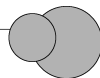


第3章

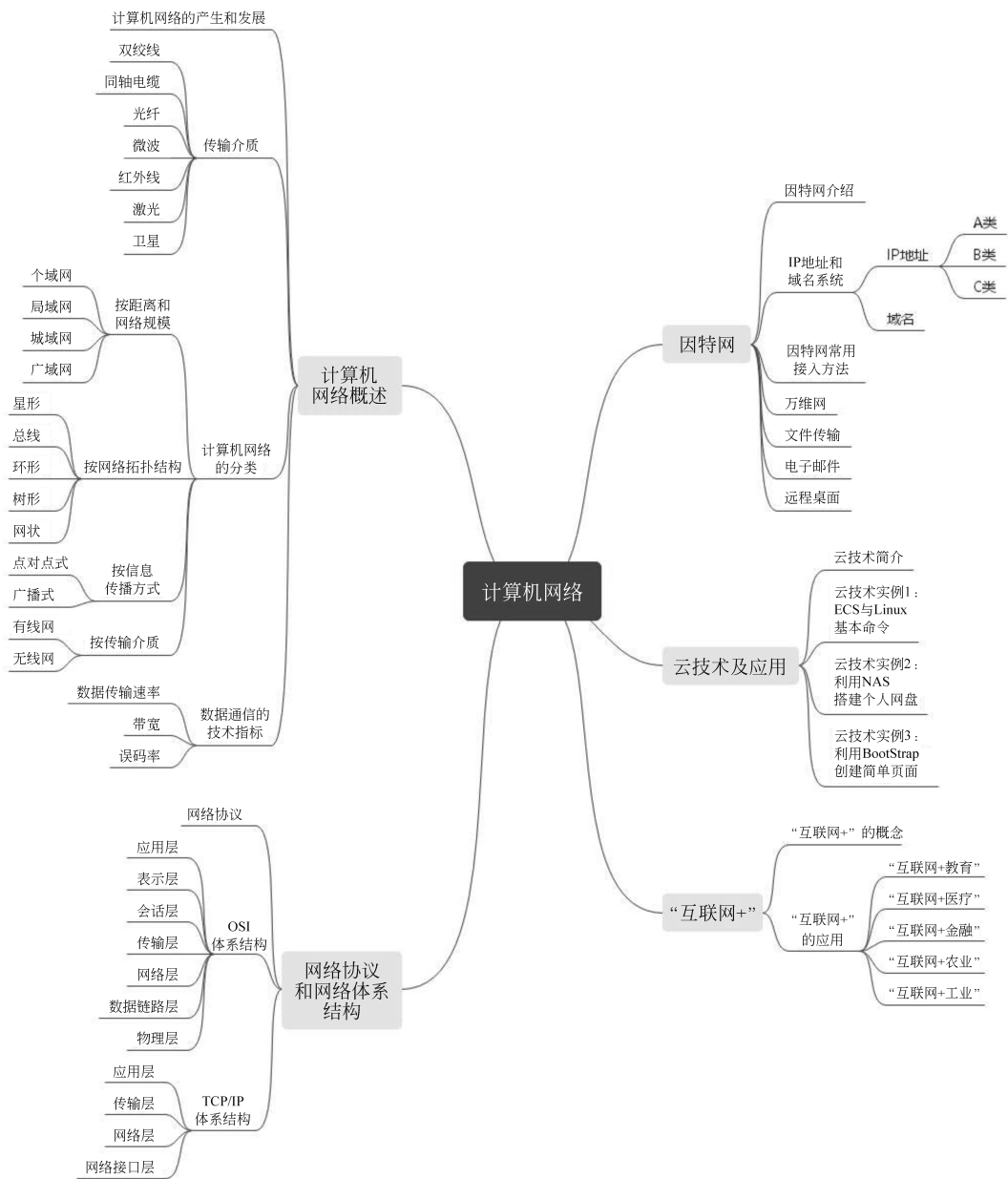
计算机网络



本章学习目标

- 了解计算机网络的产生和发展。
- 熟悉计算机网络中常用的传输介质。
- 理解计算机网络的分类和数据通信技术指标。
- 理解网络协议的概念。
- 掌握 OSI 和 TCP/IP 两种体系结构。
- 熟悉因特网的基本概念。
- 理解 IP 地址的划分并学会辨别不同的 IP 地址。
- 了解万维网的概念。
- 熟悉文件传输、电子邮件和远程桌面等常用的因特网应用。
- 了解云技术的概念并能操作相应的云应用操作实例。
- 理解“互联网+”的概念。
- 熟悉“互联网+”的各种应用。

本章思维导图



3.1 计算机网络概述

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及其外部设备,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,实现资源共享和信息传递的系统。计算机网络的组成基本上包括:计算机、网络操作系统、

传输介质(有导向的,例如电缆或光纤;也可以是非导向的,例如无线网通过大气和外层空间传播)、交换设备(例如因特网中的路由器)以及相应的应用软件 5 部分。

3.1.1 计算机网络的产生和发展

追溯计算机网络的发展历史,它和其他事物的发展一样,也经历了从简单到复杂,从低级到高级的过程。在这一过程中,计算机技术与通信技术紧密结合,相互促进,共同发展,最终产生了计算机网络。它的发展可以分为 4 个阶段。

1. 以单个计算机为中心的远程联机系统

1946 年,世界上第一台数字计算机问世,但当时计算机的数量非常少,且非常昂贵。而通信线路和通信设备的价格相对便宜,当时很多人都想使用主机中的资源,共享主机资源和进行信息的采集及综合处理就显得特别重要了。1954 年,联机终端是一种主要的系统结构形式,这种以单主机互联为中心的互联系统,即主机面向终端系统诞生了,如图 3-1 所示,构成面向终端的计算机网络,本质上是一台中央主计算机连接大量的在地理上处于分散位置的终端。早在 20 世纪 50 年代初,美国建立的半自动地面防空系统(SAGE)就是将地面的雷达和其他测量控制设备的信息通过通信线路汇集到一台大型计算机进行处理,开创了把计算机技术和通信技术相结合的尝试。这类简单的“终端—通信线路—计算机”系统,成了计算机网络的雏形。严格地说,与后续发展成熟的计算机网络相比,存在着一个根本的区别。这样的系统除一台大型计算机外,其他终端设备都没有自主处理的功能,还不能称为计算机网络。在这里,终端用户通过终端机向主机发送一些请求数据,主机对这些数据进行运算处理后又

将结果返回给终端机,而且终端用户要存储的数据存储在主机里,终端机并不保存任何数据。第一代网络并不是真正意义上的网络,而是一个面向终端的互联通信系统。当时的主机负责两方面的任务:①负责终端(不具有处理和存储能力的计算机)用户的数据处理和存储;②负责主机与终端之间的通信过程。

