

“十一五”国家重点图书 计算机科学与技术学科前沿丛书  
计算机科学与技术学科研究生系列教材（中文版）

---

# 计算机网络高级教程

---

吴功宜 编著

---



清华大学出版社

“十一五”国家重点图书 计算机科学与技术学科前沿丛书  
计算机科学与技术学科研究生系列教材（中文版）

---

# 计算机网络高级教程

---

吴功宜 编著

---

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书按照计算机网络技术发展的三条主线: Internet、无线网络与网络安全,系统地讨论了计算机网络技术的研究与发展,内容主要包括:网络技术发展的过程与不同阶段的标志性技术,广域网与局域网技术的发展,城域网概念的演变、宽带城域网组建与接入网技术,IPv4、IPv6 与移动 IP 技术,Internet 应用技术,无线自组网络(Ad hoc)与无线传感器网络(WSN)、无线网格网(WMN)关键技术的研究,网络安全与网络管理技术,以及主要的网络性能分析、网络模拟开源工具及其应用。

本书重点讨论了网络研究的最新发展与研究的热点问题。与本教材配套的有《计算机网络高级软件编程技术》。从研究生教学体系的角度,作者希望通过学习《计算机网络高级教程》达到为研究生在网络领域的论文选题做好知识储备的目的,学习《计算机网络高级软件编程技术》达到为完成论文做好技术储备的目的。

本书可以作为计算机及相关专业的硕士与博士研究生教材和参考资料,也可供信息技术领域的教师、高年级学生、工程技术人员与技术管理人员学习和研究网络技术时参考。

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 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机网络高级教程/吴功宜编著. —北京:清华大学出版社,2007.10

(计算机科学与技术学科研究生系列教材)

ISBN 978-7-302-15859-2

I. 计… II. 吴… III. 计算机网络—教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 116393 号

责任编辑:张瑞庆 顾 冰

责任校对:白 蕾

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

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

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印刷者:清华大学印刷厂

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:41

字 数:962 千字

版 次:2007 年 10 月第 1 版

印 次:2007 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:53.50 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。  
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:025708-01

## 读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便我们更好地对本教材做进一步改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 602      计算机与信息分社营销室 收  
邮编：100084      电子邮件：jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn  
电话：010-62770175-4608/4409      邮购电话：010-62786544

教材名称：计算机网络高级教程

ISBN：978-7-302-15859-2

个人资料

姓名：\_\_\_\_\_ 年龄：\_\_\_\_\_ 所在院校/专业：\_\_\_\_\_

文化程度：\_\_\_\_\_ 通信地址：\_\_\_\_\_

联系电话：\_\_\_\_\_ 电子信箱：\_\_\_\_\_

您使用本书是作为：指定教材 选用教材 辅导教材 自学教材

您对本书封面设计的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议\_\_\_\_\_

您对本书印刷质量的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议\_\_\_\_\_

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 很满意 满意 一般 不满意

从科技含量角度看 很满意 满意 一般 不满意

本书最令您满意的是：

指导明确 内容充实 讲解详尽 实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

\_\_\_\_\_

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 电子教案支持

敬爱的教师：

为了配合本课程的教学需要，本教材配有配套的电子教案（素材），有需求的教师可以与我们的联系，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案（素材），希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打电话 010-62776969 或发送电子邮件至 jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>）上查询。

## Abstract

The book is written along three main line of network technologies: Internet, wireless network and network security. It systematically discusses the research and development of computer network technologies. The contents mainly include: the development process of network technologies, landmark technologies of different stages, development of wide area network(WAN) and local area network(LAN), evolution of the concept of metropolitan area network(MAN), construction of broadband MAN and access network(AN), IPv4, IPv6 and mobile IP technologies, Internet application technologies, wireless Ad hoc and wireless sensor network(WSN), wireless mesh network(WMN), network security and network management technologies, and some open source tools of network performance analysis and network simulation.

The book mainly discusses the latest development and hot issue of network technology researches. In order to adapt the requirements of readers, we provide a support material which named “senior programming technology of computer network software”. From the perspective of graduate teaching system design, we hope the “senior guide of computer network” can be used for knowledge reservation of selecting graduate thesis topic in network fields, and the “senior software programming technology of computer network” can be used for technical reservation of completing graduate thesis.

