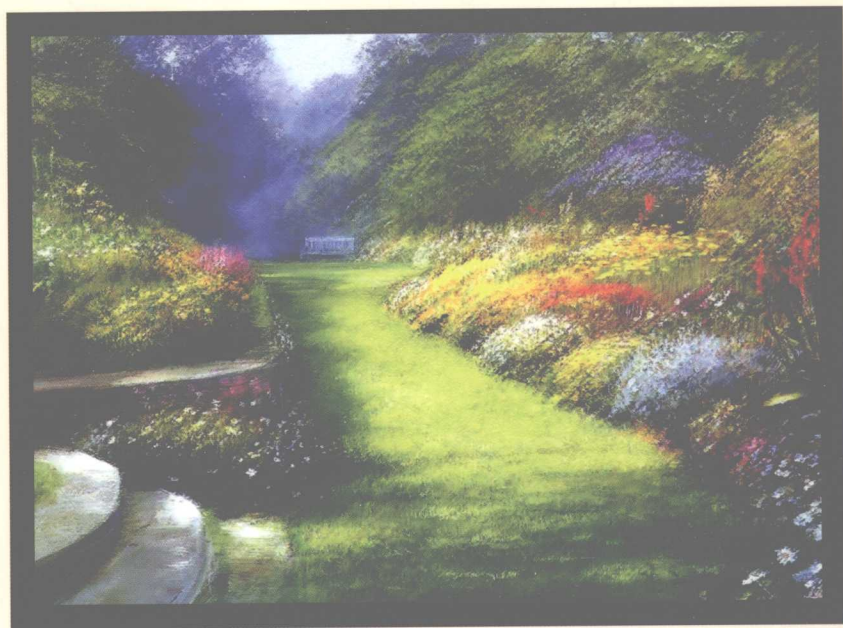


计算机网络技术教程

自顶向下分析与设计方法

吴功宜 吴英 编著



Computer Networking: A Top-Down Approach



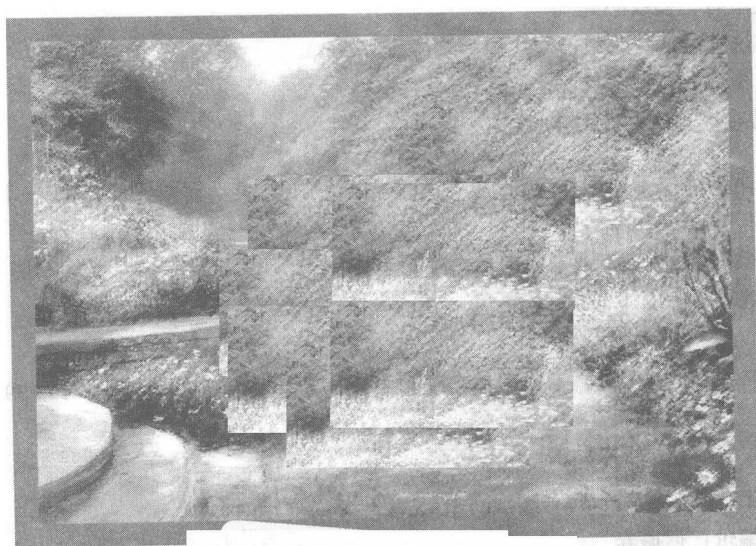
机械工业出版社
China Machine Press

高等院校计算机专业人才培养规划教材

计算机网络技术教程

自顶向下分析与设计方法

吴功宜 吴英 编著



Computer Networking: A Top-Down Approach



机械工业出版社
China Machine Press

本书按照自顶向下的分析与设计方法,在系统地讨论计算机网络的基本概念、网络技术发展的三条主线(互联网应用、无线网络与网络安全),以及广域网、局域网与城域网技术发展、演变的基础上,重点讨论了网络应用与应用层协议、网络应用体系结构与应用软件设计方法;在网络应用系统对传输层及低层提供的服务功能与协议要求的基础上,介绍了传输层、网络层、数据链路层及物理层的概念与技术,并对当前研究与应用的热点——无线网络技术进行了系统的讨论。

为了便于学生学习和掌握网络技术的基本知识与技能,同时也考虑到本科生参加硕士研究生入学与就业考试的需要,编写了与主教材配套的例题解析与同步练习辅导教材。任课教师可以参考辅导教材,根据教学进度安排课后作业;学生可以主动地结合课程的学习,阅读例题解析并完成同步练习,加深对课程内容的理解,掌握网络技术基本的知识与技能,同时为掌握网络应用系统设计与软件编程方法打下基础。

本书适合作为计算机、软件工程、信息安全、通信、微电子、电子信息等相关专业的本科生与硕士研究生计算机网络课程的教材或教学参考书,也可以供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。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络技术教程:自顶向下分析与设计方法 / 吴功宜, 吴英编著. —北京: 机械工业出版社, 2009.12

(高等院校计算机专业人才培养规划教材)

ISBN 978-7-111-28297-6

I. 计… II. ① 吴… ② 吴… 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(2009)第164485号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:迟振春