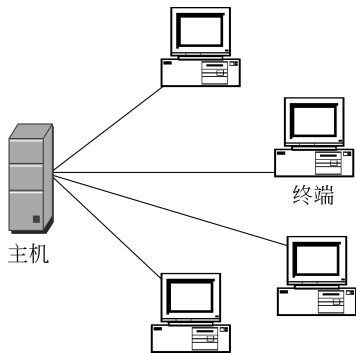


图 3-1 以单个计算机为中心的远程联机系统

随着终端用户对主机的资源需求量增加,主机的作用改变了,原因是通信控制处理机(Communication Control Processor, CCP)的产生,它的主要作用是完成全部的通信任务,让主机专门进行数据处理,以提高数据处理的效率。

当时主机的主要作用是处理和存储终端用户发出的对主机的数据请求,通信任务主要由 CCP 完成。这样把通信任务分配给通信控制器,主机的性能就有很大的提高。

联机终端网络典型的范例是美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 60 年代投入使用的飞机订票系统,当时在全美广泛应用。

2. 多个主计算机通过线路互联的计算机网络

为了克服第一代计算机网络的缺点,提高网络的可靠性和可用性,人们开始研究将多台计算机相互连接的方法。第二代网络是从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期,随着计算机技术和通信技术的进步,已经形成将多个单主机互联系统相互连接起来,以多处理机为中心的网络,并利用通信线路将多台主机连接起来,为终端用户提供服务,如图 3-2 所示。

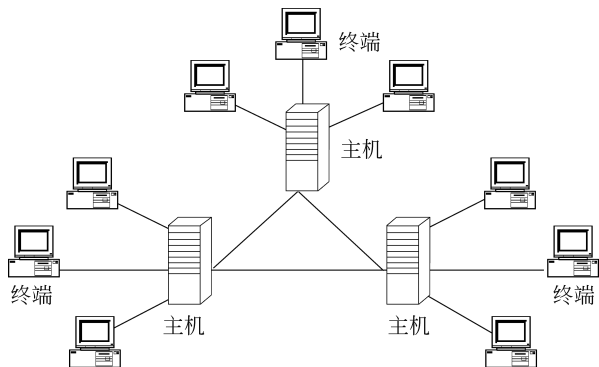


图 3-2 多主机互联系统

第二代网络是在计算机网络——通信网的基础上通过完成计算机网络体系结构和协议的研究形成的计算机初期网络,如 20 世纪 60 年代至 70 年代初期由美国国防部高级研究计划局研制的 ARPANET 网络,它将计算机网络分为资源子网和通信子网。

计算机网络首先是一个通信网络,各计算机之间通过通信媒体、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。从计算机网络各组成部件的功能看,各部件主要完成两种功能,即网络通信和资源共享。通常把计算机网络中实现网络通信功能的设备及其软件的集合称为网络的通信子网,而把网络中实现资源共享功能的设备及其软件的集合称为资源子网。

通信子网是由用于信息交换的节点计算机和通信线路组成的独立的数据通信系统,它承担全网的数据传输、转接、加工和变换等通信处理工作。网络节点提供双重作用:一方面作资源子网的接口;另一方面作为对其他网络节点的存储转发节点。由于存储转发节点提供了交换功能,所以数据信息可在网络中传送到目的节点。

资源子网提供访问的能力。资源子网由主计算机、终端控制器、终端和计算机所能提供共享的软件资源和数据源(如数据库和应用程序)构成。主计算机通过一条高速多路复用线或一条通信链路连接到通信子网的节点上。

就局域网而言,通信子网由网卡、线缆、集线器、中继器、网桥、路由器、交换机等设备和相关软件组成。资源子网由联网的服务器、工作站、共享的打印机和其他设备及相关软件组成。

在广域网中,通信子网由路由器等设备和连接这些设备的通信链路组成。资源子网由网上的所有主机及其外部设备组成。

3. 具有统一网络体系结构、遵循国际标准化协议的计算机网络

这一阶段主要解决计算机网络之间互联的标准化问题,要求各个计算机网络具有统一的网络体系结构,目的是实现网络与网络之间的互相连接,包括异型网络的互联。

经过 20 世纪 60 年代及 70 年代前期的发展,几个大的计算机公司制定了自己的网络技术标准,最终促成国际标准的制定。20 世纪 70 年代末,国际标准化组织成立了专门的工作组来研究计算机网络的标准,在吸收不同厂家网络体系结构标准化经验的基础上,制定了方便异种计算机互连和组网的开放系统互连参考模型(Open System Interconnection/Reference Model,OSI/RM),这一标准促进了计算机网络技术的发展。

到 20 世纪 80 年代,局域网技术已十分成熟,同时也出现了以 TCP/IP 为基础的全球互联网——因特网。随后,因特网在世界范围内得到广泛的应用。从此,计算机网络进入标准化网络发展阶段。

4. 以新一代互联网络为中心的计算机网络

第四代计算机网络是在进入 20 世纪 90 年代后,随着多媒体技术和数字通信的出现而产生的,其主要特征是计算机网络化,协同计算能力发展以及全球互连网络(Internet)的盛行。

3.1.2 传输介质

传输介质是指在网络中传输信息的载体。常用的传输介质分为有线传输介质和无线传输介质两类。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的数据通信质量和通信速度有较大影响。

1. 有线传输介质

有线传输介质主要包括双绞线、同轴电缆、光纤。

(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,是由两根具有绝缘保护层的铜导线组成的。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线上发出的电波抵消,有效降低信号干扰的程度。一般地,一根电缆中包含多对双绞线,线对数量视用途的不同在 2 对到 1800 对之间,连接计算机终端的双绞线电缆通常包含 2 对或 4 对双绞线。

双绞线电缆分为屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线两类。按传输质量分为 1 类到 7 类,目前大多数局域网中常用的为 5 类、6 类双绞线。对万兆网来讲,由于传输速度的要求,经常采用超 6 类或 7 类双绞线。

双绞线电缆主要用于星形网络拓扑结构,即以集线器或网络交换机为中心,各网络工作站均用一根双绞线与之连接,这种拓扑结构适用于结构化综合布线系统,可靠性较高。任一连线发生故障时,故障不会影响网络中的其他计算机,故障的诊断和修复也比较容易。

(2) 同轴电缆。同轴电缆曾经是局域网中使用得最广泛的一种传输介质。同轴电缆

由两个导体组成,是一个空心圆柱形导体(网状)围裹着一个实心导体的结构。内部导体可以是单股的实心导线,也可以是多股的绞合线;外部导体可以是单股线,也可以是编制的网状线。内部导体用固体绝缘材料固定;外部导体用屏蔽层覆盖。

同轴电缆可分为两种基本类型:基带同轴电缆和宽带同轴电缆。局域网中最常使用的是基带同轴电缆,它适用于数字信号传输。基带同轴电缆又可分为细缆和粗缆两种。

(3) 光纤。在当今的网络系统中,特别是在大型网络系统的主干或多媒体网络应用系统中,几乎都采用光导纤维(简称光纤)作为网络传输介质。相对于其他传输介质,低损耗、高带宽和高抗干扰性是光纤最主要的优点。在网络传输介质中,光纤的发展最为迅速,它也将是最有前途的网络传输介质。

