



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络教程

高传善 毛迪林 曹 袖



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络教程

高传善 毛迪林 曹 袖

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书是在作者编写的曾获 2002 年全国优秀教材一等奖的《数据通信与计算机网络》和《数据通信与计算机网络(第 2 版)》的基础上,为适应计算机网络发展日新月异的形势而重新编写的。本书仍以目前广泛使用的 Internet 体系结构为核心,在继续重点讲述计算机网络基础理论和基本原理的同时,还强调了实用性,删除了一些目前已相对陈旧的内容,并增加了对新涌现的常用网络技术和应用的介绍。同时,本书在结构上作了较大调整,总共为十章,即计算机网络概述、数据通信基础、数据链路层、局域网、无线网络、网络层、运输层、网络应用、网络管理与信息安全以及网络新技术,使内容更为紧凑。篇幅与字数也都作了较大压缩,并仍然配有包括习题解答和实验指南内容的教学辅导书,以方便教学。

本书既可作为高等学校相关课程的教材,也可供从事计算机网络设计、工程和应用的人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/高传善,毛迪林,曹袖. —北京:高等教育出版社,2008.10

ISBN 978 - 7 - 04 - 025283 - 5

I. 计… II. ①高…②毛…③曹… III. 计算机网络 - 高等学校 - 教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137406 号

策划编辑 刘 艳 责任编辑 孙 薇 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 胡晓琪 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 河北省财政厅票证文印中心

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 30.25
字 数 680 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 10 月第 1 版
印 次 2008 年 10 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25283 - 00

前 言

本书是在作者编写的曾获 2002 年全国优秀教材一等奖的《数据通信与计算机网络》和《数据通信与计算机网络(第 2 版)》的基础上,适应计算机网络发展日新月异的新形势,参考了读者对第 2 版的反馈意见而重新编写的。

在社会信息化和信息社会化的进程中,计算机网络扮演了越来越重要的角色。本书编写的指导思想仍是立足于培养 21 世纪人才的需要,遵循优化结构、精选内容、突出重点和提高质量的原则,并以目前广泛使用的 Internet 的体系结构为核心,在重点阐明计算机网络基础理论和基本原理的同时,还强调了实用性。书中删除了一些目前已相对陈旧的内容,并增加了对新涌现的常用网络技术和应用的介绍,力图反映计算机网络的新进展,以使读者达到学以致用目的。

本书在内容上进行了全面增删、修改和调整,同时在结构上作了较大变动,总共分为十章,即计算机网络概述、数据通信基础、数据链路层、局域网、无线网络、网络层、运输层、网络应用、网络管理与信息安全以及网络新技术。除内容更为紧凑外,篇幅与字数也都作了较大压缩,更适合于在一个学期的教学中讲解。作为教材,在每章后面仍附有足够的练习题,同时也将配套编写一本包括习题解答和实验指南内容的教学辅导书,以更方便教学的使用。书后附录中列出的参考文献大都为近些年的出版物,并且是目前国内书市中可以买到的。本书既可作为高等学校相关课程的教材,也可供从事计算机网络设计、工程、研究或应用的科研与工程技术人员学习或作为参考书阅读使用。

本书由高传善、毛迪林和曹袖编写。高传善拟定了编写内容和大纲,执笔编写了第一、第二、第三和第九章,毛迪林执笔编写了第四、第五、第十章,曹袖执笔编写了第六至第八章的内容。限于时间与水平,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2008 年 3 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传真：(010)82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的演变与发展	1
1.1.1 计算机网络是计算机和通信技术发展的产物	1
1.1.2 面向终端的计算机网络	2
1.1.3 计算机-计算机网络	3
1.1.4 开放式标准化的计算机网络	6
1.1.5 网络的发展趋势	8
1.2 计算机网络的基本概念	11
1.2.1 什么是计算机网络	11
1.2.2 计算机网络的组成	12
1.2.3 计算机网络的功能	13
1.2.4 计算机网络的应用	17
1.3 计算机网络的体系结构	19
1.3.1 层次模型	19
1.3.2 开放系统互连参考模型	21
1.3.3 Internet 参考模型	26
1.3.4 OSI 和 Internet 参考模型比较	31
1.3.5 网络通信标准化组织	33
1.4 计算机网络的分类	37
1.4.1 按拓扑结构分类	37
1.4.2 按地理范围分类	38
1.4.3 其他分类	40
练习题	40
第二章 数据通信基础	43
2.1 数据通信的基础理论	43
2.1.1 通信系统模型	43
2.1.2 带宽与傅里叶分析	45
2.1.3 信道的最大数据速率	46
2.2 传输技术	47
2.2.1 模拟传输与数字传输	47

2.2.2 数字调制技术	48
2.2.3 模拟信号的脉码调制	51
2.2.4 多路复用	53
2.2.5 数字信号的编码技术	57
2.3 物理传输媒体	59
2.3.1 双绞线	59
2.3.2 同轴电缆	62
2.3.3 光纤	63
2.3.4 无线传输媒体	64
2.3.5 通信卫星	67
2.4 物理层接口标准举例	70
2.4.1 EIA-RS-232C	70
2.4.2 RS-422、RS-423 和 RS-449	73
练习题	74
第三章 数据链路层	77
3.1 数据链路层的功能	77
3.1.1 帧同步	77
3.1.2 差错控制	78
3.1.3 流量控制	79
3.1.4 链路管理	79
3.2 差错检测与校正	79
3.2.1 传输差错的特性	80
3.2.2 常用的检错码——循环冗余码	81
3.2.3 常用的纠错码——海明码	87
3.3 数据链路协议	90
3.3.1 停等协议	90
3.3.2 顺序接收的管道协议	96
3.3.3 选择重传协议	97
3.3.4 流量控制的滑动窗口机制	98
3.4 协议描述与验证	99
3.4.1 有限状态机模型	99