This book can be used as teaching and reference materials of master’s and doctoral students of computer and other related professional. It also can be used as reference materials of teachers, high-grade students, engineering technical personnel and technology management personnel in information technical fields.

“十一五”国家重点图书 计算机科学与技术学科前沿丛书

计算机科学与技术学科研究生系列教材

编  
委  
会

■ 名誉主任：陈火旺

■ 主 任：王志英

■ 副 主 任：钱德沛 周立柱

■ 编委委员：(按姓氏笔画为序)

马殿富 李晓明 李仲麟 吴朝晖

何炎祥 陈道蓄 周兴社 钱乐秋

蒋宗礼 廖明宏

■ 责任编辑：马瑛珺

本书责任编辑：李晓明

# 序

未来的社会是信息化的社会,计算机科学与技术在其中占据了最重要的地位,这对高素质创新型计算机人才的培养提出了迫切的要求。计算机科学与技术已经成为一门基础技术学科,理论性和技术性都很强。与传统的数学、物理和化学等基础学科相比,该学科的教育工作者既要培养学科理论研究和基本系统的开发人才,还要培养应用系统开发人才,甚至是应用人才。从层次上来讲,则需要培养系统的设计、实现、使用与维护等各个层次的人才。这就要求我国的计算机教育按照定位的需要,从知识、能力、素质三个方面进行人才培养。

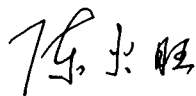
硕士研究生的教育须突出“研究”,要加强理论基础的教育和科研能力的训练,使学生能够站在一定的高度去分析研究问题、解决问题。硕士研究生要通过课程的学习,进一步提高理论水平,为今后的研究和发展打下坚实的基础;通过相应的研究及学位论文撰写工作来接受全面的科研训练,了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,培养良好的科研作风,锻炼攻关能力,养成协作精神。

高素质创新型计算机人才应具有较强的实践能力,教学与科研相结合是培养实践能力的有效途径。高水平人才的培养是通过被培养者的高水平学术成果来反映的,而高水平的学术成果主要来源于大量高水平的科研。高水平的科研还为教学活动提供了最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研也为高水平人才的素质教育提供了良好的物质基础。

为提高高等院校的教学质量,教育部最近实施了精品课程建设工程。由于教材是提高教学质量的关键,必须加快教材建设的步伐。为适应学科的快速发展和培养方案的需要,要采取多种措施鼓励从事前沿研究的学者参与教材的编写和更新,在教材中反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时应适当引进国外先进的原版教材,确保所有教学环节充分反映计算机学科与产业的前沿研究水平,并与未来的发展趋势相协调。

中国计算机学会教育专业委员会在清华大学出版社的大力支持下,进行了计算机科学与技术学科硕士研究生培养的系统研究。在此基础上组织来自多所全国重点大学的计算机专家和教授们编写和出版了本系列教材。作者们以自己多年来丰富的教学和科研经验为基础,认真研究和结合我国计算机科学与技术学科硕士研究生教育的特点,力图使本系列教材对我国计算机科学与技术学科硕士研究生的教学方法和教学内容的改革起引导作用。本系列教材的系统性和理论性强,学术水平高,反映科技新发展,具有合适的深度和广度。同时本系列教材两种语种(中文、英文)并存,三种版权(本版、外版、合作出版)形式并存,这在系列教材的出版上走出了一条新路。

相信本系列教材的出版,能够对提高我国计算机硕士研究生教材的整体水平,进而对我国大学的计算机科学与技术硕士研究生教育以及培养高素质创新型计算机人才产生积极的促进作用。





