

1

计算机网络概论

随着微电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展和相互渗透,计算机网络已成为当今最重要的技术之一。在 21 世纪,计算机网络尤其是互联网技术必将改变人们的生活、学习、工作乃至思维方式,并对科学、技术、政治、经济乃至整个社会产生巨大的影响,每个国家的经济建设、社会发展、国家安全乃至政府的高效运转都将越来越依赖于计算机网络。10 年前,互联网(Internet)仅是一个只有几十个站点的研究项目,今天的互联网已成为一个连接所有国家亿万人的通信系统。互连网络(internet)使个人化的远程通信成为可能,并改变了商业通信的模式,一个完整的用于发展网络技术、网络产品和网络服务的新兴工业已经形成。本章将介绍计算机网络相关的基本概念和互联网的发展过程,强调计算机互连网络技术对社会发展重要意义。需要特别指明的是,在本书中将以“互连网络”来泛指一般意义的互连的计算机网络(internet);而“互联网”是特指覆盖全球、人们实际使用的互连网络,即 Internet。

1.1 通信和互联网技术的发展

1.1.1 通信技术发展的三次革命

从 1837 年莫尔斯发明电报,1876 年贝尔发明电话以来,经历了长达一个多世纪的发展,通信服务已走进了千家万户,成为社会生活及人们工作和交流信息所不可缺少的重要工具。通信服务由传统的电报、电话扩大到传真、数据通信、图像通信、电视广播、多媒体通信等新业务领域。通信技术的演变日新月异,传输媒介从有电缆、无线短波、微波、卫星发展到光缆;交换设备由机电制布线逻辑方式向计算机程序控制方式发展;传输设备由模拟载波向数字脉码调制方式发展;

终端设备由机电方式向微处理器控制的多功能终端发展；通信方式由人工、半自动向全自动方向发展；通信网络由单一的业务网向综合方向发展，形成综合业务数字网；通信的地点由固定方式转向移动方式，并逐步实现个人化。

综观通信技术的发展历程，可以将其发展过程分为三次革命。

第一次通信技术革命是百年前电话的问世。电话网络是提供电话业务为广大用户服务的通信网络。最早的电话通信形式只是两部电话机中间用导线连接起来便可通话，但当某一地区电话用户增多时要想使众多用户相互间都能两两通话，便需设一部电话交换机，由交换机完成任意两个用户的连接，这时便形成了一个以交换机为中心的单局制电话网。在某一地区(或城市)随着用户数继续增多，便需建立多个电话局，然后由局间中继线路将各局连接起来，形成多局制电话网。

在电话网中，主要传输的业务是话音，但是只要增加少量设备也还可以传送传真、中速数据等非话音业务。

电话网络采用的交换技术是基于电路交换的通信技术。电路交换包括公用电话网、公用电报网和电路交换的公用数据网(CSPDN)。

第二次通信革命是半个世纪前电视和有线电视网络的出现。电视的出现弥补了电话网络只能传输话音的缺点，它使用户不仅能闻其声，同时能见其人。特别是有线电视网络的出现，使视频信号的传输质量和带宽都得到了很大的改善，也使得基于广播电视的通信技术进入了快速发展的阶段，并达到了鼎盛时期，成为三大媒体通信技术之一。

但是由于目前的有线电视(CATV)是单向传输，采用广播技术，并且该网络缺乏交换机制以及网络安全管理功能，这就使得通过 CATV 提供双向对称/不对称业务非常困难，所以改造现有的单向网络成为双向网络，即在原有的树形广播网络中传输双向信息，是利用 CATV 实现除电视业务以外其他多媒体业务的关键。

第三次通信革命是计算机网络的产生和发展，特别是互联网的迅速崛起所引发的 IP 数据传输技术。IP 数据传输技术已开始成为通信舞台上的主角，并与话音通信、视频通信形成新的产业会聚，世界通信网络基础设施就此出现新层次的突破，一个崭新的通信世界日渐凸现出来。这种新兴的以 IP 分组交换为核心的计算机网络技术具有如下特点。

(1) 从技术上说，新的变革实际上就是从基于电路交换的技术转变为 IP 分组交换技术。分组交换(packet switching)也称为包交换，它将用户发来的一整份报文分割成若干定长的数据块(分组)，让它们以“存储-转发”方式在网内传输。每一个分组信息都载有接收地址和发送地址的标识，在传送数据分组之前，必须首先进行路由选择，然后进行分组转发。分组交换在线路上采用动态统计复用技术传送各个分组，所以线路利用率较高。分组交换兼有电路交换和报文的优点，是数据交换方式中一种比较理想的方式。传统电话网络只是简单地建立连接，而 IP 分组承载的头部信息具有更强的智能化功能。

