

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

计算机操作系统 实践教程

黄廷辉 王宇英 编著



清华大学出版社

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

计算机操作系统 实践教程

黄廷辉 王宇英 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

操作系统是计算机系统的重要组成部分,实践是学习操作系统的最好途径。本书是一本与操作系统理论教材相配套的实践教材。全书主要介绍了 GeekOS 教学操作系统的设计原理和精心为学生设计的 7 个项目。这 7 个项目涵盖了操作系统所有重要的原理和机制,通过这些项目的设计与实现,可以很好地帮助学生深入了解操作系统内核设计及其工作原理。

本书共分为两部分:第一部分主要介绍 GeekOS 操作系统、课程设计环境的搭建以及一些重要的源文件的代码及注释;第二部分是对 GeekOS 项目设计的指导——内核编译运行、内核线程管理、用户级线程管理、进程调度算法、分页存储管理、文件系统设计和多用户文件系统访问控制等。

本书既可以作为高等院校计算机相关专业操作系统课程的实践教材,也可以供相关专业的技术人员参考使用。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机操作系统实践教程 / 黄廷辉, 王宇英编著. —北京:清华大学出版社, 2007.5
(高等院校计算机实验与实践系列示范教材)

ISBN 978-7-302-14800-5

I. 计… II. ①黄… ②王… III. 操作系统-高等学校-教材 IV. TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 029534 号

责任编辑:魏江江 李 晔

责任校对:梁 毅

责任印制:王秀菊

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京国马印刷厂

装订者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12 字 数:282 千字

版 次:2007 年 5 月第 1 版 印 次:2007 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:19.00 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:023905-01

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便我们更好地对本教材做进一步改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 602 计算机与信息分社营销室 收

邮编：100084

电子邮件：jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

电话：010-62770175-4608/4409

邮购电话：010-62786544

教材名称：计算机操作系统实践教程

ISBN：978-7-302-14800-5

个人资料

姓名：_____ 年龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：☐指定教材 ☐选用教材 ☐辅导教材 ☐自学教材

您对本书封面设计的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书印刷质量的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

从科技含量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

本书最令您满意的是：

☐指导明确 ☐内容充实 ☐讲解详尽 ☐实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

电子教案支持

敬爱的教师：

为了配合本课程的教学需要，本教材配有配套的电子教案（素材），有需求的教师可以与我们联系，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案（素材），希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打电话 010-62776969 或发送电子邮件至 jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>）上查询。

编审委员会

主 编 张基温

委 员 (以汉字拼音顺序排列)

陈家琪 丁 岭 李仁发

苗夺谦 孙佳文 索 梅

殷晓峰 张基温 赵一鸣

出版说明

当前,重视实验与实践教育是各国高等教育界的发展潮流,我国与国外教学工作的差距也主要表现在实践教学环节上。面对新的形式和新的挑战,完善实验与实践教育体系成为一种必然。为了培养具有高质量、高素质、高实践能力和高创新能力的人才,全国很多高等院校在实验与实践教学方面进行了大力改革,在实验与实践教学内容、教学方法、教学体系、实验室建设等方面积累了丰富的宝贵经验,起到了教学示范作用。

实验与实践性教学与理论教学是相辅相成的,具有同等重要的地位。它是在开放教育的基础上,为配合理论教学、培养学生分析问题和解决问题的能力以及加强训练学生专业实践能力而设置的教学环节;对于完成教学计划、落实教学大纲,确保教学质量,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 实际操作技能更具有特别重要的意义。同时,实践教学也是培养应用型人才的重要途径,实践教学质量的好坏,实际上也决定了应用人才培养质量的高低。因此,加强实践教学环节,提高实践教学质量,对培养高质量的应用型人才至关重要。

