

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机科学与技术

操作系统实验指导

——基于Linux内核(第2版)

徐虹 主编
何嘉 张钟澍 编著

清华大学出版社



高等学校教材

计算机科学与技术

操作系统实验指导

——基于Linux内核(第2版)

徐虹 主编

何嘉 张钟澍 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

“计算机操作系统”是一门非常重要的专业课程,本教材所介绍的“基于 Linux 内核的操作系统实验体系”可引导学生与操作系统内核交互以理解其原理。整个实验体系构架在 Linux 内核的基础上,按“系统基本构架”、“系统五大功能”和“系统与用户的接口”三方面分为 8 个实验。

本书共 11 章,从内容上分为三大部分。第一部分包括 3 章,介绍了基于 Linux 内核的实验系统、Linux 内核分析和使用方法;第二部分是对 6 项基本实验的指导:进程管理实验、存储器管理实验、用户接口实验、模块编程实验、设备管理实验和文件系统实验;第三部分是两项综合实验的指导:操作系统构成实验和系统信息显示实验。这些实验很好地解决了配合操作系统课程教学来指导学生进行实践的问题。

本书所介绍的实验涵盖了操作系统所有重要的原理和机制。本书及其实验系统既可作为大专院校、计算机职业专科学校或者电子类各专业“操作系统”的实验教学课程,也可供从事计算机方向研究的专业技术人员使用。

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

操作系统实验指导:基于 Linux 内核/徐虹主编;何嘉,张钟澍编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2009.3

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-19376-0

I. 操… II. ①徐… ②何… ③张… III. Linux 操作系统—高等学校—教材
IV. TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 012412 号

责任编辑:闫红梅 王冰飞

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

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:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:19.25

字 数:479 千字

版 次:2009 年 3 月第 2 版

印 次:2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:029010-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	覃 征	教授
	王建民	教授
	刘 强	副教授
	冯建华	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
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
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
上海第二工业大学	蒋川群	教授
浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
南京大学	骆 斌	教授
南京航空航天大学	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授

南京邮电学院
苏州大学
江苏大学
武汉大学
华中科技大学
中南财经政法大学
华中师范大学

国防科技大学

中南大学

湖南大学

西安交通大学

长安大学
西安石油学院
西安邮电学院
哈尔滨工业大学
吉林大学

长春工程学院
山东大学

山东科技大学
中山大学
厦门大学
福州大学
云南大学
重庆邮电学院
西南交通大学

朱秀昌 教授
龚声蓉 教授
宋余庆 教授
何炎祥 教授
刘乐善 教授
刘腾红 教授
王林平 副教授
魏开平 副教授
叶俊民 教授
赵克佳 教授
肖 依 副教授
陈松乔 教授
刘卫国 教授
林亚平 教授
邹北骥 教授
沈钧毅 教授
齐 勇 教授
巨永峰 教授
方 明 教授
陈莉君 教授
郭茂祖 教授
徐一平 教授
毕 强 教授
沙胜贤 教授
孟祥旭 教授
郝兴伟 教授
郑永果 教授
潘小轰 教授
冯少荣 教授
林世平 副教授
刘惟一 教授
王国胤 教授
杨 燕 副教授

改革开放以来，特别是党的十五大以来，我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就，高等教育实现了历史性的跨越，已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上，高等教育规模取得如此快速的发展，创造了世界教育发展史上的奇迹。当前，教育工作既面临着千载难逢的良好机遇，同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾，是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月，教育部下发了《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》，提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月，教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件，指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分，精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间（2003—2007年）建设1500门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放，以实现优质教学资源共享，提高高等学校教学质量和人才培养质量。

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、顺应并符合新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”。首批推出的特色精品教材包括：

(1) 高等学校教材·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) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 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

