

国外计算机科学教材系列

用 TCP/IP 进行网际互联

第一卷：原理、协议与结构
(第四版)

Internetworking With TCP/IP Vol I:

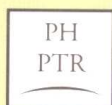
Principles, Protocols, and Architectures

Fourth Edition

[美] Douglas E. Comer 著

林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等译

谢希仁 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
URL: <http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

用 TCP/IP 进行网际互联

第一卷：原理、协议与结构

(第四版)

Internetworking With TCP/IP Vol I:
Principles, Protocols, and Architectures
Fourth Edition

[美] Douglas E. Comer 著

林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等译

谢希仁 审校

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

内 容 简 介

本书是一部关于计算机网络的经典教科书。它是目前美国大多数大学里所开设的计算机网络课程的主要参考书。目前国内外能见到的各种有关TCP/IP的书籍,其主要内容均出自本书。本书的特点是:强调原理、概念准确、深入浅出、内容丰富新颖。全书共分为三卷。第一卷从TCP/IP基本概念讲起,讨论了主要协议和结构,讲解了TCP/IP的各种具体应用,并阐述了其未来发展趋势。全书共33章,各章之后有许多习题。本书可供计算机和通信专业的研究生、高年级本科生作为教科书和学习参考书,也可供从事科研和技术开发的人员参考。

Authorized translation from the English language edition published by Prentice-Hall, Inc. Copyright © 2000.
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 the Publisher.

Simplified Chinese language edition published by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2001.
本书中文简体专有翻译出版权由Pearson教育集团所属的Prentice-Hall, Inc.授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

图书在版编目(CIP)数据

用TCP/IP进行网际互联第一卷:原理、协议与结构(第四版)/(美)科默(Comer, D. E.)著;林瑶等译.
—北京:电子工业出版社,2001.5

书名原文: Internetworking With TCP/IP Vol I: Principles, Protocols, and Architectures Fourth Edition

国外计算机科学教材系列

ISBN 7-5053-6643-2

I.用... II.①科...②林... III.计算机网络-通信协议-教材 IV.TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第25311号

丛 书 名: 国外计算机科学教材系列

书 名: 用TCP/IP进行网际互联第一卷:原理、协议与结构(第四版)

原 书 名: Internetworking With TCP/IP Vol I: Principles, Protocols, and Architectures Fourth Edition

著 者: [美] Douglas E. Comer

译 者: 林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等

审 校 者: 谢希仁

责任编辑: 马 岚

排版制作: 今日电子公司制作部

印 刷 者: 北京天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036 电话: 68279077

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 32 字数: 819.2千字

版 次: 2001年5月第1版 2001年5月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6643-2
TP · 3696

定 价: 44.00元

版权贸易合同登记号 图字: 01-2000-3480

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。

出版说明

随着 21 世纪的到来, 计算机技术的发展更加迅猛, 在各行各业的应用更加广泛, 越来越多的高等院校增设了有关计算机科学的课程内容, 或对现有计算机课程设置进行了适当调整, 以紧跟前沿技术。在这个教学体系和学科结构变革的大环境下, 对适合不同院系、不同专业、不同层次的教材的需求量与日俱增。此时, 如果能够借鉴、学习国外一流大学的先进教学体系, 引进具有先进性、实用性和权威性的国外一流大学计算机教材, 汲取其精华, 必能更好地促进中国高等院校教学的全面改革。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年成立以来, 一直致力于教材的出版, 所出版的计算机教材为美国众多大学采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著, 已翻译成多种文字在世界各地的大学中使用, 成为全人类的共同财富。许多蜚声世界的教授、学者都是该公司的资深作者, 如道格拉斯·科默 (Douglas E. Comer)、威廉·斯大林 (William Stallings) 等。早在 1997 年, 电子工业出版社就从 Prentice Hall 引进了一套计算机英文版专业教材, 并将其翻译出版, 同时定名为《国外计算机科学教材系列》(下称: 第一轮教材)。截至 2000 年 12 月, 该系列教材已出版 23 种, 深受读者欢迎, 被许多大学选为高年级学生和研究生教材或参考书。