三河市明辉印装有限公司印刷

2010年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23印张

标准书号:ISBN 978-7-111-28297-6

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88378991, 88361066

购书热线:(010) 68326294, 88379649, 68995259

投稿热线:(010) 88379604

读者信箱:hzjsj@hzbook.com

机械工业出版社华章公司多年来以“全球采集内容，服务中国教育”为己任，致力于引进国际知名大学广泛采用的计算机、电子工程和数学方面的经典教材，出版了一大批在计算机科学界享誉盛名的专家名著与名校教材，其中包括Donald E.Knuth、Alfred V. Aho、Jim Gray、Jeffery D. Ullman等名家的一批经典作品。这些作品为我国计算机教育及科研事业的发展起到了积极的推动作用。

近年来，我们一直关注国内计算机专业教育的发展和改革并大力支持、参与相关的教学研究活动。2006年，教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会在对我国计算机专业教育现状和社会对人才的需求进行研究的基础上，发布了《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范（试行）》（以下简称《规范》）。为配合《规范》的实施和推广，我们出版了“面向计算机科学与技术专业规范系列教材”。这套教材的推出，对宣传《规范》提出的“按培养规格分类”的理念、推进高校学科建设起到了一定的促进作用。

2007年，教育部下发了《关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》，强调高等教育以育人为本，以学生为主体，坚持以培养创新人才为重点，下大力气深化教育教学改革。在“质量工程”的思想指导下，各高校纷纷开展了相关的学科改革和教学研究活动。高等学校计算机科学与技术专业的教育开始从过去单纯注重知识的传授向注重学科能力的培养转型。2008年底，教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会成立了“高等学校计算机科学与技术专业人才培养能力构成与培养”项目研究小组，研究小组由蒋宗礼教授（组长）、王志英教授、岳丽华教授、陈明教授和张钢教授组成，研究计算机专业人才培养能力的构成和在计算机专业的主干课程中如何培养这些专业能力。

为配合“高等学校计算机科学与技术专业人才培养能力构成与培养”专项研究成果的推广，满足高校从知识传授向能力培养转型的需求，在教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会专家及国内众多知名高校专家的指导下，我们策划了这套“高等院校计算机专业人才培养规划教材”。这套教材以专项研究的成果为核心，围绕计算机专业本科生应具有的能力组织教材体系。本套教材的作者长期从事教学和科研工作，他们将自己在本科生能力培养方面的经验和心得融入教材的编写中，力图通过理论教学及实践训练，达到提升本科生专业能力的目标。希望这些有益的尝试能对推动国内计算机专业学生的能力培养起到积极的促进作用。

华章作为专业的出版团队，长久以来遵循着“分享、专业、创新”的价值观，实践着“国际视野、专业出版、教育为本、科学管理”的出版方针。这套教材的出版，是我们以教学研究指导出版的成功范例，我们将以严谨的治学态度以及全面服务的专业出版精神，与高等院校的老师携手，为中国的高等教育事业走向国际化而努力。





编委会

主任委员：蒋宗礼（北京工业大学）

委 员：（以姓氏拼音为序）

陈道蓄（南京大学）

陈 明（中国石油大学）

胡事民（清华大学）

孙茂松（清华大学）

王 珊（中国人民大学）

王志英（国防科学技术大学）


吴功宜（南开大学）

岳丽华（中国科学技术大学）

张 钢（天津大学）

郑人杰（清华大学）

联络人：朱 劼 姚 蕾



丛书序言

作为我国规模最大的理工科专业，计算机本科专业为国家的建设培养了大批人才。2006年，教育部计算机科学与技术专业教学指导委员会发布了《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范（试行）》（以下简称《规范》），提出了以“按培养规格分类”为核心思想的专业发展建议，把计算机专业人才划分为研究型、工程型、应用型3个类型。在《规范》的方针指导下，培养合格的计算机本科人才。

教育包括知识、能力、素质三个方面，专业教育不仅要重视知识的传授，更应突出专业能力的培养，实施能力导向的教育。如何以知识为载体实现能力的培养和素质的提高，特别是实现专业能力和素质的提高是非常重要的。对计算机专业本科教育而言，要想实现能力导向的教育，首先要分析专业能力的构成并考虑如何将其培养落实到教学实践中。为此，教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导分委员会开展了计算机科学与技术专业人才培养能力（简称计算机专业能力）的培养研究。该项研究明确了计算机专业本科人才应具有的4大基本能力——计算思维能力、算法设计与分析能力、程序设计与实现能力、系统能力，并将这四大基本能力分解为82个能力点，探讨如何面对不同类型学生的教育需求，在教学活动中进行落实。

为体现研究成果在教学活动中的实现，我们根据《高等学校计算机科学与技术专业人才培养能力构成与培养》，出版了这套教材。本套教材面向高等院校从知识传授向能力培养转型的需求，在内容的选择、体系安排和教学方法上按照专业能力培养的需要进行了探索。其主要特点有：

