

计算机网络技术

李腊元 李春林 编著



國防工業出版社

National Defence Industry Press

<http://www.ndip.com.cn>

计 算 机 网 络 技 术

李腊元 李春林 编著

国 防 工 业 出 版 社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络技术/李腊元,李春林编
著. —北京:国防工业出版社,2001.7
ISBN 7-118-02534-8

I. 计… II. ①李… ②李… III. 计
算机网络 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)
第 14165 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 642 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

本书系统地论述了计算机网络的基本理论及技术。全书共分 10 章, 主要内容包括: 计算机网络概述, 数据通信基础, 计算机网络的体系结构及协议, 局域网, 高速局域网, 广域网, 高速广域网, 网络互连, Internet 及计算机网络安全等。本书内容新颖, 理论联系实际, 学术与工程并重。在阐述基本理论的同时, 还提供了相应的应用实例。

本书可供从事计算机、通信、电子信息工程、自动化等工作的科技人员阅读, 也可作为高等院校有关专业的教材和教学参考书。

前 言

计算机网络是 20 世纪下半叶的重大科学技术成果之一。20 世纪 60 年代末, ARPA 网的诞生是计算机网络发展史的一个重要里程碑。20 世纪 70 年代, 计算机网络开始向着体系结构标准化的方向发展。在此期间, IBM 公司的系统网络体系结构(SNA)和 DEC 公司的数字网络体系结构(DNA)相继问世。20 世纪 80 年代, 计算机网络体系结构以 ISO-OSI 参考模型为代表。与此同时, 局域网络体系结构则以 IEEE802 LAN 参考模型为代表。20 世纪 90 年代以来, 计算机网络体系结构已演进成基于 TCP/IP 的 Internet 体系结构。21 世纪是以网络为核心的信息时代, 以信息技术(IT)和信息产业为主导的知识经济将成为社会的主要经济形态。计算机网络将在信息高速公路、国家信息基础设施(NII)及全球信息基础设施(GII)的建设中扮演重要的角色, 是当今正迅速发展新兴信息科学技术之一, 同时也是计算机、通信、电子学、光电子、多媒体等相互渗透发展而形成的一门综合性信息学科, 业已引起人们广泛的关注和兴趣。

本书共分 10 章, 各章内容概要如下:

第 1 章绪论。主要概述了计算机网络的发展, Internet 的演进, 计算机网络的组成、分类及应用。

第 2 章数据通信基础。主要包括数据通信模型、信道容量、传输介质、无线传输、信道复用、交换技术、同步传输与差错控制等主要数据通信基础问题以及网络性能分析。

第 3 章计算机网络的体系结构及协议。主要包括典型计算机网络标准化组织, 网络的层次结构, ISO-OSI 参考模型, 典型数据链路协议, TCP/IP 参考模型, ICMP、IGMP、IPv6、UDP、OSI 与 TCP/IP 参考模型比较, 协议工程的发展和协议开发生命周期, 协议的形式描述技术(FDT)、正确性验证、半自动实现及一致性测试的基本理论及技术。

第 4 章局域网。主要包括 IEEE802 LAN 体系结构, ALOHA、CSMA、CSMA/CD 总线网(IEEE802.3)、交换式以太网, 令牌总线网(IEEE802.4), 令牌环(IEEE802.5), 无线局域网(IEEE802.11)以及典型局域网络操作系统 NOS(NetWare、Windows NT/Windows 2000、UNIX、Linux)的基本理论及应用技术。

第 5 章高速局域网。主要包括 100 BASE-T(IEEE802.3u), 100 VG-AnyLAN(IEEE802.12), 光纤分布式数据接口(FDDI), HIPPI, 光纤通道, 千兆位以太网(IEEE802.3Z), ATM 局域网以及虚拟局域网 VLAN 的基本理论及组网技术。

第 6 章广域网。主要包括广域网概论及其路由选择, 拥塞控制的基本原理与算法, 典型广域网技术: X.25 网络和 ISDN。

第 7 章高速广域网。主要包括帧中继, ATM、B-ISDN、SONET、SDH、IPOA、ATM LANE、MPOA、MPLS, 以及无线 ATM 的基本理论及组网技术。