4 年过去了, 已出版的教材中多数已经有了后续版本。因此, 我们开始设计新一轮教材 (第二轮教材) 的出版, 成立了由我国计算机界著名专家和教授组成的“教材出版委员会”, 并结合第一轮教材的使用情况和师生反馈意见, 组织了第二轮《国外计算机科学教材系列》出版工作。

第二轮教材的出版原则为:

1. 引进 Prentice Hall 出版公司 2000 年和 2001 年推出的新版教材, 作为替换版本。
2. 在著名高校教授的建议下, 除了从 Prentice Hall 新选了一些教材之外, 还从 McGraw-Hill 和 Addison Wesley Longman 等著名专业教材出版社、麻省理工学院出版社和剑桥大学出版社等著名大学出版社引进了一些经典教材, 作为增补版本。
3. 对于第一轮中无新版本的优秀教材, 我们将其作为延用版本, 直接进入第二轮使用。
4. 对于第一轮中翻译质量较好且无新版本的教材, 我们将其进行了修订, 也作为延用版本, 进入第二轮使用。

这次推出的教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多, 既有本科专业课程教材, 也有研究生课程教材, 以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求。广大师生可自由选择 and 自由组合使用。

按照计划, 本轮教材规划出版 37 种, 其中替换版本 8 种, 新增版本 14 种, 延用版本 15 种。教材内容涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。本轮教材计划于 2001 年 7 月前全部出版。教材的使用年限平均为 3 年。我们还将陆续推出一些教材的参考课件, 希望能为授课老师提供帮助。

为了保证本轮教材的选题质量和翻译质量, 我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通

大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本轮教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师和博士,也有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师。

在本轮教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括:

1. 对于新选题和新版本进行了全面论证。
2. 对于延用版本,认真审查了前一版本教材,修改了其中的印刷错误。
3. 对于译者和编辑的选择,达到了专业对口。
4. 对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,一一做了修改。
5. 对于翻译、审校、编辑、排版、印刷质量进行了严格的审查把关。

通过这些工作,保证了本轮教材的质量较前一轮有明显的提高。相信读者一定能够从字里行间体会到我们的这些努力。

今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

由于我们对国际计算机科学、我国高校计算机教育的发展存在认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议。

电子工业出版社
2001 年春

教材出版委员会

主 任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委 员	王 珊	中国人民大学信息学院院长、教授
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授 中国计算机学会多媒体专业委员会主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础教学课程指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

关于作者

Douglas Comer 博士是 TCP/IP 协议和因特网的国际公认专家。自 20 世纪 70 年代末、80 年代初形成因特网以来,他就一直致力于因特网的研究工作,他也是负责指导因特网开发的因特网结构委员会 (IAB) 的成员,还是 CSNET 技术委员会的主席和 CSNET 执行委员会的成员。

Comer 为一些公司提供网络设计和实现的咨询,还给全世界的技术和非技术人员开 TCP/IP 和互联网络的专业讲座。他的操作系统 Xinu 以及 TCP/IP 协议的实现在他的书中都有介绍,并且应用到了商业产品中。

Comer 是 Purdue 大学计算机科学系的教授,他主要教授计算机网络、互联网络和操作系统的课程,并进行相关的研究。除了撰写一系列畅销的技术书籍外,他还是《Software - Practice and Experience》杂志的北美地区编辑。Comer 是 ACM 会员 (Fellow)。

其他的信息可查询以下网址:

www.cs.purdue.edu/people/comer

前 言

这是一部划时代著作的第四版，它标志着 Internet 时代的到来。Internet 有关协议的发展始于 1974 年，但真正开始使用则是在 20 世纪 80 年代早期，直到 1987 年，仍然没有一部权威性的著作来介绍这些协议的运作方式和编码实现方式。当然，TCP、IP 和其他一些协议的标准文档已经有了，但只有将知识与智慧很好地结合起来才能实现这些协议并将其应用于实际。这并没有想像中的那么简单，仅有少数人能够掌握。因此，我们迫切需要一本解释 TCP/IP 的优秀著作。

Douglas 为我们写出了这部书。

看看已经出版的一些好书，许多都是关于“怎样构造编译器”的，还有一些是关于“怎样建立数据库”的。但是，没有一本书是关于“怎样建立 TCP/IP”的，因此本书的出版十分必要。