目前,在实验中单条光纤的最大数据传输速率达 26Tb/s,家用的普通光纤可达 10Gb/s。光纤的无中继传输距离也可达 20km 以上。由于光纤采用的是光信号传输信号,因此它不像普通电缆存在电磁信号泄漏问题,有利于通信的保密;同时,它也不受外界电磁干扰的影响,具有优良的抗干扰性能。

2. 无线传输介质

无线传输介质指我们周围的自由空间。我们利用无线电波在自由空间的传播可以实现多种无线通信。在自由空间传输的电磁波根据频谱可分为无线电波、微波、红外线、激光等,信息被加载在电磁波上进行传输。

无线传输的介质有无线电波、红外线、微波、卫星和激光。在局域网中,通常只使用无线电波和红外线作为传输介质。无线传输介质通常用于广域网的广域网链路的连接。

无线传输的优点在于安装、移动以及变更都较容易,不会受环境的限制,但信号在传输过程中容易受干扰和被窃取,且初期的安装费用较高。

(1) 微波传输。微波是频率为 $10^8 \sim 10^{10}$ Hz 的电磁波。在 100MHz 以上,微波就可以沿直线传播,因此可以集中于一点。通过抛物线状天线把所有能量集中于一小束,便可以防止他人窃取信号和减少其他信号对它的干扰,但是发射天线和接收天线必须精确地对准。由于微波沿直线传播,所以如果微波塔相距太远,地表就会挡住去路。因此,隔一段距离就需要一个中继站,微波塔越高,传的距离越远。微波通信广泛用于长途电话通信、监察电话、电视传播和其他方面的应用。

(2) 红外线。红外线是频率为 $10^{12} \sim 10^{14}$ Hz 的电磁波。无导向的红外线广泛用于短距离通信。电视、录像机使用的遥控装置都利用了红外线装置。红外线有一个主要缺点:不能穿透坚实的物体。但正是由于这个原因,一间房屋里的红外系统不会对其他房间里的系统产生串扰,所以红外系统防窃听的安全性要比无线电系统好。因此,应用红外系统不需要得到政府的许可。

(3) 激光传输。通过装在楼顶的激光装置连接两栋建筑物里的 LAN。由于激光信号是单向传输,因此每栋楼房都得有自己的激光以及测光的装置。激光传输的缺点之一是不能穿透雨和浓雾,但是在晴天里可以工作得很好。

(4) 卫星。卫星通信是以人造卫星为微波中继站,属于微波通信的特殊形式。卫星通信的优点是通信容量大、通信距离远。其缺点是传播延迟时间长。

卫星导航(Satellite Navigation)是指采用导航卫星对地面、海洋、空中和空间用户进行导航定位的技术。

全球卫星导航系统国际委员会公布的全球四大卫星导航系统供应商如下。

- (1) 美国的全球定位系统(GPS)。
- (2) 俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统(GLONASS)。
- (3) 欧盟的伽利略卫星导航系统(GALILEO)。
- (4) 中国的北斗卫星导航系统(BDS)。

课程思政：北斗卫星导航系统

中国北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System,BDS)是中国自行研制的全球卫星导航系统,也是继GPS、GLONASS之后的第3个成熟的卫星导航系统。BDS和美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、欧盟的GALILEO,是全球卫星导航系统国际委员会已认定的供应商。

北斗卫星发射时间表(截至2020年6月23日)如图3-3所示。

北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段3部分组成,可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务,并且具备短报文通信能力,已经初步具备区域导航、定位和授时能力,定位精度为分米、厘米级别,测速精度为0.2m/s,授时精度为10ns。

2020年7月31日上午,北斗三号全球卫星导航系统正式开通。

全球范围内已经有137个国家与北斗卫星导航系统签下了合作协议。随着全球组网的成功,北斗卫星导航系统未来的国际应用空间将会不断扩展。

2020年12月15日,北斗导航装备与时空信息技术铁路行业工程研究中心成立。

2021年5月26日,在中国南昌举行的第十二届中国卫星导航年会上,中国北斗卫星导航系统主管部门透露,中国卫星导航产业年均增长达20%以上。截至2020年,中国卫星导航产业总体产值已突破4000亿元。预估到2025年,中国北斗产业总产值将达到1万亿元。

3.1.3 计算机网络的分类

计算机网络可以从不同角度按不同方法进行分类,如按距离和网络规模分类、按网络拓扑结构分类、按传输介质分类、按信息传播方式分类等。

1. 按距离和网络规模分类

按照联网的计算机之间的距离和网络覆盖地域范围的不同,可以将网络分为个域网、局域网、城域网和广域网4类。

(1) 个域网(Personal Area Network,PAN)。个域网是允许围绕一个人(设备)的通信。例如,通过蓝牙,将手机、耳机、手环等设备连接在一起构成一个网络,这就是个域网。个域网中通常有一个设备作为主设备,其他从设备可以与主设备通信,也可以互相通信。

(2) 局域网(Local Area Network,LAN)。局域网是一种在小区域内使用的,由多台

卫星	发射日期	运载火箭	轨道
第1颗北斗导航试验卫星	2000.10.31	CZ-3A	GEO
第2颗北斗导航试验卫星	2000.12.21	CZ-3A	GEO
第3颗北斗导航试验卫星	2003.5.25	CZ-3A	GEO
第4颗北斗导航试验卫星	2007.2.3	CZ-3A	GEO
第1颗北斗导航卫星	2007.4.14	CZ-3A	MEO
第2颗北斗导航卫星	2009.4.15	CZ-3C	GEO
第3颗北斗导航卫星	2010.1.17	CZ-3C	GEO
第4颗北斗导航卫星	2010.6.2	CZ-3C	GEO
第5颗北斗导航卫星	2010.8.1	CZ-3A	IGSO
第6颗北斗导航卫星	2010.11.1	CZ-3C	GEO
第7颗北斗导航卫星	2010.12.18	CZ-3A	IGSO
第8颗北斗导航卫星	2011.4.10	CZ-3A	IGSO
第9颗北斗导航卫星	2011.7.27	CZ-3A	IGSO
第10颗北斗导航卫星	2011.12.2	CZ-3A	IGSO
第11颗北斗导航卫星	2012.2.25	CZ-3C	GEO
第12、13颗北斗导航卫星	2012.4.30	CZ-3B	MEO
第14、15颗北斗导航卫星	2012.9.19	CZ-3B	MEO
第16颗北斗导航卫星	2012.10.25	CZ-3C	GEO
第17颗北斗导航卫星	2015.3.30	CZ-3C	IGSO
第18、19颗北斗导航卫星	2015.7.25	CZ-3B	MEO
第20颗北斗导航卫星	2015.9.30	CZ-3B	IGSO
第21颗北斗导航卫星	2016.2.1	CZ-3C	MEO
第22颗北斗导航卫星	2016.3.30	CZ-3A	IGSO
第23颗北斗导航卫星	2016.6.12	CZ-3C	GEO
第24、25颗北斗导航卫星	2017.11.5	CZ-3B	MEO
第26、27颗北斗导航卫星	2018.1.12	CZ-3B	MEO
第28、29颗北斗导航卫星	2018.2.12	CZ-3B	MEO
第30、31颗北斗导航卫星	2018.3.30	CZ-3B	MEO
第32颗北斗导航卫星	2018.7.10	CZ-3A	IGSO
第33、34颗北斗导航卫星	2018.7.29	CZ-3B	MEO
第35、36颗北斗导航卫星	2018.8.25	CZ-3B	MEO
第37、38颗北斗导航卫星	2018.9.19	CZ-3B	MEO
第39、40颗北斗导航卫星	2018.10.15	CZ-3B	MEO
第41颗北斗导航卫星	2018.11.1	CZ-3B	GEO
第42、43颗北斗导航卫星	2018.11.19	CZ-3B	MEO
第44颗北斗导航卫星	2019.4.20	CZ-3B	IGSO
第45颗北斗导航卫星	2019.5.17	CZ-3C	GEO
第46颗北斗导航卫星	2019.6.25	CZ-3B	IGSO
第47、48颗北斗导航卫星	2019.9.23	CZ-3B	MEO
第49颗北斗导航卫星	2019.11.5	CZ-3B	IGSO
第50、51颗北斗导航卫星	2019.11.23	CZ-3B	MEO
第52、53颗北斗导航卫星	2019.12.16	CZ-3B	MEO
第54颗北斗导航卫星	2020.3.9	CZ-3B	GEO
第55颗北斗导航卫星	2020.6.23	CZ-3B	GEO

