

COMPUTER

高等院校计算机技术



“十二五”规划教材

(第三版)

Linux 程序设计

◎ 金国庆 刘加海 季江民 谢 井 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

Linux 程序设计

(第三版)

金国庆 刘加海 季江民 谢 井 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

Linux 程序设计 / 金国庆等编著. —3 版. —杭州:
浙江大学出版社, 2017.9 (2018.1 重印)
ISBN 978-7-308-17148-9
I. ①L… II. ①金… III. ①Linux 操作系统—程序设
计 IV. ①TP316.85
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 176056 号

内容简介

本书内容包括 Linux 终端基本命令、Shell 程序设计、Linux 环境下 C 程序编译与调试技巧、系统函数的应用、文件 I/O 操作、进程的控制与进程调度、线程及线程的同步与互斥、Linux 网络程序设计、Linux 环境下的图形与游戏程序设计、字符设备驱动程序设计基础、串行通信程序设计, 最后给出 9 个主题的编程技巧与程序设计实例。

本书结构合理、概念清晰、重点突出, 案例实用性强, 大多可以直接应用在项目设计中并给出大量的、针对性的思考题, 便于举一反三, 是一本技能型 Linux 程序设计教材。本教材适合于 Linux 环境下嵌入式工程技术人员、计算机专业、软件专业及理工类的本、专科生、研究生使用。

浙江大学出版社出版了与此书配套的《Linux 程序设计实践与编程技巧》, 书中包括 17 个实验报告、课本中关键知识点的疑难解释、课本中的重点难点问题及课本中的部分习题解答。

Linux 程序设计(第三版)

金国庆 刘加海 季江民 谢 井 编著

责任编辑 周卫群

责任校对 陈静毅 刘 郡 汪淑芳

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 37.5

字 数 913 千

版 印 次 2017 年 9 月第 3 版 2018 年 1 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-17148-9

定 价 78.00 元(含光盘)

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中心联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcsb.tmall.com>

前 言

Linux 操作系统从第一个内核诞生到现在，其开放、安全、稳定的特性得到了越来越多用户的认可。它具有自由开放的源代码、真正的多用户多任务操作系统、良好的用户界面、强大的网络功能、可靠的系统安全、良好的可移植性、完整的开发平台。Linux 自由软件的低成本、安全性，促使各国政府纷纷对 Linux 采取强有力的支持。Linux 操作系统应用领域逐步扩展，从最早的 Web、FTP、邮件服务开始，逐步扩展到诸如个人桌面应用、网络安全、电子商务、远程教育、集群运算、网格运算、嵌入式系统等各个领域。

在美国等发达国家，Linux 早已应用于政府办公、军事战略以及商业运作等方方面面。我国的 Linux 应用起步相对较晚，最初只是应用在诸如政府、军队、金融、电信和证券等比较重要的行业。随着 Linux 在各个行业的广泛应用，企业对 Linux 人才的需求也将持续升温。开发具有自主知识产权的安全操作系统已经显得尤为迫切。

如今，Linux 的应用已深入各行各业，如石油勘探、中国移动短信网关系统、中国移动短信邮箱系统、中国移动内部数据同步系统、中国网通 IPTV 点播系统、中国人民银行网间互联、中国人民银行清算系统、中国建设银行网站、中国建设银行身份认证系统、北京大兴区电子政务系统等。Linux 的应用已经取得了突破性的进展。Linux 的用户已经遍布政府、教育、媒体、公共服务、金融、电信、制造等主流行业，Linux 已从最初的边缘应用逐渐往核心应用上靠拢。在我国政府的高度重视和大力支持下，短短几年，Linux 产业已经取得了迅猛发展。

十多年来，笔者一直在浙江大学计算机学院、浙江大学软件学院、LUPA（Linux 大学推进联盟）全国 Linux 师资培训中讲授《Linux 程序设计》，此课程深受本科生、研究生、高校教师的欢迎。本书最初的编写起源于 LUPA 在各高校推广 Linux 之需，后根据在浙江大学计算机学院、软件学院教学过程中发现的问题及教学的需要，重新编写了《Linux 程序设计》一书。本书共分 13 章，主要内容为：