(2) 从模式上看，IP 分组传输是一种全新的通信模型，在该模型中，数据正迅速取代

语音成为主要的网络流量类型。互联网、企业内部网(Intranet)和外部网(Extranet)上的数据流量激增,IP 网际互联已无可争辩地成为新世界的基础。

(3) 从业务上看,传统电信业务主要就是电话业务,所以电信公司实际上只是电话公司。互联网应用的普及使这一格局很快发生了改变,大量互联网服务供应商迅速崛起,其服务范围越来越广,互联网具备更丰富的业务内涵,其中包括很多多媒体数据业务,如 IP 话音、IP 图像、IP 电视会议等。更加丰富的是增值服务,其中最具代表性的是目前极为流行的 IP 虚拟专用网等。越来越多的人开始意识到,未来通信市场的竞争不是“卖带宽”,而是“增值服务”。

另外,IP 分组传输是通信技术发展的趋势所在。通信业在经历了将近一个世纪的电路交换通信模式后,目前其技术的整体发展趋势正由电路交换向分组交换演化,IP 网络将是未来通信网络的基础,其突出表现在以下几个方面。

(1) IP 与 ISDN、ATM 等网络技术不同,IP 网络是典型的由市场驱动发展起来的;ISDN 和 ATM 的发展都是技术驱动型的,先有技术,再发展应用,历史证明,这种模式是不成功的。而互联网从诞生的那一天起,就是由应用推动技术发展,技术发展又反过来刺激应用,从而形成了技术和应用的良性互动。据统计,达到相同的用户数,电话网络用了将近一个世纪,电视用了大约 30 年,而互联网仅经历了短短几年。互联网上的业务量正在以指数规模增长,同时,网上的业务范围也在不断地扩大,除了传统的 Web 浏览、信息检索、电子邮件、远程文件传输外,各种新业务,如电子商务、IP 电话与传真、远程教学、远程医疗、IP 电视会议、远程协同工作等都在迅猛发展中。以 IP 网络和 IP 信息业务为主题的信息化社会将在 21 世纪初期形成,它像工业革命时代的蒸汽机和电气化时代的电一样,将深远地影响到整个社会、经济和人们日常工作和生活的方方面面。

(2) 在 IP 业务迅猛发展的同时,IP 网络技术也在不断升级,逐步迈向更高的台阶。IP 协议对底层承载技术有广泛的适应性,IP 核心网络由数年前的软件路由器加窄带中继发展到 G 比特甚至 T 比特 IP 路由交换机加宽带传输网络。IP 接入网络由传统的低速调制解调器、ISDN 发展到 ADSL 和有线电视调制解调器(cable modem)。几年前人们广泛批评的 IP 网络的弱点和缺陷,如 QoS、网络安全性等,随着光网络技术和交换式路由器的进步都会得到彻底解决。

(3) IP 与移动通信必将紧密结合,互相渗透。伴随着互联网的飞速发展,移动通信也在突飞猛进地发展。但是移动通信的业务迄今为止都是传统的话音通信占主导地位,移动通信网络本质上是电路交换通信网。随着用户量的巨增,运营商之间的竞争加剧,单一的话音业务远远不能满足用户的业务需求。发展移动数据业务是移动通信运营商的战略方向,让消费者拥有和互联网无缝结合的移动 IP 业务是运营商的竞争利器。借助于 WAP 的 Web 浏览,随时随地进行的移动电子商务、移动网上银行、移动 IP 电话等业务预示着互联网和移动通信无缝结合的前景和未来。

刚刚进入 21 世纪,人们就惊喜地发现,电话、电视及计算机正在迅速地融合;信息的获取、存储、传送和处理之间的孤岛现象随着计算机网络的发展而逐渐消失;曾经独立发展的电信网、电视网和计算机网将会合而为一;新的信息产业正以强劲的势头迅速崛起。因此,在未来社会中,信息产业将成为社会经济发展最快和最大的部门。为了提高信息社会的生产力,提供一种全社会的、经济的、快速的存取信息的手段是十分必要的,这种手段是由计算机网络来实现的。

1.1.2 互联网的产生和发展

1946 年,产生了人类历史上第一台电子计算机,当时,任何人都没有预测到 50 年后的今天,计算机在社会各个领域的应用和影响是如此广泛和深远。在 1969 年,建立了世界上第一个计算机网络——阿帕网(ARPANET),同样,当时也不会有人预测到三十多年后的今天,计算机网络,特别是互联网,在现代信息社会中扮演了如此重要的角色。

