

UNIX环境高级编程

[美] W. 理查德·史蒂文斯 斯蒂芬 A. 拉格 著
W. Richard Stevens Stephen A. Rago

(英文版·第3版)

Advanced Programming in the UNIX[®] Environment

Third Edition

W. Richard Stevens
Stephen A. Rago

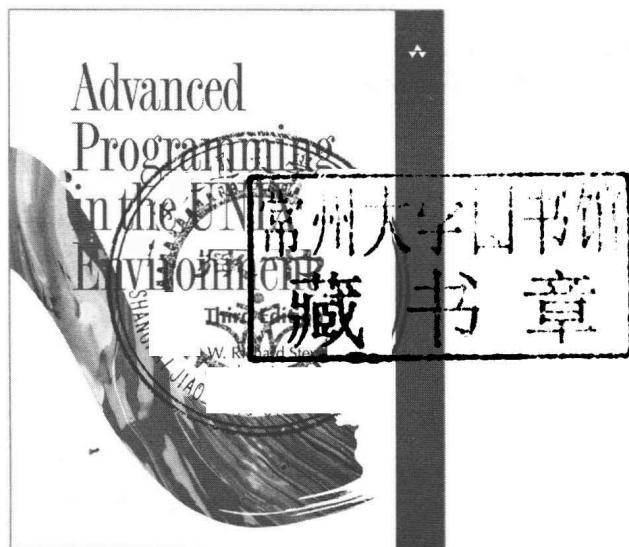
*Advanced Programming in
the UNIX Environment, (Third Edition)*

经 典 原 版 书 库

UNIX环境高级编程

(英文版·第3版)

*Advanced Programming in
the UNIX Environment* (Third Edition)



[美] W. 理查德·史蒂文斯 斯蒂芬 A. 拉格 著
W. Richard Stevens Stephen A. Rago

 机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

UNIX 环境高级编程 (英文版·第 3 版) / (美) 史蒂文斯 (Stevens, W. R.), (美) 拉格 (Rago, S. A.) 著. —北京: 机械工业出版社, 2015.12

(经典原版书库)

书名原文: Advanced Programming in the UNIX Environment, Third Edition

ISBN 978-7-111-52387-1

I. U… II. ① 史… ② 拉… III. UNIX 操作系统 - 程序设计 - 英文 IV. TP316.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 293871 号

本书版权登记号: 图字: 01-2015-5198

Authorized Adaptation from the English Language edition, entitled *Advanced Programming in the UNIX Environment, Third Edition* (ISBN 978-0-321-63773-4) by W. Richard Stevens and Stephen A. Rago, Copyright © 2013 by 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.

English language adaptation edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press Copyright © 2016.

English language adaptation edition is manufactured in the People's Republic of China and is authorized for sale only in People's Republic of China excluding Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR.

本书英文影印版由 Pearson Education Asia Ltd. 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

仅限于中华人民共和国境内 (不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区) 销售发行。

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

出版发行: 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

责任校对: 殷虹

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm × 240mm 1/16

印张: 61.25

书号: ISBN 978-7-111-52387-1

定价: 159.00 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

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson, McGraw-Hill, Elsevier, MIT, John Wiley & Sons, Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum, Bjarne Stroustrup, Brian W. Kernighan, Dennis Ritchie, Jim Gray, Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, Abraham Silberschatz, William Stallings, Donald E. Knuth, John L. Hennessy, Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

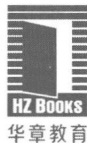
华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hzsj@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



华章科技图书出版中心

第 2 版序

我差不多每次在接受专访当中，或是做技术讲座后的提问时间里，总会被问及这样一个问题：“你想到过 UNIX 会生存这么长时间吗？”自然，每次的回答都是：没有，我们没想到会是这样。

从某种角度说，UNIX 系统已经伴随了商用计算行业历史的大半，而这也早就不是什么新闻了。发展的历程错综复杂，充满变数。自 20 世纪 70 年代初以来，计算机技术经历了沧海桑田般的变化，尤其体现在网络技术的普遍应用、图形化的无所不在和个人计算的触手可及上，然而 UNIX 系统却奇迹般地容纳和适应了所有这些变化。虽然商业应用环境在桌面领域目前仍然被微软和英特尔所统治，但是在某些方面已经从单一供应商向多种来源转变，近年来对公共标准和免费开放资源的信赖已经与日俱增。

