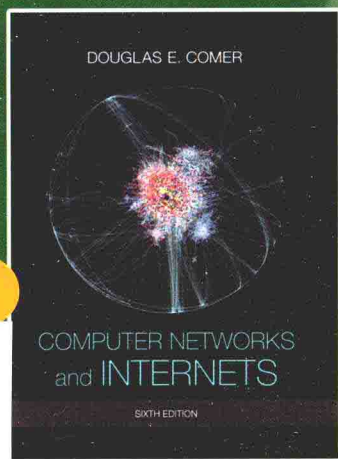


计算机网络与因特网 (第六版)

Computer Networks and Internets
Sixth Edition



[美] Douglas E. Comer 著

范冰冰 张奇支 龚征 郑伟平 译

范冰冰 审校



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

计算机网络与因特网

(第六版)

Computer Networks and Internets
Sixth Edition

[美] Douglas E. Comer 著

范冰冰 张奇支 龚 征 郑伟平 译

范冰冰 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在前几版的基础上进行了全面的修订与更新,系统介绍了计算机网络各方面的知识,全面翔实地讲解网络底层细节,并增加了最新的网络应用与技术。全书共分为五大部分,讲解了网络基础知识与因特网应用,数据传输技术,分组交换及网络技术,网际互连协议,以及其他网络概念与技术;并提供了可深入阅读的相关资料。本书内容涵盖广泛,例题丰富,注重实践,并提供了大量的练习题和丰富的网络资源,兼顾到教师和学生双重需求。

本书是一本导论性的网络课程教材,可作为高等院校计算机、电子通信等专业高年级本科生和研究生的网络课程教材或参考书,也可供相关领域的科研和技术开发人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Computer Networks and Internets*, Sixth Edition, 9780133587937 by Douglas E. Comer, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2015 Pearson Education Inc. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2015.

本书中文简体字版专有出版权由 Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2014-5631

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络与因特网:第6版/(美)科默(Comer,D.E.)著;范冰冰等译. —北京:电子工业出版社,2015.8
书名原文:Computer Networks and Internets, Sixth Edition

国外计算机科学教材系列

ISBN 978-7-121-26420-7

I. ①计… II. ①科… ②范… 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(2015)第138321号

策划编辑:冯小贝

责任编辑:李秦华

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26.75 字数:720千字

版 次:2015年8月第1版(原著第6版)

印 次:2015年8月第1次印刷

定 价:69.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zls@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

道格拉斯·科默(Douglas Comer)博士是一位在计算机网络、TCP/IP 协议和因特网方面国际公认的资深专家。他在 20 世纪 70 年代晚期到 80 年代的因特网发展过程中做出了很大的贡献,曾是互联网体系结构委员会的成员,负责指导因特网的发展。他还是 CSNET 技术委员会的主席,CSNET 执行委员会成员,美国国防部高级研究计划署(DARPA)下属的分布式系统体系结构委员会主席。曾在 Cisco 公司担任过研发副总裁,是美国计算机学会 ACM 会士(Fellow),还担任了 20 年北美杂志 *Software—Practice and Experience* 的编辑,其编写的系列技术书籍已经被翻译成 16 种语言,十分畅销。

科默是普度大学计算机科学系特聘教授。讲授课程包括:联网技术、网络互联、计算机体系结构和操作系统。在普度大学,他创建了多个创新实验室,使学生有机会获得有关操作系统、网络和协议的实际动手经验。

科默还为计算机网络产业设计提供咨询服务。除了在美国大学中讲课,科默每年也给专业学者和网络专家进行全球演讲。科默开发实现的 Xinu 操作系统和 TCP/IP 协议(两者在教科书中都有相关文档),均已应用在商业产品中。更多的信息可以到 www.cs.prudue.edu/people/comer 查阅。

本书是科默的代表作之一,前面已出版了五个版本,目前最新的是第六版。相关版本教学效果显著,除了被几百所美国院校使用为网络课程的教科书(或教学参考书)外,还被翻译为多种语言在其他国家和地区使用。《计算机网络与因特网》中文版一直由华南师范大学计算机学院负责翻译,译著作为教材在国内使用的院校超过百所,获得了广泛赞誉。

本书能在众多的网络书籍中脱颖而出,主要在于书中的内容涵盖面宽,组织结构逻辑性强,概念解释清晰透彻,阐述简练易懂;重点讲述因特网,紧跟网络领域的发展和变化,兼顾到教师和学生的双重需求。