3.4.2 Petri 网	102	5.2.4 第三代移动网络	198
3.5 数据链路层协议举例	104	5.3 无线个人区域网	203
3.5.1 起止式异步规程	105	5.3.1 WPAN 概述	203
3.5.2 面向字符的同步协议 BSC	107	5.3.2 蓝牙	204
3.5.3 面向比特的同步规程 HDLC	109	5.3.3 Zigbee	210
3.5.4 点对点协议 PPP	111	5.4 无线局域网	218
3.5.5 帧中继	113	5.4.1 IEEE 802.11 物理层	219
练习题	118	5.4.2 WLAN 体系结构	224
第四章 局域网	120	5.4.3 WLAN 媒体访问控制	226
4.1 局域网概述	120	5.4.4 WLAN 的安全机制	231
4.1.1 IEEE 802 局域网标准	120	练习题	235
4.1.2 LAN 地址	125	第六章 网络层	238
4.2 以太网访问控制	127	6.1 通信子网和网络层服务	238
4.2.1 CSMA/CD	127	6.1.1 通信子网的内部操作	238
4.2.2 千兆以太网的 CSMA/CD 扩展	134	6.1.2 网络层提供的服务	241
4.2.3 以太网帧格式	136	6.2 路由选择	243
4.2.4 全双工以太网	137	6.2.1 最佳路由算法	244
4.3 以太网物理层	140	6.2.2 静态路由方式	246
4.3.1 媒体无关接口	141	6.2.3 动态路由方式	248
4.3.2 自动协商	143	6.2.4 层次路由、策略路由和自治系统	255
4.3.3 传统以太网媒体选项	145	6.3 路由协议	256
4.3.4 高速以太网媒体选项	146	6.3.1 路由器和路由协议	257
4.4 网桥和交换机	150	6.3.2 路由信息协议 RIP	259
4.4.1 网桥工作原理	151	6.3.3 开放最短路径优先协议 OSPF	263
4.4.2 生成树算法	154	6.4 IP 协议	269
4.4.3 局域网交换机	161	6.4.1 IP 地址	270
4.4.4 虚拟局域网	162	6.4.2 CIDR 和 NAT	273
练习题	165	6.4.3 IP 子网和 IP 转发	277
第五章 无线网络	169	6.4.4 IP 协议格式	278
5.1 无线通信基础	169	6.5 其他核心协议	282
5.1.1 无线信道	169	6.5.1 地址解析协议 ARP	282
5.1.2 改善无线信道性能	173	6.5.2 Internet 控制消息协议 ICMP	284
5.1.3 多路访问机制	180	6.6 移动 IP 和 IPv6	289
5.2 移动通信	184	6.6.1 移动 IP	289
5.2.1 移动通信概述	185	6.6.2 IPv6	292
5.2.2 全球移动通信系统 GSM	188	练习题	297
5.2.3 通用分组无线业务 GPRS	193		

第七章 运输层	302	练习题	375
7.1 运输服务和服务质量	302	第九章 网络管理与信息安全	377
7.1.1 运输实体	302	9.1 网络管理基础	377
7.1.2 运输层提供的服务	303	9.1.1 网络管理的功能	378
7.1.3 服务质量	304	9.1.2 简单网络管理协议 SNMP	381
7.1.4 服务原语	305	9.1.3 网络管理的其他问题	387
7.2 运输协议机制	306	9.2 网络信息安全基础	389
7.2.1 寻址	306	9.2.1 网络安全隐患与对策	390
7.2.2 重传策略和重复检测	307	9.2.2 数据加密的一般原理	393
7.2.3 连接建立和连接释放	310	9.2.3 对称密钥算法	399
7.2.4 流量控制和缓冲策略	314	9.2.4 公开密钥算法	406
7.2.5 多路复用	317	9.3 常用网络安全技术	408
7.2.6 崩溃恢复	318	9.3.1 病毒防范	408
7.3 TCP 与 UDP 协议	318	9.3.2 防火墙	411
7.3.1 TCP 服务与协议	318	9.3.3 身份鉴别	415
7.3.2 TCP 连接管理	323	9.3.4 数字签名与数字证书	418
7.3.3 TCP 流量控制	326	9.3.5 SSL 与 IPsec	424
7.3.4 TCP 拥塞控制	327	练习题	428
7.3.5 TCP 计时器	329	第十章 网络新技术	430
7.3.6 UDP 协议	330	10.1 IP 组播	430
练习题	331	10.1.1 组播服务模型	430
第八章 网络应用	333	10.1.2 IGMP	432
8.1 域名服务 DNS	333	10.1.3 组播路由协议	434
8.1.1 主机名和域名	333	10.2 服务质量 QoS	439
8.1.2 域名注册和管理	335	10.2.1 服务质量概述	440
8.1.3 域名解析服务	337	10.2.2 主动队列管理	441
8.1.4 Internet 域名和 URL	338	10.2.3 集成服务	443
8.2 传统应用	339	10.2.4 区分服务	448
8.2.1 万维网 WWW	339	10.3 移动自组网、无线传感器	
8.2.2 电子邮件 Email	346	网络和 WiMAX	451
8.2.3 文件传输 FTP	351	10.3.1 移动自组网	451
8.2.4 远程登录 Telnet	354	10.3.2 无线传感器网络	456
8.3 多媒体应用	355	10.3.3 WiMAX	463
8.3.1 多媒体网络概述	356	练习题	469
8.3.2 实时运输协议 RTP	359	参考文献	472
8.3.3 流媒体技术	365		

