



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张晓明 编著

计算机网络教程 (第2版)

21世纪计算机科学与技术实践型教程



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”

张晓明 编著

计算机网络教程 (第2版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机网络的基本概念、原理与技术,内容包括绪论、物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层和网络安全,共8章;各章后附有丰富的习题;书后还给出了两个附录,其内容包括2016年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试计算机网络大纲,2009年至2014年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础计算机网络部分综合题与解析。本书提供配套PPT教学课件和习题参考答案,可在清华大学出版社的官方网站下载。

本书定位于应用型本科专业的计算机网络教学,深入浅出,强调了基础知识和应用的统一,对每章的例题和习题都进行了精选,体现“例题、习题、考题”的一致性,并兼顾了硕士研究生入学考试中计算机网络课程的大纲范围;在基本原理方面力求讲透,设计了大量生动的图例和实例说明;在协议分析及其验证方面,选用了网络协议分析工具在多个网络层次进行数据抓包并显示。

本书可作为高校计算机科学与技术专业和其他理工科专业的计算机网络原理教材,也可作为其他专业师生和网络技术人员的参考书。

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

计算机网络教程/张晓明编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2017

(21世纪计算机科学与技术实践型教程)

ISBN 978-7-302-47732-7

I. ①计… II. ①张… III. ①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(2017)第164954号

责任编辑:谢琛

封面设计:何凤霞

责任校对:梁毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 17.5 字 数: 410千字

版 次: 2010年10月第1版 2017年10月第2版 印 次: 2017年10月第1次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 39.00元

产品编号: 063188-01

21 世纪计算机科学与技术实践型教程

编辑委员会

主 任：陈 明

委 员：	毛国君	白中英	叶新铭	刘淑芬	刘书家
	汤 庸	何炎祥	陈永义	罗四维	段友祥
	高维东	郭 禾	姚 琳	崔武子	曹元大
	谢树煜	焦金生	韩江洪		

策划编辑：谢 琛

21 世纪计算机科学与技术实践型教程

序

21 世纪影响世界的三大关键技术：以计算机和网络为代表的信息技术；以基因工程为代表的生命科学和生物技术；以纳米技术为代表的新型材料技术。信息技术居三大关键技术之首。国民经济的发展采取信息化带动现代化的方针，要求在所有领域中迅速推广信息技术，导致需要大量的计算机科学与技术领域的优秀人才。

计算机科学与技术的广泛应用是计算机学科发展的原动力，计算机科学是一门应用科学。因此，计算机学科的优秀人才不仅应具有坚实的科学理论基础，更重要的是能将理论与实践相结合，并具有解决实际问题的能力。培养计算机科学与技术的优秀人才是社会的需要、国民经济发展的需要。

制定科学的教学计划对于培养计算机科学与技术人才十分重要，而教材的选择是实施教学计划的一个重要组成部分，《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》主要考虑了下述两方面。

一方面，高等学校的计算机科学与技术专业的学生，在学习了基本的必修课和部分选修课程之后，对于立刻进行计算机应用系统的软件和硬件开发与应用尚存在一些困难，而《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》就是为了填补这部分空白，将理论与实践联系起来，使学生不仅学会了计算机科学理论，而且同时学会应用这些理论解决实际问题。

另一方面，计算机科学与技术专业的课程内容需要经过实践练习才能深刻理解和掌握。因此，本套教材增强了实践性、应用性和可理解性，并在体例上做了改进——使用案例说明。

实践型教学占有重要的位置，不仅体现了理论和实践紧密结合的学科特征，而且对于提高学生的综合素质，培养学生的创新精神与实践能力有特殊的作用。因此，研究和撰写实践型教材是必须的，也是十分重要的任务。优秀的教材是保障高水平教学的重要因素，选择水平高、内容新、实践性强的教材可以促进课堂教学质量的快速提升。在教学中，应用实践型教材可以增强学生的认知能力、创新能力、实践能力以及团队协作和交流表达能力。

实践型教材应由教学经验丰富、实践应用经验丰富的教师撰写。本系列教材的作者不但从事了多年的计算机教学，而且参加并完成了多项计算机类的科研项目，他们把积累

的经验、知识、智慧、素质融合于教材中，奉献给计算机科学与技术的教学。

我们在组织本系列教材的过程中，虽然经过了详细的思考和讨论，但毕竟是初步的尝试，不完善甚至缺陷不可避免，敬请读者指正。

本系列教材主编 陈明

2005年1月于北京

第 2 版前言

本书第 1 版自出版以来,一直在北京石油化工学院和部分高校使用,受到了广大师生的关注。随着网络技术的飞速发展,教材也需要不断更新。本次改版的重点是新增了部分网络协议和算法,同步新增了习题,调整了附录内容,并修改了第 1 版中的错误。

主要扩充内容如下:

