



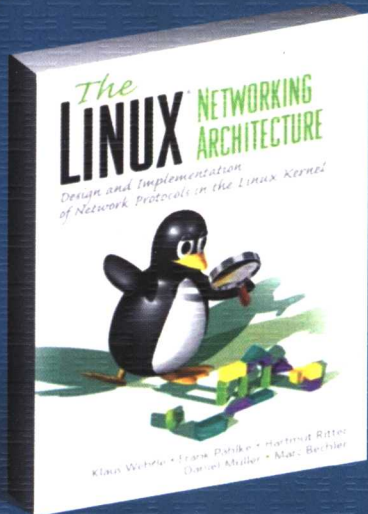
国外经典教材·计算机科学与技术

PEARSON  
Prentice  
Hall

# Linux<sup>®</sup> 网络体系结构

## Linux内核中网络协议的设计与实现

The Linux Network Architecture  
Design and Implementation of Network  
Protocols in the Linux Kernel



透彻介绍概念与方法

全面阐释知识与应用

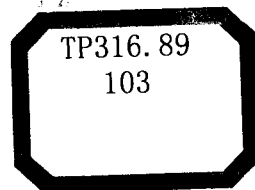
有利于调整教学顺序

Klaus Wehrle Frank Pählke  
Hartmut Ritter 著  
Daniel Müller Marc Bechler  
汪青青 卢祖英 译



清华大学出版社

国外经典教材·计算机科学与技术



# Linux 网络体系结构

Linux 内核中网络协议的设计与实现

Klaus Wehrle Frank Pählke  
Hartmut Ritter  
Daniel Müller Marc Bechler 著

汪青青 卢祖英 译

清华大学出版社  
北京

Simplified Chinese edition copyright © 2006 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Tsinghua University Press.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: The Linux Networking Architecture: Design and Implementation of Network Protocols in the Linux Kernel, 3rd by Klaus Wehrle, Copyright © 2005

EISBN: 0-13-177720-3

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice-Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Prentice-Hall 授权给清华大学出版社在中国境内（不包括中国香港、澳门特别行政区）出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2005-2867 号

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

#### 图书在版编目（CIP）数据

Linux 网络体系结构：Linux 内核中网络协议的设计与实现 /（美）威尔（Wehrle, K.）等著；汪青青，卢祖英译. —北京：清华大学出版社，2006.7

书名原文：The Linux Networking Architecture: Design and Implementation of Network Protocols in the Linux Kernel

ISBN 7-302-13019-1

I. L… II. ①威… ②汪… ③卢… III. Linux 操作系统—程序设计 IV. TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 047867 号

出版者：清华大学出版社 地 址：北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 客户服务：010-62776969

责任编辑：常晓波

印 装 者：北京嘉实印刷有限公司

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185 × 260 印 张：32 字 数：793 千字

版 次：2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-13019-1/TP · 8263

印 数：1 ~ 3000

定 价：59.00 元

# 国外经典教材·计算机科学与技术

## 编审委员会

主任委员:

孙家广

清华大学教授

副主任委员:

周立柱

清华大学教授

委员(按姓氏笔画排序):

王成山

天津大学教授

王珊

中国人民大学教授

冯少荣

厦门大学教授

冯全源

西南交通大学教授

刘乐善

华中科技大学教授

刘腾红

中南财经政法大学教授

吉根林

南京师范大学教授

孙吉贵

吉林大学教授

阮秋琦

北京交通大学教授

何展

上海交通大学教授

吴百锋

复旦大学教授

李彤

云南大学教授

杨宗源

华东师范大学教授

沈钧毅

西安交通大学教授

邵志清

华东理工大学教授

陈纯

浙江大学教授

陈钟

北京大学教授

陈道蓄

南京大学教授

周伯生

北京航空航天大学教授

孟祥旭

山东大学教授

姚淑珍

北京航空航天大学教授

徐佩霞

中国科学技术大学教授

徐晓飞

哈尔滨工业大学教授

秦小麟

南京航空航天大学教授

钱培德

苏州大学教授

曹元大

北京理工大学教授

龚声蓉

苏州大学教授

谢希仁

中国人民解放军理工大学教授

# 出版说明

近年来，我国的高等教育特别是计算机学科教育，进行了一系列大的调整和改革，急需一批门类齐全、具有国际先进水平的计算机经典教材，以适应当前我国计算机科学的教學需要。通过使用国外先进的经典教材，可以了解并吸收国际先进的教学思想和教学方法，使我国的计算机科学教育能够跟上国际计算机教育发展的步伐，从而培育出更多具有国际水准的计算机专业人才，增强我国计算机产业的核心竞争力。为此，我们从国外知名的出版集团 Pearson 引进这套“国外经典教材·计算机科学与技术”教材。

