

“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

（第2版）

吴功宜 吴英 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 (第2版)

吴功宜 吴英 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书以计算机网络技术发展的三个阶段——互联网、移动互联网与物联网为主线,系统地讨论计算机网络技术的研究与发展。

本书具有两个主要特点:一是贴近技术发展前沿,系统地讨论了网络技术研究的最新进展与当前研究的热点,包括 Mobile Internet、IoT、NGI、P2P、WSN 及相关研究;二是以能力培养为导向,形成以理论研究为主教材《计算机网络高级教程(第2版)》,与以实践能力培养为特色的配套教材《计算机网络高级软件编程技术(第2版)》、《网络安全高级软件编程技术》相结合的教材体系。从研究生网络课程教学体系设计的角度,作者希望通过学习《计算机网络高级教程》起到为研究生在网络领域的论文选题做好知识储备的作用,学习《计算机网络高级软件编程技术》、《网络安全高级软件编程技术》起到为完成论文做好技术储备的作用。

本书可作为计算机、软件工程、信息安全及相关专业的硕士与博士研究生教材或参考资料,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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络高级教程/吴功宜,吴英编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2015
(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
ISBN 978-7-302-40412-5

I. ①计… II. ①吴… ②吴… III. ①计算机网络—研究生—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 176870 号

责任编辑:张瑞庆 战晓雷

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:王静怡

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:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:47.75

字 数:1192千字

版 次:2015年9月第2版

印 次:2015年9月第1次印刷

印 数:1~1000

定 价:89.90元

产品编号:058887-01

Abstract

This book is written along three stages of network technologies: Internet, Mobile Internet and Internet of Things. It systematically discusses the research and development of computer network technologies.

This book has two main features. Firstly, it is close to the forefront of technology development. It discusses the latest progress of network technologies and the hot spot of the current research, includes Mobile Internet, Internet of Things, NGI, P2P, and WSN. Secondly, it forms the ability-oriented teaching material system, includes the main textbook—*Senior Guide of Computer Networks (second edition)* for theoretical research, the auxiliary materials—*Senior Programming Technology of Computer Network (Second Edition)* and *Senior Programming Technology of Network Security* for practical ability. From the perspectives of graduate teaching system, we hope this book can be used for knowledge reservation of selecting graduation thesis topic, the latter two are beneficial to increase the technical reservation for completion of graduation thesis.

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

前言

计算机网络是当今计算机科学与技术学科中发展最为迅速的技术之一,也是计算机应用中一个空前活跃的领域。计算机网络技术已经成为信息技术与信息产业发展的基础,也可以说是现代信息社会发展的基石。

如果将计算机网络的基础“分组交换”概念的提出与 ARPANET 的出现作为计算机网络技术发展起点的话,那么计算机网络技术已经历了 50 多年的发展。回顾计算机网络技术与应用发展的历程,我们如今可以清晰地看到它是沿着“互联网—移动互联网—物联网”的轨迹,“由小到大”一步一步地发展、壮大,“由表及里”地渗透到社会的各行各业与各个角落,开启了互联网与传统行业跨界融合的新趋势,按照“互联网+”的模式,推动着信息社会的发展。如果说互联网的作用是扩大了信息社会人与人之间信息共享的广度,移动互联网的作用是扩大了信息共享的深度与灵活性,那么物联网将利用各种感知技术,构建覆盖世界上人与人、人与物、物与物互联的网络信息系统。随着移动互联网、物联网技术与产业的发展,计算机网络技术与知识更新的速度正在进一步加快,从事计算机网络课程教学的教师有了更加广阔的发展空间,同时也面临着越来越大的挑战。

