

面向21世纪高等学校教材

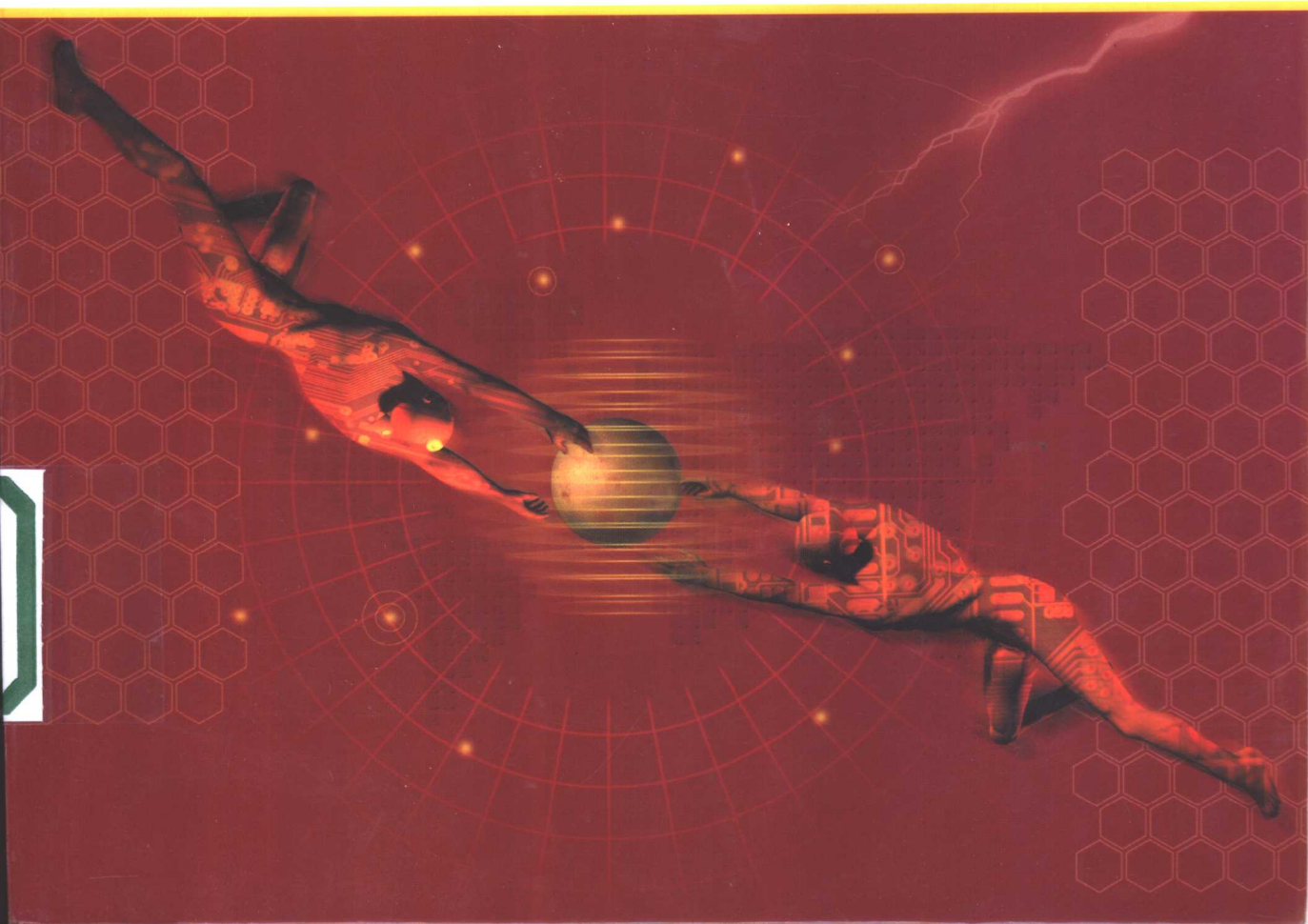
# 操作系统原理

## Linux 篇

徐德民 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>



# 操作系统原理 Linux 篇

徐德民 编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

操作系统原理 Linux 篇/徐德民编著. —北京:国防  
工业出版社, 2004. 1

ISBN 7-118-03311-1

I. 操... II. 徐... III. ①操作系统(软件)  
②Linux 操作系统 IV. TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099063 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 24½ 559 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:32.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 前 言