作为全球最大的图书出版机构，Pearson 在高等教育领域有着不凡的表现，其下属的 Prentice Hall 和 Addison Wesley 出版社是全球计算机高等教育的龙头出版机构。清华大学出版社与 Pearson 出版集团长期保持着紧密友好的合作关系，这次引进的“国外经典教材·计算机科学与技术”教材大部分出自 Prentice Hall 和 Addison Wesley 两家出版社。为了组织该套教材的出版，我们在国内聘请了一批知名的专家和教授，成立了一个专门的教材编审委员会。

教材编审委员会的运作从教材的选题阶段即开始启动，各位委员根据国内外高等院校计算机科学及相关专业的现有课程体系，并结合各个专业的培养方向，从 Pearson 出版的计算机系列教材中精心挑选针对性强的题材，以保证该套教材的优秀性和领先性，避免出现“低质重复引进”或“高质消化不良”的现象。

为了保证出版质量，我们为这套教材配备了一批经验丰富的编辑、排版、校对人员，制定了更加严格的出版流程。本套教材的译者，全部来自于对应专业的高校教师和拥有相关经验的 IT 专家。每本教材的责编在翻译伊始，就定期不间断地与该书的译者进行交流与反馈。为了尽可能地保留与发扬教材原著的精华，在经过翻译、排版和传统的三审三校之后，我们还请编审委员或相关的专家教授对文稿进行审读，以最大程度地弥补和修正在前面一系列加工过程中对教材造成的误差和瑕疵。

由于时间紧迫和受全体制作人员自身能力所限，该套教材在出版过程中很可能还存在一些遗憾，欢迎广大师生来电来信批评指正。同时，也欢迎读者朋友积极向我们推荐各类优秀的国外计算机教材，共同为我国高等院校计算机教育事业贡献力量。

清华大学出版社

# 序 言

本书讲述的是 Linux 内核的网络子系统架构。创作本书的想法源自德国 Karlsruhe 大学信息通信学院。在该校，Linux 内核被运用于许多项目的研究，且其网络功能分别得到了有针对性的改进和提高。例如，针对下一代 Internet 开发出了新的服务和协议，并对它们的行为也进行了研究。此外，对于现有的协议（如 TCP 传输协议）也进行了修改，以改善其行为和适应 Internet 的新情况。

在这些项目的研究过程中我们发现，Linux 内核非常适合于新的网络功能性的研究，因为它对于 TCP/IP 协议族具有一个稳定和广泛的实现。Linux 源代码的免费可得性使得我们可以方便地对协议实例的功能进行修改和提升。此外，内核模块原理对内核功能性的提升提供了很好的支持。然而，这一领域的许多研究和论文表明，对某一协议实例行为进行修改的前提是必须熟悉 Linux 网络架构，而这需要耗费大量的时间和精力。不幸的是，造成这一情况的主要原因在于 Linux 内核网络子系统的注解非常糟糕，且没有用于解释和总结基本概念的材料。

尽管已经有一些书籍介绍 Linux 内核的架构和基本概念，但是尚没有一本完整地论述其网络实现的书。导致这种状况可能是由于以下两个原因：

- Linux 内核的网络子系统非常复杂。如前所述，它实现了大量的协议，这也很可能是 Linux 获得巨大成功的一个主要原因。[BoCe00]和[BBDK+01]均提到，对于这些协议及其概念的叙述实际上就足以写一整本书。当然，读者现在正在读的就是这样的一本书，正如读者所能看到的那样，这本书的容量相当大，尽管除了解释 Linux 网络架构的基本概念之外，它仅仅叙述了部分网络功能性。
- 操作系统的开发人员通常只会涉及到系统架构的经典主题，如内存、进程、设备的管理或系统并行活动的同步，而不涉及网络数据包的处理。随着对本书学习的深入，读者肯定会注意到，这本书不是由系统开发人员而是由计算机科学专家和通信工程师撰写的。