(1) 以教学研究为先导。本套教材以计算机专业能力专项研究成果为基础，体现了先进的教育理念和教学方法，内容选择、知识深度、结构安排更加符合计算机专业教育的需求。

(2) 落实能力培养的思想，同时满足课程的要求。本套教材不仅关注知识点的讲授，还凸显能力培养的要求，将能力的培养分解到各门课程各个知识点的讲授中。

(3) 力求贴近教学实际。作者均长期从事实际教学工作且对专业能力培养具有一定研究，教材编写注重科学组织内容、合理安排体系、便于教学实施，更具操作性。

(4) 构建立体化教材。为了方便教师的教学活动，配合主教材开发配套的实验教材、教师参考书、学生辅导书、电子课件等教辅资源。

本套丛书的出版是在配合计算机专业能力的培养和落实方面的初步尝试，我们衷心希望本套教材的出版能起到抛砖引玉的作用，也希望广大教育工作者加入到能力培养的研究和实践中来，并对相关的教材建设提出自己的宝贵意见。

前 言



计算机网络技术的成熟与互联网的广泛应用对当今人类社会的政治、经济、科研、教育与文化发展都产生了重大的影响。任何一个发达国家和发展中国的文化教育、科学研究、政府运行、商务活动、信息传播、通信与娱乐，甚至军事活动，都越来越依赖于计算机网络和互联网。计算机网络和互联网的应用已经从开始的科学研究领域扩展到社会的各个方面，互联网已经成为人们继报纸、电视、广播之外又一个更为重要的信息来源，当今社会已经逐渐成为一个运行在计算机网络上的社会。计算机网络已经与电力网、电话交换网、移动通信网和邮政系统一起成为支持现代社会运行的基础设施。人们已经很难想象，如果有一天一个国家的网络系统突然瘫痪了，那么整个社会将会变成什么样。计算机网络技术与应用水平已经成为一个国家经济、文化、科学与社会发展水平的重要标志之一。

尽管计算机网络技术与应用的发展十分迅速，但是深入到网络技术体系中系统地研究和总结，你会发现：计算机网络技术经过几十年的发展，已经形成了相对成熟的知识体系与处理问题的思维方式。研究和比较近20年来世界上经典的计算机网络教材，我们会发现教材的编写方法基本上有两种。

第一种是采用“循序渐进”的思路，从基本概念入手，按照物理层、数据链路层、网络层、传输层到应用层的顺序，自底向上、逐步深入地解析网络原理与实现方法。采用这种编写方法的最具代表性的著作是Andrew S. Tanenbaum编著的《Computer Networks》。

第二种是采用“应用驱动”的思路，从介绍互联网应用系统的概念与功能入手，提出设计任务，按照应用层到物理层的顺序，自顶向下、逐层解剖，完成网络应用系统设计方法与实现技术的讨论。采用这种编写方法的最具代表性的著作是James F. Kurose等编著的《Computer Networking, A Top-Down Approach》[⊖]。

这两本经典教材被国内外很多大学所采用，已经产生了重要的学术影响。作者在20多年计算机网络的教学中与科研工作中，使用和参考过这两本教材，也认真地阅读和比较了它们的各个版本。作者认为，这两本教材都是非常成功的。第一种教材的主要特点是“循序渐进”、通俗易懂，便于初学者由浅入深地理解网络工作原理和实现技术，适应读者逐步深入的学习方法与思维过程。第二种教材的主要特点是“应用驱动”，从读者平时使用的互联网服务功能入手，提出“如何完成互联网应用系统设计与实现”的任务，根据任务的要求去研究网络应用系统的设计方法与实现技术，循着解决问题的过程，剖析网络工作原理，逐步掌握网络应用系统的分析、设计与实现技术。这种组织方法比较适合有一定学习基础的读者。两类教材的特点都很鲜明，都有各自的读者群。

作者过去编著和出版的计算机网络教材基本上采用的是第一种思路。当机械工业出版社

⊖ 本书中文版已由机械工业出版社引进出版，书号：978-7-111-16505-7。——编辑注

华章公司的温莉芳总编盛情邀请作者编写一本讲授“自顶向下”分析与设计方法的网络教材时，作者很有兴趣。当作者开始构思这本书的结构时，发现远比自己当初想象的难度要大，并且需要改变自己的思维方式。这种改变主要表现在以下几个方面：

第一，计算机网络与互联网之间关系的摆位问题。计算机网络与互联网从技术上是密不可分的。但是，互联网不等于计算机网络，互联网应该是计算机网络技术最成功和最有影响的应用。第一种教材采用的是“自底向上”的思路，尽管它一开始也必须介绍互联网技术与应用，但是实质上读者在学习了应用层之后才能够对互联网应用技术形成全面的认识。而第二种教材采用的是“自顶向下”的思路，它是以典型的互联网应用为背景，从网络应用功能实现的目的出发，循着实现应用程序的进程通信，逐层深入到低层的数据传输。二者的思路不同，必然要在结构的设计方法上形成明显的区别。作者在长时间思考之后认识到，以“自顶向下”的结构组织教材内容的核心是James F. Kurose在《Computer Networking, A Top-Down Approach》中提出的“端系统”与“核心交换”的概念和思路。将复杂的互联网结构抽象为“端系统”与“核心交换”的概念之后，就可以顺利地将互联网应用系统与应用层协议的设计同低层能够提供的网络进程通信和数据传输服务有机地联系起来，这样的组织方法同样有利于读者理解网络原理与实现技术。

