

# UNIX系统编程

## 通信、并发与线程

[美] Kay A. Robbins Steven Robbins 著

师蓉 译

UNIX Systems Programming

Communication, Concurrency, and Threads, 2nd Edition



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>



# UNIX系统编程

通信、并发与线程

[美] Kay A. Robbins Steven Robbins 著  
师蓉 译

UNIX Systems Programming

Communication, Concurrency, and Threads, 2nd Edition

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内容简介

本书是基于新UNIX标准的完备参考书,对UNIX编程要点进行清晰易懂的介绍,从说明系统调用的短小代码段开始,逐渐过渡到用于技能提升的实际项目。作者深入探讨通信、并发和线程问题,对复杂概念(如信号和并发)进行全面解读,覆盖文件、信号、信号量、POSIX线程和客户机-服务器通信等内容;提供大量实例、练习,以及针对性项目及其参考答案。全书第一部分介绍UNIX基础知识,包括文件、进程和特殊文件等;第二部分介绍信号和定时器;第三部分介绍信号量和进程同步;第四部分介绍通信话题。本书适合作为高等院校计算机专业的教材,也可供软件开发人员参考使用。

Authorized translation from the English language edition, entitled UNIX Systems Programming: Communication, Concurrency and Threads: Communication, Concurrency and Threads, 2nd Edition, ISBN: 0134424077 by Kay Robbins, Steve Robbins, published by Pearson Education, Inc, Copyright © 2016 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 PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2018

本书简体中文版专有出版权由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。

本书简体中文版贴有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: 01-2016-2362

## 图书在版编目(CIP)数据

UNIX系统编程: 通信、并发与线程 / (美)凯·罗宾斯(Kay A. Robbins), (美)斯蒂芬·罗宾斯(Steven Robbins)著; 师蓉译. —北京: 电子工业出版社, 2018.5

书名原文: UNIX Systems Programming: Communication, Concurrency, and Threads, 2nd Edition

ISBN 978-7-121-34035-2

I. ①U… II. ①凯… ②斯… ③师… III. ①UNIX操作系统—程序设计 IV. ①TP316.81

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第071585号

责任编辑: 牛勇 特约编辑: 赵树刚

印刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 787×980 1/16 印张: 56

字数: 1433.6千字

版次: 2018年5月第1版(原著第2版)

印次: 2018年5月第1次印刷

定价: 198.00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, 联系及购电话: (010) 88254888, 88258888。

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

本书咨询联系方式: 010-51260888-819, faq@phei.com.cn。



# 译者序

对于想了解并掌握操作系统接口及其工作原理、提高 UNIX 程序编写能力的人来说，本书将会是你的绝佳选择。书中详细介绍了 UNIX 系统的工作原理和 UNIX 系统程序的编写方法。我建议读者在掌握操作系统、C 语言、数据结构和计算机网络的基本知识后再阅读本书，这样可以更深层次地理解 UNIX 系统，并提高编写多线程和网络通信程序的能力。

本书分为 4 部分。在讲述基本概念时，围绕主题设计了大量程序和练习来加深读者对概念的理解，读者不需要编写大量代码，因此可以将注意力集中在对概念的理解而不是代码调试上。此外，本书在各部分的最后精心设计了生动有趣的项目来总结各部分的主要内容。这些项目都有很强的实际应用价值，稍加完善就可以作为可用的程序。

读者可以采用不同的方式阅读本书。第一部分的主题章节是阅读本书其他部分的基础。在阅读完第一部分的主题章节后，读者可以按照任何顺序阅读第二部分至第四部分的内容。

虽然我已尽全力，但在翻译中仍然会有一些理解不准确的句子，恳请各位读者将发现的问题反馈给我！

最后，感谢电子工业出版社对我的信任和帮助；感谢李青翠、樊永刚、李俊鹏、王桂英、樊瑞春、武昭江、刘三占、武二欢、师超、成金娥、师守伟、石璐璐、赵鹏飞、武建萍、武育芝、郝俊丽、张烈香、韩丽飞、樊卫斌、武继萍、周俊燕、王建萍、韩俊刚、闫娟霞等对我的支持。

师蓉

2018 年 4 月 13 日



# 前 言

本书是 1995 年由 Prentice Hall 出版的 *Practical UNIX Programming: A Guide to Communication, Concurrency and Multithreading* 一书的第 2 版。为了更好地传达本书的内容，我们将书名修改为“UNIX 系统编程：通信、并发与线程”。与上一版相比，我们不仅改变了书名，还对很多内容进行了修改。

