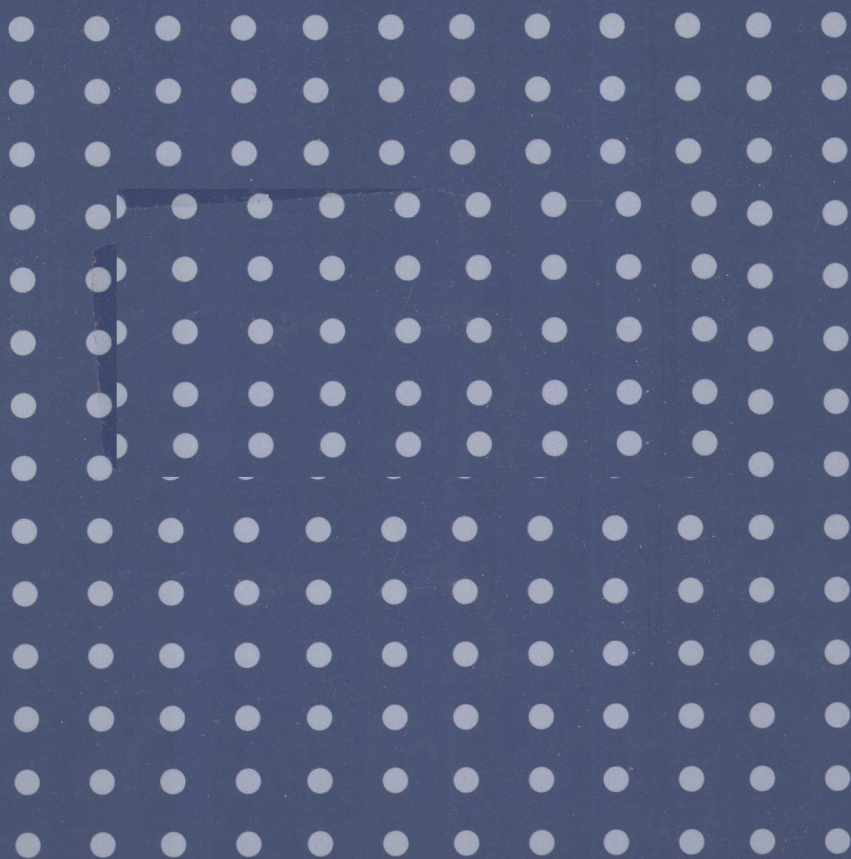


重点大学计算机专业系列教材

计算机网络

李成忠 靳桅 刘捷 李望 编著



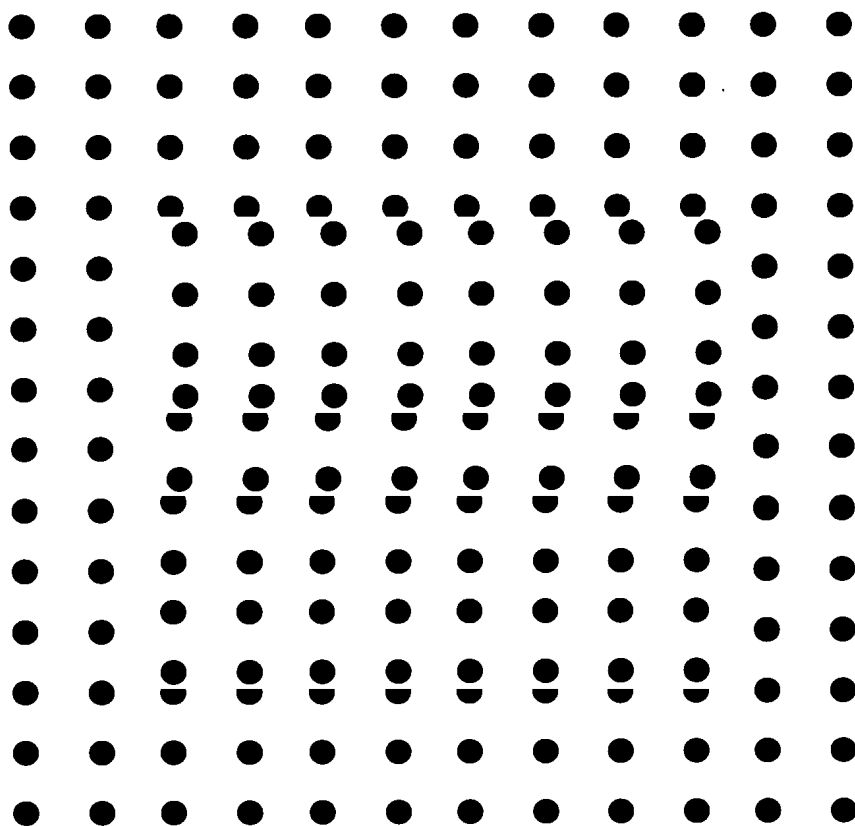
清华大学出版社



重点大学计算机专业系列教材

计算机网络

李成忠 靳桅 刘捷 李望 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书分为 11 章,系统而深入地介绍了计算机网络的基本原理、体系结构与协议,网络各层次的主要问题、解决办法和相关技术,网络设备和网络设计及建网问题,以及计算机网络通信技术的发展。各章均有一定数量的习题,所有习题均提供参考答案。

通过本书的学习,读者将对计算机网络的体系结构和各层次的主要问题、解决的方法及相关技术有一个初步的掌握,为进一步的学习和研究打下较为坚实的基础。

本书适合作为电子信息类高年级本科生和研究生的教材。对本书内容加以适当的选择并对教学计划加以合适的调整后,也可供专科生使用。此外本书也适合电子信息、机械、电气、土木工程、管理工程、交通运输、财经等领域的广大科技人员作为参考书阅读和自学。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/李成忠等编著. —北京:清华大学出版社,2010.7

(重点大学计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-19917-5

I. ①计… II. ①李… 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(2010)第 067240 号

责任编辑:付弘宇 张为民

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:29.5 字 数:732 千字

版 次:2010 年 7 月第 1 版 印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00 元

产品编号:029007-01

出版说明