(1) 绪论,补充了协议和服务的关系描述。

(2) 物理层,增加了网络时延计算原理图;补充了绝对调相和相对调相内容;删除了光纤传输系统结构内容,增加了光纤连接器的描述。

(3) 数据链路层,增加了汉明码纠错知识及其应用示例。

(4) 局域网,增加了透明网桥的体系结构、工作流程和生成树算法,补充了例题的解析内容,增加了透明网桥转发表生成的过程描述。

(5) 网络层,补充了 RIP 协议报文格式、算法描述和示例;补充了 OSPF 协议内容,增加了链路状态算法和 SPF 算法,增加了 OSPF 报文格式及其示例。

(6) 应用层,增加了 HTTPS 协议内容;增加了 SNMP 协议内容;增加了 RTP/RTCP 协议内容解析。

附录内容调整如下:

(1) 2016 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试计算机网络大纲。

(2) 全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础计算机网络部分综合题与解析(2009—2014 年)。

本次改版仍然继承了第 1 版的 8 章结构,内容包括绪论、物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层和网络安全。在阐述基本原理和应用方法时,设计了大量生动的图例和实例说明,避免了枯燥的陈述。同时,对每章的例题和习题都进行了精选,使其具有更好的代表性,体现“例题、习题、考题”的一致性。有关综合实验和网络课程设计环节,请读者参考作者编写的另一部教材《计算机网络课程设计》。

本书提供配套 PPT 教学课件和习题参考答案,可在清华大学出版社的官方网站

下载。

本书改版由张晓明统一规划和撰写。在编写过程中,得到了清华大学出版社谢琛老师的大力帮助。本书还引用了一些国内外同行的工作成果,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,殷切希望广大读者批评指正,联系邮箱:993103401@qq.com。

张晓明

2017年4月

第 1 版前言

随着计算机网络的广泛应用和技术发展,对各层次的人才需求非常迫切。本书定位于应用型学科专业的计算机网络教学,强调了基础知识和应用技术的统一。

全书采用典型的网络层次化模型,共分为 8 章,内容包括绪论、物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层和网络安全。本书在阐述基本原理和应用方法时,设计了大量生动的图例和实例说明,避免枯燥的陈述。同时,对每章的例题和习题都做了精选,使其具有更好的代表性,体现了“例题、习题、考题”的一致性。

为了真实展现网络协议的结构,本书采用了网络协议分析工具 Wireshark,在多个层次进行网络数据抓包并显示,使原理性内容在实践性环节中得到验证。

本书末尾包含了 3 个附录,分别是 2010 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试大纲、2009 年和 2010 年的全国硕士研究生入学统考计算机学科专业试题及答案。为有志参加硕士研究生入学考试的学生提供重要资料,也为学生测验所学网络知识提供参考。

本书有配套的 PPT 教学课件和习题参考答案,可在清华大学出版社的相关网站下载。

本书同时面向计算机专业和非计算机理工科专业的学生,在内容编排上融合了不同的需求。书中有部分带有 * 号的内容,属于比较深入和扩展的知识,主要针对计算机专业的学生。

本书由张晓明统一规划和撰写,陈明教授审查了大纲。还有部分教师参与了研讨和部分章节的编写,杜天苍、赵国庆、王淑芳和张世博分别参与了局域网、网络安全、应用层和无线网络内容的编写,向胜军参与了初稿的审查。本书在编写过程中,始终得到清华大学出版社的大力帮助。本书还引用了某些国内外同行的工作成果,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

张晓明

2010 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机网络概述	1
1.1.1 计算机网络的产生和发展	1
1.1.2 我国的网络发展情况	3
1.1.3 计算机网络的定义	4
1.1.4 计算机网络的组成	5
1.2 计算机网络的分类	6
1.2.1 按拓扑结构分类	6
1.2.2 按地理范围分类	7
1.2.3 无线网络	8
1.2.4 其他分类	9
1.3 计算机网络的体系结构	9
1.3.1 分层体系结构及协议	10
1.3.2 OSI 模型	12
1.3.3 TCP/IP 协议	15
习题 1	17
第 2 章 物理层	19
2.1 数据通信概述	19
2.1.1 数据通信模型	19
2.1.2 数据通信系统的技术指标	21
2.2 传输媒体	25
2.2.1 双绞线	25
2.2.2 同轴电缆	26
2.2.3 光缆	26
2.2.4 无线通信	28
2.3 数据传输方式	28
2.3.1 并行传输与串行传输	28