# 前 言

总结多年来计算机网络技术的研究与产业发展可以清楚地看出,计算机网络技术是沿着三条主线在演变与发展的。第一条主线是沿着 ARPANET-TCP/IP-Internet 演变与发展的;第二条主线是沿着 PRNET-Ad hoc-WSN 的无线网络技术的方向演变与发展的;第三条主线是沿着网络安全技术的方向发展的。对于第一条发展主线,人们很熟悉,很多教科书都作了系统的讨论。对于第二条和第三条发展主线,人们可能不太熟悉。这是由于第二条主线的无线网络技术目前正处于研究与发展阶段,远不及 Internet 技术成熟和影响广泛。而第三条主线——网络安全是伴随着 Internet 的应用和无线网络技术的发展而向前推进的,并且越来越引起人们的重视。对于非专业人士,可以把学习网络技术的注意力集中在第一条发展主线上。但是,对于从事信息技术的业内人士,尤其是在计算机领域从事教学、科研与开发的技术人员,以及硕士、博士研究生来说,必须对计算机网络技术的整体发展有全面和正确地理解,对今后网络技术研究与发展趋势能够很好地把握。大批的学者与技术人员已经在网络的这三个各具特色的领域中开展了大量的研究工作,取得了引人瞩目的进展,已经对世界科学技术、经济、政治、文化与产业发展产生了重大的影响,并且将影响到 21 世纪技术、经济与社会的发展。这个结论可以用以下几个佐证来支持。

2005 年 2 月 16 日,国际计算机协会(ACM)宣布 Vinton G. Cerf 和 Robert E. Kahn 获得 2004 年 A. M 图灵奖,以表彰他们在设计和实施 Internet 基础通信协议方面的成就。ACM 主席认为他们在定义 Internet 体系结构和相关协议的合作研究中取得的成果奠定了信息技术发展的基础。这项图灵奖也向世人说明了网络技术在信息技术中重要的学术地位。

美国《商业周刊》和《MIT 技术评论》在预测 21 世纪“未来技术发展”的研究报告中,将无线传感器网络(WSN)列为改变世界的 10 大技术之首,以及 21 世纪最有影响的 21 项技术之一。无线传感器网络是微电子、无线通信、计算机与网络等多个学科交叉、融合的结果,该项技术在军事和民用领域都具有重要的应用前景,对各国政治、军事与产业发展都会产生重大的影响。

作为一名大学教师,作者记得第一次在南开大学计算机系开设计算机网络课程是在 1984 年。记得当年计算机系的近百名学生中,只有 7 位学生选修了这门课程,人们对计算机网络都很陌生。然而 20 年后的今天,计算机网络已经和电力、电话一样,成为支持现代社会整体运行的基础设施,成为人们须臾不能离开的东西。20 多年来,由于工作的需要,作者一直在从事计算机网络技术的教学与科研工作,密切地跟踪着网络技术的研究、应用与发

展,也见证了网络时代技术的演变过程。近年来,作者有机会参与了“九五”、“十五”、“十一五”城市信息化与信息技术研究、产业发展规划工作,尤其是在参与地方政府关于城市信息化建设“十一五发展规划”、“中长期科技发展规划”的研究与起草工作中,作者认真阅读和研究了有关的文献和资料,从宏观的角度思考、认识和总结网络技术的发展轨迹,以及对产业、经济与社会发展的影响,更进一步深化了对计算机网络技术的认识。

我国是信息技术应用的大国,但不是信息技术强国。创新是一个民族的灵魂。中华民族要屹立于 21 世纪的信息技术强国之林,必须要培养出一大批学术和技术精英,高等学校在创新思想的产生方面应该走在前面。作者在多年教学的过程中逐渐理解了“授人以渔”与“授人以鱼”的区别。继承是创新的基础。创新首先要知道国际上研究的热点,并且要了解主要的研究方向、研究方法和研究进展。作者希望通过总结网络技术在三条主线上前人研究的精华和主要进展,让读者(尤其是信息技术学科的硕士、博士研究生与技术人员)花不太长的时间,能够了解网络技术与发展的情况,了解目前研究的动向,在学习、实践、总结、提炼的基础上,学会在网络技术领域去尝试着选题和研究。这是作者的初衷,也是希望尽到一名教师的责任。

本书共用了 12 章介绍计算机网络技术发展的三条主线。其中:

