

本书第3版荣获“第八届全国高校出版社优秀畅销书一等奖”

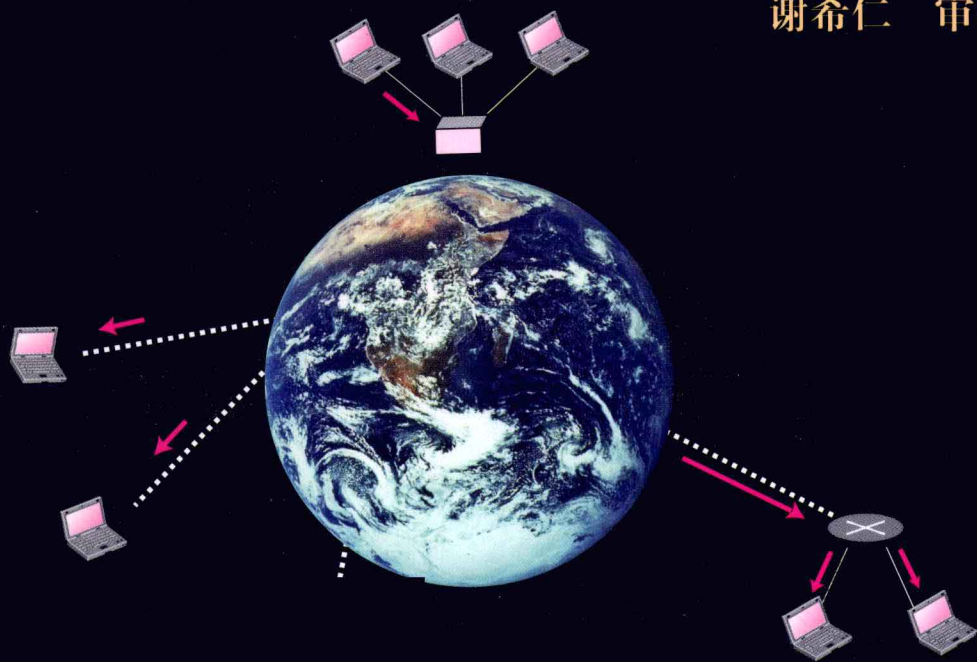
TCP/IP 协议族

(第4版)

Behrouz A. Forouzan 著

王海 张娟 朱晓阳 等译

谢希仁 审校



TCP/IP PROTOCOL SUITE

Fourth Edition

世界著名计算机教材精选

TCP/IP 协议族（第4版）

Behrouz A. Forouzan 著

王海 张娟 朱晓阳 等译

谢希仁 审校

清华大学出版社
北 京

Behrouz A. Forouzan

TCP/IP Protocol Suite, Fourth Edition

EISBN: 0-07-337604-3

Copyrights © 2010 The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Tsinghua University Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Tsinghua University Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和清华大学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权© 2010 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与清华大学出版社所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2009-4897 号

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签，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

TCP/IP 协议族：第 4 版/（美）福罗赞（Forouzan, B. A.）著；王海等译。—北京：清华大学出版社，2011.1

（世界著名计算机教材精选）

书名原文：TCP/IP Protocol Suite, Fourth Edition

ISBN 978-7-302-23239-1

I. ①T… II. ①福… ②王… III. ①计算机网络—通信协议—教材 IV. ①TP915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 144321 号

责任编辑：龙啟铭(longqm@163.com)

责任校对：焦丽丽

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62795954, jsjje@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：清华大学印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：54 字 数：1298 千字

版 次：2011 年 1 月第 1 版 印 次：2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：99.00 元

产品编号：032606-01

译者序

我很高兴向各位读者推荐福罗赞教授的新书《TCP/IP 协议族（第4版）》。

福罗赞教授（Behrouz A. Forouzan）出生于1944年，目前任职于DeAnza学院的计算机信息系统（CIS）系，他参与了该系计算机信息系统学科的课程设计工作，同时还兼任许多公司的系统开发顾问。福罗赞教授也是一个非常高产的作家，出版了十余部涵盖计算机科学、组网、编程和数据库、安全等领域的热门书籍，其中多部著作反复再版。本书《TCP/IP 协议族》就是他的经典著作之一。