随着国家信息化步伐的加快和高等教育规模的扩大,社会对计算机专业人才的需求不仅体现在数量的增加上,而且体现在质量要求的提高上,培养具有研究和实践能力的高层次的计算机专业人才已成为许多重点大学计算机专业教育的主要目标。目前,我国共有 16 个国家重点学科、20 个博士点一级学科、28 个博士点二级学科集中在教育部部属重点大学,这些高校在计算机教学和科研方面具有一定优势,并且大多以国际著名大学计算机教育为参照系,具有系统完善的教学课程体系、教学实验体系、教学质量保证体系和人才培养评估体系等综合体系,形成了培养一流人才的教学和科研环境。

重点大学计算机学科的教学与科研氛围是培养一流计算机人才的基础,其中专业教材的使用和建设则是这种氛围的重要组成部分,一批具有学科方向特色优势的计算机专业教材作为各重点大学的重点建设项目成果得到肯定。为了展示和发扬各重点大学在计算机专业教育上的优势,特别是专业教材建设上的优势,同时配合各重点大学的计算机学科建设和专业课程教学需要,在教育部相关教学指导委员会专家的建议和各重点大学的大力支持下,清华大学出版社规划并出版本系列教材。本系列教材的建设旨在“汇聚学科精英、引领学科建设、培育专业英才”,同时以教材示范各重点大学的优秀教学理念、教学方法、教学手段和教学内容等。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

1. 面向学科发展的前沿,适应当前社会对计算机专业高级人才的培养需求。教材内容以基本理论为基础,反映基本理论和原理的综合应用,重视实践和应用环节。

2. 反映教学需要,促进教学发展。教材要能适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向。在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

3. 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材建设的重点依然是专业基础课和专业主干课;特别注意选择并安排了一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现重点大学

计算机专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

4. 主张一纲多本,合理配套。专业基础课和专业主干课教材要配套,同一门课程可以有多本具有不同内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化的关系;基本教材与辅助教材以及教学参考书的关系;文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