当然，仅仅确定这是一部划时代的著作就让读者去购买它，这实在是不可能的。收藏家也许需要本书的第一版，但那本书的内容已经是十二年前的了，Internet 已经存在了很多年，许多东西都已改变，这就是为什么要出第四版的原因。我们学会了更多的知识，这个领域也在不断地成长完善，大量新的协议已经产生，Douglas 也已经将这部书修订了三遍。这个领域变化得如此之快、如此之大，必须投入大量的工作才能保持这本书的时效性。本书包含了许多新的内容，而所有最新的知识都与全部原有的内容相关。

在这十二年里还有其他的事情也在发生变化。虽然 Internet 在不断发展，但是学术界的一些著名学者却已经变老了，有的已经去世。这本书第一版的前言是由 Jon Postel 撰写的，他是一位真正的 Internet 先驱，已于 1998 年秋天去世。我们重印了 Jon 撰写的第一版的前言，许多内容还保持原样，但也有一些内容已经改变了。这本书仍然是一部关于 TCP/IP 的细节和介绍主要通信协议的可读性非常强的书。但是，Jon 在 1987 年曾写下“计算机通信系统和网络是分隔开的。互相连接与网际互联的目标，就是拥有一个简单而功能强大的计算机通信网络，这也是 TCP/IP 设计的基本原理。”只有十二年前的网络是各成体系的，如今的 Internet 将世界连为一个整体，而作为 Internet 核心的 TCP/IP，正是本书所要讨论和研究的主题。

David Clark

Massachusetts Institute of Technology

第一版的前言（由已故的 Jon Postel 撰写）

在这本书中，Douglas Comer教授概括并介绍了TCP/IP。现在，需要很多关于这方面的文章、报告或书籍来理解TCP/IP协议，至少这本书满足了这些需求。大家知道，为初学者写书介绍TCP/IP是一件非常困难的事，但Comer教授深入浅出地将计算机通信的主要原理与TCP/IP协议族的具体例子相结合，向我们提供了一本非常易于阅读的书。

虽然本书专门讲述TCP/IP协议族的内容，但它也是学习各种计算机通信协议的好教材。尽管各种协议族的细节不同，但在结构、分层法、多路复用、封装、编址与地址映射、选路与命名的原理等方面，各种协议族都是类似的。计算机通信协议本身不会做任何事情，与操作系统类似，它们是为应用进程服务的。进程是实施通信的活跃元素，并且是所传送数据的最终发送者与接收者。协议的各个层次就像计算机操作系统中的各层次，尤其与文件系统的情况相似。因而，理解协议结构也就类似于理解操作系统结构。在本书中，Comer教授采用了“自底向上”方法，在抽象的层次中从物理网络开始一直向上讲述到应用层。

由于应用进程是使用协议所支持的通信的活跃元素，因而TCP/IP就是“进程间通信”（IPC）的机制。因为几个有关操作系统类型的报文传递以及基于IP的IPC过程调用类型的实验仍在进行中，所以本书的焦点更多地集中在传统的应用方面，这些应用使用UDP数据报或IPC的TCP逻辑连接形式。

本书标题中的“网际互联”是TCP/IP所固有的关键概念之一。一个通信系统的能力直接取决于系统中的机器数目。电话网之所以很有用是因为几乎所有话机都连成了一个网络（正像用户看到的那样）。目前的计算机通信系统和网络是分隔开的。互相连接与网际互联的目标，就是拥有一个简单而功能强大的计算机通信网络，这也是TCP/IP设计的基本原理。网际互联的本质就是编址方法以及一个通用的协议，即网际协议。

单独的网络必须连接起来才能形成互联网络，这种用于连接的设备称为网关。更进一步讲，网关必须能将数据从一个网络传入另一个网络。数据以IP数据报的形式传输，并且目的地是由IP地址指明的。但网关必须基于IP地址以及有关构成Internet的网络连接情况来做出选路决定。把当前的网络连接信息分发给网关的过程称为选路算法，目前有很多对它的研究和开发。

与所有的通信系统一样，TCP/IP协议族也是尚未完备的系统。它仍在发展中，以适应不断变化的要求和新的机遇。因此，从某种意义上讲，本书是TCP/IP在1987年的一个缩影。正如Comer教授所指出的，本书还有很多不足之处。