作者记得 1984 年第一次在南开大学计算机系开设计算机网络课程时,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。如今互联网与电力一样,成为了人们须臾不能离开的基本生活与工作环境。作者在 30 年的网络课程教学与科研工作中,跟踪着计算机网络技术研究与应用的发展,见证了计算机网络从互联网、移动互联网到物联网的高速发展过程。作者在 1995 年参与研究与起草“天津市信息港工程规划纲要”,至今也有 20 年了。在这 20 年里,作者也见证了我国互联网技术与信息产业的发展历程。作者在参与和主持城市信息化建设“九五”、“十五”与“十一五”发展规划的研究工作中,学会从宏观的角度去认识网络技术的发展,体会网络技术对信息产业与社会经济发展的重大影响。这些经历使得作者逐渐对计算机网络技术有了一个更加深刻、全面的认识。我国是信息技术应用的大国,但不是信息技术强国。要实现建设“网络强国”之梦,必须培养出一大批网络技术精英,大学在培养高层次网络技术人才方面应该走在前面。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。作者希望通过总结计算机网络技术的 3 个发展阶段中,前人的研究方法 with 目前的进展情况,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)能够了解网络技术发展的现状,了解研究与应用发展的趋势,在学习、实践、总结、提炼的基础上,学会选题和研究。这是作者的初衷,也是一名教师的责任。

这本教材在写作上注意贯彻了“新、精、实、活”的原则。

“新”:教材内容的选题上,注意贴近网络技术的最新发展与研究的热点。

“精”:适度减少成熟技术的份量,精选与增加了新技术与新发展的内容。

“实”:从科研实践中提炼“近似实战”的网络编程能力训练的选题。

“活”:能够适应“因材施教”的教学方法与不同基础学生的学习。

我们从教材第2版的10章内容的选题与结构安排中可以看到以上的特点。

第1章用网络技术发展过程中不同阶段的标志性研究成果与具有代表性的科学家,以及大量的照片、图表,对计算机网络技术发展的过去、现在与未来做了较为全面的综述。

第2章对支撑网络发展的各种传输网技术进行了系统分析与梳理,对目前发展迅速的无线通信技术进行了较为深入的讨论。

第3章对支撑 Internet 运行的 IP 协议(尤其是 IPv6 协议)、路由器技术的发展,以及下一代互联网(NGI)体系结构研究的现状进行了系统讨论。

第4章从分布式进程通信实现方法的角度讨论了 TCP/UDP 协议与 RTP/RTCP 协议,系统地介绍了支撑物联网(IoT)发展的容迟网(DTN)技术研究的现状。

第5章对 Internet 应用与应用层协议分类,各种协议的基本工作原理与实现方法进行了系统讨论。

第6章对 P2P 技术的特点、P2P 网络的分类以及各种 P2P 应用系统的工作原理与实现技术进行了系统讨论。

第7章对移动互联网与移动 IP 协议的基本概念与关键技术,尤其是移动 IPv4 与 IPv6 的特点进行了系统讨论。

第8章对无线自组网络(Ad hoc)与无线传感器网络(WSN),以及目前研究的热点——无线地下、水下、多媒体传感器网络(UWSN、WUSN、WMSN)、无线人体传感器网络(WBSN)、无线传感器与执行器网络(WSAN)与无线纳米传感器网络(WNSN)的概念、特点、体系结构、关键技术的研究与进展做了较为系统的介绍。

第9章对 IoT 的概念、特点, IoT 与 Internet 的关系,以及 IoT 体系结构、关键技术的研究与进展进行了系统讨论。

第10章对网络安全概念、关键技术以及涉及 Ad hoc、WSN 与 RFID 应用系统的安全技术研究进行了系统讨论。

在本书的修订过程中注意解决好以下3个问题:

1. 处理好网络课程中“变”与“不变”的关系

本书修订过程中,作者体会最深也是最困难的问题是:如何处理好网络课程中“变”与“不变”的关系。作者有两点认识。一是网络技术发展得实在是太快了,个人的研究工作与阅历不可能涉及各个方面。个人的研究工作也就局限在网络技术中的几个比较窄的方面,深度也十分有限,因此要系统地总结网络技术领域的研究与进展难度很大。作者深知,在网络技术领域,选取出其中任何一项网络新技术、一个目前研究的网络热点问题,就可以写一本书。很多新技术、新标准与新的研究文献看明白就很难,看明白之后还要对一类问题做综述,并且要在了一本教材中将这新内容汇聚成一个体系,实在是难上加难。尽管作者也经常与同行交流,仍然经常感到力不从心,但是出于网络教学的需要和本着对学生负责的态度,作者还是坚持完成了本书的修订工作。二是要在教材中增加新技术,反映技术研究的新技术,那么在做“加法”的同时,必须先做好“减法”。在增加网络新技术研究内容时,必须相应地压缩成熟技术内容的分量。而压缩成熟技术内容是与保持课程体系的完整性与系统性相

矛盾的。我们不能简单地通过减少篇幅的办法来实现,而是要通过从更高的认知角度,采用综述的方法,才能达到既减少了篇幅,又不破坏知识的系统性的目的。例如,IP 协议很重要,关于 IPv4 与 IPv6 深层次的讨论足可以写几本书。然而对 IPv4 与 IPv6 知识没有深层次的理解,那么对“下一代互联网”技术路线与体系结构的研究往往停留在“就事论事”的层面。本书采用分专题对比的方式,通过总结、归纳的方法,引出深层次的研究问题。这样既减少了篇幅,又不破坏知识的系统性。同时,对于当前很多新的研究热点问题也不可能全面地展开,作者注意标注了较多的参考文献,有兴趣的学生可以通过查找论文来深入了解研究工作的进展情况。修订过程让我们体会到:只有立足于自身与科研教学团队在网络技术研究中对新发展的正确理解与把握,才有可能处理好网络课程内容“变”与“不变”关系,帮助读者对网络新技术的发展有一个比较全面的认识。

2. 处理好理论学习与实际能力培养的关系

目前本科生与研究生在毕业求职过程中反映出的实际动手能力弱的缺陷,与教学过程中的硬件实验、软件编程训练量不足以及要求不严有直接关系。要提高教学质量,增强学生就业的竞争力,就必须加强实践环节的训练。目前网络课程教学急需解决理论与实际的结合,加强学生实际能力培养的问题。网络是一门应用性与实践性很强的课程。学生只有通过严格的实践训练,才有可能真正理解解决网络问题的基本方法。为了处理好理论学习与实际工作能力培养相结合的问题,作者与教学科研团队结合多年实际科研、开发的经验,从研究实践中总结出近 50 个“近似实战”的网络协议与应用软件,以及网络安全软件编程题目,分别精选与整理成《计算机网络高级软件编程技术(第 2 版)》与《网络安全高级软件编程技术》两本辅助教材,与作为主教材的本书构成一个能够支持“以能力培养为导向”的教学改革理念的研究生网络课程教学体系。

3. 处理好教师“因材施教”与学生“自主学习”的关系

研究生教学要服务于为国家培养一批“计算机专业精英”的目标,传统的“以教师为主导”的教学模式必须改革。作者在设计这套教材体系时注意处理好如何适应教师“因材施教”与学生“自主学习”的问题。这套教材在南开大学计算机系研究生学位课程的多年使用中,教师采取的方法是:结合自己的科研心得,按照主教材的章节结构与基本内容,用 12 周(每周一次,3 学时)做 10~12 次“导读”式的授课;每隔一周结合教学内容在《计算机网络高级软件编程技术(第 2 版)》中选择一个题目,安排学生完成一次“近似实战”课题的网络软件编程练习。对于一般的学生,基本的要求是一学期完成 6 次网络软件编程练习;对于有兴趣与基础好的学生,不限制他们完成网络软件编程练习次数。在读者执教的经历中,甚至有的学生做完了 22 道 Windows 环境中的网络软件编程与 12 道 Linux 环境中的网络安全编程练习。在教学实践中,希望教师本着对学生负责的态度,帮助基础比较差的学生完成 6 次基本的网络软件编程练习,指导有能力的学生通过“自主学习”的方式完成更多的实践训练内容,实现“让基础差的学生‘走’起来,让基础好的学生‘跑’起来”的“因材施教”教学理念。这套教材在南开大学计算机系以及很多大学相关专业的教学实践中,学生的反映与教学效果是好的,对提高研究生网络理论水平与实际工作能力发挥了积极的作用。