5. 依靠专家,择优落实。在制订教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

教材编委会

计算机网络已经成为高等学校普遍开设的学科技术基础课程。计算机网络立足于电子信息基础之上,在信息技术其他学科基础课程和专业课程(如操作系统、数据库、通信技术、软件工程、程序设计等)的支持下,直接为电子商务、电子政务、金融、国防和国家安全、远程测控、MIS、远程教育及医疗等应用服务,在电子信息类专业的知识结构中起着承上启下的关键作用。

计算机网络课程教学方面存在的问题,从教与学两方面都有所反映。一些研究生,在学过多门计算机网络课程(如计算机网络、计算机网络理论与设计、网络工程、网络通信基础、网络编程、Internet 技术等)之后,才认为真正懂得了计算机网络;一些本科生又从另一极端反映:“计算机网络就是些概念,太简单”,但一接触实际,很多概念又不大清楚,动手能力差。而教师们则深感要在有限时间把计算机网络的概念、原理讲清楚,而又能结合实际,殊非易事。这些情况表明,除了教学方法和设施的改进之外,还迫切需要较好的计算机网络教材。

基于上述认识,在四川省实施的“新世纪四川省高等教育教学改革工程”的“高等教育人才培养方案及课程体系和教学内容的改革项目”中,我们申报并承担了“计算机网络课程教学内容体系改革与实验环境建设研究”项目。本书就是上述研究项目的成果之一,并于 2005 年 11 月立项为西南交通大学重点教材研究课题。

如何用有限的篇幅系统而又全面地介绍计算机网络技术全貌,使读者能在较短时间内掌握计算机网络的基本原理、体系结构、网络技术的发展趋势,这就是我们编写本书的目的。计算机技术和通信技术的快速发展使计算机网络的新技术和新标准不断面世,用技术爆炸来形容,一点也不过分。在这种技术进步日新月异的情况下,编写教材最难的就是内容的选取。通过对《中国计算机科学与技术学科教程 2002》的深入领会和三十年来从事计算机网络教学科研的实践,我们认为,重要的是在教材中把基本原理讲清楚,具体地说,就是要把计算机网络的体系结构(包括 ISO/OSI RM 和 TCP/IP 协议族)讲清楚,这是学好计算机网络的关键,这种观点正逐步被越来越多的人所接受;理论必须与实际相结合,但不应该把教材写成网络产品的说明书;教材不应

写成计算机网络标准文档的缩写本；教材要强调严谨性，要重视理论分析和应用；内容要贴近教学，应该有利于教师组织课堂教学，容易转变为教师的讲稿，也应有利于学生的复习和自学；适当介绍新的技术发展，以开阅读者的眼界。

本书的取材原则是：

(1) 介绍计算机网络的原理。只要有利于读者建立起计算机网络的概念，即使是计算机网络早期的技术，也不必因其“过时”而轻易抛弃，例如对 X.25 的介绍就是这样。

(2) 联系实际，但要掌握好“度”。重点关注在实际中经常用到的知识，例如，局域网的冲突域概念，在网络建设中十分重要，应该重点讨论；又例如，路由选择在 Internet 的建设中也很重要，要把概念介绍清楚。

(3) 对协议的介绍，重在原理和概念。

面对计算机网络涉及的如此广泛的技术问题，唯一的办法是选材要少而精。例如路由选择，要讲清关键点：物理编址、下一站转发、源地址独立性、层次地址与路由的关系、缺省路由等。面对大量具体的路由算法，只要把关键的 Dijkstra 算法和一个典型的 VD(矢量距离)算法讲清楚就可以了。而对 VD 算法又可以分阶段循序渐进逐步深化。例如，可在介绍一个网络内的路由选择时，介绍 VD 的原理(算法)；而在学习 Internet 时，再从互联网角度介绍；最后，在学习路由器时，总结性地介绍在 IP 中如何具体使用 VD 算法。通过这样安排，学生对路由选择的掌握普遍较好。

