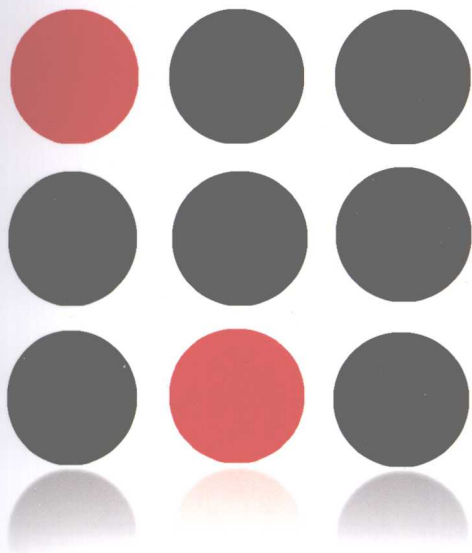


 高等院校计算机专业课程综合实验系列规划教材



丛书主编 何钦铭 陈根才

李善平 季江民 尹康凯 编著

蒋宗礼 主审

操作系统 课程设计



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

浙江大学魏绍相计算机教材建设基金资助
高等院校计算机专业课程综合实验系列规划教材

操作系统课程设计

李善平 季江民 尹康凯 编著

蒋宗礼 主审



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

操作系统课程设计 / 李善平, 季江民, 尹康凯编著.
杭州: 浙江大学出版社, 2009.6
(高等院校计算机专业课程综合实验系列规划教材)
ISBN 978-7-308-06798-0

I. 操… II. ①李…②季…③尹… III. 操作系统 - 课程
设计 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 083026 号

操作系统课程设计

李善平 季江民 尹康凯 编著
蒋宗礼 主审

丛书主编 何钦铭 陈根才

策 划 黄娟琴 希 言

责任编辑 黄娟琴

封面设计 陈 辉

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 临安市曙光印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 21.25

字 数 504 千

版 次 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 978-7-308-06798-0

定 价 38.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

序 言

近 10 多年来,以计算机和通信技术为代表的信息技术迅猛发展,并已深入渗透到国民经济与社会发展的各个领域。信息技术成为国家产业结构调整 and 推动国民经济与社会快速发展的最重要的支撑技术。与此同时,深入掌握计算机专业知识、具有良好系统设计与分析能力的计算机高级专业人才在社会上深受欢迎。

计算机科学与技术是一门实践性很强的学科。良好的系统设计和分析能力的培养需要通过长期、系统的训练(包括理论和实践两方面)才能获得。高等学校的实践教学一般包括课程实验、综合性设计(课程设计)、课外科技活动、社会实践、毕业设计等,基本上可以分为三个层次:第一,是紧扣课堂教学内容,以掌握和巩固课程教学内容为主的课程实验和综合性设计;第二,是以社会体验和科学研究体验为主的社会实践和课外科技活动;第三,是以综合应用专业知识和全面检验专业知识应用能力的毕业设计。课程实践(含课程实验和课程设计)是大学教育中最重要也最基础的实践环节,直接影响后继课程的学习以及后继实践的质量。由于课程设计是以培养学生的系统设计与分析能力为目标,通过团队式合作、研究式分析、工程化设计完成较大型系统或软件的设计题目的,因此课程设计不仅有利于学生巩固、提高和融合所学的专业课程知识,更重要的是能够培养学生多方面的能力,如综合设计能力、动手能力、文献检索能力、团队合作能力、工程化能力、研究性学习能力、创新能力等。

浙江大学计算机学院在专业课程中实施课程设计(project)已有 10 多年的历史,积累了丰富的经验和资料。为全面总结专业课程设计建设的经验,推广建设成果,我们特别组织相关课程的骨干任课教师编写了这套综合实验系列教材。本系列教材的作者们不仅具有丰富的教学和科研经验,而且是浙江大学计算机学院和软件学院的教学核心力量。这支队伍目前已经获得了两门国家精品课程以及四门省部级精品课程,出版了几十部教材。