第 8 章网络互连。主要包括网络互连部件(中继器、网桥、路由器、网关), 内部网关协

议(路由信息协议 RIP、开放最短路径优先协议 OSPF),外部网关协议,多播路由策略,MO-SPF 与 DVMRP 以及 QoS 路由策略。

第 9 章 Internet。主要包括域名系统 DNS,电子邮件,文件传输协议 FTP,远程登录,代理服务器机制,WWW,网络管理,资源预留协议 RSVP,QoS,虚拟专用网 VPN,移动 Internet 和光 Internet。

第 10 章计算机网络安全。主要包括网络信息安全,防火墙技术(包过滤技术、代理服务技术、防火墙的结构、防火墙的基本构件),密码技术(分组密码算法、公钥密码算法、Hash 函数、密码协议)以及密码应用技术。

本书是在作者多年从事计算机网络教学及科学研究的基础上撰写而成的。在体系结构上,本书以 TCP/IP 和 IEEE802 为主线,力求系统地阐明计算机网络的基本理论及主要技术;在取材上力求新颖,以反映网络领域的最新成果;在内容上力求理论联系实际,学术与工程应用并重;在阐述基本原理的同时,书中还给出了相应的应用实例。

本书由李腊元和李春林共同编写。其中第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 7 章和第 10 章由李腊元编写;第 5 章、第 6 章、第 8 章和第 9 章由李春林编写。本书在编写过程中,曾得到周峰、郭晶晶、胡凯、刘继华、林洋、潘锋等的支持和帮助,谨此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,难免存在漏误之处,恳请广大读者指评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机网络的发展	1
1.2 Internet 的演进	3
1.2.1 国外 Internet 的发展	3
1.2.2 Internet 在国内的发展	4
1.3 计算机网络的组成	5
1.3.1 网络硬件	5
1.3.2 网络软件及协议	6
1.4 计算机网络的分类	7
1.5 计算机网络的应用	10
第 2 章 数据通信基础	12
2.1 数据通信模型	12
2.1.1 信道与信号	12
2.1.2 一般数据通信模型	13
2.1.3 数据编码	14
2.2 信道容量	16
2.2.1 信道的最高码元传输速率	16
2.2.2 信道的最大信息传输速率	17
2.3 传输介质	18
2.3.1 双绞线	18
2.3.2 同轴电缆	19
2.3.3 光纤	20
2.4 无线传输	22
2.4.1 电磁波频谱	22
2.4.2 微波传输	23
2.4.3 卫星通信	23
2.4.4 红外线与毫米波	25
2.4.5 蜂窝无线通信	26
2.5 信道复用	28
2.5.1 FDMA	28
2.5.2 TDMA	29
2.5.3 WDMA	30

2.5.4	CDMA	31
2.6	交换技术	32
2.6.1	电路交换	32
2.6.2	报文交换	33
2.6.3	报文分组交换	34
2.7	同步传输与差错控制	34
2.7.1	数据同步传输	34
2.7.2	差错控制	35
2.8	网络性能分析	36
2.8.1	性能指标	37
2.8.2	典型排队模型	38
第 3 章	计算机网络的体系结构及协议	40
3.1	典型计算机网络标准化组织	40
3.2	网络的层次结构	41
3.2.1	概述	41
3.2.2	服务与协议	42
3.3	ISO-OSI 体系结构	44
3.3.1	ISO-OSI 参考模型	44
3.3.2	典型数据链路协议	46
3.4	TCP/IP 体系结构	60
3.4.1	TCP/IP 参考模型	61
3.4.2	IP 数据报格式	62
3.4.3	IP 地址	64
3.4.4	IP 路由表	68
3.4.5	IP 报文转发及分段	70
3.4.6	ICMP	72
3.4.7	IGMP	73
3.4.8	IPv6 概述	75
3.4.9	IPv6 的报文头	76
3.4.10	IPv6 的地址结构	78
3.4.11	IPv6 的过渡	82
3.4.12	TCP 概述	83
3.4.13	接口和套接字	84
3.4.14	TCP 包头格式	85
3.4.15	连接管理	87
3.4.16	TCP 的有限状态机	88
3.4.17	UDP	89
3.4.18	OSI 与 TCP/IP 参考模型比较	90
3.5	协议工程	90