操作系统原理是计算机专业人员必须掌握的基础知识,也是高等院校计算机专业学生的必修课程。通过对操作系统原理的学习,不仅能够从系统内部了解操作系统的工作原理,而且可以学到软件设计的思想方法和技术方法。为了能够深入理解操作系统的复杂结构及其大量的概念,在学习中应该做到操作系统理论和其实现技术相结合。当前操作系统原理的书籍和教材通常是结合 UNIX 介绍操作系统的实现技术。但是,由于 UNIX 系统的运行条件要求严格,并且其源代码的价格十分昂贵,读者无法从源代码级对操作系统的实现技术进行分析。

20 世纪 90 年代 Linux 操作系统的问世给操作系统的学习带来了新的机遇。Linux 是一个与 UNIX 兼容的多用户多任务操作系统,它是一个源代码公开的操作系统,并且可以在简单廉价的条件下运行。随着 Linux 源代码的不断完善和健全,用 Linux 取代 UNIX 学习操作系统原理已经成为可能。结合 Linux 学习操作系统原理,不但可以通过剖析其源代码了解操作系统的实现技术,使操作系统的理论概念具体化,而且为自主深入的学习开拓了广泛的空间。在掌握操作系统理论和 Linux 实现技术的基础上,读者经过进一步深入地学习就可以在几乎没有经济投入的情况下自己来分析、改制、裁减 Linux 内核,这对全面掌握操作系统的知识和提高实践能力来说,无疑是一种十分理想的途径。

本书就是在这种新形势下推出的操作系统原理书籍,主要包括两方面的内容:一是操作系统的基本概念和理论,另一方面是 Linux 系统的实现技术。为了使操作系统的理论知识和具体实现技术能够紧密地结合起来,本书把这两方面的内容分别安排在对应的奇数章和偶数章内。其中第 1 章介绍操作系统的概论,第 2 章介绍 Linux 的性能和特点,第 3 章介绍进程的概念、进程调度和控制、互斥和同步等,第 4 章具体介绍 Linux 的进程调度、进程控制和进程通信,第 5 章介绍操作系统的各种存储管理方式以及存储保护和共享等,第 6 章首先介绍 80x86 存储管理的硬件知识,然后介绍 Linux 的虚拟存储管理、物理内存管理等技术,第 7 章介绍操作系统的文件管理原理,第 8 章介绍 Linux 的 ext2 文件系统和虚拟文件系统 VFS,第 9 章介绍操作系统设备管理的一般原理,第 10 章介绍 Linux 设备驱动程序、设备 I/O 操作等,第 11 章介绍操作系统的作业管理,第 12 章介绍 Linux 网络通信中套接字的概念和套接字的通信原理。本书的奇数章和偶数章各成体系,读者可以根据需要学习其中的原理部分或 Linux 部分。

由于本书的目的不是专门分析 Linux 源代码,而是结合 Linux 介绍操作系统的原理,所以书中介绍的 Linux 源代码涉及到内核版本 2.0、2.2 和 2.4。对某一版本的 Linux 内

核分析请参考有关书籍。

本书可作为高等院校计算机专业和信息专业的操作系统原理课程教材使用,也可供计算机软件专业技术人员和计算机应用人员参考。由于本书的编写工作时间紧促,加之笔者水平有限,书中内容可能存在一定的错误或缺欠,诚恳盼望广大读者和同行给予指正,以期得到改进和提高。

天津大学 徐德民  
2003 年 10 月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 操作系统概论.....          | 1  |
| 1.1 操作系统的地位及作用 .....       | 1  |
| 1.1.1 操作系统的地位 .....        | 1  |
| 1.1.2 操作系统的作用 .....        | 4  |
| 1.2 操作系统的功能 .....          | 6  |
| 1.2.1 单道系统与多道系统 .....      | 6  |
| 1.2.2 操作系统的功能 .....        | 8  |
| 1.3 操作系统的分类.....           | 11 |
| 1.3.1 批处理操作系统.....         | 11 |
| 1.3.2 分时操作系统.....          | 12 |
| 1.3.3 实时操作系统.....          | 13 |
| 习题一 .....                  | 14 |
| 第 2 章 Linux 概述 .....       | 16 |
| 2.1 Linux 的发展及背景 .....     | 16 |
| 2.1.1 Linux 的发展历史 .....    | 16 |
| 2.1.2 Linux 与 GNU .....    | 17 |
| 2.2 Linux 的性能和特点 .....     | 19 |
| 2.2.1 Linux 的优越性能 .....    | 19 |
| 2.2.2 Linux 的技术特点 .....    | 20 |
| 2.3 Linux 内核 .....         | 23 |
| 2.3.1 Linux 内核的版本 .....    | 23 |
| 2.3.2 Linux 内核的组成及功能 ..... | 24 |
| 习题二 .....                  | 26 |
| 第 3 章 进程管理 .....           | 27 |
| 3.1 进程的基本概念.....           | 27 |
| 3.1.1 程序的顺序执行.....         | 27 |
| 3.1.2 程序的并发执行.....         | 29 |
| 3.1.3 进程的定义和特性.....        | 32 |

