拓扑结构的网络是以中央结点为中心与各个结点连接组成,中央结点多采用集线器或交换机连接其他结点,如图 3.3 所示。如果一个工作站需要传输数据,它首先必须通过中央结点,中央结点接收各结点的信息再转发给相应结点,因此中央结点相当复杂,负担比其他结点重得多。中心站超负荷或者发生故障时,整个网络将停止工作。

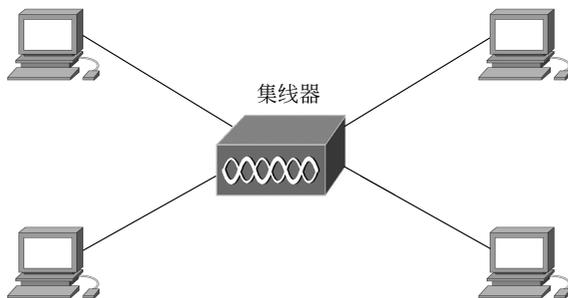


图 3.3 星型拓扑结构

星型网络的主要优点是:结构简单,建网容易,便于控制和管理。其缺点是:中央结点负担重,故容易在中央结点上形成系统的“瓶颈口”。

(3) 环型拓扑结构

环型拓扑结构的各结点连接在一条首尾相连的闭合环型线路中,如图 3.4 所示。环型网络中的信息传送是单向的,即沿一个方向从一个结点传到另一个结点。由于信息按固定方向单向流动,两个结点之间仅有一条通路,系统中无信道选择的问题。

在环型网络中,环路上任何结点均可以请求和发送信息,当信息流中的目的地址与环中的某个结点的地址相符时,信息被该结点接收。环型网络根据不同的控制方法,决定信息不再继续往下传送或信息继续流向下一个结点,一直回到发送该信息的结点为止。因此,任何结点的故障均能导致环路不能正常工作。

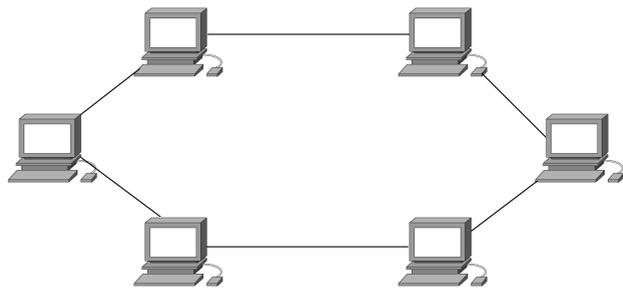


图 3.4 环型拓扑结构

环型网络的主要优点是：结构简单，由此使得路径选择、通信接口、软件管理都比较简单，所以实现起来比较容易。

环型网络的主要缺点是：当结点过多时，影响传输效率，使网络响应时间变长；另外，在加入新的工作站时必须使环路暂时中断，故不利于系统扩展。

目前的一些环型网络对此也有了改进办法，如建立双环结构等。环型结构也是常用的网络拓扑结构之一。

(4) 树型拓扑结构

树型拓扑结构是一种分级结构，如图 3.5 所示。与星型网络比较，其线路总长度较短，成本较低，但其结构比星型网络更复杂。在树型网络中，任意两个结点之间不会产生回路，每条通路都支持双向传输。两个结点之间的通路，有时需要经过中间结点才能连通。

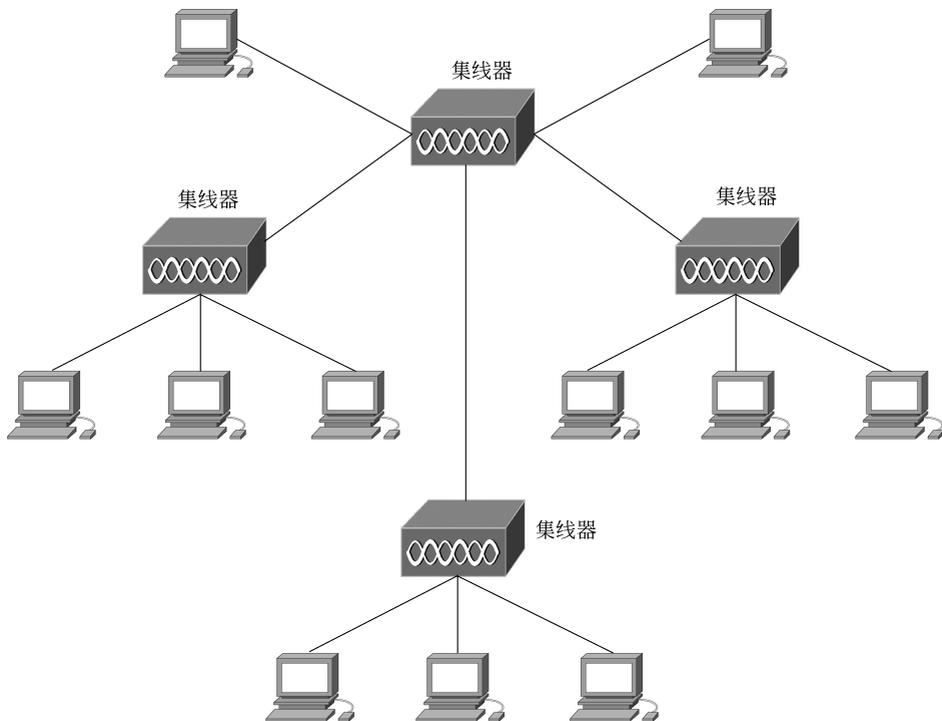


图 3.5 树型拓扑结构

树型网络的主要优点：扩展方便、灵活，成本低，易推广；天然的分级结构使得这种网络比较适用于分主次或分等级的层次型管理系统；易于隔离故障，如果某一线路或某一分支结点出现故障，它主要影响局部区域，因而能比较容易地将故障部位跟整个系统隔离开。