3.5.1	概述	90
3.5.2	协议开发生命周期	91
3.5.3	协议的形式描述	92
3.5.4	协议正确性验证	94
3.5.5	协议的半自动实现	98
3.5.6	协议的一致性测试	99
第4章	局域网	101
4.1	局域网概述	101
4.2	IEEE802 LAN 体系结构	104
4.2.1	IEEE802 LAN 参考模型	104
4.2.2	IEEE802 LAN 标准	105
4.2.3	逻辑链路控制(LLC)子层	106
4.2.4	介质访问控制(MAC)子层	110
4.3	CSMA/CD 总线网(IEEE802.3)	111
4.3.1	ALOHA	111
4.3.2	CSMA	112
4.3.3	CSMA/CD	113
4.3.4	交换式以太网	122
4.4	令牌总线网(IEEE802.4)	123
4.5	令牌环(IEEE802.5)	127
4.6	典型局域网络比较	130
4.7	无线局域网(IEEE802.11)	132
4.7.1	IEEE802.11 LAN 结构	132
4.7.2	物理层	133
4.7.3	介质访问控制子层	133
4.8	局域网络操作系统	137
4.8.1	NetWare	138
4.8.2	Windows NT	140
4.8.3	UNIX	145
4.8.4	Linux	147
第5章	高速局域网	153
5.1	100BASE-T(IEEE802.3u)	153
5.2	100VG-AnyLAN(IEEE802.12)	157
5.3	光纤分布式数据接口(FDDI)	158
5.3.1	FDDI 的体系结构	159
5.3.2	FDDI 与 FDDI - II	160
5.3.3	FDDI 的重构及其算法	161
5.3.4	FDDI 的组网技术	162
5.4	高性能并行接口(HIPPI)	165

5.5 光纤通道	165
5.6 千兆位以太网(IEEE802.3Z)	166
5.6.1 千兆位以太网的体系结构	166
5.6.2 千兆位以太网的分类	167
5.6.3 千兆位以太网的组网技术	169
5.7 ATM 局域网	172
5.8 虚拟局域网(VLAN)	173
5.8.1 建立 VLAN 的交换方法	174
5.8.2 VLAN 的划分方法	174
5.8.3 VLAN 的配置方式	176
第 6 章 广域网	179
6.1 广域网概论	179
6.1.1 广域网的组成结构	179
6.1.2 广域网提供的两种服务模式	180
6.1.3 广域网的寻址及分组转发	181
6.2 路由选择算法	183
6.2.1 非适应式路由选择算法	183
6.2.2 适应式路由选择算法	184
6.2.3 分层式路由选择	189
6.3 拥塞控制	190
6.3.1 概述	190
6.3.2 拥塞控制的基本原理及方法	193
6.4 X.25 建议	194
6.4.1 X.25 网络的基本特性	194
6.4.2 X.25 协议的层次结构	195
6.4.3 X.25 网络的组成结构	197
6.5 ISDN	198
6.5.1 ISDN 概述	198
6.5.2 ISDN 的功能	199
6.5.3 用户-网络接口	202
第 7 章 高速广域网	205
7.1 帧中继	205
7.1.1 帧中继概述	205
7.1.2 帧中继协议的体系结构	206
7.1.3 帧中继的呼叫控制	208
7.1.4 帧中继的帧格式	210
7.1.5 帧中继网基本构成与用户接入	210
7.1.6 帧中继网的拥塞控制	211
7.1.7 帧中继的应用	213