图 3-3 北斗卫星发射时间表

计算机组成的网络,覆盖范围通常不超过 10km,特殊情况下可达到几十千米,一般属于单位或部门组建的小范围网络。局域网具有高数据传输率(最高可达 10Gb/s)、低误码率的高质量数据传输服务,同时具备安装便捷、成本节约、扩展方便等优点,其在各类办公室或企业广泛运用。借助局域网,可以实现文件管理、应用软件共享、打印机共享等功能。在使用过程中,通过维护局域网网络安全,能够有效地保护资料安全,使局域网正常运行。

(3) 城域网(Metropolitan Area Network,MAN)。城域网是作用范围在广域网与局域网之间的网络,其网络覆盖范围通常可以延伸到整个城市,借助通信光纤将位于同一城市内不同地点的主机、数据库及 LAN 等互相联接起来,形成公用城市网络,使得不仅局域网内的资源可以共享,局域网之间的资源也可以共享。

(4) 广域网(Wide Area Network,WAN)。广域网又称外网、公网,是连接不同地区局域网或城域网的远程网。广域网的覆盖范围从几十千米到几千千米,可以是整个国家或多个国家,甚至是整个世界。由于广域网地理上的距离特别大,所以信息衰减非常严重,这种网络一般要租用专线,通过接口信息处理协议和线路连接起来,构成网状结构,解决寻径问题。

2. 按网络拓扑结构分类

计算机网络中的计算机称为节点,通常将连接节点的线路称为链路,网络的拓扑结构就是指构成网络的节点与通信线路之间的几何连接关系,这种关系反映了网络中各实体间的结构关系。按照拓扑结构的不同,可以将网络分为星形结构、总线结构、环形结构、树形结构和网状结构 5 类。

(1) 星形结构。星形结构主要是指一个中央节点周围连接着许多节点而组成的网络结构,其中中央节点上必须安装一个集线器。所有的网络信息都是通过中央集线器(节点)进行通信的,周围的节点将信息传输给中央集线器,中央节点将所接收的信息进行处理加工从而传输给其他节点。星形结构的主要优点在于建网简单、可靠性高、管理方便、易于扩展、传输效率高等。它的缺点主要表现为线路利用率低,中心节点需要很高的可靠性和冗余度。星形结构如图 3-4 所示。

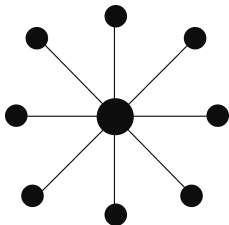


图 3-4 星形结构

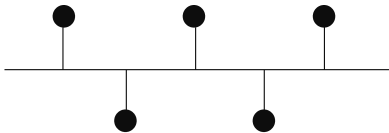


图 3-5 总线结构

(3) 环形结构。环形结构的构成形式是各个节点之间进行首尾连接,一个节点接着一个节点而形成环路。在环形结构中,网络信息的传输都是沿着一个方向进行的,是单向的,并且在每一个节点中,都需要装设一个中继器。环形结构的主要优点是令牌控制,没有线路竞争,实时性强,传输控制容易等。它的缺点主要表现为不便于扩充、维护困难、可靠性不高。环形结构如图 3-6 所示。

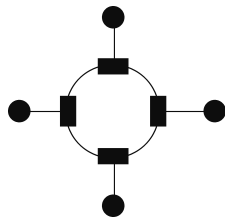


图 3-6 环形结构

(4) 树形结构。树形结构主要是指各个主机进行分层连接,其中处在越高位置的节点,可靠性越强。树形结构其实是总线结构的复杂化,如果将总线结构通过许多层集线器进行主机连接,就能形成树形结构,如图 3-7 所示。在互联网中,树形结构不同层次的计算机或者节点的地位是不一样的,树根部位(最高层)是主干网,相当于广域网的某节点,中间节点所表示的应该是大局域网或者城域网,叶节点所对应的就是最低的小局域网。在树形结构中,所有节点中的两个节点之间都不会产生回路,所有的通路都能进行双向传输。其优点是成本低、易于扩充、管理较方便、故障隔离较容易等,比较适合分等级的主次较强的层次型网络。它的缺点主要是对根节点依赖性大,若根节点发生故障,则全网不能正常工作。

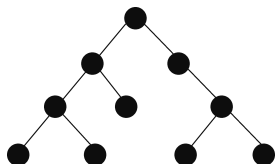


图 3-7 树形结构

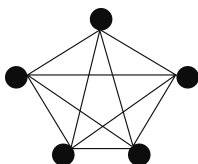


图 3-8 网状结构

(5) 网状结构。网状结构是最复杂的网络形式,是指网络中任何一个节点都会连接两条或者两条以上线路,从而保持跟两个或者更多个节点相连。网状结构各个节点和许多条线路连接,其可靠性和稳定性都比较强,所以它比较适用于广域网。它的优点是可靠性高,易于扩充,组网灵活。其缺点主要表现在组网费用高、网络结构复杂、管理维护困难等。网状结构如图 3-8 所示。

3. 按传输介质分类

按传输介质的不同,可将计算机网络分为有线网和无线网两类。

(1) 有线网。有线网是指采用有线介质作为传输介质的网络。常用的有线传输介质如前文所述,主要包括双绞线、同轴电缆和光纤等。在固定场合使用的大多数计算机和设备常采用有线方式组网。

(2) 无线网。无线网是指采用无线介质作为传输介质的网络。常用的无线传输介质主要包括微波、红外线、电磁波、卫星等。无线网更适合在移动应用环境或不适宜布线的环境下使用。

4. 按信息传播方式分类

按照信息传播方式的不同,可将计算机网络分为广播式网络和点对点式网络。

(1) 广播式网络。广播式网络是指在网络中只有一个单一的通信信道,由这个网络中所有的主机所共享,即多个计算机连接到一条通信线路上的不同分支点上,任意一个节点所发出的报文分组被其他所有节点接收。发送的分组中有一个地址域,指明了该分组的目標接收者和源地址。网络中的所有节点根据数据包中的目的地址进行判断,如果是发给自己的,则接收,否则丢弃。