本书在取材方面的一些具体考虑如下：

(1) 具有适当深度的理论内容。对计算机网络教学的最大误解是，把它降低到单纯网络产品的介绍和配置、使用以及操作的应用培训课程。本科生和研究生应当掌握适当深度的理论内容，否则，很难说他们真正学懂了计算机网络。为此，本书第 2 章介绍网络排队模型，以便为计算机网络资源共享及链路容量优化等设计问题准备适当的理论基础。有限状态机和 Petri 网模型，则用于对协议的理解和验证。

(2) 既要覆盖计算机网络的基本内容，但又应该重点突出。例如，路由选择和局域网的冲突域就应该是重点，但又要设法将计算机网络技术的全貌展现给读者。

(3) 对计算机网络通信技术及发展，如 ISDN、帧中继、ATM、MPLS、接入网技术、DWDM、RPR、NGN、软交换、主动网络、网格等进行适当介绍。

(4) 链路容量优化、建网技术和方法等都是网络应用中的重要问题。结合我们的研究工作，对上述问题进行了简要的介绍，希望能对读者有所帮助。

本书的建议学时数为 80 学时，当教学学时数不足时，教师可根据情况适当裁减。

本书由李成忠主编，参加编写的同志及各自完成的工作如下：

李成忠编写第 1 章、第 2 章、第 6 章和第 8 章，以及大部分习题参考答案；靳桅编写第 3 章、第 4 章和第 11 章；刘捷编写第 5 章和第 7 章，并制作本书的电子课件；李望编写第 9 章和第 10 章，以及部分习题参考答案。

感谢四川省实施的“新世纪四川省高等教育教学改革工程”的“高等教育人才培养方案及课程体系和教学内容的改革项目”对本书的支持，感谢西南交通大学将本书作为重点教材研究课题立项所给予的支持。在本书的编写过程中参考了国内外有关论著(详见参考文献)，谨向这些论著的作者们致以深切的谢意。

本书的主要内容已在研究生和本科生的相关课程中进行了讲授，我们从学生那里获得

了很多宝贵建议,在此表示感谢。同时,向所有的同事和亲友致以真挚的谢意。

谨向诸位恩师致谢,他们是何成宣、罗士杰、陈铁风、冯达福、王澄民、陈声扬、蒋南翔、曹建猷、靳蕃等老师。在我心中,他们首先是以其高尚的人格引导我永远热爱祖国的人师,其次,他们才是传道、授业、解惑的经师。可以这样说,如果缺少了他们中间的任何一位,都不会有今天的我,作为学生我永怀感恩之心。

限于编著者的水平和视野,书中定有错误和不妥之处,敬请读者指教。

李成忠

2010年6月

于西南交通大学

第 1 章 计算机网络技术概论	1
1.1 计算机网络的一般概念	1
1.1.1 计算机网络定义	1
1.1.2 计算机网络的功能	1
1.1.3 计算机网络的分类	2
1.1.4 计算机网络的组成	4
1.2 计算机网络体系结构与协议	5
1.2.1 协议与服务	5
1.2.2 ISO/OSI RM	8
1.2.3 计算机网络发展简况	10
1.2.4 OSI 模型和 TCP/IP 的比较	17
1.3 Internet 概况	18
1.3.1 Internet 发展过程	18
1.3.2 Internet 的结构	19
1.3.3 中国互联网的发展	20
1.4 分组交换网中的延迟	23
1.4.1 分组通过路由器时经历的延迟	23
1.4.2 区分发送时间和传播延迟	24
习题	25
第 2 章 网络排队模型及其应用	28
2.1 排队模型概述	28
2.1.1 网络性能指标	28
2.1.2 排队模型	29
2.2 M/M/1 排队模型	32
2.2.1 报文到达及发送过程	32
2.2.2 排队系统参数分析	38