第一章 计算机网络概述

计算机网络是大约出现在 20 世纪 50 年代末的一门新技术,虽然出现相对较晚,但其迅速发展和广泛应用,目前作为信息社会的基础设施已深入人类社会生活的各个方面。人类学习和认知新知识和技术的过程总是呈螺旋上升的。对某个复杂的现象不可能立即就全面理解。相反,任何复杂的现象必须从各个不同的角度(总体和细节)进行学习,并随时需要重新温习某些似乎已经理解的材料,而每一次螺旋认识过程的轮回都会有新的收获。本章就是学习计算机网络螺旋过程的“第一圈”。它简略地介绍了构成所有当代网络技术基础的主要原理和体系结构,同时引入一些在计算机网络中常见的名词和术语,这对将来的进一步学习是十分有用的。

本章共分为四节。在 1.1 节中首先介绍计算机网络的演变与发展。1.2 节中说明计算机网络的基本概念,包括什么是计算机网络、计算机网络的组成、功能和应用等。1.3 节中讲述计算机网络的体系结构,从广泛采用的层次模型着手,主要介绍作为国际标准的开放系统互连参考模型和目前使用最广泛的因特网参考模型,并对两者进行比较,同时简述国际上最主要的从事数据通信和计算机网络标准化的相关组织。1.4 节介绍了常用的计算机网络分类方法。

1.1 计算机网络的演变与发展

本节中将回顾计算机网络演变所经历的几个阶段。通过对计算机网络演变过程的了解,可以使读者对计算机网络及其功能和应用有一个初步的认识。然后简要探讨计算机网络的发展趋势。

1.1.1 计算机网络是计算机和通信技术发展的产物

在人类社会中,人与人之间经常需要交换信息。用任何方法,通过任何媒体传输信息的过程,从广义上讲均可称为通信。从这个意义上说,会话、写信、古代的烽火台、航海中的旗语等都是通信技术。但是,现代通信技术则主要指用电信号通过电信道来传递信息,电报、电话就是这种通信技术的早期代表,已有较长的历史。现代计算机技术则是在 1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生后才出现的新技术。当时,计算机和通信之间并没有什么关系。但是,计算机技术迅猛发展,使其成为信息存储与处理的主要工具。正是由于计算机的出现,才使得处理和存储海量信息成为可能。而信息的流通需要则促使了计算机技术与通信技术的相互影响与结合。

当今世界经济正从工业经济向知识经济转变。知识经济时代不同于农业经济与工业经济时代的特点之一是信息和传统的物质及能源一起构成了当今社会的三大资源。人类社会正在进入信息爆炸的时代,经历着一场信息革命。早在农业经济时代就有供水的网络,当时水作为一种物质是一项重要的生产和生活资源。在工业经济时代资源的流通更起了很大的作用,遍布全球的铁路网、航运网和高速公路网就是物质的流通网络,而输电网、石油和天然气管道则可看成是能源的流通网络,它们都是工业社会的基础设施。在信息社会中信息的存储与处理离不开计算机。但是,信息与其他两类资源的显著不同是,信息不像物质及能源在流通使用中都会损耗,信息在流通使用中非但不会损耗,反而会通过交流而增值。从这个意义上看,信息的流通就尤为重要。信息的流通离不开通信与计算机网络,所以说通信与计算机网络是信息社会的基础设施。概略地说,计算机网络是通过各种通信手段相互连接起来的计算机组成的复合系统。数据通信则是为了适应计算机之间信息传输需要而产生的一种新的通信方式,它是计算机网络中各计算机间信息传输的基础。计算机网络的建立,除了必须具备数据通信功能外,还涉及网络中计算机间的资源共享、协同工作等信息处理的功能。计算机网络正是计算机技术和通信技术独立发展而又密切结合的产物。

早期的计算机系统是高度集中的,所有的设备安装在单独的大房间中。开始时,一台计算机只能供一个用户使用。后来发展了批处理和分时系统,一台计算机虽然可同时为多个用户服务,但若不和数据通信相结合,分时系统所连接的多个终端都必须紧挨着主计算机,用户都必须到计算中心的终端室去使用,显然仍是不方便的。20世纪50年代中期,为了方便使用以及信息流通的需要,计算机技术开始和通信技术相结合。自此计算机网络经历了一个从简单到复杂的演变过程,这一过程大体上可分为3个阶段:面向终端的计算机网络、计算机-计算机网络以及开放式标准化的计算机网络。下面将在紧接着的1.1.2~1.1.4小节中逐一加以介绍。