(2) 点对点式网络。点对点式网络(peer-to-peer, P2P)又称对等式网络,是无中心服务器、依靠用户群(peers)交换信息的互联网体系,它的作用在于,减少以往网路传输中的节点,以降低资料遗失的风险。与有中心服务器的中央网络系统不同,对等网络的每个用户端既是一个节点,同时又具有服务器的功能。网络中的任何一个节点无法直接找到其他节点,必须依靠用户群进行信息交流。这种网络的优点包括拥有较佳的并行处理能力;运用内存管理交换资料,大幅提高性能;不用投资大量资金在服务器的软、硬件设备上;适用于小规模网络,维护容易。它的缺点在于架设较为复杂,除了要开发服务器端,还要有专用的客户端;一般用于大规模网络时,资源共享紊乱,管理较难,安全性较低。

3.1.4 数据通信的技术指标

数据通信的技术指标主要包括数据传输速率、带宽和误码率。

1. 数据传输速率

数据传输速率(Data Transfer Rate)是描述数据传输系统的重要技术指标之一,它指通信线路上传输信息的速度,即在单位时间内(通常为1s)传输的比特数,单位为比特每秒,记作 b/s(bit per second)。除了 b/s 之外,常用的数据传输速率的单位还有 kb/s、Mb/s、Gb/s、Tb/s,它们之间的换算关系如下:

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

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

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

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

2. 带宽

对于传输的信号,带宽是指所传输信息的最高频率与最低频率之差,即频率的范围,它的单位为 Hz、kHz、MHz 和 GHz。对于传输信道,带宽则表示传输信息的能力。

由于传输信息的最大传输速率和带宽之间存在密切的关系,所以在网络技术中常用带宽来表示数据传输速率,带宽越宽,传输速率越高,因此,带宽与速率几乎成为同义词。

3. 误码率

误码率是指数据传输过程中的出错率,常用 P_e 表示,它在数值上等于传输出错的二进制位数 N_e 与二进制传输总位数 N 之比,计算公式如下。

$$P_e = N_e / N$$

3 个技术指标中,数据传输速率和带宽用来表示传输信息的能力,误码率则用来表示

通信系统的可靠性。

3.2 网络协议和网络体系结构

3.2.1 网络协议

我们在日常生活中碰到的协议是指一系列用来交互或交流的规则或约定,用以确保交流各方清晰表达思想。例如,人际交流中的语言、手势等协议是指交流双方“交互”的一套语义和语法规则;交通规则(或协议)是指驾驶员必须遵循的行车规则;邮寄协议是指邮寄双方书写信封和信件的规则和约定。

参与计算机通信的各方必须共同遵守约定和通信规则。这些规则精确定义了网络实体间发送和接收数据的格式、意义,各种事件出现的顺序,以及当传送和接收消息时应采取的动作。在网络上,通信的各方必须遵守相同的约定和规则,才能正确地交流信息。我们把在计算机网络中用于规定信息的格式以及如何发送和接收信息的一套规则称为网络协议(Network Protocol)。网络协议是计算机网络的核心问题,是计算机网络中最基本的概念之一。

一个网络协议主要由以下 3 个要素组成。

- (1) 语法(Syntax): 用来规定数据和控制信息的格式。
- (2) 语义(Semantics): 传输信息的含义,需要发出何种控制信息,完成何种动作及做出何种响应。
- (3) 时序(Timing): 规定了各种操作的执行顺序。

3.2.2 OSI 体系结构

为了减少网络设计的复杂性,绝大多数网络采用分层设计方法。所谓分层设计,就是按照信息的流动过程将网络的整体功能分解为一个个功能层,不同机器上的同等功能层之间采用相同的协议,同一机器上的相邻功能层之间通过接口进行信息传递。

为了便于理解接口和协议的概念,我们首先以邮政系统为例进行说明。人们平常写信时,都有一个约定,就是信件的格式和内容。首先,写信时必须采用双方都懂的语言文字和文体,开头是对方称谓,最后是落款等。这样,对方收到信后,才可以看懂信中的内容,知道是谁写的,什么时候写的等。信写好之后,必须将信装入信封(封装)并交由邮局寄发,寄信人和邮局之间也要有约定,这就是规定信封写法并贴邮票。在中国寄信必须先写收信人的地址和姓名,然后才写寄信人的地址和姓名。邮局收到信后,首先进行信件的分拣和分类,然后交付有关运输部门进行运输,如航空信交民航,平信交铁路或公路运输部门等。这时,邮局和交通部门也有约定,如到站地点、时间、包裹形式等。信件运送到目的地后进行相反的过程,最终将信件送到收信人手中,收信人依照约定的格式才能读懂信件。在整个过程中,主要涉及 3 个层次的任务,即用户层、投递层和运送层,如图 3-9 所示。

从上例可以看出,各种约定都是为了达到将信件从一个源点送到某一个目的点这个

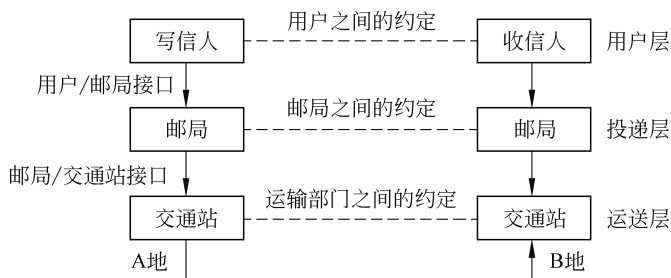


图 3-9 邮政系统分层模型

目标而设计的,这就是说,它们是因信息的流动而产生的。可以将这些约定分为同等机构间的约定,如用户之间的约定、邮局之间的约定和运输部门之间的约定,以及不同机构间的约定,如用户与邮局之间的约定、邮局与运输部门之间的约定。

虽然两个用户、两个邮局、两个运输部门分处甲、乙两地,但它们都分别对应同等机构,同属一个子系统;而同处一地的不同机构则不在一个子系统内,而且它们之间的关系是服务与被服务的关系。很显然,这两种约定是不同的,前者为部门内部的约定,而后者是不同部门之间的约定。

在计算机网络环境中,两台计算机中两个进程之间进行通信的过程与邮局通信的过程十分相似。用户进程对应于用户,计算机中进行通信的进程(也可以是专门的通信处理机)对应于邮局,通信设施对应于运输部门。

OSI 是国际标准化组织(ISO)于 1984 年制定的计算机网络标准,称为开放系统互联参考模型,即 OSI 参考模型,它将计算机网络的体系结构自上而下分为 7 层,分别是应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层,如图 3-10 所示。

在这些层中,每一层都建立在下一层的基础上,利用下一层的服务实现自身的功能,并向上一层提供服务。除最高的第七层没有需要服务的上一层,最低的第一层没有可利用服务的下一层,这样两个系统进行通信时,通信是由所有对等层之间的通信一起协同完成的,应当注意到,只有物理层与物理层之间的通信是直接的,而其他对等层之间的通信都是间接的。各层的主要功能如下。