近年来,教育部把实验与实践教学作为对高等院校教学工作评估的关键性指标。2005年1月,在教育部下发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》中明确指出:“高等学校要强化实践育人的意识,区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。要切实加强实验、实习、社会实践、毕业设计(论文)等实践教学环节,保障各环节的时间和效果,不得降低要求。”“要不断改革实践教学内容,改进实践教学方法,通过政策引导,吸引高水平教师从事实践环节教学工作。要加强产学研合作教育,充分利用国内外资源,不断拓展校际之间、校企之间、高校与科研院所之间的合作,加强各种形式的实践教学基地和实验室建设。”

为了配合开展实践教学及适应教学改革的需要,我们在全中国各高等院校精心挖掘和遴选了一批在计算机实验与实践教学方面具有潜心研究并取得

了富有特色、值得推广的教学成果的作者，把他们多年积累的教学经验编写成教材，为开展实践教学的学校起一个抛砖引玉的示范作用。

为了保证出版质量，本套教材中的每本书都经过编委会委员的精心筛选和严格评审，坚持宁缺毋滥的原则，力争把每本书都做成精品。同时，为了能够让更多、更好的实践教学成果应用于社会和各高等院校，我们热切期望在这方面有经验和成果的教师能够加入到本套丛书的编写队伍中，为实践教学的发展和取得成效做出贡献；也衷心地期望广大读者对本套教材提出宝贵意见，以便我们更好地为读者服务。

清华大学出版社

联系人：索梅 suom@tup.tsinghua.edu.cn

操作系统课程的内容涉及理论、算法、技术、实现和应用,知识体系繁杂,概念和原理抽象,是一门实践性较强的课程。目前国内操作系统课程设置多偏重于理论学习,对课程实践重视不够。学生普遍反映,不实际动手参与操作系统内核开发,只能掌握一些抽象的概念,不能深刻理解操作系统的核心,更不能解决实际问题。

教学实践也证明,学生想要真正掌握操作系统的实际工作原理,并根据需求灵活运用操作系统的最好方法是参与到操作系统内核设计的实践工作中,即通过阅读现有操作系统的代码,理解操作系统内核工作基本原理,在此基础上修改和完成指定操作系统功能的部分代码。通过与实践相结合,学生就能比较容易地掌握操作系统的抽象概念,也会发现操作系统复杂的结构是可以逐步分析和理解的。现在,操作系统课程实践的重要性正在被越来越多的国内大学所重视,但大部分院校采用的都是 Linux 操作系统设计平台。由于 Linux 操作系统是为实际应用开发的,主要的操作系统功能已很完善,结构庞大且复杂,没有专门为学生练习而设计的项目,所以学生在实践时会遇到很多困难,实践效果也不理想。本书正是在这样的背景下编著的。

针对目前操作系统实践性教学中存在的不足,本书向读者提供的是一个专门为操作系统课程教学而设计的操作系统——GeekOS。国外知名大学采用的教学操作系统还有很多,如 OSP/OS161、NACHOS、MINIX、TOYOS 等。相比而言,GeekOS 的设计尽可能简单,让学生易于阅读、设计和添加代码,但它又涵盖了操作系统课程的核心内容,能满足操作系统课程教学的需求。GeekOS 具有的最大优势是精心为学生设计了 7 个由易到难的设计项目,每个项目都对应操作系统的一大管理功能,学生每实现一个项目就相当于完成了操作系统的一个功能,如果完成全部 7 个项目,就实现了一个具备基本功能的实用操作系统。它让学生一步一步循序渐进地实现一个简单的类 UNIX 操作系统,有很好的教学和实际应用价值。

本书内容共分为两个部分:第一部分主要介绍 GeekOS 的设计原理和项目设计环境,由第 1 章~第 7 章组成;第二部分是对 GeekOS 各项目设计的指导性说明,由第 8 章~第 13 章组成。第 1 章是 GeekOS 教学操作系统的概述,介绍了 GeekOS 内核的特点和项目实现时的一些好的编程经验。第 2