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 3.2 进程状态和进程控制        | 33     |
| 3.2.1 进程的状态及转换       | 34     |
| 3.2.2 进程的实体          | 35     |
| 3.2.3 进程控制           | 38     |
| 3.3 进程调度             | 40     |
| 3.3.1 进程调度的功能        | 40     |
| 3.3.2 进程调度性能准则       | 40     |
| 3.3.3 进程调度方式         | 41     |
| 3.3.4 进程调度算法         | 41     |
| 3.4 进程的互斥与同步         | 45     |
| 3.4.1 进程的互斥          | 45     |
| 3.4.2 进程的同步          | 48     |
| 3.5 P、V 操作           | 49     |
| 3.5.1 P、V 操作原语       | 49     |
| 3.5.2 用 P、V 操作实现进程互斥 | 51     |
| 3.5.3 用 P、V 操作实现进程同步 | 52     |
| 3.5.4 生产者—消费者问题      | 54     |
| 3.6 进程通信             | 56     |
| 3.6.1 进程通信机制         | 56     |
| 3.6.2 消息通信           | 56     |
| 3.6.3 信箱通信           | 59     |
| 3.7 死锁               | 62     |
| 3.7.1 死锁的产生          | 62     |
| 3.7.2 发生死锁的必要条件      | 64     |
| 3.7.3 死锁的预防          | 65     |
| 3.7.4 死锁的避免          | 66     |
| 3.7.5 死锁的检测和恢复       | 68     |
| 习题三                  | 68     |
| <br>第 4 章 Linux 进程管理 | <br>71 |
| 4.1 Linux 进程概述       | 71     |
| 4.1.1 Linux 进程的组成    | 71     |
| 4.1.2 进程在处理机上的执行状态   | 74     |
| 4.1.3 进程空间和系统空间      | 75     |
| 4.1.4 进程上下文和系统上下文    | 76     |
| 4.2 Linux 进程的状态和标识   | 78     |
| 4.2.1 Linux 进程的状态及转换 | 78     |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 4.2.2 | Linux 进程的标识 .....     | 81  |
| 4.2.3 | 进程标识哈希表 .....         | 83  |
| 4.3   | Linux 的进程调度 .....     | 84  |
| 4.3.1 | Linux 进程调度策略 .....    | 84  |
| 4.3.2 | Linux 进程调度依据 .....    | 85  |
| 4.3.3 | Linux 进程调度的加权处理 ..... | 86  |
| 4.3.4 | Linux 进程调度方法 .....    | 87  |
| 4.3.5 | 进程调度时机 .....          | 87  |
| 4.4   | Linux 进程的创建和撤消 .....  | 90  |
| 4.4.1 | Linux 进程的族亲关系 .....   | 91  |
| 4.4.2 | Linux 进程的创建 .....     | 92  |
| 4.4.3 | 进程创建的过程 .....         | 94  |
| 4.4.4 | 进程程序的执行 .....         | 95  |
| 4.4.5 | 进程的终止和撤消 .....        | 96  |
| 4.5   | Linux 信号 .....        | 97  |
| 4.5.1 | 信号的作用和种类 .....        | 98  |
| 4.5.2 | 信号的处理 .....           | 100 |
| 4.5.3 | 信号处理函数 .....          | 101 |
| 4.6   | Linux 管道 .....        | 104 |
| 4.6.1 | 管道的概念 .....           | 104 |
| 4.6.2 | 无名管道 .....            | 105 |
| 4.6.3 | 命名管道 .....            | 108 |
| 4.7   | IPC 信号量机制 .....       | 111 |
| 4.7.1 | 信号量与信号量集合 .....       | 112 |
| 4.7.2 | 信号量集合的创建和检索 .....     | 113 |
| 4.7.3 | 信号量 PV 操作 .....       | 114 |
| 4.7.4 | 信号量操作等待队列 .....       | 115 |
| 4.7.5 | 信号量控制操作 .....         | 116 |
| 4.7.6 | 信号量的程序例 .....         | 118 |
| 4.8   | IPC 消息队列 .....        | 120 |
| 4.8.1 | 消息队列的结构 .....         | 120 |
| 4.8.2 | 消息队列的生成与控制 .....      | 122 |
| 4.8.3 | 消息的发送与接收 .....        | 123 |
| 4.8.4 | 消息队列的程序例 .....        | 124 |
| 4.9   | IPC 共享内存 .....        | 129 |
| 4.9.1 | 共享内存 .....            | 129 |
| 4.9.2 | 共享内存的生成与控制 .....      | 130 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 4.9.3 共享内存的结合与分离 .....   | 131 |
| 4.9.4 共享内存的程序例 .....     | 132 |
| 4.9.5 IPC 对象 .....       | 134 |
| 习题四 .....                | 136 |
| <b>第 5 章 存储管理</b> .....  | 139 |
| 5.1 存储管理的目的与功能 .....     | 139 |
| 5.2 地址重定位 .....          | 141 |
| 5.2.1 作业的地址空间 .....      | 141 |
| 5.2.2 静态地址重定位 .....      | 142 |
| 5.2.3 动态地址重定位 .....      | 144 |
| 5.3 分区存储管理 .....         | 145 |
| 5.3.1 固定分区管理 .....       | 146 |
| 5.3.2 可变分区管理 .....       | 147 |
| 5.3.3 分区管理的存储保护 .....    | 150 |
| 5.4 分页存储管理 .....         | 151 |
| 5.4.1 简单分页存储管理 .....     | 152 |
| 5.4.2 逻辑地址和物理地址 .....    | 152 |
| 5.4.3 页表 .....           | 154 |
| 5.4.4 快表 .....           | 155 |
| 5.4.5 主存空间管理 .....       | 157 |
| 5.4.6 存储保护和存储共享 .....    | 158 |
| 5.5 存储扩充技术 .....         | 161 |
| 5.5.1 覆盖技术 .....         | 161 |
| 5.5.2 交换技术 .....         | 162 |
| 5.5.3 虚拟存储技术 .....       | 163 |