(1) 应用层:在这一层上,用户只需关心正在交换的信息,不必知道信息传输的技术,因此,应用层的功能只是处理双方交换来往的信息。

(2) 表示层:两个应用层上的用户所用的代码、文件格式、显示终端类型不必一致,这些由表示层处理。这一层类似于在国际大会上使用“译音器”,与会者听到的都是本国语言的会议发言。另外,表示层还包括数据的压缩与解压。

(3) 会话层:通信的双方需要互相识别,这叫作建立对话关系,所以需要命名约定和编址方案,地址不能相同。会话层还要保证对话按规则有序地进行。

(4) 传输层:会话层知道通话伙伴的地址和名字,但不需要知道对方具体在哪里,正如我们给远方的亲友写信,需要知道收信人的地址,可不一定知道他具体在什么地方。这是传输层的任务,传输层如同家里的下水管道,使倒进的水流到污水池,但不知道它具体按什么路径流。又如,邮筒负责把投递的信件收集到邮局。传输层的另一个功能是进行

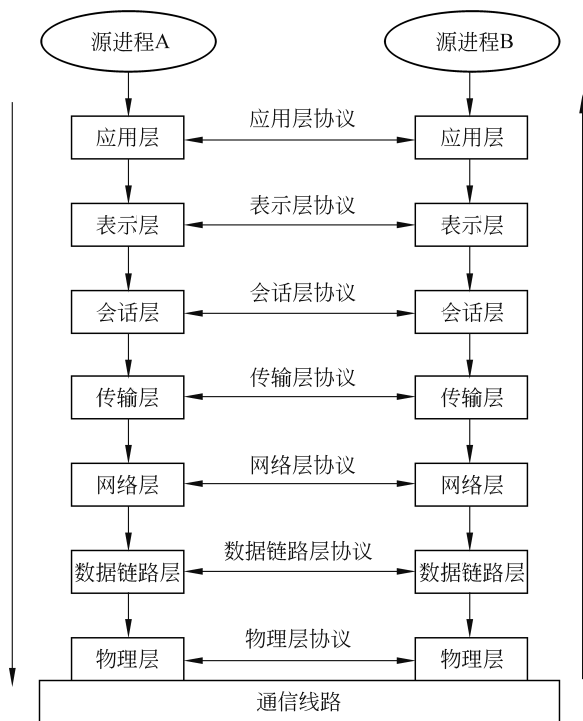


图 3-10 计算机网络体系结构

流量控制,使信息传输的速度不超过对方接收的能力。

(5) 网络层: 网络层具体负责传输的路径,包括选择最佳路径,避开拥挤的路,即常说的路由选择。

(6) 数据链路层: 不论选择什么路径,一条路径总由若干路径段组成,信息是从这些路径段上一段段传过去。在计算机网络中,这种路径段可以是电话线、电缆、光纤、微波等。数据链路层就负责在连接的两台计算机之间正确地传输信息。该层利用一种机制保证信息不丢失、不重复(例如,加上信息校验码);接收方对收到的信息予以答复,若发送方经过一段时间未接到答复,则重发,等等。

(7) 物理层: 物理层负责线路的连接,并把需要传送的信息转变为可以在实际线路上运动的物理信号,如电脉冲。信号电平的高低、插头插座的规格、调制解调器都属于这一层。

OSI 参考模型中低 3 层属于通信子网,高 4 层属于资源子网。

3.2.3 TCP/IP 体系结构

ISO 为实现计算机网络互联制定了开放系统互联(OSI)参考标准,但 OSI 缺乏足够的产品支持,这样人们便选择 TCP/IP 作为实现异种机互联的工业标准。所以,TCP/IP 是被因特网实际采用的事实上的标准化协议。

TCP/IP 体系结构共包含 4 个层次: 应用层、传输层、网络层和网络接口层。各层的

功能及包含的主要协议如图 3-11 所示。

HTTP、SMTP、POP、TELNET、FTP、SMNP、DNS、NFS、SSH	应用层
TCP、UPD	传输层
IP、ICMP、ARP、RARP	网络层
以太网、帧中继、ATM、X.25、……	网络接口层

图 3-11 TCP/IP 体系结构模型

1. 应用层

应用层是 TCP/IP 体系结构中的最高层,与 OSI 体系结构中的高 3 层对应,应用程序通过该层使用网络。这一层包含很多为用户服务的协议,主要有以下 7 种。

- (1) HTTP(Hypertext Transfer Protocol),超文本传输协议,提供 WWW 服务。
- (2) SMTP(Simple Mail Transfer Protocol),简单邮件传输协议,负责因特网中电子邮件的发送。
- (3) POP(Post Office Protocol),邮局协议,用于电子邮件的接收。
- (4) TELNET,远程终端协议,因特网中用于远程登录服务的标准协议。
- (5) FTP(File Transfer Protocol),文件传输协议,用于交互式文件传输,包括文件的上传和下载。
- (6) DNS(Domain Name Server),域名服务器,负责域名和 IP 地址的转换。
- (7) SNMP(Simple Network Management Protocol),简单网络管理协议,专门设计用于管理网络节点(如服务器、工作站、路由器、交换机及集线器等)的一种标准协议。

2. 传输层

传输层的实体是主机,是实现主机到主机的协议。该层主要包含两种协议,即 TCP 和 UDP。

- (1) TCP(Transmission Control Protocol),传输控制协议,是一种面向连接的、保证可靠交付的、基于字节流的传输层通信协议。
- (2) UDP(User Datagram Protocol),用户数据报协议,是一种面向无连接的、不保证可靠交付的传输层通信协议。

3. 网络层

网络层的目的是实现两个端系统之间的数据透明传送,具体功能包括寻址和路由选择,连接的建立、保持和终止等。它提供的服务使传输层不需要了解网络中的数据传输和交换技术。网络层使用的协议主要包括 IP、ICMP、ARP 和 RARP。

- (1) IP(Internet Protocol),网际互连协议,是 TCP/IP 体系的核心协议。设计 IP 的目的是提高网络的可扩展性:一是解决互联网问题,实现大规模、异构网络的互联互通;二是分割顶层网络应用和底层网络技术之间的耦合关系,以利于两者独立发展。IP 只为

主机提供一种无连接、不可靠的、尽力而为的数据包传输服务。

(2) ICMP(Internet Control Message Protocol),网际控制报文协议,它是一种面向无连接的协议,用于传输出错报告控制信息。ICMP 是一个对于网络安全极其重要的协议。

(3) ARP(Address Resolution Protocol),地址解析协议,该协议能根据 IP 地址获取物理地址(MAC 地址)。

(4) RARP(Reverse Address Resolution Protocol),反向地址解析协议,该协议与 ARP 协议的作用相反,它能根据物理地址(MAC 地址)确定相应的 IP 地址。