章是课程设计环境介绍,包括 Linux 操作系统的安装、各种工具软件的使用、bochs PC 模拟器的使用及如何开始 GeekOS 项目。第 3 章是介绍 make 工具和 makefile 文件规则项目管理文件的使用,它是了解 GeekOS 系统程序组织结构的重要部分。第 4 章详细介绍了 PC 启动原理,实模式到保护模式的转换,GeekOS 启动代码的详细分析。第 5 章介绍了 GeekOS 进程管理的设计原理,包括进程的状态、进程创建、用户态进程和核态进程的不同之处以及进程调度策略等。第 6 章介绍了 Intel 处理器结构的分页存储管理的基本原理和 GeekOS 项目 4 有关的函数代码分析。第 7 章介绍了 GeekOS 文件系统的设计原理,包括虚拟文件系统、PFAT 文件系统和 GOSFS 文件系统的设计与实现。第 8 章~第 13 章的内容分别是对 GeekOS 要求学生完成的项目设计内容和技术原理的介绍,包括熟悉 GeekOS 项目编译运行环境、核态进程的实现、用户态进程的实现、进程调度策略和算法实现、分页存储管理的实现和文件系统的实现等。

在本书的编写过程中,得到了桂林电子科技大学广大教师的支持和帮助,同时清华大学出版社的同志对本书内容的组织提出了宝贵建议,在此表示特别感谢!

本书成文后,王宇英同志做了进一步处理和修改。全书由黄廷辉同志统一策划与设计,并做了最后的校对、完善和统稿。

本书的主要读者是计算机及相关专业的高年级本科生和硕士生,也可供计算机、信息和嵌入式等相关专业的教学、科研和工程技术人员参考。它是一本操作系统理论教材的配套教材,作为对操作系统课程实践的一次尝试,也受作者水平与时间仓促的限制,如书中出现错误与不足,敬请广大读者不吝赐教。

桂林电子科技大学计算机与控制学院

黄廷辉

2007 年 2 月

第 1 章	GeekOS 教学操作系统概论	1
1.1	引言	1
1.2	GeekOS 教学操作系统	2
1.2.1	GeekOS 概述	2
1.2.2	GeekOS 的存储器管理	3
1.2.3	GeekOS 支持的设备	4
1.2.4	GeekOS 的中断和线程	6
1.2.5	GeekOS 系统引导和初始化	9
1.2.6	GeekOS 系统源代码结构和设计项目	11
第 2 章	课程设计开发环境	15
2.1	Cygwin 介绍	15
2.1.1	Cygwin 简述	15
2.1.2	Cygwin 安装与设置	15
2.1.3	Cygwin 使用	18
2.2	安装 Linux	18
2.2.1	安装虚拟机	19
2.2.2	在虚拟机上安装 Linux	21
2.2.3	安装 VMware Tools 和实现文件共享	26
2.3	工具软件	28
2.3.1	GNU gcc 编译器	28
2.3.2	NASM 汇编器	29
2.3.3	GNU gdb 调试器	31
2.4	Bochs PC 模拟器	34
2.4.1	Bochs 安装和使用	34
2.4.2	在 Bochs 中运行 GeekOS	36
第 3 章	make 工具和 makefile 规则	38
3.1	makefile 文件	38