1.1.2 面向终端的计算机网络

第一阶段的计算机网络大体上从20世纪50年代中至60年代中,实际上是以单个计算机为中心的远程联机系统。20世纪50年代中期,美国半自动地面环境(Semi-Automatic Ground Environment, SAGE)防空系统开始进行计算机技术和通信技术相结合的尝试,将远距离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IBM计算机里进行集中处理和集中控制。接着,许多系统都将地理上分散的多个终端通过通信线路连接到一台中心计算机上。用户可以在自己办公室内的终端上输入程序,通过通信线路送入中心计算机,分时访问和使用其资源来进行处理,处理结果再通过通信线路送回用户的终端上显示或打印出来。这样就出现了第一代的计算机网络。这样的系统中除了一台中心计算机,其余的终端都不具备自主处理的功能。系统中的通信主要是终端和中心计算机间的通信。虽然历史上也曾称它为计算机网络,但现在为了更明确地与后来出现的多台计算机互连的计算机网络相区分,也称为面向终端的计算机网络。20世纪60年代初期,美国航空公司投入使用的由一台中心计算机和全美范围内2000多个终端组成的飞机票预订系统(Semi-Automatic Business Research Environment, SABRE)就是这种远程联机系

统的一个代表。这类以单个计算机为中心的支持远程终端的远程联机系统,由于其高度可管理性和数据的一致性,目前仍有使用。

在远程联机系统中,随着所连远程终端个数的增多,中心计算机要承担的和各终端间通信的任务也必然加重,使得以数据处理为主要任务的中心计算机增加了许多额外的开销,实际工作效率下降。由此出现了数据处理和通信的分工,即在中心计算机前面增设一个前端处理机(Front End Processor, FEP)来完成通信的工作,而让中心计算机专门进行数据处理,这样可显著地提高效率。前端处理机,简称为前端机,有时也称为通信处理机或输入输出处理机。另一方面,若每台远程终端都用一条专用通信线路与中心计算机连接,则线路的利用率低,且随着终端个数的不断增多,线路费用将达到难以负担的程度。因而,后来通常在终端比较集中的地点设置终端控制器(Terminal Controller, TC)。它首先通过多条低速线路将附近各终端连接起来,再通过一条线路(通常为高速通信线路)与远程中心计算机的前端机相连。它可以利用一些终端的空闲时间来传送其他处于工作状态的终端的数据,提高了远程线路的利用率,降低了通信费用,其典型的结构如图 1.1 所示。图中的 M 代表调制解调器(Modem),是利用模拟通信线路远程传输数字信号所必需的一种设备;T 代表终端(Terminal)。前端机和终端控制器也可以采用比较便宜的小型计算机或微型机来实现。这样的远程联机系统已经具备了计算机和计算机间通信的雏形。但是,在远程联机系统中除计算机可独立自主工作外,其余通过远程通信线路和其相连的终端都不能在和计算机断开的情况下独立自主工作。

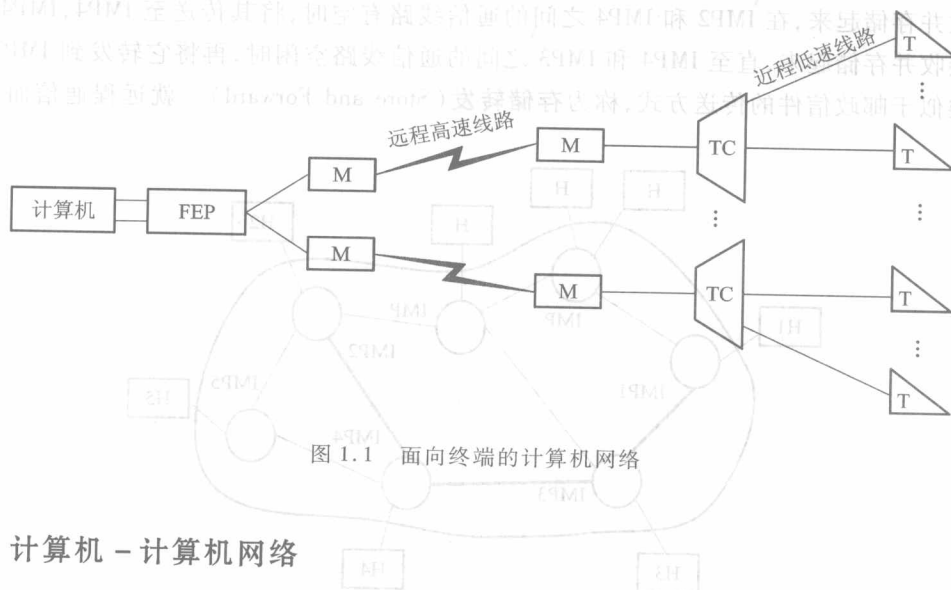


图 1.1 面向终端的计算机网络

1.1.1.3 计算机 - 计算机网络

第二阶段的计算机网络大体上从 20 世纪 60 年代末至 70 年代末,它由多台计算机通过通信线路互连起来而为用户提供服务,即是计算机 - 计算机网络。它和以单台计算机为中心的远程联机系统的显著区别在于:这里的多台计算机都是具有自主处理能力的,它们之间不存在主从