树型网络的主要缺点：各个结点对根结点的依赖性太大，如果根结点发生故障，则整个网络都不能正常工作。

(5) 网状型拓扑结构

网状型拓扑结构又称不规则型结构，网络中各结点的连接没有一定的规则，一般是在结点的地理位置分散的远程网中使用。对于这种结构的网络，其中任何一个结点都至少和其他两个结点相连，因此这种网络结构可用性比较好，可靠性高，但是网络布线复杂，特别是在相距比较远的多结点之间。

网状网络的主要优点有：网络可靠性能高，网络可建成各种形状，采用多种通信信道，多种传输速率，网内结点共享资源容易，可选择最佳路径，传输延迟小。

网状网络的缺点是：网络控制和软件功能配置复杂，建网较难，线路费用高，不易扩展。

3.1.3 计算机网络的性能

影响网络性能的因素有很多，如传输的距离、使用的线路、传输技术、带宽等。对用户而言，则主要体现在所获得的网络速度。计算机网络的主要性能指标包括速率、带宽、误码率、吞吐量和时延等。

1. 速率

计算机发送出的信号都是数字形式的。比特(bit)是计算机中数据量的单位，英文单词 bit 来源于 binary digit，意思是一个“二进制数字”，因此一个比特就是二进制数字中的一个 1 或 0。网络技术中的速率指的是连接在计算机网络上的主机在数字信道上传送数据的速率，它也称为数据率(data rate)或比特率(bit rate)。速率是计算机网络中最重要的一性能指标。速率的单位是 bps(比特每秒)(即 bit per second)，或者是 kbps、Mbps、Gbps 等。比特率越高，表示单位时间传送的数据就越多。

2. 带宽

在局域网和广域网中，都使用带宽(Bandwidth)来描述它们的传输容量。带宽有以下两种不同的意义。

- 带宽本来是指某个信号具有的频带宽度。信号的带宽是指该信号所包含的各种不同频率成分所占据的频率范围。例如，在传统的通信线路上。传送的电话信号的标准带宽是 3.1kHz(从 300Hz 到 3.4kHz，即语音的主要成分的频率范围)。这种意义的带宽的单位是 Hz(或 kHz、MHz、GHz 等)。
- 在计算机网络中，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中的某一点到另一点所能通过的“最高数据率”。本书一般说到的带宽就是指这个意思。这种意义的带宽的单位通常是“比特每秒”，记为 bps。

3. 误码率

在数据通信中，在一定时间内收到的数字信号中发生错误的比特数与同一时间所收到的数字信号的总比特数之比，就称为“误码率”，也可以称为“误比特率”。误码率是衡量数据在规定时间内数据传输精确性的指标。

误码率 = 接收出现错误的比特数 ÷ 总的发送的比特数

误码率是最常用的数据通信传输质量指标。如果发送的信号是 1，而接收到的信号却是 0，这就是“误码”，也就是发生了一个差错。例如，一万位数据中出现一位差错，即误码率为万分之一，即 10^{-4} 。

数字信号在传输过程中不可避免地会产生差错，误码的产生是由于在信号传输中，衰变改变了信号的电压，致使信号在传输中遭到破坏，产生误码。例如在传输过程中受到外界的干扰，或在通信系统内部由于各个组成部分的质量不够理想而使传送的信号发生畸变等。当受到的干扰或信号畸变达到一定程度时，就会产生差错。噪声、交流电或闪电造成的脉冲、传输设备故障及其他因素都会导致误码。

4. 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。吞吐量经常用于在现实世界中网络数据的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。

由于诸多原因使得吞吐量常常远小于所用介质本身可以提供的最大数字带宽。决定吞吐量的因素有网络互连设备、所传输的数据类型、网络的拓扑结构、网络上的并发用户数量、用户的计算机、服务器和拥塞等。

5. 时延

时延(Delay 或 Latency)是指一个报文或分组从一个网络(或一条链路)的一端传输到另一端所需的时间。通常来讲，时延是由以下几个不同的部分组成的。

(1) 发送时延

发送时延是结点在发送数据时使数据块从结点进入传输介质所需的时间，也就是从数据块的第一个比特开始发送算起，到最后一个比特发送完毕所需的时间，又称为传输时延。

(2) 传播时延

传播时延是电磁波在信道上需要传播一定的距离而花费的时间。信号传输速率(即发送速率)和信号在信道上的传播速率是完全不同的概念。

(3) 处理时延

处理时延是指数据在交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。

(4) 排队时延

结点缓存队列中分组排队所经历的时延。排队时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。

数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和：

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} + \text{排队时延}$$

3.1.4 计算机网络的组成

无论是哪一种类型的计算机网络,一般都是由通信子网(简称子网)、资源子网和网络协议三大部分组成的。网络中各计算机之间通过传输介质、通信设备进行数字通信,在此基础上各计算机可以通过网络软件共享其他计算机上的硬件资源、软件资源和数据资源。