几乎每章的结尾都给出了一些资料，以便于进行“深入研究”，其中很多资料都引用了RFC系列的备忘录。产生RFC系列备忘录是基于这样的策略：使工作中产生的各种思想以及由TCP/IP研究与开发团体开发出的各种协议规范，能够更加广泛地被人们利用。这些协议的基本信息和详细信息的可用性以及这些协议的早期实现的可用性，对这些协议现在得到广泛普及起着重要作用。公布这样详细的文档对进行研究工作具有非同寻常的意义，并且对计算机通信的发展做出了重要贡献。

本书融合了TCP/IP体系结构与协议的各方面信息，因而非常具有可读性。它的出版是计算机通信发展中的一个非常重要的里程碑。

Jon Postel
Internet Protocol Designer and
Deputy Internet Architect

序 言

Internet 的爆炸式发展还在继续。五年前当这部书的第三版在写作时, Internet 已经从本书第一版出版时只拥有 5000 台计算机, 发展到连接 480 万台计算机。如今, 连在 Internet 上的计算机已超过了 5600 万台, 1995 年的 Internet 容量只是现在的 8%。在 20 世纪 90 年代早期, 我们对这个目标不太明确的研究项目竟然能发展到如此庞大而深感惊讶。现在, Internet 已经渗透到社会的各个方面。

TCP/IP 的适应性调整非常好。二十年来, 在通信量以指数级的速率增长的情况下, 基本的技术仍然保留了下来。各种协议在新的网络高速技术上仍能发挥作用, 并且能够处理在原来的设计中无法想像的应用。不过, 整个协议族并非保持不变。一些新的协议被采用, 一些新技术被开发出来, 以适应新的网络技术上使用的协议。

这一版收进了许多已更新的信息, 包括描述技术发展与进步的新材料。例如, 由于已经广泛采用了无类型编址, IP 转发的内容讨论了无类型查找的技术。另外, 有关 IP 的章节描述了用于区分服务的 Differentiated Services (区分服务, DiffServe) 方法, 还讨论了路径 MTU 发现和匿名网络。有关 TCP 的章节描述了随机早期丢弃 (RED)。有关外部选路的章节已更新为使用 BGP 作为主要的例子。例如 RIP、IGMP、SNMP 和 IPv6 等协议的描述已经过修订, 以适应最新的版本和最近的变化。最后, 关于安全性的章节讨论了 IPsec。

新增添的 4 章包含着一些重要发展方向的细节信息。第 19 章描述了移动 IP, 这种技术允许计算机无需改变 IP 地址即可从一个网络移动到另一个网络。第 20 章考虑了两种技术, 即 VPN (虚拟专用网络) 与 NAT (网络地址转换), 将专用内联网与全球 Internet 互连。这两种技术分别解决不同的问题, 并都已得到广泛采用。第 28 章讲解了 HTML 和 HTTP 协议的有关内容, 这些协议构成了最重要的 Internet 应用 (即万维网) 的基础。第 29 章将重点放在了一个新领域: 通过 IP 网络发送诸如声音、视频之类的实时数据。本章讨论了接收方用来协调和播放实时数据的 RTP 协议, 讨论了用于提供资源预留的 RSVP 和 COP3 协议, 另外还描述了用于 IP 电话的 H.323 协议族。

第四版保留了第三版主要的内容和组织方法。整部书重点阐述网际互联的一般概念, 特别是 TCP/IP 互联网的技术。网际互联是一个非常有用的抽象概念, 可使我们应付底层的多种通信技术的复杂性。网际互联屏蔽了网络硬件的许多细节, 提供了一个高层的通信环境。本书将网络互联的结构和作为网络互联的基础的协议原理看成是一个统一的通信系统。本书还表明, 一个互联网系统也可以用来进行分布式计算。

在读完本书后, 读者将会了解多个物理网络为什么可以互联成为一个协调得很好的系统, 互联网协议怎样在这样的环境中工作, 应用程序怎样使用这样构成的系统。作为一个特定的例子, 读者将了解到全球 TCP/IP Internet 的许多细节, 包括它的路由器系统的结构以及所支持的应用协议。此外, 读者还会了解到互联网的这种方法有什么样的局限性。