第二，一本好的网络教材要在准确和系统地表述网络技术的基本概念、体系结构与协议标准的同时，反映当前网络技术领域新的概念、应用和研究的发展。如何将当前网络技术研究与应用的热点问题（“P2P”与“无线网络”技术）融入“自顶向下”的教材体系之中，也是一个有趣且具有挑战性的问题。新的基于P2P的网络应用不断出现，成为21世纪网络应用重要的发展方向之一，被评价为“改变互联网的新一代网络技术”，受到了学术界与产业界的高度重视。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）列为改变世界的十大技术之首。无线网络技术在军事和民用领域都有着重要的研究价值与应用前景，也是我国21世纪科技发展的重点领域之一。P2P应用属于应用层的问题，因此将P2P网络应用归并到应用层顺理成章。而无线网络具有它的特殊性。无线局域网与无线城域网的研究主要集中在物理层、数据链路层，而无线自组网、无线传感器网络与无线网状网除了要研究它们的物理层、数据链路层问题之外，还需要针对网络应用的需求，专门研究适应于这几类无线网络的网络层、传输层与应用层问题。因此在本书中设计了第9章，专门用于讨论无线网络的问题。

第三，如何适应计算机及相关专业本科生就业与研究生入学考试的需要是本教材构思与编写的另一个重要出发点。本科生毕业后有两条出路：直接就业和继续深造。无论是直接就业还是继续深造，网络技术都是毕业生必须掌握的重要的基础知识和应用技能之一。为了配合课堂教学，同时根据主教材的内容与要求，结合近年来能够收集到的计算机、通信与软件企业人员招聘考题，以及研究生入学试题，根据主教材的章节与知识点结构设计了例题和练习题，形成了本书的配套教材——《计算机网络技术教程例题解析与同步练习》。例题和练习题的选取遵循“重点突出、难度适中”的原则，并按照例题解析与知识的复习、难点的分析相结合的思路，构成合理的例题和练习题体系，帮助学生理解和掌握网络知识与基本技能，同时希望对学生通过研究生入学考试与网络技术认证，以及提高就业竞争力有所帮助。

本书内容分为9章，每一章的主要内容与课堂教学的学时安排如下：

第1章对计算机网络与互联网技术研究与发展阶段、重点问题和基本概念、标志性技术

加以概括性的总结。(建议学时: 4)

第2章对广域网、城域网与局域网技术发展及演变的过程进行了系统的讨论。(建议学时: 4)

第3章在分析互联网应用发展的3个阶段与2种工作模式的基础上,对基本的互联网应用、基于Web的网络应用以及当前正在快速发展的P2P网络应用进行了系统的讨论。(建议学时: 6)

第4章在总结网络应用系统设计方法的基础上,以DNS、DHCP、E-mail、FTP、Web、SNMP以及即时通信与SIP协议为例,系统地讨论了网络应用系统功能、结构与应用层协议的设计方法。(建议学时: 10)

第5章从网络应用对传输层服务的要求出发,对网络环境中分布式进程通信的基本概念、传输层TCP与UDP协议以及编程方法进行了系统的讨论。(建议学时: 6)

第6章从传输层对网络层服务的要求出发,系统地介绍了网络层的基本概念、IP协议、网络互联、路由选择与路由器基本概念、改进IP协议的QoS方法、IPv6协议特点,并对IP协议近年来的发展过程与进展做了较为全面的总结。(建议学时: 10)

第7章从网络层对数据链路层服务的要求出发,介绍了差错控制、误码率的基本概念,分别对点-点链路与共享链路的数据链路层基本概念进行了讨论。对于点-点链路,重点讨论了HDLC与PPP协议。对于共享链路的数据链路层,重点讨论了以太网(Ethernet)基本工作原理以及交换局域网、虚拟局域网、无线局域网与高速局域网技术。(建议学时: 5)

第8章系统地介绍了数据通信的基本概念、数据编码与SDH速率体系。(建议学时: 3)

第9章对无线网络的分类,无线局域网与802.11协议、无线城域网与802.16协议,蓝牙、ZigBee与802.15.4协议,以及无线自组网(Ad hoc)、无线传感器网络(WSN)、无线网状网(WMN)的基本概念与关键技术进行了系统的介绍。(建议学时: 6)

建议前8章的教学学时数为48学时,第9章作为选读的内容,任课教师可以根据教学安排来调整学时和选择重点介绍的内容。

本书的第1、2、6~9章由吴功宜执笔完成,第3~5章由吴英执笔完成。全书由吴功宜统稿。

本书适合作为计算机、软件工程、信息安全、通信、微电子、电子信息等相关专业的本科生与硕士研究生计算机网络课程的教材或教学参考书,也可以供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。

本书在写作过程中,得到了南开大学刘瑞挺教授、徐敬东教授、张建忠教授的帮助,在此谨表衷心的感谢。

书中有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

吴功宜 (wgy@nankai.edu.cn)

吴英 (wuying@nankai.edu.cn)

