



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络

(第三版)

刘衍珩 梅芳 魏达 编著
苏伟 康辉



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计 算 机 网 络

(第三版)

刘衍珩 梅 芳 魏 达 编著
苏 伟 康 辉

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书比较系统地叙述了计算机网络的基本概念、基本原理,层次结构和发展前沿的一些实用与最新技术。全书按照 TCP/IP 协议功能层次的顺序,详细介绍了:计算机网络的概念、组成、体系结构和前沿发展技术;数据通信基础理论、物理层的传输介质和协议标准;数据链路层的功能模型、流量控制和差错控制技术、点对点 PPP 协议;局域网的参考模型、主流组网技术如 CSMA-CD、千兆以太网、无线局域网技术;网络层的 IP 协议和 ICMP 协议、RIP 和 OSPF 等路由选择算法、虚拟专用网 VPN 和多协议标记交换协议 MPLS;传输层的功能模型、TCP 和 UDP 协议;应用层协议及主要应用;网络互联技术;并对网络操作系统、网络安全与网络管理以及因特网的多媒体技术等作了较全面的介绍。各章后面均附有习题。书后还带有两个附录:“英汉计算机网络缩写词对照表”和“参考文献”。

本书的特点是结构严谨、叙述清晰、内容新颖、涵盖面广,可作为计算机科学与技术专业本科生及其他专业本科生的教材,亦可作为计算机网络工程和网络爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络 / 刘衍珩等编著. —3 版. —北京: 科学出版社, 2015.8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-045478-2

I. ①计… II. ①刘… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 190826 号

责任编辑: 于海云 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 8 月第 三 版 印张: 23 1/2

2015 年 8 月第一次印刷 字数: 557 000

定价: 52.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

在知识经济与信息社会的 21 世纪, 计算机网络的发展与应用将更加迅速与广泛。作为高校中计算机科学与技术一级学科的必修专业课, 计算机网络受到了高度重视, 其相应教材也不少。但如何使教材简洁、通俗、先进、实用, 较好保持介绍知识的连贯性、系统性与先进性, 并能得到学生的认可与好评, 一直是编著者们努力的方向。这就要求力争做到: 选材恰当, 安排自然; 说理严谨, 深入浅出; 引人入胜, 令人回味。

本书是编者结合多年的教学经验, 在所参编的《计算机网络》(吉林科技出版社, 1996 年第一版、1999 年第二版; 科学出版社, 2003 年第一版、2007 年第二版) 的基础上, 参阅了一些目前国内外比较优秀的同类教材, 根据本学科的发展趋势和最新的技术成果, 对原教材进行了大量的删减、修改和补充, 并在结构上进行了重新的编排。

本书既注重使读者掌握基础理论与基本概念, 如: 数据通信中基本理论与技术, 计算机网络的基本概念、5 层原理体系结构中各层具备的功能、提供的服务和实现的协议与简单算法, 等; 又强调了计算机网络中的核心知识与技术, 如: 局域网, 网络互联, 网络操作系统和网络安全与管理等; 同时, 也突出了 Internet 上的应用和最新的网络技术, 如: 无线局域网、高速局域网(如: 快速以太网、吉比以太网、光纤分布数据接口 FDDI)、ATM 和帧中继、广域网接入技术、防火墙技术、WWW、BBS、IPPHONE、IPv6、FR、VoD 等。网络技术发展迅速, 新的技术和标准不断被推出, 在编排的过程中力求做到在有限的篇幅中, 既保持教学的系统性与完整性, 又能向学生介绍计算机网络领域发展的前沿知识和技术, 同时还要注重培养学生的网络实际应用方面的能力。

本书由刘衍珩主编, 参加编写工作的还有吉林大学的梅芳、康辉、魏达和长春理工大学的苏伟共 5 位老师。其中, 刘衍珩和梅芳编写了第 1 至 6 章, 康辉编写了第 7 至 9 章, 魏达编写了第 10 章, 苏伟编写了第 11 至 12 章。全书由刘衍珩通审。

吉林大学的吴治衡教授、贾超副教授对本书的编写给予了很多的关心与帮助, 在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限, 书中难免有缺点、错误之处, 恳请读者批评指正。

编 者

2015.3.30 于长春

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 计算机网络的产生与演变	1
1.1.1 发展历程	1
1.1.2 未来趋势	3
1.2 计算机网络的定义与应用	4
1.2.1 计算机网络的定义	4
1.2.2 计算机网络的应用	5
1.3 计算机网络的组成与分类	7
1.3.1 计算机网络的组成	7
1.3.2 计算机网络的分类	9
1.4 计算机网络的体系结构与协议	11
1.4.1 分层次的体系结构	11
1.4.2 ISO 的 OSI/RM	15
1.4.3 OSI/RM 中的几个重要概念	18
1.4.4 TCP/IP 体系结构	23
习题	24
第 2 章 物理层	25
2.1 模拟传输与数字传输	25
2.1.1 基本概念、基本术语和数据通信系统	25
2.1.2 模拟传输系统	27
2.1.3 数字传输系统	29
2.2 信道的极限容量	32
2.2.1 数据传输速率	32
2.2.2 信道容量	33
2.3 同步与复用	35
2.3.1 数据通信方式	35
2.3.2 同步技术	36
2.3.3 多路复用技术	38
2.4 交换技术	42
2.4.1 电路交换	43
2.4.2 报文交换	44
2.4.3 分组交换	45