第 1 章对网络技术研究与发展阶段、重点问题和基本概念、标志性技术作了一个概要的总结。

第 2 章讨论了广域网(WAN)技术的演变与发展的趋势。

第 3 章讨论了局域网(LAN)技术,尤其是对高速局域网与无线局域网(WLAN)技术作了较为系统的讨论。

第 4 章讨论了城域网(MAN)概念的演变,以及宽带城域网组建技术与接入网技术的发展。

第 5 章对 IPv4 协议近年来的发展过程与进展作了较为全面的总结和讨论。

第 6 章对 IPv6 的基本内容与应用方法进行了较为系统的介绍。

第 7 章对移动 IP 的基本概念与关键技术作了系统的介绍。

第 8 章对传输层的进程通信的概念,以及 TCP、UDP 协议进行了系统的讨论。

第 9 章对应用层协议与 Internet 应用技术进行了系统的讨论。

第 10 章对无线 Ad hoc 网络与无线传感器网络(WSN)、无线网格网(WMN)的概念、特点、体系结构,以及关键技术的研究与进展作了比较全面的介绍。

第 11 章讨论了网络安全与网络管理技术。

第 12 章系统地介绍了目前国际流行的网络性能分析开源工具、网络模拟开源工具及其应用。

在准备这本书的资料和写作的过程中,作者有两点体会最为深刻。一是尽管 Internet 技术与无线 Ad hoc 网络、无线传感器网络(WSN)、无线网格网(WMN)在设计目的、应用的领域与技术特点上差异很大,但是在研究方法上基本上是相通的,并且在高层又都汇集到 Internet 之中。二是尽管作者认真地在这个领域已经工作了 20 多年,但是网络技术发展的实在是太快了,个人的研究工作与阅历不可能涉及各个领域。自己的研究工作也就限制在网络技术中的几个比较窄的方面,深度也十分有限,因此在系统地总结网络技术领域的研究与进展时感到难度很大,尽管也经常与同行交流和请教,仍然是力不从心,多次想过放弃,但

是出于教学的需要和对学生学习负责的态度,还是坚持完成了本书的写作工作。因此,这本教材实际上是凝聚了很多人的研究心血,作者只是将个人能够理解的部分内容,按照自己的思路整理出来,便于读者的学习。完成这本书的出版也算是了却了作者多年来的一个心愿。

书中对某一方面的技术理解有错误或不准确,以及总结中出现挂一漏万的问题在所难免,恳请读者不吝赐教。作者试图通过在相关章节的后面注明某些研究工作总结与论文的出处,以及相关的参考文献与标准,请有兴趣的读者自己去阅读相关的文献与标准。

本书可以供计算机、软件工程、信息安全、通信、微电子、电子信息等相关专业的硕士、博士研究生作为计算机网络课程的教材或教学参考书,也可以作为从事信息技术的工程技术人员与技术管理人员在学习和研究网络技术时参考。

为在提高网络理论学习水平的同时,提高读者的实际研发能力,作者在完成本书写作计划的同时,着手了与本教材配套的《计算机网络高级软件编程技术》的写作工作。教师可以在使用本教材进行教学的过程中,从《计算机网络高级软件编程技术》中同步地选择适当的网络软件编程题目作为课后的作业。学生通过完成编程练习,加深对网络理论的理解,提高网络软件编程能力。作者希望通过学习《计算机网络高级教程》达到为研究生在网络领域的论文选题做好知识储备的目的,学习《计算机网络高级软件编程技术》达到为完成论文做好技术储备的目的。本书的写作过程中,得到了南开大学刘瑞挺教授、徐敬东教授、张建忠教授多方的帮助,吴英老师帮助完成了书中的插图,网络实验室董大凡、王珺、刘乾、李潇、兰小丰、高立金、吴筱桢、卢红波、朱剑彬、沈鑫、秦婧、彭玉娣对初稿提出了很多宝贵的修改意见,特别是王珺对第6章进行了修改,在此谨表衷心的感谢。同时,我要感谢我的夫人牛秀卿。她是一位微电子专业的教授,也有很多工作要做。但是为了支持我的工作,她替我做了很多本该是由我承担的任务。正是有她的理解和支持,才使我这些年来能够安心研究和写作。