3.1.1	makefile 文件内容	38
3.1.2	makefile 规则	39
3.1.3	makefile 文件示例	39
3.1.4	make 工作原理	41
3.1.5	makefile 宏	42
3.1.6	make 隐含规则	43
3.1.7	clean 命令的应用	44
3.2	GeekOS 的 makefile 文件	45
第 4 章	PC 启动原理及 GeekOS 启动程序	51
4.1	PC 启动原理	51
4.1.1	计算机系统启动	51
4.1.2	引导程序	52
4.1.3	内核程序导入	53
4.2	保护模式	54
4.2.1	保护模式	54
4.2.2	实模式和保护模式	55
4.2.3	进入保护模式	58
4.3	GeekOS 启动程序分析	59
4.3.1	fd_boot.asm 代码分析	59
4.3.2	setup.asm 代码分析	64
4.3.3	lowlevel.asm 代码分析	69
第 5 章	GeekOS 进程管理	77
5.1	GeekOS 进程状态及转换	77
5.2	GeekOS 内核进程	78
5.2.1	内核进程控制块	78
5.2.2	GeekOS 系统中最早的内核进程	79
5.2.3	内核进程对象	81
5.3	进程调度	82
5.3.1	内核进程切换	82
5.3.2	用户进程切换	82
5.3.3	GeekOS 进程调度策略	83
5.4	内核进程主要操作函数	84
5.4.1	Init_Thread 函数	84
5.4.2	Create_Thread 函数	85
5.4.3	Destroy_Thread 函数	85
5.4.4	Reap_Thread 函数	86

5.4.5	Detach_Thread 函数	86
5.4.6	Start_Kernel_Thread 函数	87
5.4.7	Setup_Kernel_Thread 函数	87
5.4.8	Make_Runnable 函数	88
5.4.9	Make_Runnable_Atomic 函数	88
5.4.10	Get_Current 函数	88
5.4.11	Get_Next_Runnable 函数	89
5.4.12	Schedule 函数	89
5.4.13	Join 函数	89
5.4.14	Lookup_Thread 函数	90
5.4.15	Wait 函数	90
5.4.16	Wake_Up 函数	91
5.4.17	Wake_Up_One 函数	91
5.4.18	Dump_All_Thread_List 函数	92
第 6 章	GeekOS 分页存储管理	93
6.1	存储器分页管理机制	93
6.2	线性地址到物理地址的转换	94
6.2.1	映射表结构	94
6.2.2	表项格式	94
6.2.3	线性地址到物理地址的转换	95
6.2.4	不存在的页表	96
6.2.5	页的共享	97
6.3	页级保护和虚拟存储器支持	97
6.3.1	页级保护	97
6.3.2	虚拟存储器技术	98
6.4	页故障	99
6.5	GeekOS 分页系统数据结构	100
6.5.1	页目录表和页表项数据结构	100
6.5.2	物理页数据结构和页状态	100
6.6	GeekOS 分页系统主要操作函数	101
6.6.1	Alloac_Page 函数	101
6.6.2	Alloac_Pageable_Page 函数	102
6.6.3	Find_Page_To_Page_Out 函数	103
6.6.4	Free_Page 函数	104
6.6.5	Page_Fault_Handler 函数	105
6.6.6	Print_Fault_Info 函数	105

第 7 章	GeekOS 文件系统	107
7.1	GeekOS 文件系统框架	107
7.2	虚拟文件系统层	108
7.3	高速缓冲区	108
7.4	PFAT 文件系统	110
7.5	PFAT 文件系统操作函数	111
7.5.1	Copy_Stat 函数	111
7.5.2	PFAT_FStat 函数	112
7.5.3	PFAT_Read 函数	112
7.5.4	PFAT_Write 函数	113
7.5.5	PFAT_Seek 函数	114
7.5.6	PFAT_Read_Entry 函数	114
7.5.7	PFAT_Lookup 函数	114
7.5.8	Get_PFAT_File 函数	115
7.5.9	PFAT_Open 函数	116
7.5.10	PFAT_Open_Directory 函数	117
7.5.11	PFAT_Mount 函数	118
7.5.12	Init_PFAT 函数	120
7.5.13	Register_Filessystem 函数	120
7.6	虚拟文件系统函数	121
7.6.1	Unpack_Path 函数	121
7.6.2	Lookup_Filessystem 函数	122
7.6.3	Lookup_Mount_Point 函数	122
7.6.4	Format 函数	123
7.6.5	Mount 函数	123
7.6.6	Open 函数	125
7.6.7	Do_Open 函数	125
7.6.8	Close 函数	126
7.6.9	Read 函数	126
7.6.10	Write 函数	126
7.6.11	Seek 函数	127
7.6.12	Create_Directory 函数	127
7.6.13	Delete 函数	127
第 8 章	GeekOS 设计项目 0	129
8.1	项目设计目的	129
8.2	项目设计要求	129