关系。这样的多台计算机互连的网络才是目前常称的计算机网络。这种系统中,终端和中心计算机间的通信已改变为计算机和计算机间的通信,用单台中心计算机为所有用户需求服务的模式被大量分散而又互连在一起的多台计算机共同完成的模式所替代。第二阶段计算机网络的典型代表是 **ARPA 网**(ARPANET)。20 世纪 60 年代后期美国国防部高级研究计划局 ARPA(目前称为 DARPA——Defense Advanced Research Projects Agency)提供经费给美国许多大学和公司,以促进多台计算机互连网络的研究,并最终导致 1969 年一个实验性的 4 节点网络开始运行并投入使用。ARPANET 后来扩展到连接数百台计算机,从欧洲到夏威夷,地理范围跨越了半个地球。目前有关计算机网络的许多知识都与 ARPANET 的研究结果有关。ARPANET 中提出的一些概念和术语至今仍被引用。ARPANET 也由此被公认为是第一个真正的计算机网络。

ARPANET 中互连的运行用户应用程序的计算机称为主机 (Host)。但主机之间并不是通过直接的通信线路,而是通过称为**接口报文处理机**(Interface Message Processor,IMP)的装置转接后互连的,如图 1.2 所示。ARPANET 中的接口报文处理机实质上就是目前常说的**交换机**(Switch)或**路由器**(Router)。当某台主机的用户要访问网络上远地的另一台主机时,主机首先将信息送至本地直接与其相连的 IMP,通过通信线路沿着适当的路径经若干 IMP 中途转接后,最终传送到远地的目标 IMP,并送入与其直接相连的目标主机。例如,图 1.2 中主机 H2 上的某个用户要将信息送往主机 H1,则首先将该信息送至 IMP2,然后沿图中粗黑线指出的路径,中间经 IMP4 和 IMP3 转接,最终传送到目标 IMP1,再送入主机 H1。转接是这样进行的:IMP2 将主机 H2 送来的信息接收并存储起来,在 IMP2 和 IMP4 之间的通信线路有空时,将其传送到 IMP4,IMP4 也是将该信息接收并存储起来,直至 IMP4 和 IMP3 之间的通信线路空闲时,再将它转发到 IMP3……这种方式类似于邮政信件的传送方式,称为**存储转发**(Store and Forward)。就远程通信而言,目前

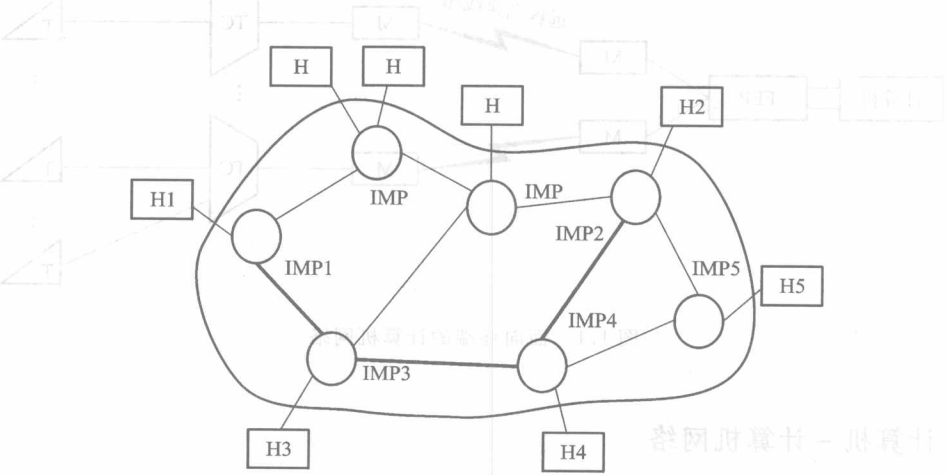


图 1.2 存储转发的计算机 - 计算机网络

通信线路仍然是个较昂贵的资源。采用存储转发方式的好处在于通信线路是公用的,因而大大提高了通信线路的利用率,降低了使用费用。比如在图 1.2 所示的例子中,当从主机 H2 送往 H1 的信息仍在 IMP2 和 IMP4 间的通信线路上传输时,IMP3 和 IMP4 间的通信线路就可被由 H3 经 IMP3、IMP4 和 IMP5 送往 H5 的另外的信息传输所使用。而一旦从主机 H2 送往 H1 的信息已为 IMP4 接收并存储后,IMP2 和 IMP4 之间的通信线路又可为其他的,比如说 H4 和 H2 之间的信息传输服务。

图 1.2 中 IMP 和它们之间互连的通信线路一起负责完成主机之间的数据通信任务,构成了**通信子网**(Communication Subnet)。通过通信子网互连的主机负责运行用户应用程序,向网络用户提供可供共享的软硬件资源,它们组成了**资源子网**。ARPANET 采用的就是这种两级子网的结构。ARPANET 中存储转发的信息基本单位称为**分组**(Packet,有的资料中也将其译为包)。以存储转发方式传输分组的通信子网则被称做**分组交换网**(Packet Switching Network)。IMP 是 ARPANET 中使用的术语,在其他网络或文献中也称为**分组交换节点**(Packet Switching Node)。IMP 或分组交换节点通常也是由小型计算机或微型机来实现的,为了和资源子网中的主机相区别,也被称为**节点机**,或简称**节点**。

虽然计算机网络从早期广泛使用的长距离网络[例如**电话网络**(Telephone Networks)]中继承了许多特性,它最具创新性的特征是采用**分组交换技术**来代替在电话网络中得到成功应用的**电路交换**(Circuit Switching)。由于计算机间传输的数据具有**突发性流量**(Bursty Traffic)的特点,电路交换机制显得并不十分有效。这里,“突发性”指在长时间的空闲等待后只在很短时间段进行数据交换,比如说很长的时间内在键盘上输入数据,传输信道上空闲,一旦敲下了回车键,前面输入的数据就突发性地发送出去了。对于突发性的数据,实验和数学方法都证明了基于分组交换原理的网络比电路交换的网络更有效率。