ARPANET 网络最初只有 4 个节点,经过三十几年的发展,已成为横跨全世界一百多个国家和地区、连接几千万台计算机、几亿用户的互联网。综观这三十多年的发展,我们从中也可领略到计算机网络发展速度之迅猛。互联网的发展经历了五个阶段。

第一阶段:互联网的起源

1962 年,美苏冷战期间,美国国防部为了保证美国本土防卫力量和海外防御武装在受到前苏联第一次核打击以后仍然具有一定的生存和反击能力,认为有必要设计出一种分散的指挥系统:它由一个个分散的指挥点组成,当部分指挥点被摧毁后,其他点仍能正常工作,并且这些点之间能够绕过那些已被摧毁的指挥点而继续保持联系。

1969 年,为了对这一构思进行验证,美国国防部国防高级研究计划署(DoD/DARPA)资助建立了一个名为 ARPANET 的网络,这个网络把位于洛杉矶的加利福尼亚大学、位于圣芭芭拉的加利福尼亚大学和斯坦福大学,以及位于盐湖城的犹它州立大学的计算机主机联接起来,位于各个节点的大型计算机采用分组交换技术,通过专门的通信交换机(IMP)和专门的通信线路相互连接。这个 ARPANET 就是互联网最早的雏形。

1972 年,ARPANET 网上的节点数已经达到 40 个,这 40 个节点彼此之间可以发送小文本文件(当时称这种文件为电子邮件,也就是我们现在的 E-mail)和利用文件传输协议发送大文本文件,包括数据文件(即现在的 FTP),同时也发现了通过把一台计算机模拟成另一台远程计算机的一个终端而使用远程计算机上的资源方法,这种方法称为 Telnet。E-mail、FTP 和 Telnet 是互联网上较早出现的重要工具,而 E-mail 仍然是目前互联网上最主要的应用。

第二阶段:TCP/IP 协议的产生

1972 年,全世界计算机业和通信业的专家学者在美国华盛顿举行了第一届国际计算机通信会议,就在不同的计算机网络之间进行通信而达成协议,会议决定成立 Internet 工

作组,负责建立一种能保证计算机之间进行通信的标准规范(即“通信协议”)。

1973年,美国国防部开始研究如何实现各种不同网络之间的互联问题。1974年,IP(网际协议)和TCP(传输控制协议)问世,合称TCP/IP协议。这两个协议定义了一种在计算机网络间传送报文(文件或命令)的方法。随后,美国国防部决定向全世界无条件免费提供TCP/IP,即向全世界公布解决计算机网络之间通信的核心技术,TCP/IP协议核心技术的公开最终导致了互联网的快速发展。

1980年,世界上既有使用TCP/IP协议的美国军方的ARPA网,也有很多使用其他通信协议的各种网络,如IPX/SPX、DECNet等。为了将这些网络连接起来,美国人温顿·瑟夫(Vinton Cerf)提出一个想法:在每个网络内部各自使用自己的通信协议,在和其他网络通信时使用TCP/IP协议。这个设想最终导致了互联网的诞生,并确立了TCP/IP协议在网络互联方面不可动摇的地位。

第三阶段:计算机网络的“春秋战国”时代

20世纪70年代末到80年代初,可以说是网络的“春秋战国”时代,各种各样的网络应运而生。

80年代初,DARPA Net取得了巨大成功,但没有获得美国联邦机构合同的学校仍不能使用。为解决这一问题,美国国家科学基金会(NSF)开始着手建立提供给各大学计算机系使用的计算机科学网(CSNet)。CSNet是在其他基础网络之上加统一的协议层而形成的逻辑上的网络,它使用其他网络提供的通信能力,但从用户的角度来看是一个独立的网络。CSNet采用集中控制方式,所有信息交换都经过CSNet-Relay(中继计算机)进行。

1982年,美国北卡罗莱纳州立大学的斯蒂文·贝拉文(Steve Bellovin)创立了著名的集电极通信网络——网络新闻组(UseNet),它允许该网络中的任何用户把信息(消息或文章)发送给网上的其他用户,大家可以在网络上就自己所关心的问题和其他人进行讨论。

1983年在纽约城市大学也出现了一个以讨论问题为目的的网络——BITNet,在这个网络中,不同的话题被分为不同的组,用户可以根据自己的需求,通过计算机订阅,这个网络后来被称为电子邮件列表(mailing list)。