本书的最大特色是将内容庞杂，关联繁多的TCP/IP协议体系以有条不紊的组织方式，阐述得非常明晰，充分体现了作者深厚的功力。作为一个教师，我经常体会到，很多时候对于一个思想，理解它并不难，难的是如何能够以通俗浅显的方式准确无误地传达给学生，而福罗赞教授却非常成功地在本书中做到了。他能够化繁入简，虽是一些复杂的概念，往往以实际生活的例子为引线，逐步深入，于细微处见真功。大量的图表是本书的另一特色，对于一些抽象的概念，他往往能够应用一些图表将其具像化，使得整个内容理解起来非常轻松而同时不流于肤浅。

福罗赞教授非常勤奋，本版与第3版相比，不少章节几乎全部重写，且新增了很多内容，比如，增加了MPLS的介绍，将IPv6扩展为三章（第26、27和28章），将安全内容扩展为两章（第29和30章）等。在结构方案，他按照TCP/IP协议层次关系对章节进行了重组，从中可以看出他对如何更合理地安排这些章节内容所进行的不断探索。同时还在各章中适时补充了很多新的技术和内容，删除了一些过时的协议，还增加了一些新的习题和研究项目等。

该书如果能够与史蒂文斯（Stevens）的*TCP/IP Illustrated*一书搭配阅读，可起到概念相互印证，宏观与细节俱备，原理与实现兼收的多重功效。

本书可作为大学生和研究生的教材，也同样适合于自学，对于从事通信网络的教学和科研人员以及工程技术人员也有很好的参考价值。

由于译者水平有限，本书中翻译错误和不当之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

序 言

在今天的文明生活中，与网络和连网有关技术的发展变化可能是最快的。很多专家学者以及学生在审阅或学习使用了本书的第3版之后都提出建议，希望在本书新一版发行时能够包括这些变化。在第4版中，我对本书内容进行了重新整理，不仅融入了许多技术上的发展变化，而且还增加了几个新的章节和附录。

本书第4版假定读者并没有关于TCP/IP协议族的预备知识，不过读者最好还是预先学习一下数据通信的课程。

内容结构

本书分为七个部分。

- ❑ 第一部分（引言和底层技术），包括第1~3章，回顾了一些基本概念和基础技术。虽然这部分内容不包含在TCP/IP协议中，但TCP/IP协议需要它们的支持。
- ❑ 第二部分（网络层），包括第4~12章，讨论了IPv4编址技术、IPv4协议、所有IPv4协议的辅助协议以及单播和多播路由选择协议。
- ❑ 第三部分（运输层），包括第13~16章，介绍了运输层的总体概念（第13章），然后全面讨论了三个运输层协议：UDP、TCP和SCTP（第14、15、16章）。
- ❑ 第四部分（应用层），包括第17~25章，介绍了应用层的总体概念，包括客户/服务器模式的编程（第17章），然后全面讨论了七个应用层协议（第18~24章）。第25章专门介绍因特网上的多媒体技术。
- ❑ 第五部分（新一代），包括第26~28章，介绍了新一代的IP协议、IPv6编址技术（第26章）、IPv6协议（第27章）和ICMPv6（第28章）。
- ❑ 第六部分（安全性），包括第29~30章，讨论了一些不可避免的话题，如加密技术和网络安全（第29章）以及因特网安全（第30章）。
- ❑ 第七部分（附录）一共含有七个附录，在你阅读本书的过程中也许会用得着它们。

特点

为了使学生更容易地学习TCP/IP，本书的编写具有如下一些特点。

用直观的方法

本书用图文并茂的方法讲述了技术性很强的内容，但并没有使用复杂的公式。大约超过650张插图与正文一起为理解这些内容提供了直观的方法。在解释网络的概念时，插图

是特别重要的, 因为网络的概念是基于连接和传输的。使用插图要比使用文字更容易地理解这些概念。

突出重点

对一些重要概念反复提示, 使读者可迅速找到这些重点并引起注意。

例子和应用

只要合适, 我们就会用例子来阐明书中给出的概念。此外, 我们在每一章都放进许多实际生活中的应用, 以提高读者的兴趣。

协议软件包

虽然我们并不试图给出实现每个协议的详细代码, 但在许多章还是包括了一个小节, 用来讨论每个协议实现背后的大致想法。这些内容可帮助理解每一种协议的思路和相关问题, 不过它们也可作为选读内容。

