

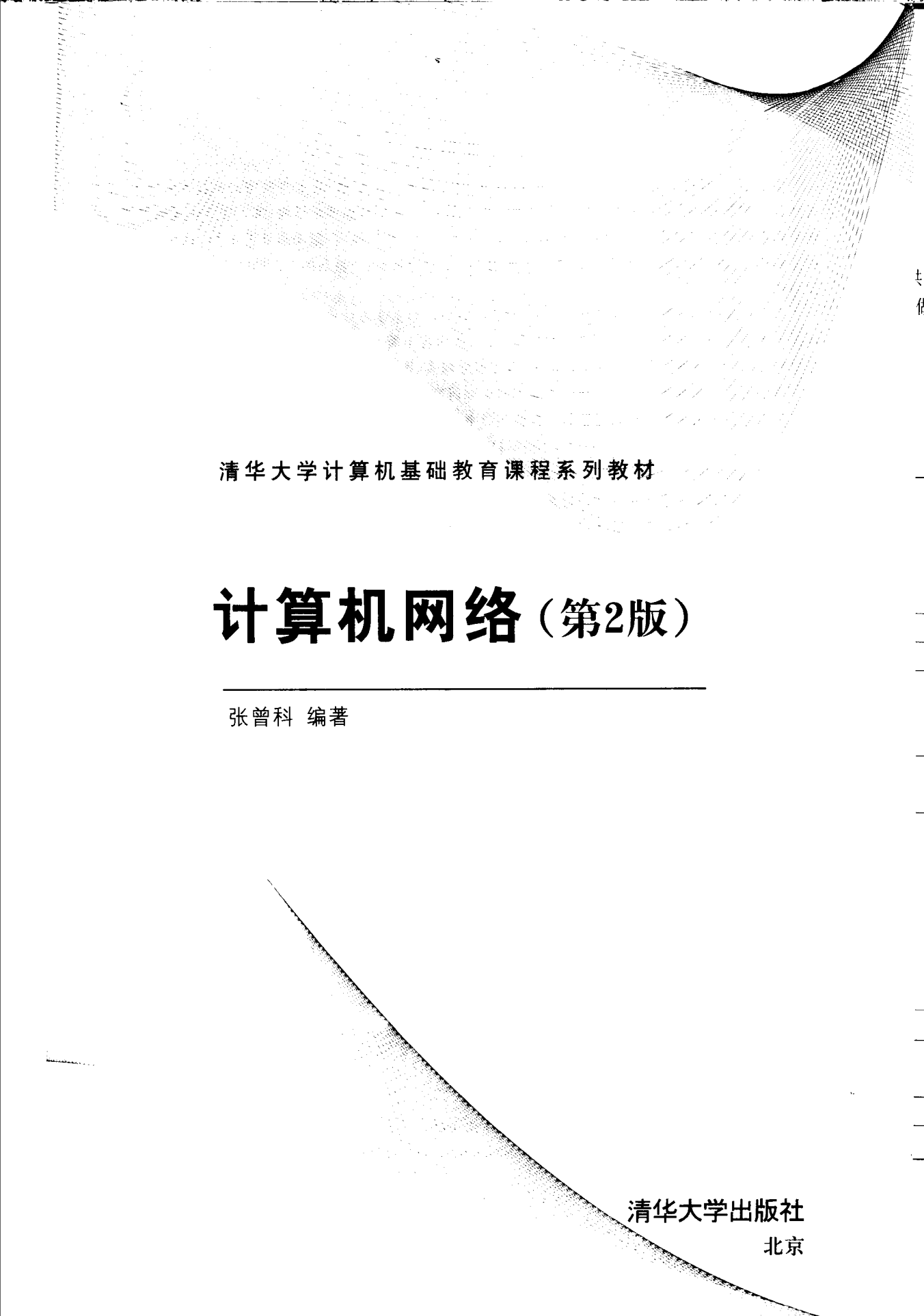
清华大学计算机基础教育课程系列教材

计算机网络（第2版）

张曾科 编著



清华大学出版社



清华大学计算机基础教育课程系列教材

计算机网络（第2版）

张曾科 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《计算机网络》的第2版,全面讲述计算机网络的基本原理、技术与应用。从技术内容上,全书共分5个部分。第1部分介绍计算机网络的基本概念、发展历程和体系结构,第2部分讲述数据通信技术和数据链路控制技术,第3部分讲述局域网,第4部分介绍广域网,第5部分讲述 Internet。从网络层次结构上,本书以计算机网络5层体系结构为主线进行讲述,这是目前国际上网络教材广泛采用的主流结构。