2.4.4 交换方式的选择与比较	46
2.5 物理层下的传输介质	48
2.5.1 有线传输介质	48
2.5.2 无线传输介质	53
2.6 物理层的功能、模型与特性	56
2.6.1 物理层的功能	56
2.6.2 物理层的模型	57
2.6.3 物理层的特性	57
2.7 物理层标准举例	59
2.7.1 EIA RS-232-E	59
2.7.2 xDSL 技术	63
2.7.3 光纤接入技术	66
习题	68
第 3 章 数据链路层	70
3.1 数据链路层的功能、模型与服务	70
3.1.1 数据链路层的功能模型	70
3.1.2 数据链路层的服务	72
3.2 流量控制	73
3.2.1 停-等协议	73
3.2.2 滑动窗口的概念	76
3.2.3 一位滑动窗口协议	78
3.2.4 全部重发流水线协议	79
3.2.5 选择重发流水线协议	80
3.2.6 最大窗口尺寸的确定	80
3.2.7 全部重发流水协议的最佳帧长	81
3.3 差错控制	81
3.3.1 差错的特性及差错控制方式	81
3.3.2 常用的简单差错控制编码	83
3.3.3 循环冗余码 CRC	85
3.4 点到点的 PPP 协议	87
3.4.1 PPP 协议的概述	87
3.4.2 PPP 协议的帧格式	88
3.4.3 PPP 协议的组成	88
3.4.4 PPP 协议的工作状态	89
习题三	90

第 4 章 局域网 91	第 5 章 网络层 136
4.1 局域网概述..... 91	5.1 网络层的功能与服务..... 136
4.1.1 局域网的定义及特征..... 91	5.1.1 网络层功能及模型..... 136
4.1.2 局域网拓扑结构..... 91	5.1.2 网络层提供的两种服务..... 137
4.1.3 介质访问控制方法..... 93	5.2 网际协议 IP..... 142
4.2 局域网参考模型及 IEEE802 标准..... 93	5.2.1 IP 协议概述..... 142
4.2.1 局域网的参考模型..... 93	5.2.2 IP 地址的分类..... 142
4.2.2 IEEE802 标准..... 94	5.2.3 IP 地址与 MAC 地址..... 144
4.2.3 逻辑链路控制子层..... 95	5.2.4 地址解析协议 ARP 与逆向地址解析协议 RARP..... 145
4.2.4 介质访问控制 MAC 子层..... 97	5.2.5 IP 分组的格式..... 146
4.3 IEEE802.3—CSMA-CD..... 98	5.2.6 IP 分组的转发流程..... 148
4.3.1 ALOHA 介质访问方法..... 98	5.2.7 子网的划分..... 149
4.3.2 CSMA 和 CSMA/CD 介质访问方法..... 99	5.3 网际控制报文协议 ICMP..... 151
4.4 环型网介质访问方法..... 101	5.3.1 ICMP 报文的种类..... 151
4.4.1 令牌环..... 101	5.3.2 ICMP 的应用实例..... 152
4.4.2 IBM 令牌环网(token ring)..... 102	5.3.3 ICMPv6..... 154
4.4.3 分槽环介质访问方法..... 106	5.4 路由选择协议..... 155
4.5 令牌总线介质访问方法..... 110	5.4.1 相关概念..... 155
4.5.1 结构和特点..... 110	5.4.2 最短通路路由选择..... 157
4.5.2 协议功能..... 111	5.4.3 路由信息协议 RIP..... 158
4.6 LAN 的性能评价..... 112	5.4.4 开放最短路径优先 OSPF..... 162
4.6.1 传输延迟和数据传输率对性能的影响..... 112	5.4.5 边界网关协议 BGP..... 168
4.6.2 吞吐量特性..... 115	5.5 Internet 组播..... 171
4.6.3 令牌环、令牌总线和 CSMA/CD 总线三种协议性能分析比较..... 117	5.5.1 IP 组播..... 172
4.7 千兆以太网..... 119	5.5.2 Internet 群组管理协议 IGMP..... 173
4.7.1 100BASE-T 技术..... 119	5.5.3 组播选路..... 175
4.7.2 100BASE-VG 技术..... 120	5.5.4 在局域网上实现硬件组播..... 176
4.7.3 吉比以太网..... 122	5.6 虚拟专用网 VPN 与网络地址转换 NAT..... 176
4.7.4 光纤分布数据接口 FDDI..... 123	5.6.1 虚拟专用网 VPN..... 176
4.8 无线局域网..... 125	5.6.2 网络地址转换 NAT..... 178
4.8.1 无线局域网的组成..... 126	5.7 下一代的网际协议 IPv6..... 178
4.8.2 802.11 标准中的物理层..... 126	5.7.1 IPv6 解决的问题..... 179
4.8.3 802.11 标准中的 MAC 子层..... 127	5.7.2 IPv6 的基本首部与扩展首部..... 180
4.8.4 无线个人区域网 WPAN 与无线城域网 WMAN..... 129	5.7.3 IPv6 的地址空间..... 183
习题四..... 135	5.7.4 IPv4 到 IPv6 的过渡..... 184
	5.8 多协议标记交换协议 MPLS..... 185
	5.8.1 MPLS 概述..... 185
	5.8.2 MPLS 的工作原理..... 186

5.8.3 MPLS 的标记和标记栈	187	7.4.3 电子邮件信息格式	229
5.8.4 转发等价类 FEC	187	7.4.4 邮件读取协议 POP 和 IMAP	230
习题五	188	7.4.5 多用途互联网邮件扩充 协议 MIME	232
第 6 章 传输层	190	7.5 文件传输与访问	232
6.1 传输层的功能模型	190	7.5.1 联机共享式访问	233
6.1.1 进程间的通信	190	7.5.2 文件传输协议 FTP	234
6.1.2 传输层的端口与服务原语	190	7.5.3 FTP 应用举例	237
6.1.3 传输层协议的功能	191	7.5.4 TFTP	237
6.2 传输层协议	195	7.5.5 NFS	239
6.2.1 网络层的服务质量	196	7.5.6 远程过程调用	239
6.2.2 传输层的协议类型	196	7.6 远程登录	240
6.3 传输控制协议 TCP	197	7.6.1 TELNET 协议	240
6.3.1 TCP 的功能特点	197	7.6.2 适应异构性	242
6.3.2 TCP 的数据片格式	198	7.6.3 控制传输远程命令	243
6.3.3 TCP 可靠的数据传输	199	7.6.4 TELNET 选项	244
6.3.4 TCP 的流量控制	200	7.6.5 远程登录服务 rlogin (BSD UNIX)	245
6.3.5 TCP 的拥塞控制	204	7.7 动态主机配置协议 DHCP	246
6.3.6 拥塞控制方法	205	习题七	248
6.3.7 TCP 的连接管理	206	第 8 章 网络互联	250
6.4 用户数据报协议 UDP	207	8.1 网络互联	250
6.4.1 UDP 概述	207	8.1.1 种类与层次结构	251
6.4.2 UDP 的首部格式	208	8.1.2 连锁虚电路	254
习题六	208	8.1.3 无连接的网络互联	254
第 7 章 应用层	209	8.1.4 隧道	256
7.1 概述	209	8.1.5 互联网路由选择	256
7.1.1 客户—服务器交互	209	8.1.6 分段	257
7.1.2 系统调用和套接字接口	211	8.1.7 帧中继 FR	259
7.2 万维网 WWW	214	8.2 网络互联设备	261
7.2.1 WWW 的概述	214	8.2.1 中继器	261
7.2.2 统一资源定位符 URL	215	8.2.2 网桥	262
7.2.3 超文本传输协议 HTTP	216	8.2.3 路由器	268
7.2.4 WWW 的交互	216	8.2.4 网关	274
7.3 域名系统	220	8.2.5 网络互联设备的选择	274
7.3.1 计算机域名的结构	221	习题八	275
7.3.2 资源记录	222	第 9 章 网络操作系统	276
7.3.3 名字服务器	223	9.1 概述	276
7.4 电子邮件	224	9.1.1 网络操作系统的类型	276
7.4.1 体系结构和服务	225		
7.4.2 简单邮件传送协议 SMTP	226		