两台计算机通信时对传送信息内容的理解、信息表示形式以及各种情况下的应答信号都必须遵循一个共同的约定,这种约定称为**协议**(Protocol)。换句话说,协议实质上就是两台计算机通信时遵循的一套形式化的规则。在一个计算机网络中将协议按功能分成了若干层次。如何分层,以及各层中具体采用的协议的总和,称为网络的**体系结构**(Architecture)。体系结构是个抽象的概念,其具体实现是通过特定的硬件和软件来完成的。

比较图 1.1 和图 1.2 可见,作为第一阶段计算机网络的远程联机系统和第二阶段计算机 - 计算机网络的区别之一是,前者以被各终端共享的单台计算机为中心,而后者则以通信子网为中心。

以 ARPANET 以及英国国家物理实验室 NPL 的分组交换网为先驱,20 世纪 70 年代和 80 年代中第二代计算机网络得到了迅猛的发展。其中有些主要是研究试验性的网络,如 IBM 沃森研究中心、卡内基 - 梅隆大学和普林斯顿大学合作开发的 TSS 网以及加利福尼亚大学欧文分校研制的 DCS 网等;有些是个别用户为特定应用目的(如某些资源的共享)而自行研制和使用的网络,如加利福尼亚大学劳伦斯原子能研究所建立的 DCTOPUS 以及法国信息与自动化研究所负责的 CYCLADES 网等;有些是由用户联营为一定范围内的应用而建立的网络,如国际气象监测

网 (World Weather Watch Network, WWWN) 和欧洲情报网 (European Information Network, EIN) 等; 有些是公用分组交换数据网, 如美国的 TELENET 和英国的 PSS; 有些是商用的提供增值通信服务的网络, 如美国 Tymshare 公司的 TYMNET 和通用电气公司的 GE 信息服务网等。在这段时期内, 各大计算机公司都陆续推出自己的网络体系结构, 以及实现这些网络体系结构的软硬件产品。用户购买计算机公司提供的网络产品, 自己提供或租用通信线路, 就可自己组建计算机网络。IBM 公司的 SNA (System Network Architecture) 和原有 DEC 公司的 DNA (Digital Network Architecture) 就是两个最著名的例子。凡是按 SNA 组建的网络都可称为 SNA 网, 而凡是按 DNA 组建的网都可称为 DNA 网或 DECnet。同时, 局域网 (Local Area Network, LAN) 用来连接小范围内的计算机, 也在 20 世纪 70 年代晚期和 80 年代早期随着个人计算机的 (Personal Computer, PC) 发展而出现。以太网 (Ethernet) 就是其典型代表。

当前世界上仍有不少第二代计算机网络还在运行和提供服务。但是, 第二代计算机网络仍有不少弊病, 适应不了信息社会日益发展的需要。其中最主要的缺点是: 第二代计算机网络大都由研究单位、大学、应用部门或计算机公司各自研制, 因而没有统一的网络体系结构。为实现更大范围内的信息交换与共享, 要把不同的第二代计算机网络互连起来十分困难。比如说, 通过增购一些网络产品把一台 IBM 公司的计算机接入一个 SNA 网是不困难的, 但要把一台 HP 公司生产的计算机接入 SNA 网就不是一件容易的事情。同样, 要把一台 IBM 公司生产的计算机接入 DECnet 也不是容易的, 要把多种不同的计算机和网络互连在一起就更难了。因而, 计算机网络必然要向更新的阶段演变。

1.1.4 开放式标准化的计算机网络

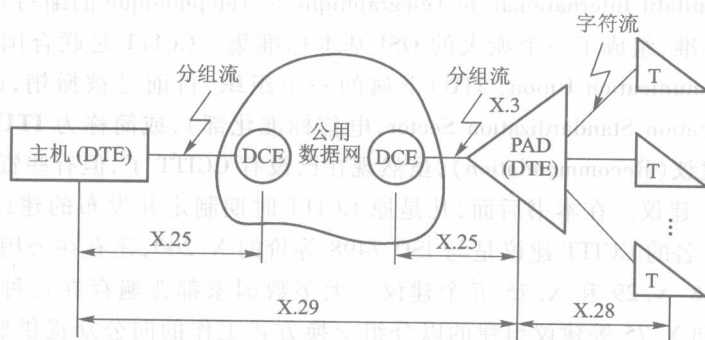
第三阶段的计算机网络大体上从 20 世纪 80 年代初至 90 年代初, 是开放式标准化的计算机网络。换句话说, 它具有统一的网络体系结构, 遵循国际化的协议。标准化使得不同的计算机能方便地互连在一起。标准化还带来大规模生产、产品 VLSI 化和成本降低等一系列的好处。

