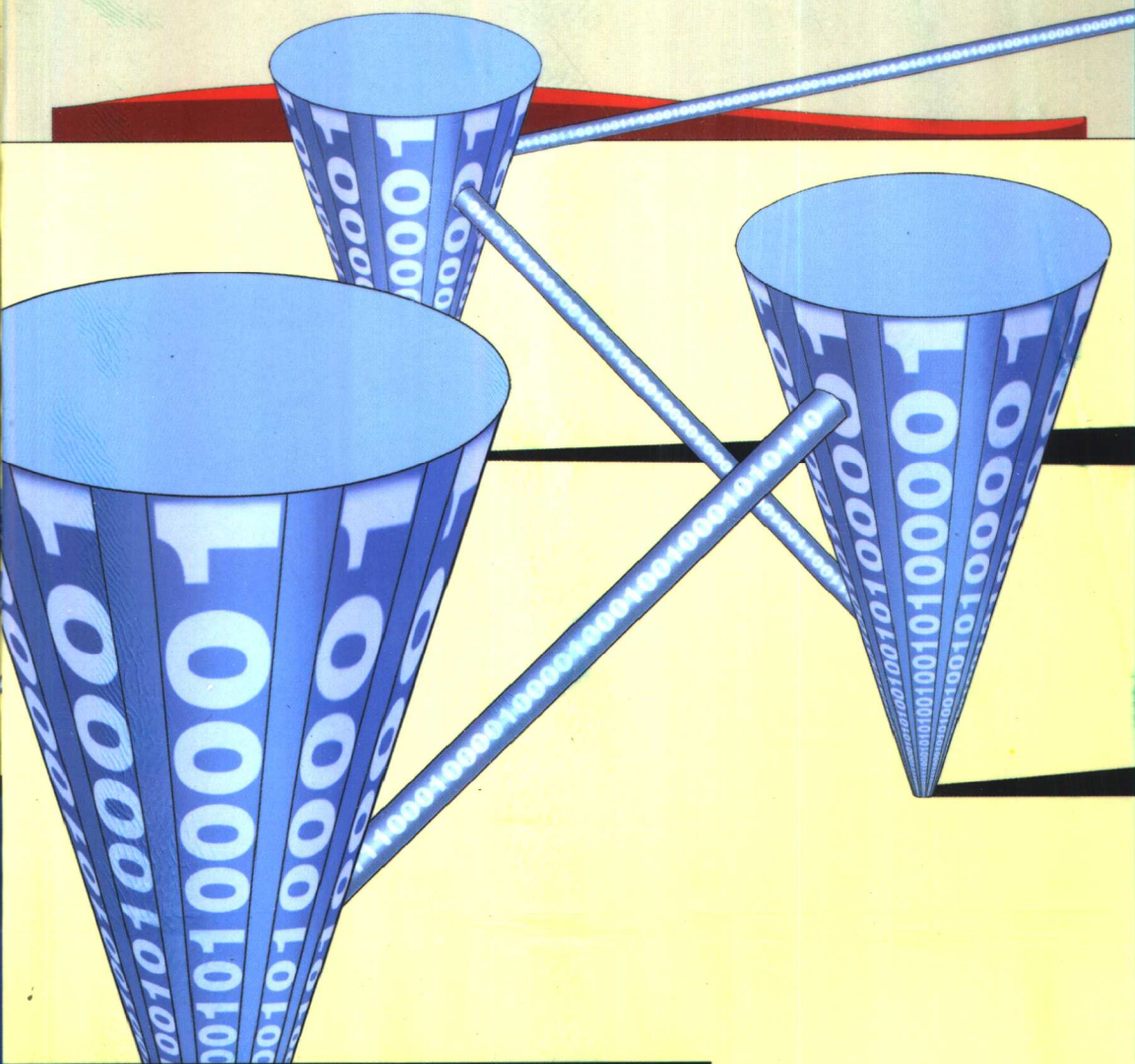


Advanced Computer Networks

研究生教材

# 高级 计算机网络

史忠植 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

研究生教材

高级计算机网络  
Advanced Computer Networks

史忠植 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书参照国内外相关课程教学大纲和研究生课程的教学要求,着重讨论计算机前沿研究领域的重要协议和关键算法,内容涉及广域网技术、ATM技术、TCP/IP、多协议标记交换、多播、宽带网络性能分析、网络管理、网络安全、千兆位以太网、移动计算等重要内容。本书适合作为计算机与信息技术相关专业的研究生教材,对从事网络研究和开发的工程技术人员也有很好的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

高级计算机网络/史忠植编著. —北京:电子工业出版社,2002.1  
研究生教材  
ISBN 7-5053-7294-7

I. 高… II. 史… III. 计算机网络—研究生—教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 088111 号

责任编辑:童占梅

印 刷:北京李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>  
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:576 千字