2.3.2	异步传输与同步传输	29
2.3.3	单工、半双工和全双工传输	30
2.3.4	模拟传输与数字传输	31
2.3.5	共享通信和点对点通信	31
2.4	数据编码技术	33
2.4.1	数字数据调制为模拟信号	33
2.4.2	数字数据编码为数字信号	34
2.4.3	模拟数据编码为数字信号	36
2.5	多路复用技术	36
2.5.1	频分多路复用 FDM	37
2.5.2	时分多路复用 TDM	37
2.5.3	波分多路复用 WDM	39
2.5.4	码分多路复用 CDM	39
2.6	数据交换技术	40
2.6.1	线路交换	40
2.6.2	报文交换	41
2.6.3	分组交换	42
2.7	物理层协议与设备	43
2.7.1	物理层的接口特性	43
2.7.2	物理层的设备	44
习题 2		44
第 3 章	数据链路层	46
3.1	数据链路层的功能	46
3.1.1	为网络层提供服务	46
3.1.2	组帧	47
3.1.3	差错控制	47
3.1.4	流量控制	47
3.2	组帧技术	48
3.2.1	字节计数法	48
3.2.2	字符填充法	48
3.2.3	零比特填充法	49
3.2.4	违例编码法	49
3.3	差错控制	50
3.3.1	奇偶检验码	50
3.3.2	循环冗余校验码	51
3.3.3	汉明码	53
3.4	流量控制	55

3.4.1	停等协议	55
3.4.2	滑动窗口机制	58
3.4.3	后退 N 帧协议	61
3.4.4	选择重传协议	62
3.5	高级数据链路协议 HDLC	64
3.5.1	HDLC 的基本特点	65
3.5.2	HDLC 的帧结构	65
3.5.3	HDLC 的帧类型	66
3.6	点对点协议 PPP	68
3.6.1	PPP 协议的特点与组成	68
3.6.2	PPP 协议的帧结构	69
3.6.3	PPP 协议的工作状态	69
习题 3		70
第 4 章	局域网	72
4.1	局域网概述	72
4.1.1	IEEE 802 参考模型和协议	72
4.1.2	局域网的分类	74
4.2	传统以太网	75
4.2.1	CSMA/CD 协议的工作原理	75
4.2.2	传统以太网的连接方法	78
4.2.3	以太网的 MAC 层和帧结构	79
4.3	高速以太网	82
4.3.1	100Base-T 以太网	82
4.3.2	千兆以太网	83
4.3.3	万兆以太网	84
4.4	虚拟局域网	84
4.4.1	基于端口的 VLAN	85
4.4.2	基于 MAC 地址的 VLAN	85
4.4.3	基于第三层协议的 VLAN	85
4.4.4	基于用户使用策略的 VLAN	86
4.5	无线局域网	86
4.5.1	无线局域网的结构分类	87
4.5.2	无线局域网的工作原理	88
4.5.3	无线局域网的帧结构	90
4.6	局域网的扩展	91
4.6.1	在物理层扩展局域网	91
4.6.2	在数据链路层扩展局域网	92

4.7 透明网桥及其算法	95
4.7.1 透明网桥的体系结构	95
4.7.2 帧转发规则	95
4.7.3 地址学习	96
4.7.4 生成树算法	96
习题 4	99

第 5 章 网络层 102

5.1 网络层概述	102
5.1.1 数据报网络服务	103
5.1.2 虚电路网络服务	104
5.1.3 数据报和虚电路网络的比较	105
5.2 标准分类的 IP 地址	106
5.2.1 特殊 IP 地址	107
5.2.2 专用地址	107
5.2.3 标准分类 IP 地址	108
5.3 子网与超网编址方法	109
5.3.1 IP 子网划分	110
5.3.2 CIDR	113
5.4 IP 和 ICMP 协议	115
5.4.1 IP 协议	116
5.4.2 ICMP 协议	118
5.5 ARP 协议	120
5.5.1 IP 地址与 MAC 地址的映射方法	120
5.5.2 ARP 的工作原理	121
5.6 路由选择协议和路由器	122
5.6.1 IP 分组转发	123
5.6.2 内部网关协议 RIP	126
5.6.3 内部网关协议 OSPF	130
5.6.4 外部网关协议 BGP	137
5.6.5 路由器	138
5.7 IP 多播	139
5.7.1 IP 多播概述	139
5.7.2 IP 多播协议与路由选择	141
5.8 VPN 和 NAT	142
5.8.1 VPN	142
5.8.2 NAT	144
5.9 IPv6 协议	147