20 世纪 70 年代后期人们认识到第二阶段计算机网络的不足后, 已开始提出发展新一代计算机网络的问题。国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 下属的计算机与信息处理标准化技术委员会 (Technical Committee, TC) 97 成立了一个专门研究此问题的分委员会 (Sub-Committee)。经过若干年卓有成效的工作, ISO 制定并在 1984 年正式颁布了一个称为开放系统互连基本参考模型 (Open System Interconnection Basic Reference Model, OSI/RM 或 OSI) 的国际标准 ISO 7498。这里“开放系统”是相对于第二阶段计算机网络中如 SNA 和 DNA 等只能和同种计算机互连的每个厂商各自封闭的系统而言的, 它是可以和任何其他系统 (当然要遵循同样的国际标准) 通信而相互开放的。该模型定义了一种纵向分解计算机交互问题的方法, 按层次结构划分为七个子层, 有时也被称为 OSI 七层模型。OSI 模型目前已被国际社会所普遍接受, 并公认为计算机网络的体系结构的基础。我国在 1988 年也制定了相应的国家标准, 即 GB 9387—1988。

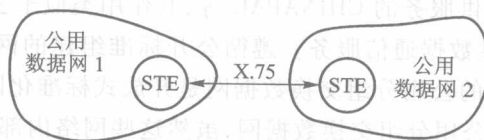
20 世纪 80 年代中期, 以 OSI 模型为参照, ISO 以及当时的国际电话电报咨询委员会 CCITT

(法文 Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique 的缩写)等为各个层次开发了一系列的协议标准,组成了一个庞大的 OSI 基本标准集。CCITT 是联合国国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)下属的一个组织,目前已被撤销,改组更名为 ITU - TSS (Telecommunication Standardization Sector, 电信标准化部),或简称为 ITU - T。由 CCITT 制定的标准都称为建议(Recommendation),虽然现在已没有 CCITT 了,但有些资料习惯上许多时候仍将其称为 CCITT 建议。在本书后面,凡是原 CCITT 时期制定并发布的建议,有时也仍称之为 CCITT 建议。最著名的 CCITT 建议是与 ISO 7498 等价的 X. 200,还有在公用数据网中广泛采用的 X. 25、X. 3、X. 28、X. 29 和 X. 75 五个建议。大多数国家都普遍存在这种遵循 CCITT X. 25、X. 3、X. 28、X. 29 和 X. 75 等建议组建的以分组交换方式工作的向公众提供服务的公用数据网,如加拿大的 DATAPAC、法国的 TRANSPAC、德国的 DATEX - P、日本的 DDX - P 以及我国已于 1989 年开通并正式对外提供服务的 CHINAPAC 等,其作用类似于公用电话网向用户提供语音通信服务一样,它向用户提供数据通信服务。遵循公开标准组建的网络通常都是开放的。遵守上述 CCITT X 系列建议组建的公用分组交换数据网是开放式标准化网络的一个典型例子。

许多国家都有自己的公用分组交换数据网,虽然这些网络内部的结构、采用的信道及设备各不相同,但它们向外部用户提供的界面是相同的,互连的界面也是相同的,因而也易于互连与互通。它们向外部用户提供的界面都采用了国际标准——CCITT 制定的 X. 25 建议。这个建议规定了用分组方式工作和公用数据网连接的数据终端设备(Data Terminal Equipment, DTE)和数据电路端接设备(Data Circuit - terminating Equipment, DCE)之间的界面。这里,DTE 和 DCE 是 CCITT 使用的术语,在所述计算机接入公用数据网的情况下,计算机就是 DTE,而公用数据网中的分组交换节点就是 DCE。这里所说的界面是广义的,实际上覆盖了 OSI 七层模型中的下三层,是接入公用数据网的 DTE 和公用数据网间在下三层界面的总和,也就是下三层协议的总和。为了使普通的不能直接执行 X. 25 中规定协议的非智能终端也能接入采用 X. 25 界面的公用数据网,必须采用一个称为分组组装/拆卸(Packet Assembly/Disassembly, PAD)的装置。CCITT 已经制定了 3 个与 PAD 有关的标准,即 X. 3 建议、X. 28 建议和 X. 29 建议。其中 X. 3 建议规定了 PAD 的功能以及控制它工作的一些参数;X. 28 建议规定了终端和 PAD 之间的标准协议;X. 29 建议则规定了 PAD 和用分组方式工作的 DTE 之间交换控制信息和用户数据的规程(Procedure)。这里,规程是通信界常用的术语,就是通信双方必须遵循的共同的约定,这种场合下可以看成是协议的同义语。只不过在 OSI 七层模型中,从低层到高层都统称为协议;而某些低层的协议在通信界有时又称为规程。有了这 3 个标准,普通的非智能终端就能够通过 PAD 接入公用数据网与远程主机通信了,如图 1.3(a)所示。一个 PAD 可以连接多个终端,具有终端控制器的功能,但与普通的终端控制器不一样,还能将普通终端发出的字符流转换为 X. 25 建议所要求的分组流。PAD 可以执行 X. 25 建议和公用数据网直接相连,与计算机一样也是 CCITT 所称的 DTE。X. 75 建议则规定了两个公用数据网互连时接口的标准,公用数据网中用于按 X. 75 建议与另一公用数据网互连的设备称为信令终端设备(Signaling Terminal Equipment, STE),如图 1.3(b)所示。