2.2.3	利特尔定律	42
2.2.4	$\gamma\%$ 时延	48
2.3	M/D/1 排队模型	49
2.4	计算机网络优化设计研究	50
2.4.1	计算机网络设计问题	50
2.4.2	计算机网络链路容量优化设计	51
2.4.3	设计举例	53
习题		55
第3章	物理层	59
3.1	数据传输基本原理	59
3.1.1	数据传输系统组成	60
3.1.2	数据通信基础	61
3.1.3	传输介质	64
3.1.4	信道的极限容量	69
3.1.5	模拟传输与数字传输	71
3.2	常用的物理层标准	79
3.2.1	物理层接口(DTE/DCE)特性	79
3.2.2	EIA-232-E 接口标准	79
3.2.3	RS-449 接口标准	83
3.3	接入网技术	84
3.3.1	ADSL 接入技术	84
3.3.2	光纤同轴混合网	87
3.3.3	FTTx 接入方式	90
习题		92
第4章	数据链路层	95
4.1	数据链路层的基本概念	95
4.1.1	链路	96
4.1.2	链路层提供的服务和功能	98
4.1.3	数据链路连接与物理连接的区别	104
4.2	停止等待协议	105
4.2.1	数据链路协议基础	105
4.2.2	停止等待协议的算法	105
4.3	连续 ARQ 协议	107
4.3.1	连续 ARQ 协议的工作原理	107
4.3.2	滑动窗口控制	108
4.4	选择重传 ARQ 协议	110
4.5	HDLC	110

4.5.1	HDLC 的产生	110
4.5.2	HDLC 的基本工作方式	111
4.5.3	HDLC 的主要内容	112
4.6	PPP	119
4.6.1	Internet 中常用的数据链路层协议	119
4.6.2	PPP 简介	120
4.7	协议的形式描述和有限状态机	125
4.7.1	有限状态机模型	125
4.7.2	Petri 网模型	127
4.7.3	协议的验证	128
习题		130
第 5 章 网络层		134
5.1	广域网的基本概念	134
5.1.1	网络层和广域网	134
5.1.2	广域网的构成和存储转发	136
5.1.3	局域网经广域网互连	136
5.1.4	网络层的服务	137
5.1.5	虚电路和数据报	139
5.2	路径选择	142
5.2.1	广域网的地址方案	142
5.2.2	下一站转发和源地址独立性	143
5.2.3	层次地址与路由的关系	143
5.2.4	广域网中的路由	144
5.2.5	路由算法分类	145
5.2.6	非自适应路由选择	145
5.2.7	自适应路由选择	148
5.2.8	分级路由选择	151
5.3	拥塞控制	152
5.3.1	概述	152
5.3.2	拥塞控制的一般原理	155
5.3.3	开环拥塞控制	155
5.3.4	闭环拥塞控制	156
5.4	服务质量	157
5.4.1	服务质量的需求	157
5.4.2	为保证服务质量可采用的技术	158
5.4.3	综合服务	160
5.4.4	区分服务	162
5.5	X.25	163

5.5.1	功能概述	163
5.5.2	分组级报文格式与数据的传输	167
5.5.3	X.25 分组级逻辑信道状态及变换	171
5.6	其他广域网技术	172
5.6.1	综合业务数字网	172
5.6.2	帧中继	180
5.6.3	ATM	187
5.6.4	MPLS	197
5.6.5	各种广域网技术在 Internet 中的位置	202
	习题	202
第 6 章	网络互连	208
6.1	网络互连概念	208
6.1.1	网络互连设备	208
6.1.2	两种网络互连方式	209
6.1.3	隧道	210
6.1.4	互连网路由选择	211
6.1.5	分段	211
6.2	Internet 上的网络层	212
6.2.1	IP 及其配套协议	213
6.2.2	Internet 的基本概念	223
6.2.3	IPv6	234
	习题	247
第 7 章	运输层	252
7.1	运输层概述	253
7.1.1	运输层的位置和作用	253
7.1.2	运输服务和服务原语	254
7.1.3	运输层的运行环境及其对协议的影响	255
7.2	TCP/IP 协议族中的运输层	260
7.2.1	两个运输协议	260
7.2.2	端口	261
7.3	UDP	262
7.4	TCP	263
7.4.1	TCP 数据传送过程简况	264
7.4.2	TCP 报文段格式	264
7.4.3	TCP 连接管理	266
7.4.4	TCP 的有限状态机	269
7.4.5	TCP 报文段的序号和传输策略	271