这本教材涉及的内容很广,作者阅读了很多书籍与文献,也向同行请教了很多问题,因

此也可以说它汇聚了很多人的研究心血,作者只是将个人能够理解的部分按照自己的思路编写出来。书中对某一方面的技术理解有错误或不准确,以及在总结和参考文献标注中出现挂一漏万的问题在所难免,恳请读者批评指正。

本书由吴功宜完成了第1~5章、第9章、第10章的写作,吴英完成了第6~8章的写作,全书由吴功宜统稿。牛秀卿、刘立新老师在资料查询、核对方面做了大量工作。

本书可以供计算机、软件工程、信息安全、通信工程、微电子、电子信息等相关专业的硕士、博士研究生的计算机网络课程教材或教学参考书,也可以供信息技术领域的工程技术与技术管理人员在学习和研究网络技术时参考。

作者在本书的写作过程中得到了南开大学计算机系网络实验室刘瑞挺教授、徐敬东教授、张建忠教授、张玉副教授与许昱玮老师的帮助,在此谨表衷心感谢。感谢董大凡、王珺、刘乾、杨凯、许昱玮、潘怡然、王伟为《计算机网络高级软件编程技术》第1、2版所做的写作与修订工作,以及张建忠、张健、许昱玮为《网络安全高级软件编程技术》的写作做出的贡献。感谢兄弟院校老师多年的支持与帮助。

吴功宜

南开大学计算机与控制工程学院计算机系

wgy@nankai.edu.cn

2015年3月12日

目 录

第 1 章 计算机网络技术的研究与发展	1
1.1 计算机网络的发展历程	1
1.1.1 从信息技术的角度看计算机网络的发展	1
1.1.2 从信息产业的角度看计算机网络的发展	2
1.2 从计算机网络到互联网	4
1.2.1 ARPANET 与分组交换技术研究的背景	4
1.2.2 ARPANET 研究与发展	8
1.2.3 TCP/IP 协议与网络体系结构研究	14
1.2.4 Internet 的形成与发展	18
1.2.5 Internet 应用的发展	26
1.2.6 下一代互联网的研究	29
1.3 从互联网到移动互联网	32
1.3.1 移动分组网与 PRNET、SATNET、ALOHA NET	32
1.3.2 WWAN、WMAN、WLAN、WPAN 与 WBAN 的研究	34
1.3.3 移动 IP 协议的研究	44
1.3.4 移动通信网与 3G/4G 技术	45
1.3.5 移动互联网应用的发展	47
1.4 从移动互联网到物联网	49
1.4.1 物联网产生的背景	49
1.4.2 物联网技术与应用的研究	51
1.4.3 物联网与“智慧地球”、云计算、大数据	52
1.5 深入理解计算机网络的组成与结构	54
1.5.1 从计算机原理的角度认识计算机网络的组成与结构	54
1.5.2 从计算机操作系统的角度认识计算机网络软件的组成与结构	58
1.5.3 从计算机外部设备设计方法的角度认识计算机网络组成与结构	60
1.6 网络安全技术	62
1.6.1 网络安全与现实社会的关系	63
1.6.2 物联网网络安全与互联网网络安全的关系	65
1.6.3 网络安全与密码学的关系	65
1.6.4 网络空间与国家信息安全战略的关系	66