| 5.5.4 请求式分页存储管理 .....    | 165 |
| 5.6 分段存储管理 .....         | 167 |
| 5.6.1 分段存储管理原理 .....     | 168 |
| 5.6.2 段表 .....           | 169 |
| 5.6.3 地址转换 .....         | 170 |
| 5.6.4 存储共享 .....         | 171 |
| 5.6.5 存储保护 .....         | 172 |
| 5.7 段页式存储管理 .....        | 173 |
| 5.7.1 段页式存储管理原理 .....    | 173 |
| 5.7.2 段页式存储管理的地址转换 ..... | 174 |
| 习题五 .....                | 175 |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>第 6 章 Linux 存储管理</b> ..... | 179     |
| 6.1 80x86 的分段机制 .....         | 179     |
| 6.1.1 80x86 的虚拟存储空间 .....     | 179     |
| 6.1.2 段描述符表 .....             | 181     |
| 6.1.3 逻辑地址向线性地址的转换 .....      | 184     |
| 6.2 选段符与段描述符 .....            | 186     |
| 6.2.1 选段符 .....               | 186     |
| 6.2.2 段描述符 .....              | 187     |
| 6.2.3 分段机制的存储保护 .....         | 189     |
| 6.3 80x86 的分页机制 .....         | 190     |
| 6.3.1 80x86 的分页机制 .....       | 191     |
| 6.3.2 分页机制的地址转换 .....         | 192     |
| 6.3.3 页表目录与页表的表项 .....        | 194     |
| 6.3.4 分页机制的存储保护 .....         | 195     |
| 6.3.5 快表 TLB .....            | 195     |
| 6.4 Linux 的分段和分页结构 .....      | 196     |
| 6.4.1 Linux 的分段结构 .....       | 196     |
| 6.4.2 Linux 的三级分页结构 .....     | 198     |
| 6.4.3 内核页表和进程页表 .....         | 200     |
| 6.5 Linux 进程地址空间管理 .....      | 201     |
| 6.5.1 进程地址空间用户区的管理 .....      | 201     |
| 6.5.2 虚存区域 .....              | 202     |
| 6.5.3 虚存区域的建立和映射 .....        | 204     |
| 6.6 Linux 物理内存管理 .....        | 208     |
| 6.6.1 Linux 的物理内存空间 .....     | 208     |
| 6.6.2 物理页面的管理 .....           | 210     |
| 6.6.3 空闲页面管理——Buddy 算法 .....  | 212     |
| 6.7 内存的分配与释放 .....            | 215     |
| 6.7.1 物理内存分配的数据结构 .....       | 215     |
| 6.7.2 物理内存分配函数 .....          | 219     |
| 6.7.3 虚拟内存分配函数 .....          | 219     |
| 习题六 .....                     | 220     |
| <br><b>第 7 章 文件管理</b> .....   | <br>222 |
| 7.1 文件与文件系统 .....             | 222     |
| 7.1.1 文件 .....                | 222     |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 7.1.2 文件的种类 .....              | 222        |
| 7.1.3 文件系统及其功能 .....           | 223        |
| 7.2 文件的组织结构 .....              | 226        |
| 7.2.1 文件的逻辑结构 .....            | 226        |
| 7.2.2 文件的物理结构 .....            | 228        |
| 7.3 文件目录结构 .....               | 231        |
| 7.3.1 文件说明 .....               | 231        |
| 7.3.2 文件目录的结构 .....            | 232        |
| 7.3.3 当前目录和目录文件 .....          | 235        |
| 7.4 文件存取与操作 .....              | 236        |
| 7.4.1 文件的存取方法 .....            | 236        |
| 7.4.2 文件存储设备 .....             | 237        |
| 7.4.3 活动文件 .....               | 238        |
| 7.4.4 文件操作 .....               | 239        |
| 7.5 文件存储空间的管理 .....            | 242        |
| 7.5.1 空闲块表 .....               | 242        |
| 7.5.2 空闲区表 .....               | 243        |
| 7.5.3 空闲块链 .....               | 243        |
| 7.5.4 位示图 .....                | 244        |
| 7.6 文件的共享和保护 .....             | 245        |
| 7.6.1 文件存取控制 .....             | 246        |
| 7.6.2 文件共享的实现方法 .....          | 248        |
| 7.6.3 文件的备份转储 .....            | 249        |
| 习题七 .....                      | 249        |
| <b>第8章 Linux 文件管理 .....</b>    | <b>252</b> |
| 8.1 Linux 文件系统概论 .....         | 252        |
| 8.1.1 Linux 文件系统的树型结构 .....    | 252        |
| 8.1.2 Linux 文件的类型 .....        | 253        |
| 8.1.3 文件的访问权限 .....            | 255        |
| 8.2 EXT2 文件系统 .....            | 255        |
| 8.2.1 EXT2 文件系统的构造 .....       | 256        |
| 8.2.2 EXT2 超级块 .....           | 256        |
| 8.2.3 组描述符 .....               | 259        |
| 8.2.4 块位图 .....                | 260        |
| 8.3 EXT2 的 inode 和文件结构 .....   | 260        |
| 8.3.1 EXT2 文件系统 inode 结构 ..... | 260        |