在内容结构方面,本书组合了“自底向上”和“自顶而下”两种方法的各自优点,以讨论网络应用和因特网应提供的通信规范开始,在学生学习网络的底层技术之前,先去理解因特网应用对通信交互的需要。在讨论应用和应用开发后再来介绍联网和网络互联知识;用富含逻辑的手法,介绍各种新(其他)技术是如何构筑在较低层技术的基础之上的,从而从最广泛的意义上回答了“计算机网络与因特网是如何工作的”这个最基本的问题。

本书第六版面世后,译者有幸再次受出版社委托翻译,并向广大读者推荐这本书。本书非常适合于计算机、通信专业的高年级本科生或低年级研究生作为网络课程教学使用,也可作为一般读者(相近专业学生、工程技术人员)进修网络专业知识的自学和培训教材。

本书全部内容由华南师范大学计算机学院的 4 位教授和副教授共同翻译完成。其中,范冰冰教授翻译了前言、对本书的热情评价、第 1 章至第 4 章、第 12 章、第 33 章和附录,并负

责完成全书审校和统稿；郑伟平副教授翻译了第5章至第11章和第30章；张奇支副教授翻译了第13章至第15章、第20章至第28章；龚征副教授翻译了第16章至第19章、第27章、第29章至第32章。尽管译者们有丰富的教学和工程经验，对本书的翻译质量充满自信，但也难免会出现少许瑕疵，敬请读者批评指正。

译 者

华南师范大学计算机学院

前 言

《计算机网络与因特网》的前一个版本意外地收到了很积极的评价，我特别要感谢花时间给我个人写信的那些读者。令人惊奇的是读者的面非常广，除了采用本书作为教材的学生外，还有专业人士也写信称赞本书叙述透彻明了，并讲述了本书如何帮助他们通过了资质考试。另外也收到了许多关于对本书的外文翻译版的热情评价。本书能够在当前网络书籍供过于求的市场中获得如此成功，是件特别令人欣慰、满足的事情。本书的杰出所在，在于内容涵盖广泛，组织结构逻辑性强，概念解释清晰透彻，重点讲述因特网，以及非常适合教师和学生的需要。

新版本中增加了什么

为回应读者的建议，并鉴于目前网络领域的发展和变化，已经全面完成了对本书新版本的重新修订和更新，减少或删去了对较旧技术的阐述。显著的变化包括：

- 贯穿每个章节的更新
- 为更好地解释补充了一批插图
- 所有章节中整合了 IPv4 和 IPv6
- 改进了 MPLS 覆盖和隧道建立
- 新章节：软件定义网络 SDN 和 OpenFlow
- 新章节：物联网和 ZigBee

采用的方法

网络课程应该采用“自顶向下”的方法还是“自下而上”的方法呢？在“自下而上”的方法中，学生先学习底层单一线路上的比特传输，然后学习相邻高层协议如何利用较低层提供扩展的功能。而在自顶向下的方法中，从高层应用开始学习，对较低层知识只需理解应用是如何工作的，然后才学习底层协议的工作细节。

本书组合了这两种方法各自的优点，以讨论网络应用以及因特网提供的通信规范开始，在学习网络设施的底层技术实现之前，让学生先理解因特网给应用所提供的网络设施。在讨论了应用之后介绍联网知识，以一种逻辑连贯的方法，使读者去理解在较低层技术基础之上如何构筑每一种新技术。

目标读者

本书回答了一个基本的问题：计算机网络和互联网是如何工作的？通过阐述底层细节（如数据传输和布线）、网络技术（如局域网和广域网）、网络互联协议和应用软件等全面的联网知识，奉献给读者以综合性的、独特的知识大观，还阐明了协议如何利用底层硬件，以及应用程序如何使用协议栈为用户提供各种应用服务功能。

本书的读者对象是高年级本科生和低年级研究生，他们或许只有少许或没有联网方面的背景知识。本书既没有使用复杂的数学知识，也没有介绍太多的操作系统知识，而旨在清晰地阐述概念，采用实例和大量示意图，说明网络技术工作原理并分析结论，但不提供数学证明。

内容的组织

本书分为五大部分，第一部分(第1章至第4章)集中介绍因特网的应用和网络应用的开发，阐述协议分层、客户-服务器交互模式、套接字 API，并列举了因特网中应用层协议的例子。

第二部分(第5章至第12章)阐述数据通信技术，给出贯穿网络的底层硬件背景知识、基本术语和基础概念(如带宽、调制和复用)。这部分的最后一章介绍因特网中使用的接入和互连技术，并阐述如何利用前面章节所述的概念来解释每一种技术。

第三部分(第13章至第19章)重点讲述分组交换和分组交换网技术。这部分先解释采用分组传输数据的动机和起因，介绍 IEEE 模型的第2层协议，然后再考虑有线和无线联网技术，如以太网和 Wi-Fi。第三部分还介绍了网络的4个基本分类：局域网 LAN、城域网 MAN、个人域网 PAN 和广域网 WAN，并讨论广域网的路由技术。这部分的最后一章介绍已在因特网中采用的网络技术示例。