版 次:2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
电话:(010)68279077

## 前 言

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物,是信息化社会主要的基础设施。传统的通信只是进行信息的传递,而在计算机网络中,不仅可使信息传递得更快、更可靠,而且还可进行信息的收集、存储和加工处理,提供多样化的信息服务。网络互连技术的发展使整个社会实现网络化成为可能,形成“社会网络化,网络社会化”的局面。

伴随着 Internet 的飞速发展,NGI, IPv6, RSVP, IPOA, MPOA, MPLS, IP Phone, IP Fax, IP Multicast, IP over SDH/SONET, IP over WDM/Optical 等许多领域引起了研究者广泛的兴趣。信息化的第一次浪潮是以信息为基础的 Internet;第二次浪潮是以服务为基础的 Internet,即信息成为公共 Web 站点提供的商品。

千兆位(Gigabit)网络的研究不只是大学实验室里的小规模学术研究,大多数研究队伍的规模较大,有的甚至是一个机构的独立组织,如 AT&T 的 LuckyNet,有些则由多个机构的成员组成,如 Aurora。它们大多数已建立了实验式 Gigabit 网络,也称为验证环境(Testbed)。

千兆位网络的发展与光纤通信技术紧密相关,光纤通信技术是千兆位网络的基础。光纤具备长距离传送若干千兆位每秒的能力,同时,误码率非常低,这为千兆位网络的发展打下了基础。光纤通信中两个重要的基础技术是 SONET 与 WDN。

人们认为网络就是计算机,出现了一种全新分布式计算概念,即任何计算设施不需预先配置和安装,便可在任何时间、任何地点加入网络,并且能和网络中已有的各种软硬件一起协调工作,完成网络计算。

本书主要讨论计算机网络前沿研究领域的重要协议和关键算法。主要内容有广域网技术、ATM 技术、TCP/IP、多播、宽带网络性能分析、网络安全、千兆位以太网等。本书是计算机专业、信息技术等专业的研究生教材,对从事研究的相应专业科技人员和从事网络工程的技术人员也有很好的参考价值。

本书编写过程中主要参考了美国俄亥俄州立大学、纽约州立大学布法罗分校和新加坡国立大学相关课程的教学大纲和教材。新加坡国立大学傅希瑞(Gee-Swee Poo)专程来中国科技大学研究生院(北京)讲授该课程。信息产业部数传所陈锦章研究员、北京邮电大学雷振明教授、清华大学生志升教授、中科院计算所王行刚研究员等都分别讲授有关内容,在此向他们表示衷心的感谢。中国科技大学研究生院(北京)2000 年级高级计算机网络课程的学生,特别是汤庸、林刚、魏世强、徐晓玲、张可新、郝瑛、王扉、杨光华、吴斌、邓刚、李治国、唐渊、王晓旭、孙磊、蔡康颖、郝金召、姜大龙、冯雷、王泊、宋立温、王树西、王萍、姚萍等,提交了很好的课程报告,为本书编写提供了很有价值的资料。张海俊认真地阅读了本书,并对发现的错误进行了校订。电子工业出版社对本书的出版给予了大力支持,特别是童占梅编辑为本书出版做了大量工作,在此向他们表示谢意。

由于作者水平所限,编写时间仓促,对书中存在的错误和问题,殷切希望读者批评指正。

史忠植

2001 年 8 月



## 作者简介

### 史忠植

中国科学院计算技术研究所研究员，中国科学院智能信息处理重点实验室常务副主任，IEEE高级会员，纽约科学院院士。博士生导师。

1968年毕业于中国科学院研究生院，长期从事计算机科学技术的研究，曾多次出国讲学访问。1979年获中国科学院科技进步二等奖，1994年获中国科学院科技进步特等奖，1998年获中国科学院科技进步二等奖，2001年获中国科学院科技进步二等奖。发表的著作有《知识工程》、《认知科学和计算机》、《神经计算》、《高级人工智能》、《Principles of Machine Learning》、《智能主体及其应用》、《知识发现》等，发表学术论文300多篇。现兼任国际信息处理联合会(IFIP)人工智能技术委员会(TC12)委员、太平洋地区人工智能指导委员会常务理事、中国人工智能学会副理事长、中国计算机学会秘书长。是《Informatics》、《计算机学报》、《计算机研究与发展》等杂志的编委。曾多次担任国际学术会议程序委员会主席或委员。