互联网已经成为计算和社会领域的一个主导方面。我们的私人信息联网了；我们的软件经常会受到攻击。因此，编写正确的代码显得尤为重要。在这一版中，我们尝试尽量生成能够正确处理错误和特殊情况的代码。我们意识到，只是声称处理了所有的错误，但在给出的代码中却省略错误处理是没有效果的。不幸的是，错误处理让代码变得更复杂。我们付出了很多努力，以便让代码显得清晰一些。

本书对上一版的另一个重要改进是采用了单一的 UNIX 规范，我们将其称为 POSIX。我们再也不需要决定使用哪个厂商的库函数了——现在有了正式的版本。我们已经尽了最大努力来遵循这个标准。

练习和项目让本书变得与众不同。实际上，本书是从作为美国国家科学基金会（National Science Foundation Grant）一部分的项目手册发展而来的。在完成这个项目的初期开发后，我们逐渐认识到：完成这个项目所需的材料分散在不同的地方——这些材料通常可以在提供了大量细节、但几乎没有概念陈述的参考书中找到。因此，本书逐渐成为一本基于最新 UNIX 标准的完整参考书。

本书分为 4 部分，每部分都包含主题章节和项目章节。主题章节以循序渐进的方式涵盖了指定的内容，并以“试试看”和“看看会发生什么”的形式包含了很多示例和练习。主题章节都以一个或者多个练习小节结束。本书还为进程管理、并发和通信的很多基本概念提供了很多编程练习。这些编程练习与传统科学课程中的实验作用相同。只有通过实践才能真正理解书中的概念。这些练习由易到难，很多练习只需要不到 100 行代



码就能实现。

下表对本书的结构进行了总结——21 个章节被分为 4 部分。其中的 15 个主题章节与 8 个项目章节相互独立。第一次通读本书时可以跳过项目章节。

部 分	主题章节	项目章节
第一部分 基础知识	技术对程序的影响 1	令牌环 7
	程序、线程和进程 2	
	UNIX 中的进程 3	
	UNIX I/O 4	
	文件和目录 5	
	UNIX 特殊文件 6	
第二部分 异步事件	信号 8	虚拟定时器 10
	时间和定时器 9	破解 shell 11
第三部分 并发	POSIX 线程 12	生产者 - 消费者同步 16
	线程同步 13	
	临界区和信号量 14	非完全并行虚拟机 17
	POSIX IPC 15	
第四部分 通信	面向连接的通信 18	WWW 重定向 19
	无连接通信和多播 20	互联网广播 21
		服务器性能 22

项目章节通过开发一个规模较大的应用程序来整合几个主题章节的资料。这些项目包含两个层面。除说明编程思想外，这些项目还引导读者理解与应用程序相关的高级主题。这些项目都是分阶段设计的，大多数完整的实现都只需要几百行代码。由于不需要编写大量代码，因此，读者可以将注意力集中在对概念的理解而不是代码调试上。为了简化编程，我们提供了可用于网络通信和输出日志记录的库。对专业的程序员来说，主题章节结尾部分的练习提供了对概念的基本介绍。通常，使用本书的教师可以从中挑选几个练习和一个项目章节让学生在一学期的课程中实现。每个项目都有多种变化，因此，这些项目可以在多个学期里反复使用。

读者可以用不同的方式阅读本书。第一部分的主题章节是阅读本书其他部分的基础。在阅读完第一部分的主题章节后，读者可以按照任何顺序阅读第二部分至第四部分的内容，但后续章节结尾部分关于交互的讨论（例如，线程如何与信号交互）除外。

我们假定读者是优秀的 C 程序员，但不一定是 UNIX C 的程序员。读者应该熟悉 C 语言编程和基本的数据结构。对于刚刚接触 UNIX 的读者来说，附录 A 中给出了程序开发的必备知识。

本书包含标准函数的概要。我们在概要的右下角列出了指定函数的相关标准。

本书的内容是有限的。我们欢迎读者提出意见和建议，电子邮件地址为 `authors@usp.cs.utsa.edu`。虽然我们已尽最大努力保证本书没有错误，但如果你是第一个向我们指出某个错误的人，那么我们会在本书的配套网站上对你表示诚挚的感谢。我们在 Web 站点 `http://usp.cs.utsa.edu/usp` 上提供了本书的相关信息。从这个 Web 站点上可以下载本书中包含的所有代码。