从网络硬件上看,计算机网络包括通信子网和资源子网两大部分,如图 3.6 所示。

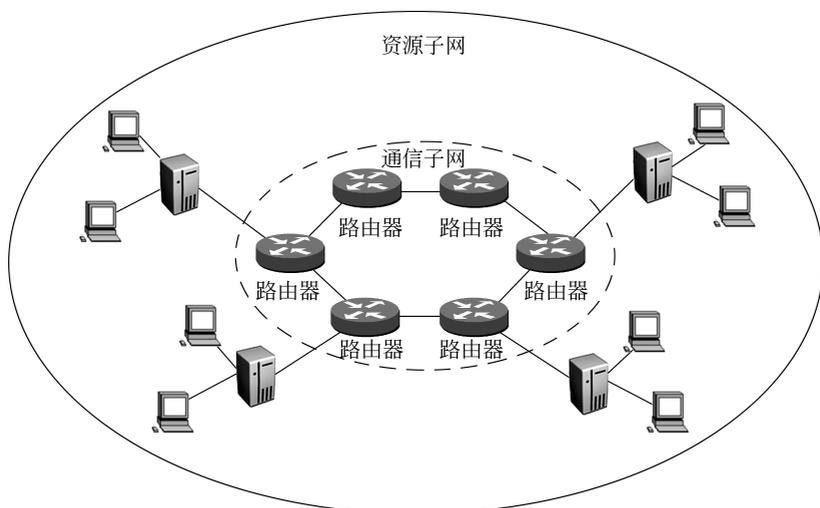


图 3.6 通信子网与资源子网

(1) 通信子网

通信子网提供计算机之间互相传输信息的通路。通信子网由通信控制处理机(如中继器、集线器、网桥、路由器、交换机等硬件设备)通过传输介质组建在一起,承担全网的数据传输、转接、加工和交换等通信处理工作,实现把信息从一台主机传输到另一台主机。

通信控制处理机在网络拓扑结构中被称为网络结点。它一方面作为与资源子网的主机、终端连接的接口,将主机和终端接入网内;另一方面它又作为通信子网中的分组存储转发结点,完成分组的接收、校验、存储、转发等功能,实现将源主机报文准确地发送到目的主机的作用。

通信线路为通信控制处理机与通信控制处理机、通信控制处理机与主机之间提供通信信道。计算机网络采用了多种通信线路,如电话线、双绞线、同轴电缆、光导纤维电缆、无线通信信道、微波与卫星通信信道等。

(2) 资源子网

资源子网由主计算机系统、终端、终端控制器、联网外设、各种软件资源与信息资源组成。资源子网主要负责全网的信息处理、数据处理业务,向网络用户提供各种网络资源和网络服务,为网络用户提供资源共享功能等。

主机是资源子网的主要组成单元,它通过高速通信线路与通信子网的通信控制处理机相连接。普通用户终端通过主机接入网内。主机要为本地用户访问网络其他主机设备与资源提供服务,同时要为网络中的远程用户共享本地资源提供服务。

(3) 网络协议

为了使网络中的计算机能正确地进行数据通信和资源共享,计算机和通信控制设备必须共同遵循一组规则和约定,这些规则、约定或标准就称为网络协议,简称为协议。

连接在网络上的计算机,其操作系统也必须遵循通信协议来支持网络通信,才能使计算机接入网络。目前,几乎所有操作系统都具有网络通信功能。特别是运行在服务器上的操作系统,它除了具有强大的网络通信和资源共享之外,还负责网络的管理工作(如授权、日志、计费、安全等),这种操作系统称为服务器操作系统或网络操作系统。为了提供网络服务,开展各种网络应用,服务器和终端计算机还必须安装运行网络运用程序,例如电子邮件程序、浏览器程序、即时通信软件、网络游戏软件等,它们为用户提供了各种各样的网络应用。

3.1.5 网络体系结构

1. 网络协议的基本概念

网络上通过通信线路和设备互连起来的各种大小不同、厂家不同、结构不同、系统软件不同的计算机系统,要能协同工作实现信息交换、有条不紊地工作,每个网络结点都必须遵循一些事先约定好的规则,即事先约定好:怎样交流、交流什么及何时交流。网络协议就是为网络进行数据交换而建立的规则、约定或者标准。在网络系统中,为了保证数据通信双方能正确而自动地进行通信,针对通信过程的各种问题,制定了一整套约定,这就是网络协议。网络协议主要由以下3个要素组成:

- (1) 语义。用于解释比特流的每一部分的意义。
- (2) 语法。是用户数据与控制信息的结构与格式,以及数据出现的顺序的意义。
- (3) 时序。事件实现顺序的详细说明。

网络中使用很多类型的协议,一些协议用于在电缆中传输比特流,另一些协议用于在计算机屏幕上显示信息。计算机程序使用协议为用户提供服务。协议可以提供自身的服务,或者与程序一起为用户和其他程序提供服务。

2. 网络协议的分层思想

计算机网络协议很复杂,要完成的工作涉及很多步骤,借鉴对复杂问题分析研究的思想,在设计复杂网络协议时,为了减少错误,提高协议实现的有效性和高效性,也为了简化

设计,近代的计算机网络都采用了分层结构。分层是对复杂问题处理的基本方法。每一层完成明确的功能并且为上层服务,各层彼此配合共同完成数据的传输工作。这样既能规定不同层所要完成的功能,又能实现层与层之间的改动而不相互影响。分层结构对于理解 and 设计网络协议有着重要的作用。

在网络中每一层的具体功能都是由该层的实体完成的,这里说的实体可以是软件(如进程),也可以是硬件(如网卡),不同层次中的实体实现的功能互不相同。在概念上可以认为数据在同一层次中的对等实体之间进行虚拟传输,或者理解为逻辑传输。之所以称为虚拟传输,是因为对等实体之间的数据传输,实际上最终要经过底层的物理传输才能实现。因此,数据不是从一台主机的第 N 层直接传给另外一台主机的第 N 层,而是每一层都把它的数据和控制信息交给其相邻的下一层,直到最底层。最底层是物理介质,执行的是真正的物理通信(即信号传输)。