|               |                         |            |
|---------------|-------------------------|------------|
| 8.3.2         | inode 表和 inode 位图 ..... | 262        |
| 8.3.3         | EXT2 文件的物理结构 .....      | 263        |
| 8.3.4         | EXT2 的目录结构 .....        | 264        |
| 8.4           | 虚拟文件系统 VFS .....        | 265        |
| 8.4.1         | VFS 的工作原理 .....         | 265        |
| 8.4.2         | VFS 超级块 .....           | 268        |
| 8.4.3         | VFS 的 inode .....       | 269        |
| 8.5           | 文件系统的安装与注册 .....        | 272        |
| 8.5.1         | 文件系统的安装 .....           | 272        |
| 8.5.2         | 文件系统的注册 .....           | 274        |
| 8.6           | 文件管理和操作 .....           | 276        |
| 8.6.1         | 系统对文件的管理 .....          | 277        |
| 8.6.2         | 进程对文件的管理 .....          | 278        |
| 8.6.3         | 文件操作函数 .....            | 280        |
|               | 习题八 .....               | 282        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>设备管理</b> .....       | <b>284</b> |
| 9.1           | 设备与设备管理 .....           | 284        |
| 9.1.1         | 设备的分类 .....             | 284        |
| 9.1.2         | 设备管理的设计目标 .....         | 285        |
| 9.1.3         | 设备管理的功能 .....           | 286        |
| 9.2           | I/O 控制方式 .....          | 287        |
| 9.2.1         | CPU 控制方式 .....          | 287        |
| 9.2.2         | 通道方式 .....              | 289        |
| 9.3           | 缓冲技术 .....              | 292        |
| 9.3.1         | 缓冲技术的引进 .....           | 292        |
| 9.3.2         | 缓冲器的种类 .....            | 293        |
| 9.4           | 设备分配 .....              | 294        |
| 9.4.1         | 设备管理的数据结构 .....         | 295        |
| 9.4.2         | 设备分配策略 .....            | 297        |
| 9.4.3         | 设备分配算法 .....            | 298        |
| 9.5           | 设备处理程序与 I/O 进程 .....    | 298        |
| 9.5.1         | 设备处理程序 .....            | 298        |
| 9.5.2         | I/O 进程 .....            | 300        |
|               | 习题九 .....               | 301        |
| <b>第 10 章</b> | <b>Linux 设备管理</b> ..... | <b>303</b> |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 10.1 Linux 设备分类与识别 .....    | 303     |
| 10.1.1 Linux 设备的分类 .....    | 303     |
| 10.1.2 设备文件 .....           | 304     |
| 10.1.3 Linux 设备的识别 .....    | 305     |
| 10.2 设备驱动程序与设备注册 .....      | 306     |
| 10.2.1 设备驱动程序 .....         | 307     |
| 10.2.2 设备注册 .....           | 308     |
| 10.3 Linux 的 I/O 控制方式 ..... | 311     |
| 10.3.1 查询等待方式 .....         | 311     |
| 10.3.2 中断方式 .....           | 312     |
| 10.3.3 DMA 方式 .....         | 314     |
| 10.4 Linux 设备 I/O 操作 .....  | 317     |
| 10.4.1 设备 I/O 操作 .....      | 317     |
| 10.4.2 字符设备的操作 .....        | 320     |
| 10.4.3 块设备的操作 .....         | 321     |
| 习题十 .....                   | 324     |
| <br>第 11 章 作业管理 .....       | <br>326 |
| 11.1 作业的组织 .....            | 326     |
| 11.1.1 作业与作业步 .....         | 326     |
| 11.1.2 作业的分类 .....          | 327     |
| 11.1.3 作业的状态 .....          | 327     |
| 11.1.4 作业控制块 .....          | 328     |
| 11.2 操作系统的用户接口 .....        | 329     |
| 11.2.1 程序级接口 .....          | 329     |
| 11.2.2 作业控制级接口 .....        | 331     |
| 11.3 作业调度 .....             | 333     |
| 11.3.1 作业调度程序的功能 .....      | 333     |
| 11.3.2 作业调度策略 .....         | 334     |
| 11.3.3 作业调度算法 .....         | 335     |
| 11.4 作业控制 .....             | 337     |
| 11.4.1 脱机控制方式 .....         | 337     |
| 11.4.2 联机控制方式 .....         | 339     |
| 习题十一 .....                  | 341     |
| <br>第 12 章 Linux 网络管理 ..... | <br>342 |
| 12.1 网络通信基础知识 .....         | 342     |