1.7 互联网发展成功的经验与面临的挑战	69
1.7.1 预测互联网发展的新摩尔定律	69
1.7.2 互联网发展的成功经验	71
参考文献	74
第2章 传输网技术	75
2.1 传输网的基本概念	75
2.1.1 支撑教学科研工作的计算机网络环境	75
2.1.2 传输网的结构模型	77
2.1.3 传输网技术的发展	80
2.2 广域网技术研究与发展	81
2.2.1 广域网的主要特征	81
2.2.2 广域网体系结构模型	83
2.2.3 广域网技术演变的过程	85
2.2.4 从 SONET/SDH 到光传输网	90
2.2.5 光传输网技术的发展	93
2.2.6 光以太网与广域网	96
2.2.7 广域网技术发展与 TCP/IP 协议的关系	100
2.3 城域网技术研究与发展	101
2.3.1 城域网概念的演变与发展	101
2.3.2 宽带城域网的结构与层次划分	104
2.3.3 城域以太网与宽带城域网	107
2.3.4 无线宽带城域网 WiMax 与 IEEE 802.16 标准	107
2.4 局域网技术研究与发展	108
2.4.1 局域网技术发展过程	108
2.4.2 Ethernet 技术研究与发展	110
2.4.3 高速 Ethernet 研究与发展	111
2.4.4 无线局域网技术研究与发展	115
2.5 个人区域网研究与发展	117
2.5.1 PDN 研究的背景	117
2.5.2 WPAN 与 IEEE 802.15.4 协议标准	117
2.5.3 基于 IPv6 的低速无线个人区域网 6LoWPAN 标准	119
2.5.4 超宽带 UWB 通信技术研究	122
2.6 人体区域网研究与发展	124
2.6.1 无线人体区域网与无线人体传感器网络的研究	124
2.6.2 无线人体传感器网络与 IEEE 802.15.6 标准	124
2.6.3 近场通信 NFC 技术研究	127
2.7 3G/4G 与 M2M 工作模式	129
2.7.1 移动通信网结构与基本工作原理	129

2.7.2 移动通信网 3G/4G	131
2.7.3 M2M 工作模式及应用	133
2.7.4 WMMP 协议	137
2.8 传输网两个融合的发展趋势	142
2.8.1 计算机网络、广播电视网与电信网的“三网融合”	142
2.8.2 局域网、城域网与广域网的“三网融合”	143
参考文献	144
第 3 章 IP 协议与下一代 Internet 研究	146
3.1 网络层与 IP 协议的演变与发展	146
3.1.1 网络层基本概念	146
3.1.2 IP 协议的主要特点	146
3.1.3 IP 协议的演变与发展	147
3.1.4 IPv6 协议的主要特点	149
3.2 IPv4 与 IPv6 协议的基本内容	152
3.2.1 IPv4 与 IPv6 报头的比较	152
3.2.2 路由器对 IPv4 与 IPv6 报文转发过程的比较	162
3.2.3 IPv4 与 IPv6 地址比较	166
3.2.4 ICMPv4 与 ICMPv6 协议的比较	179
3.2.5 IPv6 地址的自动配置	187
3.3 路由技术的研究与发展	189
3.3.1 分组交付和路由选择的基本概念	189
3.3.2 自治系统与路由选择协议	195
3.3.3 路由信息协议 RIPng 的特点	197
3.3.4 最短路径优先协议 OSPFv3 的特点	199
3.3.5 外部网关协议 BGP4+ 的特点	202
3.3.6 路由、寻址体系面临的问题与未来的发展	204
3.4 QoS 与 RSVP、DiffServ 与 MPLS	205
3.4.1 QoS 研究	205
3.4.2 RSVP 协议与 DiffServ 协议	207
3.4.3 MPLS 协议与 MPLS VPN	208
3.5 IPv4 向 IPv6 的过渡	211
3.5.1 双 IP 层或双协议栈	211
3.5.2 隧道技术	212
3.6 路由器技术的研究与发展	214
3.6.1 路由器的基本概念与发展趋势	214
3.6.2 单总线单 CPU 结构的路由器	224
3.6.3 多总线多 CPU 结构的路由器	225
3.6.4 基于交换结构的路由器	226