- Linux 常用命令
- Shell 编程
- Linux 操作系统环境下 C 语言开发工具
- Linux 环境下系统函数的使用
- 文件 I/O 操作

- 进程控制
- 进程通信
- 线程
- 网络程序设计
- 图形程序设计
- 设备驱动程序设计基础
- 串行通信程序设计
- 程序设计实例

本书编写突出主题，通俗易懂。首先给出实例，通过例子论述程序设计的方法与技巧，通过大量的实例与清晰的程序流程使读者迅速掌握相关知识、编程技能与技巧，并通过大量的思考题帮助读者提高程序设计能力。希望本书能够对学习 Linux 程序设计的本科生、研究生、嵌入式工程技术人员及 Linux 程序爱好者提供帮助。

本书中的部分素材来自网络，在此对网络上提供材料的朋友们表示衷心的感谢。另有部分素材来自于浙江大学计算机学院、软件学院部分学生作业，可以说没有他们的无私帮助，是不可能完成本书的。同时衷心地感谢西北农林科技大学信息工程学院于建涛老师，对课本中存在的错误十分细致地提出了一些合理的修改建议。

本书由海军工程大学电子工程学院金国庆高级工程师，浙江大学刘加海教授、季江民副教授，海军指挥学院谢井高级工程师，华为通信有限公司高级工程师张益先，浙江经贸职业技术学院孔美云老师，浙江大学宁波理工学院唐云廷副教授，浙江大学软件学院赵斌、王群华等老师编写，全书由金国庆与刘加海老师统稿。

本书光盘中备有教学大纲、教学课件以及全书所有的源程序，部分浙江大学计算机学院、软件学院学生的作业实验报告等。由于Linux系统博大精深及编者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正，批评与建议请发到邮件Ljhqyyq@aliyun.com，以便及时修订。

浙江大学出版社出版了与此书配套的《Linux程序设计实践与编程技巧》，书中给出了一个学期的17个实验报告、课本中关键知识点的疑难解释、课本中的重点难点问题 and 课本中的部分习题解答。

目 录

CONTENTS

第 1 章 Linux 常用命令	1
1.1 帮助命令	2
1.2 文件系统命令	4
1.3 系统管理常用命令	19
1.4 网络操作常用命令	22
1.5 网络安全常用命令	25
1.6 字符串显示命令	32
1.7 Shell 的环境变量	34
1.8 文本编辑器 vi / vim	37
1.9 命令行的执行方式	41
1.10 安装 rpm 形式的软件包	42
1.11 图形化安装软件	43
思考与实验	44
第 2 章 Shell 编程	47
2.1 Bash 脚本的建立和运行	48
2.1.1 Shell 命令行	48
2.1.2 Bash 脚本的建立	48
2.2 Shell 程序的位置参数与变量	50
2.2.1 Shell 程序的位置参数	51
2.2.2 环境变量和用户定义变量	54
2.2.3 变量声明和赋值	54
2.2.4 变量引用和单双引号使用	56
2.2.5 命令替换	57

2.2.6 变量的输入	57
2.3 控制结构语句	58
2.3.1 顺序结构的语句	59
2.3.2 if-then-elif-else-fi 语句	59
2.3.3 for 语句	64
2.3.4 while 语句	68
2.3.5 until 语句	70
2.3.6 case 语句	71
2.4 其他几个常用语句	75
2.4.1 break 和 continue 语句	75
2.4.2 exit 语句	75
2.4.3 printf 语句	76
2.5 数值处理	77
2.5.1 let 命令	78
2.5.2 \$((expression))扩展	78
2.5.3 expr 命令	80
2.6 数 组	82
2.7 函 数	86
2.8 综合实例	89
思考与实验	101
第 3 章 Linux 系统 C 语言开发工具	104
3.1 第一个 Linux 环境下的 C 语言程序	105
3.2 编译 C 语言程序	106
3.2.1 gcc 编译器	106
3.2.2 gcc 编译流程	108
3.2.3 gcc 编辑器的主要参数	111
3.2.4 函数库	116
3.3 make 工程文件	121
3.3.1 make 命令	121
3.3.2 make 规则	122
3.3.3 编写 makefile 文件	123
3.3.4 Makefile 中的变量	127
3.4 gdb 调试工具	130
思考与实验	137