9.1.2 网络操作系统的基本功能	278	10.8.2 网络管理体系结构	320
9.2 Windows NT 操作系统	279	10.9 网络管理协议	322
9.2.1 Windows NT 的主要功能和特性	279	10.9.1 网络管理协议的产生与发展	323
9.2.2 Windows NT 的组成	281	10.9.2 几种标准网管协议	323
9.2.3 Windows NT 网络环境	283	10.9.3 管理信息库 MIB	326
9.2.4 管理 Windows NT 的域	285	10.10 简单网络管理协议 SNMP	328
9.2.5 Windows 2000 Server	287	10.10.1 SNMP 基本概念	328
9.3 UNIX/Linux 简介	288	10.10.2 SNMPv2	331
9.3.1 Linux 的特点和组成	289	习题十	333
9.3.2 Linux 的网络功能配置	290	第 11 章 ATM 技术	334
习题九	293	11.1 综合业务数字网 ISDN	334
第 10 章 网络安全与网络管理	294	11.1.1 ISDN 的发展历程	334
10.1 网络安全概述	294	11.1.2 ISDN 的工作原理	334
10.1.1 网络安全威胁因素	295	11.1.3 ISDN 的应用	339
10.1.2 网络安全目标	296	11.1.4 B-ISDN	339
10.1.3 网络安全服务	298	11.2 异步传输模式 ATM	340
10.1.4 网络安全机制	299	11.2.1 ATM 的基本概念	340
10.1.5 网络安全标准	300	11.2.2 ATM 的协议结构	341
10.2 数据加密技术	301	11.2.3 ATM 信元	345
10.2.1 单钥密码体制	301	11.2.4 ATM 交换技术	347
10.2.2 公钥密码体制	303	11.2.5 ATM 的业务流管理和服务质量	348
10.3 电子邮件的安全性	304	11.2.6 ATM 网络的路由选择	352
10.4 Web 的安全性	305	11.2.7 ATM 的应用	352
10.4.1 Web 的安全性威胁	305	习题十一	354
10.4.2 Web 的安全性技术	306	第 12 章 多媒体信息在因特网上的传输	355
10.4.3 SSL 介绍	307	12.1 因特网的多媒体体系结构	355
10.5 防火墙技术	309	12.2 音频信息在因特网上的传输—VoIP 及 IP 电话	356
10.5.1 防火墙基本概念	309	12.2.1 VoIP 标准及 IP 电话的网络配置	356
10.5.2 防火墙基本技术	311	12.2.2 IP 电话的关键技术	358
10.5.3 防火墙系统结构	313	12.2.3 VoIP 的服务质量	360
10.6 网络管理概述	316	12.3 视频点播 (VOD)	361
10.7 网络管理的功能	317	习题十二	364
10.7.1 故障管理	317	附录 英汉计算机网络缩写词对照表	365
10.7.2 计费管理	318	参考文献	368
10.7.3 配置管理	318		
10.7.4 性能管理	318		
10.7.5 安全管理	318		
10.8 网络管理体系结构	319		
10.8.1 网络管理模型	319		

第 1 章 概 论

计算机网络(Computer-Networks)涉及计算机和通信两个领域,是这两种技术密切结合的产物,它已成为计算机应用中一个必不可少的方面。对整个社会的进步做出了重大贡献。尤其在当今这个信息化的时代里,由于今天的世界已成了一个高度流动性的世界,无疑,生活在这个世界上的人们对信息的收集、存储、处理和交换以及共享的需求急剧上涨,同时要求足够的快速和及时,计算机网络从中扮演了很重要的角色,为满足这种需求提供了保证。

近一二十年,以电子技术为基础的通信技术有了迅猛发展,计算机和通信设备不断更新,计算机网络的功能不断增强,并且正在朝着数字化、综合化、智能化的方向发展。20 世纪 90 年代是计算机网络化的时代已是事实,网络化的计算环境也愈来愈被人们所接受并且将是 21 世纪发展的必然趋势。所以,了解和深入研究计算机网络技术已不再只是计算机界学者、专家的事,而是整个社会关注的热点之一。目前,一个国家的全国性计算机网络的建设水平,已成为衡量这个国家科学技术发展水平、综合国力以及社会信息化程度的重要标志。为了深入认识计算机网络,下面将从计算机网络的“产生与演变”、“定义与应用”、“组成与分类”以及“计算机网络的体系结构”等方面进行介绍。

1.1 计算机网络的产生与演变

1.1.1 发展历程

计算机网络出现的历史不长,但发展很快,经历了一个从简单到复杂、由低级到高级的演变过程。这个过程可分为 3 个阶段:面向终端的计算机网络、计算机通信网络和计算机网络。