3.6.5	高可扩展路由器与路由器集群结构	229
3.7	下一代互联网体系结构的研究	232
3.7.1	下一代互联网体系结构研究技术路线的分类	232
3.7.2	基于 IPv6 的全球下一代 Internet 试验网研究	233
3.7.3	主动网络技术的研究	237
3.7.4	位置/身份分离与 LISP 协议的研究	245
3.7.5	软件定义网络技术的研究	247
3.7.6	革命式新一代互联网体系结构研究	251
	参考文献	253
第4章	TCP 与 UDP 协议	256
4.1	网络环境中分布式进程通信的基本概念	256
4.1.1	单机系统中的进程通信方法	256
4.1.2	网络环境中分布式进程通信的特点	257
4.1.3	对进程间相互作用的客户/服务器模式的理解	258
4.1.4	进程通信中客户/服务器模式的实现方法	259
4.2	传输层的基本功能	263
4.2.1	传输层的端-端通信	263
4.2.2	传输层协议的基本功能	266
4.2.3	传输服务与服务质量	268
4.3	传输控制协议	269
4.3.1	TCP 协议的主要特点	269
4.3.2	TCP 的端口号分配和 socket 地址	271
4.3.3	TCP 报文段格式	272
4.3.4	TCP 流量控制	274
4.3.5	TCP 差错控制	277
4.3.6	TCP 传输连接建立、维护与释放	279
4.3.7	“状态”的概念与 TCP 状态转换图	281
4.4	用户数据报协议	284
4.4.1	UDP 协议的主要特点	284
4.4.2	UDP 适用的范围	285
4.4.3	UDP 的基本工作过程	286
4.4.4	UDP 端口号	288
4.4.5	用户数据报的格式	289
4.4.6	UDP 校验和的基本概念与计算示例	290
4.5	实时传输协议 RTP/RTCP	292
4.5.1	多媒体数据传输的特点	292
4.5.2	RTP 协议	296
4.5.3	RTCP 协议	299

4.6 容迟网技术的研究	301
4.6.1 DTN 研究的背景	301
4.6.2 DTN 体系结构	302
4.6.3 DTN 协议体系模型与数据束协议	303
4.6.4 DTN 在星际网络中的应用研究	306
参考文献	309
第 5 章 Internet 应用层与应用层协议	312
5.1 Internet 应用发展与应用层协议的分类	312
5.1.1 应用层与应用层协议的基本概念	312
5.1.2 应用层协议的分类	313
5.2 Internet 基本网络应用与应用层协议	315
5.2.1 远程登录服务与 Telnet 协议	315
5.2.2 电子邮件服务与 SMTP 协议	316
5.2.3 文件传输服务与 FTP、TFTP 协议	318
5.3 基于 Web 的网络应用	322
5.3.1 Web 应用的基本概念	322
5.3.2 HTTP 协议	324
5.3.3 超文本标记语言 HTML	327
5.3.4 Web 浏览器	329
5.3.5 搜索引擎应用	331
5.3.6 内容分发网技术研究与应用	335
5.4 博客、播客、网络电视与网络电话应用	340
5.4.1 博客应用	340
5.4.2 播客应用	342
5.4.3 网络电视应用	343
5.4.4 IP 电话、即时通信与 SIP 协议	343
5.5 域名系统	350
5.5.1 DNS 研究的背景	350
5.5.2 DNS 域名空间	352
5.5.3 域名服务器	353
5.5.4 域名解析	355
5.5.5 域名系统性能优化	357
5.6 主机配置与动态主机配置协议	358
5.6.1 动态主机配置的基本概念	358
5.6.2 DHCP 协议的基本内容	359
5.7 网络管理与 SNMP 协议	362
5.7.1 网络管理的基本概念	362
5.7.2 SNMP 协议的基本内容	365