5.9.1 IPv6 编址	147
5.9.2 IPv6 的基本首部格式	149
习题 5	151
第 6 章 传输层	154
6.1 传输层协议概述	154
6.1.1 进程之间的通信	154
6.1.2 端口及其作用	155
6.2 UDP 协议	158
6.2.1 UDP 协议的特点	158
6.2.2 UDP 报文格式	158
6.2.3 UDP 的校验和计算	159
6.3 TCP 协议概述	161
6.3.1 TCP 协议的基本特点	161
6.3.2 TCP 报文段的首部格式	162
6.4 TCP 的连接管理	164
6.4.1 连接建立	164
6.4.2 连接释放	165
6.4.3 连接重置	166
6.5 可靠传输	167
6.5.1 TCP 校验和	167
6.5.2 确认机制	167
6.5.3 定时器	168
6.6 TCP 的流量控制	170
6.7 TCP 的拥塞控制	171
习题 6	173
第 7 章 应用层	175
7.1 网络应用模式	175
7.1.1 集中应用模式	175
7.1.2 客户机/服务器应用模式	176
7.1.3 基于 Web 的浏览器/服务器应用模式	177
7.1.4 P2P 模式	177
7.2 域名系统 DNS	178
7.2.1 域名与域名空间	178
7.2.2 域名服务器与域名解析	180
7.3 文件传输协议 FTP	182
7.3.1 FTP 的工作原理与模式	182

7.3.2	FTP 协议的规范	184
7.3.3	FTP 的登录方式	186
7.3.4	简单文件传送协议 TFTP	187
7.4	电子邮件	188
7.4.1	电子邮件系统的组成	189
7.4.2	SMTP 协议	191
7.4.3	POP3 和 IMAP4 协议	195
7.5	WWW 服务	196
7.5.1	统一资源定位符 URL	197
7.5.2	HTTP 协议	198
7.5.3	HTML	201
7.5.4	HTTPS 协议	203
7.6	SNMP 协议	204
7.6.1	SNMP 概述	204
7.6.2	SNMP 的配置	205
7.6.3	管理信息库 MIB	205
7.6.4	SNMP 报文格式	208
7.7	RTP/RTCP 协议	210
7.7.1	RTP/RTCP 的协议层次	210
7.7.2	RTP 的报头格式	211
7.7.3	RTCP 的报头格式	212
7.7.4	RTP 的会话过程	214
7.7.5	RTP 的转换器和混合器	215
7.8	主机配置协议	216
7.8.1	BOOTP	216
7.8.2	DHCP	216
习题 7		218

第 8 章 网络安全

220

8.1	网络安全概述	220
8.1.1	网络安全的含义	220
8.1.2	网络安全威胁	222
8.1.3	网络安全体系	223
8.2	数据加密技术	224
8.2.1	传统加密方法	225
8.2.2	对称加密技术	226
8.2.3	非对称加密技术	226
8.2.4	数字信封	228

8.2.5	数字签名	229
8.2.6	报文摘要	230
8.3	防火墙技术	230
8.3.1	防火墙的功能与特点	230
8.3.2	防火墙的分类	232
8.3.3	常见的防火墙结构	233
8.3.4	防火墙的发展	238
8.4	网络安全协议	239
8.4.1	IPSec 协议	239
8.4.2	SSL/TLS 协议	240
8.4.3	PGP 协议	241
8.4.4	SSH 协议	243
8.4.5	SET 协议	244
习题 8		245
附录一	2016 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试计算机 网络大纲	247
附录二	全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础计算机网络部分综合题 与解析(2009—2014 年)	252
参考文献		259

第 1 章 绪 论

作为信息社会的基础设施,计算机网络已经深入到人类生活的各个方面,广泛应用在军事、教育、科研和管理等领域。从日常办公网络到连接世界的因特网,从家庭网络到无线接入的公共区域和物联网世界,从科学计算的小型计算机到分布式网络搜索系统,都离不开计算机网络。

计算机网络是一个复杂的系统,在多个层次上具有丰富的协议标准和技术,在网络服务时能够提供多种不同的配置和安全性能。

1.1 计算机网络概述

计算机网络的功能主要表现在硬件资源共享、软件资源共享和用户间信息交换三个方面。

(1) 硬件资源共享。可以在全网范围内提供对处理资源、存储资源、输入/输出资源等昂贵设备的共享,使用户节省投资,也便于集中管理和均衡分担负荷。

(2) 软件资源共享。允许互联网上的用户远程访问各类大型数据库,可以得到远地进程管理服务和远程文件访问服务,从而避免软件研制上的重复劳动以及数据资源的重复存储,也便于集中管理。

(3) 用户间信息交换。计算机网络为分布在各地的用户提供了强有力的通信手段。用户可以通过计算机网络发送电子邮件、发布新闻消息和进行电子商务活动。

1.1.1 计算机网络的产生和发展

计算机网络是计算机和通信技术发展的产物,经历了一个从简单到复杂的演变过程,主要分为四个阶段。

1. 面向终端的计算机网络

第一阶段的计算机网络产生于 20 世纪 50 年代,实际上是以单个计算机为中心的远程联机系统。其典型代表是美国的半自动地面防空系统。它把远距离的雷达和其他测控设备的信号通过通信线路传送到一台 IBM 计算机进行集中处理和控制在,首次实现了计算机技术与通信技术的结合。