网络体系结构中,相邻层之间都有一个接口。接口定义了下层向上层提供的操作和服务,当设计一个网络时,要决定一个网络应包括多少层,每一层应当做什么,还有一个很重要的设计就是要在相邻层之间定义一个清晰的接口。为了达到这些目的,又要求每一层能够完成一组特定的有明确含义的功能。因此,在计算机网络分层结构中,每一层的功能都是为它的上层提供服务的。也就是说,如果把第 N 层称为“服务提供者”,则 $N+1$ 层则称为“服务用户”,与此同时,第 N 层又利用 $N-1$ 的服务来实现自己向 $N+1$ 层提供的服务,该服务可以包括多种类型。在每个层次内又可以被分成若干子层次,协议各层次有高低之分。

计算机网络各层及其协议的集合就称为网络体系结构,网络体系结构就是对该计算机网络及其部件所要完成的功能的明确定义。

3. OSI 参考模型

在计算机网络发展的初期,各厂商都制定了自己的网络体系结构,但不同网络体系结构构成的网络很难互相通信,在一定程度上阻碍了计算机网络的发展和应用。为帮助和指导各种计算机在世界范围内互联成网,国际标准化组织(ISO)于 1977 年提出了开放系统互联参考模型(Open System Interconnection Reference Model, OSI)及一系列相关的协议。

OSI 从上到下构造了顺序式的七层模型,即应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层,不同系统的对等层之间按相应协议进行通信,同一系统不同层之间通过接口进行通信。只有最低层(物理层)完成物理数据传递,其他对等层之间的通信称为逻辑通信。

在 OSI 参考模型中,如果要把数据从网络中的主机 A 传送到主机 B,数据不能直接由发送端到达接收端,这是一个复杂的数据传送过程,整个数据的传送方向如图 3.7 中的箭头所示。数据发送时,需要从应用层传送到物理层,这是一个对数据进行不断封装的过程。在数据接收时,需要从物理层传到应用层,这是一个对数据不断拆分的过程。由于在数据传送过程中需要对数据进行拆分和封装,数据在各个层的形式是不同的,传输层的数据称为报文或段,网络层中的数据称为包或分组,数据链路层的数据称为帧,物理层的数据

据称为比特流或位流。

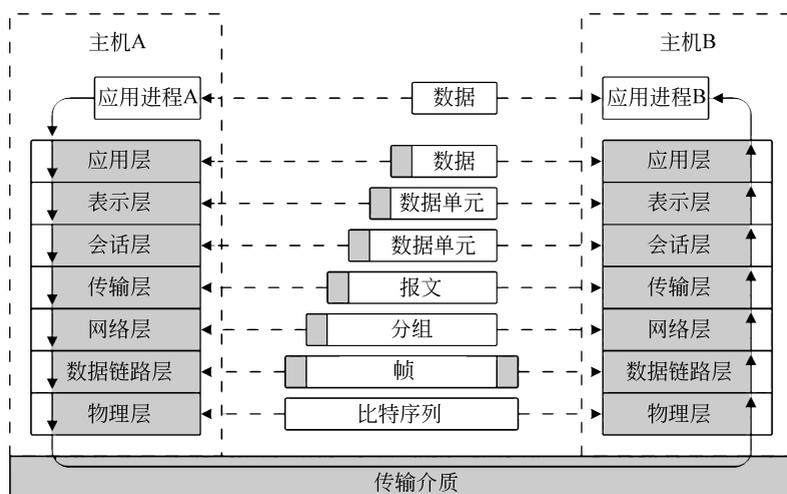


图 3.7 OSI 参考模型

OSI 参考模型的各层的主要功能如下。

(1) 应用层

应用层是 OSI 参考模型的最高层,应用层是用户与网络的接口。该层通过应用程序来完成网络用户的应用需求,如文件传输、收发电子邮件等。

(2) 表示层

表示层用于将计算机内部的多种数据表示格式转换成网络通信中采用的标准表示形式。为应用层用户解决用户信息的语法问题,它包括数据格式交换、数据加密与解密、数据压缩与解压等功能。

(3) 会话层

会话层得名的原因是它很类似于两个实体间的会话,在两个结点之间建立端连接,为两端的应用程序之间提供对话控制机制。会话层主要功能是管理和协调不同主机上各种进程之间的通信(会话),即负责建立、管理和终止应用程序之间的会话。

(4) 传输层

传输层传送的协议数据单元称为段或报文。传输层的作用是为会话层用户提供端到端的可靠和透明的数据传输服务,包括全双工或半双工、处理差错控制和流量控制等问题。传输层向高层屏蔽了下层数据通信的细节,因此,它是计算机通信体系结构中关键的一层。

(5) 网络层

网络层是为传输层提供服务的,传送的协议数据单元称为数据包或分组。该层的主要作用是负责使分组以适当的路径通过通信子网,解决如何使数据包通过各结点传送的问题,即通过路径选择算法(路由)将数据包传送到目的地。另外,为避免通信子网中出现过多的数据包而造成网络阻塞,需要对流入的数据包数量进行控制(拥塞控制)。当数据包要跨越多个通信子网才能到达目的地时,还要解决网际互联的问题。

(6) 数据链路层

数据链路层是为网络层提供服务的,解决两个相邻结点之间的通信问题,传送的协议数据单元称为数据帧。数据帧中包含物理地址、控制码、数据及校验码等信息。该层的主要作用是通过校验、确认和反馈重发等手段,将不可靠的物理链路转换成对网络层来说无差错的数据链路。此外,数据链路层还要协调收发双方的数据传输速率,即进行流量控制,以防止接收方因来不及处理发送方来的高速数据而导致缓冲器溢出及线路阻塞。

(7) 物理层

物理层处于 OSI 参考模型的最低层。物理层的主要功能是利用物理传输介质为数据链路层提供物理连接,该层定义了与物理链路的建立、维护和拆除有关的机械、电气、功能和规程特性,包括信号线的功能、0 和 1 信号的电平表示、数据传输速率、物理连接器规格及其相关的属性等。