第四部分(第20章至第26章)重点讨论因特网协议。在讨论了网络互联的动机和起因之后，本部分描述因特网结构、路由器、因特网编址、地址绑定和 TCP/IP 协议组，对协议 IPv4、IPv6、TCP、UDP、ICMP、ICMPv6 和 ARP，进行了详细的讲解，使学生更深入地理解这些概念是如何联系实际的。由于 IPv6 已经(最终)开始部署，所以 IPv6 的内容加入到了这些章节中。这部分章节都介绍一般概念，并阐释它在 IPv4 和 IPv6 中是如何实现的。第25章 TCP 涉及了一个重要课题：传输协议中的可靠性。

本书的最后一部分(第27章至第33章)内容涉及协议栈中多层次交叉的一些课题，包括：网络性能、网络安全、网络管理、网络软件自举、多媒体支持和物联网等。第31章介绍了联网中最让人激动的新发展：软件定义网络。这些课题也都是从前面的各个部分内容中抽取出来的，将它们安排到本书的最后部分，在使用前再对其概念进行定义，并不表示这些课题不重要。

课程的使用

本书理论上适合作为网络导论性的课程教材，可供初级或高年级学生的一学期教学使用。本书按综合性课程来设计，涵盖了从布线到应用的全部知识点。尽管很多教师选择跳过数据通信的内容，但我支持选择一些核心概念和术语来讲，这对后面章节的教学尤为重要。不管课程是怎样组织的，我鼓励教师给学生布置一些实际动手的作业。例如，在美国普度大学的本科课程中，学生每周都有覆盖广泛内容的实验室作业：网络测量、分组分析以及网络编程等。完成了课程之后，期望每个学生能够达到以下程度：知道 IP 路由器如何利用路由表转发 IP 数据报；能描述数据报如何通过因特网传输；能解释以太网集线器与以太网交换机的区别；知道 TCP 如何标识连接以及为什么一个并发 Web 服务器能在 80 号端口处理多个连接；能识别和解释以太网帧中的各字段含义；能计算以光速在导线上传输的单个比特的长度；能解释为什么

TCP 被归类为端到端协议；知道为什么机器对机器的通信对于物联网非常重要；理解 SDN 的动机。

一门课程的主要目标是广度而不是深度——要涵盖所有主题，不能只集中在几种技术或几个概念上，因此，授课成功的关键取决于能否快速地讲好课。为了能使学生在一个学期内学到基本内容，可以把第二部分较低层次的内容进行压缩；把有关网络和网络互联的部分各安排 4 周学习；余下 2 周留给应用和一些如网络管理与安全等介绍性内容。至于套接字编程的细节问题，可作为编程练习留在实验室或者作业中。

教师应该给学生强调概念和原理的重要性：有些技术可能在几年后就会过时，但原理却是永恒的。另外，教师也应该激发学生投身网络技术的热情，由于网络一直在变化，因此更希望能保持这种热情，如软件定义网络的新时代已出现。

虽然本书中没有哪个知识点是高难度的，但学生们仍可发现本书所含内容的数量还是有点让人望而生畏的。特别是学生们要面对过量的新术语，网络缩略语和行业术语也特别容易混淆，学生必须花费大量时间养成使用正确术语的习惯。在普度大学的课程教学中，鼓励学生记住一个术语列表（我们发现一个学期课程中每周的词汇测验有助于学生对术语的学习，而不是等到考试）。

因为程序设计和实验是帮助学生掌握网络知识的重要环节，所以实践环节是任何网络课程的重要组成部分^①。普度大学的课程比较强调分组分析和套接字编程。在学期的开始，先让学生构建客户软件去访问 Web 并提取数据（如编写一个程序访问一个网站，然后打印出当前的温度）。作为起步，附录 A 非常有帮助：这个附录阐述了一个简化的 API，可用在 Web 网站上，允许学生在学习协议、地址和（乏味的）套接字 API 之前就能编写可执行的代码。当然，到了学期的后期，学生就学会了套接字编程。最后，他们还要编写一个并发 Web 服务器程序，支持服务器端可选脚本，大多数学生能够完成。除了应用编程外，还可以利用实验室设施从正在运行的网络上捕获数据分组，并编写程序对分组（如以太网帧、IP 数据报、TCP 段）的头部进行解码，并观察 TCP 连接的情况。假如不具备先进的实验室设施，可以让学生使用开源的包分析软件（如 Wireshark）来做实验。