南开大学信息技术科学学院计算机系



目 录

出版者的话	
编委会	
丛书序言	
前言	
第1章 计算机网络概论1	
1.1 计算机网络发展的4个阶段1	
1.1.1 计算机网络发展不同阶段的特点1	
1.1.2 计算机网络的形成与发展2	
1.1.3 互联网应用的高速发展10	
1.2 计算机网络技术发展的3条主线11	
1.2.1 第一条主线：从ARPANET到互联网11	
1.2.2 第二条主线：从无线分组网到无线自组网、无线传感器网络.....12	
1.2.3 第三条主线：网络安全技术12	
1.3 计算机网络的定义与分类13	
1.3.1 计算机网络的定义13	
1.3.2 计算机网络的分类13	
1.4 计算机网络的拓扑构型14	
1.4.1 计算机网络拓扑的定义14	
1.4.2 计算机网络拓扑的分类与特点15	
1.5 计算机网络的结构与组成15	
1.5.1 早期计算机网络的结构与组成15	
1.5.2 互联网的结构与组成16	
1.6 网络体系结构的基本概念16	
1.6.1 网络体系结构与网络协议16	
1.6.2 OSI参考模型的基本概念19	
1.6.3 TCP/IP参考模型的基本概念23	
1.6.4 一种建议的参考模型24	
1.6.5 互联网协议标准、RFC文档与管理机构25	
1.7 我国互联网应用的发展26	
1.7.1 我国互联网网民数量增长情况26	
1.7.2 我国互联网网民接入方式的变化27	
1.7.3 我国IP地址、域名与国际出口带宽增长情况28	
1.7.4 我国互联网应用情况分析28	
1.8 本章总结30	
第2章 广域网、局域网与城域网技术的发展 ...31	
2.1 广域网技术的特征与发展31	
2.1.1 广域网的主要特征31	
2.1.2 广域网技术的发展趋势32	
2.1.3 广域网技术的发展与TCP/IP协议的关系38	
2.2 局域网技术的演变与发展39	
2.2.1 局域网技术的发展过程39	
2.2.2 高速以太网技术的研究与发展...40	
2.2.3 无线局域网技术的研究与发展...42	
2.3 宽带城域网技术的演变与发展44	
2.3.1 城域网概念的发展与演变44	
2.3.2 宽带城域网的结构与层次划分...46	
2.3.3 接入技术48	
2.4 计算机网络两个融合的发展趋势.....51	
2.4.1 计算机网络、广播电视网与电信网的三网融合51	
2.4.2 局域网、城域网与广域网的三网融合52	
2.5 本章总结52	
第3章 互联网应用技术53	
3.1 互联网应用技术发展的3个阶段与2种工作模式53	
3.1.1 互联网应用技术发展的3个阶段53	
3.1.2 C/S模式与P2P模式54	

3.2 互联网基本网络应用与应用层协议	57	4.2.5 域名系统的性能优化	102
3.2.1 远程登录服务与TELNET协议	57	4.3 主机配置与动态主机配置协议DHCP	103
3.2.2 电子邮件服务与SMTP协议	58	4.3.1 主机配置的基本概念	103
3.2.3 文件传输服务与FTP、TFTP 协议	59	4.3.2 DHCP协议的基本内容	104
3.2.4 网络新闻与NNTP协议	61	4.4 电子邮件系统	106
3.3 基于Web的网络应用	65	4.4.1 互联网电子邮件系统设计的 基本思路	106
3.3.1 Web服务的基本概念	65	4.4.2 电子邮件体系结构与基本 工作原理	107
3.3.2 电子商务应用	67	4.4.3 邮件报文交付的3个阶段	109
3.3.3 电子政务应用	69	4.4.4 SMTP协议的基本内容	110
3.3.4 远程教育应用	71	4.4.5 MIME协议的基本内容	112
3.3.5 远程医疗应用	73	4.4.6 POP3、IMAP4协议与基于 Web的电子邮件	113
3.3.6 搜索引擎应用	74	4.5 FTP服务与协议	114
3.4 博客、播客、网络电视与网络电话 应用	77	4.5.1 FTP协议工作模型	114
3.4.1 博客应用	77	4.5.2 FTP主要命令与协议执行过程	115
3.4.2 播客应用	79	4.6 Web服务与HTTP协议	117
3.4.3 网络电视应用	79	4.6.1 HTTP协议的发展	117
3.4.4 网络电话与无线网络电话 应用	80	4.6.2 HTTP的非持续连接与持续 连接	117
3.5 基于P2P的网络应用	81	4.6.3 HTTP报文格式	119
3.5.1 文件共享P2P软件	81	4.6.4 超文本标记语言HTML	123
3.5.2 即时通信P2P软件	83	4.6.5 Web浏览器	126
3.5.3 流媒体P2P软件	84	4.7 即时通信与SIP协议	128
3.5.4 共享存储P2P软件	85	4.7.1 即时通信工作模型	128
3.5.5 分布式计算P2P软件	86	4.7.2 SIP协议的基本内容	129
3.5.6 协同工作P2P软件	87	4.8 网络管理与SNMP协议	132
3.6 本章总结	87	4.8.1 网络管理的基本概念	132
第4章 应用层协议与应用系统设计方法	88	4.8.2 SNMP协议的基本内容	134
4.1 网络应用与应用系统设计方法	88	4.9 本章总结	137
4.1.1 互联网端系统与核心交换的 基本概念	88	第5章 传输层协议与传输层软件编程方法	139
4.1.2 应用进程间的相互作用模式	90	5.1 传输层的基本概念	139
4.1.3 应用层C/S工作模式与P2P 工作模式	91	5.1.1 传输层的基本功能	139
4.1.4 网络应用与应用层协议	92	5.1.2 传输层与应用层、网络层之 间的关系	140
4.1.5 网络应用对低层提供服务的 要求	92	5.1.3 应用进程、传输层接口与 套接字	140
4.1.6 网络应用对传输层协议的选择	93	5.1.4 网络环境中的应用进程标识	141
4.2 域名系统DNS	95	5.1.5 传输层的多路复用与多路分解	143
4.2.1 DNS的基本概念	95	5.2 传输层协议的特点与比较	144
4.2.2 DNS的实现	97	5.2.1 TCP协议与UDP协议的比较	144
4.2.3 域名数据库	99	5.2.2 TCP协议、UDP协议与应用层 协议的关系	145
4.2.4 域名解析的基本工作原理	100		