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 信息基础设施 .....	1
1.2 网络的发展过程 .....	2
1.2.1 通信的发展简史 .....	2
1.2.2 计算机网络的发展 .....	4
1.2.3 Internet 的发展 .....	4
1.2.4 国内 Internet 的发展 .....	6
1.3 计算机网络的原理结构 .....	7
1.4 千兆位网络 .....	8
1.5 网络信息安全 .....	9
1.6 网络计算 .....	10
1.7 统一网络 .....	11
1.7.1 统一网络的逻辑结构 .....	11
1.7.2 IP 综合信息网络结构 .....	12
1.7.3 骨干网络节点的构造 .....	13
1.7.4 宽带 IP 本地网络 .....	13
第 2 章 广域网 .....	14
2.1 广域网的基本概念 .....	14
2.2 广域网中的路由选择 .....	15
2.3 X.25 .....	15
2.4 帧中继 .....	16
2.4.1 帧中继概述 .....	16
2.4.2 帧中继的体系结构 .....	17
2.4.3 帧中继的帧格式 .....	17
2.4.4 帧中继的拥塞管理 .....	19
2.4.5 帧中继的 PVC 状态确认规程 .....	22
2.4.6 帧中继网络的发展 .....	26
2.5 综合业务数字网 .....	27
2.5.1 ISDN 的信道结构 .....	28
2.5.2 ISDN 的 OSI 模型 .....	29
2.5.3 ISDN 接入 Internet 的实现 .....	29
2.5.4 ISDN 业务分类及特性 .....	31
2.6 数字数据网 .....	34
2.6.1 概述 .....	34
2.6.2 数字数据网的组成 .....	36
2.6.3 DDN 的结构 .....	38
2.6.4 复用技术 .....	38

2.6.4.1	PCM 帧复用 .....	38
2.6.4.2	超速率复用 .....	39
2.6.4.3	子速率复用 .....	40
2.6.5	数字数据网的同步 .....	42
2.6.5.1	DDN 网同步方式 .....	42
2.6.5.2	DDN 节点频率源 .....	42
2.6.5.3	DDN 节点定时 .....	42
2.6.5.4	DDN 节点间的同步 .....	43
2.6.5.5	用户接入同步 .....	44
2.6.6	数字数据网的业务 .....	45
2.6.6.1	专用电路业务 .....	46
2.6.6.2	帧中继业务 .....	46
2.6.6.3	话音/G3 传真业务 .....	48
2.6.6.4	VPN 业务 .....	49
2.6.6.5	用户入网速率 .....	49
2.6.7	DDN 用户接入方式 .....	50
2.6.7.1	用户终端设备接入方式 .....	50
2.6.7.2	用户网络与 DDN 互连方式 .....	52
<b>第 3 章</b>	<b>ATM 技术 .....</b>	<b>54</b>
3.1	ATM 技术概述 .....	54
3.2	ATM 的协议体系结构 .....	56
3.2.1	物理层 .....	57
3.2.2	ATM 层 .....	58
3.2.3	ATM 适配层 .....	58
3.2.4	AAL 协议 .....	59
3.3	ATM 的逻辑连接 .....	60
3.4	ATM 信令系统 .....	63
3.5	ATM 的信元 .....	64
3.6	ATM 的服务类别 .....	67
3.7	ATM 的服务质量 .....	68
3.8	ATM 局域网 .....	70
3.8.1	局域网仿真 .....	70
3.8.2	LANE 的基本原则 .....	71
3.8.3	LANE 的基本构成模块 .....	72
3.8.4	LANE 的连接 .....	73
3.8.5	LANE 性能分析 .....	75
<b>第 4 章</b>	<b>TCP/IP 及其相关协议 .....</b>	<b>77</b>
4.1	互联网 .....	77
4.2	网际协议 IP .....	79
4.2.1	IP 地址 .....	79
4.2.2	子网掩码 .....	80
4.2.3	IP 数据报格式 .....	81
4.3	基本路由选择 .....	82

4.4	路由器	84
4.5	下一代网际协议 IPv6	86
4.5.1	概述	86
4.5.2	头部格式	87
4.5.3	IPv6 的地址	90
4.5.4	IPv6 的扩展头部及其功能	92
4.6	传输控制协议 TCP	95
4.6.1	TCP 报头	95
4.6.2	TCP 服务	97
4.7	TCP/IP 与 ATM 结合	98
4.7.1	IP over ATM	98
4.7.2	IP 交换	100
4.8	IP over SDH	102
4.9	基于 IP 交换的集群路由	104
<b>第 5 章</b>	<b>多协议标记交换</b>	<b>106</b>
5.1	概述	106
5.2	多协议标记交换的发展	108
5.3	多协议标记交换的网络体系结构	110
5.3.1	多协议标记交换的总体框架	110
5.3.2	MPLS 的网络模型	112
5.4	多协议标记交换的基本原理	113
5.5	VC 合并技术	115
5.5.1	概述	115
5.5.2	SEAM 机制	115
5.5.3	VP 合并	116
5.5.4	DIDA 机制	117
5.5.5	阱树机制	117
5.5.6	AAL5X 机制	117
5.5.7	IETF 方案	118
5.5.8	今后还需改进的地方	118
5.6	路由环路控制	119
5.6.1	路由选择机制	119
5.6.2	传统路由循环控制	119
5.6.3	标记分发协议(LDP)	120
5.6.4	环路检测	121
5.6.5	环路防止算法	122
5.7	MPLS 的路由技术	124
5.8	MPLS 网络性能	125
5.9	MPLS 的流量工程	126
5.9.1	流量工程的目标	126
5.9.2	流量工程的工作原理	126
5.9.3	MPLS 的流量工程	128