除了附录简化的 API 代码外，本书的网站包含了给学生和教师的额外资料：

<http://www.netbook.cs.purdue.edu>

我要感谢所有为第六版书做出贡献的人们。许多普度大学的研究生提出了建议和批评。Baijian(Justin) Yang 和 Bo Sang 分别建议添加了许多文字和插图，让学生更加容易理解内容。Cisco 公司的 Fred Baker, Ralph Droms 和 Dave Oran 提供了早期的版本。Lami Kaya 提出了如何组织数据通信章节，以及其他极有价值的建议。我还要特别感谢我的妻子和合作者 Christine，她细心的编辑和有益的建议使全书增色不少。

Douglas E. Comer

^① 独立实验室手册（联网实践）很有帮助，它描述了在各种硬件环境中（一台计算机或 LAN 中的一组计算机）运行的实验和作业。

对本书的热情评价

“本书是我读过的最好的书之一。谢谢。”

Gokhan Mutlu
土耳其 Ege 大学

“拿到本书后我几乎是手不释卷地读完的。这本书真是太出色了！”

Lalit Y. Raju
印度 Regional Engineering College

“对初学者和专业人士来说，本书都是一本极好的书——写得好，综合面宽，易于理解。”

John Lin
贝尔实验室

“本书涵盖的内容真是广阔惊人。”

George Varghese
美国加州大学圣迭戈分校

“真的是我看见过的同类书中最好的。万分感谢！”

Chez Ciechanowicz
英国伦敦大学信息安全组

“附录 A 的小型 Web 服务器太绝妙了——读者都会激动不已。”

Dennis Brylow
美国马凯特大学

“哇！真是一本极好的教科书啊！”

Jaffet A. Cordoba
技术作家

“这本书太棒了！”

Peter Parry
英国南伯明翰学院

“一流的覆盖广度，简练化的阐述是它的标志。为进一步学习打下广泛和坚实基础的理想选择，是初学者和网络领域工作者的必读书籍，这本书也是我们培训方案的重要组成部分。”

Vishwanathan Thyagu
印度 班加罗尔，TETCOS 公司

“哇！在我准备 CCNA 考试的时候，本书的明晰解释解答了我的所有问题，使我终于搞懂了 OSI 模型和 TCP/IP 传输。它打开了使我通向迷人的网络和 TCP/IP 世界的记忆之门。”

Solomon Tang
香港电信公司

“一个非常宝贵的工具，特别是对于渴求清楚而广泛地理解计算机网络的那些程序员和计算机科学工作者来说。”

Peter Chuks Obiefuna
美国东卡罗来纳大学

“本书涵盖了大量的内容，而且作者把内容写得易读易懂，这就是我喜欢这本书的最大理由。它非常适合于作为3学分课程的教科书。学生的正面反馈意见表明，他们确实太喜欢使用这本教科书了。”

Jie Hu

美国圣克劳德州立大学

“尽管网络技术中充斥了太多的缩写词以至于混淆视听，但本书却使人心明眼亮。Comer是一位出色的作者，他扩展并解释了很多术语。本书涵盖了从布线到Web整个网络范围的大量内容。我觉得这本书的确很出色。”

Jennifer Seitzer

美国代顿大学

目 录

第一部分 网络与因特网应用导论

第 1 章 导论和概述	2	3.2 两个基本的因特网通信模式	18
1.1 计算机网络的发展过程	2	3.2.1 因特网中的流传送	18
1.2 联网为何显得复杂	2	3.2.2 因特网中的报文传送	19
1.3 网络的五个关键方面	3	3.3 面向连接的通信	19
1.3.1 网络应用和网络编程	3	3.4 客户-服务器交互模式	20
1.3.2 数据通信	3	3.5 客户和服务器的特征	20
1.3.3 分组交换和联网技术	4	3.6 服务器程序和服务器类计算机	21
1.3.4 用 TCP/IP 实现网络互联	4	3.7 请求、响应和数据流方向	21
1.3.5 其他的网络概念和技术	5	3.8 多客户与多服务器	21
1.4 因特网的公网和专网	5	3.9 服务器识别与分用	22
1.4.1 公网	5	3.10 并发服务器	22
1.4.2 专网	6	3.11 服务器间的循环依赖	23
1.5 网络、互操作性和标准	6	3.12 P2P 交互	23
1.6 协议组和分层模型	7	3.13 网络编程与套接字 API	24
1.7 数据如何通过各层	8	3.14 套接字、描述符和网络 I/O	24
1.8 头部和各层	9	3.15 参数与套接字 API	25
1.9 ISO 与 OSI 七层参考模型	10	3.16 客户和服务器的套接字 调用	25
1.10 本书内容简介	10	3.17 客户和服务器的套接 字过程	26
1.11 本章小结	11	3.17.1 socket 函数	26
习题	11	3.17.2 send 函数	26
第 2 章 因特网的发展趋势	12	3.17.3 recv 函数	26
2.1 引言	12	3.17.4 用 socket 的读/写操作	26
2.2 资源共享	12	3.17.5 close 函数	27
2.3 因特网的成长	12	3.18 仅供客户使用的 connect 函数	27
2.4 从资源共享到通信	14	3.19 仅供服务器使用的套接字 函数	27
2.5 从文本到多媒体	15	3.19.1 bind 函数	27
2.6 目前发展趋势	15	3.19.2 listen 函数	28
2.7 从个人计算机到云计算	16	3.19.3 accept 函数	28
2.8 本章小结	17	3.20 采用报文模式的套接字函数	29
习题	17		
第 3 章 因特网应用与网络编程	18		
3.1 引言	18		