1983年,在美国旧金山还诞生了另一个网络,即费多网(FidoNet或Fido BBS),它是一种公告牌系统。它的优点在于,用户只要有一部计算机、一个调制解调器和一根电话线就可以互相发送电子邮件并讨论问题,这就是后来的互联网的BBS(电子布告栏系统)。

以上所谓“网络”都相继成为目前互联网的一种应用,因而互联网成为全世界各种“网络”的大集合。

第四阶段:互联网的基础——NSFNET

互联网的第一次快速发展源于美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)的建立。

20 世纪 80 年代初,美国一大批科学家呼吁实现全美的计算机和网络资源共享,以改进教育和科研领域的基础设施建设,抵御欧洲和日本先进教育和科技进步的挑战和竞争。

80 年代中期,美国国家科学基金会(NSF)为鼓励大学和研究机构共享他们非常昂贵的四台计算机主机,希望各大学、研究所的计算机与这四台巨型计算机联接起来。最初 NSF 曾试图使用 DARPA Net 作 NSFNET 的通信干线,但由于 DARPA Net 的军用性质,并且受控于政府机构,这个决策没有成功,于是他们决定自己出资,利用 ARPANET 发展出来的 TCP/IP 通信协议建立名为 NSFNET 的广域网。

1986 年,NSF 投资在美国普林斯顿大学、匹兹堡大学、加州大学圣地亚哥分校、伊利诺伊大学和康奈尔大学建立了五个超级计算中心,并通过 56kbps 的通信线路连接形成 NSFNET 的雏形。

1987 年,NSF 公开招标对 NSFNET 进行升级、营运和管理,结果多家厂商和多家大学组成的非盈利性机构获得 NSF 的合同。

1989 年 7 月,NSFNET 的通信线路速度升级到 T1(1.5Mbps),并且连接 13 个骨干节点。由于 NSF 的鼓励和资助,很多大学、政府甚至私营的研究机构纷纷把自己的局域网并入 NSFNET 中,从 1986 年—1991 年,NSFNET 的子网从 100 个迅速增加到 3000 多个。NSFNET 的正式营运以及实现与其他已有和新建网络的连接开始真正成为互联网的基础。

互联网在 80 年代的扩张不仅仅带来量的改变,而且也带来某些质的变化。由于多种学术团体、企业研究机构、甚至个人用户的进入,互联网的使用者不再限于纯计算机专业人员。新的使用者发现计算机相互间的通信对他们来讲更有吸引力,于是,他们逐步把互联网当作一种交流与通信的工具,而不仅仅只是共享 NSF 巨型计算机的运算能力。

90 年代初期,互联网事实上已成为一个“网际网”,即各个子网分别负责自己的架设和运作费用,而这些子网又通过 NSFNET 互联起来。NSFNET 联接全美上千万台计算机,拥有几千万用户,是互联网最主要的成员网。随着计算机网络在全球的拓展和扩散,美洲以外的网络也逐渐接入 NSFNET 主干或其子网。

第五阶段: 互联网的商业化

90 年代初,商业机构开始进入互联网,使互联网开始了商业化的新进程,也成为互联网大发展的强大推动力。

1995 年,NSFNET 停止运作,互联网已彻底商业化了。这种把不同网络连接在一起的技术的出现,使计算机网络的发展进入一个新的时期,形成由网络实体相互联接而构成的超级计算机网络,人们把这种网络形态称为互联网络(internet)。注意 internet 和 Internet 的区别。

随着商业网络和大量商业公司进入互联网,网上商业应用取得高速的发展,同时也使互联网能为用户提供更多的服务,使互联网迅速普及和发展起来。

现在互联网已发展为多元化,不仅仅单纯为科研服务,而且正逐步进入到日常生活的各个领域。近几年来,互联网在规模和结构上都有了很大的发展,已经成为一个名副其实的“全球网”。

计算机网络的出现,改变了人们使用计算机的方式;而互联网的出现,又改变了人们使用网络的方式。互联网使计算机用户不再被局限于分散的计算机上,同时,也使他们脱离了特定网络的约束,任何人只要进入了互联网,就可以利用网络中和各种计算机上的丰富资源。

1.2 计算机网络的基本概念

1.2.1 计算机网络的定义和功能

随着计算机网络技术的不断发展,很难给计算机网络下一个精确的定义。但目前比较公认的定义是,所谓计算机网络是指,独立自主、通过通信链路相互连接的计算机集合。独立自主意味着每台联网的计算机是完整的计算机系统,可以独立运行用户的作业;相互连接意味着两台计算机之间能够相互交换信息。