5.9.4 MPLS 流量工程应用示例 .....	129
5.10 基于传统 ATM 骨干网的 MPLS 移植技术 .....	130
5.11 MPLS 支持虚拟专网 .....	132
5.11.1 概述 .....	132
5.11.2 覆盖 VPN 与 MPLS VPN .....	133
5.11.3 MPLS VPN 的工作原理 .....	134
5.11.4 MPLS VPN 的工作过程 .....	134
5.12 MPLS 的最新研究进展 .....	135
<b>第 6 章 多播</b> .....	<b>140</b>
6.1 概述 .....	140
6.2 IP 多播协议 .....	143
6.3 多播路由 .....	144
6.3.1 共享树 .....	144
6.3.2 源根节点的最短路径树 .....	144
6.4 扩散技术 .....	146
6.5 跨越树的多播路由算法 .....	148
6.6 约束 Steiner 树 .....	149
6.7 反向路径广播 .....	149
6.8 截断的反向路径广播 .....	150
6.9 反向路径多播 .....	151
6.10 核心树 .....	152
6.11 路由多播选择算法 KMB .....	154
6.12 动态多播路由选择算法 VTDM .....	156
6.13 限界最短多播算法 BSMA .....	158
6.14 适用于光纤网络的多播 MZQ 算法 .....	160
6.14.1 MZQ 路由算法 .....	160
6.14.2 MZQ 算法的波长分配 .....	160
6.15 多播的应用 .....	161
<b>第 7 章 宽带网络性能分析</b> .....	<b>163</b>
7.1 概述 .....	163
7.2 现代通信中的排队理论 .....	164
7.2.1 主要的排队分析法 .....	164
7.2.2 现代通信中排队系统的特点 .....	164
7.2.3 现代通信研究中常用的排队分析方法 .....	165
7.3 现代通信业务的自相似特性 .....	167
7.3.1 自相似性的性能 .....	168
7.3.2 关于自相似性对排队性能影响的实验 .....	168
7.3.3 自相似的业务建模 .....	170
7.3.4 基于自相似业务模型的性能分析 .....	170
7.4 拥塞控制 .....	171
7.4.1 相对高速率的信元插入 .....	171

7.4.2	信元时延偏差	172
7.4.3	网络对信元时延偏差的影响	173
7.4.4	UNI 上的信元时延偏差	173
7.5	流量控制	174
7.5.1	使用虚通道进行资源管理	176
7.5.2	连接允许控制	176
7.5.3	使用参数控制(UPC)	176
7.5.4	有选择地丢弃信元	181
7.5.5	通信量整形	182
7.6	ABR 通信量管理	182
7.6.1	ABR 速率控制	183
7.6.2	反馈机制	183
7.6.3	信元流	185
7.6.4	RM 信元的格式	186
7.6.5	ABR 容量分配	187
<b>第 8 章</b>	<b>网络管理</b>	<b>191</b>
8.1	网络管理的由来	191
8.2	网络管理的功能	192
8.2.1	故障管理	193
8.2.2	安全管理	193
8.2.3	性能管理	193
8.2.4	配置管理	194
8.2.5	计费管理	195
8.3	网络管理的实现	195
8.3.1	网络管理的模型	195
8.3.2	Internet 的网管模型	197
8.4	网络管理协议	198
8.5	几种流行的网络协议	199
8.5.1	SNMP	199
8.5.2	CMIS/CMIP	200
8.5.3	CMOT	200
8.5.4	LMMP	201
8.5.5	管理信息库 MIB	202
8.6	简单网络管理协议 SNMP	202
8.6.1	SNMP 的工作原理	202
8.6.1.1	SNMP 的安全机制	203
8.6.1.2	传输层的支持	204
8.6.1.3	SNMP 的局限性	204
8.6.2	对基本 SNMP 的完善	205
8.6.2.1	远程网络监视	205
8.6.2.2	安全 SNMP	206
8.6.3	SNMP 的发展	207
8.6.3.1	SNMP 版本 2(SNMPv2)	207