参考文献	369
第6章 P2P 技术及应用	372
6.1 P2P 的基本概念	372
6.1.1 P2P 技术发展的背景	372
6.1.2 P2P 的定义与主要技术特征	374
6.1.3 C/S 模式与 P2P 模式的比较	377
6.1.4 P2P 网络分类	379
6.1.5 P2P 应用的发展趋势	380
6.2 集中式 P2P 网络	381
6.2.1 集中式 P2P 网络基本概念	381
6.2.2 Napster 协议与工作流程分析	383
6.2.3 集中式 P2P 的优点与缺点	386
6.3 分布式非结构化 P2P 网络	387
6.3.1 分布式非结构化 P2P 网络的基本概念	387
6.3.2 分布式非结构化 P2P 网络协议与工作流程分析	388
6.3.3 小世界网络模型的基本概念	393
6.4 分布式结构化 P2P 网络	396
6.4.1 分布式结构化 P2P 网络的基本概念	396
6.4.2 DHT 的基本概念	397
6.5 混合 P2P 网络	402
6.5.1 混合 P2P 网络的基本概念	402
6.5.2 混合 P2P 网络协议与工作流程分析	403
6.6 基于 P2P 的网络应用	406
6.6.1 P2P 应用软件分类	406
6.6.2 P2P 文件共享软件	406
6.6.3 P2P 即时通信软件	409
6.6.4 P2P 流媒体软件	412
6.6.5 P2P 共享存储软件	413
6.6.6 P2P 分布式计算软件	415
6.6.7 P2P 协同工作软件	416
6.6.8 P2P 搜索软件	416
6.7 P2P 技术研究与应用的发展	417
6.7.1 P2P 应用中存在的主要问题	417
6.7.2 P4P 的基本概念	419
参考文献	420
第7章 移动互联网与移动 IP	422
7.1 移动互联网的基本概念	422

7.1.1	移动互联网的特点	422
7.1.2	移动接入设备的发展	423
7.1.3	无线传输网技术的发展	424
7.1.4	移动互联网用户规模的发展	425
7.1.5	移动互联网服务功能的发展	426
7.2	移动 IP 的基本概念	428
7.2.1	移动 IP 问题的提出	428
7.2.2	移动 IP 的设计目标与主要特征	429
7.2.3	移动 IP 的结构与基本术语	429
7.3	移动 IPv4 的基本工作原理	432
7.3.1	移动 IPv4 的基本工作过程	432
7.3.2	移动 IPv4 中移动节点和通信对端的基本操作	436
7.3.3	移动 IP 的概念性数据结构	437
7.4	移动 IP 的关键技术	438
7.4.1	移动切换	438
7.4.2	移动 IP 安全	439
7.4.3	服务质量	440
7.4.4	多播通信	440
7.5	移动 IPv6 协议的基本概念	441
7.5.1	移动 IPv6 与移动 IPv4 的比较	441
7.5.2	移动 IPv6 的基本操作	442
7.5.3	移动 IPv6 对基本 IPv6 协议的修改	444
7.5.4	移动 IPv6 的通信类型	445
	参考文献	452

第 8 章 Ad hoc 与 WSN 技术研究及应用 454

8.1	Ad hoc 与 WSN 技术的发展	454
8.1.1	从 PRNET 到 Ad hoc 网络	454
8.1.2	从 Ad hoc 到 WSN	455
8.1.3	从 WSN 到 WSN	457
8.2	Ad hoc 网络	458
8.2.1	Ad hoc 网络的特点与层次结构模型	458
8.2.2	Ad hoc 信道接入与 MAC 协议研究	460
8.2.3	Ad hoc 网络路由协议的研究	465
8.2.4	Ad hoc 网络 QoS 技术的研究	472
8.3	WSN 技术的研究与应用	478
8.3.1	WSN 的主要特点与研究工作的进展	478
8.3.2	WSN 部署与初始化技术	489
8.3.3	WSN 信道访问控制协议	490