3.20.1 sendto 和 sendmsg 函数	29	4.12 电子邮件	41
3.20.2 recvfrom 和 recvmsg 函数	29	4.13 简单邮件传送协议	42
3.21 其他套接字函数	30	4.14 ISP、邮件服务器和邮件访问	43
3.22 套接字、线程和继承性	30	4.15 邮件访问协议(POP, IMAP)	44
3.23 本章小结	31	4.16 电子邮件表示标准(RFC2822, MIME)	44
习题	31	4.17 域名系统	45
第4章 传统的因特网应用	33	4.18 服务器开头的域名	46
4.1 引言	33	4.19 DNS 层次结构和服务器模型	47
4.2 应用层协议	33	4.20 域名解析	48
4.3 表示与传输	34	4.21 DNS 服务器中的缓存处理	48
4.4 Web 协议	34	4.22 DNS 记录项的类型	49
4.5 HTML 的文档表示	34	4.23 别名和 CNAME 资源记录	49
4.6 统一资源定位符和超链接	35	4.24 缩写与 DNS	50
4.7 用 HTTP 传输 Web 文档	36	4.25 国际化域名	50
4.8 浏览器中的缓存	38	4.26 可扩展表示(XML)	51
4.9 浏览器结构	38	4.27 本章小结	51
4.10 文件传送协议	39	习题	52
4.11 FTP 通信模式	40		
第二部分 数据通信			
第5章 数据通信概述	56	6.12 数字-模拟信号转换	66
5.1 引言	56	6.13 数字信号的带宽	66
5.2 数据通信的本质	56	6.14 信号的同步与协调	67
5.3 数据通信的动机与范围	56	6.15 线路编码	67
5.4 通信系统的构成	57	6.16 曼彻斯特编码	68
5.5 通信系统的各子课题	58	6.17 模拟-数字信号转换	69
5.6 本章小结	59	6.18 奈奎斯特定理与采样率	70
习题	59	6.19 奈奎斯特定理与电话系统传输	70
第6章 信息源和信号	60	6.20 非线性编码	71
6.1 引言	60	6.21 编码与数据压缩	71
6.2 信息源	60	6.22 本章小结	72
6.3 模拟与数字信号	60	习题	72
6.4 周期信号与非周期信号	61		
6.5 正弦波与信号特征	61	第7章 传输介质	74
6.6 复合信号	62	7.1 引言	74
6.7 复合信号和正弦函数的重要性	63	7.2 导向传输与非导向传输	74
6.8 时域与频域表示法	63	7.3 按能量形式分类	74
6.9 模拟信号的带宽	63	7.4 背景辐射和电气噪声	75
6.10 数字信号与信号电平	64	7.5 双绞线	75
6.11 波特率与比特率	65	7.6 屏蔽: 同轴电缆和屏蔽双绞线	76

