

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

操作系统

—— CDIO之路

李彤 王黎霞 赵娜 代飞 谢仲文 编著



清华大学出版社

操作系统

—— CDIO之路

李彤 王黎霞 赵娜 代飞 谢仲文 编著

内 容 简 介

本书以 CDIO 大纲为指导,按照 CDIO 工程教育模式的构思(Conceive,C)、设计(Design,D)、实现(Implement,I)、运作(Operate,O)主线,以理论与实践相结合的方式,系统全面地介绍了操作系统的基本原理和实现技术。每一章在介绍操作系统基本原理(C)、设计思想(D)的基础上,以 UNIX System V 为对象,全面系统地分析了 UNIX System V 的主要数据结构和算法,力求通过具体的 UNIX 实现技术(I)来体现操作系统的基本原理和设计思想。最后,通过章节实习项目(O),将基础知识、个人能力、团队协作与社会环境融合在一起。

本书第 1 章是绪论;第 2~6 章分别介绍了处理机管理、进程同步与通信、存储管理、文件系统、设备管理;第 7 章介绍了 UNIX 操作系统的用户接口。每章后配有章节实习项目及大量的习题。

本书可以作为软件工程、计算机科学与技术等专业研究生和本科生的教材和教学参考书,也可供广大计算机工作者阅读和参考。

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。

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

操作系统——CDIO 之路/李彤等编著. —北京:清华大学出版社,2012.11

(21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-29630-0

I. ①操… II. ①李… III. ①操作系统—基本知识 IV. ①TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 184205 号

责任编辑:高买花 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23.5 字 数:589 千字

版 次:2012 年 11 月第 1 版 印 次:2012 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:37.00 元

产品编号:037396-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	章 征	教授
	王建民	教授
	冯建华	教授
	刘 强	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
	赵 宏	副教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈 明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
	苗夺谦	教授
	徐 安	教授
同济大学	邵志清	教授
	杨宗源	教授
华东理工大学	应吉康	教授
华东师范大学	乐嘉锦	教授
	孙 莉	副教授
东华大学		

浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
中国矿业大学	张 艳	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	邹北骥	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永锋	教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
厦门大学	冯少荣	教授
厦门大学嘉庚学院	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 淮	教授
	于 春	副教授
西南交通大学	曾华燊	教授

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品

教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材· 计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材· 计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材· 电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材· 软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材· 信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材· 财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材· 电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材· 物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人: 魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

操作系统是现代计算机系统中最重要、最核心的软件系统之一,它在整个计算机系统的软件体系结构中占有中心地位。因此,科研机构、高等学校、计算机厂商、普通用户,都十分重视对操作系统的研究、分析、开发和应用。作为计算机系统资源的管理者,操作系统不但要对计算机系统中的各种资源进行有效的管理,充分提高各种资源的使用效率,而且还要为用户提供一个方便地使用计算机系统的良好用户接口。早期的操作系统由于软硬件技术发展的限制,采用汇编语言来编写,追求的是系统的功能和效率。随着软硬件技术的发展,人们可以采用高级语言来编写操作系统,也日益认识到了操作系统结构的重要性。

UNIX 操作系统是 AT&T 公司 Bell 实验室的 Kell Thompson 和 Dennis Ritchie 于 1969—1970 年间研制成功的一个分时操作系统。其后 Dennis Ritchie 研制成功了 C 语言,并将 UNIX 用 C 语言重新改写加以实现。在此后的 20 多年间,UNIX 不断发展完善,目前它几乎已运行于从巨型计算机到微型计算机的各种硬件平台,成为多用户系统事实上的工业标准,被公认为开放式系统结构的核心。这些成就在很大程度上得益于用 C 语言来编写 UNIX。二者互相促进,相得益彰。可以说,没有 C 语言,就没有 UNIX 的今天;不用来书写 UNIX,也不能把 C 语言的功能与优良性质发挥得如此淋漓尽致。作为 UNIX 的研究者和学习者,我们常常为其精美的设计而拍案叫绝,也常常从 UNIX 那里领略到在其他地方所领略不到的 C 语言的风采。应该感谢 Dennis Ritchie 和 Kell Thompson,正是他们的杰出贡献,不但为人类提供了一个优秀的操作系统,而且使 UNIX 的影响远远超出了操作系统的范畴,对计算机科学产生了巨大而深远的影响。