7.4.6 TCP 的流量控制	272
7.4.7 TCP 的拥塞控制	274
7.4.8 TCP 的重发机制	277
7.5 性能问题	278
7.5.1 影响计算机网络性能的若干因素	278
7.5.2 测定网络性能	279
7.5.3 有利于优化计算机网络性能的若干系统设计规律	280
7.5.4 千兆网络协议的一些问题	281
习题	281
第 8 章 局域网	285
8.1 通道访问方法	285
8.1.1 ALOHA	286
8.1.2 分片 ALOHA	289
8.1.3 CSMA	289
8.1.4 CSMA/CD	293
8.1.5 其他访问控制方式	295
8.1.6 通道访问方法小结	297
8.2 IEEE 802 标准概述	300
8.2.1 IEEE 802 标准系列间的关系	300
8.2.2 局域网的参考模型(RM)和实现模型(IM)	301
8.2.3 LAN 的层次	302
8.2.4 局域网的数据链路层	303
8.3 IEEE 802.3	304
8.3.1 IEEE 802.3 定义的 CSMA/CD	304
8.3.2 IEEE 802.3 与以太网帧结构的区别	304
8.3.3 10Mbps 以太网	306
8.4 快速以太网	310
8.4.1 100Mbps 快速以太网	310
8.4.2 1Gbps 以太网	314
8.5 无线接入网	317
8.5.1 无线局域网组成	317
8.5.2 IEEE 802.11 的体系结构	318
8.5.3 IEEE 802.11 标准的发展	321
8.5.4 其他无线接入网协议	323
习题	324
第 9 章 高层协议	327
9.1 ISO/OSI RM 的高三层	327

9.1.1	概述	327
9.1.2	ASN.1 概念	328
9.1.3	应用层	329
9.2	TCP/IP 协议族的应用层	330
9.2.1	区分网络应用和应用层协议	330
9.2.2	客户服务器模型	331
9.2.3	某些网络应用的特性和协议	332
9.2.4	常用 Internet 应用和协议	332
9.3	域名系统	343
9.3.1	顶层域名	343
9.3.2	中国互连网域名体系结构与中文域名	344
9.3.3	域名服务器	345
9.3.4	域名解析	346
9.3.5	逆向域名解析	347
9.4	计算机网络管理	348
9.4.1	网络管理概述	348
9.4.2	OSI 网络管理	350
9.4.3	SNMP	351
9.4.4	网络管理产品简介	358
9.5	计算机网络安全	360
9.5.1	计算机网络的安全问题	360
9.5.2	OSI 安全体系结构	361
9.5.3	数据加密基础	363
9.5.4	IP 安全协议	370
9.5.5	电子商务安全	374
9.5.6	防火墙	375
9.6	网络多媒体传输	378
9.6.1	实时流协议	378
9.6.2	实时传输协议	379
9.6.3	实时传输控制协议	380
9.6.4	H.323	381
9.7	计算机网络操作系统	382
9.7.1	计算机网络操作系统的分类	382
9.7.2	网络操作系统示例	382
	习题	383
第 10 章	网络设备和建网	387
10.1	联网设备概述	387
10.2	调制解调器	389