综上所述,物理层、数据链路层和网络层是网络支持层;会话层、表示层和应用层是用户支持层;传输层链接网络支持层与用户支持层。

物理层协调在物理传输介质上传送比特流所需的各种功能;数据链路层负责将数据单元无差错地从一个站交付到下一个站;网络层负责将包通过多条网络链路进行从源站到目的站的交付;传输层负责将完整的报文从源端到目的端的传递;会话层在相互通信的设备之间建立和维持交互,并保证它们的同步;表示层通过将数据转换为彼此都同意的格式,确保在相互通信的设备之间的互操作性;应用层使用户能够接入到网络。

4. TCP/IP 参考模型

20 世纪 80 年代中期以来,因特网已经飞速发展,并逐渐覆盖了全世界相当大的范围。虽然到 20 世纪 90 年代初,整套的 OSI 国际标准已经制定出来,但因特网并没有完全使用 OSI 标准的协议,而是采用美国国防部提出的 TCP/IP 协议系列。如今,因特网成为世界规模最大、覆盖范围最广的计算机网络,TCP/IP 协议已经在各种类型的计算机网络中得到了普遍采用。TCP/IP 参考模型也成为了“事实上”的国际标准,即现实生活中被广泛使用的网络参考模型。

TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol,传输控制协议/网际协议)是能够在多个不同网络间实现信息传输的协议族,是一个含有四层的分层体系结构。高层为传输控制协议,它负责聚集信息或把文件拆分成更小的包。低层是网际协议,它处理每个包的地址部分,使这些数据包正确到达目的地。TCP/IP 协议不仅仅指的是 TCP 和 IP 两个协议,而是指一个由 FTP、SMTP、TCP、UDP、IP 等协议构成的协议族,因为在 TCP/IP 中 TCP 和 IP 最具代表性,所以被称为 TCP/IP。

TCP/IP 在一定程度上参考了 OSI 的体系结构。OSI 模型共有七层,从下到上分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。这显然有些复杂,所以在 TCP/IP 协议簇中,它们被简化为了四个层次。图 3.8 给出了 TCP/IP 参考模型与 OSI 参考模型的层次对应关系。TCP/IP 参考模型分为四个层次:应用层、传输层、互联网络层(网际层)和网络接口层。

OSI参考模型		TCP/IP参考模型
应用层	-----	应用层
表示层		
会话层		
传输层	-----	传输层
网络层	-----	互联网络层
数据链路层	-----	网络接口层
物理层		

图 3.8 TCP/IP 参考模型与 OSI 参考模型的层次对应关系

(1) 应用层

应用层为网络通信提供高级协议用户和应用程序。应用层将数据传递给传输层,传输层协议将数据排序成消息或字节流,以利于在网络上传输。TCP/IP 协议族包括下列应用层协议:远程登录协议(Telnet)、文件传送协议(FTP)、简单邮件传输协议(SMTP)、简单网络管理协议(SNMP)、域名系统(DNS)、超文本传送协议(HTTP)。

(2) 传输层

传输层的主要功能是在互联网的源主机与目的主机的对等实体间建立用于会话的端-端连接。传输层有两个重要的协议:传输控制协议(TCP)和用户数据报协议(UDP)。

TCP 是一种面向连接的协议,可为应用层提供可靠、有序的数据传送。UDP 为不需要可靠数据传送服务的应用程序提供面向事务的端到端的高效服务。当应用程序对传送速度的需要高于对传送可靠性的需要,或应用程序本身可提供可靠性支持时,就可以使用 UDP 进行数据传送。UDP 是一种不可靠的无连接协议。

(3) 互联网络层

互联网络层相当于 OSI 参考模型网络层。该层的 IP 提供“尽力而为”、无连接的网络分组传输服务。互连网络层的主要功能是处理来自传输层的分组发送请求、处理接收到的数据报;处理互连的路由选择、流量控制与拥塞问题。

(4) 网络接口层

网络接口层是参考模型的最低层,负责通过网络发送和接收 IP 数据报。网络接口层协议定义了确定主机如何访问局域网的规则、定义了主机如何连接到网络。网络接口层没有规定使用哪一种协议,它采取开放的策略,允许使用广域网、城域网、局域网的各种协议。任何一种低层传输协议都可以与网络层接口。允许主机连入网络时使用多种现成的与流行的协议,如局域网的 Ethernet、令牌网等。

3.1.6 常见网络设备

计算机网络互连时,需要考虑的问题是在物理上如何把两种网络连接起来,一种网络如何与另一种网络实现互访与通信,如何解决它们之间协议方面的差别,如何处理速率与

带宽的差别。为解决这些问题,就需要网络设备之间的连接。常用的网络设备很多,主要有网卡、中继器、集线器、交换机、网桥、路由器和网关等。

1. 网卡

网卡(Network Interface Card, NIC)又称网络适配器,如图 3.9 所示。在局域网中,网卡起着重要的作用。网卡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等功能。网卡一般都有自己的驱动程序,还有缓冲存储器,以便存储数据。



图 3.9 台式机有线网卡、台式机无线网卡、笔记本电脑无线网卡实物

2. 中继器

中继器(Repeater)又称重发器,是一种最简单但也是使用最多的网络互连设备,如图 3.10 所示。中继器仅适用于以太网,可以将两段或两段以上以太网互连起来。中继器工作在 OSI 体系结构的物理层,主要完成物理层的功能,包括负责在两个结点的物理层上按位传递信息,完成信号的复制、调整和放大。



图 3.10 中继器

由于传输线路存在损耗,因此在线路上传输信号时,信号的功率会逐渐衰减,衰减到一定程度时会造成信号失真,导致接收错误。中继器就是为解决这一问题而设计的,它完成物理线路的连接,对衰减的信号进行放大,保持与原数据相同功率以此来延长网络的长度,实现长距离通信。