第 4 章 Linux 环境下系统函数的使用	140
4.1 数学函数的使用	141
4.2 字符函数的使用	144
4.3 系统时间与日期函数的使用	147
4.4 环境控制函数	154
4.5 内存分配函数	156
4.6 数据结构中常用函数	162
思考与实验	166
第 5 章 文件 I/O 操作	170
5.1 Linux 系统文件和文件系统	171
5.1.1 Linux 文件类型	171
5.1.2 Linux 文件权限	174
5.1.3 Linux 文件的其他属性	177
5.2 不带缓存的文件 I/O 操作	181
5.2.1 文件的创建	181
5.2.2 文件的打开和关闭	182
5.2.3 文件的读写操作	184
5.2.4 文件的非阻塞操作	187
5.2.5 函数 fcntl 应用及文件上锁	190
5.3 带缓存的流文件 I/O 操作	195
5.3.1 流文件的打开和关闭	196
5.3.2 流文件的读写操作	198
5.3.3 文件的定位	203
5.4 特殊文件的操作	206
5.4.1 目录文件的操作	206
5.4.2 链接文件的操作	210
思考与实验	213
第 6 章 进程控制	217
6.1 进程简介	218
6.2 Linux 进程控制	219
6.2.1 进程的相关函数	221
6.2.2 进程创建	221
6.2.3 进程终止	228
6.2.4 僵尸进程	230

6.3 Linux 守护进程240

6.3.1 守护进程及其特性240

6.3.2 编写守护进程的要点241

6.3.3 守护进程的编写242

思考与实验252

第7章 进程通信253

7.1 进程间通信255

7.2 信 号256

7.2.1 信号及其使用简介256

7.2.2 信号操作的相关函数258

7.3 管 道270

7.3.1 无名管道操作271

7.3.2 命名管道275

7.3.3 高级管道操作284

7.4 消息队列289

7.5 共享内存297

7.5.1 内存映射298

7.5.2 UNIX System V 共享内存301

思考与实验310

第8章 线 程314

8.1 线程概述315

8.2 线程创建316

8.3 线程同步与互斥322

8.3.1 互斥锁323

8.3.2 条件变量332

8.3.3 信号量342

思考与实验351

第9章 网络程序设计356

9.1 TCP/IP 简介357

9.1.1 TCP/IP 概述357

9.1.2 TCP/IP 模块结构357

9.1.3 TCP/UDP 传输方式358

9.2 网络编程	358
9.2.1 端 口	358
9.2.2 socket 端口	359
9.2.3 socket 套接口	359
9.2.4 socket 套接口的数据结构	360
9.2.5 基于 TCP 协议的客户端/服务器程序的常用函数	361
9.2.6 TCP 编程	361
9.2.7 UDP 编程	379
9.3 网络高级编程	385
思考与实验	396
 第 10 章 Linux 的图形编程	408
10.1 Linux 的图形编程简介	409
10.2 安装和使用 SDL 图形开发库	410
10.3 初始化图形模式	410
10.4 基本绘图函数的应用	416
10.5 图片与文字显示	429
10.6 动画程序设计	437
10.7 三维绘图	447
10.8 游戏程序设计初步	454
思考与实验	463
 第 11 章 设备驱动程序设计基础	482
11.1 设备驱动程序的概念	483
11.2 驱动程序的设计流程	485
11.2.1 字符驱动程序设计流程	485
11.2.2 驱动程序流程设计举例	486
11.3 Linux 字符设备驱动程序设计	489
11.3.1 字符设备驱动程序数据结构	489
11.3.2 字符设备驱动程序的基本框架	493
11.4 字符设备驱动程序实例——虚拟字符设备	494
思考与实验	500

第 12 章 串行通信	508
12.1 串行通信概述	509
12.1.1 同步通信	509
12.1.2 异步通信	509
12.2 串行通信程序的设计	510
12.2.1 串行通信程序设计流程	510
12.2.2 打开通信端口	511
12.2.3 设置串口属性	512
12.2.4 串口通信程序设计	515
思考与实验	521
第 13 章 程序设计实例	524
13.1 Shell 程序设计实例	525
13.2 系统函数的应用实例	528
13.3 文件操作	533
13.4 进程控制实例	537
13.5 进程通信	541
13.6 网络程序设计	551
13.7 图形程序设计	566
13.8 驱动程序设计	580
13.9 串口通信程序设计	582
附 录	585

第1章

Linux 常用命令

表 1.1 常用 Shell 程序

Shell 名称	存放的位置
Bourne Shell	/bin/sh 或 /usr/bin/sh
Bourne Again Shell	/bin/bash 或 /usr/bin/bash
C Shell	/bin/csh 或 /usr/bin/csh
TC Shell	/bin/tcsh 或 /usr/bin/tcsh
Korn Shell	/bin/ksh 或 /usr/bin/ksh