7.7	双绞线分类	77	9.3	并行传输	98
7.8	使用光能的介质及光纤	77	9.4	串行传输	99
7.9	光纤类型及光传输	78	9.5	传输顺序: 比特与字节	99
7.10	光纤与铜导线的比较	79	9.6	串行传输的定时	100
7.11	红外通信技术	79	9.7	异步传输	100
7.12	点对点激光通信	80	9.8	RS-232 异步字符传输	101
7.13	电磁波(无线电)通信	80	9.9	同步传输	101
7.14	信号传播	81	9.10	字节、块和帧	102
7.15	卫星类型	81	9.11	等时传输	102
7.16	地球静止轨道通信卫星	82	9.12	单工、半双工与全双工传输	103
7.17	GEO 对地球的覆盖	83	9.13	DCE 和 DTE 设备	104
7.18	低地球轨道卫星与集群	83	9.14	本章小结	104
7.19	介质类型间的权衡	83	习题	105	
7.20	对传输介质的度量	84	第 10 章 调制与调制解调器	106	
7.21	噪声对通信的影响	84	10.1	引言	106
7.22	信道容量的意义	85	10.2	载波、频率和传播	106
7.23	本章小结	85	10.3	模拟调制方案	106
习题		86	10.4	振幅调制	106
第 8 章 可靠性与信道编码		87	10.5	频率调制	107
8.1	引言	87	10.6	相位调制	107
8.2	传输差错的三个主要来源	87	10.7	调幅与香农定理	108
8.3	传输差错对数据的影响	88	10.8	调制、数字输入和键控	108
8.4	处理信道差错的两种策略	88	10.9	相移键控	109
8.5	分组码和卷积码	89	10.10	相移与星座图	109
8.6	分组码举例: 单奇偶校验	89	10.11	正交调幅	110
8.7	分组码数学与 (n, k) 表示	90	10.12	调制与解调硬件	110
8.8	汉明距离: 编码强度的测量	90	10.13	光纤和射频调制解调器	111
8.9	码簿中码字之间的汉明距离	91	10.14	拨号调制解调器	111
8.10	差错检测与代价之间的权衡	91	10.15	应用于拨号的 QAM	112
8.11	纵横奇偶校验的纠错	92	10.16	V. 32 与 V. 32bis 拨号 modem	112
8.12	用于因特网的 16 位校验和	93	10.17	本章小结	113
8.13	循环冗余校验码(CRC)	94	习题	113	
8.14	CRC 的硬件高效实现	95	第 11 章 复用与解复用	114	
8.15	自动重传请求(ARQ)机制	96	11.1	引言	114
8.16	本章小结	96	11.2	复用的概念	114
习题		97	11.3	复用的基本类型	114
第 9 章 传输模式		98	11.4	频分复用	115
9.1	引言	98	11.5	每个信道使用一个频率范围	116
9.2	传输模式分类	98			

11.6	分级 FDM	117	12.5	数字用户线技术.....	127
11.7	波分复用.....	117	12.6	本地环路特征及适配.....	127
11.8	时分复用.....	118	12.7	ADSL 的数据速率	128
11.9	同步 TDM	118	12.8	ADSL 安装和分离器	129
11.10	电话系统中 TDM 的成帧 技术.....	119	12.9	电缆调制解调器技术.....	129
11.11	分级 TDM	120	12.10	电缆调制解调器的速率.....	130
11.12	同步 TDM 的问题: 空闲 时隙.....	120	12.11	电缆调制解调器安装.....	130
11.13	统计 TDM	121	12.12	光纤同轴电缆混合使用.....	130
11.14	逆复用.....	121	12.13	采用光纤的接入技术.....	131
11.15	码分复用.....	122	12.14	头尾端调制解调器技术.....	131
11.16	本章小结.....	123	12.15	无线接入技术.....	132
	习题.....	123	12.16	因特网核心的高容量连接.....	132
第 12 章	接入与互连技术	125	12.17	电路终端 DSU/CSU 及 NIU	133
12.1	引言.....	125	12.18	数字电路的电话标准.....	133
12.2	因特网接入技术: 上行与 下行.....	125	12.19	DS 术语及数据速率	134
12.3	窄带与宽带接入技术	126	12.20	最高容量电路(STS 标准).....	134
	12.3.1 窄带技术	126	12.21	光载波标准.....	135
	12.3.2 宽带技术	126	12.22	C 后缀.....	135
12.4	本地环路及 ISDN	126	12.23	同步光网络.....	135
			12.24	本章小结.....	136
				习题.....	137

第三部分 分组交换与网络技术

第 13 章	局域网: 分组、帧和拓扑	140	13.10	单播、广播和多播地址	147
13.1	引言.....	140	13.11	广播、多播和高效的多点 传递.....	147
13.2	电路交换.....	140	13.12	帧与成帧.....	148
13.3	分组交换.....	141	13.13	字节插入与位插入.....	149
13.4	局域和广域分组网络.....	142	13.14	本章小结.....	150
13.5	分组标识及其格式标准.....	142		习题.....	150
13.6	IEEE 802 模型与标准	143	第 14 章	IEEE MAC 子层	151
13.7	点对点与多址接入网络.....	144	14.1	引言.....	151
13.8	LAN 拓扑	144	14.2	共享访问机制的分类.....	151
	13.8.1 总线拓扑	145	14.3	静态与动态信道分配.....	151
	13.8.2 环形拓扑	145	14.4	信道分配协议	152
	13.8.3 网状拓扑	145		14.4.1 FDMA	152
	13.8.4 星形拓扑	146		14.4.2 TDMA	152
	13.8.5 多种拓扑可用的理由	146		14.4.3 CDMA	152
13.9	分组标识、解复用、MAC 地址.....	146			