5.3	UDP协议	145	6.6.1	IP多播的基本概念	214
5.3.1	UDP协议的主要特点	145	6.6.2	IP多播地址	215
5.3.2	UDP数据报格式	146	6.6.3	IGMP协议的基本内容	216
5.3.3	UDP校验和的基本概念与计算 示例	146	6.6.4	多播路由与IP多播中的隧道 技术	216
5.3.4	UDP协议适用的范围	148	6.7	QoS与RSVP、DiffServ、MPLS协议	217
5.4	TCP协议	149	6.7.1	资源预留协议RSVP	217
5.4.1	TCP协议的主要特点	149	6.7.2	区分服务DiffServ	219
5.4.2	TCP报文格式	150	6.7.3	多协议标记交换MPLS	221
5.4.3	TCP连接建立与释放	153	6.8	地址解析协议ARP	226
5.4.4	TCP滑动窗口与确认、重传 机制	155	6.8.1	IP地址与物理地址的映射	226
5.4.5	TCP窗口与流量控制、拥 塞控制	159	6.8.2	ARP分组格式	227
5.4.6	UNIX进程通信的实现方法	166	6.9	移动IP协议	228
5.5	本章总结	170	6.9.1	移动IP协议的基本概念	228
第6章	网络层与IP协议	171	6.9.2	移动IP的设计目标与主要特征	229
6.1	IPv4协议的演变与发展	171	6.9.3	移动IP的结构与基本术语	230
6.2	IPv4协议的基本内容	172	6.9.4	移动IPv4的基本工作原理	231
6.2.1	IPv4协议的主要特点	172	6.9.5	移动IPv4中移动结点和通信 对端的基本操作	235
6.2.2	IPv4分组的格式	173	6.10	IPv6协议	235
6.3	IPv4地址	178	6.10.1	IPv6协议的基本概念	235
6.3.1	IP地址概念与划分地址新技术 的研究	178	6.10.2	IPv6的主要特征	236
6.3.2	标准分类IP地址	180	6.10.3	IPv6地址	237
6.3.3	划分子网的三级地址结构	185	6.10.4	IPv6分组的结构与基本报头	239
6.3.4	无类别域间路由技术	188	6.10.5	IPv6扩展报头	243
6.3.5	专用IP地址与内部网络地址 规划方法	190	6.10.6	IPv4到IPv6的过渡的基本 方法	245
6.3.6	网络地址转换技术	192	6.11	本章总结	248
6.4	路由选择算法与分组交付	193	第7章	数据链路层协议及编程方法	249
6.4.1	分组交付和路由选择的基本 概念	193	7.1	数据链路层的基本概念	249
6.4.2	路由表的建立、更新与路由 选择协议	198	7.1.1	物理线路与数据链路	249
6.4.3	路由信息协议RIP	199	7.1.2	数据链路层的主要功能	249
6.4.4	最短路径优先协议OSPF	201	7.1.3	数据链路层向网络层提供的 服务	250
6.4.5	外部网关协议BGP	204	7.2	差错产生与差错控制方法	250
6.4.6	路由器与第三层交换技术	206	7.2.1	设计数据链路层的原因	250
6.5	互联网控制报文协议ICMP	210	7.2.2	差错产生的原因和差错类型	251
6.5.1	ICMP的作用与特点	210	7.2.3	误码率的定义	252
6.5.2	ICMP报文类型	210	7.2.4	检错码与纠错码	252
6.6	IP多播与IGMP协议	214	7.2.5	循环冗余码工作原理	252
			7.2.6	差错控制机制	254
			7.3	面向字符型数据链路层协议	255
			7.3.1	数据链路层协议的分类	255
			7.3.2	面向字符型协议实例——BSC 协议	255