1. 面向终端的计算机网络

在 1946 年世界上第一台电子计算机(electronic numerical integrator and calculator, ENIAC)从美国诞生后的一段时间内,计算机和通信之间并没有什么关系。早期的计算机数量很少、价格昂贵,是一种较稀有的珍贵资源,因而计算机系统是高度集中的,所有的设备安装在独立的计算中心里,使用计算机的用户要不远千里到这个计算中心去上机,这显然是不方便的。除了浪费时间、精力和大量资金外,还无法实现对信息的及时加工处理和使用。为了解决这个问题,一种带收发器(transceiver)的终端于 1954 年被研制出来了,人们使用这种终端首次实现了将穿孔卡片上的数据通过通信线路发送到远方的计算机,而计算机算出的结果又可以反向送回远程终端 T (terminal),这就是计算机与通信结合的开始。

由于当初的计算机是为成批处理信息而设计的,所以当计算机和远程终端相连时,必须使计算机具备通信功能。这种“一边通过终端完成信息的输入,一边由主机完成信息的处理,最后将处理结果通过通信线再送回到远地站点的系统”被称为面向终端的计算机网络,或第一代计算机网络。系统的初级形式即具有通信的单机系统如图 1-1 所示。

这种系统中除了一台中心计算机，其余终端都不具备自主处理的功能，并且有两个明显的缺点。首先是主机负担过重，它既要承担本身的数据处理任务又要承担通信任务，在通信量很大时，主机几乎没有时间处理数据；其次是线路利用率低，特别是在终端远离中心计算机时尤为明显。

解决的方法是：一方面将数据处理与通信分开，在中心计算机前设置一个前端处理机 FEP (front end processor) 来完成通信工作，而让中心计算机集中更多时间专门进行数据处理，这样可显著地提高效率。另一方面，在终端比较集中的区域设置线路集中器 (concentrator) 或称集中分配器，来完成用户作业信息的存储、装配和终端地址的分配等。它首先通过低速线路将附近的各终端连接起来，再通过高速通信线路与远程中心计算机相连，从而提高了远程线路的利用率，降低了通信费用。典型的结构如图 1-2 所示。

第一代计算机网络的一个代表是 SABREI，这是 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 多个终端组成的预订飞机票系统。

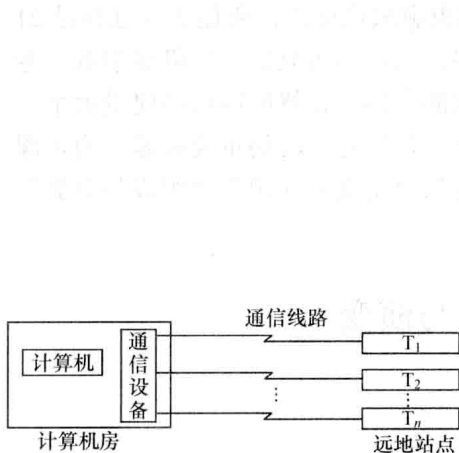


图 1-1 具有通信功能的单机系统

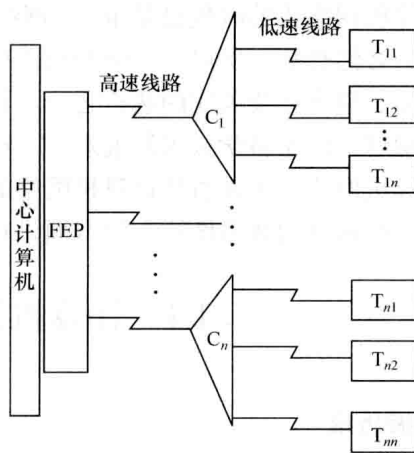


图 1-2 由前端处理机、集中器构成的远程通信联机系统

2. 计算机通信网

上述的联机系统之所以被称为“面向终端的计算机网络”，是因为它实现的是终端-计算机间的通信，而且已具备了计算机网络的雏形。到了 20 世纪 60 年代中期，随着计算机应用的发展和硬件价格的降低，单独部门单位内有分散在不同地区的多个主机系统已属常事，并且由于业务上的联系主机之间需要交换信息。如在工商界、国际航空售票业务、现代化工厂中多条生产流水线的过程控制等，这些分散开的计算机各自完成特定的任务是整体工作中的一部分。它们之间必然要有机地协调、互相通信，并且这种系统中的通信是在“计算机-计算机”之间进行的，这里的每个计算机都是具有自主处理能力的，它们之间不存在“主-从” (Master-Slave) 关系。将这种由多个主机系统连接起来且以传输信息为主要目的的计算机群，称为计算机通信网。它是计算机网络的低级形式，也称为第二代计算机网络。其典型代表为 ARPAnet。

3. 计算机网络

计算机通信网发展到 20 世纪 70 年代后期，人们在广泛使用它的过程中逐渐由原来以传

输信息为主变为共享网上各计算机系统资源为主,网上用户把整个网络视为一个大的计算机系统,而不必熟悉每个子系统,即不必熟悉所要资源具体地理位置,并且为便于对所传输信息内容的理解,要对信息的表达形式、传输方法和应答信号等必须在全网内制定一套共同遵守的规则即协议(Protocol)。将这种在协议的控制下,以实现资源(硬件、软件和数据等)共享为主要目的,借助于通信系统连接的多个计算机的集合,称为计算机网络,或称为第三代计算机网络。

除了如上所述的区别外,第二、第三代计算机网络还在如下两个方面有明显不同。

(1)资源管理:第二代计算机网络中对资源的管理由网络操作系统完成。

(2)体系结构:目前世界已有许多个第二代计算机网络在运行着,但体系结构(网络功能分层、层间接口及各层中应用协议的集合,详见本章第4节)却是相异的。如依据IBM公司的SNA(System Network Architecture)和DEC公司的DNA(Digital Network Architecture)所组建的网络,体系结构就相差很大。这给实现异构网互联带来了困难,从而阻碍计算机网络的普及与发展。在第三代计算机网络中这一问题得到了较好的解决,即统一应用ISO(International Standards Organization)的OSI(Open System Interconnection Reference Model),详见本章第1.4节。