CDIO 工程教育模式是近年来国际工程教育改革的最新成果,是由麻省理工学院、瑞典皇家工学院等 4 所国际一流工科大学发起,我国教育部大力倡导的先进工程教育模式。CDIO 代表构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Implement)、运作(Operate),将产品从研发到运作的生命周期作为载体,让学生主动地、把课程知识结构有机地联系到学习、实践的全部过程中。CDIO 既注重抽象理论知识的“教”和“学”,又强调了教学过程中“做”的重要意义;既增强了学生的动手能力,又培养了学生的创新意识、项目设计的能力和团队协作的精神。

本书依据 CDIO 大纲,以 CDIO 工程教育模式的构思、设计、实现、运作为主线,在介绍操作系统基本原理(C)、设计思想(D)的基础上,以 UNIX System V 操作系统实现技术为对象(I),全面系统地分析了 UNIX System V 的主要数据结构和算法,通过这些分析,读者可以深入理解操作系统的基本原理和实现技术。最后,通过章节实习项目(O),将基础知识、个人能力、团队协作与社会环境融合在一起。

本书是为研究生和本科生编写的一本教材。其前身作为讲稿曾在本科生和研究生中讲授,受到了普遍的欢迎。本书是按 72 个学时编写的,若按 54 学时讲授,建议免讲部分内容。

本书作为教材,在材料的组织上,力求通过具体的材料来体现操作系统的基本原理,通

过对具体操作系统的分析来体现其设计思想和实现技术。本书第1章是绪论；第2~6章分别介绍了处理机管理、进程同步与通信、存储管理、文件系统、设备管理；第7章介绍了UNIX操作系统的用户接口。在介绍shell命令时，仅从用户接口的角度来展示shell命令的一些特征，因此只做了简单扼要的介绍。

本书UNIX部分由王黎霞副教授编写。除UNIX部分之外，第1章和第6章由赵娜博士编写，第2章和第3章由谢仲文博士编写，第4章和第5章由代飞博士编写。李彤教授和赵娜博士进行了统稿。

本书在编写过程中得到了清华大学出版社的大力支持，本书责任编辑做了大量艰苦细致的工作，在此作者表示衷心的感谢。此外，云南大学软件学院的研究生钱晔、卢萍、朱锐、金运志、罗激等同学在书稿编排过程中提供了许多帮助，在此一并致谢。

由于水平有限，书中肯定存在不足和欠妥之处，作者真诚希望广大读者、专家和同行批评指正。

作 者

2012年3月1日于云南大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 操作系统概述	1
1.1.1 操作系统的定义	1
1.1.2 操作系统的功能	2
1.2 操作系统的发展过程	3
1.2.1 第一代计算机(1946—1955): 真空管和插接板	3
1.2.2 第二代计算机(1956—1965): 晶体管和批处理系统	3
1.2.3 第三代计算机(1966—1980): 集成电路和多道程序	4
1.2.4 第四代计算机(1981—现在): 大规模集成电路	7
1.3 操作系统的结构	10
1.3.1 整体结构的操作系统	11
1.3.2 分层操作系统	11
1.3.3 微内核结构	12
1.4 操作系统的特征	13
1.4.1 并发性	13
1.4.2 共享性	14
1.4.3 异步性	14
1.4.4 虚拟性	14
1.5 UNIX 系统简介	15
1.5.1 UNIX 综述	15
1.5.2 UNIX 内核功能	18
本章小结	20
习题	21
第 2 章 处理机管理	22
2.1 多道程序设计	22
2.1.1 单道程序的顺序执行	23
2.1.2 多道程序的并发执行	23
2.2 进程的基本概念	24
2.2.1 进程的定义	25
2.2.2 进程的属性	26
2.2.3 进程与程序的关系	26



2.3	进程的状态及转换	27
2.3.1	进程的基本状态及转换	27
2.3.2	具有挂起功能的进程状态及转换	28
2.4	作业的基本概念	29
2.4.1	作业的定义	29
2.4.2	作业与进程的关系	30
2.4.3	作业的状态及转换	31
2.5	进程的描述与上下文	31
2.5.1	进程控制块	32
2.5.2	进程上下文	33
2.6	进程的控制	34
2.6.1	进程控制机构	34
2.6.2	进程控制原语	35
2.7	线程	37
2.7.1	线程的概念	37
2.7.2	线程与进程的关系	38
2.7.3	线程的实现	39
2.8	处理机调度的原理	41
2.8.1	处理机的4级调度	41
2.8.2	处理机调度的目标	43
2.8.3	处理机调度的方式	45
2.8.4	处理机调度的时机	45
2.9	调度算法	46
2.9.1	先来先服务	46
2.9.2	最短周期优先	47
2.9.3	最高优先级优先	47
2.9.4	时间片轮转算法	48
2.9.5	多级反馈队列	49
2.9.6	实时调度	50
2.10	UNIX系统进程的结构	51
2.10.1	UNIX进程控制块	51
2.10.2	UNIX进程上下文	55
2.10.3	UNIX进程状态及转换	56
2.11	UNIX系统进程上下文的保存与切换	58
2.11.1	中断与异常	58
2.11.2	系统调用接口	58
2.11.3	上下文切换	59
2.12	UNIX系统进程控制	60
2.12.1	进程树	60