本章重点

1. 帮助命令。
2. 文件系统命令。
3. 系统管理命令。
4. 网络命令。
5. 字符串显示命令。
6. Shell 的环境变量。
7. 文本编辑器。
8. 命令行的执行方式。
9. rpm 命令。
10. 图形化安装服务器。

本章导读

通过对 Linux 常用命令的学习，快速掌握 Linux 操作系统中一些基本命令的用法，从而在终端应用命令方式完成操作系统的大量操作。达到快速执行的目的，如复制、删除、移动文件、文件权限修改、文件解压缩、创建账号、系统管理、网络管理与网络安全、修改系统配置等。

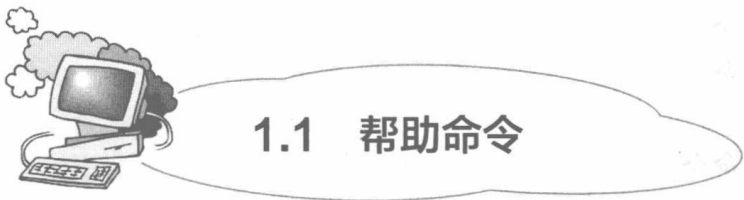
Shell 是系统的用户界面，提供了用户与内核进行交互操作的一种接口。它接收用户输入的命令并把它们送入内核去执行。实际上 Shell 是一个命令解释器，它解释由用户输入的命令并且把它们送到内核。

每个 Linux 系统发行版本中都包含了多种 Shell。目前使用最为广泛的 Shell 包括 Bash、TC Shell 和 Korn Shell 等。通常在默认情况下登录的 Shell 是 Bash。系统管理员可以为您指定使用哪种 Shell 作为登录 Shell，但登录者也可以通过命令来改变自己的默认登录 Shell。比如说，如果您的默认登录 Shell 是 Bash，但是您更喜欢用 TC Shell，您就可以通过命令 tcsh 或者 chsh 来改变默认登录 Shell。

各种发行版本的 Linux 系统中并不一定把所有的 Shell 都安装在系统中，表 1.1 中列出了 fedora core 系统中最常用的几种 Shell。各 Shell 程序均存放在“/bin/”目录下。

表 1.1 常用 Shell 程序

Shell 名称	存放的位置	程序名
Bourne Shell	/bin/sh->Bash	Bash
Bourne Again Shell	/bin/Bash	Bash
C Shell	/bin/csh->tcsh	tcsh
TC Shell	/bin/tcsh	tcsh
Korn Shell	/bin/ksh	ksh



➤ man：用来提供在线帮助，使用权限是所有用户。

man 命令使用格式如下：

man 需帮助的命令名

例 1.1 查询 ls 命令的帮助信息，如图 1.1 所示。

[root@localhost root]# man ls

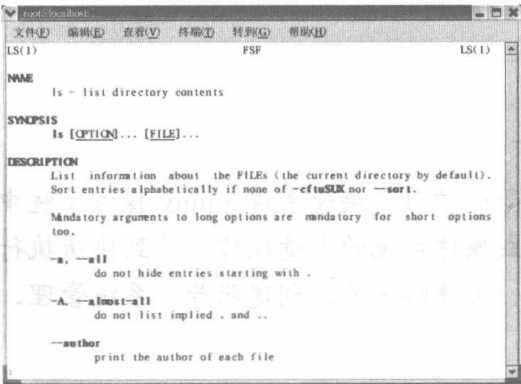


图 1.1 man ls 信息

**注意：**

在终端上有一个命令补齐 (Command-Line Completion) 的操作技巧, 所谓命令补齐是指当键入的字符足以确定目录中一个唯一的文件时, 只需按 Tab 键就可以自动补齐该文件名的剩下部分。



思考：应用 man 命令, 查阅 mount 命令的功能及使用方法。

➤ **help:** 用来提供帮助。

大多数 GNU 工具或命令都有 --help 选项, 用来显示使用命令的一些帮助信息, 如果显示的信息超出了一个屏幕, 可以通过管道使用 more 程序分屏显示帮助信息。

格式为:

```
需帮助的命令名 --help | more
```

例 1.2 应用 help 命令提供 ls 命令的应用方法。

```
[root@localhost root]# ls --help | more
```

用法: ls [选项]... [文件]...