由于本书既是大学教科书也是专业参考书, 因此写成了与大学高年级本科生或研究生的水平相当。对专业人员来说, 本书提供了对 TCP/IP 技术和 Internet 结构的全面介绍。虽然并没有想取代一些协议标准, 但本书对学习网际互联来说仍是一个极好的起点, 这是因为它提供了强调原理的综述。此外, 本书还给读者提供了一些观点, 而这些观点很难从单个协议文档中得到。

当进行教学时,无论是本科生还是对研究生,本书所提供的材料都超过一个学期的网络课程所需要的内容。如果配合一些编程的课题和文献阅读,那么这门课就能扩充到两个学期。对本科生来说,课本中的许多细节是不需要掌握的。学生必须能够抓住书中的基本概念,并能叙述和使用这些基本概念。对于研究生,应当能够利用书中的材料作为基础进行深入的研究。他们必须对许多细节充分地理解,以便能够做一些习题或解决研究工作中遇到的一些问题。有许多习题会涉及到这些问题,要解决这些问题则需要阅读协议的标准,并努力理解其中的重要结论。

从各种角度来看,实践经验都会加深概念,并使学生得到直观的认识。因此,我鼓励教师给出研究课题,以迫使学生使用 Internet 服务和协议。我在珀杜(Purdue)大学开设了研究生课程“网际互联”,其中有一个课程设计就是让学生实现一个 IP 路由器。我们提供硬件设备和操作系统的源代码,包括网络接口的设备驱动程序;而学生需要做出一个可以发挥作用的、连接具有不同 MTU 的三个网络的路由器。这个课程设置得非常严密,学生分成小组工作,而最后的结果给人留下的印象是难以忘却的(许多企业招收学过此课程的毕业生)。虽然这样的实验是最没有风险的(这个教学的实验网络与用于计算的产品设施是隔离的),但我们发现,当学生们接入到一个起作用的 TCP/IP 互联网时,他们表现出了最大的热情,并且受益也是最大的。

本书分为四个部分。第 1 章和第 2 章是引言,包括概述和讨论现有的网络技术。第 2 章回顾了物理网络硬件。这样做是为了提供可能得到的基本直观概念,而不必在硬件细节上花费过多的时间。第 3 章到第 13 章描述从单个主机看到的 TCP/IP Internet,阐述主机包含的各种协议,以及这些协议是怎样工作的。这几章还包括 Internet 编址和选路的基本概念以及协议分层的一些概念。第 14 章到第 20 章以及第 32 章讨论世界范围的互联网的结构。这几章探讨选路的结构以及路由器用来交换选路信息的一些协议。第 21 章到第 31 章讨论 Internet 中可以使用的的应用层服务。这里给出了客户-服务器的交互模型,并给出了若干关于客户和服务器软件的例子。

各章的安排是自底向上的。先从硬件的概述开始,然后不断地在它的上面增加新的功能。这种做法会使每一个 Internet 软件开发人员感兴趣,因为这与人们在实现过程中所使用的方法是一致的。分层的概念直到第 11 章才出现。在分层的讨论中,强调了功能的概念层次与实际的分层协议软件(在其中的每一层会出现多个对象)的区别。

要掌握上述内容需要有一定的基础知识。读者应当具有对计算机系统的基本了解,并熟悉数据结构,如堆栈、队列和树。读者还需要把对计算机软件的组织结构与支持并发程序的操作系统和用于执行计算的应用程序联系在一起。读者并不需要更复杂的数学知识,也不需要信息论或数据通信的理论。本书将具体的物理网络看成是一个黑盒子,然后围绕它构成一个互联网络,清楚地阐述了设计原理,并讨论了动机和结果。

我感谢所有对本书的再版做出贡献的人。Michael Evangelista 对这一版提供了额外的帮助,包括对 RFC 进行分类。Jeff Case 提供了 SNMPv3 的例子。John Lin 和 Dennis Totin 评论了一些新的章节。Jin Zhang、Kechiun He 和 Sara Steinbrueck 校对了正文部分。特别要感谢我的妻子 Chris,作为我的助手,她的认真编辑使文字增色不少。