8.6.3.2	SNMP 版本 3(SNMPv3)	208
8.7	公共管理信息服务和公共管理信息协议(CMIS/CMIP)	208
8.7.1	SNMP,CMIP 和 CMOT 的比较	209
8.7.2	传输服务支持	209
8.7.3	协议操作方式	211
8.7.4	管理信息的标识	211
8.8	网络管理系统	211
8.9	网络管理系统的结构	212
8.10	设计网络管理系统的原则	213
8.11	现有网络管理平台	214
8.12	网络管理系统的发展趋势	215
<b>第 9 章</b>	<b>网络安全</b>	217
9.1	网络安全概述	217
9.2	网络安全的级别	219
9.3	网络安全策略	220
9.3.1	网络操作系统的安全性能	220
9.3.2	网络设计及硬件	223
9.3.2.1	安全设备	223
9.3.2.2	虚拟网络	224
9.4	虚拟专用网	225
9.4.1	VPN 的安全性	226
9.4.2	VPN 软件	227
9.5	入侵检测	227
9.6	防火墙	230
9.6.1	防火墙概述	230
9.6.2	防火墙的种类	230
9.6.3	防火墙产品	234
9.6.4	防火墙未来发展趋势	235
9.7	加密	235
9.7.1	单密钥体制	237
9.7.2	双密钥体制	237
9.7.3	一般的数据加密模型	239
9.8	常规密码体系	239
9.8.1	流密码	240
9.8.2	分组密码	240
9.8.3	DES 算法	241
9.9	公开密钥密码体制	242
9.9.1	RSA 公开密钥密码体制	242
9.9.2	数字签名	243
9.10	报文的鉴别	245
9.11	密钥分配	247
9.12	公钥证书	249

9.12.1	概述 .....	249
9.12.2	简单公钥设施 .....	252
9.13	网络安全的发展 .....	255
<b>第 10 章</b>	<b>千兆位以太网 .....</b>	<b>257</b>
10.1	概述 .....	257
10.2	千兆位以太网模型 .....	260
10.3	路由技术 .....	263
10.4	载波扩充 .....	264
10.5	帧突发 .....	266
10.5.1	帧突发工作原理 .....	266
10.5.2	帧突发性能分析 .....	268
10.5.2.1	理论最大吞吐效率 .....	268
10.5.2.2	突发能力对最坏情况效率的影响 .....	269
10.5.2.3	性能模拟测试——吞吐率 .....	269
10.5.2.4	性能模拟测试——延迟 .....	269
10.5.2.5	俘获效应 .....	269
10.6	半双工方式 .....	271
10.6.1	半双工配置 .....	271
10.6.2	半双工工作方式下的拓扑结构 .....	271
10.6.3	半双工工作方式比特预测分析 .....	272
10.7	全双工方式 .....	273
10.7.1	全双工中继器——带缓存的分发器 .....	274
10.7.2	全双工中继器——拥塞控制 .....	274
10.8	光纤通信技术 .....	275
10.8.1	概述 .....	275
10.8.2	同步数字系列 .....	276
10.8.3	波分复用 .....	276
10.8.4	IP over WDM .....	278
10.9	千兆位以太网技术的应用 .....	279
10.9.1	对交换机到交换机连接的升级 .....	279
10.9.2	对交换机到服务器连接的升级 .....	280
10.9.3	骨干网升级 .....	280
10.9.4	对高性能台式机升级 .....	281
10.10	未来的 10 Gb/s 以太网 .....	282
<b>第 11 章</b>	<b>移动计算 .....</b>	<b>283</b>
11.1	概述 .....	283
11.2	无线应用协议 .....	284
11.3	无线应用环境 .....	287
11.3.1	WAE 模型 .....	287
11.3.2	WAE 内容格式 .....	289
11.3.3	WML 编码器的实现 .....	290
11.4	移动计算机网络 .....	292

11.4.1	概述 .....	292
11.4.2	移动计算机网络的协议结构 .....	293
11.4.3	物理层 .....	295
11.4.4	数据链路层 .....	296
11.4.5	网络层 .....	297
11.4.6	传输层 .....	300
11.4.7	应用层 .....	301
11.5	移动主体 .....	303
<b>第 12 章</b>	<b>网络应用</b> .....	<b>305</b>
12.1	IP 电话 .....	305
12.1.1	概述 .....	305
12.1.2	IP 电话效果 .....	307
12.1.3	Internet 多媒体语音系统技术标准 H.323 .....	308
12.1.4	IP 电话的关键技术 .....	310
12.1.5	VoIP 的服务质量问题 .....	312
12.1.6	包丢失补偿 .....	313
12.1.7	回音补偿 .....	313
12.2	VoIP 嵌入式软件体系结构 .....	313
12.2.1	语音数据包软件模块 .....	315
12.2.2	电话信令网关软件模块 .....	317
12.2.3	网络数据包协议模块 .....	318
12.2.4	网络管理模块 .....	318
12.3	基于 IP 的视频业务 .....	319
12.3.1	视频业务 .....	319
12.3.2	相关技术 .....	321
12.3.3	服务质量 .....	323
12.3.4	基于信道和接收端状态的信源编码 .....	326
12.3.5	资源预留管理 .....	327
12.4	电子商务 .....	329
12.4.1	基于主体的电子商务平台的基本结构 .....	329
12.4.2	拍卖交易过程 .....	329
12.4.3	谈判支持 .....	330
12.4.4	信息自动获取 .....	331
12.5	智能信息平台 .....	332
12.5.1	搜索引擎 .....	332
12.5.2	数据挖掘 .....	334
12.5.3	信息检索 .....	335
12.6	网络教育 .....	336
12.6.1	网络教育的特点 .....	336
12.6.2	网络教育的技术框架 .....	337
12.6.3	基于主体的网络教育系统 .....	337
12.7	数字图书馆 .....	339
<b>参考文献</b>	.....	<b>342</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 信息基础设施