7.2	ATM	216
7.2.1	B-ISDN	216
7.2.2	SONET 和 SDH	217
7.2.3	ATM 的基本概念及原理	219
7.2.4	ATM 协议参考模型	220
7.2.5	ATM 的交换技术	229
7.2.6	ATM 的拥塞控制	234
7.3	ATM 与 IP 结合	236
7.3.1	IPOA	236
7.3.2	ATM 局域网仿真(LANE)	238
7.3.3	MPOA	240
7.3.4	MPLS	242
7.4	无线 ATM	252
第 8 章	网络互连	256
8.1	网络互连部件	256
8.1.1	中继器	256
8.1.2	网桥	258
8.1.3	路由器	262
8.1.4	网关	269
8.2	内部网关协议	270
8.2.1	路由信息协议(RIP)	271
8.2.2	开放最短路径优先协议(OSPF)	274
8.3	外部网关协议	285
8.4	多播路由策略	287
8.4.1	基于最短路径树的多播路由	287
8.4.2	MOSPF 与 DVMRP	288
8.5	QoS 路由策略	289
8.5.1	传统路由与 QoS 路由	290
8.5.2	QoS 路由算法	291
第 9 章	Internet	293
9.1	Internet/Intranet/Extranet	293
9.2	域名系统(DNS)	293
9.2.1	域名结构	294
9.2.2	资源记录	295
9.2.3	名字服务器	296
9.2.4	名字解析过程	297
9.2.5	域名体系规划	298
9.3	电子邮件	301
9.3.1	电子邮件概述	301

9.3.2 电子邮件的发送	302
9.3.3 电子邮件的接收	305
9.3.4 MIME 协议	308
9.4 文件传输协议(FTP)	310
9.4.1 FTP 的基本原理	310
9.4.2 简单文件传输协议(TFTP)	312
9.5 远程登录	313
9.5.1 远程登录的结构	313
9.5.2 网络虚拟终端	314
9.6 代理服务器机制	316
9.6.1 代理服务器的结构	316
9.6.2 代理服务器的原理及功能	317
9.7 WWW	319
9.7.1 概述	319
9.7.2 超文本传输协议(HTTP)	321
9.7.3 超文本标记语言(HTML)	324
9.7.4 扩展标记语言(XML)	328
9.7.5 VRML 与三维 Internet	332
9.7.6 Web 应用开发技术	336
9.8 网络管理	340
9.8.1 概述	340
9.8.2 简单网络管理协议(SNMP)	341
9.9 资源预留协议(RSVP)	351
9.9.1 概述	351
9.9.2 RSVP 的基本原理	352
9.10 服务质量(QoS)	359
9.10.1 概述	359
9.10.2 QoS 的有关定义	360
9.10.3 QoS 分类及区分服务	361
9.10.4 QoS 策略控制及实现	363
9.10.5 QoS 协商与调度策略	365
9.11 虚拟专用网(VPN)	366
9.11.1 IP-VPN 的原理	367
9.11.2 IP-VPN 的主要技术	368
9.12 移动 Internet	372
9.12.1 移动 IP	372
9.12.2 动态主机配置协议(DHCP)	376
9.12.3 无线应用协议(WAP)	380
9.12.4 移动通信	384

9.13 光 Internet	386
第 10 章 计算机网络安全	391
10.1 网络信息安全	392
10.1.1 网络信息安全威胁	392
10.1.2 网络信息安全漏洞	393
10.1.3 网络信息安全目标	396
10.1.4 网络信息安全技术	397
10.2 防火墙技术	398
10.2.1 概述	398
10.2.2 包过滤技术	399
10.2.3 代理服务技术	401
10.2.4 防火墙的结构	402
10.2.5 防火墙的基本构件	406
10.3 密码技术	411
10.3.1 概述	411
10.3.2 密码攻击	412
10.3.3 网络加密方式	414
10.3.4 分组密码算法	415
10.3.5 公钥密码算法	420
10.3.6 Hash 函数	423
10.3.7 密码协议	424
10.3.8 密码技术应用	426
参考文献	431

第 1 章 绪 论

计算机网络(Computer Networks)是 20 世纪下半叶最引人注目的科学技术成果之一。20 世纪 90 年代以来,以因特网(Internet)为代表的计算机网络技术得到了前所未有的飞速发展,并正在形成全球最大的网络。计算机网络既是一门具有吸引力的信息科学学科,又是一种具有活力的信息技术 IT(Information Technology)。它是多种信息科学技术相互渗透和结合的产物,是建设信息高速公路(Information Highway)、国家信息基础设施 NII(National Information Infrastructure)和全球信息基础设施 GII(Global Information Infrastructure)的重要物质和技术基础。本章主要概述计算机网络的发展,Internet 的演进,计算机网络的组成、分类及其应用。