重要术语

在每一章的最后列出了在这一章中出现的新术语, 而这些术语的定义包含在词汇表中。

小结

每一章的结尾部分是对本章内容的小结。小结以重点符号打头, 列举了这章中的所有重点内容。

实践项目

每一章都包括一项实践内容, 用来巩固重要概念, 同时鼓励学生应用它们。实践项目由两部分组成: 习题和研究活动。完成习题需要对所学内容真正理解, 而研究活动则是为打算更加深入钻研这些内容而安排的。

附录

附录的作用是提供快捷的参考内容, 或为理解本书中的概念而需要复习的一些内容。前几版中的附录在这里经过重新修订、整理, 同时还增加了一些新的附录。

词汇表和缩写表

本书包含了一个庞大的词汇表和缩写词列表。

教师资源

习题解答、PowerPoint 幻灯片以及学生小测验, 这些都可以在本书的网站 www.mhhe.com/forouzan 上找到。

第 4 版改动以及新增的内容

在第 4 版中有很多改动的地方和新增的内容, 包括:

- ☐ 在每章开头部分增加了学习目标。
- ☐ 在每章结尾增加了简要参考列表和相应 RFC 的列表。
- ☐ 有几章增加了新的习题和研究活动。
- ☐ 有些插图作了修订, 以更真实地反映当前实际使用的技术。
- ☐ 第 3 章 (底层技术) 全面改写以囊括新的技术。
- ☐ 第 4 章 (网络层简介) 是全新内容。
- ☐ 第 13 章 (运输层简介) 是全新内容。

- 第 17 章（应用层简介）是全新内容。
- 现在的第 5 章既讨论了分类编址，也讨论了无分类编址（是第 3 版中第 4 章和第 5 章的合并）。
- 第 6 章修订后包括了 MPLS。
- 新一代网际协议（IPv6）的内容扩展到 3 个章节（第 26、27、28 章）。
- 有关安全性的内容扩展到两个章节（第 29、30 章）。
- 一些过时的协议，如 RARP 和 BOOTP 被删掉以腾出空间给新的内容。
- 根据 TCP/IP 协议族中的层次关系对章节进行了重组。
- 附录 A（ASCII 码）被 Unicode 取代。
- 附录 C（差错检测）经过全面修订和扩充。
- 附录 D（检验和）经过全面修订。
- 附录 E（HTML、XHTML、XML 和 XSL）是全新的。
- 附录 F（客户/服务器模式的 Java 编程）是全新的。
- 附录 G（杂项信息）此次综合了前几版中的附录 F、附录 G 和附录 H。

怎样使用本书

本书是为学校学生和专业人员写的。它可作为感兴趣的专业人员的自学指导书。作为教科书，它可当作一学期的教材使用（对一年两个学期或四个学期的学制都可以）。各章的组织有很大的灵活性。下面是我给出的一些建议：

- 如果学生已经学过数据通信和联网的课程，则可跳过第 1～3 章。
- 第 4～25 章对了解 TCP/IP 是至关重要的。
- 第 26～28 章的决定权在于教授是否认为应该让学生熟悉新一代的 IP。
- 第 29 章和第 30 章为学生学习安全性课程提供预备知识，如果时间有限可以跳过。

致谢

很显然，写这样篇幅的书没有很多人的帮助是不可能的。在前 3 版的序言中，我对许多人的贡献表示了感谢。在此第 4 版中，我想对以下同行审阅人对编写本书的贡献表示感谢，他们包括：

Dale Buchholz, *DePaul University*

Victor Clincy, *Kennesaw State University*

Richard Coppins, *Virginia Commonwealth University*

Zongming Fei, *University of Kentucky*

Guy Hembroff, *Michigan Tech University*

Frank Lin, *San Jose State University*

Tim Lin, *California Polytechnic University-Pomona*

Abdallah Shami, *University of Western Ontario*

Elsa Valeroso, *Eastern Michigan University*

Mark Weiser, *Oklahoma State University*

Ben Zhao, *University of California at Santa Barbara*

我还要感谢 Paul D. Amer 教授, 因为他对初稿提出了许多反馈意见和建议, 对本书做出了宝贵的贡献。

特别要感谢麦格劳-希尔(McGraw-Hill)公司的工作人员。发行人 Raghu Srinivasan 证明了熟练的发行人可以把不可能的事情变为可能的。每当我需要帮助时, 开发编辑 Melinda Bilecki 就会给予帮助。项目经理 Joyce Watters 在出版的过程中一直以极大的热情领导着我们。我还要感谢 Macmillan Publishing Solutions 公司的 Les Chappell 在制作上, Laurie Janssen 在设计上以及 George F. Watson 在原稿编辑上所做的贡献。