UNIX 作为一种现象而不单是商标品牌，有幸能与时俱进，乃至领导潮流。在 20 世纪 70 ~ 80 年代，AT&T 虽对 UNIX 的实际源代码进行了版权保护，但却鼓励在系统的接口和语言基础上进行标准化的工作。例如，AT&T 发布了 SVID (System V Interface Definition, 系统 V 接口定义)，这成为 POSIX 及其后续工作的基础。后来，UNIX 可以说相当优雅地适应了网络环境，虽不那么轻巧却也充分地适应了图形环境。再往后，开源运动的技术基础中集成了 UNIX 的基本内核接口和许多它独特的用户级工具。

即使在 UNIX 软件系统本身还是专有的时候，鼓励出版 UNIX 系统方面的论文和书籍也是至关重要的，著名的例子就是 Maurice Bach 的《UNIX 操作系统设计》一书。其实我要说明的是，UNIX 长寿的主要原因是，它吸引了极具天分的技术作者来为大众解读它的优美和神秘。Brian Kernighan 是其中之一，Rich Stevens 自然也是。本书第 1 版连同 Stevens 所著的系列网络技术书籍，被公认为优秀的、匠心独具的名著，成为极其畅销的作品。

然而，本书第 1 版毕竟出版时间太早了，那时还没有出现 Linux，源自伯克利 CSRG 的 UNIX 接口的开源版本还没有广为流行，很多人的网络还在用串行调制解调器。Steve Rago 认真仔细地更新了本书，以反映所有这些技术进展，同时还考虑到各种 ISO 标准和 IEEE 标准这些年来的变化。因此，他的例子是最新的，也是最新测试过的。

总之，这是一本弥足珍贵的经典著作的更新版。

Dennis Ritchie

2005 年 3 月于新泽西州美利山市

前言

引言

从我第一次修订《UNIX 环境高级编程》一书以来已经快有 8 年了，期间发生了很多的变化。

- 在出版第 2 版之前，Open Group 完成了 2004 版的 Single UNIX Specification，它涵盖了两套勘误表的修改。2008 年，Open Group 完成了新版的 Single UNIX Specification，它更新了基本定义，添加了新的接口，并且去除了弃用的接口。这套规范被称为 2008 年版的 POSIX.1，其中包含第 7 版的基本规范，并在 2009 年发行。2010 年，它与更新后的 curses 接口捆绑，一起作为 Single UNIX Specification 第 4 版（SUSv4）进行再版。
- 运行在 Intel 处理器上的 Mac OS X 操作系统的 10.5、10.6 和 10.8 版，被 Open Group 认证为 UNIX 系统。
- 苹果公司停止了 PowerPC 平台上 Mac OS X 的开发。在 10.6 发行版（Snow Leopard）之后只针对 x86 平台发布了新的操作系统版本。
- Solaris 操作系统以开源的形式发布，试图与 FreeBSD、Linux 和 Mac OS X 遵循的开源模式在声望上一争高下。在 2010 年，Oracle 收购了 Sun Microsystems 之后，OpenSolaris 的开发被终止。作为替代，Solaris 社区组建了 Illumos 项目来继续基于 OpenSolaris 的开源开发。更多详细的信息，可以从 <http://www.illumos.org> 获得。
- 2011 年，C 语言标准被更新，但是因为系统并未能跟上其变化，本书中依然参照 1999 版。最重要的是，在第 2 版中使用的平台已经过时了。本书这一版中涉及以下平台：

1) FreeBSD 8.0，前身是加州大学伯克利分校计算机系统研究组发布的 4.4BSD 系统，运行在 32 位 Intel Pentium 处理器上。

2) Linux 3.2.0（Ubuntu 12.04 发布版），这是一个免费的类 UNIX 操作系统，运行在 64 位的 Intel Core i5 处理器上。

3) Apple Mac OS X 10.6.8 版（Darwin 10.8.0），运行在 64 位 Intel Core2 Duo 处理器上（Darwin 基于 FreeBSD 和 Mach）。我选择从 PowerPC 平台转向 Intel 平台，是因为最新版的 Mac OS X 不再支持 PowerPC 平台。这次选择带来的缺点是涉及的处理器倾斜向了 Intel，而当讨论到异构性问题时，涉及的处理器如果能在字节序和整数大小等方面有不同的性质将是很有好处的。