本套教材由《C 程序设计基础课程设计》、《软件工程课程设计》、《数据结构课程设计》、《数值分析课程设计》、《编译原理课程设计》、《逻辑与计算机设计基础实验与课程设计》、《操作系统课程设计》、《数据库课程设计》、《Java 程序设计课程设计》、《面向对象程序设计课程设计》、《计算机组成课程设计》、《计算机体系结构课程设计》和《计算机图形学课程设计》等十三门课程的综合实验教材所组成。该系列教材构思新颖、案例丰富,许多案例直接取材于作者多年教学、科研以及企业工程经验的积累,适用于作为计算机以及相关专业课程设计的实验教材;也适用于对计算机有浓厚兴趣的专业人士进一步提升计算机的系统设计

与分析能力。从实践的角度出发,大部分教材配备了随书光盘,以方便读者练习。

可以说,本套教材涵盖了计算机专业绝大部分必修课程和部分选修课程,是一套比较完整的专业课程设计系列教材,也是国内第一套由研究型大学计算机学院独立组织编写的专业课程设计系列教材。鉴于书中难免存在的谬误之处,敬请读者指正,以便不断完善。

主编 何钦铭、陈根才

2007 年 6 月于求是园

前 言

学习计算机专业知识必须动手实践。

那么学习操作系统怎么实践呢？我们近年来承担了浙江大学计算机科学与技术学院及软件学院操作系统类课程的教学,更需认真思考、回答这个问题了。

首先面临的问题是如何选择实验对象和环境。Linux 操作系统内核是一个较好的选择。其强大的生命力源自其开放的源代码。我们在 Linux 内核分析方面小有积累,也编写了几本教材。2006 年,我们的“操作系统”课程被评为国家精品课程。

我们自己在学习 Linux 过程中,耗费了许多精力和时间搜集资料,又耗费了许多精力和时间分析、整理这些资料。我们开设了一个网站(<http://os.zju.edu.cn>)作为交流平台,还需要投入更大精力,特别希望集众人之力,使它不断丰富,发挥更大的作用。

本书介绍了 Linux 操作系统机制,分析了部分 Linux 内核代码,并列出了操作系统针对性的实验;从 Linux 操作系统环境、系统调用、定时器、内核模块、进程调度、虚拟存储、文件系统,循序渐进到 Linux 内核的改动。Linux 操作系统环境使用放在本书的附录中,对于没有学习过 Linux 操作系统命令的读者来说,需要掌握这方面的知识。

另一方面,我们本身也是程序员,对程序设计过程中的“创造性”有一定的体会。建议读者在使用本书时,大可不必循规蹈矩,读者可以用自己的思路学习 Linux 内核,这样既学到 Linux 源程序本身,更学到程序的“灵魂”。

本书是操作系统课程的实验教材,适合计算机及相关专业的本科生使用。所以,在书的编排上由浅入深,也自成单元。根据我们的经验,按照本书章节的顺序做实验是比较合适的。

全书由李善平、季江民、尹康凯共同编写,阅读后敬请读者提出宝贵意见。作者邮箱:jijm@cs.zju.edu.cn。

作 者

2009 年 3 月

目 录

第 1 章 操作系统课程设计概要	1
1.1 课程设计目的	1
1.2 课程设计实验报告基本要求	2
1.3 课程设计实验报告样例	2
第 2 章 Linux 操作系统环境	5
第 3 章 编译 Linux 内核	12
3.1 Linux 内核基础	12
3.1.1 Linux 源程序的目录分布	13
3.1.2 kernel 目录	14
3.1.3 mm 目录	15
3.1.4 fs 目录	15
3.1.5 arch 目录	16
3.1.6 include 目录	16
3.1.7 net 目录	16
3.2 实验 编译 Linux 内核	16
3.2.1 下载内核源代码	17
3.2.2 部署内核源代码	17
3.2.3 配置内核	17
3.2.4 编译内核和模块	18
3.2.5 启动 Linux 内核	19
3.2.6 应用 grub 配置启动文件	21
第 4 章 系统调用	23
4.1 系统调用基础知识	23
4.1.1 一个使用系统调用的例子	23
4.1.2 系统调用是什么	24
4.1.3 为什么需要系统调用	24
4.2 Linux 系统调用实现机制分析	25