1.1.2 未来趋势

随着第三代计算机网络的诞生和网络访问、网络服务、网络管理和安全等技术以及标准化工作的逐步完善,计算机网络的应用几乎遍及人类活动的一切领域。各种管理信息自动化系统、办公自动化系统、智能决策系统、情报资料检索系统、生活信息服务系统、电子邮政系统、事务处理系统、交通管理系统、军事指挥系统、专家指挥系统、大型科学计算中心等都是在客观分布情况下,以计算机网络为基础构成的信息网络上完成的。它们涉及政治、经济、军事、文化、科学及日常生活的各个方面,并继续向着“无处不在、无所不能”的方向迅速发展。光缆网络上的数据传输速率已达到Gb/s(千兆/秒)级,计算机局域网(local area network, LAN)已随处可见,成了人们须臾不离的通信工具。

近十年来,人们对计算机网络尤其是Internet/Intranet向人类社会提供的机会与挑战作了全面深入的分析和研究,获益匪浅。在一个有亿万台计算机运行的世界里,一个邮件(信息)一般只需5秒钟而不是过去的5天就能到达目的地。公司产品的设计者与推销员即使远隔重洋也可紧密配合工作。计算机网络已将“语言、图片、视频、音乐、书信、统计数据”等各种形式的多媒体信息带进了人类活动的所有领域。可以概括地说,目前计算机网络的发展出现了三种任意性,即:在任意数目的计算机上运行任意数目的程序且可能要在任意时刻相互通信。并且正受着三股潮流的协力冲击:

- 纷纷地从集中式大型机结构撤离,走向分布式客户/服务器(client/server)的新天地;
- 微处理器计算能力和存储容量强劲地增长;
- 对多媒体持续增长的兴趣,特别是各种形式的视频应用。

同时,由于未来的通信业务会朝着“高速、宽带、智能、可靠”的方向发展,计算机本身会进一步朝着“功能强、体积小、价格低、易操作”的方向前进,这必然导致计算机网络将进一步朝着“开放、综合、智能”的方向迅速发展。所谓“开放”,一是相对其直接应用环境的开放和对不同应用的适应,二是相对其互联环境的开放,便于与其他网络和计算机的互联。包括:①网络体系结构的标准化;②发展各种网络互联技术如中继技术、自动转换协议

的网桥和网关技术、自动协议选择技术等；③创造开放的统一网络应用环境。所谓“综合”，体现了系统中各要素间的更紧密结合，包括：①各种先进信息技术如机器人控制技术、雷达红外检测技术、光盘存储技术、人工智能技术、光纤通信技术等的进一步综合；②各种计算机如巨、大、中、小、工作站、PC 和便携机、专用和通用机、同种和异种机等综合；③服务功能如资源共享、通信服务、分布与并行处理等的综合；④通信系统的综合，如各种介质、通信方法、子网与主网的有机结合；⑤各种信息媒体的综合，如各种数据、语音、图像等不同信息媒体在计算机网络系统中的综合采集、存储、处理、传输和综合输出应用以及综合业务数字网(integrated services digital network, ISDN)与 OSI 的进一步结合等；⑥网络系统结构的一体化，包括各种资源的合理配置与分工、C/S 和 B/S 模式的发展、各种分布式应用与分布式网络操作系统的进一步完善等。所谓“智能”，是 AI(artificial intelligence)技术与网络技术的结合，包括：①网络服务中心引入智能技术直接提高各种网络应用功能，如“智能通信网络”等；②网络通信操作中应用智能技术以提高网络系统的自适应性和可靠性，如智能路由选择、智能网络管理、故障的自动诊断与恢复等；③网络系统结构中如何把传统的与智能的计算机神经网络以及各种智能人机接口、知识库等在网络系统中有机的结合、合理的配置，以及网络上的计算机从系统整体上逐步增加更多的智能而变得更“聪明”些。

网络资源的膨胀，使得传统的共享 LAN 难以招架沉重的 C/S 交通。通常采用的“网段微化”措施也不能解决根本问题，以往网络设计中的 20/80(远程交通/本地交通)法则已被否定。因此，必须探索和发展新型的网络技术。在过去的几年里，光纤分布数据接口(fiber distributed data interface, FDDI)、信元交换(cell switching)、异步传输模式(asynchronous transfer mode, ATM)、千兆以太网交换和 xDSL 等技术备受重视，进而研究以光纤作为传输介质、采用交换的新技术范例来组建 Gigabit 网。同时，各种功能强、高速和智能的交换集线器(intelligent switching hub, ISH)相继问世，并且它们在基础结构上足以融进更高性能的技术，这些智能 Hub 在未来网络建设中正起到和将会起到非常重要的作用。

毫无疑问，在未来时代里“网络中心”将更加普遍，局域网会让位于分布式工作组，服务器操作和网络操作将变得更加可靠，交换式互联网(switched internet)必将占据未来的网络市场。在这种网络化环境里，社会将变得更加生机勃勃，人民生活将变得更加轻松自如、丰富多彩，计算机网络的未来无限美好。

1.2 计算机网络的定义与应用

1.2.1 计算机网络的定义

自1970年以来，对于计算机网络已有了几种不同的定义，这是由于受不同发展时期的限制和侧重点不同所致，但定义中的核心内容是一致的。现将这一定义给出：

用通信线路将分散在不同地点的具有独立自主的计算机系统相互联接，并按网络协议进行数据通信和实现资源共享的计算机集合，称为计算机网络。

“通信线路”可为双绞线、同轴电缆(粗、细)、光纤、微波、通信卫星、红外线、激光等。“不同地点”给出了各计算机所在地理位置的差异，将它们连接起来就形成了“网”，并且依据所覆盖的范围不同出现了局域性的(如一楼内、校园内等)、广域性的(如国家性、国际