4) Solaris 10，Sun Microsystems（现在的 Oracle）的 System V Release 4 的派生系统，运行在 64 位 UltraSPARC III 处理器上。

与第 2 版的不同

最大的变化之一是 POSIX.1-2008 中的 Single UNIX Specification 弃用了一些 STREAMS 相关接口。这是准备在该标准的未来版本中去掉全部这些接口的第一步。因此，我已经不情愿地

在这一版中删除了 STREAMS 的内容。这是一个不幸的变化，因为 STREAMS 接口为 socket 接口提供了一个很好的对照，并且在很多方面更为灵活。不可否认，当谈论到 STREAMS 时我并非绝对公正，但是毫无疑问的是，在现有系统中它的分量已经减轻。

- Linux 基础系统中未包含 STREAMS，虽然添加该功能的包（LiS 和 OpenSS7）是可用的。
- 虽然 Solaris 10 中包含了 STREAMS，但是 Solaris 11 的 socket 实现并没有构建在 STREAMS 之上。
- Mac OS X 不包含 STREAMS 支持。
- FreeBSD 不包含 STREAMS 支持（也从未包含过）。

随着 STREAMS 相关内容的去除，新的主题有机会替代它，例如 POSIX 异步 I/O。

在本书第 2 版中，Linux 版本是基于 2.4 版的。在这次的版本中，我们已经更新到了 3.2 版。两个版本的最大不同之一是线程系统。在 Linux 2.4 和 Linux 2.6 之间，线程的实现变为 Native POSIX Thread Library (NPTL)。NPTL 使得 Linux 线程的行为与其他系统的线程更加相似。

总的来说，这次的版本涵盖了超过 70 个新的接口，包括处理异步 I/O、自旋锁、屏障和 POSIX 信号量等接口。除了一些普遍使用的接口被保留，大多数弃用的接口均被删除。

致谢

许多读者为第 2 版发来了评论和错误报告，感谢他们提高了第 2 版的准确性。下面提及的各位是最早提出建议或者指出错误的：Seth Arnold、Luke Bakken、Rick Ballard、Johannes Bittner、David Bronder、Vlad Buslov、Peter Butler、Yuching Chen、Mike Cheng、Jim Collins、Bob Cousins、Will Dennis、Thomas Dickey、Loïc Domainé、Igor Fuxsman、Alex Gezerlis、M. Scott Gordon、Timothy Goya、Tony Graham、Michael Hobgood、Michael Kerrisk、Youngho Kwon、Richard Li、Xueke Liu、Yun Long、Dan McGregor、Dylan McNamee、Greg Miller、Simon Morgan、Harry Newton、Jim Oldfield、Scott Parish、Zvezdan Petkovic、David Reiss、Konstantinos Sakoutis、David Smoot、David Somers、Andriy Tkachuk、Nathan Weeks、Florian Weimer、Qingyang Xu 和 Michael Zalokar。

技术审校者也提高了内容的准确性，感谢 Steve Albert、Bogdan Barbu 和 Robert Day。特别感谢 Geoff Clare 和 Andrew Josey 为 Single UNIX Specification 的升华和第 2 章的准确性提供了帮助。另外，感谢 Ken Thompson 对历史问题做出了解答。

我得再一次说，与 Addison-Wesley 的工作人员的合作非常愉快。感谢 Kim Boedigheimer、Romny French、John Fuller、Jessica Goldstein、Julie Nahil 和 Debra Williams-Cauley，此外，感谢 Jill Hobbs 的专业审稿能力。

最后，感谢我的家人对我在这次再版上花费了如此多时间给予的理解。

和以前一样，书中实例的源码可以从 www.apuebook.com 获得，非常欢迎读者发来邮件，发表评论，提出建议，订正错误。

Stephen A. Rago

sar@apuebook.com

2013 年 1 月于新泽西州沃伦市

第 2 版前言

引言

我与 Rich Stevens 最早是通过电子邮件开始交往的，当时我发邮件报告他的第一本书《UNIX 网络编程》的一个排版错误。他回信开玩笑说我是第一个给他发这本书勘误的人。到他 1999 年故去之前，我们时不时地会通邮件，一般都是在有了问题认为对方能解答的时候。我们在 USENIX 会议期间多次相见，并共进晚餐；Rich 在会议中给大家做技术培训。