Douglas E. Comer

目 录

第 1 章 引言与概述	1
1.1 网际互联的动机	1
1.2 TCP/IP Internet	1
1.3 互联网的服务	2
1.3.1 应用层的 Internet 服务	2
1.3.2 网络层 Internet 服务	3
1.4 互联网的历史和范围	4
1.5 Internet 结构委员会	6
1.6 IAB 的重新组织	6
1.7 Internet 协会	8
1.8 Internet 的 RFC	8
1.9 Internet 协议和标准化	8
1.10 未来的发展和技术	9
1.11 本书的组织	9
1.12 小结	10
深入研究	10
习题	11
第 2 章 底层网络技术的回顾	12
2.1 引言	12
2.2 网络通信的两种途径	12
2.3 广域网和局域网	13
2.3.1 网络硬件地址	13
2.4 以太网技术	14
2.4.1 细缆以太网	16
2.4.2 双绞线以太网	17
2.4.3 以太网容量	17
2.4.4 快速以太网	18
2.4.5 10/100 以太网	18
2.4.6 吉比特以太网	18
2.4.7 以太网的性质	19
2.4.8 冲突检测与恢复	19
2.4.9 以太网硬件地址	20
2.4.10 以太网帧格式	20
2.4.11 用中继器扩展以太网	21

2.4.12 用网桥扩展以太网	22
2.5 光纤分布式数据互连	23
2.5.1 FDDI 网络的性质	23
2.5.2 双反向旋转环路	23
2.5.3 FDDI 的帧格式	24
2.6 异步传输模式	25
2.6.1 ATM 信元大小	25
2.6.2 面向连接的网络	25
2.7 广域网技术：ARPANET	26
2.7.1 ARPANET 的编址	28
2.8 国家科学基金会的网络组建	28
2.8.1 最初的 NSFNET 主干网	28
2.8.2 1988-1989 年的第二个 NSFNET 主干网	29
2.8.3 1989-1990 年的 NSFNET 主干网	30
2.9 ANSNET	30
2.10 一个规划中的广域主干网	31
2.10.1 商业 Internet 主干网	31
2.11 使用 TCP/IP 的其他技术	31
2.11.1 X25NET 和隧道	31
2.11.2 点到点网络	33
2.11.3 拨号 IP	33
2.11.4 其他令牌环技术	34
2.11.5 无线网络技术	34
2.12 小结	35
深入研究	35
习题	35
第 3 章 网际互联的概念和结构模型	36
3.1 引言	36
3.2 应用层互连	36
3.3 网络层互连	36
3.4 Internet 的性质	37
3.5 Internet 结构	37
3.6 通过 IP 路由器互连	38
3.7 从用户的角度来看	39
3.8 所有网络是平等的	40
3.9 未解答的问题	40
3.10 小结	40
深入研究	41
习题	41

第 4 章 Internet 地址	42
4.1 引言	42
4.2 通用标识符	42
4.3 最初的分类编址机制	42
4.4 用地址指定网络连接	43
4.5 网络地址和定向广播地址	44
4.6 有限广播	44
4.7 把零解释成“本”	45
4.8 子网编址和超网扩展	45
4.9 IP 组播地址	45
4.10 Internet 编址方法的缺陷	45
4.11 点分十进制表示法	46
4.12 环回地址	47
4.13 特殊地址约定小结	47
4.14 Internet 编址管理机构	48
4.15 保留的地址前缀	49
4.16 示例	49
4.17 网络字节顺序	50
4.18 小结	51
深入研究	51
习题	51
第 5 章 网络地址到物理地址的映射 (ARP)	53
5.1 引言	53
5.2 地址转换问题	53
5.3 两种类型的物理地址	53
5.4 通过直接映射进行转换	53
5.5 通过动态绑定进行转换	54
5.6 地址转换高速缓存	55
5.7 ARP 高速缓存超时	55
5.8 ARP 的改进	56
5.9 ARP 与其他协议之间的关系	56
5.10 ARP 实现	56
5.11 ARP 的封装与标识	57
5.12 ARP 的协议格式	58
5.13 小结	59
深入研究	59
习题	59
第 6 章 在启动时确定 Internet 地址 (RARP)	61
6.1 引言	61