# 目 录

## 第一部分 基础知识

第 1 章 技术对程序的影响 .....	3
1.1 术语的变化.....	3
1.2 时间和速度.....	5
1.3 多道程序设计和分时.....	6
1.4 应用层的并发.....	8
1.4.1 中断 .....	8
1.4.2 信号 .....	9
1.4.3 输入和输出 .....	10
1.4.4 进程、线程和资源共享 .....	10
1.4.5 具有共享内存的多个处理器 .....	11
1.4.6 网络作为计算机 .....	11
1.5 安全和容错.....	12
1.6 非法入侵造成的缓冲区溢出.....	13
1.6.1 缓冲区溢出的后果 .....	14
1.6.2 缓冲区溢出和安全 .....	16
1.7 UNIX 标准.....	17
1.8 延伸阅读.....	19
第 2 章 程序、线程和进程 .....	21
2.1 程序是如何成为进程的.....	21
2.2 线程和执行线程.....	22
2.3 程序映象的布局.....	23



2.4	库函数调用.....	26
2.5	函数返回值和错误.....	29
2.6	参数数组.....	31
2.6.1	用makeargv函数创建一个数组.....	32
2.6.2	makeargv函数的实现.....	34
2.7	线程安全函数.....	38
2.8	静态变量的使用.....	40
2.9	静态对象的结构.....	42
2.10	进程环境.....	48
2.11	进程终止.....	51
2.12	练习：一个 env 实用程序.....	54
2.13	练习：消息日志.....	55
2.14	延伸阅读.....	57
<b>第 3 章</b>	<b>UNIX 中的进程.....</b>	<b>58</b>
3.1	进程标识符.....	58
3.2	进程状态.....	60
3.3	UNIX 进程创建和 fork 函数.....	63
3.4	wait 函数.....	70
	状态值.....	76
3.5	exec 函数.....	77
3.6	后台进程和守护进程.....	83
3.7	临界区.....	86
3.8	练习：进程链.....	87
3.9	练习：进程扇.....	88
3.10	延伸阅读.....	89
<b>第 4 章</b>	<b>UNIX I/O.....</b>	<b>90</b>
4.1	设备术语.....	90
4.2	读/写.....	91
4.3	打开和关闭文件.....	102
4.4	select 函数.....	107
4.5	poll 函数.....	116



4.6	文件表示.....	119
4.6.1	文件描述符.....	119
4.6.2	文件指针和缓冲.....	122
4.6.3	文件描述符的继承.....	124
4.7	过滤器和重定向.....	128
4.8	文件控制.....	132
4.9	练习：原子日志.....	135
	原子日志库.....	139
4.10	练习：cat 实用程序.....	141
4.11	延伸阅读.....	143
<b>第 5 章</b>	<b>文件和目录.....</b>	<b>144</b>
5.1	UNIX 文件系统导航.....	144
5.1.1	当前工作目录.....	145
5.1.2	搜索路径.....	150
5.2	目录访问.....	151
5.2.1	访问文件状态信息.....	153
5.2.2	确定文件的类型.....	156
5.3	UNIX 文件系统实现.....	157
5.3.1	UNIX 文件实现.....	158
5.3.2	目录实现.....	161
5.4	硬链接和符号链接.....	161
5.4.1	创建或删除一个链接.....	162
5.4.2	创建和删除符号链接.....	167
5.5	练习：which 命令.....	172
5.6	练习：邮件通知程序.....	173
5.7	练习：新闻通知程序.....	176
5.8	练习：遍历目录.....	177
5.9	延伸阅读.....	179
<b>第 6 章</b>	<b>UNIX 特殊文件.....</b>	<b>180</b>
6.1	管道.....	180
6.2	流水线.....	184



6.3	FIFO.....	189
6.4	管道与客户机 - 服务器模型.....	193
6.5	终端控制.....	200
	规范和规范的输入处理.....	208
6.6	音频设备.....	212
6.7	练习：音频.....	218
6.8	练习：屏障.....	220
6.9	练习：stty 命令.....	221
6.10	练习：重提客户机 - 服务器.....	222
6.11	延伸阅读.....	222
<b>第 7 章</b>	<b>项目：令牌环.....</b>	<b>224</b>
7.1	环形拓扑.....	224
7.2	环的形成.....	226
7.3	环的探讨.....	232
7.4	简单通信.....	234
7.5	用令牌环实现互斥.....	235
7.6	用投票实现互斥.....	237
7.7	匿名环中的领导者选举.....	238
7.8	用于通信的令牌环.....	240
7.9	流水线预处理机.....	242
7.10	并行环算法.....	244
	7.10.1 图像过滤.....	244
	7.10.2 矩阵乘法.....	247
7.11	弹性环.....	248
7.12	延伸阅读.....	249