计算机与通信的结合深刻地影响和改变着人类的生产与生活方式,大大促进了人类文明的进步,使人类步入信息社会。在信息社会中,信息的获取、处理和传输是社会运行的首要任务。网络和信息系统是现代社会最重要的基础设施,成为国家进步和社会发展的基本需求,渗透到社会的各个领域,整个社会通过计算机网络联系在一起(见图 1.1)。

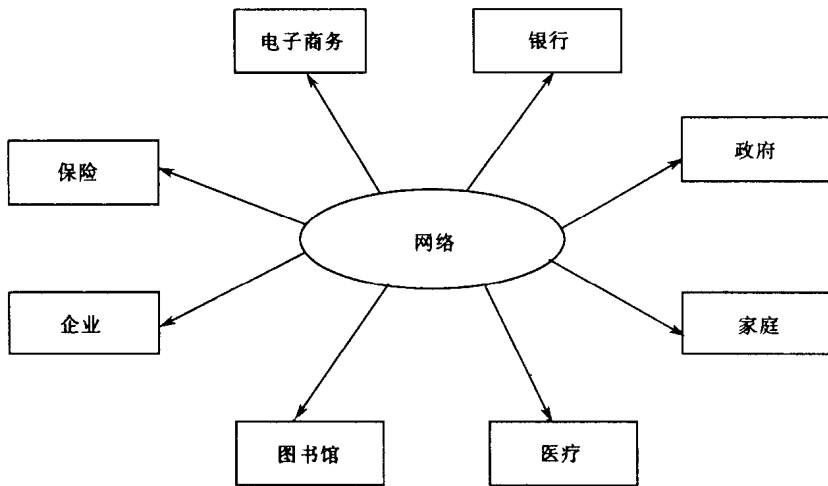


图 1.1 信息社会结构

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物,是信息化社会主要的基础设施。传统的通信只是进行信息的传递,而在计算机网络中,不仅可使信息传递得更快和更可靠,而且还可进行信息的收集、存储和加工处理,提供多样化的信息服务。网络互连技术的发展使整个社会实现网络化成为可能,并开始形成“社会网络化,网络社会化”的局面,它是当代高技术的生长点和经济发展的重要推动力。仅 Internet 就为美国创造了上万亿美元的新财富,大大地超过美国政府对网络研究的投资。1995 年到 1997 年,信息技术对美国经济增长的贡献率达三分之一以上。以仿真为基础的科学正在影响着工业。信息技术不仅对美国的经济增长、工作岗位的创造、劳动生产率和全球竞争力都有重大影响,而且是国家实现每一项重大目标的有力手段。美国为了保持在这个领域的领先地位,于 1993 年 9 月 15 日提出了“国家信息基础设施计划 NII”(National Information Infrastructure)。这一计划中提出,高速信息网是国家信息基础设施的一个重要组成部分。这在全球引起了普遍而强烈的反响,人们常用“信息高速公路”来拟称高速信息网。1994 年,NII 发展成为“全球信息基础设施计划(GII)”,新计划建议将各国的 NII 互连起来,组成世界范围的信息基础设施。1996 年,美国推出“下一代 Internet 网

络计划(NGI)”。1997年公布了“全球电子商务框架”。1998年进一步发展成为“数字经济”、“数字地球”。为了保持在21世纪的竞争优势,美国联邦政府于1999年1月24日推出了一项宏大的信息技术计划,称为“21世纪信息技术计划(IT2)”。这项计划是美国政府促进信息技术发展的重要举措,该项计划将与现有的“高性能计算计划(HPCC)”和NGI计划同时开展。

由于互联网的用户数以指数增长,计算机的性能迅速提高,互联网上多媒体应用增多,使IP互联网的业务和其他IP业务爆炸式地增长。在北美骨干网上的业务量已达到6~9个月左右翻一番,比著名的CPU性能进展的摩尔定律18个月翻一番还要快2~3倍。随着IP业务的持续指数增长,用不了几年,IP协议最终将在互联网、有线电视网和电话网中主导未来。

近年来,由于各国政府的倡导和介入,促使网络技术得到快速发展。例如,1996年美国支持的信息高速公路计划包括两个组成部分:1997年开始的下一代互联网(Next Generation Internet)和1996年开始的互联网2(Internet 2)。

下一代互联网的计划目标有3个:

(1) 发展网络技术,包括提高网络的可靠性、鲁棒性、安全性、服务质量和网络管理。为此,要建立两个测试环境。测试环境建立在美国政府网,如国家自然科学基金会(NSF)和MCI的VBNS网、国家航空航天局(NASA)的NREN网、国防部(DOD)的DREN网以及能源部(DOE)的ESNET网(1999年启动)。网络速度比现在快100倍,接入的大学和研究所超过100个。

(2) 提高网络能力,新建网络速度为现有网络速度的1000倍。如VBNS在2000年以前速度达到2.4 Gb/s。

(3) 加强应用研究,包括虚拟实验室、数字图书馆、分布式计算、远程教育和远程医疗等。

互联网2(Internet 2)是由美国政府支持的大学研究发展网络。该网络的传输依靠VBNS,该工程建设称为GiGaPoP,建设目标是将大学接入VBNS。截至1999年4月接入大学已达135所,接入点的速率可达10 Gb/s。

1998年互联网2(Internet 2)在网络技术方面的研究课题有以下9个:IPv4向IPv6过渡、路由、服务质量(QoS)、网络测量、网络管理、网络存储、网络拓扑结构、网络安全和多播技术(Multicast)。

## 1.2 网络的发展过程

### 1.2.1 通信的发展简史

以话音通信为目的而建立的PSTN电话网络经过近100年的发展,现在已经基本覆盖了世界的各个角落,它对人们的生活和社会的发展起着重要的推动和促进作用。目前,除PSTN网络外,信息网络还包括有线电视网和计算机通信网络,可以这样认为,电话网、有线电视网和计算机网络代表着当前信息产业的3个主要方面。传统上,由于PSTN网络悠久的历史 and 庞大的规模,其主要的业务,话音业务,在通信网络各种业务中一直占据着绝对的主导地位。但由于计算机和传输等各种技术的发展以及用户需求的多样性,这种格局正在发生着重大的变革。通信的发展过程如图1.2所示。

综合业务数字网(ISDN)是利用现有电话线路进行高速率数据通信的一门技术,它是为用

户提供多种电信业务和端到端数字连接的新型数字通信网。ISDN 起源于 1967 年,但是,直到 1980 年才明确定义。CCITT(现 ITU-T)对 ISDN 是这样定义的:“ISDN 是以综合数字电话网(IDN)为基础发展起来的通信网,能够提供端到端的数字连接,用来支持包括话音和非话音在内的多种电信业务。用户能够通过有限的一组标准化的多用途用户—网络接口接入网内”。普通模拟电话网采用数字传输和交换以后就变成 IDN,但在 IDN 中,从用户终端(比如,电话机)到电话局交换机之间仍是模拟传输,需要配备调制解调器(Modem)才能传送数字信号。ISDN 将从一个用户终端到另一个用户终端之间的传输全部数字化,包括了用户线部分,以数字形式统一处理各种业务,使用户可以获得数字化的优异性能。

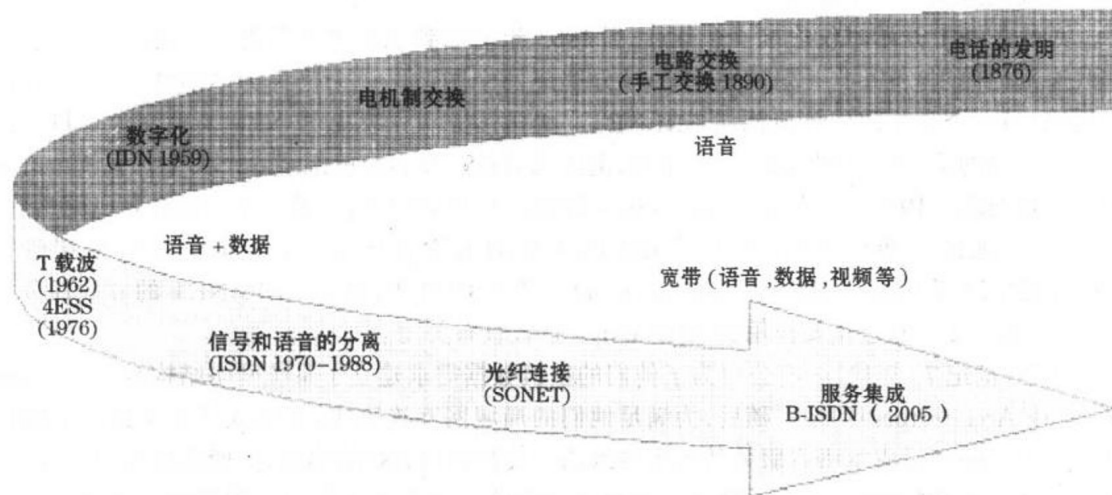


图 1.2 通信的发展过程

随着计算机技术的发展,电信网络也出现了 4 大变化:电信网络被越来越多地用于传输数据;电信部门正在提供越来越多的非话业务;电话网络数字化;电话网络的内在属性正在悄悄发生变化。通信介质的迅速光纤化为数据通信打下了基础。