Rich Stevens 真是个好益友，行为举止很有绅士风度。我在 1993 年写《UNIX 系统 V 网络编程》时，试图把书写成他的《UNIX 网络编程》的系统 V 版。Rich 高兴地为我审阅了好几章，并不把我当成竞争对手，而是当作一起写书的同事。我们曾多次谈到要合作给他的《TCP/IP 详解》写个 STREAMS 版。天若有情，我们或许已经完成了这个心愿。然而，Rich 已经驾鹤西去，修订《UNIX 环境高级编程》就成为我跟他一起写书的最易实现的方式。

当 Addison-Wesley 公司的编辑找到我说想修订 Rich 的这本书时，我的第一反应是这本书没有多少要改的。尽管 13 年过去了，Rich 的书还是巍然屹立。但是，与当初本书出版的时候相比，今日的 UNIX 行业已经有了巨大的变化。

- 系统 V 的各个变种渐渐被 Linux 所取代。原来生产硬件配以各自的 UNIX 版本的几个主要厂商，要么提供了 Linux 的移植版本，要么宣布支持 Linux。Solaris 可能算是硕果仅存的占有一定市场份额的 UNIX 系统 V 版本 4 的后裔了。
- 加州大学伯克利分校的 CSRG（计算机科学研究组）在发布了 4.4BSD 之后，已经决定不再开发 UNIX 操作系统，只有几个志愿者小组还维护着一些可公开获得的版本。
- Linux 受到数以千计的志愿者的支持，它的引入使任何一个拥有计算机的人都能运行类似于 UNIX 系统的操作系统，并且可以免费获得支持最新硬件设备的源代码。在已经存在几种免费 BSD 版本的情况下，Linux 的成功确实是个奇迹。
- 苹果公司作为一个富有创新精神的公司，已经放弃了老的 Mac 操作系统，换之以一个在 Mach 和 FreeBSD 基础上开发的新系统。

因此，我已经努力更新本书中的内容，以反映这四种平台。

在 Rich 1992 年出版《UNIX 环境高级编程》之后，我扔掉了手头几乎所有的 UNIX 程序员手册。这些年来，我桌上最常摆放的就是两本书，一本是字典，另一本就是《UNIX 环境高级编程》。我希望读者也能认为本修订版一样有用。

对第 1 版的改动

Rich 的书依然屹立，我试图不去改动他这本书原来的风格。但是 13 年间世事兴衰，尤其是影响 UNIX 编程接口的有关标准变化很大。

我依据标准化组织的标准，更新了全书相关的接口方面的内容。第2章改动较大，因为它主要是讨论标准的。本书第1版是根据 POSIX.1 标准的 1990 年版写的，本修订版依据 2001 年版的新标准，内容要丰富很多。1990 年 ISO 的 C 标准在 1999 年也更新了，有些改动影响到 POSIX.1 标准中的接口。

目前的 POSIX.1 规范涵盖了更多的接口。The Open Group（原称 X/Open）发布的“SingleUNIX Specification”的基本规范现在已经并入 POSIX.1，后者包含了几个 1003.1 标准和另外几个标准草案，原来这些标准是分开出版的。

我也相应地增加了些章节讨论新主题。线程和多线程编程是相当重要的概念，因为它们为程序员处理并发和异步提供了更清晰的方式。

套接字接口现在也是 POSIX.1 的一部分了。它为进程间通信（IPC）提供了单一的接口，而不考虑进程的位置。它成为 IPC 章节的自然扩展。

我省略了 POSIX.1 中的大部分实时接口。这些内容最好是在一本专门讲述实时编程的书中介绍。参考文献里有一本这方面的书。

我把最后几章的案例研究也更新了，用了更接近现实的例子。例如，现在很少有系统通过串口或并口连接 PostScript 打印机了，多数 PostScript 打印机是通过网络连接的，所以我对 PostScript 打印机通信的例子做了修改。