从计算机网络的定义可以看出,一个计算机网络应当由三部分组成,如图 1.1 所示。

(1) 能够向用户提供服务的主机。

(2) 负责数据传输的通信子网。主要由专用节点的交换机和连接这些节点的通信链路组成。

(3) 通信协议。这些协议主要用于主机和主机之间或者是主机与子网之间的通信。

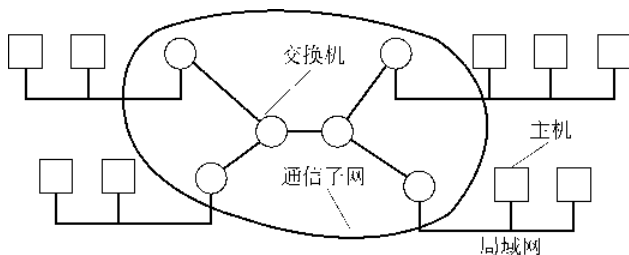


图 1.1 计算机网络的组成

计算机网络自 20 世纪 60 年代末诞生以来,在这三十多年时间内,以异常迅猛的速度发展起来,并被越来越广泛地应用于政治、经济、军事、生产及科学技术的各个领域。计算机网络的主要功能包括如下几个方面。

(1) 数据通信

现代社会信息量激增,信息交换也日益增多,因此计算机网络的一个最主要的功能是数据传输。例如,我们经常使用文件传输协议(FTP)进行文件上传和下载,就是一种最典

型的数据传输。另外,利用计算机网络传递信件是一种全新的电子邮件方式。电子邮件比现有的通信工具有更多的优点,它不像电话需要通话者同时在场,也不像广播系统只是单向传递信息,在速度上比传统邮件快得多;另外,电子邮件还可以携带声音、图像和视频,实现多媒体通信。如果计算机网络覆盖的地域足够大,则可使各种信息通过电子邮件在全国乃至全球范围内快速传递和处理(如互联网上的电子邮件系统)。

除电子邮件以外,计算机网络给科学家和工程师们提供一个网络环境,在此基础上可以建立一种新型的合作方式,即计算机支持协同工作(computer supported co-operative work, CSCW),它消除了地理上的距离限制。

在日常应用中,银行利用计算机网络数据传输功能可以进行业务处理,可使用户在异地实现通存通兑,还可以利用地理位置的差异增加资金的流通速度。例如,地处中国的中国银行晚上停止营业后将资金通过网络转借给美国的银行,而此刻美国正是白天,美国银行就可在白天利用这些资金,到晚上再归还给中国银行,从而提高了资金的利用率。

(2) 资源共享

在计算机网络中,有许多昂贵的资源,如大型数据库、巨型计算机等,并非为每一用户所拥有,所以必须实行资源共享。资源共享包括硬件资源的共享,如打印机、大容量磁盘等,也包括软件资源的共享,如程序、数据等。资源共享的结果是避免重复投资和劳动,从而提高了资源的利用率,使系统的整体性能价格比得到改善。

目前,许多人就能坐在家里向世界上任何地方预订飞机票、火车票、汽车票、轮船票,向饭店、餐馆和剧院订座,并且会立即得到答复。这就是利用了计算机网络所实现的访问远程数据库功能。

(3) 提高了系统的容错能力

在一个系统内,单个部件或计算机的暂时失效必须通过替换资源的办法来维持系统的继续运行。但在计算机网络中,每种资源(尤其程序和数据)可以存放在多个地点,而用户可以通过多种途径来访问网内的某个资源,从而避免了单点失效对用户产生的影响。

(4) 实现分布式处理

单机的处理能力是有限的,且由于种种原因(如时差),计算机之间的忙闲程度是不均匀的。从理论上讲,在同一网内的多台计算机可通过协同操作和并行处理来提高整个系统的处理能力,并使网内各计算机负载均衡。

随着计算机网络技术的飞速发展,正在涌现许多新的应用,而且这些新的应用将逐渐深入到社会的各个领域及人们的日常生活当中,改变着人们的工作、学习、生活乃至思维方式。例如,电话视频会议、IP电话、网上寻呼、网络实时交谈、视频点播(VOD)、网络游戏、网上教学、网上书店、网上购物、网上电视直播、远程医疗、网上证券交易、虚拟现实以及电子商务正逐渐走进普通百姓的生活、学习和工作当中。