|        |              |     |
|--------|--------------|-----|
| 12.1.1 | 计算机网络通信      | 342 |
| 12.1.2 | 网络体系的层次结构    | 343 |
| 12.1.3 | TCP/IP 协议的结构 | 344 |
| 12.1.4 | TCP 协议       | 345 |
| 12.1.5 | IP 协议        | 347 |
| 12.1.6 | 端口           | 349 |
| 12.2   | Linux 套接字    | 349 |
| 12.2.1 | 套接字的概念       | 350 |
| 12.2.2 | 套接字的种类和套接字域  | 351 |
| 12.2.3 | 套接字结构体       | 352 |
| 12.2.4 | 套接字地址结构      | 353 |
| 12.3   | 协议注册与套接字的建立  | 354 |
| 12.3.1 | 通信协议的注册      | 354 |
| 12.3.2 | 套接字的建立       | 357 |
| 12.4   | Linux 网络缓冲区  | 360 |
| 12.4.1 | 数据的封装和拆封     | 360 |
| 12.4.2 | 套接字缓冲区       | 361 |
| 12.4.3 | 套接字缓冲区操作     | 364 |
| 12.5   | 套接字网络通信      | 366 |
| 12.5.1 | 套接字操作函数      | 366 |
| 12.5.2 | 客户/服务器通信     | 370 |
| 12.5.3 | 客户/服务器程序实例   | 371 |
|        | 习题十二         | 374 |
|        | 参考文献         | 376 |