全书注重讲述计算机网络的基本概念和原理,这些内容是学习计算机网络技术的最重要的知识点。同时本书也力图反映计算机网络发展中的新技术,从内容上着重讲述迅速发展和广泛应用的 Ethernet 技术和 TCP/IP 网络技术。与第1版相比,内容更加翔实,重点更为突出。

本书可以作为高等院校非计算机专业本科生和研究生计算机网络课程的教材,也可供广大工程技术人员参考。本书将配套出版习题集和实验指导书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/张曾科编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2005.9

(清华大学计算机基础教育课程系列教材)

ISBN 7-302-11410-2

I. 计… II. 张… 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(2005)第080926号

出 版 者:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:张 龙

文稿编辑:顾 冰

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:27.5 字数:650千字

版 次:2005年9月第2版 2005年9月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11410-2/TP·7496

印 数:1~5000

定 价:34.00元

序

计算机科学技术的发展不仅极大地促进了整个科学技术的发展,而且明显地加快了经济信息化和社会信息化的进程。因此,计算机教育在各国备受重视,计算机知识与能力已成为 21 世纪人才素质的基本要素之一。

清华大学自 1990 年开始将计算机教学纳入基础课的范畴,作为校重点课程进行建设和管理,并按照“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”三个层次的课程体系组织教学:

第一层次“计算机文化基础”的教学目的是培养学生掌握在未来信息化社会里更好地学习、工作和生活所必须具备的计算机基础知识和基本操作技能,并进行计算机文化道德规范教育。

第二层次“计算机技术基础”是讲授计算机软硬件的基础知识、基本技术与方法,从而为学生进一步学习计算机的后续课程,并利用计算机解决本专业及相关领域中的问题打下必要的基础。

第三层次“计算机应用基础”则是讲解计算机应用中带有基础性、普遍性的知识,讲解计算机应用与开发中的基本技术、工具与环境。

以上述课程体系为依据,设计了计算机基础教育系列课程。随着计算机技术的飞速发展,计算机教学的内容与方法也在不断更新。近几年来,清华大学不断丰富和完善教学内容,在有关课程中先后引入了面向对象技术、多媒体技术、Internet 与互联网技术等。与此同时,在教材与 CAI 课件建设、网络化的教学环境建设等方面也正在大力开展工作,并积极探索适应 21 世纪人才培养的教学模式。

为进一步加强计算机基础教学工作,适应高校正在开展的课程体系与教学内容的改革,及时反映清华大学计算机基础教学的成果,加强与兄弟院校的交流,清华大学在原有工作的基础上,重新规划了“清华大学计算机基础教育课程系列教材”。

该系列教材有如下几个特色:

1. 自成体系:该系列教材覆盖了计算机基础教学三个层次的教学内容。其中既包括所有大学生都必须掌握的计算机文化基础,也包括适用于各专业的软、硬件基础知识;既包括基本概念、方法与规范,也包括计算机应用开发的工具与环境。

2. 内容先进:该系列教材注重将计算机技术的最新发展适当地引入教学中来,保持了教学内容的先进性。例如,系列教材中包括了面向对象与可视化编程、多媒体技术与应用、Internet 与互联网技术、大型数据库技术等。

3. 适应面广：该系列教材照顾了理、工、文等各种类型专业的教学要求。

4. 立体配套：为适应教学模式、教学方法和手段的改革，该系列教材中多数都配有习题集和实验指导、多媒体电子教案，有的还配有 CAI 课件以及相应的网络教学资源。

本系列教材源于清华大学计算机基础教育的教学实践，凝聚了工作在第一线的任课教师的教学经验与科研成果。我希望本系列教材不断完善，不断更新，为我国高校计算机基础教育做出新的贡献。