有关调制解调器通信的那一章如今已经不太适用了。原始材料我们保留在本书网站上，有两种格式：PostScript（<http://www.apuebook.com/lostchapter/modem.ps>）和 PDF（<http://www.apuebook.com/lostchapter/modem.pdf>）。

书中实例的源代码也可以从 www.apuebook.com 上获得。多数实例已经在下述四种平台上运行过：

- 1) FreeBSD 5.2.1，这是加州大学伯克利分校 CSRG 的 4.4BSD 的一个变种，在英特尔奔腾处理器上运行。

- 2) Linux 2.4.22（Mandrake 9.2 发布），是一个免费的类 UNIX 操作系统，运行于英特尔奔腾处理器上。

- 3) Solaris 9，是 Sun 公司系统 V 版本 4 的变种，运行于 64 位的 UltraSPARC Iii 处理器上。

- 4) Darwin 7.4.0，是基于 FreeBSD 和 Mach 的操作系统环境，也是 Apple Mac OS X 10.3 版本的核心，运行于 PowerPC 处理器上。

致谢

首先要感谢 Rich Stevens 独立创作了本书第 1 版，它立即成为一本经典著作。

没有家人的支持，我不可能修订此书。他们容忍我满屋子散落稿纸（比平常还甚），霸占了家里的好几台机器，成天埋头于电脑屏幕前。我的妻子 Jeanne 甚至亲自动手帮我在一台测试的机器上安装了 Linux。

多名技术审校者提出了很多改进意见，确保内容准确。我非常感谢 David Bausum、David Boreham、Keith Bostic、Mark Ellis、Phil Howard、Andrew Josey、Mukesh Kacker、

BrianKernighan、Bengt Kleberg、Ben Kuperman、Eric Raymond 和 Andy Rudoff。

我还要谢谢 Andy Rudoff 给我解答有关 Solaris 的问题，谢谢 Dennis Ritchie 不惜花时间从故纸堆中为我寻找有关历史方面问题的答案。再次谢谢 Addison-Wesley 公司的员工，与他们合作令人愉快。谢谢 Tyrrell Albaugh、Mary Franz、John Fuller、Karen Gettman、JessicaGoldstein、Noreen Regina 和 John Wait。特别感谢 Evelyn Pyle 细致地编辑了本书。

就像 Rich 曾经做到的那样，我非常欢迎读者发来邮件，发表评论，提出建议，订正错误。

Stephen A. Rago
sar@apuebook.com

2005 年 4 月于新泽西州沃伦市

第 1 版前言

引言

本书描述了 UNIX 系统的程序设计接口——系统调用接口和标准 C 库提供的很多函数。本书针对的是所有程序员。

与大多数操作系统一样，UNIX 为程序运行提供了大量的服务——打开文件、读文件、启动一个新程序、分配存储区以及获得当前时间等。这些服务被称为系统调用接口（system call interface）。另外，标准 C 库提供了大量广泛用于 C 程序中的函数（格式化输出变量的值、比较两个字符串等）。

系统调用接口和库函数可参见《UNIX 程序员手册》第 2、3 部分。本书不是这些内容的重复。手册中没有给出实例及基本原理，而这些正是本书所要讲述的内容。

UNIX 标准

20 世纪 80 年代出现了各种版本的 UNIX，20 世纪 80 年代后期在此基础上制定了数个国际标准，包括 C 程序设计语言的 ANSI 标准、IEEE POSIX 标准系列、X/Open 可移植性指南。

本书也介绍了这些标准，但是并不只是说明标准本身，而是着重说明它们与应用广泛的一些实现（主要指 SVR4 以及即将发布的 4.4BSD）之间的关系。这是一种贴近现实世界的描述，而这正是标准本身以及仅描述标准的文献所缺少的。

本书的组织

本书分为 6 个部分：

1) 对 UNIX 程序设计基本概念和术语的简要描述（第 1 章），以及对各种 UNIX 标准化工作和不同 UNIX 实现的讨论（第 2 章）。

2) I/O——不带缓冲的 I/O（第 3 章）、文件和目录（第 4 章）、标准 I/O 库（第 5 章）和标准系统数据文件（第 6 章）。

3) 进程——UNIX 进程的环境（第 7 章）、进程控制（第 8 章）、进程之间的关系（第 9 章）和信号（第 10 章）。

4) 更多的 I/O——终端 I/O（第 11 章）、高级 I/O（第 12 章）和守护进程（第 13 章）。

5) IPC——进程间通信（第 14 和 15 章）。

6) 实例——一个数据库的函数库（第 16 章）、与 PostScript 打印机的通信（第 17 章）、调制解调器拨号程序（第 18 章）和使用伪终端（第 19 章）。