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

“操作系统”是计算机科学中一门重要的专业基础课，同时又是一门实践性很强的技术课程。掌握操作系统原理，熟悉操作系统的使用是各层次计算机软硬件开发人员必不可少的基本技能。然而，困扰学校“操作系统”教学的问题是讲授理论原理比较容易，而如何指导学生进行实践则相对较难。其结果致使学生不能深刻地理解操作系统的本质，因而也不能在实际应用当中用所学的“操作系统”课程知识以及操作系统所提供的功能来解决实际问题。

目前，国内大专院校讲授“操作系统”课程时，大多是在 DOS 或 UNIX 下练习一些操作系统的使用技巧。这样的实习环境，使学生既不能理解操作系统的内部机制和体系结构，也不能利用现有的内核生成一个令自己满意的操作系统，更不清楚操作系统的资源管理实现的过程和内部机制，更不用说试图自己改变系统中的部分算法及资源分配方式了。

最初，A.S.Tanenbaum 编写的教学《操作系统》Minix 在很长一段时间里较好地解决了这一问题。然而，随着计算机系统的体系结构的变化，元器件以及相应软件的飞速发展，早年开发出的 Minix 在很多方面已经不能适应今天的“操作系统”教学的需要了。在当今计算机科学相对发达的国度里，人们已认识到这方面的问题，他们已经开发出适合自己教学的操作系统——OSP、BACI、NACHOS、TOYOS 等，其中 OSP、BACI 是基于裸机的操作实验系统，而 NACHOS、TOYOS 是基于模拟器的操作实验系统。但是，一个全新的，支持基于 Intel x86 计算机的操作系统教学实验系统至今是一个空白。国内这方面的研究相对滞后，就已有的几本关于操作系统实验的书籍来看，一个突出的问题便是教学专用实验系统比较少。

本实验教材提出的教学实验体系的研制是“操作系统”课程教学的一场变革，它能够改变“操作系统”课堂教学因为没有实验环境只向学生讲解基本理论，从而造成理论与实践严重脱离的局面。该实验体系构架在 Linux 内核的基础上，按“系统基本构架”、“系统五大功能”和“系统与用户的接口”三方面分为 8 个实验。设计的实验分为基础实验和综合实验两部分。基础实验包括：进程管理、存储器管理、用户接口、模块编程、设备管理和文件系统实验；综合实验包括操作系统构成实验和系统信息显示实验。让学生在实验体系的指导下学习理解操作系统的基本原理、内部机制和体系结构，并在此基础上能够亲自动手生成一个自己满意的操作系统。

本次再版的《操作系统实验指导——基于 Linux 内核》一书分为三大部分，共 11 章。第一部分包括 3 章，介绍了基于 Linux 内核的实验系统、Linux 内核分析和 Linux 系统的使

用方法；第二部分是对 6 项基本实验的指导：进程管理实验、存储器管理实验、用户接口实验、模块编程实验、设备管理实验和文件系统实验；第三部分是两项综合实验的指导：操作系统构成实验和系统信息显示实验。这些实验很好地解决了配合课程理论教学与应用实践有机结合的问题。

本书的第 1、2、3、6、7、8、11 章由徐虹编写，第 5、9 章由何嘉编写，第 4、10 章由张钟澍编写。全书由徐虹主编和统稿。同时感谢薛筱宇和李代伟为实验系统所做的贡献。

本书及其实验系统可作为大专院校、计算机职业专科学校或者电子类各专业“操作系统”的实验教学课程。作为“操作系统”实验课程的一个尝试，本教学实验手册及实验软件系统难免有误漏不妥之处，希望得到兄弟院校及同行的指正帮助，以便重新修订。