2.12.2	进程的创建	60
2.12.3	执行一个文件	62
2.12.4	进程的睡眠与唤醒	65
2.12.5	进程的终止	68
2.12.6	等待子进程终止	68
2.13	UNIX 系统进程调度	69
2.13.1	UNIX 系统调度的原理	70
2.13.2	UNIX 系统调度的实现	71
	本章小结	73
	实习项目	74
	习题	75
第 3 章	进程同步与通信	79
3.1	进程的并发执行	79
3.1.1	与时间有关的错误	79
3.1.2	Bernstein 条件	80
3.1.3	临界资源与临界区	81
3.2	进程的互斥	83
3.2.1	软件实现方法	83
3.2.2	硬件实现方法	85
3.3	进程的同步	86
3.3.1	同步的概念	86
3.3.2	同步的实现方法	87
3.3.3	生产者-消费者问题	88
3.4	信号量	89
3.4.1	信号量的原理	89
3.4.2	用信号量实现进程的互斥	91
3.4.3	用信号量实现进程的同步	92
3.4.4	用信号量解决生产者-消费者问题	93
3.4.5	信号量小结及其不足	95
3.5	管程	95
3.5.1	管程的定义、结构和原理	96
3.5.2	用管程解决生产者-消费者问题	99
3.5.3	管程的不足	101
3.6	进程的高级通信	101
3.6.1	消息缓冲机制	102
3.6.2	邮箱机制	104
3.6.3	共享存储区	105
3.6.4	管道	106

3.7	死锁	107
3.7.1	什么是死锁	109
3.7.2	死锁的表示	111
3.7.3	死锁的检测和清除	113
3.7.4	死锁的预防	115
3.7.5	死锁的避免	117
3.8	经典同步与互斥问题	121
3.8.1	哲学家进餐问题	121
3.8.2	读者-写者问题	123
3.9	UNIX 系统软中断	124
3.9.1	软中断的检测与处理的时机	124
3.9.2	软中断的种类	124
3.9.3	软中断的检测与处理	126
3.10	UNIX 系统管道	130
3.10.1	无名管道	130
3.10.2	有名管道	132
3.11	UNIX 系统进程间通信 IPC	132
3.11.1	消息机制	133
3.11.2	共享存储区机制	137
3.11.3	信号量机制	140
	本章小结	144
	实习项目	146
	习题	146
第4章	存储管理	151
4.1	存储管理的基本功能	151
4.1.1	转换	151
4.1.2	存储保护和共享	154
4.1.3	内存分配回收	154
4.1.4	内存扩充	155
4.2	分区存储管理	155
4.2.1	固定分区	155
4.2.2	动态分区	156
4.2.3	地址转换和存储保护	158
4.2.4	存储共享	159
4.2.5	分配和回收算法	159
4.2.6	覆盖和交换	162
4.2.7	分区存储管理的优缺点	163
4.3	分页式存储管理	164

4.3.1	基本原理	164
4.3.2	数据结构	164
4.3.3	地址转换和存储保护	166
4.3.4	存储共享	167
4.3.5	分配算法	168
4.3.6	分页式存储管理的优缺点	168
4.4	分段式存储管理	168
4.4.1	基本原理	168
4.4.2	地址转换和存储保护	169
4.4.3	存储共享	171
4.4.4	分段式存储管理的优缺点	171
4.5	段页式存储管理	172
4.5.1	基本原理	172
4.5.2	地址转换	172
4.5.3	段页式存储管理的优缺点	174
4.6	虚拟存储管理	174
4.6.1	虚拟存储器的概念	174
4.6.2	请求分页式虚拟存储管理	175
4.6.3	请求分段式虚拟存储管理	180
4.6.4	请求段页式虚拟存储管理	181
4.7	UNIX 存储管理	182
4.8	UNIX 系统进程的虚拟地址空间	183
4.8.1	区	183
4.8.2	页和页表	184
4.8.3	对进程虚拟地址空间的操作	185
4.9	UNIX 系统交换	192
4.9.1	交换空间的管理	192
4.9.2	进程的换出	195
4.9.3	进程的换入	197
4.9.4	进程交换的实现	198
4.10	UNIX 系统进程正文段的共享	202
4.10.1	数据结构	202
4.10.2	算法	203
4.11	UNIX 系统请求调页	206
4.11.1	基本原理	206
4.11.2	数据结构	206
4.11.3	动态地址变换	208
4.11.4	页故障	209
4.11.5	换页进程	213