## 第二部分 异步事件

<b>第 8 章</b>	<b>信号.....</b>	<b>253</b>
8.1	信号的基本概念.....	253
8.2	信号的产生.....	254



8.3	对信号掩码和信号集进行操作.....	259
8.4	捕获和忽略信号—sigaction.....	266
8.5	等待信号—pause、sigsuspend 和 sigwait.....	272
8.5.1	pause函数.....	272
8.5.2	sigsuspend函数.....	274
8.5.3	sigwait函数.....	282
8.6	处理信号：错误和异步信号安全.....	283
8.7	用 siglongjmp 和 sigsetjmp 进行程序控制.....	286
8.8	使用异步 I/O 编程.....	288
8.9	练习：转储统计.....	300
8.10	练习：同时处理慢速设备.....	301
8.11	延伸阅读.....	301
<b>第 9 章</b>	<b>时间和定时器.....</b>	<b>303</b>
9.1	POSIX 时间.....	303
9.1.1	用从Epoch开始的秒数表示时间.....	304
9.1.2	显示日期和时间.....	305
9.1.3	使用struct timeval表示时间.....	308
9.1.4	使用实时时钟.....	311
9.1.5	耗时和处理器时间的对比.....	313
9.2	睡眠函数.....	316
9.3	POSIX:XSI 间隔定时器.....	319
9.4	实时信号.....	323
9.5	POSIX:TMR 间隔定时器.....	328
9.6	定时器漂移、溢出和绝对时间.....	333
9.7	延伸阅读.....	344
<b>第 10 章</b>	<b>项目：虚拟定时器.....</b>	<b>345</b>
10.1	项目概述.....	345
10.2	简单的定时器.....	348
10.3	对 5 个定时器中的一个进行设置.....	351
10.3.1	virtualtimers对象.....	351
10.3.2	hardwaretimer对象.....	353



10.3.3	主程序实现 .....	354
10.3.4	用show谱写定时器代码 .....	355
10.4	使用多个定时器 .....	361
10.4.1	设置多个定时器 .....	364
10.4.2	用多个定时器进行测试 .....	365
10.5	多定时器的健壮实现 .....	369
10.6	POSIX:TMR 定时器的实现 .....	371
10.7	一个小型的 cron 工具 mycron .....	372
10.8	延伸阅读 .....	372
<b>第 11 章</b>	<b>项目：破解 shell .....</b>	<b>373</b>
11.1	构建一个简单的 shell .....	373
11.2	重定向 .....	378
11.3	流水线 .....	382
11.4	前台的信号处理 .....	385
11.5	进程组、会话和控制终端 .....	391
11.5.1	进程组 .....	391
11.5.2	会话 .....	393
11.6	ush 中的后台进程 .....	396
11.7	作业控制 .....	403
11.8	ush 的作业控制 .....	407
11.8.1	一个作业列表对象 .....	407
11.8.2	ush 中的作业列表 .....	409
11.8.3	ush 中的作业控制 .....	409
11.8.4	等待流水线时的进程行为 .....	410
11.9	延伸阅读 .....	411

## 第三部分 并 发

<b>第 12 章</b>	<b>POSIX 线程 .....</b>	<b>415</b>
12.1	监视文件描述符的方法 .....	415
12.2	使用线程监视多个文件描述符 .....	417



12.3	线程管理.....	420
12.3.1	用ID引用线程.....	421
12.3.2	创建一个线程.....	422
12.3.3	分离和连接.....	423
12.3.4	退出和取消.....	426
12.3.5	向线程传递参数并返回值.....	429
12.4	线程安全.....	438
12.5	用户级线程 VS 内核级线程.....	439
12.6	线程属性.....	442
12.6.1	线程状态.....	443
12.6.2	线程栈.....	444
12.6.3	线程调度.....	446
12.7	练习：并行文件复制.....	450
12.8	延伸阅读.....	451
第 13 章	线程同步.....	452
13.1	POSIX 同步函数.....	452
13.2	互斥锁.....	453
13.2.1	创建并初始化一个互斥量.....	454
13.2.2	销毁一个互斥量.....	455
13.2.3	锁定和解锁互斥量.....	456
13.2.4	保护不安全的库函数.....	458
13.2.5	同步标志和全局值.....	459
13.2.6	让数据结构成为线程安全的.....	465
13.3	最多一次和至少一次的执行.....	467
13.4	条件变量.....	471
13.4.1	条件变量的创建和销毁.....	473
13.4.2	等待并通知条件变量.....	475
13.5	信号处理和线程.....	478
13.5.1	将信号定向到一个特定的线程中.....	479
13.5.2	为线程屏蔽信号.....	480
13.5.3	信号处理的专用线程.....	480
13.6	读者和写者.....	484