编 者

2008 年 10 月

目 录

高等学校教材·计算机科学与技术

第一部分 Linux 的基本机制和使用方法

第 1 章 Linux 概述	2
1.1 Linux 操作系统简介	2
1.1.1 Linux 操作系统的发展	2
1.1.2 Linux 操作系统的特点	3
1.1.3 目前流行的 Linux 版本	4
1.2 基于 Linux 内核的操作系统实验体系	5
1.2.1 操作系统实验的现状	5
1.2.2 选择 Linux 的原因	6
1.2.3 实验设计思想	7
1.2.4 实验体系的构成	7
第 2 章 Linux 内核分析	10
2.1 Linux 内核结构概述	10
2.2 Linux 进程管理	10
2.2.1 描述进程的数据结构	11
2.2.2 进程调度	13
2.2.3 创建进程	16
2.2.4 进程通信机制	16
2.3 Linux 存储管理	20
2.3.1 物理内存管理器	21
2.3.2 内核内存管理器	25
2.3.3 虚拟内存管理器	31
2.3.4 Linux 的高速缓冲机制	40
2.4 Linux 设备管理	41
2.4.1 Linux 设备管理结构	41
2.4.2 I/O 控制方式	42
2.4.3 Linux 设备驱动程序	43

2.4.4	字符设备驱动程序	46
2.4.5	块设备驱动程序	49
2.5	Linux 文件系统	53
2.5.1	Linux 文件系统概述	53
2.5.2	虚拟文件系统 VFS	54
2.5.3	EXT2 文件系统	59
2.5.4	Linux 的几个重要文件系统	65
第 3 章	Linux 的使用	67
3.1	安装 Red Hat Linux	67
3.2	Linux 文件系统结构	68
3.2.1	Linux 目录结构	68
3.2.2	目录功能简介	69
3.2.3	Linux 文件系统的装载和卸载	70
3.3	Linux 系统的基本操作	72
3.3.1	Linux 系统的启动与退出	72
3.3.2	Linux 系统对文件和目录的操作命令	73
3.3.3	文档备份与压缩命令	80
3.3.4	权限改变命令	83
3.3.5	Linux 与用户有关的命令	85
3.3.6	Linux 系统管理命令	86
3.3.7	Linux 磁盘管理命令	87
3.3.8	进程管理命令	90
3.3.9	Linux 其他命令	93
3.4	vi 的使用	95
3.4.1	vi 的操作模式	95
3.4.2	vi 的进入与退出	96
3.4.3	vi 的常用命令	96
3.5	Linux 的编译器 gcc	100
3.6	Shell 程序设计	101
3.6.1	Shell 程序的编写和执行	101
3.6.2	Shell 基础	102
3.6.3	Shell 程序设计	106
3.6.4	Shell 程序的调试	112

第二部分 基础实验指导

第 4 章	进程管理实验	120
4.1	实验目的	120
4.2	准备知识	120
4.2.1	基本概念	120

4.2.2	系统调用	120
4.2.3	相关函数	122
4.3	实验内容	126
4.3.1	编制一段程序, 实现软中断通信	126
4.3.2	编制一段程序, 实现进程的管道通信	126
4.4	实验指导	126
4.4.1	进程的软中断通信	126
4.4.2	进程的管道通信	129
第5章	存储器管理实验	133
5.1	实验目的	133
5.2	准备知识	133
5.3	实验内容	133
5.4	实验指导	134
5.4.1	FIFO 页面置换算法	134
5.4.2	LRU 页面置换算法	135
5.4.3	NUR 页面置换算法	136
5.4.4	OPT 页面置换算法	138
5.5	参考源程序代码	139
5.6	程序运行	145
第6章	用户接口实验	146
6.1	实验目的	146
6.1.1	控制台命令接口	146
6.1.2	系统调用	146
6.2	准备知识	146
6.2.1	控制台命令接口	147
6.2.2	添加系统调用	148
6.3	实验内容	150
6.3.1	控制台命令接口实验	150
6.3.2	系统调用实验	150
6.4	实验指导	150
6.4.1	控制台命令接口实验	150
6.4.2	系统调用实验	151
第7章	模块编程实验	155
7.1	实验目的	155
7.2	准备知识	155
7.2.1	模块的组织结构	156
7.2.2	模块的编译	157
7.2.3	模块的加载	158
7.2.4	模块的卸载	158