Behrouz A. Forouzan

January, 2009

商标

本书中经常会出现一些商标名称。书中并没有在每次提到这些商标名称时都插入一个商标符号, 而是由我在这里确认使用这些商标, 并在此声明绝无对它们进行侵权的意图。其他的产品名称、商标、注册商标等也都是其拥有者的财产。

- Network File System 和 NFS 是 Sun Microsystems 公司的注册商标。
- UNIX 是 UNIX 系统实验室公司 (是诺威公司完全拥有的子公司) 的注册商标。
- Xerox 是商标, 而 Ethernet 是 Xerox 公司的注册商标。

目 录

第一部分 引言和底层技术

第 1 章 引言	3
1.1 发展简史	3
1.1.1 ARPANET	3
1.1.2 因特网的诞生	4
1.1.3 传输控制协议/网际协议 (TCP/IP)	4
1.1.4 MILNET	4
1.1.5 CSNET	5
1.1.6 NSFNET	5
1.1.7 ANSNET	5
1.1.8 今日的因特网	5
1.1.9 主干 ISP	6
1.1.10 地区 ISP	6
1.1.11 本地 ISP	6
1.1.12 大事记	7
1.1.13 因特网的发展	7
1.2 协议和标准	7
1.2.1 协议	7
1.2.2 标准	8
1.3 标准化组织	8
1.3.1 标准创建委员会	9
1.3.2 论坛	10
1.3.3 管理机构	10
1.4 因特网标准	10
1.4.1 成熟度	11
1.4.2 需求级别	11
1.5 因特网的管理机构	12
1.5.1 因特网协会 (ISOC)	13
1.5.2 因特网体系结构研究委员会 (IAB)	13
1.5.3 因特网工程部 (IETF)	13

1.5.4	因特网研究部 (IRTF)	13
1.5.5	因特网赋号管理局和因特网名字与号码指派公司	14
1.5.6	网络信息中心 (NIC)	14
1.6	深入阅读	14
1.6.1	书籍和论文	14
1.6.2	网站	14
1.7	重要术语	14
1.8	本章小结	15
1.9	实践安排	16
1.9.1	习题	16
1.9.2	研究活动	16
第 2 章	OSI 模型和 TCP/IP 协议族	17
2.1	协议分层	17
2.1.1	分层结构	18
2.1.2	服务	18
2.2	OSI 模型	19
2.2.1	分层的体系结构	19
2.2.2	层与层之间的通信	20
2.2.3	封装	21
2.2.4	OSI 模型中的各层	21
2.2.5	OSI 各层小结	24
2.3	TCP/IP 协议族	25
2.3.1	OSI 和 TCP/IP 协议族的比较	25
2.3.2	TCP/IP 协议族的分层	26
2.4	编址	30
2.4.1	物理地址	31
2.4.2	逻辑地址	32
2.5	深入阅读	35
2.5.1	参考书	35
2.5.2	RFC	35
2.6	重要术语	35
2.7	本章小结	36
2.8	实践安排	36
2.8.1	习题	36
2.8.2	研究活动	38
第 3 章	底层技术	39
3.1	有线局域网	39
3.1.1	IEEE 标准	40
3.1.2	帧格式	40

3.1.3	编址	42
3.1.4	以太网的发展历程	43
3.1.5	标准以太网	43
3.1.6	快速以太网	47
3.1.7	吉比特以太网	48
3.1.8	10G 以太网	49
3.2	无线局域网	50
3.2.1	IEEE 802.11	50
3.2.2	编址机制	55
3.2.3	蓝牙	57
3.3	点到点广域网	59
3.3.1	56K 调制解调器	59
3.3.2	DSL 技术	60
3.3.3	电缆调制解调器	61
3.3.4	T 线	63
3.3.5	SONET	64
3.3.6	PPP	64
3.4	交换广域网	65
3.4.1	X.25	65
3.4.2	帧中继	66
3.4.3	ATM	66
3.5	连接设备	70
3.5.1	转发器	70
3.5.2	网桥	71
3.5.3	路由器	73
3.6	深入阅读	74
3.7	重要术语	74
3.8	本章小结	75
3.9	实践安排	76
3.9.1	习题	76
3.9.2	研究活动	77