# 第 1 章 操作系统概论

电子计算机自 1946 年问世以来, 经历了 50 多年的高速发展, 它已成为现代信息化社会的基础。计算机在其发展历程中, 性能得到了不断的完善, 功能越来越强大, 当前已成为具有多种规模和丰富资源的复杂系统。现代的计算机系统, 无论是大型计算机、小型计算机还是微型计算机都是由硬件资源和软件资源两大部分构成的。操作系统(Operating System)是软件资源中最基本的核心部分, 它负责管理和控制计算机系统的各种资源, 协调计算机系统各部分之间、系统与使用者之间以及使用者与使用者之间的关系, 使整个系统高效地运转, 为用户提供一个运行程序和开发程序的良好工作环境。因此, 操作系统是计算机系统中极为关键的组成部分。

为了系统地学习操作系统的工作原理, 本章首先介绍操作系统在计算机系统中的地位 and 作用、操作系统的主要功能以及操作系统的主要类型。

## 1.1 操作系统的地位及作用

在现代计算机系统中, 操作系统起着十分重要的作用, 而且随着计算机技术的发展和计算机系统功能的不断增强, 从专业的角度来看, 作为基本系统软件的操作系统在计算机系统中的地位越来越突出, 其作用也越来越重要。

### 1.1.1 操作系统的地位

众所周知, 操作系统是一种软件, 通过了解计算机系统的组成可以看到它在计算机系统所处的地位。当前的计算机系统是一个非常复杂的系统, 其主要组成部分如图 1.1 所示。

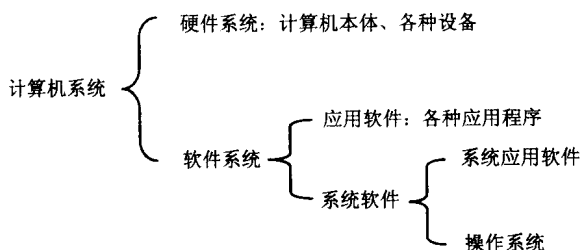


图 1.1 计算机系统组成

可以看到, 计算机系统是由硬件系统和软件系统两大部分组成的。硬件系统是指组装成计算机本体和各种设备的具有机械、电、磁、声、光等不同物理特性的各种器件和部件。软件系统是指使计算机完成特定工作的程序的总称。

软件系统又进一步分为应用软件和系统软件两大类。应用软件是指由计算机用户编写的程序，它们用于使计算机完成用户所需的特定工作。系统软件是指用于管理和控制计算机资源、增强计算机性能和提高计算机操作性的那些程序，它们一般是由计算机制造厂商和专门的软件制造商提供。系统软件由操作系统和系统应用软件两部分组成，操作系统是用于管理和控制系统资源的程序，它是计算机系统中最基本的系统软件。系统应用软件包括了完成系统服务所需的各种程序。

为了说明上述各个组成部分在计算机系统中的地位和作用以及各个部分之间的关系，通常使用系统视图进行形象的描述，图 1.2 给出了计算机系统视图。

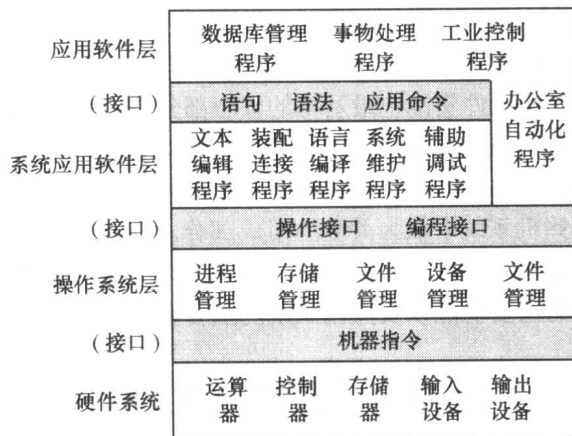


图 1.2 计算机系统视图

从计算机系统视图中可以清楚地看到计算机系统的层次结构。计算机系统各个层次之间存在着一种单向服务关系，即每一个内层都向其外层提供了一组接口。这里提到的“接口”与计算机硬件之间的硬接口在概念上虽然是相同的，但是，它们并不像硬接口那样通过硬件的电气连接完成其功能，而是由指令、程序和数据结构等形成的一种接口，通常把这种接口称为“软接口”。通过软接口，内层以事先约定好的方式为外层提供服务，外层则通过该接口使用内层提供的服务来实现本身的功能。