7.2.5	模块链接到内核的示意图	159
7.2.6	模块管理程序中的文件操作	159
7.2.7	i386 的寄存器	160
7.3	实验内容	162
7.3.1	编写一个简单的内核模块	162
7.3.2	模块加载前后的比较	162
7.3.3	向模块中再添加一些新函数	162
7.3.4	系统核心寄存器数值的获取	162
7.4	实验指导	162
7.4.1	一个简单的内核模块	162
7.4.2	模块加载前后的比较	164
7.4.3	向模块中添加新函数	165
7.4.4	模块的测试	166
7.4.5	系统核心寄存器数值的获取实验	167
第 8 章	设备管理实验	179
8.1	实验目的	179
8.2	准备知识	179
8.2.1	设备驱动程序简介	179
8.2.2	设备驱动程序与外界的接口	180
8.2.3	设备驱动程序的组织结构	181
8.2.4	设备驱动程序的代码	182
8.3	实验内容	185
8.3.1	字符类型设备的驱动程序	185
8.3.2	块类型设备的驱动程序	185
8.4	实验指导	185
8.4.1	字符类型设备的驱动程序	185
8.4.2	块类型设备的驱动程序	192
8.5	参考源程序代码	198
8.5.1	字符设备驱动程序	198
8.5.2	块设备驱动程序	203
第 9 章	文件系统实验	206
9.1	实验目的	206
9.2	准备知识	206
9.2.1	外存管理	206
9.2.2	目录管理	207
9.2.3	文件系统的接口	208
9.2.4	Linux 的 EXT2 文件系统	208
9.2.5	可能用到的编程技术	210
9.2.6	用内存来模拟外存	210

9.3	实验内容	211
9.4	实验指导	211
9.4.1	二级文件系统的设计与实现	211
9.4.2	EXT2 文件系统跟踪程序的设计与实现	230

第三部分 综合实验指导

第 10 章	操作系统构成实验	242
10.1	实验目的	242
10.2	准备知识	242
10.2.1	Linux 操作系统的启动流程	242
10.2.2	开机载入程序——引导软件 LILO	243
10.2.3	Linux 根文件系统简介	244
10.3	实验内容	245
10.4	实验指导	245
10.4.1	实验设计思想	245
10.4.2	配置新内核 bzImage	246
10.4.3	制作启动盘	247
10.4.4	制作根文件系统盘	250
10.4.5	系统整合	255
10.4.6	系统测试	255
第 11 章	系统信息显示实验	259
11.1	实验目的	259
11.2	准备知识	259
11.2.1	proc 文件系统简介	259
11.2.2	proc 中的硬件信息	260
11.2.3	proc 中的软件信息	263
11.2.4	实验中使用的库函数	266
11.2.5	实验中使用的编程技术	268
11.3	实验内容	270
11.4	实验指导	270
11.4.1	系统信息显示实验	270
11.4.2	内存信息监测实验	278
参考文献		290

第一部分

Linux 的基本机制和使用方法

第1章

Linux 概述

1.1 Linux 操作系统简介

1.1.1 Linux 操作系统的发展

Linux 操作系统核心最早是由芬兰赫尔辛基大学 25 岁的芬兰大学生 Linus Torvalds 在 1991 年 8 月发布的。Linux 是 Linus 和 Minix 的混合称呼,意为 Linus 编写的类似 Minix 的系统。Linus 将其发布在 Internet 上,得到了积极的回应,很快就有数百名程序员和爱好者通过 Internet 加入 Linux 的行列,他们不断对程序进行修改和完善,经过几年的努力, Linux 终于在全球普及开来,成为当今最为流行的操作系统之一。

Linux 最初是针对 Intel 架构的个人计算机开发的,但现在不仅个人桌面版的用户极多,在服务器领域也得到越来越多的应用,例如 Sun 公司的 Sparc 工作站和 DEC 公司的 Alpha 工作站等。此外,在嵌入式开发方面 Linux 更是具有其他操作系统无可比拟的优势。