列出<文件>的信息 (默认为目前的目录)。

如果不指定 -cfuSUX 或 --sort 任何一个选项, 则根据字母排序。

长选项必须用的参数在使用短选项时也是必需的。

-a, --all	不隐藏任何以 . 字符开始的项目
-A, --almost-all	列出除了 . 及 .. 以外的任何项目
--author	印出每个文件著作者
-b, --escape	以八进制溢出序列表示不可打印的字符
--block-size=大小	块以指定<大小>的字节为单位
-B, --ignore-backups	不列出任何以 ~ 字符结束的项目
-c	配合 -lt: 根据 ctime 排序及显示 ctime (文件状态最后更改的时间)
	配合 -l: 显示 ctime 但根据名称排序
	否则: 根据 ctime 排序
-C	每栏由上至下列出项目
--color[=WHEN]	控制是否使用色彩分辨文件。WHEN 可以是 “never”, “always” 或 “auto” 三者之一
-d, --directory	对于目录列出目录本身而非目录内的文件
-D, --dired	产生适合 Emacs 的 dired 模式使用的结果
-f	不进行排序, -aU 选项生效, -lst 选项失效
-F, --classify	加上文件类型的指示符号 (*/=/@ 中的一个)

➤ **info:** 用来提供帮助。

GNU 软件和其他一些自由软件还使用名为 info 的在线文档系统, 可以通过程序 info 或通过 emacs 编辑器中的 info 命令在线浏览全部的文档。

info 命令的使用格式为:

info 要帮助的命令

例 1.3 当输入 info passwd 命令后，屏幕显示如下内容：

[root@localhost root]# info passwd

File: *manpages*, Node: passwd, Up:(dir)

PASSWD(1) User utilities PASSWD(1)

NAME
passwd - update a user's authentication tokens(s)

SYNOPSIS
passwd [-k] [-l] [-u [-f]] [-d] [-n mindays] [-x maxdays] [-w warndays]
[-i inactivedays] [-S] [username]

DESCRIPTION
Passwd is used to update a user's authentication token(s).

Passwd is configured to work through the Linux-PAM API. Essentially,
it initializes itself as a "passwd" service with Linux-PAM and utilizes
configured password modules to authenticate and then update a user's
Password.

.....

由于屏幕上的信息来自于可编辑文件，所以不同的系统显示结果可能有所不同。当看到 info 上面的初始屏幕后，可以使用各种 info 命令，下面列出几个最常用键盘命令：

- <?>或<Ctrl>+H 键：列出 info 命令
- <SPACE>键：滚动翻页
- Q 键：退出

info 系统包含它自己的一个 info 形式的帮助页。如果按下<?>或<Ctrl>+H 键，将看到一些帮助信息，其中包括如何使用 info 的指南。



1.2 文件系统命令

1. Linux 文件类型

Linux 文件类型分为普通文件、目录文件、符号链接（symbolic link）文件、设备（特殊）文件、管道文件、socket 文件。

● 普通文件

普通文件一般有执行文件、目标文件、备份或压缩文件、图形文件、函数库文件、文档文件、批处理文件、源程序文件、网页文件等。

Linux 不对文件的命名作强制规定，您可以按照您所喜欢的规则命名文件。文件名最长不能超过 255 个字符，建议不要使用非打印字符、空白字符（空格和制表符）和 Shell 命令保留字符，因为这些字符有特殊的含义。您可以任意给文件名加上您自己或应用程序定义的扩展名，但扩展名对 Linux 系统来说没有任何意义。而其他一些操作系统像 Windows 操作系统，扩展名是有特殊意义的。

● 目录文件

目录文件包含一些文件名和子目录名。一个目录文件是由一组目录项及文件组成的，不同操作系统的目录项内容有很大的不同。

● 符号链接文件

符号链接是指向另一个文件的文件类型，它的数据内容是另外一个文件的地址。符号链接文件可以更改文件的名称，而不用再复制文件。

● 设备文件

设备文件是访问硬件的设备，包含键盘、终端、硬盘、软盘、光驱、DVD、磁带机和打印机等。每一种硬件都有它自己的设备文件名，设备文件分为字符设备文件和块设备文件及网络设备文件。在输入/输出时，字符设备是以字符为传送单位的设备，而块设备是以块（block）为传送单位的设备。字符设备文件对应于字符设备，例如键盘等。而块设备文件对应于块设备，例如磁盘等。