考虑到关于 Linux 网络架构的文档很少且学生必须熟练掌握该知识的这一事实，我们就有了自己创建一份简单的 Linux 网络架构文档的想法。另一个愿望——这最终促使本书的思想更为广泛——是对重要的通信问题的强化讨论：在现实系统中设计和实现网络协议。网络课程授予学生电信领域中最重要概念和标准，但是通过应用计算机科学概念来设计和实现网络功能性（主要是网络协议的）在教学工作中受到的关注却比较少，尽管这方面的知识在研究和论文中是要经常被用到的。作者认为对 Linux 网络架构的实现以及对其结构、接口和所应用概念的论述是对网络课程中的信息学部分的进一步巩固。

作者希望此书能够帮助读者更容易理解 Linux 网络架构的进程和结构，而且最重要的

是，使读者对此有兴趣，并了解一些有关网络概念及其实际应用的东西。

本书的内容与我们对 Linux 网络架构的了解相吻合。我们对 Linux 网络架构的了解既不全面也不彻底。但是，我们已经尽可能地以一种详尽易懂的风格来描述 Linux 网络架构的进程和结构。感谢为本书的改进、观点和注释提供忠告和建议的人们，在以后的版本中我们将会尽量考虑到这些忠告和建议。关于 Linux 网络架构的最新信息和本书的相关信息均可参见网址 <http://www.Linux-netzwerkarchitektur.de>。

## 本书的组织结构

第 1 章主要集中叙述了 Linux 发展的一般推动因素，并且特别介绍了 Linux 网络架构发展的推动因素；第 2 章对 Linux 内核的基本机理和组件进行了介绍。为了精简本书内容，我们将仅仅讨论那些对于理解 Linux 网络架构比较重要的组件。至于 Linux 内核的其他组件，建议读者参考其他书目（比如[BBDK+01]）。

第 3 章初步介绍了通信系统的总体架构和协议以及协议实例的功能性，包括对流行的 TCP/IP 和 ISO/OSI 分层模型的介绍。

第 4 章和第 5 章讨论了 Linux 网络架构的基本概念，包括 Linux 内核中网络数据包的表示、管理（请参见第 4 章）和网络设备的概念（请参见第 5 章）。网络设备形成了高层协议实例之间的链路，并隐藏了某一统一接口后面相应网络适配器的特殊性。

第 6 章总体介绍了 Linux 网络架构中的活动形式以及传输和接收进程流。此外，本章还介绍了高层协议实例的接口。

第 7 章到第 12 章讨论了数据链路层的协议和机制。更明确地说，这些章节叙述了 SLIP、PPP、以太网上 PPP 协议以及 Linux 是如何支持 ATM 和 Bluetooth 网络技术的。最后，还描述了如何利用 Linux 计算机使之成为一部透明网桥。

第 13 章首先概述了 TCP/IP 协议族并以此展开了对 TCP/IP 协议的讨论。先从 Internet 简史开始谈起，然后对 TCP/IP 协议族中的不同协议进行了一个概述。第 14 章详细介绍 Internet 协议（Internet Protocol）及其机制。此外，本章还介绍了 IP 选项和 ICMP 协议。第 15 章到第 23 章介绍了网络层的以下协议和机制：ARP、路由、多播、流量控制、防火墙、连接跟踪、NAT、KIDS 和 IPv6。

第 24 章和第 25 章分别论述了 TCP 和 UDP 传输协议。在第 26 章，以对套接字接口的解释结束对内核的讨论，然后简要概述了应用层上的网络功能编程。

附录给出了一些补充信息并介绍了一些工具，以便于读者学习和应用 Linux 网络架构。所涉及的问题包括 LXR 源代码浏览器、Linux 内核中的调试工作和可以用于 Linux 网络架构处理及监控的工具。