性)计算机网络。“独立自主”是说网上的计算机之间无明显的主从关系,即网上任何一台计算机不能强制性启动、停止和控制网上另一台计算机,因此,面向终端的网络不是一个计算机网络。“相互联接”为的是能够实现网上计算机之间交换信息,并且依连接方式的不同而产生了结构上不同类型的计算机网络。“网络协议”可以简单地说是“通信过程中全网共同遵守的规范准则”。“数据”可以包括文本、图形、声音、图像等。“资源”指的是在有限时间内为用户提供服务的设备,包括软设备(如各种语言处理程序、服务程序和应用程序等)和硬设备(如大型计算机 CPU 的处理能力、超大容量存储器、高速打印机等)以及数据(数据文件、公共数据库等)。“共享”指的是这些“资源”能被网上所有用户使用,而且用户不必考虑自己在网中位置和资源在网中的位置,这就意味着本地用户要与近程或远程计算机进行文件传送等,即使用本地和远程资源。

1.2.2 计算机网络的应用

1. 网络建设的目的

(1)提供资源共享。网上任一用户使用远程的设备、程序和数据就像使用本地的一样。

(2)提供信息的快捷交流。这在当今的信息化时代尤为重要,通过计算机网络可使生活在不同地方的人们共同完成报告或文件的起草、编辑和修改,进行“面对面”地开会、办公,商谈各种事情,做出某种重大决定等。

(3)提供分布处理功能。在网络操作系统的合理调度和管理下,可将一个复杂、庞大的任务分散在不同计算机上来协同工作、并行处理。

(4)实现集中控制和管理。将在地理位置分散的多台计算机“团结”起来,以便集中地进行各类信息的处理。

(5)提高系统可靠性。对比较重要的软件、数据可同时存储在网上的不同计算机中,万一某台计算机出了故障,或是局部地区的天灾和战争等意外的破坏,造成该资源的不可恢复,则仍可在网上的其他计算机中找到副本,或由其他计算机代替工作。显然此种情况往往性能会降低一些,但整个系统没有瘫痪,这对在某些场合下诸如军事、银行和实时控制等是非常必要的。

(6)提高系统的性能价格比。通常大型计算机的性能可能是微型计算机的十倍,但价格也可能要在千倍以上。这样,比如有一百个用户每人拥有一台微型计算机并连接成网,要比分时共享一台大型计算机的资源,即方便又节省费用。

2. 网络应用

随着 Internet 的迅猛发展,计算机网络已经在工业、农业、交通运输、邮电通信、文化教育、商业、国防和科学研究以及日常生活等各个领域得到了日益广泛的应用,一些实用技术与工具已经产生,如: E-mail 的传递、远程登录(Telnet)、文件传输(FTP)、网络新闻组(USENET)、WWW 浏览、电子公告栏(BBS)、虚拟现实、IP 电话、IRC 与 ICQ、电子商务、网络娱乐等。现只简单介绍其中的几个,其余详见第 7 章。

(1)BBS(Bulletin Board System)。它是 Internet 上发布和获取信息最常用的方式之一,为用户读取信息开辟了一块“公共”空间,其主要功能有:供用户自我选择若干感兴趣的专业

组和讨论组、定期检查是否有新的消息发布、用户可以“张贴”供他人阅读的文章(包括对别人文章或某条新闻的评论)。它的客户端常用软件有: telnet.exe、netterm、cterm 等, 这些软件的共同特点是: 都能执行远程登录的功能, 在窗口中输入文本并能在其上显示 BBS 画面; 都有地址簿的功能, 可以把常用的 IP 留在其中, 不用每次都输入 IP 或者域名; 都可以进行文本的拷贝和粘贴; 都可以对终端进行设置。

(2) 虚拟现实(virtual reality)。它是计算机模拟的三维环境, 是一项关于计算机、传感与测量、仿真、微电子等技术的综合集成技术, 可使多个用户参与同一虚拟世界, 在视觉和听觉的感受上与现实世界一样, 甚至更绚丽多彩, 适时性和可交互性是其主要特征。它主要应用于一些适于三维来表达信息的场合, 如: 建筑、艺术和历史、广告、工程、科学研究等。VRML(virtual reality modeling language)为虚拟环境的建立提供了规范, 综合了现有三维软件的形象描述语言的优点, 提供了对三维世界及其内部基本对象的描述(包括球体、平面、圆锥、圆柱、立方体等), 并把他们同二维的页面链接起来; 它有基本元素、顶点、线和面的定义, 坐标变换有缩放、旋转和平移, 并有优化的数据结构。

(3) IPPHONE。它是一种在 Internet 上实现 PC 到 PC、PC 到电话、电话到电话之间进行话音通信的技术, 由于采用了分组交换和统计复用技术来实现了话音、数据的综合传输, 占用资源少, 成本低, 价格便宜。其基本原理是: 由专门设备或软件将呼叫方的话音或传真信号采样并数字化、压缩、打包, 经过 IP 网络传输到对方, 再经对方的专门设备或软件接收到话音包后解压缩, 还原成模拟信号送给听筒或传真机。常用软件有: NetMeeting、IP phone、Cool Talk 等。

(4) IRC 和 ICQ。IRC(internet relay chat)和 ICQ(I seek you 的连音缩写)提供了全球范围内的适时“交谈”方式, 是双方通过计算机上敲入所要交流的内容的信息进行的。IRC 的工作原理是: 运行 IRC 客户程序, 连接到 IRC 网络的某一服务器上, 再由服务器将用户发送的信息转发给其他用户或服务器, 一旦连接到一个 IRC 网络的某一服务器后, 用户就可以加入一个或多个频道进行交谈, 每一个频道都有不同的讨论标题, 讨论的方式可以是公开的或私人的, 频道对 IRC 来说是动态的, 有使用者建立时频道才存在, 当最后一个使用者离开以后, 该频道也就随之消失。ICQ 除了可以使用户在网上进行即时交谈外, 还可以传送档案、发送语音留言和利用 ICQ 特有的搜索引擎上网搜寻、设定新闻标题、接收股票信息和体育新闻, 其工作原理是: 它在安装时需要到服务器中登录基本数据, 以便能够取得个人专用的 UIN(网络通用号码), 别人可以通过 UIN 对你进行定位, 用户可以决定是否将这个 UIN 对特定网友开放, 另外, 开放的同时, 也可以取得对方的 UIN, 并加入到自己的联络名单中, 以后只要网友一上网, ICQ 便会主动通知用户, 这就是有很多人都将它称为“网络 BP 机”的原因。