吴功宜

南开大学信息技术科学学院

wgy@nankai.edu.cn

2007年3月12日

# 目 录

<b>第 1 章 计算机网络技术的研究与发展</b> .....	1
1.1 ARPANET 与分组交换技术 .....	1
1.1.1 ARPANET 的研究背景 .....	2
1.1.2 ARPANET 的基本设计思想 .....	4
1.1.3 ARPANET 的发展过程 .....	6
1.1.4 ARPANET 对推动网络技术发展的贡献 .....	7
1.2 TCP/IP 协议与网络体系结构研究 .....	8
1.2.1 TCP/IP 协议产生的背景 .....	8
1.2.2 TCP/IP 协议的应用 .....	9
1.2.3 TCP/IP 与 OSI 参考模型的比较 .....	9
1.3 Internet 的发展 .....	10
1.3.1 NSFNET 对 Internet 发展的影响 .....	10
1.3.2 Internet 的形成 .....	12
1.3.3 Internet 的高速发展 .....	13
1.3.4 Internet 的结构与管理 .....	13
1.3.5 Internet 2 和下一代互联网计划 .....	17
1.3.6 下一代网络 .....	18
1.4 Internet 的应用与 Web 技术的发展 .....	19
1.4.1 Web 技术对 Internet 应用发展的影响 .....	19
1.4.2 Web 技术的产生与发展 .....	20
1.4.3 从人的认知规律来认识 Web 技术的特点 .....	22
1.4.4 Web 技术的发展 .....	23
1.4.5 搜索引擎技术研究与发展 .....	23
1.4.6 P2P 文件共享技术的发展 .....	27
1.4.7 播客、博客、网络即时通信与网络电视服务 .....	30
1.5 网络计算概念与技术的发展 .....	34
1.5.1 网络计算的基本概念 .....	34
1.5.2 多媒体网络的研究与应用 .....	34
1.5.3 网络并行计算的研究与应用 .....	35
1.5.4 存储区域网络的研究与应用 .....	37

1.6	QoS 与服务质量工程的研究 .....	38
1.6.1	QoS 的基本概念 .....	38
1.6.2	多媒体网络应用对数据通信的要求 .....	39
1.6.3	网络与服务质量不适应的解决思路 .....	40
1.7	光传输网、全光网与自动交换光网技术的研究与发展 .....	41
1.7.1	光网络技术研究的背景 .....	41
1.7.2	光波分复用技术的研究与发展 .....	42
1.7.3	自动交换光网络技术的研究与发展 .....	43
1.8	无线 Ad hoc、无线传感器网络与无线网格网技术的研究与发展 .....	43
1.8.1	无线 Ad hoc 网络的基本概念 .....	43
1.8.2	无线分组网 PRNET 与 Ad hoc 网络的发展 .....	46
1.8.3	Ad hoc 网络的主要应用领域 .....	47
1.8.4	无线传感器网络发展的背景 .....	48
1.8.5	无线传感器网络的特点 .....	49
1.8.6	无线传感器网络的应用前景 .....	50
1.8.7	无线网格网的发展 .....	51
1.9	网络安全的研究与发展 .....	52
1.9.1	网络安全的形势 .....	52
1.9.2	当前网络安全技术研究的热点问题 .....	53
	参考文献 .....	57
<b>第 2 章</b>	<b>广域网技术 .....</b>	<b>59</b>
2.1	广域网技术的基本概念 .....	59
2.1.1	广域网技术的演变与发展 .....	59
2.1.2	广域网的主要特征 .....	61
2.2	广域网结构与 OSI 参考模型 .....	62
2.2.1	广域网组成与结构 .....	62
2.2.2	广域网结构与 OSI 参考模型 .....	62
2.2.3	广域网与分组交换技术 .....	64
2.3	X.25 网 .....	66
2.3.1	X.25 网的基本概念 .....	66
2.3.2	X.25 协议的层次结构 .....	67
2.4	帧中继网 .....	68
2.4.1	帧中继技术发展的背景 .....	68
2.4.2	帧中继基本工作原理 .....	68
2.4.3	帧中继的虚拟租用线路服务方式 .....	68
2.5	宽带综合业务数字网 B-ISDN .....	69
2.5.1	综合业务数字网 ISDN 的基本概念 .....	69
2.5.2	从 N-ISDN 向 B-ISDN 的发展 .....	70