## 其他信息源

这部分列出了一些有用的信息源，从中读者可以找到关于 Linux 网络架构的其他信息。

## 杂志

- *Linux Magazine* (<http://www.Linux-mag.com>) 可能是最有名的 Linux 杂志了。其中的文章囊括读者学习应用 Linux 时感兴趣的的所有的问题。最有趣的是 Kernel Corner 专栏, 该专栏定期刊出有关 Linux 内核组件的架构和实现的文章——大多数是由开发人员自己撰文的。
- *Linux Focus* (<http://www.linuxfocus.org>) 是一份在线的多语种杂志。它同样也有 Kernel Corner 专栏。
- *Linux Gazette* (<http://www.linuxgazette.com>) 是另一份专注于 Linux 的在线杂志。

## 环球网上的有用链接

- Linux Headquarters <http://www.linuxhq.com>
- Linux Documentation Project <http://www.linuxdoc.org>
- Linux Weekly News <http://www.lwn.net>

## 其他信息

- “基本知识” (Howto) 包含了许多关于不同 Linux 问题的信息。大多数涉及各种 Linux 功能性的配置和安装信息。尤其是对于 Linux 内核而言, 同样具有一些“基本知识”文档——例如在内核中如何使用锁[Russ00b]、关于 Linux 内核监视的一般信息[Russ00c]。当然, 我们不应该忘记提到网络“基本知识”, 它包括很多关于在 Linux 中配置网络功能性的技巧和信息[Drak00]。
- 当前 Linux 内核的源代码可以在 <ftp.kernel.org> 站点上找到。该 FTP 服务器同样也有一些镜像, 其列表可以在网址 <http://www.kernel.org/mirrors/> 找到。
- 有关 Linux 内核的组件和驱动程序的信息直接包含在内核版本的源代码中, 在 Documentation 子目录当中。此外, 在文件 Documentation/kernel-docs.txt 中包含了有关于 Linux 内核的当前信息列表——比如文件、链接和书籍 (这个值得一看! )。

## 致谢

本书的出版, 许多人做出了不可或缺的贡献。首先我们要感谢所有在其学术文章和论文中对 Linux 网络架构进行了研究的同学。他们在信息通信学院收集了大量关于 Linux 网络架构的知识材料, 他们是:

Nasieh Abdel-Haq、Paul Burczek、Michael Conrad、Frank Dinies、Paul Hanks Drielsma、Jérôme Freiling、Carolin Gärtner、Stefan Götz、Karsten Hahn、Artur Hecker、Tobias Hinkel、Michael Hofele、Verena Kahmann、Vera Kießling、Stefan Klett、Andreas Kramm、Jan Kratt、Eckehardt Luhm、David Metzler、Ulrich Mohr、Rainer Müller、Sven Oberländer、Vincent Oberle、Jan Oetting、Torsten Pastoors、Christian Pick、Christian Schneider、Steffen Schober、Marcus Schöller、Achim Settelmeier、Uwe Walter 和 Jürgen Walzenbach。



作者们主要是为他们的学生们写就此书的。

还要感谢 Gerhard Krüger 教授，他一直在支持我们的活动，给了我们撰写此书必要的自主性，并给我们提出了宝贵的建议。他的支持使得我们能够拥有一个 Linux 测试网络，这是我们在信息通信学院进行关于下一代 Internet 服务的研究活动的基础。

要特别感谢出版社的朋友们，他们出版了本书最初的德语版本和英语版本。尤其要感谢我们的编辑 Sylvia Hasselbach 和 Toni Holm，他们可敬的耐心帮助并引导我们完成了此书的撰写。在此我们也同样感谢为我们完成英语翻译工作的 Angelika Shafir。我们也感谢所有审阅手稿的人们，特别是 Mark Doll、Sebastian Döweling、Thomas Geulig、Thorsten Sandfuchs、Marcus Schöller、Bernhard Thurm、Uwe Walter、Anja Wehrle、Kilian Weniger 和 Friederike Daenecke。

最后，深深地感谢我们的家人和朋友给予我们的支持、鼓励和耐心。

参与本书翻译和审校的还有王海涛，高峰、张国华、高磊、刘刚、王伟、李强、王冰、许小虎、张蕾、杨晶、张亮、孙杰、李光、黄宏、张明、王超、李旭、刘捷、杨玲、高超、高洁、张冬、张磊、李芳、张伟、李华、杨洁、王峰、张立、黄洁、苏丽、田宁、王丹、白宇、李兵、陈波等。在此表示感谢。