4.2.1	entry.S 汇编文件	25
4.2.2	traps.c(arch/i386/kernel/traps.c) 文件	32
4.2.3	系统调用中普通参数的传递及 unistd.h	33
4.2.4	getuid() 系统调用的实现	41
4.3	实验 1 添加一个简单系统调用	43
4.4	实验 2 添加一个更复杂的系统调用	45
第 5 章	进程管理	49
5.1	Linux 进程	49
5.1.1	进程是什么	49
5.1.2	Linux 进程控制块	50
5.2	Linux 进程创建及分析	65
5.2.1	第一个进程	65
5.2.2	fork、clone、kernel_thread	69
5.2.3	exec 装载与执行进程	84
5.2.4	Linux 中的线程	88
5.3	实验 1 分析系统调用 sys_exit 函数	89
5.4	实验 2 用 fork() 创建子进程	90
5.5	实验 3 用 clone() 创建子进程	91
第 6 章	/proc 文件系统	95
6.1	/proc 文件的介绍	95
6.1.1	系统信息	97
6.1.2	进程信息	99
6.2	/proc 文件系统的使用	100
6.2.1	创建与删除 proc 文件	101
6.2.2	读写 proc 文件	103
6.3	/proc 文件系统分析	105
6.3.1	/proc 文件数据结构定义	105
6.3.2	/proc 下文件的创建和删除	108
6.3.3	/proc 下超级块和索引节点的操作	112
6.3.4	/proc 文件系统初始化	115
6.4	实验 1 分析/proc 文件系统初始化	115
6.5	实验 2 /proc 文件系统的一个简单应用	116
第 7 章	内核模块	121
7.1	什么是内核模块	121
7.2	内核模块实现机制	123
7.2.1	内核模块和应用程序的比较	123

7.2.2 内核符号表	124
7.2.3 模块依赖	124
7.2.4 内核代码分析	124
7.3 如何使用内核模块	132
7.3.1 模块的加载	132
7.3.2 模块的卸载	132
7.3.3 模块实用程序 modutils	133
7.4 实验1 编写一个简单的内核模块	134
7.5 实验2 多文件内核模块的实现	135
第8章 虚拟内存管理	141
8.1 Linux 虚拟内存管理	141
8.1.1 虚拟内存的抽象模型	141
8.1.2 Linux 的分页管理	143
8.1.3 虚存段(vma)的组织和管理	146
8.1.4 页面分配与回收	150
8.2 实验1 统计系统缺页次数	167
8.3 实验2 统计一段时间内系统缺页次数	171
第9章 时钟与定时器	176
9.1 时钟和定时器介绍	176
9.1.1 系统时钟	177
9.1.2 定时器	177
9.1.3 bottom half	178
9.2 Linux 系统时钟	179
9.2.1 系统时钟的正常运行	180
9.2.2 系统时钟的设置和调整	187
9.3 Linux 系统定时器	194
9.3.1 定时器的实现机制	194
9.3.2 定时器具体实现	195
9.4 实验1 一个简单的定时器的实现	204
9.5 实验2 统计进程的时间	206
第10章 文件系统	212
10.1 Linux 文件系统概念	212
10.2 VFS 文件系统分析	213
10.2.1 什么是VFS文件系统	213
10.2.2 为什么需要VFS	214
10.2.3 VFS 文件系统的结构	214