2.6	ATM 网	71
2.6.1	ATM 的基本概念	71
2.6.2	ATM 的主要技术特点	71
2.6.3	ATM 基本工作原理	72
2.6.4	ATM 在广域网主干网中的应用	73
2.7	同步光纤网 SONET 与同步数字体系 SDH	74
2.7.1	SONET 与 SDH 的基本概念	74
2.7.2	基本速率标准的制定	75
2.7.3	SDH 速率体系	76
2.7.4	SONET 网络体系结构与自愈环保护机制	77
2.8	WDM 光网络	81
2.8.1	光网络发展的技术背景	81
2.8.2	光传输网 OTN	81
	参考文献	83
<b>第 3 章</b>	<b>局域网技术</b>	<b>84</b>
3.1	Ethernet 与高速局域网技术的发展	84
3.1.1	ALOHA 网与介质访问控制方法	84
3.1.2	Ethernet 的产生与发展	85
3.1.3	高速 Ethernet 技术的发展	86
3.1.4	局域网参考模型与协议标准	88
3.2	对 Ethernet 核心技术的理解	90
3.2.1	ALOHA 网与 Ethernet	90
3.2.2	CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 特点的比较	90
3.3	Ethernet 协议的实现	94
3.3.1	Ethernet 协议结构	94
3.3.2	Ethernet 发送与接收流程设计	96
3.3.3	Ethernet 帧结构	100
3.3.4	Ethernet 的 MAC 地址	101
3.3.5	Ethernet 网卡结构	102
3.3.6	Ethernet 物理层标准	104
3.4	fast Ethernet	107
3.4.1	fast Ethernet 的基本特点	107
3.4.2	fast Ethernet 介质专用接口 MII	107
3.4.3	fast Ethernet 的物理层标准	108
3.4.4	100Base-T 的 4B/5B 编码方法	108
3.4.5	全双工与半双工工作模式	109
3.4.6	10Mbps 与 100Mbps 速率自动协商功能	109
3.5	gigabit Ethernet	111

3.5.1	gigabit Ethernet 的基本特点	111
3.5.2	gigabit Ethernet 的物理层协议	111
3.5.3	gigabit Ethernet 对 IEEE 802.3 协议的调整	112
3.5.4	吉比特介质专用接口 GMII	114
3.6	10Gbps Ethernet	115
3.6.1	10Gbps Ethernet 的主要特点	115
3.6.2	10Gbps Ethernet 的物理层协议	116
3.6.3	10Gbps Ethernet 对 IEEE 802.3 协议的调整	117
3.7	交换式局域网	120
3.7.1	局域网交换机与网桥的区别	120
3.7.2	局域网交换机的工作原理	121
3.7.3	局域网交换机的帧转发方式	122
3.7.4	局域网交换机的结构	124
3.7.5	局域网交换机的主要性能参数	125
3.8	虚拟局域网	127
3.8.1	虚拟局域网的基本概念	128
3.8.2	虚拟局域网的实现技术	128
3.8.3	虚拟局域网的组网方法	128
3.8.4	虚拟局域网的优点	130
3.9	无线局域网	131
3.9.1	无线局域网的基本概念	131
3.9.2	无线局域网技术与 IEEE 802.11 标准	133
3.9.3	蓝牙技术与 IEEE 802.15 标准的发展	144
3.9.4	无线个人区域网与 IEEE 802.15.4 标准	146
	参考文献	156

## 第 4 章 城域网技术 158

4.1	城域网的基本概念	158
4.1.1	城域网发展的背景	158
4.1.2	城域网概念的发展与演变	158
4.1.3	宽带城域网业务范围	160
4.1.4	宽带城域网技术的主要特征	161
4.2	宽带城域网的结构	162
4.2.1	宽带城域网的总体结构	162
4.2.2	核心交换层的基本功能	163
4.2.3	汇聚层的基本功能	163
4.2.4	接入层的基本功能	163
4.3	组建宽带城域网的基本原则	164
4.3.1	宽带城域网的可运营性	164