(a) 与公用数据网有关的 CCITT 标准



(b) 公用数据网的互连

图 1.3 遵循 CCITT 建议组建的以分组交换方式工作的公用数据网

另一个开放式标准化网络的著名例子就是因特网 (Internet, 曾译为国际互联网), 它是在原 ARPANET 基础上经过改造而逐步发展起来的, 它是对任何计算机开放的, 只要遵循 TCP/IP 协议簇的标准, 并申请了 IP 地址就都可以通过信道接入 Internet。这里 TCP 和 IP 是 Internet 所采用的一簇协议中最核心的两个, 分别称为传输控制协议 (Transmission Control Protocol, TCP) 和网际协议或互联网协议 (Internet Protocol, IP)。它们虽然不是某个国际官方组织制定的标准, 但由于它随着万维网 (World Wide Web, WWW) 技术的发明而被广泛采用, 已成为事实上的“国际标准”。在后面还会对 Internet 作进一步的介绍。

1.1.5 网络的发展趋势

本小节的目的并不是企图来全面预测计算机网络的发展方向, 而只是意图使读者对计算机网络的某些新技术以及发展方向有个大致的了解。近年来, 随着信息高速公路计划的提出与实施, Internet 在地域、用户、功能和应用等多方面的不断拓展, 以及网络技术越来越广泛的应用, 计算机的发展已进入了网络计算的新时代, 计算机网络本身的发展也进入了一个新的阶段。

1993 年, 美国政府发布了名为“国家信息基础设施 (National Information Infrastructure, NII) 行动计划”的文件。NII 的俗称就是信息高速公路 (Information Super Highway)。这个文件的核心内容就是建设一个覆盖全美的高速宽带通信与计算机网络, 其功能类似于传输物流的高速公路, 不同在于其传输的是信息流, 故俗称为信息高速公路。就如同高速公路是工业社会中的基础

设施一样,高速宽带通信与计算机网络则是信息社会中的基础设施。该文件在全世界引起了很大的反响,许多国家和地区纷纷仿效,提出了各自的计划。随后又有人提出建立全球信息基础设施(Global Information Infrastructure,GII)。这一切在全球范围内极大地推动了计算机网络及其应用的发展,使得计算机网络也随着计算机的发展进入了一个网络计算(Network Computing)的新阶段。“网络计算”这个名称是由 IBM 总裁 1994 年在著名的 COMDEX 大会讲话中提出来的。所谓“网络计算”,可以理解为以网络为中心的计算(Network Centric Computing)或者以网络为基础的计算(Network-based Computing)。换句话说,在这个新阶段中任何的信息处理,即计算,几乎都离不开网络。事实上,现在几乎所有的计算机都必须以某种形式连网,以共享信息或协同工作,否则就无法充分发挥其效能。在这个新阶段中,计算机网络的发展有若干引人注目的方向,如迅速向高速宽带发展、网络的应用多媒体化和深入到人们社会生活的各个方面等。

首先,是计算机网络迅速向高速宽带化发展。早期的以太网的数据速率只有 10 Mbps(bits per second),即每秒传送一千万的比特(bit, binary digit,即二进制位或简称为位),目前已被传输速率更高的 100 Mbps 或 1 Gbps(即 1 000 Mbps)的以太网所替代,而速率高达 10 Gbps 的产品(俗称万兆网)也已是不少主干网络的首选。从远距离的网络来看,早期按照 CCITT X.25 建议组建的公用分组交换数据网的数据速率只有 64 kbps,后来采用了帧中继(Frame Relay)技术已可提高到 2 Mbps,接着出现的异步传送模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)又可达到 155 Mbps、622 Mbps 甚至 2.5 Gbps 的数据速率,目前在主干传输线路上已普遍采用光纤和波分多路复用(Wave Division Multiplexing, WDM)技术,目前已有高达 6.4 Tbps(T 代表 Tera,即 10^{12} ,故 1 Tbps = 1 000 Gbps)的密集波分多路复用(Dense WDM, DWDM)产品,即在一根光纤上传输 640 路光波,每路光波为 10 Gbps。高速的网络必然需要新的高速交换和路由技术支持。从端用户(如家用计算机)的网络接入速率看,也从早期的 2 400 bps 低速调制解调器,经历了 56 kbps 的高速调制解调器、可提供 128 kbps 上网的窄带综合业务数字网(Narrow-Integrated Services Digital Network, N-ISDN,即目前中国电信或网通提供的俗称“一线通”的服务,前述 ATM 则是宽带综合业务数字网 B-ISDN, Broadband-ISDN 的标准),直至目前端用户可得到数百 kbps 上网速率的非对称数字用户线(Asymmetrical Digital Subscriber Line, ADSL,俗称“高速通”)和有有线电视经双向改造后的有线通(此为俗称,正式名称是 HFC,即混合光纤/同轴电缆)接入。未来超高速数字用户线(Very high speed Digital Subscriber Line, VDSL)和光纤到户(Fiber To The Home, FTTH)则可达到更高的接入速率。

其次,早期计算机网络中传输的主要是数字、文字和程序等数据,但随着应用的扩展,提出了越来越多的图形、图像、声音和影像等多媒体(Multimedia)信息在网络中传输的需求。网络的多媒体应用不但要求网络有更高的数据速率,或者说带宽,而且对延迟时间(实时性)及时间抖动(等时性)等方面都提出了更高的要求。传统的 Internet 是一个只能提供尽力(Best-effort)服务的网络,换句话说它不能保证服务质量(Quality of Service, QoS),这促进了集成服务(Integrated Service, IntServ)、区分服务(Differentiated Service, DiffServ)和多协议标签交换(Multi-Protocol Label Switching, MPLS)等网络技术的研究和发展。还有,许多多媒体应用,如视频会议(Video