如果对 C 语言较熟悉并具有某些应用 UNIX 的经验，对学习本书将非常有益，但是并不要

求读者必须具有 UNIX 编程经验。本书面向的读者主要是：熟悉 UNIX 的程序员和熟悉其他某个操作系统且希望了解大多数 UNIX 系统提供的各种服务细节的程序员。

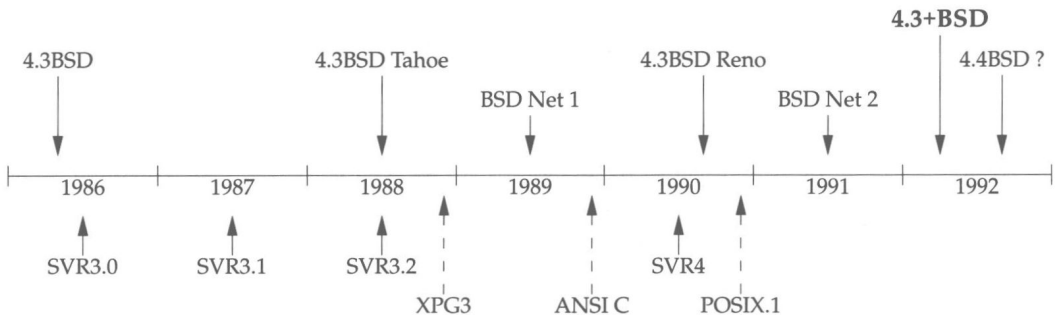
本书中的实例

本书包含了大量实例——大约 10 000 行源代码。所有实例都用 ANSI C 语言编写。在阅读本书时，建议准备一本你所使用的 UNIX 系统的《UNIX 程序员手册》，在细节方面有时需要参考该手册。

几乎对于每一个函数和系统调用，本书都用一个小的完整程序进行了演示。这可以让读者清楚地了解它们的用法，包括参数和返回值等。有些小程序还不足以说明库函数和系统调用的复杂功能和应用技巧，所以书中还包含了一些较大的实例（见第 16 ~ 19 章）。所有实例的源代码文件都可用匿名 ftp 从因特网主机 ftp.uu.net 的 published/books/stevens.advprog.tar.Z 文件下载。读者可以在自己的机器上修改并运行这些源代码。

用于测试实例的系统

遗憾的是，所有的操作系统都在不断变更，UNIX 也不例外。下图给出了系统 V 和 4.xBSD 最近的进展情况。



4.xBSD 是由加州大学伯克利分校 CSRG 开发的。该小组还发布了 BSD Net1 和 BSD Net2 版，其公开的源代码源自 4.xBSD 系统。SVR_x 表示 AT&T 的系统 V 第 x 版。XPG3 指 X/Open 可移植性指南的第 3 个发行版。ANSI C 是 C 语言的 ANSI 标准。POSIX.1 是 IEEE 和 ISO 的类 UNIX 系统接口标准。2.2 节和 2.3 节将对这些标准和不同版本之间的差别做更多的说明。

本书中用 4.3+BSD 表示源自伯克利的介于 BSD Net2 和 4.4BSD 之间的 UNIX 系统。

在本书写作时，4.4BSD 尚未发布，所以不能称一个系统是 4.4BSD 的。为了用一个简单的名字来引用该系统，故使用 4.3+BSD。

本书中的大多数实例曾在下面 4 种 UNIX 系统上运行过：

1) U.H. 公司 (UHC) 的 UNIX 系统 V/386 R4.0.2 (vanilla SVR4)，运行于 Intel 80386 处理器上。

2) 加州大学伯克利分校 CSRG 的 4.3+BSD，运行于惠普工作站上。

3) 伯克利软件设计公司的 BSD/386 (是 BSD Net2 的变种), 运行于 Intel 80386 处理器上。该系统与 4.3+BSD 几乎相同。

4) Sun 公司的 SunOS 4.1.1 和 4.1.2 (该系统与伯克利系统有很深的渊源, 但也包含了许多系统 V 的特性), 运行于 SPARCstation SLC 上。