4.3.2	宽带城域网的可管理性	164
4.3.3	宽带城域网的可盈利性	165
4.3.4	宽带城域网的可扩展性	165
4.4	宽带城域网的主要技术指标	166
4.4.1	宽带城域网与传统局域网组建方法的区别	166
4.4.2	宽带城域网主要的技术指标	166
4.5	管理和运营宽带城域网的关键技术	167
4.5.1	带宽管理	167
4.5.2	服务质量 QoS	168
4.5.3	网络管理	168
4.5.4	用户管理	168
4.5.5	多业务接入	168
4.5.6	统计与计费	169
4.5.7	IP 地址的分配与地址转换	169
4.5.8	网络安全	169
4.6	构建宽带城域网的基本技术与方案	169
4.6.1	基于 SDH 技术的城域网	170
4.6.2	基于 10Gbps Ethernet 技术的宽带城域网	172
4.6.3	基于 RPR 技术的城域网	174
4.7	接入网技术	176
4.7.1	接入网的基本概念	176
4.7.2	宽带接入技术的基本类型	178
4.7.3	数字用户线 xDSL 接入技术	178
4.7.4	光纤同轴电缆混合网 HFC 的基本概念	182
4.7.5	光纤接入技术	185
4.7.6	宽带无线接入技术与 IEEE 802.16 标准	187
	参考文献	189
<b>第 5 章</b>	<b>IPv4 协议</b>	<b>191</b>
5.1	IPv4 协议的演变与发展	191
5.2	IPv4 协议的基本内容	192
5.2.1	IPv4 协议的主要特点	192
5.2.2	IP 分组格式	193
5.3	IPv4 地址	198
5.3.1	IP 地址概念与划分地址新技术的研究	198
5.3.2	标准分类 IP 地址	200
5.3.3	划分子网的三级地址结构	202
5.3.4	无类域间路由 CIDR 技术	204
5.3.5	专用 IP 地址与内部网络地址规划方法	207



5.3.6	网络地址转换 NAT 技术 .....	208
5.4	路由选择算法与路由协议 .....	210
5.4.1	分组交付和路由选择的基本概念 .....	210
5.4.2	自治系统与 Internet 的路由选择协议 .....	214
5.4.3	内部网关协议 IGP .....	216
5.4.4	最短路径优先协议 OSPF .....	216
5.4.5	外部网关协议 .....	218
5.4.6	路由器与第三层交换技术 .....	219
5.5	Internet 控制报文协议 ICMP .....	225
5.5.1	控制报文协议 ICMP 的作用与特点 .....	225
5.5.2	ICMP 数据报格式与类型 .....	225
5.5.3	ICMP 差错报告报文 .....	226
5.5.4	ICMP 查询报文 .....	230
5.6	IP 多播与 Internet 组管理协议 IGMP .....	233
5.6.1	IP 多播的基本概念 .....	233
5.6.2	Internet 组管理协议 .....	235
5.6.3	多播路由器与 IP 多播中的隧道技术 .....	235
5.7	服务质量 .....	236
5.7.1	QoS 的基本概念 .....	236
5.7.2	资源预留协议 RSVP .....	239
5.7.3	区分服务 DiffServ .....	241
5.7.4	多协议标记交换 .....	246
5.8	地址解析协议 ARP .....	252
5.8.1	IP 地址与物理地址的映射 .....	252
5.8.2	地址解析协议 ARP 分组格式 .....	253
5.8.3	反向地址解析协议 RARP .....	255
	参考文献 .....	256
<b>第 6 章</b>	<b>IPv6 协议 .....</b>	<b>257</b>
6.1	IPv6 协议的基本概念 .....	257
6.1.1	IPv4 协议的局限性 .....	257
6.1.2	IPv6 的主要特征 .....	258
6.1.3	IPv6 的基本术语 .....	260
6.2	IPv6 地址 .....	263
6.2.1	IPv6 地址表示方法 .....	263
6.2.2	IPv6 地址类型 .....	264
6.2.3	主机 IPv6 地址与路由器 IPv6 地址 .....	269
6.2.4	IPv6 地址与 IPv4 地址的比较 .....	270
6.2.5	IPv6 接口标识符 .....	271