6.2 反向地址转换协议 (RARP)	62
6.3 处理 RARP 事务的时间	63
6.4 RARP 主服务器和备份服务器	63
6.5 小结	63
深入研究	64
习题	64
第 7 章 网际协议：无连接数据报交付	65
7.1 引言	65
7.2 虚拟网络	65
7.3 Internet 的结构和思想	65
7.4 服务组织的概念	66
7.5 无连接交付系统	66
7.6 网际协议的目的	66
7.7 Internet 数据报	66
7.7.1 数据报格式	67
7.7.2 数据报服务类型和区分服务	68
7.7.3 数据报的封装	69
7.7.4 数据报的大小、网络 MTU 及分片	70
7.7.5 数据报片的重组	71
7.7.6 分片控制	72
7.7.7 寿命 (TTL)	72
7.7.8 其他数据报首部字段	73
7.8 Internet 数据报选项	73
7.8.1 记录路由选项	74
7.8.2 源站路由选项	75
7.8.3 时间戳选项	76
7.8.4 分片时对选项的处理	77
7.9 小结	77
深入研究	77
习题	78
第 8 章 网际协议：IP 数据报的选路	79
8.1 引言	79
8.2 互联网中的选路	79
8.3 直接交付和间接交付	80
8.3.1 单个物理网络上的数据报交付	80
8.3.2 间接交付	81
8.4 表驱动 IP 选路	81
8.5 下一跳选路	82
8.6 默认路由	83

8.7 特定于具体主机的路由	83
8.8 IP 选路算法	83
8.9 利用 IP 地址选择路由	84
8.10 处理传入的数据报	85
8.11 建立选路表	86
8.12 小结	86
深入研究	86
习题	86
第 9 章 网际协议：差错与控制报文 (ICMP)	88
9.1 引言	88
9.2 网际控制报文协议	88
9.3 差错报告与差错更正的对比	89
9.4 ICMP 报文交付	89
9.5 ICMP 报文格式	90
9.6 测试目的站的可达性与状态 (ping)	90
9.7 回送请求和应答报文格式	91
9.8 目的站不可达报告	91
9.9 拥塞和数据流控制	92
9.10 源站抑制报文格式	93
9.11 路由器的改变路由请求	93
9.12 检测循环的或过长的路由	95
9.13 报告其他问题	95
9.14 时钟同步和传输时间估计	96
9.15 信息请求和应答报文	96
9.16 获得子网掩码	97
9.17 路由器发现	97
9.18 路由器恳求	98
9.19 小结	99
深入研究	99
习题	99
第 10 章 无类型和子网地址扩展 (CIDR)	101
10.1 引言	101
10.2 相关情况的回顾	101
10.3 使网络数目最小	101
10.4 透明路由器	102
10.5 代理 ARP	103
10.6 子网编址	104
10.7 子网编址分配的灵活性	105
10.8 变长子网划分	107

10.9 带掩码的子网的实现	107
10.10 子网掩码表示方法	108
10.11 存在子网时的选路	108
10.12 子网选路算法	109
10.13 统一的选路算法	110
10.14 子网掩码的维护	111
10.15 到子网的广播	111
10.16 匿名点到点网络	112
10.17 无类型编址（超网编址）.....	113
10.18 构成超网对选路的影响	113
10.19 CIDR 地址块和比特掩码	114
10.20 地址块和 CIDR 表示法	114
10.21 无类型编址示例	115
10.22 无类型查找的数据结构和算法	115
10.22.1 哈希方法和分类地址	116
10.22.2 按掩码长度进行搜索	116
10.22.3 二叉树结构	116
10.23 最长匹配选路和混合路由类型	117
10.23.1 PATRICIA 和层压缩二叉树	118
10.24 为专用网络保留的 CIDR 块	119
10.25 小结	119
深入研究	119
习题	120
第 11 章 协议的分层	122
11.1 引言	122
11.2 多个协议的必要性	122
11.3 协议软件的概念层次	123
11.4 各层的功能	124
11.4.1 ISO 七层参考模型	124
11.5 X.25 以及与 ISO 模型的关系	125
11.5.1 TCP/IP 的五层参考模型	126
11.6 ISO 和 Internet 分层结构之间的区别	127
11.6.1 链路层可靠性与端到端可靠性的对比	128
11.6.2 智能和决策的位置	128
11.7 协议分层的原则	128
11.7.1 TCP/IP Internet 环境中的分层	129
11.8 在现有的底层网络中分层	130
11.9 TCP/IP 模型中的两个重要分界线	132
11.9.1 高层协议地址界限	132
11.9.2 操作系统的界限	132