8.3	GeekOS 键盘处理函数	129
8.4	项目设计提示	134
第 9 章	GeekOS 设计项目 1	135
9.1	项目设计目的	135
9.2	项目设计要求	135
9.3	ELF 文件格式	135
9.3.1	可执行文件	135
9.3.2	ELF (可执行连接格式)	136
9.3.3	ELF Header	136
9.3.4	程序头部 (Program Header)	137
9.3.5	节区头部表格 (section header table)	138
9.4	用户可执行程序装入	138
9.5	项目设计提示	139
第 10 章	GeekOS 设计项目 2	144
10.1	项目设计目的	144
10.2	项目设计要求	144
10.3	项目设计提示	145
10.3.1	GeekOS 的用户态进程	145
10.3.2	用户态进程空间	147
10.3.3	用户堆栈空间初始化	149
10.3.4	用户态进程创建	149
第 11 章	GeekOS 设计项目 3	152
11.1	项目设计目的	152
11.2	项目设计要求	152
11.3	项目设计提示	152
11.3.1	GeekOS 进程调度处理过程	152
11.3.2	四级反馈队列调度策略实现	154
11.3.3	进程调度策略评价	156
11.3.4	GeekOS 系统中的进程同步	156
第 12 章	GeekOS 设计项目 4	161
12.1	项目设计目的	161
12.2	项目设计要求	161
12.3	项目设计提示	162
12.3.1	为内核程序空间建立页表	162

12.3.2	为用户进程建立页表.....	163
12.3.3	请求分页技术实现.....	164
12.3.4	进程终止处理.....	166
12.3.5	系统完善处理.....	166
第 13 章	GeekOS 设计项目 5	167
13.1	项目设计目的.....	167
13.2	项目设计要求.....	167
13.3	项目设计提示.....	168
13.3.1	GOSFS 磁盘格式	168
13.3.2	文件与目录	169
13.3.3	GOSFS 文件系统数据结构和操作	170
参考文献		175

1.1 引言

操作系统是管理系统软、硬件资源，控制程序运行，改善人机界面，提供各种服务，合理组织计算机工作流程和为用户有效使用计算机提供良好运行环境的系统软件，它为用户使用计算机提供一个方便、灵活、安全、可靠的工作环境，也是其他应用软件赖以存在的基础。操作系统是计算机系统的重要组成部分，操作系统课程是计算机教育的必修课程，作为计算机专业的核心课程，不但高校计算机相关专业的学生必须学习操作系统，从事计算机行业的从业人员也需要深入了解它。

计算机操作系统课程是理论性和实践性都较强的课程，具有概念多、抽象、涉及面广的特点。在设置操作系统课程教学要求时，教师就要考虑对学生作出什么样的要求。是纯理论的对书本习题和概念作出解答就可以了呢，还是要求学生能动手参与实践。实践也有不同程度的要求，是单纯的实现操作系统的某些算法呢，还是实际编写或修改操作系统功能模块。由于实践环境的限制，许多高校目前都偏重对理论知识的要求，注重基本理论知识的掌握和一些典型算法的实践（一般选择 UNIX 或 Linux 作为实验环境，要求学生用 C 语言编程实现简单的进程创建、进程调度等算法），所以学生基本没有机会去了解、实践操作系统的内部结构和实现技术。实践证明，要真正学好操作系统原理和设计技术，最好的方法就是让学生参与到操作系统的开发工作中。因此，越来越多的高校在开设操作系统理论课程的同时，会要求学生能对现有操作系统进行功能改进或再开发，以增加学生对操作系统核心技术的实践，真正做到理论与实践相结合。