# 目 录

## 第一篇 Linux 内核

第 1 章 推动因素	2
1.1 Linux 操作系统	3
1.2 什么是 Linux	4
1.3 使用 Linux 的理由	4
第 2 章 内核结构	7
2.1 整体式体系结构和微内核	8
2.2 Linux 内核中的活动	9
2.2.1 进程和系统调用	10
2.2.2 硬件中断	11
2.2.3 软件中断	12
2.2.4 任务蓄	12
2.2.5 下半区	13
2.3 加锁——原子运算	14
2.3.1 位运算	15
2.3.2 环形锁	16
2.3.3 读写环形锁	17
2.3.4 信号量	18
2.4 内核模块	18
2.4.1 内核模块的管理	19
2.4.2 模块功能的注册和注销	21
2.4.3 在加载模块时传递参数	21
2.4.4 内核符号表和模块	22
2.5 设备驱动程序	23
2.6 内核中的存储管理	26
2.6.1 精选的存储管理函数	26
2.6.2 缓存	27
2.7 Linux 内核中的定时	28
2.7.1 标准定时器	29

2.7.2 使用 APIC 作为高解析频率定时器	30
2.8 proc 文件系统	33
2.9 版本化	36

## 第二篇 网络实现的体系结构

第 3 章 通信系统的体系结构	38
3.1 基于层的通信模型	38
3.1.1 ISO/OSI 参考模型	39
3.1.2 TCP/IP 参考模型	40
3.2 服务和协议	41
第 4 章 管理内核中的网络报文	44
4.1 套接字缓存	44
4.1.1 套接字缓存上的操作	48
4.1.2 其他函数	53
4.2 套接字缓存队列	53
第 5 章 网络设备	57
5.1 net_device 接口	58
5.2 管理网络设备	66
5.2.1 网络设备的注册与注销	67
5.2.2 网络设备的开启与关闭	69
5.2.3 创建和寻找网络设备	70
5.2.4 为状态改变而设计的通知链	72
5.2.5 在网络设备上进行传输	73
5.3 网络设备	73
5.3.1 初始化网络适配器	74
5.3.2 打开和关闭网络适配器	79
5.3.3 传输数据	81
5.3.4 包传输过程中的问题	87
5.3.5 运行时配置	88
5.3.6 适配器相关的 ioctl() 命令	89
5.3.7 网络设备的统计信息	90
5.3.8 适配器层次的多播支持	91

## 第三篇 第 I + II 层——介质访问和逻辑链路层

第 6 章 数据链路层简介	94
---------------	----

---

6.1	数据链路层的结构	94
6.2	数据链路层上的进程	96
6.2.1	数据包的接收	98
6.2.2	数据包的传输	100
6.3	第3层协议的管理	103
<b>第7章</b>	<b>串行线路 Internet 协议 (SLIP)</b>	<b>107</b>
7.1	简介	107
7.2	Linux 内核中的 SLIP 实现	109
7.2.1	TTY 设备和线路规范	109
7.2.2	一般过程	111
7.2.3	函数和数据结构	112
7.2.4	驱动器的初始化及连接的建立	115
7.2.5	网络设备的激活及撤销	116
7.2.6	拆除连接及取消驱动器的初始化	116
7.2.7	IP 数据包的传输	116
7.2.8	IP 数据包的接收	117
<b>第8章</b>	<b>点对点协议 (PPP)</b>	<b>118</b>
8.1	简介	118
8.1.1	子协议	118
8.1.2	Linux 实现的组成部分	119
8.2	Linux 中的 PPP 配置	120
8.2.1	内核选项	120
8.2.2	pppd—PPP 守护程序	121
8.2.3	Dial on Demand	122
8.2.4	自动回叫	122
8.3	Linux 内核中的 PPP 实现	122
8.3.1	通用 PPP 驱动程序的功能和数据结构	122
8.3.2	异步 PPP 驱动程序的函数和数据结构	125
8.3.3	初始化	127
8.3.4	发送 IP 包	127
8.3.5	检测帧边界	127
8.3.6	接收 IP 包	128
8.4	实现 PPP 守护程序	129
8.4.1	管理子协议	129
8.4.2	状态	130
<b>第9章</b>	<b>以太网上的 PPP 技术</b>	<b>132</b>