第二部分 网络层

第 4 章	网络层简介	81
4.1	简介	81
4.2	交换	82
4.2.1	电路交换	82
4.2.2	分组交换	83
4.3	网络层的分组交换	83

4.3.1	无连接服务	83
4.3.2	面向连接的服务	85
4.4	网络层的服务	88
4.4.1	一个例子	89
4.4.2	逻辑编址	90
4.4.3	源计算机提供的服务	90
4.4.4	各路由器提供的服务	91
4.4.5	目的计算机提供的服务	92
4.5	其他与网络层相关的问题	93
4.5.1	差错控制	93
4.5.2	流量控制	94
4.5.3	拥塞控制	94
4.6	进一步阅读	96
4.7	重要术语	96
4.8	本章小结	96
4.9	实践安排	97
4.9.1	习题	97
第 5 章	IPv4 地址	98
5.1	引言	98
5.1.1	地址空间	99
5.1.2	记法	99
5.1.3	地址段	101
5.1.4	运算	101
5.2	分类编址	104
5.2.1	分类	104
5.2.2	地址类和地址块	106
5.2.3	两级编址	107
5.2.4	一个例子	110
5.2.5	三级编址: 子网划分	112
5.2.6	构造超网	114
5.3	无分类编址	115
5.3.1	可变长度地址块	116
5.3.2	两级编址	116
5.3.3	地址块的分配	120
5.3.4	子网划分	121
5.4	特殊地址	125
5.4.1	特殊地址块	125
5.4.2	每个地址块中的特殊地址	126
5.5	NAT	127

5.5.1	地址转换	127
5.5.2	转换表	128
5.6	深入阅读	129
5.6.1	参考书	129
5.6.2	RFC	130
5.7	重要术语	130
5.8	本章小结	130
5.9	实践安排	131
5.9.1	习题	131
第 6 章	IP 分组的交付和转发	135
6.1	交付	135
6.1.1	直接交付	135
6.1.2	间接交付	136
6.2	转发	136
6.2.1	基于目的地址的转发	136
6.2.2	基于标记的转发	148
6.3	路由器的结构	150
6.3.1	构件	150
6.4	深入阅读	153
6.4.1	参考书	153
6.4.2	RFC	153
6.5	重要术语	153
6.6	本章小结	153
6.7	实践安排	154
6.7.1	习题	154
6.7.2	研究活动	155
第 7 章	网际协议版本 4 (IPv4)	156
7.1	引言	156
7.2	数据报	157
7.3	分片	161
7.3.1	最大传送单元 (MTU)	161
7.3.2	与分片有关的字段	162
7.4	选项	165
7.4.1	格式	165
7.4.2	选项类型	166
7.5	检验和	171
7.5.1	在发送端计算检验和	172
7.5.2	在接收端计算检验和	172
7.5.3	IP 分组中的检验和	173

7.6	IP 在 ATM 上运行	174
7.6.1	ATM 广域网	174
7.6.2	信元的路由选择	175
7.7	安全性	176
7.7.1	安全问题	176
7.7.2	IPSec	176
7.8	IP 软件包	177
7.8.1	首部添加模块	178
7.8.2	处理模块	178
7.8.3	队列	179
7.8.4	路由表	179
7.8.5	转发模块	179
7.8.6	MTU 表	179
7.8.7	分片模块	180
7.8.8	重装表	181
7.8.9	重装模块	181
7.9	深入阅读	182
7.9.1	参考书	182
7.9.2	RFC	182
7.10	重要术语	182
7.11	本章小结	183
7.12	实践安排	184
7.12.1	习题	184
7.12.2	研究活动	185
第 8 章	地址解析协议 (ARP)	186
8.1	地址映射	186
8.1.1	静态映射	187
8.1.2	动态映射	187
8.2	ARP 协议	187
8.2.1	分组格式	189
8.2.2	封装	190
8.2.3	操作	190
8.2.4	代理 ARP	192
8.3	ATMARP	193
8.3.1	分组格式	193
8.3.2	ATMARP 的操作	194
8.3.3	逻辑 IP 子网 (LIS)	197
8.4	ARP 软件包	197
8.4.1	高速缓存表	198