中继器可用来扩充电缆段的距离,但中继器不具备检错和纠错的功能,因此错误的数
据经中继器后仍被复制到另一电缆段。中继器没有隔离和过滤功能,它不能阻挡含有异常的数据包从一个分支传送到另一个分支。中继器只能用来连接具有相同物理层协议的网段。

3. 集线器

集线器(Hub)又称集中器,如图 3.11 所示。集线器是一种以星型拓扑结构将通信线

路集中在一起的设备,相当于总线,工作在物理层,是局域网中应用最广的连接设备。集线器大多数的时候用在星型与树形网络拓扑结构中,通过 RJ-45 接口与各主机相连。集线器实际上就是中继器的一种,只不过集线器能够提供更多的端口服务,所以集线器又称为多端口的中继器。

集线器属于数据通信系统中的基础设备,它与双绞线等传输介质一样,是一种不需要软件支持或只需很少管理软件进行管理的硬件设备。

4. 交换机

交换机(Switch)是一种专门为计算机之间能够相互高速通信且独享带宽而设计的网络设备。交换机主要解决建立数据链路、差错控制、流量控制以及纠错问题。

交换机可以被看成是一种智能化的集线器,将数据帧从一个网段转发到另一个网段。交换机不是共享带宽,而是实现了多结点之间的数据并发传输,交换机在同一时刻可进行多个端口之间的数据传输。每一个端口都可视为独立的网段,连接在其上的网络设备独自享有全部的带宽,无需同其他设备竞争使用。

交换机分为两种:广域网交换机和局域网交换机。广域网交换机主要应用于电信领域,提供通信的基础平台。而局域网交换机则应用于局域网络,用于连接终端设备,如 PC 及网络打印机等。从传输介质和传输速率上可分为以太网交换机、每秒千兆位以太网交换机等。最常见的交换机是以太网交换机,如图 3.12 所示。



图 3.11 集线器



图 3.12 以太网交换机

5. 网桥

网桥(Bridge)是一种工作在数据链路层的互连设备,常用于连接两个或多个局域网,网桥是连接局域网之间的桥梁,网桥的作用是扩展网络和通信手段,在各种传输介质中转发数据信号,扩展网络的距离,同时又有选择地将有地址的信号从一种传输介质发送到另一种传输介质,并能有效地限制两个介质系统中无关紧要的通信。

网桥还可以把一个大网分成多个小的网段以降低数据的“交通瓶颈”,这样可以平衡各网段的负载,减少网络通信问题;采用网桥还可以分隔两个网络之间的通信量,减少每个网络的信息量,提高网络性能,增强网络的安全性。

网桥可分为本地网桥和远程网桥。本地网桥是指在传输介质允许长度范围内连接网络的网桥;远程网桥是指连接的距离超过网络的常规范围时使用的远程桥,通过远程桥连接的局域网将成为城域网或广域网。网桥可以是专门硬件设备,也可以由计算机加装的网桥软件来实现,这时计算机上会安装多个网络适配器(网卡)。

6. 路由器

路由器(Router)是一种工作在网络层的互连设备,如图 3.13 所示。路由器是用于连接多个逻辑上分开的网络,为用户提供最佳的通信路径。

两台计算机终端之间,可能存在着多条不同的数据传输路径,路由器负责选择一个合适的路径进行数据的发送。路由器利用路由表为数据传输选择路径,路由表包含网络地址以及各地址之间的距离的清单,路由器利用路由表查找数据包从当前位置到目的地址的正确路径。路由器使用最少时间算法或最优路径算法来调整信息传递的路径,如果某一网络路径发生故障或堵塞,路由器可选择另一条路径,以保证信息的正常传输。路由器可进行数据格式的转换,成为不同协议之间网络互连的必要设备。网络层互连主要是解决路由选择、拥塞控制、差错处理与分段技术等问题;如果网络层协议相同,则互连主要是解决路由选择问题;如果网络层协议不同,则需使用多协议路由器。



图 3.13 路由器

7. 网关

网关(Gateway)又称网间连接器、协议转换器,网关工作在 OSI 参考模型的传输层及以上的层中,是多个网络间提供数据转换服务的计算机系统或设备。在日常生活中,从一个房间走到另一个房间,必然要经过一扇门。同样,从一个网络向另一个网络发送信息,也必须经过一道门,网关就类似这道门。网关可以用于广域网互连,也可以用于局域网互连。在一个计算机网络中,当连接不同类型而协议差别又较大的网络时要选用网关。它将协议进行转换,将数据重新分组,以便在两个不同类型的网络系统之间进行通信。

在使用不同的通信协议、数据格式或语言,甚至体系结构完全不同的两种系统时,网关就是一个翻译器,网关对收到的信息要重新打包,以适应目的系统的需求,同时起到过滤和安全的作用。

在一个大型网络中,为了减少不必要的干扰,可把整个网络划分为许多子网,即网段。不同网段之间信息传输的“房门”就是网关。子网中的任何一台计算机都必须通过自己的网关与其他子网的网关之间转发之后才能与不同网段中的计算机通信。网关也阻止了与自己子网无关的信息进入子网,即网关是局域网内部计算机跟外部网络通信的桥梁。所有网络通信的信息都要经过网关才能流入和流出局域网系统。

3.2 因特网

3.2.1 因特网概述

因特网(Internet)是建立在 TCP/IP 协议族基础上的全球性的互连网络。它是一个将全球成千上万的计算机网络连接起来而形成的全球性的计算机网络系统。它使得各网络之间可以交换信息或共享资源。因特网以相互交流信息资源为目的,基于一些共同的协议,并通过许多路由器和公共互联网而成,它是一个信息资源和资源共享的集合。