4. 网络接口层

网络接口层既是传输数据的物理媒介,也可以为网络层提供一条准确无误的线路。

3.3 因 特 网

因特网(Internet)给人类提供了一种更好、更新的通信方式,它跨越民族、国家和地域的限制,使全球的人们能互相快速联系,这是任何一种传统通信方式都无法比拟的。因特网正逐渐渗透人类生活的各个领域,真可谓无处不在,无处不有。

因特网上有各种各样丰富的资源,浩瀚如烟。从科学公理到无知妄说,从国际局势到个人隐私……令人目不暇接,不出门便知天下事。

3.3.1 因特网介绍

2000 年前后,因特网已经逐步深入中国教育、科研以及社会生活的方方面面。从 20 世纪 80 年代发展起来的各种计算机网络技术也逐渐被因特网技术统一或取代。作为因特网的专业性用户,需要对因特网的基本组成、服务模式和通信模式进行了解和研究,以便能够更清醒和主动地利用因特网为企业事业单位带来更大的竞争优势,为企业的战略目标和长期发展服务。

1. 因特网的物理结构

因特网是由成千上万的不同类型、不同规模的计算机网络和成千上万个一同工作、共享信息的计算设备组成的世界范围的巨大的计算机网络,其结构如图 3-12 所示。

组成因特网的计算机网络包括局域网、城域网以及大规模的广域网;计算设备中除传统的计算机(如 PC、工作站、小型机、中大型机或巨型机)外,许多新颖的电子智能设备(如商务通、Web TV、移动电话、智能家电)也开始接入因特网。根据因特网术语,这些设备可统称为主机(host)、端系统(end system)或端接设备(end device)。这些设备构成了因特网的资源子网。在绝大部分网络通信中需要涉及通信的双方,一般称数据的发送方为信源,称数据的接收方为信宿。

这些成千上万的网络和计算设备通过通信链路(link),如电话线、高速专用线、卫星、微波和光缆,连接在一起,在全球范围构成一个四通八达的“万网之网(network of

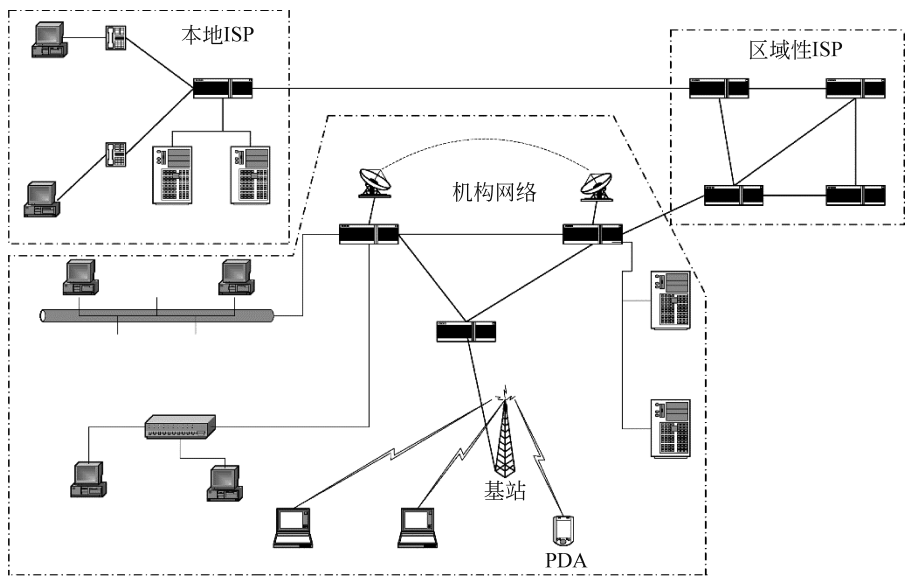


图 3-12 因特网结构示意图

networks)”。通信链路由不同的物理介质构成,不同的链路以不同的速率传输数据。链路的传输速率通常用带宽(bandwidth)描述,以每秒传输的位数(bit per second, b/s)作为计量单位。

根据因特网的巨大规模,可以得出一个简单的结论:试图把所有设备用通信链路直接连接是不可能的,必须像电话传输系统一样,通过交换设备将所有的端接设备接入网络。在因特网中,这种交换设备称为路由器(router)。路由器按照网际协议(IP)所规定的方法和规则,将信源系统中的信息以接力的方式,通过一系列通信链路和路由器传送给信宿。

因特网的通信方式与打电话有很大差别,它并不为通信的两端系统提供一条专门的路径,而是使用一种称为分组交换(packet switching)的技术,它可以让需要通信的多个端系统同时共享一条链路或部分路径。通信链路和路由器构成了因特网的核心,根据计算机网络的术语定义,这就是因特网的通信子网。在计算机网络中,通信链路和路由器等通信设备构成了通信子网。

与人类社会中,人们的沟通需要基本的礼仪和习俗类似,计算机网络也需要一套基本的通信规则。在因特网中,无论是端系统还是路由器,都必须在通信协议的协调下工作。而传输控制协议(TCP)和网际协议(IP)则是因特网中最为重要的两个协议,整个因特网协议家族的简称为 TCP/IP。

因特网是一个“万网之网”,也就是说,它是许多各不相属网络的一个互连体。除了接入因特网的任何网络必须运行 IP,并遵循特定的命名与寻址规范等约束外,网络管理员可以按自己的选择配置并运行其管辖范围内的网络。

因特网的拓扑,即其各组成部分的互连形态,是一种松散的层次结构。这个层级结构底层先通过接入网络(access network)把用户端接设备连接到本地 ISP 的端接路由器。

接入网络既可以是机构或院校的局域网,也可以是带调制解调器的拨号电话线,还可以是基于电缆或电话的宽带接入网络。本地 ISP 连接到区域性 ISP,进而区域性 ISP 连接到国家级或国际级 ISP(也叫骨干网)。国家级和国际级 ISP 在该层结构的顶层互连。在此框架结构下,新的网络和分支还可以不断加入。

从技术和开发角度看,如果没有各个因特网标准的建立、测试和实现,就没有因特网本身。这些标准由因特网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)开发。IETF 标准的文档称为 RFC(Request For Comment)。RFC 起源于为解决因特网前身所面临的体系结构问题而发起的一般性评注请求(其名字也由此得来)。尽管从正式意义上它并不是标准,但 RFC 还是演变为标准来引用。RFC 往往技术性很强且非常详尽,如 TCP、IP、HTTP(用于 Web)以及 SMTP(用于电子邮件)就是由它定义的。现有的 RFC 已有 5800 多个。

2. 因特网的工作模式

因特网中的端系统上普遍运行分布式应用程序,并彼此交换数据。这些应用包括远程登录(Telnet)、文件传输、电子邮件(E-mail)、音频/视频流、实时音频/视频会议、分布式游戏、万维网浏览、IP 电话等。

1) C/S 模式

C/S(Client/Server,客户机-服务器)模型是由客户机、服务器构成的一种网络计算环境,它把应用程序分成两部分:一部分运行在客户机上;另一部分运行在服务器上。它们各司其职。C/S 模式是网络应用和服务的形式之一(见图 3-13)。通常,采用 C/S 结构的系统,由一台或多台服务器以及大量的客户机组成。服务器配备大容量存储器并安装服务器软件和数据库系统,用于数据的存放和检索;客户机安装专用的软件,负责数据的输入、运算和输出。