注：周远清，曾任教育部副部长，原清华大学副校长、计算机专业教授。

前言

计算机网络特别是 Internet 的产生和发展在现代科学技术史上具有划时代的意义和影响。计算机网络为人们在全世界范围内的信息交流铺设了四通八达的信息高速公路。

用日新月异来形容计算机网络技术的飞速发展并不为过。以太网是局域网的主流网络,历经 30 年的发展,其传输速率从 10Mb/s、100Mb/s、1 000Mb/s 到今天的 10Gb/s,以太网近期的发展速度超过了摩尔定律。当今计算机网络发展到 Internet 时代,它以惊人的速度在发展扩大。人们难以准确地统计 Internet 上的计算机数目,它每天都在增长。根据中国互联网信息中心(CNNIC)的统计,截止到 2004 年 12 月 31 日,我国上网计算机数为 4 160 万台,比 2003 年同期增长 34.3%;上网网民 9 400 万,次于美国居世界第二,同比增长 18.2%;建设网站 66.89 万个,同比增长 12.3%;互联网国际出口带宽 74 429Mb/s,同比增长 173.5%。

计算机网络彻底改变了人们的工作和生活方式,改变了企事业单位的运营和管理方式。人们可以在网上进行电子商务、网络会议、远程教学和医疗会诊。发往大洋彼岸的电子邮件很快就可以送达。异国图书馆的文献资料片刻就可以查阅下载。坐在计算机前,人们就可以浏览全世界网站上的信息,小小的屏幕连接了全球。人们切切实实地感受到生活在地球村的美妙。

今天,掌握计算机网络知识和技术已经成为人们特别是青年一代必备的技能。

本书讲述计算机网络的基本原理、技术与应用。全书共分 5 个部分,共 15 章。第 1 部分介绍计算机网络的基本概念、发展历程和体系结构;第 2 部分讲述数据通信技术和数据链路控制技术,涉及计算机网络的物理层和数据链路层;第 3 部分讲述局域网;第 4 部分介绍广域网;第 5 部分讲述 Internet,主要是 TCP/IP 技术,涉及计算机网络的网络层、传输层和应用层。

从计算机网络体系结构的角度,本书以物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层 5 层体系结构层为主线进行讲述,这也是目前国际上计算机网络教材编排的主导的层次结构。

本书注重讲述计算机网络的基本概念和原理。虽然计算机网络发展迅速,各种技术层出不穷,但是计算机网络的基本概念和原理,是学习计算机网络技术的最重要的知识点。同时,本书也力图反映计算机网络发展中的新技术,使读者跟上网络技术飞速发展的潮流。本书内容上侧重 Ethernet 技术和 TCP/IP 网络技术,它们是计算机网络发展的主流技术,得到了最迅速的发展和最广泛的应用。

本书是在清华大学非计算机专业研究生计算机网络教学的基础上逐年积累编写的。可以作为高等院校非计算机专业本科生和研究生的计算机网络课程的教材,也可作为广大工程技术人员从事计算机网络学习、使用和研究的参考书。教学中,可以根据教学对象

和学时等具体情况对书中的内容进行裁减和组合,目录中加注“*”的部分可以作为教学的基本要求和内容,其他部分适当扩展,学时为 32~64 学时。近期本书将配套出版习题集和实验指导书。

本书使用的技术名词和术语,基本参照全国科学技术名词审查委员会公布的“计算机科学技术名词(第二版)”(科学出版社,2002)。

由于作者的学识和水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,殷切希望广大读者批评指正。

作者 张曾科
2005 年春于清华园

目 录

第 1 部分 计算机网络及其体系结构

第 1 章 计算机网络概述	3
* 1.1 计算机网络的基本概念	3
1.1.1 什么是计算机网络	3
1.1.2 计算机网络的分类	5
* 1.2 计算机网络的发展历程	10
1.2.1 计算机网络的产生	10
1.2.2 分组交换网的出现	10
1.2.3 计算机网络体系结构的形成	13
1.2.4 局域网的产生和发展	14
1.2.5 Internet 时代	14
1.3 计算机网络技术国际标准化组织	17
习题	19
第 2 章 计算机网络体系结构	20
* 2.1 ISO/OSI 体系结构	20
2.1.1 开放系统互连参考模型(OSI/RM)	20
2.1.2 ISO/OSI 的一些基本概念	22
2.1.3 ISO/OSI 各层基本功能	24
* 2.2 TCP/IP 体系结构	27
2.2.1 TCP/IP 及其发展	27
2.2.2 TCP/IP 体系结构	27
* 2.3 5 层体系结构	29
习题	30