9.1	简介	132
9.2	RFC 2516 中的 PPPOE 规范	132
9.3	用户空间中的实现	133
9.4	Linux 内核中的实现	134
9.4.1	内核的变化	134
9.4.2	ppp 守护程序的任务	136
9.4.3	配置	137
<b>第 10 章</b>	<b>异步传输模式——ATM</b>	<b>138</b>
10.1	简介	138
10.2	在 linux 中实现 ATM	138
10.2.1	永久性虚拟通道	139
10.2.2	有信号虚拟通道	142
10.2.3	ATM 设备驱动程序	144
10.2.4	进一步的 ATM 支持	145
10.3	配置	146
<b>第 11 章</b>	<b>Linux 中的蓝牙</b>	<b>147</b>
11.1	主机控制器接口(HCI)	148
11.1.1	指令封包	149
11.1.2	事件封包	149
11.1.3	数据封包	150
11.1.4	访问主机控制器接口	151
11.2	L2CAP	151
11.2.1	连接建立阶段	152
11.2.2	配置阶段	153
11.2.3	数据传输阶段	153
11.3	其他协议	154
<b>第 12 章</b>	<b>透明桥</b>	<b>155</b>
12.1	介绍	155
12.2	基本概念	155
12.2.1	透明桥的属性	156
12.2.2	转发函数	157
12.2.3	学习功能	158
12.2.4	生成树协议	158
12.3	在 Linux 下配置桥	163
12.3.1	配置内核和网络适配器	163
12.3.2	用 brctl 工具配置 Linux 桥	163

12.3.3	检查桥功能	164
12.3.4	配置实例	164
12.4	实现	166
12.4.1	桥实现的体系结构	166
12.4.2	生成和连接重要的数据结构	167
12.4.3	包在内核中的路径	168
12.4.4	学习新 MAC 地址	170
12.4.5	实现生成树协议	171
<b>第四篇 网络层</b>		
<b>第 13 章</b>	<b>推动因素</b>	<b>182</b>
	Internet 协议族	182
<b>第 14 章</b>	<b>IPv4</b>	<b>185</b>
14.1	IP 的属性	185
14.1.1	在路由器之间路由 IP 包	185
14.1.2	IP 包头	186
14.1.3	IP 数据包的生存期	188
14.1.4	Internet 上的寻址	188
14.1.5	IP 地址和 IP 地址分类	188
14.2	IP 的实现	190
14.2.1	传入 IP 包的路径	192
14.2.2	传输层的包	195
14.2.3	包的分片	196
14.2.4	IP 实体的数据	200
14.2.5	一些 IP 辅助函数	203
14.3	IP 的选项	204
14.3.1	标准 IP 包选项	205
14.3.2	配置	208
14.3.3	Linux 内核中的 ip_options 类	210
14.3.4	IP 层中的 IP 选项	212
14.4	Internet 控制消息协议 (ICMP)	214
14.4.1	ICMP 的功能原理	214
14.4.2	ICMP 的配置	219
14.4.3	Linux 内核中的 ICMP	219
<b>第 15 章</b>	<b>地址解析协议 (ARP)</b>	<b>223</b>
15.1	运用地址解析协议	223

---

15.1.1	ARP 协议数据单元的结构	224
15.1.2	接收一个 ARP 报文并应答	225
15.2	ARP 命令	226
15.3	实现 Linux 内核中的 ARP 实例	227
15.3.1	管理 ARP 缓存中可达的计算机	227
15.3.2	地址解析协议 (ARP) 的运作方式	232
<b>第 16 章</b>	<b>IP 路由</b>	<b>240</b>
16.1	序言	240
16.1.1	网络和路由器	240
16.1.2	转发和路由	241
16.1.3	IP 地址	242
16.1.4	转发步骤	244
16.1.5	路由缓存	245
16.1.6	基于规则的路由	246
16.2	配置	247
16.2.1	内核的配置	247
16.2.2	proc 文件系统中的文件	249
16.2.3	系统层级的配置	250
16.3	实现	254
16.3.1	路由规则	254
16.3.2	路由表	258
16.3.3	路由缓存	264
16.3.4	转发进程	268
<b>第 17 章</b>	<b>用于组通信的 IP 多播</b>	<b>272</b>
17.1	组通信	272
17.1.1	单播	272
17.1.2	广播	273
17.1.3	多播	273
17.2	IP 多播	274
17.2.1	用作多播组的地址	275
17.2.2	Linux 中的 IP 多播配置	276
17.2.3	多播编程	277
17.3	Internet 组管理协议 (IGMP)	279
17.3.1	IGMP 包的格式与传送	280
17.3.2	不同的版本	280
17.3.3	IGMP 协议的运作	281
17.3.4	IGMP 的实现	283