1.1 计算机网络的发展

一般而言,计算机网络可看成是计算机与通信技术相结合的产物。它可通过通信链路或传输介质将多个基于计算机系统的节点互连起来,其中包括特定的网络硬件、网络软件及协议,可实现节点之间的相互通信和资源共享。

计算机网络的发展演进主要经历了以下几个阶段:

(1) 早在 20 世纪 50 年代初期,美国半自动地面防空系统(SAGE)就开始将远程雷达与其他测量控制设备通过通信线路连接到一台 IBM AN/FSQ-7 中央计算机上,这被认为是首次将计算机与通信技术相结合的重要尝试。

(2) 20 世纪 60 年代初期,美国航空公司建成了飞机订票系统 SABRE-1。该系统以一台大型计算机作为中央计算机,连接了遍布美国的 2000 多台终端。这类系统实际上是一种分时多用户(终端)系统,它采用集中控制方式,中央计算机是整个系统的控制及处理中心。因而,通常把这类系统叫做以单计算机为中心的联机系统,或称为面向终端的联机(网络)系统。

60 年代末,美国国防部高级研究计划局 ARPA(Advanced Research Projects Agency)建成了著名的远程分组交换网络——ARPA 网。1969 年初建时,该网只有 4 个节点,它横跨美国东西部地区,乃至全美主要的政府机构、科研教育及财政金融部门,并通过卫星与其他国家实现网际互连。ARPA 网的诞生是计算机网络发展史上的一个里程碑。继 ARPA 网之后,世界上又先后出现了各种远程网络或广域网络 WAN(Wide Area Networks)。它们一般都采用报文分组交换方式,通信信道采用宽带传输,网络覆盖的距离较远,网络拓扑通常采用任意拓扑结构。这类网络通常被叫做计算机-计算机网络。

1969 年,美国贝尔(Bell)实验室 Newhall 等人还发明了纽霍尔(Newhall)环形网络,其基本原理被后来的令牌环继承。

(3) 20 世纪 70 年代,计算机网络开始向着体系结构标准化的方向迈进,即正式进入

网络标准化时代。1974年,IBM公司首先提出了系统网络体系结构SNA(System Network Architecture)标准。1975年,DEC公司也公布了数字网络体系结构DNA(Digital Network Architecture)标准。为了适应计算机网络向标准化方向发展的要求,国际标准化组织(ISO)于1977年成立了计算机与信息处理标准化委员会(TC 97)下属的开放系统互连分技术委员会(SC 16),并开始着手制定开放系统互连的一系列国际标准。1981年,ISO正式提出了“开放系统互连(OSI)基本参考模型”的国际标准,从而为计算机网络向国际化方向发展提供了重要依据。但是,由于OSI参考模型所规范的网络体系结构在实现上的复杂性和ARPA网与UNIX系统的迅速发展,传输控制协议/网际协议(TCP/IP)逐渐得到了工业界、学术界以及政府机构的认可,已成为事实上的主要标准,并得到迅速发展。它为Internet的兴起和发展起到了决定性的作用。

70年代也是局域网的一个重要发展阶段,其典型代表是1972年,美国贝尔实验室Pierce等人发明了皮尔斯(Pierce)环,以及同年由加州大学开发的分布式计算系统(DCS)。1976年美国Xerox公司Palo Alto研究中心(简称PARC)的Metcalf和Boggs等人发明了以太网(Ethernet),它成功地利用了夏威夷大学ALOHA无线网络系统的基本原理,而使之发展成为第一个总线竞争式局域网。以太网的问世,是局域网络发展史上的一个重要里程碑。在此期间,1974年英国剑桥大学计算机实验室M.V.Wilkes等人开发了有名的剑桥环(Cambridge-Ring);美国俄亥俄州立大学的M.T.Liu和Babic等人研制出分布式环形计算机网络(DLCN);贝尔实验室的Fraser等人开发了Spider环形网络;1977年,Data-point公司推出了第一个用于办公系统的ARC局域网;1978年IBM公司也公布了8100环形网络。此时,人们不仅对局域网络的理论方法进行了广泛研究,而且对其实现技术也做了大量深入的探讨,它对促进局域网络的进一步发展起了很重要的作用。在此阶段所形成的以太总线网、剑桥环形网两大局域网络先驱,对后来的局域网络发展和演进一直产生着重要影响。