10.2.1	调制解调器的工作原理	389
10.2.2	调制解调器的分类	389
10.3	网卡	390
10.3.1	网卡的功能	390
10.3.2	网卡的分类	390
10.4	中继器和集线器	390
10.4.1	中继器的工作原理	390
10.4.2	集线器	391
10.5	网桥	391
10.5.1	网桥的基本原理	392
10.5.2	生成树算法	394
10.6	交换机	395
10.6.1	交换机的工作原理	395
10.6.2	交换方式	396
10.6.3	交换机的特性和功能	397
10.6.4	三层交换	398
10.7	路由器	400
10.7.1	路由器的作用	400
10.7.2	路由器对 IP 数据包的处理过程	400
10.7.3	路由协议	402
10.7.4	各种网络设备在网络中的位置及作用	410
10.8	建网技术	411
10.8.1	结构化布线	411
10.8.2	虚拟局域网	414
10.8.3	交换型以太网全双工技术	416
10.9	网络建设方法	417
10.9.1	计算机网络的系统集成	417
10.9.2	一个园区网的示例	418
10.10	网络案例	419
10.10.1	小型校园网	419
10.10.2	中型校园网	419
10.10.3	大型校园网	420
10.10.4	广域网	422
	习题	423
第 11 章 网络技术的发展		426
11.1	WDM 与 DWDM	426
11.1.1	WDM	426
11.1.2	DWDM	426

11.1.3	WDM 特点	427
11.2	IP Over OTN	427
11.2.1	IP Over OTN 的解决方案	427
11.2.2	IP Over WDM 与 MPLS 的结合	430
11.3	弹性分组环	432
11.3.1	RPR 的提出及标准化	432
11.3.2	RPR 帧结构	433
11.3.3	RPR 主要特点	434
11.4	NGN	435
11.4.1	NGN 的概念和特征	435
11.4.2	NGN 的研究和发展	436
11.4.3	NGN 的体系结构	436
11.4.4	支撑 NGN 的主要技术	438
11.4.5	NGN 的技术优势	439
11.5	软交换	440
11.5.1	软交换的概念	440
11.5.2	软交换与外部实体之间的协议	440
11.5.3	软交换的主要功能	441
11.5.4	软交换的主要应用	442
11.6	主动网络	442
11.6.1	主动网络的提出	442
11.6.2	主动网络的体系结构	443
11.6.3	主动网络封装协议(ANEP)	444
11.6.4	安全体系结构	444
11.6.5	主动网络的研究现状	445
11.7	网格	445
11.7.1	网格的概念	445
11.7.2	网格的体系结构	446
11.7.3	网格的基本构成	447
11.7.4	网格体系结构举例	447
11.8	三网融合	450
	习题	450
	参考文献	451

计算机网络技术概论

第 1 章

本章对计算机网络进行概念性的介绍,包括其定义、功能、分类和组成以及发展过程。对 ISO/OSI RM 和 TCP/IP 协议族的介绍以及对计算机网络标准化的讨论,将有助于读者形成计算机网络的分层体系结构的思想,这种思想将贯穿于全书的讨论中,并将长期伴随着我们从事与计算机网络有关的所有工作。最后概要介绍 Internet 的结构、中国互联网的发展及结构以及分组交换网中的延迟,这些内容将有助于后续的学习。

1.1 计算机网络的一般概念

1.1.1 计算机网络定义

计算机网络就是相互连接的、独立自主的计算机系统的集合。

在计算机网络定义中强调的是“相互连接”和“独立自主”这两个概念。相互连接指的是两台或更多的计算机经过连接的介质(如金属导体、微波、光纤、卫星信道等)相互交换由数据携带的信息;独立自主则强调在计算机网络的定义中排除明显的主从关系,即不能由网络中一台计算机具有控制别的计算机的能力,网络中每一台计算机都具有独立的操作系统。

计算机网络不同于分布式系统(Distributed System)。在分布式系统中,多台计算机的存在不为用户所察觉,即对用户是透明的,由操作系统自动调度资源,对用户就像一台虚拟的单处理机一样。计算机网络对用户则是不透明的,需由用户指定登录的计算机、文件传输的去向,要给出待访问的主机地址、文件所在的目录等。就其效果来说,分布式系统是网络的一个特例,它的软件具有高度的整体性和透明性。计算机网络和分布式系统的区别,更多取决于软件,特别是操作系统,而不是硬件。

1.1.2 计算机网络的功能

计算机网络最重要的功能是资源共享。可供共享的资源包括数据、软件