8.4.2	队列	199
8.4.3	输出模块	199
8.4.4	输入模块	200
8.4.5	高速缓存控制模块	201
8.4.6	更多的例子	203
8.5	深入阅读	204
8.5.1	参考书	204
8.5.2	RFC	205
8.6	重要术语	205
8.7	本章小结	205
8.8	实践安排	206
8.8.1	习题	206
第 9 章	网际控制报文协议 (ICMP)	207
9.1	引言	207
9.2	报文	208
9.2.1	报文格式	208
9.2.2	差错报告报文	209
9.2.3	查询	214
9.2.4	检验和	216
9.3	排错工具	217
9.3.1	ping	217
9.3.2	traceroute	219
9.4	ICMP 软件包	221
9.4.1	输入模块	222
9.4.2	输出模块	222
9.5	深入阅读	223
9.5.1	参考书	223
9.5.2	RFC	224
9.6	重要术语	224
9.7	本章小结	224
9.8	实践安排	224
9.8.1	习题	224
9.8.2	研究活动	226
第 10 章	移动 IP	227
10.1	编址	227
10.1.1	固定主机	227
10.1.2	移动主机	228
10.2	代理	228
10.2.1	归属代理	229

10.2.2	外地代理	229
10.3	三个阶段	229
10.3.1	代理发现	230
10.3.2	登记	231
10.3.3	数据传送	233
10.4	移动 IP 的低效率	234
10.4.1	两次穿越	234
10.4.2	三角路由选择	235
10.4.3	解决方法	235
10.5	深入阅读	235
10.5.1	参考书	235
10.5.2	RFC	236
10.6	重要术语	236
10.7	本章小结	236
10.8	实践安排	236
10.8.1	习题	236
10.8.2	研究活动	237
第 11 章	单播路由选择协议 (RIP、OSPF 和 BGP)	238
11.1	引言	238
11.1.1	代价或度量	239
11.1.2	静态路由表还是动态路由表	239
11.1.3	路由选择协议	239
11.2	域内和域间路由选择	239
11.3	距离向量路由选择	240
11.3.1	Bellman-Ford 算法	241
11.3.2	距离向量路由选择算法	242
11.3.3	计数到无穷大	246
11.4	RIP	248
11.4.1	RIP 的报文格式	249
11.4.2	请求和响应	250
11.4.3	RIP 的计时器	251
11.4.4	RIP 版本 2	252
11.4.5	封装	253
11.5	链路状态路由选择	253
11.5.1	构造路由表	254
11.6	OSPF	257
11.6.1	区域	257
11.6.2	度量	258
11.6.3	链路的类型	258

11.6.4	图形表示法	260
11.6.5	OSPF 分组	260
11.6.6	链路状态更新分组	261
11.6.7	其他分组	268
11.6.8	封装	270
11.7	路径向量路由选择	270
11.7.1	可达性	271
11.7.2	路由表	272
11.8	BGP	273
11.8.1	自治系统的类型	273
11.8.2	路径属性	274
11.8.3	BGP 会话	274
11.8.4	外部 BGP 和内部 BGP	274
11.8.5	分组的类型	275
11.8.6	分组格式	275
11.8.7	封装	278
11.9	深入阅读	278
11.9.1	参考书	278
11.9.2	RFC	278
11.10	重要术语	279
11.11	本章小结	279
11.12	实践安排	280
11.12.1	习题	280
11.12.2	研究活动	282
第 12 章	多播和多播路由选择协议	283
12.1	引言	283
12.1.1	单播	284
12.1.2	多播	284
12.1.3	广播	286
12.2	多播地址	286
12.2.1	IPv4 中的多播地址	286
12.2.2	选择多播地址	289
12.2.3	数据链路层多播分组的交付	289
12.3	IGMP	291
12.3.1	组管理	291
12.3.2	IGMP 报文	292
12.3.3	在主机上应用 IGMP 协议	294
12.3.4	IGMP 协议应用于路由器	297
12.3.5	IGMP 在转发中的作用	299