(4) 20世纪80年代被称为局域网络LAN(Local Area Networks)时代。这一阶段的基本特点是局域网络开始得到大规模的发展,其研制工作由实验研究开始向产品化、标准化方向发展。其主要表现是:1980年美国三大公司Xerox、DEC和Intel联合公布了局域网络的DIX标准,即以以太网规范,且很快得到了近200家公司的支持,进而使局域网络的典型代表以太网由实验研究进入规范阶段;同年2月,美国电气与电子工程师协会(IEEE)计算机学会下属的802局域网络标准委员会宣告成立,并相继提出了IEEE802.1~14等局域网络标准草案,其中绝大部分内容已被ISO正式认可,作为局域网络的国际标准。它标志着局域网络协议及其标准化工作向前迈进了一大步。1981年,局域网络的主要技术支持者微型计算机也出现了新的发展态势,IBM公司推出了第一代微型机IBM PC之后,各公司纷纷争先为之配置局域网络,其中典型的有AST的PCnet网络,Corvus的OMNINET网络等。80年代中后期,还涌现出不少各具特色的局域网络,如3COM的以太系列网、3+、3+OPEN,Microsoft的LAN Manager、AppleTalk,AT&T的StarLAN、NOVELL和光纤分布式数据接口(FDDI)等。

(5) 20世纪90年代被称为Internet时代。1991年,美国高速公路法案的创始人Albert Gore的儿子Al.Gore(时任副总统)提出了另一种高速公路法案,即所谓信息高速公路法案,该法案很快获国会批准通过,并随即引起了世界各国的强烈反响。90年代以来,Inter-

net 获得了迅猛发展。各种高速计算网络,如快速以太网、千兆位以太网和异步转移模式(ATM)网络等已大量涌现。各种宽带综合业务数字网(B-ISDN)、多媒体通信网、智能网、无线移动网等也获得了迅速发展。万维网 WWW(World Wide Web,可简称为 Web)技术的日趋成熟,有力地促进了 Internet 的推广应用。此外,各种基于 Windows NT(New Technology)、Windows 2000、UNIX、Linux 等的网络系统也在不断升级翻新。与此同时,光纤通信、光通信、个人通信、卫星通信、蜂窝无线通信、移动通信等通信技术也取得了长足的进步。

此外,三网合一也已形成一种时尚趋势。“三网”主要是指电信网、有线电视网和计算机网络。电信网的传统业务是电话、传真及数据等。有线电视网是一种单向电视节目的传送网络。尽管三网合一还不是短时间能实现的,但它们的相互融合已取得可喜的进展,如电信网经营 IP 业务,电视机通过机顶盒上网,实现视频点播(VOD),计算机网络(Internet)传送视频、音频信息、支持 IP 电话业务等等。

(6) 21 世纪是以网络为核心的信息时代。万兆位以太网(IEEE803.2ae)等高速网络获得了迅速发展。基于知识经济(Knowledge-based Economy)的新经济正在成为世界经济发展的最主要的增长点。网络化、信息化和数字化正从整体上引导着世界经济和人类社会发展的进程。以网络化为重要内容的信息技术,已成为经济发展的关键因素和倍增器。随着网络技术的迅速发展及全球信息高速公路的日益完善,人类的生活形态和工作模式已出现了很大的改变,并将继续对人类社会产生更深刻的影响。