4.12 UNIX 系统中交换策略与请求调页策略的结合	215
本章小结	216
实习项目	217
习题	217
第 5 章 文件系统	222
5.1 文件和文件系统	222
5.1.1 文件的概念	222
5.1.2 文件命名	223
5.1.3 文件类型	223
5.1.4 文件属性	224
5.1.5 文件系统的概念	225
5.2 文件组织、存取方法和存取设备	225
5.2.1 文件的逻辑结构	226
5.2.2 文件的物理结构	228
5.2.3 文件的存取方法	231
5.2.4 文件的存储设备	233
5.3 文件目录	233
5.3.1 一级目录结构	234
5.3.2 二级目录结构	235
5.3.3 树状目录结构	235
5.4 文件共享与保护	236
5.4.1 文件共享	236
5.4.2 文件保护	238
5.5 文件系统其他功能的实现	239
5.5.1 文件操作	239
5.5.2 文件系统的层次模型	240
5.5.3 外存空间管理	241
5.5.4 虚拟文件系统	242
5.6 UNIX 文件系统概述	243
5.7 UNIX 文件系统的数据结构	244
5.7.1 文件系统的存储结构	244
5.7.2 i 节点	244
5.7.3 目录文件	247
5.7.4 超级块	247
5.7.5 用户打开文件表	248
5.7.6 系统打开文件表	248
5.7.7 安装表	249
5.7.8 各数据结构间的关系	250

5.8	UNIX 文件系统的存储资源管理	252
5.8.1	空闲块的管理	252
5.8.2	磁盘 i 节点的管理	256
5.8.3	内存 i 节点的管理	260
5.8.4	文件表的管理	263
5.9	UNIX 正规文件的物理结构	264
5.9.1	地址索引表	264
5.9.2	地址映射	266
5.10	UNIX 目录文件	269
5.11	UNIX 中与文件有关的系统调用	271
	本章小结	272
	实习项目	273
	习题	273
第 6 章	设备管理	277
6.1	概述	277
6.1.1	设备分类	277
6.1.2	I/O 设备管理的目标 and 功能	278
6.1.3	设备控制器	279
6.2	I/O 控制方式	280
6.2.1	程序直接控制方式	282
6.2.2	中断控制方式	283
6.2.3	DMA 方式	284
6.2.4	通道方式	286
6.3	I/O 软件	288
6.3.1	I/O 中断处理程序	289
6.3.2	I/O 设备驱动程序	289
6.3.3	与设备无关的操作系统 I/O 软件	290
6.3.4	用户层 I/O 软件	291
6.4	缓冲技术	291
6.4.1	缓冲的引入	291
6.4.2	缓冲的类型	292
6.5	设备分配技术	294
6.5.1	设备分配的策略	294
6.5.2	SPOOLing 技术	295
6.6	UNIX 设备管理概述	296
6.7	UNIX 系统中断和异常	297
6.7.1	中断的分类	297
6.7.2	异常的分类	298



6.7.3 中断和异常的处理	298
6.8 UNIX 系统缓冲区管理	303
6.8.1 缓冲池结构	303
6.8.2 缓冲区的分配与释放	306
6.8.3 块的读写	307
6.9 UNIX 系统设备驱动程序的接口	311
6.9.1 设备开关表	311
6.9.2 设备驱动程序的接口	312
6.9.3 系统调用与驱动程序的接口	313
6.9.4 中断处理程序	317
6.10 UNIX 系统字符设备驱动	317
6.10.1 数据结构	317
6.10.2 对字符缓冲区队列的操作	318
6.10.3 终端设备驱动	325
6.11 UNIX 系统块设备驱动	334
本章小结	336
实习项目	336
习题	337
第 7 章 UNIX 操作系统的用户接口	339
7.1 系统调用	339
7.2 shell 进程	343
7.2.1 shell 概述	343
7.2.2 shell 流程	343
7.2.3 shell 进程的生成	345
7.3 shell 常用命令	346
7.3.1 与用户有关的命令	346
7.3.2 与文件系统有关的命令	347
7.3.3 进程与通信命令	351
7.3.4 后台命令	353
7.3.5 管道与重定向命令	353
7.4 shell 程序语言	354
本章小结	356
实习项目	357
习题	357
参考文献	359