设备文件一般放在目录/dev 下。这个目录包含所有的设备文件，每个连接到计算机的设备至少有一个相应的设备文件。应用程序和命令读写外围设备文件的方式和读写普通文件的方式相同。这是因为 Linux 的输入和输出是独立于设备的。这些设备文件是 fd0（对应于第一个软驱）、hda（对应于第一个 IDE 硬盘）、lp0（对应于第一个打印机）和 tty（对应于终端）。各种设备文件都模拟物理设备，因此也被称为虚拟设备（pseudo devices）。



思考：如果应用 `ls -l` 命令显示文件夹、字符设备驱动程序、块设备驱动程序、网络设备驱动程序时，第一个字段分别用什么字母表示？

● 管道文件

管道文件是用于进程间相互通信的文件。Linux 拥有一些机制来允许进程间的互相通信，这些机制称为进程间通信机制 **Interprocess Communication (IPC) Mechanisms**。管道（pipe）、命名管道（FIFO）、共享缓冲区、信号量、sockets、信号、队列等都是进程间常用通信机制。例如 pipe 用于父进程和子进程之间的通信；命名管道 FIFO 是一个文件，允许运行在同一台计算机的不同进程间进行通信。

2. Linux 文件系统目录结构

Linux 的文件系统目录结构是属于分层树形结构。因此，文件系统是由根目录（/）开始往下长，就像一棵倒长的树一样。Linux 操作系统包含了非常多的目录和文件，如图 1.2

所示的为文件系统目录结构。图中矩形表示目录，圆形表示文件。

Linux 把不同文件系统挂载（mount）在根文件系统下不同的子目录（挂载点）上，用户可以从根（/）开始方便地找到存放在不同文件系统的文件。而 Windows 操作系统的每个文件系统以逻辑盘符形式呈现给用户，例如 C:\（C 盘）、D:\（D 盘）。

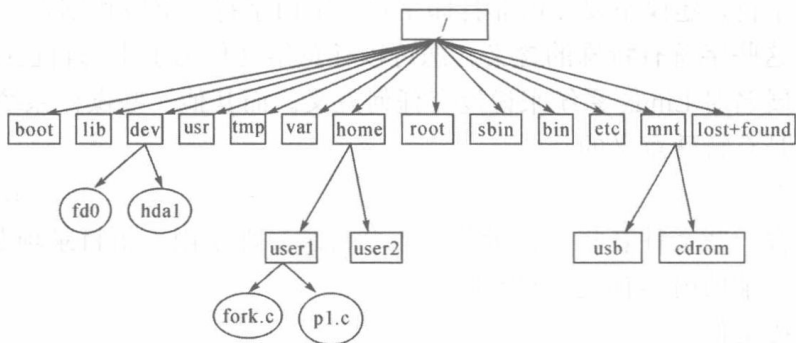


图 1.2 Linux 文件系统目录结构

在安装 Linux 系统时，系统会建立一些默认的目录，每个目录都有其特殊功能。下面是 Linux 文件系统一些常用目录。

- /（根目录）
根目录位于分层文件系统的最顶层，用斜线（/）表示，它包含所有的目录和文件。
- /bin
存放那些供系统管理员和普通用户使用的重要的 Linux 命令的可执行文件。这个目录下的文件要么是可执行文件，要么是其他目录下的可执行文件的符号链接。一些常用命令如 cat、chmod、cp、date、ls 等都存放在这个目录中。
- /boot
存放了用于启动 Linux 操作系统的所有文件，包括 Linux 内核的二进制映像。
- /dev
也称设备目录，存放连接到计算机上的设备的对应文件。
- /etc
存放和特定主机相关的文件和目录。这些文件和目录包括系统配置文件；/etc 目录不包含任何二进制文件。这个目录下的文件主要由管理员使用；普通用户对大部分文件有读权限。/etc/X4 包含了 X4 窗口系统的配置文件。
- /home
存放一般用户的主目录，有些课本中也称自家目录。
- /lib
存放了各种编程语言库。典型的 Linux 系统包含了 C、C++等库文件。目录/lib/modules 包含了可加载的内核模块。/lib 目录存放了所有重要的库文件，其他大部分的库文件则存储在目录/usr/lib 下。
- /mnt
主要用来临时挂载文件系统，系统管理员执行 mount 命令完成挂载工作。
- /opt