(5) 电子商务(electronic business)。它是通过数字通信进行商品的买卖和资金的转账以及提供其他的商业服务, 包括公司内和公司间可实现的商务活动以及利用 E-mail、FTP、电视会议、IP 电话、工作流、BBS、WWW 等与远程计算机进行交互的全部过程(如市场营销、金融和商务谈判等), 其主要功能就是通过电子商情查询、电子采购, 最终实现电子交易(如电子银行、电子取款等)。与传统商务相比, 电子商务使得信息处理和传递的速度明显加快, 传播范围(在 Internet 支持下)可到达世界的任何地方, 成本大大降低。它已给人们的学习、工作和生活带来了诸多好处, 如电子取款就可使人们在国内甚至是跨国的旅行中很少携带大量现金, 而只要带上相应的取款卡即可, 即方便又安全。

(6) 网络娱乐。它是指网上音乐、网上电影和网上游戏等。

或许有一天, 办公室、学校都不存在了, 商店也被电子邮件订货目录所代替, 并且由于高质量的通信设施已使物理位置上的集中变得不重要了, 因而城市会变小和分散。

1.3 计算机网络的组成与分类

1.3.1 计算机网络的组成

根据定义可以简单地把计算机网络说成是多个计算机经由通信线路互联而组成的网络系统。在这个系统中计算机或称主机(host)是网络资源中的主要部分, 是用户间实现相互通信、访问网络和共享网络资源的关键设备。为了将这些主机(包括终端)连接入网, 还常常需要一些辅助设备, 如集中器、调制解调器 Modem、多路复用器、通信控制器、分组组装/拆卸设备 PAD 和前端通信处理机等。由于通信距离一般较远, 因此在通信线路上可能要经过多个中间节点(专用计算机)IMP(interface message processor)。图 1-3 是由主机、终端和 IMP 组成的计算机网络示意图。

为了降低组网的复杂程度, 减少工作量和方便异种机的互联, 并且考虑到要充分利用通信线路资源, 提高网络的完整性和可靠性, 简化设计, 将“数据处理”与“通信处理”任务分开, 由此划分出“资源子网”和“通信子网”两部分。如图 1-3 中框外部分为“资源子网”, 框内部分为“通信子网”, 即计算机网络是由这两个子网组成的。这种功能上的明确分工, 使二者既有联系, 需要配合, 又具有各自的独立性, 有利于全网效率的发挥。

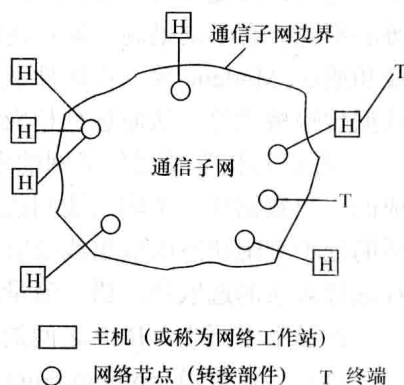


图 1-3 计算机网络组成示意图

1. 资源子网的构成、作用

一个计算机网络的资源子网是由入网的所有主机(可为巨型计算机、小型和微型计算机以及智能终端等)、外部设备(如普通终端)、软件(如本地系统软件、用户应用程序、通信软件和网络软件等)和数据(如公共数据库等)组成, 负责全网的面向用户的数据处理与数据管理(如数据的输入、输出和存储等), 以实现最大限度的全网资源共享。为了实现这一目标, 除了对主机在 CPU、存储能力、连接入网设备等有一定要求外, 对所配软件的种类和功能也是如此。如要有专门的软件来解决异种主机系统之间的机器代码转换、数据结构表示、操作命令与规程等方面的不同以及资源的分配、并发使用和同步等问题。而通信软件则是一个支持主机与各类终端或其他子系统进行通信的程序集, 它一方面解决用户的应用程序与远程设备的有效连接, 使相应程序能够执行与数据传输有关的全部控制功能, 进而使远程终端能读出和写入数据; 另一方面自动地把由应用者写出的高级语句或命令交换成复杂的低级语言机器指令序列, 这给应用者描述通信功能时省去了麻烦。再有网络软件是在网络操作中附加网络控制程序, 由它执行网络所需要的动作, 又分“专用”和“通用”两种, 但越来越具有“开放”式功能。

资源子网中的终端设备, 作为人-机对话的工具, 其作用也是很重要的。一般由 I/O 部分和控制部分组成。其中 I/O 部分包括外部存储设备、键盘、CRT 显示器和线路控制接口等; 而控制部分要解决“通信线路上收发代码的串/并转换、起止和应答确认以及差错的检测/校正、数据缓冲与变换、局部处理”等。

2. 通信子网的构成、作用和设计

计算机网络中的通信子网(简称子网)是由传输线和转接部件组成。其中, 传输线(也叫电路或信道等)承担着传送二进制位流(即比特流)的任务, 而转接部件即接口信息处理机 IMP 或称转接节点(switching node)是用来连接两条或多条传输线的, 对传输线上的比特流进行转接。通信子网在计算机网络中主要有两个作用: 提供“用户入网的接口”和实现“数据传送”(包括转接)。

“用户入网接口”自然涉及到硬件接口和软件接口。在硬件上采取什么样的接口电路和如何进行机械连接等。这里对是“模拟信道还是数字信道”、是“采取异步传输还是同步传输”等的不同会有不同措施, 如可选用国际标准的 RS-232C、RS-422A 或 X.21, 采用直接连接和通过 Modem 等。在软件上要规定出主机软件与节点机软件在传送信息时的交互方式和数据传输格式等, 从而进行相应选择如普遍采用国际标准 CCITT 的 X.25 等。