第 2 部分 数据通信与链路控制

第 3 章 数据通信技术	33
* 3.1 概述	33
* 3.2 数据通信系统的性能指标	35
3.2.1 信息传输速率和码元传输速率	35

3.2.2	时延和时延带宽积	36
3.2.3	误码率和误比特率	37
3.2.4	奈奎斯特准则与香农定理	38
* 3.3	数据传输方式	39
3.3.1	单工、全双工和半双工传输	39
3.3.2	异步传输和同步传输	39
3.3.3	频带传输与基带传输	42
3.4	调制解调技术	43
* 3.4.1	幅移键控(ASK)	44
* 3.4.2	频移键控(FSK)	44
* 3.4.3	相移键控(PSK)	44
3.4.4	多级调制和幅相键控(APK)	44
* 3.5	编码解码技术	45
3.5.1	不归零制编码	46
3.5.2	曼彻斯特编码	46
3.5.3	差分曼彻斯特编码	47
3.5.4	mB/nB 编码	47
3.5.5	多进制编码	48
3.6	信道复用技术	49
* 3.6.1	频分多路复用(FDM)	49
* 3.6.2	时分多路复用(TDM)	50
* 3.6.3	统计时分多路复用(STM)	50
3.6.4	准同步数字系列(PDH)	51
* 3.6.5	同步数字系列(SDH)	53
* 3.6.6	波分多路复用(WDM)	56
* 3.7	传输媒体	57
3.7.1	双绞线	57
3.7.2	同轴电缆	58
3.7.3	光纤	58
3.7.4	无线传输	60
习题		62
第4章	数据链路控制	64
4.1	数据链路控制机制	64
* 4.1.1	引言	64
* 4.1.2	滑动窗口机制	65
* 4.1.3	停等 ARQ	66
* 4.1.4	回退-N ARQ	68

4.1.5 选择重传 ARQ	70
* 4.2 差错校验	71
4.2.1 奇偶校验	71
4.2.2 循环冗余校验	71
4.2.3 校验和	73
4.3 高级数据链路控制规程(HDLC)	74
* 4.3.1 HDLC 链路配置和工作模式	74
4.3.2 HDLC 帧格式和传输控制	75
4.4 因特网数据链路控制协议 PPP	78
习题	81

第3部分 局 域 网

第5章 局域网体系结构	85
* 5.1 IEEE802 局域网体系结构	85
5.1.1 IEEE802 L&MAN/RM	85
5.1.2 媒体接入控制(MAC)子层	87
5.1.3 逻辑链路控制(LLC)子层	90
5.2 城域网(MAN)	91
习题	93
第6章 以太网	94
* 6.1 以太网的发展	94
6.2 以太网媒体接入控制方式 CSMA/CD	96
* 6.2.1 随机接入技术先驱 ALOHA	96
* 6.2.2 CSMA 工作机理	98
* 6.2.3 CSMA/CD 工作机理	99
* 6.2.4 CSMA/CD 传输特点	106
6.2.5 CSMA/CD 性能	107
6.3 以太网帧格式和数据封装	110
* 6.3.1 以太网帧格式	110
6.3.2 以太网数据封装	112
6.4 传统以太网	113
* 6.4.1 物理层、网络接口卡和中继器	113
* 6.4.2 粗缆以太网 10Base5	116
* 6.4.3 细缆以太网 10Base2	116
* 6.4.4 双绞线以太网 10BaseT	117
6.4.5 光纤以太网 10BaseF	120