本书还提供了许多时间测试及用于测试的实际系统。

致谢

在过去的一年半中, 家人给予了我大力支持和爱, 因为写书我们失去了很多快乐的周末, 我深感歉疚。写书从许多方面影响了整个家庭。谢谢 Sally、Bill、Ellen 和 David。

我要特别感谢 Brian Kernighan 对我写作此书的帮助。他审阅了全部书稿, 不但提出了大量有洞察力的技术意见, 还委婉地指出了多处修辞问题, 但愿我在最终成稿中已经加以体现。Steve Rago 也成为我的创作源泉, 不但审阅了全部书稿, 还为我解答了有关系统 V 的许多技术细节和历史问题。还要感谢 Addison-Wesley 公司邀请的其他技术审校者, 他们对书稿的各个部分提出了很有价值的意见, 他们是 Maury Bach、Mark Ellis、Jeff Gitlin、Peter Honeyman、John Linderman、Doug McIlroy、Evi Nemeth、Craig Partridge、Dave Presotto、Gary Wilson、Gary Wright。

感谢加州大学伯克利分校 CSRG 的 Keith Bostic 和 Kirk McKusick 给了我一个账号, 可在最新的 BSD 系统上测试书中实例。(也要感谢 Peter Salus。) UHC 的 Sam Nataros 和 Joachim Saksen 给我提供了一份 SVR4, 用来测试书中例子。Trent Hein 则帮助我获得 BSD/386 的 alpha 和 beta 版。

其他朋友在过去这些年以各种方式提供了帮助, 看似不大, 却非常重要。他们是 Paul Lucchina、Joe Godsil、Jim Hogue、Ed Tankus 和 Gary Wright。本书的编辑是 Addison-Wesley 公司的 John Wait, 他自始至终是我的忠实朋友。我不断地延期交稿, 写作篇幅也一再超过计划, 他从不抱怨。特别感谢美国国家光学天文台 (NOAO), 尤其是 Sidney Wolff、Richard Wolff 和 Steve Grandi, 为我提供准确的计算机时间。

真正的 UNIX 书应该用 troff 写成, 本书也遵循了这一优秀传统。最终清样是作者用 James Clark 写的 groff 软件包做出的。非常感谢 James Clark 提供了这个优异的写作软件, 并迅速地修正其中所发现的 bug。也许有一天我会最终弄清楚 troff 软件做页脚的技巧。

我十分欢迎读者发来电子邮件, 发表评论, 提出建议, 订正错误。

W.Richard Stevens

rstevens@kohala.com

<http://www.kohala.com/~rstevens>

1992 年 4 月于亚利桑那州塔克森市

Contents

Chapter 1.	UNIX System Overview	1
1.1	Introduction	1
1.2	UNIX Architecture	1
1.3	Logging In	2
1.4	Files and Directories	4
1.5	Input and Output	8
1.6	Programs and Processes	10
1.7	Error Handling	14
1.8	User Identification	16
1.9	Signals	18
1.10	Time Values	20
1.11	System Calls and Library Functions	21
1.12	Summary	23
Chapter 2.	UNIX Standardization and Implementations	25
2.1	Introduction	25
2.2	UNIX Standardization	25
2.2.1	ISO C	25
2.2.2	IEEE POSIX	26
2.2.3	The Single UNIX Specification	30
2.2.4	FIPS	32
2.3	UNIX System Implementations	33
2.3.1	UNIX System V Release 4	33
2.3.2	4.4BSD	34
2.3.3	FreeBSD	34
2.3.4	Linux	35
2.3.5	Mac OS X	35
2.3.6	Solaris	35
2.3.7	Other UNIX Systems	35
2.4	Relationship of Standards and Implementations	36
2.5	Limits	36
2.5.1	ISO C Limits	37
2.5.2	POSIX Limits	38
2.5.3	XSI Limits	41

2.5.4	sysconf, pathconf, and fpathconf Functions	42
2.5.5	Indeterminate Runtime Limits	49
2.6	Options	53
2.7	Feature Test Macros	57
2.8	Primitive System Data Types	58
2.9	Differences Between Standards	58
2.10	Summary	60