总之,计算机网络将朝着高速、宽带、智能、多媒体及移动网络的总趋势不断发展。

1.2 Internet 的演进

1.2.1 国外 Internet 的发展

1969 年,Internet 的前身——ARPA 网正式建成。当时,ARPA 网的初衷主要是用于军事目的。

1983 年,ARPA 网已连接 300 多台计算机。1984 年,ARPA 网开始分解成两个网络:一个仍叫做 ARPA 网,它主要用做民用科研网;另一个为军用计算机网络 MILNET。

1986 年,美国国家科学基金会(NSF)建立了国家科学基金网 NSFNET。它是一个三级计算机网络,其中包括主干网、地区网和校园网,覆盖了全美国主要的大学 and 研究所。NSFNET 后来接管了 ARPA 网,并将其更名为 Internet。当时 NSFNET 的主干网的数据传输速率只有 56 kb/s。在 1989~1990 年,NSFNET 主干网的数据传输速率提高到 1.55 Mb/s,即 T1 的速率,并且成为 Internet 中的主干网。1990 年,鉴于 ARPA 网的实验任务已经完成,在历史上起过重要作用的 ARPA 网就正式宣布关闭。

20 世纪 80 年代中后期,基于 NSFNET 的 Internet 主要应用于科学研究。

20 世纪 90 年代,Internet 开始应用于商业目的。

1993 年,Internet 主干网的数据传输速率提高到 45 Mb/s。1996 年,其主干网的数据传输速率为 155 Mb/s,随后逐步提高到 622 Mb/s、1 Gb/s 乃至 1 Tb/s。

20 世纪 90 年代初期,欧洲原子核研究组织 CERN 开发的万维网 WWW 为在 Internet 上存储、发布和交换超文本的图文信息提供了强有力的工具。

1993年,美国伊利诺依大学国家超级计算机中心开发成功了网上浏览工具 Mosaic,进而发展成 Netscape,使得 Internet 用户可以使用 Mosaic 或 Netscape 自由地在 Internet 浏览和下载 WWW 服务器上发布和存储的各种软件与文件,WWW 与 Netscape 的结合,引发了 Internet 发展的新高潮。各种商业机构、企业、机关团体、军事、政府部门和个人开始大量进入 Internet,并在 Internet 上大做 Web 主页广告,进行网上商业活动,一个网络上的虚拟空间(Cyberspace)开始形成。

1993年,美国总统克林顿宣布正式实施国家信息基础设施(NII)计划。美国国家科学基金会也宣布从 1995 年开始,不再向 Internet 注入资金,使其完全进入商业化运作,从而正式拉开了世界范围内的争夺信息化社会领导权与制高点的战争。计算机科学技术也由此而进入了以网络计算为中心的历史性新时期。

1996年,美国的一些研究机构和 34 所大学提出研制和建造新一代 Internet 的设想。同年 10 月克林顿宣布在今后 5 年内用 5 亿美元的联邦资金实施“下一代 Internet 计划”,即“NGI 计划”(Next Generation Internet Initiative)。

NGI 计划要达到的目标是:开发新一代网络结构,以比现在的 Internet 高 100 倍的速率连接至少 100 个研究机构,以比现在的 Internet 高 1000 倍的速率连接 10 个类似的网点。其端对端的传输速率要达到 100 Mb/s ~ 10 Gb/s。采用更加先进的网络服务技术和开发更多新的应用领域,如远程医疗、远程教育、高性能的全球通信、环境监测和预报等。NGI 计划将使用超高速全光网络,能实现更快速的交换和路由选择,同时具有为一些实时应用保留带宽的能力。在整个 Internet 的管理和保证信息的可靠性和安全性方面也会有很大的改进。

21 世纪初叶,移动 Internet,基于宽带码分多路复用(W-CDMA)的移动通信网络,三维 Internet,基于波分复用(WDM)或 IP over DWDM(密集波分复用)的光 Internet,全光 Internet,可编程 Internet 等高性能 Internet 技术将会取得更大的进展。Internet 在网络管理、安全性、可靠性、服务质量(QoS)保证等方面也会有更大的改进,其应用规模将会进一步扩大,应用水平也会不断提高。