* 6.5	高速以太网	121
6.5.1	100BaseT	121
6.5.2	千兆以太网	125
6.5.3	万兆以太网	129
6.6	全双工以太网	132
* 6.6.1	全双工以太网的特点	132
6.6.2	全双工以太网的流量控制	133
* 6.7	交换式以太网	134
6.7.1	网桥	135
6.7.2	交换机	137
6.7.3	交换式以太网及其特点	139
6.8	虚拟局域网(VLAN)	141
* 6.8.1	VLAN 及其特点	141
6.8.2	VLAN 划分	142
6.8.3	VLAN 帧格式	142
6.8.4	VLAN 运行	143
习题		144
第 7 章	非主流局域网	147
7.1	令牌环	147
7.1.1	令牌环的拓扑结构和传输方式	147
7.1.2	令牌环帧格式	149
7.1.3	优先级控制与令牌维护	150
7.2	令牌总线	151
7.3	光纤分布数据接口(FDDI)	152
7.3.1	FDDI 及其特点	152
7.3.2	FDDI 网络结构	154
习题		155
第 8 章	无线局域网(WLAN)	156
* 8.1	IEEE802.11 WLAN 网络结构	156
8.2	IEEE802.11 WLAN 协议	157
8.2.1	物理层	157
8.2.2	MAC 层	158
习题		164

第4部分 广域网

第9章 广域网传输控制机制	167
* 9.1 数据交换技术	167
9.1.1 电路交换	168
9.1.2 报文交换	168
9.1.3 分组交换	168
* 9.2 分组转发和动态路由	170
9.2.1 分级的编址方案	170
9.2.2 分组转发机制	171
9.2.3 动态路由和路由算法	172
* 9.3 拥塞控制	173
9.3.1 网络拥塞现象	173
9.3.2 拥塞控制的基本策略	174
习题	176
第10章 广域网实例	177
10.1 帧中继(FR)	177
* 10.1.1 帧中继交换	177
10.1.2 帧中继体系结构	178
10.1.3 帧中继帧格式	178
10.1.4 帧中继拥塞控制	180
10.2 异步传输模式(ATM)	181
* 10.2.1 综合业务数字网(ISDN)	181
* 10.2.2 信元交换	182
* 10.2.3 ATM 协议模型	183
10.2.4 ATM 服务质量和服务类型	188
10.2.5 ATM 通信量控制	191
10.3 宽带接入网	192
10.3.1 非对称数字用户线(ADSL)	193
10.3.2 混合光纤同轴电缆网(HFC)	195
习题	197

第5部分 Internet

第11章 网际层	201
* 11.1 网际协议(IP)	201
11.1.1 概述	201

11.1.2	分类 IPv4 地址及子网划分	204
11.1.3	地址解析协议(ARP)	207
11.1.4	IP 数据报格式	211
11.1.5	IP 数据报的分片与重组	213
11.1.6	IP 数据报转发	216
11.1.7	IP 数据报选项	221
11.1.8	因特网控制报文协议(ICMP)	223
11.1.9	无类别域间路由	226
11.2	路由算法和路由协议	229
* 11.2.1	Internet 两类路由协议	229
11.2.2	距离矢量路由算法	230
11.2.3	最短路径优先路由算法(SPF)	233
11.2.4	路由信息协议(RIP)	235
11.2.5	开放最短路径优先协议(OSPF)	239
11.2.6	边界网关协议(BGP)	244
11.3	因特网组管理协议(IGMP)	248
11.3.1	多播	248
11.3.2	IP 多播组地址及其转换	249
11.3.3	IGMP 协议	250
11.3.4	距离矢量多播路由协议(DVMRP)	252
11.4	下一代网际协议 IPv6	257
* 11.4.1	IPv6 产生的背景和特点	257
11.4.2	IPv6 数据报格式	258
11.4.3	IPv6 地址空间及其表示方法	261
11.4.4	IPv6 地址格式	263
11.4.5	IPv4 向 IPv6 过渡	265
11.5	IP over ATM、SDH 和 DWM	268
11.5.1	IP over ATM	268
11.5.2	多协议标记交换(MPLS)	271
11.5.3	IP over SDH	274
11.5.4	IP over WDM	275
习题		276
第 12 章	传输层	280
* 12.1	传输层端口	280
12.1.1	端口及其作用	280
12.1.2	传输层的复用和解复用	282
* 12.2	用户数据报协议(UDP)	283