Chapter 3. File I/O 61

3.1	Introduction	61
3.2	File Descriptors	61
3.3	open and openat Functions	62
3.4	creat Function	66
3.5	close Function	66
3.6	lseek Function	66
3.7	read Function	71
3.8	write Function	72
3.9	I/O Efficiency	72
3.10	File Sharing	74
3.11	Atomic Operations	77
3.12	dup and dup2 Functions	79
3.13	sync, fsync, and fdatasync Functions	81
3.14	fcntl Function	82
3.15	ioctl Function	87
3.16	/dev/fd	88
3.17	Summary	90

Chapter 4. Files and Directories 93

4.1	Introduction	93
4.2	stat, fstat, fstatat, and lstat Functions	93
4.3	File Types	95
4.4	Set-User-ID and Set-Group-ID	98
4.5	File Access Permissions	99
4.6	Ownership of New Files and Directories	101
4.7	access and faccessat Functions	102
4.8	umask Function	104
4.9	chmod, fchmod, and fchmodat Functions	106
4.10	Sticky Bit	108
4.11	chown, fchown, fchownat, and lchown Functions	109
4.12	File Size	111

4.13	File Truncation	112	
4.14	File Systems	113	
4.15	link, linkat, unlink, unlinkat, and remove Functions	116	
4.16	rename and renameat Functions	119	
4.17	Symbolic Links	120	
4.18	Creating and Reading Symbolic Links	123	
4.19	File Times	124	
4.20	futimens, utimensat, and utimes Functions	126	
4.21	mkdir, mkdirat, and rmdir Functions	129	
4.22	Reading Directories	130	
4.23	chdir, fchdir, and getcwd Functions	135	
4.24	Device Special Files	137	
4.25	Summary of File Access Permission Bits	140	
4.26	Summary	140	
Chapter 5.	Standard I/O Library		143
5.1	Introduction	143	
5.2	Streams and FILE Objects	143	
5.3	Standard Input, Standard Output, and Standard Error	145	
5.4	Buffering	145	
5.5	Opening a Stream	148	
5.6	Reading and Writing a Stream	150	
5.7	Line-at-a-Time I/O	152	
5.8	Standard I/O Efficiency	153	
5.9	Binary I/O	156	
5.10	Positioning a Stream	157	
5.11	Formatted I/O	159	
5.12	Implementation Details	164	
5.13	Temporary Files	167	
5.14	Memory Streams	171	
5.15	Alternatives to Standard I/O	174	
5.16	Summary	175	
Chapter 6.	System Data Files and Information		177
6.1	Introduction	177	
6.2	Password File	177	
6.3	Shadow Passwords	181	
6.4	Group File	182	
6.5	Supplementary Group IDs	183	
6.6	Implementation Differences	184	

6.7	Other Data Files	185	
6.8	Login Accounting	186	
6.9	System Identification	187	
6.10	Time and Date Routines	189	
6.11	Summary	196	
Chapter 7.	Process Environment		197
7.1	Introduction	197	
7.2	main Function	197	
7.3	Process Termination	198	
7.4	Command-Line Arguments	203	
7.5	Environment List	203	
7.6	Memory Layout of a C Program	204	
7.7	Shared Libraries	206	
7.8	Memory Allocation	207	
7.9	Environment Variables	210	
7.10	setjmp and longjmp Functions	213	
7.11	getrlimit and setrlimit Functions	220	
7.12	Summary	225	
Chapter 8.	Process Control		227
8.1	Introduction	227	
8.2	Process Identifiers	227	
8.3	fork Function	229	
8.4	vfork Function	234	
8.5	exit Functions	236	
8.6	wait and waitpid Functions	238	
8.7	waitid Function	244	
8.8	wait3 and wait4 Functions	245	
8.9	Race Conditions	245	
8.10	exec Functions	249	
8.11	Changing User IDs and Group IDs	255	
8.12	Interpreter Files	260	
8.13	system Function	264	
8.14	Process Accounting	269	
8.15	User Identification	275	
8.16	Process Scheduling	276	
8.17	Process Times	280	
8.18	Summary	282	
Chapter 9.	Process Relationships		285
9.1	Introduction	285	