10.2.4	进程与文件的关系	229
10.2.5	文件系统的安装(mount)	231
10.2.6	路径的定位和查找	238
10.3	ext2 文件系统	245
10.3.1	ext2 体系结构	246
10.3.2	ext2 的关键数据结构	247
10.3.3	ext2 的操作实现	251
10.3.4	ext2 数据块分配机制	252
10.4	文件操作分析	253
10.4.1	open 操作	253
10.4.2	read 操作	255
10.4.3	ext2 的 read、write 操作	258
10.5	实验1 分析 close 和 write 操作	263
10.6	实验2 添加一个文件系统	263
附录	Linux 操作系统环境	278
参考文献		327

1.1 课程设计目的

操作系统是计算机科学与技术领域中最为活跃的学科之一,因而操作系统课程也自然是计算机专业的一门核心专业基础课。操作系统课程内容综合了基础理论教学、课程实践教学、最新技术追踪等多项内容。但由于操作系统的高度复杂性,使得它成为专业课中最难学的课程之一。

通过对操作系统原理的学习,要求理解操作系统在计算机系统中的作用、地位和特点,熟练掌握和运用操作系统在进行计算机软硬件资源管理和调度时常用的概念、方法、策略、算法、手段等。

操作系统课程概念多、内容广、难度大、抽象强。因此,操作系统课程的学习面临这样一些难题:如何形象化地学习和理解抽象的操作系统概念及原理,如何紧跟飞速发展的操作系统技术。为了解决这些问题,我们认为不但要学好操作系统原理,还要加强操作系统实验。操作系统实验可帮助学生理论联系实际,巩固和复习所学过的操作系统概念与原理;也增强学生的实践能力,培养学生的动手能力,提高学生综合分析问题和解决问题的能力。

Linux 是目前常用的流行操作系统之一,其最大的特点是开放源代码。使用 Linux 操作系统和分析 Linux 内核代码是学习操作系统课程的很好选择。通过对 Linux 操作系统内核源代码的分析和实践,可以帮助学生对操作系统的用户界面和编程界面、体系结构、各组成部分的实现技术等,有更深入的整体认识;帮助学生进一步掌握操作系统原理。

Linux 内核的学习可以分两个阶段:在 Linux 内核分析阶段,通过阅读 Linux 内核源代码,改变部分内核源程序,改变系统行为,从而学习操作系统各个组成部分的实现机理,巩固操作系统原理知识。在 Linux 内核改进阶段,通过深入、综合分析 Linux 操作系统的实现机理,通过一定规模的源代码重写,使 Linux 系统功能或行为产生实质性变化,这个阶段可以锻炼学生综合知识运用的能力。

本书第2章为 Linux 操作系统环境实验,对于已经掌握 Linux 命令行界面各种命令使用的学生,可以跳过这个实验。对于本书第3~10章内容,每章可以安排1~2个实验。

在实验过程中,要深入 Linux 内核,分析源代码,了解它的工作原理。学生可以自主设计实验方案,编制实验步骤,整理实验结果,并且反映到实验报告中。

1.2 课程设计实验报告基本要求

本课程主要有两类实验,第一类是 Linux 操作系统环境和内核代码分析;第二类是在 Linux 环境下,通过修改内核、编译内核、编写用户态程序,来完成实验。每完成一个实验,要提交一个按照规范撰写的实验报告。

对于第一类实验,只要在实验报告中写出操作结果或内核代码的分析结果。

对于第二类实验,在实验报告中,要求写出实验方法和步骤、提交源程序、实验过程中的屏幕截图和运行结果等。在实验报告的“实验结果和分析”部分,要分析实验的最终结果,分析实验中产生异常的原因。在 Linux 内核实验中,会出现各种各样的问题。这些问题是怎样产生的,又是如何解决的,都可以写进实验报告的“讨论和心得”部分。

1.3 课程设计实验报告样例

操作系统课程设计实验报告

实验名称: 重建 Linux 内核 实验类型: 综合型
学生姓名: 张布尔 专业: 计算机科学与技术 学号: 106018001
指导老师: 李老师 实验日期: 2008 年 9 月 21 日

一、实验目的

学习重新编译 Linux 内核,理解、掌握 Linux 内核和发行版本的区别。

二、实验内容

重新编译内核。要求在 RedHat Fedora Core 5 的 Linux 系统里,下载并重新编译其内核源代码;然后配置 GNU 的启动引导工具 grub,成功运行刚刚编译的 Linux 内核。

三、操作方法和实验步骤

1. 查找并且下载一份内核源代码

在 Linux 的官方网站: www.kernel.org, 下载内核版本。

.....