17.4	Linux 内核中的多播数据路径	285
17.4.1	MAC 层上的多播支持	285
17.4.2	IP 中的多播数据路径	287
17.5	当今 Internet 上的多播	293
17.5.1	多播骨干网 (MBone)	294
17.5.2	通过 mrouted 守护进程访问 MBone	294
17.5.3	DVMRP 路由算法	300
17.6	多播传输协议	302
<b>第 18 章</b>	<b>用流量控制支持服务质量 (QoS)</b>	<b>303</b>
18.1	引言	303
18.2	Linux 中的流量控制的基本结构	303
18.3	外发方向上的流量控制	304
18.4	内核结构和接口	306
18.4.1	句柄	306
18.4.2	排队规则	306
18.4.3	类	309
18.4.4	过滤器	311
18.5	入口限制	313
18.6	实现一个排队规则	313
18.7	配置	316
18.7.1	RT 网络连接接口	316
18.7.2	用户接口	316
<b>第 19 章</b>	<b>包筛选器与防火墙</b>	<b>317</b>
19.1	介绍	317
19.1.1	防火墙的工作原理	317
19.1.2	协议相关特性: TCP、FTP 以及其他协议	318
19.1.3	筛选器实现的质量标准	319
19.1.4	防火墙工作原理的局限性	319
19.2	2.2 版本 Linux 的 ipchains 体系结构	320
19.2.1	ipchains 规则语法	321
19.2.2	ipchains 体系结构的缺陷	322
19.3	2.4 版本 Linux 的 Netfilter 体系结构	323
19.3.1	Linux 内核中的 Netfilter 钩子	323
19.3.2	注册和注销包筛选函数	325
19.3.3	iptables 与 ipchains 的比较	327
19.3.4	iptables 命令行工具	327
19.3.5	netfilter 标准模块	328



<b>第 20 章 连接跟踪</b> .....	331
20.1 简介.....	331
20.2 实现.....	331
20.2.1 基本结构.....	331
20.2.2 连接记录.....	332
20.2.3 传输协议.....	334
20.2.4 Helper 模块.....	334
20.2.5 全局变量.....	334
20.2.6 函数.....	335
<b>第 21 章 网络地址转换 (NAT)</b> .....	340
21.1 简介.....	340
21.1.1 重要术语.....	340
21.1.2 透明地址分配.....	340
21.1.3 透明路由.....	341
21.1.4 正确处理 ICMP 包.....	341
21.1.5 NAT 与 2.2 版本 Linux 中的地址伪装有何不同.....	341
21.1.6 NAT 的变化形式.....	342
21.1.7 相关问题.....	343
21.2 在 Linux 中配置 NAT.....	343
21.3 实现 NAT 模块.....	345
21.3.1 重要的数据结构.....	345
21.3.2 初始化 NAT 模块和卸载 NAT 模块.....	348
21.3.3 NAT 模块如何处理经过的 IP 包.....	348
21.3.4 初始化地址绑定过程.....	349
21.3.5 实际的地址转换.....	350
21.4 NAT 模块的扩展接口.....	351
21.4.1 传输协议.....	351
21.4.2 Helper 模块.....	352
<b>第 22 章 扩展 Linux 网络体系结构功能——KIDS</b> .....	354
22.1 管理动态可扩展的各项功能.....	354
22.2 KIDS 构造系统的结构.....	355
22.2.1 基本 QoS 组件.....	355
22.2.2 钩子.....	357
22.3 用 KIDS 实例扩展 Linux 网络体系结构.....	358
22.3.1 组件及其实例.....	358
22.3.2 注册和管理组件.....	362