1. 因特网的起源和发展

1969 年,因特网源于美国,美国国防部高级研究计划署(Advance Research Project Agency, ARPA)开始建立一个名为 ARPAnet 的网络,当时只有 4 个结点,人们普遍认为这就是因特网的雏形。随后接入网络的结点迅速增加,1972 年该网络的结点已经覆盖了全美国,它成为用来连接承接国防部军事项目的研究机构与大专院校的工具。

1983 年,ARPAnet 分成军用和民用两个独立的部分,一部分仍称为 ARPAnet,用于进一步的科学研究工作;另一部分主要用于军用领域,即 MILnet。

1986 年,美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)利用 TCP/IP 通信协议,把分布在全美的 5 个科研教育服务超级计算中心用通信线路连接起来,组成全国性规模的计算机 NSFnet 广域网,很多大学和研究机构纷纷把自己的局域网加入 NSFnet 中,主要用于科研和教育领域,使得普通科技人员也能利用该网络。如今,NSFnet 已成为因特网的重要骨干网之一。

1989 年,由 CERN 开发的万维网(World Wide Web, WWW)诞生了,为因特网实现广域网的超媒体信息的截取和检索奠定了基础。从此,因特网应用更加方便,并推动了因特网的迅速发展。

20 世纪 90 年代,由于因特网在美国的巨大成功,许多国家纷纷以 TCP/IP 协议族连接到该网络上,逐渐发展形成目前规模宏大的因特网,从而使因特网成为全球性的网络。随着网络覆盖地区的增加,人们开始把这个相互连接的网络集合称为互联网。

随着商业网络和大量商业公司进入因特网,网上商业应用取得高速发展,同时也使因特网能够为用户提供更多的服务,使因特网迅速普及和发展起来。因特网已经发展成为一个名副其实的“全球网”。任何人只要进入了因特网,就可以利用网络和各计算机上的丰富资源。

因特网的兴起,标志着社会进入信息时代,信息技术成为一个新的热点。目前因特网正在向世界各地延伸,不断增添新成员,成为覆盖全球的计算机超级网络。计算机网络使用户能够摆脱计算机系统场地的限制,在网络范围内访问远程的计算机,在世界范围内共享计算机的资源。因特网所具备的这种特征与能力,使它赢得了全球几乎所有的计算机用户,并得到飞速的发展。

2. 因特网在中国的发展

1987年9月14日,发出了中国第一封电子邮件:“越过长城,走向世界”(Across the Great Wall we can reach every corner in the world),揭开了中国人使用互联网的序幕。

1988年,中国科学院高能物理研究所采用X.25协议使该单位的DECnet成为西欧中心DECnet的延伸,实现了计算机国际远程联网以及与欧洲和北美地区的电子邮件通信。

1989年11月,中关村地区教育与科研示范网络(简称NCFC)正式启动,由中国科学院主持,联合北京大学、清华大学共同实施。

1992年12月底,清华大学校园网(TUNET)建成并投入使用,是中国第一个采用TCP/IP体系结构的校园网。主干网首次成功采用FDDI技术,在网络规模、技术水平以及网络应用等方面处于国内领先水平。

1992年底,NCFC工程的院校网,即中科院院网(CASNET,连接了中关村地区三十多个研究所及三里河中科院院部)、清华大学校园网(TUNET)和北京大学校园网(PUNET)全部完成建设。

1994年4月20日,NCFC工程通过美国Sprint公司接入因特网的64kbps国际专线,实现了与因特网的全功能连接。从此,中国被国际上正式承认为真正拥有全功能因特网的第77个国家。1994年5月21日,在钱天白教授和德国卡尔斯鲁厄大学的协助下,中国科学院计算机网络信息中心完成了中国国家顶级域名(CN)服务器的设置,改变了中国的CN顶级域名服务器一直放在国外的历史。

为了发展国际科研合作的需要,我国先后成立4大骨干网:中国互联网(ChinaNET)、中国科学技术网(CSTNET)、中国教育科研网(CERNET)以及中国金桥信息网(GBNET)。它们之间既内部互联又各自具有独立的国际出口,分别与美国、欧洲和中国香港等地的因特网直接相联。后来,我国又开通了中国联通互联网(UNINET)、中国网通公用互联网(CNCNET)、中国移动互联网(CMNET)、中国国际经济贸易互联网(CIETNET)、中国铁通互联网(CRNET)和中国长城网(CGWNET)等。

1998年,CERNET研究者在中国首次搭建IPv6试验床。

2000年,李彦宏在中关村创建了百度公司,同年,中国三大门户网站搜狐、新浪、网易在美国纳斯达克挂牌上市。

2001年,下一代互联网地区试验网在北京建成验收。

2002年,第二季度,搜狐公司率先宣布盈利,宣布互联网的春天已经来临。

2003年,下一代互联网示范工程CNGI项目开始实施。

2007年,电商服务业确定为国家重要新兴产业。

2008年,中国网民数量首次超过美国。

2009年,SNS社交网站活跃,人人网(校内网)、开心网、QQ等是SNS平台的代表。

2011年,微博迅猛发展,对社会生活的渗透日益深入,政务微博、企业微博等出现井喷式发展。

2012年,手机网民规模首次超过台式机微信朋友圈上线。

2016年,互联网直播、网红等热词“风靡全国”。

2018年12月10日,工业和信息化部向中国电信、中国移动、中国联通发放了5G系统中低频段试验频率使用许可。

2020年年初,新冠肺炎疫情暴发,国内进入隔离阶段。一方面是线下门店停业,另一方面却是线上平台的爆发。线上办公、线上购物、线上学习、线上就诊等“云作业”成为企业们角逐头部生态战略的重要战场;云办公成为2020年工作者们的首选办公方式,这也使得国内阿里钉钉、腾讯会议及国外ZOOM等线上办公软件和线上学习软件迎来了喷井式发展。