在信息网络的各种业务中,以 IP 业务为主导的数据业务占据着越来越重要的地位,并且大有超过话音业务的势头。从世界范围来看,电话业务仍然保持着一定程度的发展,其发展速度大约在 5%~10%左右。而与此同时,以 IP 业务为主导的数据业务的增长速度高达 200%,远远超过了话音业务的发展速度。

数据业务的最大特性是非对称性,并具有突发性强的特点,所以,数据业务网一般采用的是分组交换模式,而不适合在传统的 PSTN 网络上进行数据传输。正是因为这样,在一些发达国家,有些传统的电信运营商开始缩减对 PSTN 网络的投资,转而大力发展其数据通信网络。

数据业务的高速发展和现有网络难以适应这种发展趋势意味着新的通信网络的出现。实际上,通信网络正由电路交换向分组交换转化。未来的通信网络是一个以数据业务为主导的宽带数据网络,它除了支持包括现在的 IP 业务在内的所有数据业务外,同样支持传统电话网络上的典型业务,如话音、传真和视频业务等。并且,随着市场的拓展和技术的进步,还将产生各种基于宽带数据网络的新的业务。

近几年来,我国数据网络的建设也加快了步伐,早期建设的 X.25 网络、DDN 网络已经覆盖了全国大多数地方,而中国计算机互联网(163)、中国公众多媒体网(169)、中国教育科



研网(CERNET)等正在逐步改变人们的生活。总之,宽带数据网络是未来通信网络的核心,它将成为各种网络融合的结合点,并成为各种现有业务和以后各种新业务的综合传输和应用平台。

## 1.2.2 计算机网络的发展

1966年6月,英国国家物理实验室(NPL)的戴维斯(Davies)首次提出分组(Packet)这一名词。1969年12月,美国的分组交换(Packet Switching)网 ARPANET 投入运行。从此,计算机网络的发展进入了一个新纪元。

ARPANET 开始时仅连接4个节点,到1983年增加到300多个节点,供美国各研究机构和政府部门使用。1984年,ARPANET 被分解成两个网络。一个仍称为 ARPANET,是民用科研网;另一个是军用计算机网络 MILNET。美国国家科学基金会 NSF 认识到计算机网络对科学研究的重要性,因此,从1985年起,美国国家科学基金会就围绕6个大型计算机中心建设计算机网络。1986年,美国国家科学基金会建立了 NSFNET,它是一个三级计算机网络,分为主干网、地区网和校园网,覆盖了全美国主要的大学和研究所。NSFNET 后来接管了 ARPANET,并将网络改名为因特网(Internet)。到了1990年,鉴于 ARPANET 的实验任务已经完成,在历史上起过重要作用的 ARPANET 正式宣布关闭。

在20世纪70年代,一些公司为了他们的主机数据需求建立了系统网络结构 SNA(System Network Architecture)网络。随后,为满足他们的局域网互连需求,又建立了基于路由器的网络。为公司提供低成本语音服务的需求导致用户交换机(PBX)的热销,一般采用专用线路(点到点语音通道)网络连接用户交换机。对视频会议的需求又引入了另一种网络。为了保持竞争优势,许多公司需要越来越多的网络服务,于是,网络种类的列表就不断地增长。

计算机和通信技术的迅速发展,促进了这两个领域的不断融合。现在,计算、交换和数字传输设备之间的界限已经模糊,数据、话音和图像传输都是用同样的数字技术。技术的融合和演变,加上对信息的及时采集、处理和传播的需求越来越多,导致对能够传输和处理所有类型数据的集成系统的开发。这一发展的最终目标是综合业务数字网(ISDN)。

ISDN 的目标是要建立一个世界范围的公用电信网络,用以代替现有的公用电信网,并且能够提供广泛种类的服务。尽管 ISDN 尚未被普遍实现,但它已经进入了发展过程中的第二代。第一代 ISDN,有时也称为窄带 ISDN(N-ISDN),它使用 64 kb/s 通道作为基本的交换单元,并且是面向电路交换的。N-ISDN 的主要技术贡献是产生了帧中继。第二代 ISDN,也称为宽带 ISDN(B-ISDN),它支持非常高的数据速率(几百兆比特每秒或更高),并且是面向分组交换的。B-ISDN 的主要技术贡献是产生了异步传输方式(ATM)。图 1.3 给出了计算机网络的发展过程。

## 1.2.3 Internet 的发展

20世纪90年代,由欧洲原子核研究组 CERN 开发的万维网 WWW(World Wide Web)在 Internet 上使用,大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用,使 Internet 迅猛发展。1991年,CERN 发布在线浏览器。1992年,NCSA 发布图形浏览器。

Internet 已经成为世界上规模最大、增长速度最快的计算机网络。图 1.4 给出了 Internet