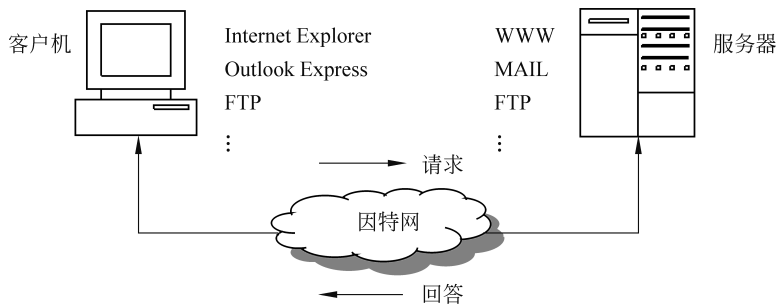


图 3-13 因特网的工作模式

客户机和服务器都是独立的计算机。当一台接入网络的计算机向其他计算机提供各种网络服务(如数据、文件的共享等)时,它就被当作服务器,而那些用于访问服务器资料的计算机则被称为客户机。严格来说,C/S 模型并不是从物理分布的角度定义的,它所体现的是一种网络数据访问的实现方式。目前,采用这种结构的系统在因特网上的应用非常广泛。例如,Google Earth 就是一款典型的 C/S 形式的网络应用程序。

2) B/S 模式

B/S(Browser/Server,浏览器和服务)结构是随着因特网技术的兴起,迅猛发展的C/S结构的一种特例。在这种结构下,用户工作界面通过万维网浏览器实现,极少部分事务逻辑在前端(Browser)实现,但是主要事务逻辑在服务器端(Server)实现,形成所谓的3层结构(有一个层为数据库服务),这样就大大减轻了客户端计算机的负荷,减少了系统维护、升级的成本和工作量,降低了用户的总体成本(TCO)。以目前的技术看,局域网建立Bps结构的网络应用,并通过因特网/内联网模式下的数据库应用,相对易于把握,成本也是较低的。B/S模型是一次性到位的开发,能实现不同的人员从不同的地点以不同的接入方式(如LAN、WAN等)访问和操作共同的数据库;能有效地保护数据平台和管理访问权限,服务器数据库也很安全。

3) P2P 模式

P2P(Peer To Peer,对等网络)模型是网络应用和服务的另一种形式,又称为对等网技术。在理想情况下,P2P技术在各节点之间直接进行资源和服务的共享,而不像C/S模型那样需要服务器的介入。在P2P网络中,每个节点都是对等的,同时充当服务器和客户机的角色。当需要其他节点的资源时,两个节点直接创建连接,本地节点是客户端;而为其他节点提供资源时,本机又成为了服务器。从某种意义上讲,P2P更好地体现了因特网的本质,使因特网的存储模型由现在的“内容位于中心”模型改变为“内容位于边缘”模型。

3. 因特网的基本工作原理

因特网的工作原理主要包括以下3方面内容。

1) 遵守统一的通信规则

因特网连接了世界上不同国家与地区不同硬件、不同操作系统与不同软件的计算机,为了保证这些计算机之间能够畅通无阻地交换信息,必须遵守统一的通信规则,这就是TCP/IP。

TCP/IP主要包括两个协议,即TCP和IP,这两个协议可以联合使用,也可以与其他协议联合使用,它们在数据传输过程中主要完成以下功能。

首先由TCP把数据分成若干数据包,给每个数据包写上序号,以便接收端把数据还原成原来的格式。

IP给每个数据包写上发送主机和接收主机的地址,一旦写上源地址和目的地址,数据包就可以在网上传送数据了。

这些数据包可以通过不同的传输途径(路由)进行传输,由于路径不同,加上其他原因,可能出现顺序颠倒、数据丢失、数据失真甚至重复的现象。这些问题都由TCP来处理,它具有检查和处理错误的功能,必要时还可以请求发送端重发。换句话说,IP负责数据有方向的传输,而TCP负责数据可靠准确的传输。

2) 分组交换

TCP/IP采用的通信方式是分组交换技术,也就是说,将网络中每一台计算机所要传输的数据,划分成若干大小相同的信息小组,每个小组称为一个数据包。TCP/IP的基本

传输单位是数据包。计算机网络为每台计算机轮流发送数据包,直到发送完毕为止。这种分割总量,轮流发送的规则就叫作分组交换。

分组交换能够使多台计算机共享通信线路,提高了通信效率。分组交换技术允许网络上的任一台计算机任何时候都能发送数据。一台计算机可以在其他计算机准备好使用网络之前就开始发送分组。如果在某一时刻只有一台计算机正在使用网络,那么这台计算机就可以独自地连续发送自己的分组。这时如果另一台计算机进入这个网络,准备开始发送数据,那么共享线路就开始了。若两台计算机轮流发送,则两台计算机公平地按相同的时间段分享网络线路。如果这时又有第三台计算机准备开始发送数据,则这三台计算机公平地按相同的时间段分享网络线路。当这三台计算机中的一台(如 2 号计算机)停止发送数据,网络会自动调整共享的策略,剩余的两台计算机轮流分享网络线路进行发送。更为重要的是,每台计算机并不知道同一时刻还有多少台计算机在使用网络,关键是:由于分组交换能够在有新的计算机准备发送数据和网络中的某一台计算机结束发送数据时立即进行自动调整,因而每台计算机在任一给定的时刻都能公平地分享网络线路。

3) C/S 工作模式

目前,Internet 的许多应用服务,如 E-mail、WWW、FTP 等采用的都是这种方式,此种模式大大减少了网络数据传输量,具有较高的效率,能够充分实现网络资源共享。此种工作模式前文已经介绍,这里不再赘述。

3.3.2 IP 地址和域名系统

就像一个人可以用姓名、身份证号码等进行识别一样,因特网上的计算机也可以用多种方式进行识别。在因特网上,计算机和所有网络设备的主要识别方式有 IP 地址、域名和物理地址。

1. IP 地址

为了实现因特网上不同计算机之间的通信,除使用相同的通信协议 TCP/IP 之外,每台计算机都必须由授权单位分配一个区分于其他计算机的唯一地址,我们称之为 IP 地址。因此,IP 地址即因特网地址或因特网地址,是用来唯一标识因特网上计算机的逻辑地址。每台连入因特网的计算机都依靠 IP 地址标识自己。

IP 地址具有如下特性。

- (1) IP 地址必须唯一。
- (2) 每台连入因特网的计算机都依靠 IP 地址互相区分、相互联系。
- (3) 网络设备根据 IP 地址帮用户找到目的端。
- (4) IP 地址由统一的组织负责分配。

IP 地址由 32 位(bit)二进制数值组成,即 IP 地址占 4 字节。为了方便书写,通常用“点分十进制”表示法,其要点是:每 8 位二进制数为一组,每组用 1 个十进制数表示,每组之间用小数点隔开。例如,二进制数表示的 IP 地址:

11001010 01110101 00100100 01100100

用“点分十进制”表示为