12.2.1	UDP 用户数据报	283
12.2.2	UDP 伪报头	283
12.2.3	UDP 的特点	284
* 12.3	传输控制协议(TCP)	285
12.3.1	TCP 的编号与确认	285
12.3.2	TCP 报文段	286
12.3.3	TCP 连接管理	290
12.3.4	TCP 重传机制	293
12.3.5	TCP 流量控制	297
12.3.6	TCP 拥塞控制	300
习题		304
第 13 章	应用层	306
* 13.1	网络应用模式	306
13.1.1	客户-服务器模式	306
13.1.2	浏览器-服务器模式	308
13.2	域名系统(DNS)	308
* 13.2.1	Internet 域名结构	309
* 13.2.2	域名解析	310
13.2.3	Windows 因特网命名服务(WINS)	314
13.3	远程登录协议(Telnet)	315
13.3.1	Telnet 工作原理	316
13.3.2	网络虚拟终端(NVT)	317
13.3.3	Telnet 命令	318
13.3.4	Telnet 选项协商	318
13.4	文件传送协议(FTP)	319
13.4.1	FTP 的客户-服务器模式	319
13.4.2	FTP 访问控制	321
13.5	电子邮件(E-mail)	321
* 13.5.1	电子邮件系统	321
13.5.2	电子邮件的信息格式	323
* 13.5.3	简单电子邮件传送协议(SMTP)	326
* 13.5.4	邮局协议(POP)	327
13.6	万维网(WWW)	328
* 13.6.1	万维网工作原理	328
* 13.6.2	统一资源定位符(URL)	333
* 13.6.3	超文本传送协议(HTTP)	334
* 13.6.4	超文本标记语言(HTML)	337

13.6.5	动态 Web 文档技术	339
13.6.6	活动 Web 文档技术	343
13.7	多媒体传输	345
13.7.1	多媒体及其传输	345
13.7.2	实时传输协议(RTP)与实时传输控制协议(RTCP)	347
13.7.3	H.323 和会话发起协议(SIP)	353
13.7.4	综合服务(IntServ)与资源预留协议(RSVP)	357
13.7.5	区分服务(DiffServ)	363
* 13.8	动态主机配置协议(DHCP)	366
13.9	简单网络管理协议(SNMP)	367
* 13.9.1	SNMP 网络管理系统组成	367
13.9.2	SNMP 协议	369
13.9.3	管理信息结构(SMI)	372
13.9.4	管理信息库(MIB)	375
习题		376
第 14 章	Socket 网络通信程序设计	379
14.1	套接字 Socket	379
14.1.1	网络应用程序编程接口	379
14.1.2	Socket 机制	380
14.2	Socket 网络通信程序设计	381
14.2.1	Socket 的创建与关闭	381
14.2.2	绑定本地地址	382
14.2.3	建立连接	384
14.2.4	数据发送与接收	386
14.2.5	客户-服务器模式的 Socket 实现框架	389
习题		392
第 15 章	网络安全	393
* 15.1	网络安全问题概述	393
15.2	密码学基础	394
* 15.2.1	概述	394
15.2.2	对称密钥密码体制与 DES 算法	395
15.2.3	公开密钥密码体制与 RSA 算法	398
15.3	数字签名和报文摘要	401
15.3.1	数字签名	401
15.3.2	报文摘要	402
15.4	身份认证和密钥分发	403

15.4.1	基于对称密钥的认证和密钥分发	404
15.4.2	基于公钥的认证和公钥分发	405
15.5	Internet 网络安全技术	407
* 15.5.1	防火墙技术	407
15.5.2	网际层安全技术	411
15.5.3	传输层安全技术	415
15.5.4	应用层安全技术	416
15.5.5	虚拟专用网(VPN)	418
习题		419
参考文献		421

第1部分

计算机网络及其体系结构

作为本书的开始,本部分先对计算机网络进行概述,然后给出其体系结构,使读者首先对计算机网络的基本概念和整体架构有一个总体认识。在随后的各个部分,我们将以体系结构为主线,自下而上展开介绍。

第1章 计算机网络概述

- 1.1 计算机网络的基本概念
- 1.2 计算机网络的发展历程
- 1.3 计算机网络技术国际标准化组织

第2章 计算机网络体系结构

- 2.1 ISO/OSI 体系结构
- 2.2 TCP/IP 体系结构
- 2.3 5层体系结构