在未来,谁拥有“信息资源”,谁能有效使用“信息资源”,谁就能在各种竞争中占据主导地位。随着下一代互联网的实施,计算机网络作为信息收集、存储、传输、处理和利用的整体系统,将在信息社会中得到更加广泛的应用。

1.2.2 计算机网络的类型

可以采用下列不同的角度对计算机网络进行分类。

(1) 从网络的交换方法来划分,可以将计算机网络分为电路交换、报文交换、分组交换和混合交换,其中混合交换是指在一个网络中同时使用电路和分组交换。

(2) 从网络的拓扑结构划分,可以分为集中式网络、分散式网络和分布式网络。集中式网络是在网络中有一个集中交换节点,所有的信息流必须经过这个中心节点,网络的可靠性在很大程度上依赖这个中心节点;分散式网络是集中式网络的扩展,因此一个网络中有多个具有交换功能的节点,这样在一定程度上提高了系统的管理功能;分布式网络,也称网状网,网络中每一个节点至少和其他的两个节点直接相连,因此分布式网络的可靠性是最高的。它们的拓扑结构如图 1.2 所示。

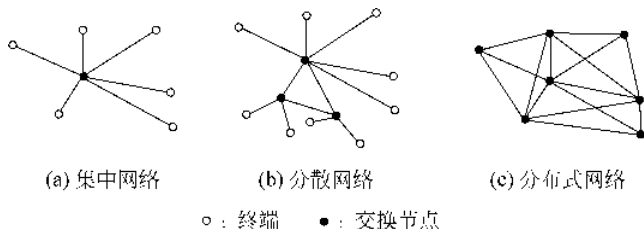


图 1.2 常见的网络拓扑

(3) 从网络的使用对象可分为公用网和专用网。公用网(public network)一般是国家电信部门建立的、面向社会和大众提供有偿服务的网络;专用网(private network)是为某个部门建立的、满足系统内部特殊需要的网络,一般不向系统外的人提供服务。例如,军队、电力等系统都有自己的专用网络。

上述的计算机网络的分类标准只是反映了网络某一方面的特征,并不能反映网络技术的本质。事实上,确实存在一种能反映网络技术本质的网络划分标准,那就是计算机网络的覆盖范围。按网络覆盖范围的大小,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)和互联网,如表 1.1 所示。网络覆盖的地理范围是网络分类的一个非常重要的度量参数,因为不同规模的网络将采用不同的技术。

广域网的作用范围通常为几十到几千公里。局域网通常是采用微型计算机通过专用的高速通信线路连接而成覆盖较小地理范围的网络,如办公楼内的办公网络等。城域网

其作用范围界于广域网和局域网之间,一般为 5~50km,传输速率比局域网更高。不同覆盖面积的计算机网络如表 1.1 所示。

表 1.1 计算机网络分类

分布距离/km	覆盖范围	网络种类
0.01	房间	局域网
0.1	建筑物	局域网
1	校园	局域网
10	城市	城域网
100	国家	广域网
1000	国家或洲际	互联网

1.3 计算机网络的体系结构

1.3.1 网络体系结构的概念

一个计算机网络内的两台计算机需要通信,就必须使它们采用相同的信息交换规则,如同两个人要对话,就需要使用双方都能理解的语言一样。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)或通信协议(communication protocol)。

由于计算机网络的复杂性,很难使用一个单一协议来为网络中的所有通信规定一套完整规则,因此普遍的做法是将通信问题划分为许多个小问题,然后为每个小问题设计一个单独的协议,从而使得每个协议的设计、分析、编码、修改和测试都变得容易。这就是网络体系结构设计中通常采用的分层的思想。

1. 协议分层

所谓分层(layering)设计方法,就是按照信息的流动过程将网络的整体功能分解为多个的功能层,不同主机或者网络节点上的同等功能层之间采用相同的协议,同一主机上的相邻功能层之间通过所谓“接口”进行信息传递。

为了对分层的概念有一个更深入的了解,下面以生活中的一个实例(邮政通信系统)加以说明。首先,一个邮政系统是由用户(写信人和收信人)、邮政局、邮政运输部门和邮政运输工具组成,因此我们可以将邮政通信系统按功能分为 4 层:用户、邮政局、邮政运输部门和运输工具,如图 1.3 所示,每层分工明确、功能独立。

分层之后,还需要在对等层之间约定一些通信的规则,即“对等层协议”。例如,通信的双方写信时,都有个约定,这就是信件的格式和采用的语言等,只有这样,对方收到信