那么，能用作学生操作系统课程实践的平台有哪些呢？大家一般很容易想到使用现有的商业操作系统和开放源代码的操作系统，也有很多这样的操作系统可供学生选择，比较流行的有 Linux、Minix 等。虽然也有一些学校确实采用这些操作系统作为实践平台，但采用这些

操作系统存在的缺点也是不容忽视的：这些操作系统一般都结构庞大，过于复杂，学生在短时间内很难理解，而且这些操作系统几乎已经实现了所有的功能（进程管理、存储器管理、文件系统等），不需要学生自行设计或实现一些子系统，因此从教学实践的角度讲，价值不高。最好的方法不是选择一个完整的、实用的、庞大的商业操作系统，而是选择一个既具备基本操作系统核心功能，与实际使用的操作系统比较接近，但又易于理解、规模较小的操作系统作为教学平台，在这个教学平台上，学生可以修改和扩充基本系统以实现更多功能，这种操作系统称为教学操作系统。

当我们决定选用教学操作系统作为我们的操作系统课程实践平台后，剩下的工作就是在现有的多种教学操作系统中选择一种。教学操作系统有两大类，一类是针对 RISC 结构 MIPS 处理器的，另外一类是针对 CISC 结构的 Intel IA-32（或 X86）通用处理器的。这样分类是因为：处理器是操作系统运行的硬件环境中最重要的部分。

针对 RISC 结构 MIPS 处理器的教学操作系统有 Nachos（Not Another Completely Heuristic Operating System）和 OS/161。其中 Nachos 是建立在软件模拟的虚拟机之上的教学操作系统，采用 MIPS R2/3000 的指令集，能模拟主存、中断、网络以及磁盘系统等所必须的硬件系统，美国加州大学伯克利分校多次采用该操作系统作为课程设计平台。OS/161 是运行在与操作系统无关的 System/161 模拟器上的，操作系统代码是 MIPS 对应的机器代码。但无论是 Nachos 还是 OS/161，若学生使用 Windows 或 Linux 开发环境的话，都需要使用交叉编译器才能把代码编译成 MIPS 相应的机器代码。

Minix 和 GeekOS 是针对 CISC 结构的 Intel IA-32（或 X86）通用处理器的。其中，Minix 是 Andrew S. Tanenbaum（AST）于 1987 年开发的，目前主要有 1.5 版和 2.0 版两个版本在使用。Minix 系统是免费的，可以从许多 FTP 上下载，但 Minix 是一个包括了虚拟内存管理、文件系统、设备驱动程序、网络和用户态程序等的比较完整的操作系统，它由两万多行代码组成，对于教学有点过于庞大和复杂，而且由于它已经实现了操作系统的全部基本功能，没有留下合适的练习让学生自己完成。

大家知道，最通用的处理器是 CISC 结构的 Intel IA-32（或 X86）通用处理器，所以选用针对该结构的教学操作系统是比较合适的，我们选用 GeekOS 作为操作系统课程设计平台主要原因还有：它是一个用 C 语言开发的操作系统，学生可以在 Linux 或 UNIX 环境下对其进行功能扩充，也可以在 Windows 下使用 Cygwin 工具进行开发，且其针对进程、文件系统、存储管理等操作系统核心内容分别设计了 7 个难度逐渐增加的项目供教师选择。我们将在后面的章节中详细为大家介绍 GeekOS 教学操作系统。

1.2 GeekOS 教学操作系统

1.2.1 GeekOS 概述

GeekOS 是一个基于 X86 架构的 PC 上运行的微操作系统内核，由美国马理兰大学的教师开发，主要用于操作系统课程设计，目的是使学生能够实际动手参与到一个操作系统的开发工作中。出于教学目的，这个系统内核设计简单，却又兼备实用性，它可以