2. 部署内核源代码

将压缩包移到主目录下:

```
# mv linux-2.6.17.tgz ~
```

进入主目录:

```
# cd ~
```

解开 rpm 包

```
# tar zxvf linux-2.6.17.tgz
```

解压出来的是 linux-2.6.17 目录,目录里是 2.6.17 的内核源代码目录树。

.....

3. 配置内核

在编译内核前,一般来说都需要对内核进行相应的配置,配置可以精确控制新内核功能。配置过程也控制哪些需编译到内核的二进制映像中(在启动时被载入),哪些是需要时才装入的内核模块(module)。

.....

4. 编译内核和模块

用 make 工具编译内核:

```
#make
```

.....

5. 应用 grub 配置启动文件

编辑/boot/grub/grub.conf 文件,修改系统引导配置。使用 vi 编辑工具:

```
# vi /boot/grub/grub.conf
```

.....

四、实验结果和分析

解压内核压缩包,如图 1.1 所示。

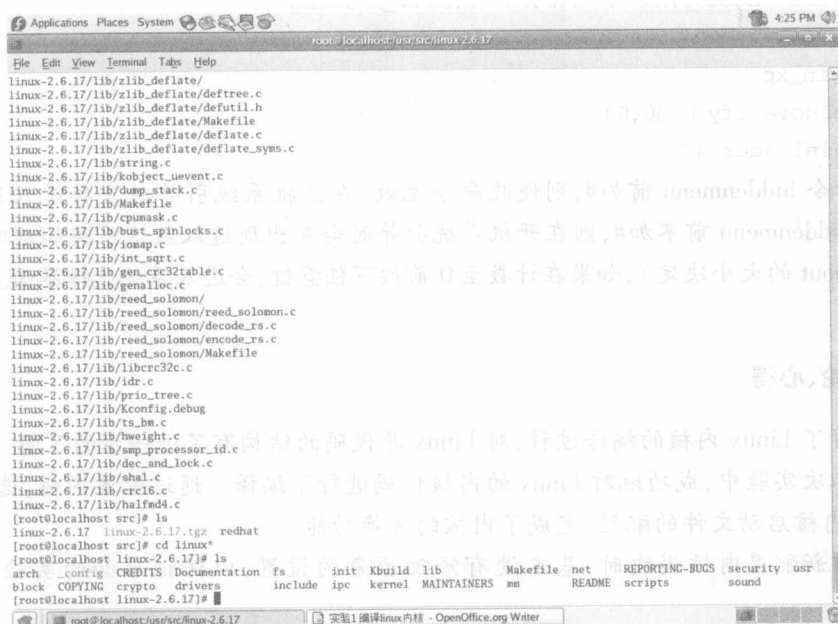


图 1.1 解压内核压缩包

.....

grub.conf 文件内容如下:

```
# grub.conf generated by anaconda
#
# Note that you do not have to rerun grub after making changes to this file
# NOTICE: You do not have a /boot partition. This means that
#           all kernel and initrd paths are relative to /, eg.
#           root (hd0,5)
#           kernel /boot/vmlinuz -version ro root = /dev/hda6
#           initrd /boot/initrd -version.img
#boot = /dev/hda
default =2
timeout =10
splashimage = (hd0,5)/boot/grub/splash.xpm.gz
hiddenmenu
title Fedora Core (2.6.17)
    root (hd0,5)
    kernel /boot/vmlinuz -2.6.17 ro root = LABEL = /rhgb quiet
    initrd /boot/initrd -2.6.17.img

title Fedora Core (2.6.15 -1.2054_FC5)
    root (hd0,5)
    kernel /boot/vmlinuz -2.6.15 -1.2054_FC5 ro root = LABEL = /rhgb quiet
    initrd /boot/initrd -2.6.15 -1.2054_FC5.img

title win_xp
    rootnoverify (hd0,0)
    chainloader +1
```