14.5	受控接入协议	153	16.8	无线 LAN 体系结构	170
14.5.1	轮询	153	16.9	重叠、关联和 802.11 帧格式	171
14.5.2	预约	153	16.10	接入点之间的协调	172
14.5.3	令牌传递	154	16.11	竞争与无竞争接入	172
14.6	随机接入协议	154	16.12	无线 MAN 技术与 WiMAX	174
14.6.1	ALOHA	154	16.13	PAN 技术与标准	175
14.6.2	CSMA/CD	155	16.14	其他短距离通信技术	176
14.6.3	CSMA/CA	157	16.15	无线 WAN 技术	177
14.7	本章小结	158	16.16	微蜂窝	178
习题		158	16.17	基站集群和频率重用	178
第 15 章	有线局域网技术(以太网和 802.3)	160	16.18	蜂窝技术的更新换代	179
15.1	引言	160	16.19	VSAT 卫星技术	181
15.2	最早的以太网	160	16.20	GPS 卫星	182
15.3	以太网帧格式	160	16.21	软件无线电和无线通信的 未来	182
15.4	以太网的类型域和分用	161	16.22	本章小结	183
15.5	以太网的 IEEE 版本 (802.3)	161	习题		184
15.6	LAN 连接和网络接口卡	162	第 17 章	局域网扩展技术	185
15.7	以太网演进和粗缆布线	162	17.1	引言	185
15.8	细缆以太网布线	163	17.2	距离界限与 LAN 设计	185
15.9	双绞线以太网布线和集 线器	163	17.3	光纤调制解调器扩展	185
15.10	以太网的物理和逻辑拓扑	164	17.4	中继器	186
15.11	办公大楼内的布线	164	17.5	网桥与桥接	186
15.12	以太网数据速率及电缆 类型	165	17.6	自学习网桥与帧过滤	187
15.13	双绞线连接器与缆线	166	17.7	桥接如何有效工作	187
15.14	本章小结	166	17.8	分布式生成树	188
习题		167	17.9	交换与第 2 层交换机	189
第 16 章	无线联网技术	168	17.10	虚拟局域网交换机	191
16.1	引言	168	17.11	多交换机和共享 VLAN	191
16.2	无线网络的分类	168	17.12	桥接的重要性	192
16.3	个域网	168	17.13	本章小结	193
16.4	LAN 和 PAN 使用的 ISM 无线 频带	169	习题		193
16.5	无线 LAN 技术与 Wi-Fi	169	第 18 章	广域网技术与动态路由	195
16.6	扩频技术	169	18.1	引言	195
16.7	其他无线 LAN 标准	170	18.2	大型广域网	195
			18.3	传统的广域网体系结构	195
			18.4	构建广域网	196
			18.5	存储/转发模式	197
			18.6	广域网的编址	198

18.7	下一跳转发	198	19.2.6	电力线通信(PLC)	209
18.8	源点独立性	200	19.3	LAN 技术	209
18.9	广域网动态路由更新	200	19.3.1	令牌环	209
18.10	默认路径	201	19.3.2	光纤和铜线分布式数据 互连(FDDI 与 CDDI)	209
18.11	转发表的计算	202	19.3.3	以太网	210
18.12	分布式路径计算	202	19.4	WAN 技术	210
18.12.1	链路状态路由(LSR)	202	19.4.1	APPANET	210
18.12.2	距离向量路由	203	19.4.2	X.25	210
18.13	最短路径和权值	204	19.4.3	帧中继	211
18.14	路由问题	206	19.4.4	交换式多兆位数据服务 (SMDS)	211
18.15	本章小结	206	19.4.5	异步传输模式(ATM)	211
习题		207	19.4.6	多协议标记交换(MPLS) 和隧道	212
第 19 章	网络技术的过去与现在	208	19.4.7	综合业务数字网(ISDN)	212
19.1	引言	208	19.4.8	VoIP(IP 电话和视频): SIP 和 H.323	212
19.2	连接与接入技术	208	19.4.9	软件定义网络 SDN 和 OpenFlow	213
19.2.1	同步光纤网或同步数字 体系(SONET/SDH)	208	19.5	本章小结	213
19.2.2	光载波(OC)电路	208	习题		213
19.2.3	数字用户线路(DSL)与 电缆调制解调器	208			
19.2.4	WiMAX 与 Wi-Fi	209			
19.2.5	甚小口径卫星通信地面 站(VSAT)	209			