1.2.2 Internet 在国内的发展

20 世纪 90 年代,Internet 开始引入到国内,并相继建成与 Internet 互连的几种全国性 Internet 接入服务网或计算机互连(联)网络。其中较有代表性的是:中国公用计算机互联网 CHINANET,中国金桥信息网 CHINAGBN,中国教育与科研网 CERNET,以及中国科学技术网 CSTNET。

1993 年,国务院启动了国民经济信息化的网络工程,即金桥工程,并确定吉通通信有限责任公司为金桥工程的业主。1996 年 9 月,中国金桥信息网 CHINAGBN 正式向社会提供服务。CHINAGBN 是一个覆盖全国、通天达地(天上的卫星网和地面的光纤网互连)的中速信息网。它可以传输数据、语音、图像等业务,为金融、海关、外贸、内贸、旅游、气象、交通、国家安全、科学技术等各种信息业务系统提供服务。

中国教育与科研网 CERNET 于 1994 年由教育部开始建设。CERNET 是一个三级结构的计算机网络,包括主干网(用速率为 64 kb/s 的数字数据网络(DDN)专线连接)、地区网(全国共分 8 个地区)和校园网。CERNET 的网管中心设在清华大学。2000 年,全国大部

分高等学校已连入该网,并将主干网的数据传输速率提高到 2 Mb/s 以上,同时提供了更丰富的网络应用资源。

中国科学技术网 CSTNET 是由中国科学院负责建设和管理的网络。CSTNET 于 1994 年 4 月接入 Internet,是我国最早完成与 Internet 相连接的互连网络。CSTNET 主要包括 3 大部分:(1)北京中关村地区教育与科研示范网,这是 CSTNET 的核心部分;(2)中国科学院院网,即在北京的中科院院网的基础上延伸到全国 25 个城市的 120 多个科研机构的“百所大连网”;(3)用微波、卫星等公用和专线连接有关部委和地区的一批接入网和用户电话拨号入网,这是中国科学院院外科技界网络部分。现在我国的“中国互联网络信息中心(CNNIC)”就是在 CSTNET 和中科院网络信息中心的基础上成立的。

CHINANET 始建于 1995 年,由中国电信负责运营。它是上述 4 个网络中最大的一个,与其他 3 个网络都有专线互连互通。CHINANET 由主干网和接入网组成。主干网是 CHINANET 的主要信息通路,由各直辖市和各省会城市的网络节点构成;接入网则由各省、自治区内建设的网络节点构成。在全国各地的用户均可拨 163 号码上网。目前,CHINANET 主干网的速率以 2.048 Mb/s 为主,并将逐步提高到 E3(34 Mb/s)甚至更高的速率。CHINANET 在北京、上海和广州分别设有高速国际出口线路与 Internet 互连。现在 CHINANET 的用户每月增长率约为 20%,网络的吞吐量仍赶不上用户的需求。

1.3 计算机网络的组成

一般而言,计算机网络可由网络硬件、网络软件及协议组成。下面将简要论述这两个方面的有关问题。

1.3.1 网络硬件

网络硬件可包括:工作站、服务器、连网部件和通信介质等。

1. 工作站

这里的“工作站”可泛指连网的各类计算机,当然也应该包括一些高性能的专用工作站。它可包括巨型机、并行机、数据流机、向量机、大型机、小型机、工程工作站、微型机、超级小型机、超级微型机、多媒体计算机系统等。例如,IBM、DEC 的各类计算机,SUN 工作站(Workstation),Apple Macintosh 等。此外,还可包括手提电脑(HPC)、掌上电脑、便携式计算机等。它们都可看成资源子网的主设备。

2. 服务器

服务器(Server)可分为专用服务器和基于普通微型机系统的服务器。前者一般具有较高的 CPU 速率和较大的存储容量,较适于大中型应用系统的组网;后者的性能一般要低一些,较适于小型应用系统的组网。根据服务器所提供的服务功能的不同,服务器又可分为:文件服务器、数据库服务器、域名服务器、电子邮件(E-mail)服务器,Web 服务器、打印服务器、通信服务器、远程拨号访问服务器,以及其他各类专用服务器等。

服务器的性能主要取决于服务器的 CPU、磁盘 I/O、总线 I/O、系统缓存(Cache)及系