因特网在我国的发展非常迅速,全国已建起具有相当规模和技术水平的国家公用数据通信骨干网络,还有许多诸如金融、海关、外贸、旅游、气象、交通和科技等专用网络。这些网络先后为社会提供了各种信息服务,积极开展各具特色的业务。网络已成为人们工作、生活和学习中不可缺少的一部分。

3. 因特网接入服务

因特网接入服务是指利用接入服务器和相应的软硬件资源建立业务结点,并利用公用电信基础设施将业务结点与因特网骨干网相连接,为各类用户提供接入因特网的服务。普通用户的计算机实际是通过本地的因特网服务提供商(Internet Service Provider, ISP)连接到因特网中的。ISP是为用户提供因特网接入服务和提供各种类型的信息服务的公司和机构。不同的ISP提供的接入服务质量不同,资费标准也不同,不同的ISP连接到因特网时的拨通率和连接速度也会有所不同。用户可以选定一个合适的ISP,并从ISP那里申请一个网络账号。如果ISP接受用户的请求,会为用户提供上网的账号、密码等基本信息。

常见的因特网接入方式主要有拨号接入方式、专线接入方式、无线接入方式和局域网接入方式等。

3.2.2 网络编址

1. IP地址

TCP/IP协议规定,连接在Internet上的每台计算机必须有一个唯一的地址,即IP地址。这样通信双方的计算机之间才能实现通信。IP地址是IP协议提供的一种统一的地址格式,它为互联网上的每一台主机或网络设备分配一个逻辑地址,以此来屏蔽物理地址的差异。

根据用途和安全性级别的不同,IP地址大致分为两类:公有IP地址和私有IP地址。公有IP地址在Internet中使用,可以在Internet中随意访问。私有IP地址只能在内部网络中使用,只有通过地址转换设备才能与Internet通信。

在Internet里,目前采用的是IPv4版本,其IP地址是一个32位的二进制地址,为了便于记忆,一般将每个IP地址分成四段,每段为8位二进制数,用一个0~255的十进制数来表示,各段之间用圆点来分隔,如211.71.149.53就是一个IP地址。

IP 地址可确认网络中的任何网络和计算机。由于互联网是由许多小型网络构成的,每个网络上有许多主机,这样便构成了一个有层次的结构。IP 地址在设计时就考虑到地址分配的层次特点,将每个 IP 地址都分割成网络号和主机号两部分,以便于 IP 地址的寻址操作。IP 地址按照层次结构划分为 A、B、C、D、E 类共 5 类,其中常用的是 B 类和 C 类,如图 3.14 所示。

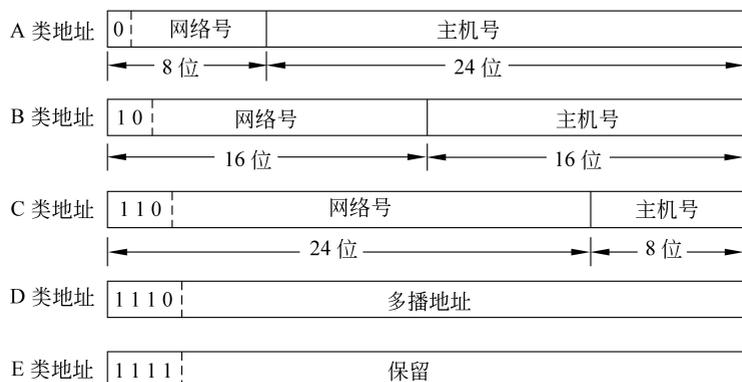


图 3.14 IP 地址分类

(1) A 类 IP 地址

一个 A 类 IP 地址由 1 字节的网络地址和 3 字节的主机地址组成,网络地址的最高位必须是 0。A 类地址的范围为 1.0.0.0~127.255.255.255。由于网络地址的长度是 7 位,可以有 $2^7=128$ 个网络。网络号为全 0 和全 1 的两个地址保留用于特殊目的,因此实际允许有 126 个不同的 A 类网络。A 类地址适用于有大量主机而局域网个数较少的大型网络。

A 类网络中主机号长度为 24 位,因此主机地址数量理论上多达 2^{24} 个,可以连接的最大主机数为 16777216 个。TCP/IP 协议规定,32 位 IP 地址中均为 0 的地址表示本地网络的地址,32 位 IP 地址中均为 1 的地址被解释为广播地址,因此实际允许连接 16777214 个主机。

(2) B 类 IP 地址

一个 B 类 IP 地址由 2 字节的网络地址和 2 字节的主机地址组成,网络地址的最高位必须是 10。B 类 IP 地址的范围: 128.0.0.0~191.255.255.255。由于网络地址长度为 14 位,允许有 $2^{14}=16384$ 个不同的 B 类网络,实际允许连接 16382 个网络。主机号长度为 16 位,每个 B 类网络的主机地址理论数为 $2^{16}=65536$,实际允许连接 65534 个主机或路由器($2^{16}-2=65534$,因为主机号的各位不能同时为 0 和不能同时为 1)。B 类网络地址适用于中等规模的网络。

(3) C 类 IP 地址

一个 C 类地址是由 3 字节的网络地址和 1 字节的主机地址组成,网络地址的最高位必须是 110。C 类 IP 地址的范围: 192.0.0.0~223.255.255.255。C 类 IP 地址中网络的标识长度为 24 位,主机号的长度为 8 位,每个 C 类地址可连接 $254(2^8-2)$,这是因为主机号