第四部分 使用 TCP/IP 进行网络互联

第 20 章	网络互联: 概念、结构与 协议	216	20.13	主机、路由器及协议层	220
20.1	引言	216	20.14	本章小结	220
20.2	网络互联的动机	216	习题		221
20.3	全局服务的概念	216	第 21 章	因特网编址	222
20.4	异构网络中的全局服务	217	21.1	引言	222
20.5	网络互联	217	21.2	向 IPv6 演进	222
20.6	用路由器的物理网络连接	217	21.3	沙漏模型与转变难点	222
20.7	互联网体系结构	218	21.4	虚拟因特网的地址	223
20.8	内联网与互联网	218	21.5	IP 编址方案	224
20.9	实现全局服务	218	21.6	IP 地址的层次结构	224
20.10	虚拟网络	219	21.7	IPv4 地址的原始分类	224
20.11	网络互联协议	219	21.8	IPv4 点分十进制数表示法	225
20.12	TCP/IP 分层结构综述	219	21.9	地址的授权	226
			21.10	IPv4 子网与无类编址	226

21.11 地址掩码·····	227	22.19 片丢失的后果·····	250
21.12 用于 IPv4 的 CIDR 表示法 ···	228	22.20 IPv4 中的分片再分片 ·····	250
21.13 CIDR 举例 ·····	229	22.21 本章小结·····	251
21.14 CIDR 主机地址 ·····	230	习题·····	251
21.15 特殊 IPv4 地址 ·····	230	第 23 章 支持协议与相关技术 ·····	253
21.15.1 IPv4 网络地址·····	230	23.1 引言·····	253
21.15.2 IPv4 直接广播地址 ·····	231	23.2 地址解析·····	253
21.15.3 IPv4 有限广播地址 ·····	231	23.3 IPv4 地址的例子·····	254
21.15.4 IPv4 本机地址·····	231	23.4 IPv4 地址解析协议(ARP) ···	254
21.15.5 IPv4 回送地址·····	231	23.5 ARP 报文格式 ·····	255
21.16 特殊 IPv4 地址小结 ·····	232	23.6 ARP 封装 ·····	256
21.17 IPv4 伯克利广播地址形式 ···	232	23.7 ARP 缓存与报文处理 ·····	256
21.18 路由器与 IPv4 寻址原理 ·····	232	23.8 概念地址边界·····	258
21.19 多宿主主机·····	233	23.9 因特网控制报文协议 (ICMP) ·····	258
21.20 IPv6 多宿主与网络重编号 ···	234	23.10 ICMP 报文格式与封装 ·····	259
21.21 IPv6 编址·····	234	23.11 使用邻居发现的 IPv6 地址 绑定·····	260
21.22 IPv6 冒分十六进制数表 示法·····	235	23.12 协议软件、参数与配置 ·····	260
21.23 本章小结·····	236	23.13 动态主机配置协议(DHCP)·····	261
习题·····	236	23.14 DHCP 协议操作与优化 ·····	262
第 22 章 数据报转发 ·····	238	23.15 DHCP 报文格式 ·····	262
22.1 引言·····	238	23.16 通过中继间接访问 DHCP 服务器·····	263
22.2 无连接服务·····	238	23.17 IPv6 地址的自动配置 ·····	263
22.3 虚拟分组·····	238	23.18 网络地址转换(NAT) ·····	264
22.4 IP 数据报·····	239	23.19 NAT 操作与 IPv4 私有地址 ·····	264
22.5 IPv4 数据报头部格式·····	239	23.20 传输层 NAT(NAPT) ·····	266
22.6 IPv6 数据报头部格式·····	241	23.21 NAT 与服务器 ·····	267
22.7 IPv6 基本头部的格式·····	241	23.22 家用 NAT 软件和系统 ·····	267
22.8 IP 数据报转发·····	242	23.23 本章小结·····	267
22.9 网络前缀提取与数据报转发 ···	243	习题·····	268
22.10 最长前缀匹配·····	244	第 24 章 UDP: 数据报传输服务 ·····	270
22.11 目的地址与下一站地址·····	244	24.1 引言·····	270
22.12 尽力传递·····	244	24.2 传输协议与端到端通信·····	270
22.13 IP 封装 ·····	245	24.3 用户数据报协议·····	270
22.14 通过因特网传输·····	246	24.4 无连接的通信模式 ·····	271
22.15 MTU 和数据报分片 ·····	247	24.5 面向报文的接口·····	271
22.16 IPv6 数据报的分片 ·····	248	24.6 UDP 通信语义 ·····	272
22.17 分片 IP 数据报的重装 ·····	249		
22.18 收集数据报分片·····	250		