8.3.4	WSN 路由协议	492
8.3.5	WSN 拓扑控制与功率控制技术	499
8.3.6	WSN 定位技术	502
8.3.7	WSN 时间同步技术	505
8.3.8	WSN 数据融合技术	509
8.3.9	WSN 操作系统与数据管理技术	516
8.3.10	WSN 跨层设计方法	523
8.4	水下无线传感网络	526
8.4.1	水下无线传感器网络研究的背景与应用前景	526
8.4.2	水下无线传感器网络的特点	528
8.4.3	水下无线传感器网络节点的类型	529
8.4.4	水下无线传感器网络结构	530
8.4.5	AUV 传感器网络	531
8.4.6	水下传感器网络技术研究	533
8.5	无线地下传感器网络	541
8.5.1	无线地下传感器网络研究的背景与应用前景	541
8.5.2	无线地下传感器网络的主要优点	542
8.5.3	无线地下传感器网络结构	543
8.5.4	地下无线通信信道的特点	545
8.5.5	无线地下传感器网络技术研究	546
8.6	无线多媒体传感器网络	549
8.6.1	无线多媒体传感器网络研究的背景与应用领域	549
8.6.2	无线多媒体传感器网络结构设计的基本思路	551
8.6.3	无线多媒体传感器网络研究面临的挑战	552
8.6.4	无线多媒体传感器网络技术研究	553
8.7	无线人体传感器网络研究	563
8.7.1	无线人体传感器网络研究的背景	563
8.7.2	智能远程医疗系统中的无线人体传感器网络	566
8.8	无线传感器与执行器网络	567
8.8.1	无线传感器与执行器网络研究的背景	568
8.8.2	无线传感器与执行器网络的主要特点	568
8.8.3	无线传感器与执行器网络的执行机制	569
8.8.4	无线传感器与机器人网络的基本概念	571
8.8.5	无线传感器与执行器网络技术研究	572
8.9	纳米无线传感器网络	575
8.9.1	纳米传感器的研究与发展	575
8.9.2	无线纳米传感器网络研究	579
	参考文献	580

第 9 章 物联网技术研究与应用	594
9.1 物联网的基本概念	594
9.1.1 物联网研究的背景	594
9.1.2 物联网的主要技术特征	598
9.2 物联网体系结构研究	604
9.2.1 物联网层次结构模型研究	604
9.2.2 物联网感知层	605
9.2.3 物联网网络层	608
9.2.4 物联网应用层	614
9.2.5 物联网跨层的共性服务	616
9.3 从计算机体系结构和计算机网络的角度认识物联网的组成与结构	619
9.3.1 从计算机体系结构的角度认识基于 RFID 的物联网应用系统组成与结构	619
9.3.2 从计算机网络的角度认识基于 WSN 的物联网应用系统组成与结构	623
9.4 ONS 概念、原理与实现技术	626
9.4.1 ONS 的设计思路	626
9.4.2 提供 ONS 服务的 EPC 应用系统结构	627
9.4.3 EPC 体系中物品信息的查询过程	628
9.4.4 EPC 体系与实体标记语言 PML	630
9.4.5 EPC ONS 系统的设计	633
9.4.6 支持物联网应用系统的网络结构设计举例	636
9.5 车载网 VANET 的研究与发展	640
9.5.1 VANET 的基本概念	640
9.5.2 VANET 的组成与结构	646
9.5.3 VANET 的协议标准体系	650
9.5.4 VANET 研究的发展	652
参考文献	661
第 10 章 网络安全技术研究与发展	663
10.1 网络安全技术研究的基本内容	663
10.1.1 网络安全研究的分类	663
10.1.2 网络攻击的分类	664
10.1.3 网络安全发展的新动向	669
10.2 网络安全防护技术研究	672
10.2.1 防火墙技术研究	672
10.2.2 入侵检测技术研究	680
10.2.3 安全审计技术研究	688