下面从内向外简要地说明各个层次的特性及层次间接口的作用。

### 1. 硬件系统

硬件系统指组成计算机基本结构的 5 个部分，即运算器、控制器、主存储器(主存)以及输入设备和输出设备。运算器和控制器通常集成在一个芯片上，称为中央处理器(CPU)。中央处理器是执行程序时进行运算和控制的装置，它直接控制着计算机各个部件的工作，是硬件系统的核心。主存储器是存放在系统中运行的程序和数据部件，由于它装置在主机内部，所以又称为内存(内存)。输入输出设备指计算机系统内的各种硬件设备，又称外围设备，它们用于实现计算机系统与外界的信息交换。目前，计算机使用的输入输出设备主要有显示器、键盘、打印机、磁盘机等。

硬件是操作系统存在的物质基础。硬件层提供给操作系统的接口是机器的指令系统，操作系统的程序使用指令系统提供的机器指令所具有的功能，实现对硬件的直接管理和控制。

## 2. 操作系统

操作系统是最靠近硬件的软件层，其功能是直接控制和管理系统资源。系统资源不仅指组成系统的硬件，还包括计算机系统上的程序和所处理的各种信息，前者称为硬件资源，后者称为软件资源。计算机系统的硬件在操作系统的管理和控制下，其功能得以充分发挥。从用户观点看，引入操作系统后，计算机系统成为一台比硬件系统功能更强、服务质量更高、使用更方便的机器。操作系统与其它系统软件一起向用户提供了一个良好的工作环境，用户无需了解许多关于硬件和系统软件的细节，就能方便地使用计算机。

操作系统在硬件系统上运行，它常驻在主存储器内，并提供给上层两种接口：操作接口和编程接口。操作接口由一系列操作命令组成，用户通过操作接口能够方便地使用计算机。编程接口是由一系列的系统调用组成，各种程序可以使用这些系统调用让操作系统为其服务，并通过操作系统来使用硬件资源和软件资源。所以其它程序是在操作系统提供的功能基础上运行的。

## 3. 系统应用软件

系统应用层由一系列的语言处理程序和系统服务程序构成。这些程序不是常驻留在主存储器中，而是存放在磁盘或其它外部存储设备上，仅当需要运行这些程序时，才把它们装入主存。系统应用层程序的主要功能是为用户编制应用软件、加工和调试程序以及处理数据提供必要的服务。图 1.2 的视图中给出了组成系统应用软件的几种典型程序。

系统应用层中的语言编译程序包括汇编程序和高级语言(PASCAL、FORTRAN、C 等)的编译程序。高级语言给用户提供了编写程序的各种语句，汇编语言提供了汇编指令等。用户可以利用这些语句或指令使用文本编辑程序编写用户应用程序的源程序，再经该层中的编译或汇编程序和装配连接程序生成可执行程序。此外，还可以使用辅助调试程序对用户的应用程序进行调试。

系统维护程序也是由多个程序组成的，它们的功能是维护计算机系统的正常运行。例如，当系统的硬件配置改变时，由维护程序根据新的运行环境重新设置操作系统核心程序。当计算机出现病毒时，维护程序(解毒程序)要检测病毒的类型和消除病毒。此外如系统故障检测、系统恢复、系统备份、文件加密和解密等都是由各种系统应用程序完成的。此外，其它系统应用程序如网络管理程序具有对网络进行管理和控制的功能，通过它们实现网络上的数据传输。

系统应用层的程序是在操作系统的支持下工作的，它们一般都是使用机器指令以及操作系统提供的系统调用来编制程序。对上层它们提供了编制源程序的语句和语法或调试命令、系统维护命令等。

系统应用软件层的程序有效地扩充了计算机系统的功能。它们与操作系统一起组成系统软件整体，起到了简化程序设计、扩大计算机处理能力、提高计算机使用效率、充分发挥各种资源功能的作用。因此，可以把这些系统应用程序看做是操作系统功能的延伸，甚至可以把它们看做是操作系统的一个部分。系统应用程序虽然属于系统软件，但是与操作系统不同之处在于，其运行环境与普通用户应用程序一样，它们仍然要通过操作系统才能使用和控制系统资源。

## 4. 应用软件

计算机层次结构的最外层是应用程序。这些程序是计算机用户为使用计算机完成某