7.4 面向比特型数据链路层协议实例—— HDLC协议	257	8.3.3 数字数据编码方法	295
7.4.1 HDLC协议产生的背景	257	8.3.4 脉冲编码调制方法	296
7.4.2 数据链路的配置方式和数据 传送方式	257	8.4 数据通信系统结构与通信方式	298
7.4.3 HDLC的帧结构	258	8.4.1 数据通信系统结构	298
7.4.4 数据链路层的工作过程	261	8.4.2 数据通信方式	298
7.4.5 数据链路层与物理层的关系	263	8.5 传输介质的主要类型	300
7.5 数据链路层滑动窗口协议及帧传输 效率分析	263	8.5.1 双绞线的主要特性	300
7.5.1 数据链路层滑动窗口协议的 分类	263	8.5.2 同轴电缆的主要特性	301
7.5.2 单帧停止等待协议	264	8.5.3 光纤电缆的主要特性	301
7.5.3 多帧连续发送协议	265	8.5.4 无线与卫星通信技术	302
7.6 PPP协议	268	8.6 数据传输速率的定义与信道速率的 极限	305
7.6.1 互联网数据链路层协议	268	8.6.1 数据传输速率的定义	305
7.6.2 PPP协议的基本内容	269	8.6.2 奈奎斯特准则与香农定理的 基本内容	306
7.7 以太网工作原理与局域网组网	270	8.7 多路复用技术	307
7.7.1 IEEE 802参考模型	270	8.7.1 多路复用的基本概念	307
7.7.2 以太网基本工作原理	272	8.7.2 时分多路复用	308
7.7.3 以太网卡与物理地址	277	8.7.3 频分多路复用	309
7.8 高速以太网工作原理	279	8.7.4 波分多路复用	310
7.8.1 快速以太网	279	8.7.5 码分多址与正交频分多路 复用	311
7.8.2 千兆以太网	280	8.8 同步光纤网SONET与同步数字体系 SDH	311
7.8.3 十千兆以太网	281	8.8.1 SONET与SDH的基本概念	311
7.9 交换式局域网与虚拟局域网技术	282	8.8.2 基本速率标准的制定	312
7.9.1 交换式局域网技术	282	8.8.3 SDH速率体系	313
7.9.2 虚拟局域网技术	283	8.9 本章总结	314
7.10 以太网组网设备与组网方法	284	第9章 无线网络技术的研究、应用与发展	315
7.11 局域网互联与网桥的基本工作原理	286	9.1 无线网络的基本概念	315
7.11.1 局域网互联的基本概念	286	9.1.1 无线网络技术的分类	315
7.11.2 网桥的层次结构	287	9.1.2 无线分组网与无线自组网	316
7.11.3 网桥的路由选择策略	287	9.1.3 无线自组网与无线传感器网络	316
7.12 本章总结	289	9.1.4 无线自组网与无线网状网	316
第8章 物理层与物理层协议	290	9.2 无线局域网与802.11协议	317
8.1 物理层的基本概念	290	9.2.1 无线局域网的应用领域与协议 制定的过程	317
8.1.1 物理层的主要服务功能	290	9.2.2 802.11的层次模型结构	318
8.1.2 物理层协议的类型	290	9.2.3 802.11的CSMA/CA基本工作 原理	318
8.2 信息、数据与信号	291	9.2.4 无线局域网的物理层传输技术	320
8.2.1 信息与数据	291	9.3 无线城域网与802.16协议	322
8.2.2 信号的基本概念	293	9.4 蓝牙、ZigBee与802.15.4协议	323
8.3 数据编码技术	293	9.4.1 蓝牙技术与协议	323
8.3.1 数据编码类型	293		
8.3.2 模拟数据编码方法	294		

9.4.2	无线个人区域网与802.15.4 协议	324
9.4.3	ZigBee技术与协议	326
9.5	无线自组网应用领域与关键技术的研究	327
9.5.1	无线自组网的特点	327
9.5.2	无线自组网的主要应用领域	328
9.5.3	无线自组网关键技术的研究	329
9.6	无线传感器网络应用领域与关键技术的研究	331
9.6.1	无线传感器网络发展的背景	331
9.6.2	无线传感器网络的特点	331
9.6.3	无线传感器网络的应用前景	331
9.6.4	无线传感器网络的基本结构	333
9.6.5	无线传感器网络关键技术的研究	335
9.7	无线网状网应用领域与关键技术的研究	338
9.7.1	无线网状网发展的背景	338
9.7.2	无线网状网的特点	339
9.7.3	无线网状网的网络结构	340
9.8	本章总结	341
附录A	RFC文档	342
附录B	词汇索引	345
附录C	参考文献	351

计算机网络概论

本章主要讨论以下几个问题：

- 什么是计算机网络？
- 计算机网络是如何形成与发展的？
- 计算机网络可以分为哪几种类型？
- 如何理解网络拓扑的基本概念？
- 如何认识互联网的网络结构特点？
- 处理复杂网络问题的基本方法是什么？

计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、相互渗透、紧密结合的产物。互联网是计算机网络最重要的应用。计算机网络与互联网技术的广泛应用对当今人类社会的生活、科技、教育、文化与经济的发展产生了重大的影响。从时间的角度来看，计算机网络技术的发展经历了4个阶段；从技术分类的角度来看，计算机网络技术是沿着3条主线发展的。