若在命令 `hiddenmenu` 前加`#`,则使此命令无效,在开机系统引导时直接进入选择界面。
若在命令 `hiddenmenu` 前不加`#`,则在开机系统引导时会先出现进入默认系统的延时计数(计数值由 `timeout` 的大小决定),如果在计数至 0 前按下任意键,会进入系统选择界面。

.....

五、讨论、心得

1. 学习了 Linux 内核的编译过程,对 Linux 源代码的结构有了进一步的了解。
2. 在本次实验中,成功地对 Linux 的内核代码进行了编译。通过配置内核,选择加载模块;通过对内核启动文件的配置,完成了内核的替换功能。
3. 在重新配置内核模块时,基本没有修改原来的设置,以保证后面的实验不会出大差错。
4. 重新编译整个内核的时间耗时 40 分钟左右。
5. 一般来说,编译完内核后不用 `make clean` 命令,下次编译时时间会更快。

.....

第2章

Linux 操作系统环境

【实验目的】

- 掌握 Linux 常用的命令。
- 掌握 Linux 环境下的一些编程工具。

【实验内容】

(1)使用 man 和 info 命令来获得每个 Linux 命令的帮助手册,用 man ls,man passwd,info pwd 命令得到 ls、passwd、pwd 三个命令的帮助手册;也可以使用:命令名 -- help 格式来显示该命令的帮助信息,如 who -- help。通过 Linux 的 man、info 命令查找得到下面的 shell 命令、系统调用和库函数功能描述及每个命令使用例子,填写表 2.1。

表 2.1 Linux 常用命令

命令	命令功能的简要描述	实例
ls		
who		
mkdir		
cp		
cd		
pwd		
open		
read		
write		
pipe		
socket		
printf		

(2)使用 whoami 命令找到用户名。使用下面的命令显示计算机系统信息:uname(显示操作系统的名称),uname -n(显示系统域名),uname -p(显示系统的 CPU 名称)。

- ①你的用户名是什么?
- ②你的操作系统名字是什么?
- ③你的计算机系统的域名是什么?

④你的计算机系统的 CPU 名字是什么?

(3)在你的主目录下建立如图 2.1 所示的目录树。给出完成这项工作的所有会话(会话是指你的命令的输入和结果的输出,你提交的实验报告应包含这些内容)。

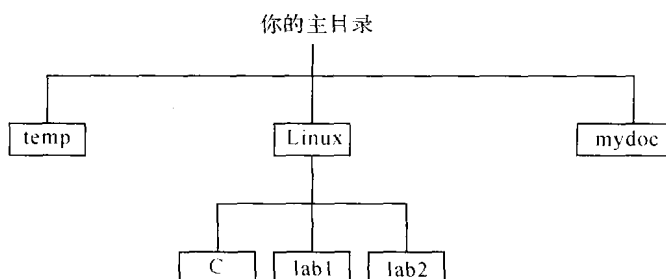


图 2.1 目录树

(4)通过(3)所建立的目录树,在主目录下,执行 `cd Linux/lab1` 命令,回答下列问题:

①你的主目录的绝对路径是什么? 给出获得该绝对路径的命令及命令输出。

②给出 lab1 目录的两个相对路径。

③给出获得你的主目录的 3 个不同命令。

(5)Linux 系统规定,隐含文件是首字符为“.”的文件,如 .profile。在你的系统中查找 .bash_profile 和 .bash_logout 文件,它们在什么地方,给出这两个文件的部分内容。