“数据转接”是通信子网的重要功能, 是由具有路由功能的转接节点 IMP(简称节点)完成的。当数据从一条输入线到达某个 IMP 后, 该 IMP 必须将数据暂存起来然后选取一条合适的处于空闲状态的输出线及时向前发送。这里要涉及到 IMP 上缓冲区的设置、整个子网路径选择算法的选取和差错、流量的控制以及死锁的解决等问题, 详见第五章。

在通信子网中, IMP 之间的连接方式很多, 但不外乎两大类:

- (1) 点-点信道(point to point channels)
- (2) 共享广播信道(shared broadcast channels)

在点-点信道中, 每一条传输线连接着一对 IMP, 几种可能的拓扑结构(节点间的连接方法和型式)如图 1-4 所示。

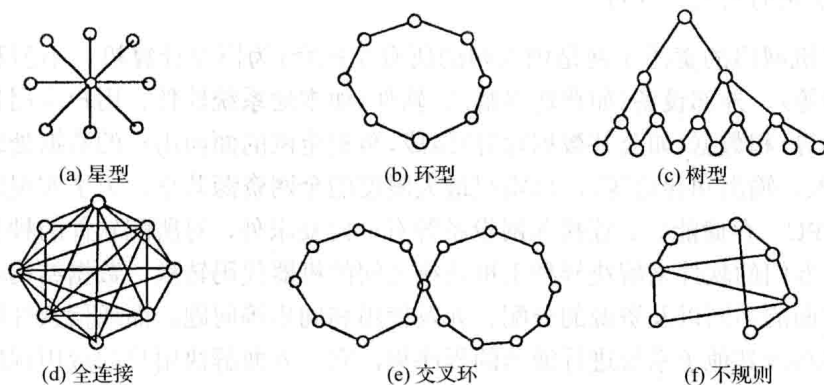


图 1-4 点到点子网的某些拓扑结构

由此可见, 如果两台 IMP 不在同一段传输线上而要通信, 只能通过其他 IMP 间接地实现, 即报文包(子网中又称分组)是从一台 IMP 经过一台或多台中间 IMP 的“存储-转发”向前发送直至到达最终目的地, 这类子网属第一类通信子网。例如在图 1-5 中, 主机 H_1 要与主

机 H_2 通信(假设 H_1 发送信息给 H_2)，则 H_1 上的通信用户首先将信息送至 IMP_1 ，然后沿图中粗黑线指出的路径，中间经 IMP_3 和 IMP_4 的转接，最后传送到目标 IMP_2 ，再送入主机 H_2 。具体过程为： IMP_1 将主机 H_1 送来的信息接收并存储起来，在 IMP_1 和 IMP_3 之间的通信线路空闲时，将它转发到 IMP_3 ， IMP_3 也是先将信息接收并存储起来，直至 IMP_3 与 IMP_4 的通信线路空闲时，再将它转发到 IMP_4 ……这种存储——转发方式非常类似于邮政信件过程，好处是由于通信线路不为某对通信所独占，因而使通信线路的利用率大大提高。比如说在这个例子中，当主机 H_1 送往 H_2 的信息仍在 IMP_1 和 IMP_3 间的通信线路上传输时， IMP_3 和 IMP_4 间的通信线路就可由 H_3 经 IMP_3 、 IMP_4 和 IMP_5 送往 H_5 的另外信息传输所使用。而一旦从主机 H_1 送往 H_2 的信息已为 IMP_3 接收并存储后， IMP_1 与 IMP_3 之间的通信线路又为其他(比如 H_1 与 H_3 之间)的信息传输服务。

在共享广播信道中，所有节点共享传输介质，任何一个节点发送到网上的信息，可为网中所有其他节点接收。因此，每一个节点可以接收来自网中任何一个节点发送的信息。信息从源端节点向终端节点传输过程中，不需要中间节点进行转接，即这种结构中的节点的基本作用为工作站与子网的接口。图 1-6 给出了这种结构的常见形式，由此构成的子网属于第二类通信子网，即广播式通信网。

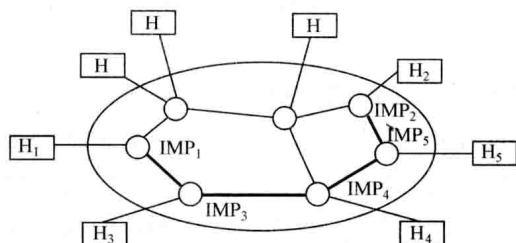


图 1-5 存储转发的计算机网络

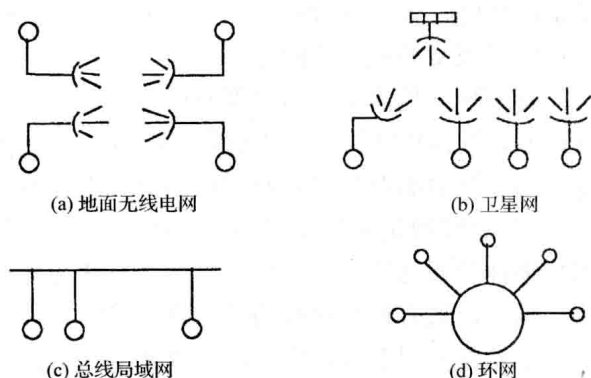


图 1-6 广播式通信网的拓扑结构

常见的广播式通信网有总线和环网结构的局域网、卫星网以及无线网络，其中，对总线和环结构的局域网将作较详细介绍。

计算机网络的结构多种多样，如何选择合适的结构，是网络设计的一个重要问题。例如已知终端的地理位置及信息特性，应在何处设置集中器或前端处理机，它们之间如何连接，采取什么类型的网络结构，采用什么通信介质(线路)等。这些问题必须根据响应时间、可靠性、信息交换量、费用等要求进行综合分析比较后才能确定。由于问题比较复杂，且许多参数都是随机变量，所以需要应用规划方法、概率和排队论进行分析，或采用计算机模拟方法进行研究。

1.3.2 计算机网络的分类

计算机网络有多种分类方法，现给出如下：

1. 根据网络的拓扑结构分类

根据网络的拓扑结构分类，有星型网、环型网、总线网、树型网和网格型网。