13.7	strerror_r 实现.....	489
13.8	死锁和其他讨厌的问题.....	491
13.9	练习：多个屏障.....	492
13.10	延伸阅读.....	492
<b>第 14 章</b>	<b>临界区和信号量.....</b>	<b>493</b>
14.1	临界区的处理.....	493
14.2	信号量.....	496
14.3	POSIX:SEM 匿名信号量.....	499
14.4	POSIX:SEM 信号量操作.....	501
14.5	POSIX:SEM 命名信号量.....	508
14.5.1	创建并打开命名信号量.....	509
14.5.2	关闭信号量并删除其链接.....	512
14.6	练习：许可管理器.....	514
14.6.1	license 对象.....	515
14.6.2	runsim 主程序.....	515
14.6.3	对许可管理器的扩展.....	516
14.7	延伸阅读.....	516
<b>第 15 章</b>	<b>POSIX IPC.....</b>	<b>517</b>
15.1	POSIX:XSI 进程间通信.....	517
15.1.1	标识并访问IPC对象.....	518
15.1.2	在shell中访问POSIX:XSI IPC资源.....	519
15.2	POSIX:XSI 信号量集.....	520
15.2.1	信号量的创建.....	521
15.2.2	信号量的控制.....	523
15.2.3	POSIX信号量集操作.....	525
15.3	POSIX:XSI 共享内存.....	532
15.3.1	访问共享内存段.....	532
15.3.2	共享内存段的连接和分离.....	533
15.3.3	控制共享内存.....	534
15.3.4	共享内存示例.....	535
15.4	POSIX:XSI 消息队列.....	541
	访问消息队列.....	542



15.5	练习：POSIX 匿名信号量.....	549
15.6	练习：POSIX 命名信号量.....	550
15.7	练习：用共享内存实现管道.....	551
15.8	练习：用消息队列实现管道.....	554
15.9	延伸阅读.....	554
<b>第 16 章</b>	<b>项目：生产者 - 消费者同步.....</b>	<b>555</b>
16.1	生产者 - 消费者问题.....	555
16.2	受互斥锁保护的有界缓冲区.....	557
16.3	使用信号量的缓冲区实现.....	560
16.4	一个简单的生产者 - 消费者问题简介.....	566
16.5	使用条件变量的有界缓冲区.....	570
16.6	带有完成条件的缓冲区.....	571
16.7	并行文件复制.....	580
16.7.1	并行文件复制的生产者.....	580
16.7.2	并行文件复制的消费者.....	581
16.7.3	并行文件复制的main程序.....	582
16.7.4	并行文件复制的增强.....	582
16.8	线程化打印服务器.....	583
16.8.1	请求缓冲区.....	584
16.8.2	生产者线程.....	585
16.8.3	消费者线程.....	586
16.8.4	打印服务器.....	586
16.8.5	其他增强功能.....	586
16.9	延伸阅读.....	587
<b>第 17 章</b>	<b>项目：非完全并行虚拟机.....</b>	<b>588</b>
17.1	PVM 的历史、术语和结构.....	588
17.2	非完全并行虚拟机.....	591
17.3	NTPVM 项目概述.....	593
17.3.1	NEWTASK 分组.....	596
17.3.2	DATA 分组.....	596
17.3.3	DONE 分组.....	597

17.4	调度程序的 I/O 和测试 .....	598
17.4.1	用多个窗口测试 .....	604
17.4.2	用远程日志测试 .....	605
17.5	没有输入的单任务 .....	607
17.6	顺序任务 .....	608
17.6.1	输入线程 .....	609
17.6.2	输出线程 .....	610
17.7	并发任务 .....	611
17.8	分组通信、广播和屏障 .....	611
17.9	终止和信号 .....	612
17.10	有序的消息传递 .....	613
17.11	延伸阅读 .....	613

## 第四部分 通 信

第 18 章	面向连接的通信 .....	617
18.1	客户机 - 服务器模型 .....	617
18.2	通信信道 .....	618
18.3	面向连接的服务器策略 .....	622
18.4	通用因特网通信接口 (UICI) .....	625
18.4.1	处理错误 .....	627
18.4.2	读和写 .....	627
18.5	不同服务器策略的 UICI 实现 .....	628
18.6	UICI 客户机 .....	631
18.7	UICI 的套接字实现 .....	637
18.7.1	socket 函数 .....	638
18.7.2	bind 函数 .....	639
18.7.3	listen 函数 .....	641
18.7.4	u_open 函数的实现 .....	642
18.7.5	accept 函数 .....	643
18.7.6	u_accept 函数的实现 .....	645
18.7.7	connect 函数 .....	646