(6)下面这些目录的 inode 号是多少: root、你的主目录(home directory)、~/temp、~/mydoc 和 ~/Linux/lab? 写出会话过程。

(7)在 lab1 目录下,用文本编辑器创建一个名字为 lab 的文件,文件的内容为:“Use a text editor to create a file called lab1 under the labs directory in your directory hierarchy. The file should contain the text of this problem.”回答下列问题:

①lab 文件的类型,用 Linux 命令回答这个问题,给出会话过程。

②lab 文件内容的类型,用 Linux 命令回答这个问题,给出会话过程。

(8)在 Linux 系统中,头文件以 .h 为扩展名。在 /usr/include 目录中,显示所有以 t 字母开头的头文件的名字,给出会话过程。

(9)创建几个大小不等的文本文件,供本实验和后面几个实验用。用 `man cat > mediumFile` 命令创建中等大小的文件;用 `man bash > largeFile` 命令创建一个文件;再创建一个名字为 smallFile 关于学生数据的小文件,文件每行内容如下,第一行为各自段的含义,注意字段之间用 tab 符隔开。

FirstName	LastName	Major	GPA	Email	Phone
Al	Davis	CS	2.63	davis@ a.lakers.org	41.222.2222
Ahmad	Rashid	MBA	3.04	ahmad@ mba.org	41.222.4444
Sam	Chu	ECE	3.68	chu@ sam.ab.com	41.222.5555
Arun	Roy	SS	3.86	roy@ ss.arts.edu	41.222.8888
Rick	Marsh	CS	2.34	marsh@ a.b.org	41.222.6666
Nabeel	Ali	EE	3.56	ali@ ee.eng.edu	41.41.8888

Tom	Nelson	ECE	3.81	nelson@tn.abc.org	41.41.6666
Pat	King	SS	3.77	king@pk.xyz.org	41.41.7777
Jake	Zulu	CS	3.00	zulu@jz.sa.org	41.41.9999
John	Lee	EE	3.64	jlee@j.lee.com	41.41.2222
Sunil	Raj	ECE	3.86	raj@sr.cs.edu	41.41.3333
Charles	Right	EECS	3.31	right@cr.abc.edu	41.41.4444
Aziz	Inan	EECS	3.75	ainan@ai.abc.edu	41.41.44

(10)使用 `cat` 和 `nl` 命令显示 `smallFile` 文件内容并显示行号,两个命令的输出应该完全相同。给出完成这项任务的命令。

(11)本实验目的是观察使用带 `-f` 选项的 `tail` 命令及学习如何使用 `gcc` 编译器,并观察进程运行。请查找下面源程序中函数(或系统调用)的功能。首先复制 `smallFile` 文件,文件名为 `dataFile`;然后创建一个文件名为 `lab6.c` 的 C 语言文件,内容如下:

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int i;
    i = 0;
    sleep(10);
    while (i < 5) {
        system("date");
        sleep(5);
        i ++;
    }
    while (1) {
        system("date");
        sleep(10);
    }
}
```

在 shell 提示符下,依次运行下列 3 个命令:

```
$ gcc -o generate lab6.c
$ ./generate > > dataFile &
$ tail -f dataFile
```

①第一个命令生成一个 C 语言的可执行文件,文件名为 `generate`。

②第二个命令是每隔 5 秒和 10 秒把 `date` 命令的输出追加到 `dataFile` 文件中,这个命令为后台执行,注意在后台执行的命令尾部加上 `&` 字符。

③最后一个命令 `tail -f dataFile`,显示 `dataFile` 文件的当前内容和新追加的数据。

在输入 `tail -f` 命令 1 分钟左右后,按 `<Ctrl> + <C>` 终止 `tail` 程序。用 `kill -9 pid` 命令终止 `generate` 后台进程的执行。

最后用 `tail dataFile` 命令显示文件追加的内容。给出这些过程的会话。