1.1 计算机网络发展的4个阶段

1.1.1 计算机网络发展不同阶段的特点

回顾计算机网络技术发展的历程，大致可以划分为4个阶段。

1. 第一阶段：计算机网络技术与理论的准备

第一阶段可以追溯到20世纪50年代。这个阶段的特点与标志性成果主要表现在：

- 1) 数据通信的研究与技术的日趋成熟，为计算机网络的形成奠定了技术基础。
- 2) 分组交换概念的提出为计算机网络的研究奠定了理论基础。

2. 第二阶段：计算机网络的形成

第二阶段是从20世纪60年代ARPANET与分组交换技术开始。ARPANET是计算机网络技术发展中的一个里程碑，它的研究对促进网络技术发展和理论体系的形成起到了重要的推动作用，并为互联网的形成奠定了坚实的基础。这个阶段出现了以下3项标志性的成果：

- 1) ARPANET的成功运行证明了分组交换理论的正确性。
- 2) TCP/IP协议的广泛应用为更大规模的网络互联奠定了坚实的基础。
- 3) DNS、E-mail、FTP、TELNET、BBS等应用展现了网络技术广阔的应用前景。

3. 第三阶段：网络体系结构的研究

第三阶段大致是从20世纪70年代中期开始。这个时期，国际上各种广域网、局域网与公用分组交换网技术发展迅速，各个计算机生产商纷纷发展自己的计算机网络，提出了各自的网络协议标准。如果不能推进网络体系结构与协议的标准化，则未来更大规模的网络互联将面临着巨大的

阻力。

国际标准化组织 (ISO) 在推动开放系统互连 (open system interconnection, OSI) 参考模型与网络协议标准化研究方面做了大量工作, 同时它也面临着TCP/IP协议的严峻挑战。这个阶段研究成果的重要性主要表现在:

1) OSI参考模型的研究对网络理论体系的形成与发展, 以及在推进网络协议标准化方面起到了重要的推动作用。

2) TCP/IP协议经受了市场和用户的检验, 吸引了大量的投资, 推动了互联网应用的发展, 成为业界事实上的标准。

4. 第四阶段: 互联网应用、无线网络与网络安全技术研究的发展

第四阶段是从20世纪90年代开始。这个阶段最富有挑战性的话题是互联网应用技术、无线网络技术、对等网络技术与网络安全技术。这个阶段的特点主要表现在:

1) 互联网 (Internet) 作为全球性的网际网与信息系统, 在当今政治、经济、文化、科研、教育与社会生活等方面发挥了越来越重要的作用。

2) 计算机网络与电信网络、有线电视网络“三网融合”, 促进了宽带城域网概念、技术的演变。宽带城域网已经成为现代化城市的重要基础设施之一。接入技术的发展扩大了终端用户设备的接入范围, 进一步促进了互联网应用的发展。

3) 无线局域网与无线城域网技术日益成熟, 已经进入应用阶段。无线自组网、无线传感器网络的研究与应用受到了高度重视。

4) 对等 (peer-to-peer, P2P) 网络的研究使新的网络应用不断涌现, 成为现代信息服务业新的产业增长点。

5) 随着网络应用的快速增长, 新的网络安全问题不断出现, 促使网络安全技术的研究与应用进入高速发展阶段。网络安全的研究成果为互联网应用提供了安全保障。

1.1.2 计算机网络的形成与发展

1. ARPANET的研究

(1) ARPANET的研究背景

世界上第一台电子数字计算机ENIAC出现在1946年, 而通信技术的发展要比计算机技术早很长时间。回顾通信技术的发展, 可以追溯到19世纪。1837年莫尔斯发明了电报; 1876年贝尔发明了电话; 1876年马可尼发明了无线电通信。这些发明都为现代通信技术奠定了重要的基础。但是, 在很长的一段时间内, 通信技术与计算机技术之间并没有直接联系, 处于独立发展的阶段。当计算机技术与通信技术都发展到一定程度, 并且社会上出现新的应用需求时, 人们自然产生将两项技术交叉融合的想法。计算机网络就是计算机技术与通信技术高度发展、密切结合的产物。

20世纪50年代初, 由于美国军方的需要, 美国半自动地面防空 (semi-automatic ground environment, SAGE) 系统将远程雷达信号、机场与防空部队的信息, 通过无线、有线线路与卫星信道传送到位于美国本土的一台IBM计算机进行处理。有线与无线通信线路的总长度超过241万公里。这项研究开始了计算机技术与通信技术结合的尝试。随着SAGE系统的实现, 美国军方又考虑将分布在不同地理位置的多台计算机通过通信线路连接成计算机网络的需求。在民用方面, 计算机技术与通信技术结合的研究也开始用于航空售票与银行业务中。

20世纪60年代中期, 世界正处于“冷战”的高潮时期。1957年10月, 前苏联发射了第一颗人造卫星Sputnik, 美国朝野为之震惊。他们的第一反应是成立一个专门的国防研究机构, 即美国国防部高级研究计划署 (Advanced Research Projects Agency, ARPA)。由于它是美国国防部的一个机构, 因此也有文献英文缩写DARPA, 其中D (Defense) 表示美国国防部, 本书统一使用英文缩