Linux 的源代码是自由分发的和完全公开的,也是完全免费的,可以很方便地从网上下载。Linux 与 Internet 同步发展壮大。Linux 的目标是 POSIX 兼容性。Linux 不仅涵盖了 UNIX 的所有特征,而且融合了许多其他操作系统的东西,这些特征包括真正的多任务、虚拟存储、快速的 TCP/IP 实现、共享库和多用户。Linux 运行在保护模式并且完全支持 32 位和 64 位多任务,它能运行主要的 UNIX 工具软件、应用程序和网络协议。Linux 还拥有—个完全免费的、遵从 X/Open 标准的 X Windows 的实现。Linux 内核的版权归 Linus Torvalds 所有。这个版权受 GNU(Gnu is Not Unix)通用公共许可证(General Public License, GPL)的保护。用户可以根据自己的需要对它进行必要的修改和无偿使用它,可以无约束地继续传播它。

可以说 Linux 是一个高效和灵活的通用操作系统。采用 Linux 模块化的设计结构,既能充分发挥不断提高硬件的性能,又能跨不同平台使用,使得在 Linux 上开发的应用软件可以以很低的代价在不同的硬件平台上使用。Linux 操作系统是一个多用户和多任务操作系统,它能保证 CPU 时刻处于使用状态,从而保持 CPU 的最大利用率。

现在 Linux 已经成为一个完整的类 UNIX 操作系统,它的核心版本在不断地更新,它有一个可爱的标志——一只小企鹅(企鹅取自 Linus 家乡芬兰的吉祥物),现在几乎每种版

本的 Linux 都带有这个标志。

事实上 Linux 的确稳定并富有竞争力。许多大学与研究机构都使用 Linux 来完成日常计算任务,很多中小型网站也在其服务器上运行 Linux,家庭的应用就更多了。Linux 主要用来浏览和管理 Web 站点,撰写与发送 E-mail 以及玩游戏。Linux 是一个具有专业水平的操作系统。

1.1.2 Linux 操作系统的特点

在使用方法上, Linux 与 UNIX 系统有很多共同之处,但 Linux 系统无论从结构上还是应用上都有其自身的特点。Linux 的内核特点是短小精悍,具有更高的灵活性和适应性。Linux 最大的特色在于源代码完全公开,所有的原始程序源码都可得到,包括整个核心及所有的驱动程序,发展工具及所有应用程序。在符合 GNU GPL 的原则下,任何人皆可自由取得、散布,甚至修改源代码。除此之外,与其他操作系统相比, Linux 还具有以下特色。

1. Linux 是一个多用户、多任务的操作系统

在 Linux 系统中,多个用户可同时在相同机器上操作(通过终端或虚拟控制台)。Linux 在 386/486/Pentium/Pentium Pro 上以保护模式运行,是真正的多任务操作系统,可同时执行多个进程,具有进程间内存地址保护,因此当某个进程出错时,不会波及整个系统。同时也提供了进程间的通信方式,使各进程能协同工作以满足用户的要求。

2. 支持多种文件系统

Linux 能支持多种文件系统,如 EXT2FS、ISOFS、Minix、Xenix、FAT16、FAT32、NTFS 等十多种文件系统。而且它自己还有一个先进的文件系统,提供最长达 4TB 的文件存储空间,文件名可以长达 255 个字符。

3. 符合 POSIX 1003.1 标准

POSIX 1003.1 标准定义了一个最小的 UNIX 操作系统接口,任何操作系统只有符合这一标准,才有可能运行 UNIX 程序。Linux 完全支持 POSIX 1003.1 标准,能运行 UNIX 上丰富的应用程序。另外,为了使 UNIX System V 和 BSD 上的程序能直接在 Linux 上运行, Linux 还增加了部分 System V 和 BSD 的系统接口,使 Linux 成为一个完善的 UNIX 程序开发系统。

4. 具有较好的可移植性

Linux 系统核心只有小于 10% 的源代码采用汇编语言编写,其余均是采用 C 语言编写,因此具备高度的可移植性。

5. 支持多平台和多处理器

Linux 虽然最初是在 Intel x86 系列 CPU 上开发的,随着它不断的发展,可在许多不