

高等学校电子信息学科“十三五”规划教材·计算机类

# 计算机操作系统

赵伟华 刘真 周旭 编著  
贾刚勇 张梅



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息学科“十三五”规划教材·计算机类

# 计算机操作系统

赵伟华 刘 真 周 旭

贾刚勇 张 梅

编著



西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书全面系统地介绍了现代计算机操作系统的基本实现原理。全书共7章。第1章介绍操作系统的概念、特征、功能、发展历史、用户接口及结构模型；第2章介绍操作系统的硬件基础相关知识，包括处理器计算、存储系统、中断和时钟；第3章深入阐述进程与线程的概念、进程调度、死锁、同步与通信机制等；第4至6章分别介绍操作系统的存储器管理、设备管理和文件管理；第7章给出实践环节的建议实验项目。此外，本书以Linux系统的2.6.24内核版本为实例，简要介绍其基本实现原理，力求方便读者学习时能理论联系实际。

本书内容丰富，结构清晰，强调理论与实践相结合，既可作为普通高等院校计算机及相关专业的操作系统课程教材，也可供从事计算机应用和开发的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机操作系统 / 赵伟华等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.8

ISBN 978-7-5606-5055-5

I. ① 计… II. ① 赵… III. ① 操作系统 IV. ① TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 180379 号

策划编辑 陈婷

责任编辑 马凡 陈婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 23

字 数 548千字

印 数 1~3000册

定 价 49.00元

ISBN 978-7-5606-5055-5 / TP

**XDUP 5357001-1**

\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

# 前 言

---

操作系统是计算机系统中最重要、最核心的系统软件，负责管理系统中所有的硬件资源和软件资源。因此操作系统课程是计算机相关专业的核心课程，它所涉及的概念、原理及算法是从事软硬件开发等计算机相关工作的工程技术人员必不可少的基础知识。但课程本身概念多、知识面广、原理性和实践性强，教学过程中老师难教、学生难学。鉴于此，作者基于自己多年操作系统课程的教学经验与体会，通过广泛阅读和分析国内外操作系统相关优秀教材及最新操作系统研究论文，结合工程教育专业认证及考研的需要，精心编写了此书。

本书共 7 章，内容分别是操作系统引论、操作系统硬件基础、进程管理、存储器管理、设备管理、文件系统和操作系统实验。为激发读者的学习兴趣，每章开头提出若干与本章内容密切相关且读者所熟知却未必能准确回答的问题，以问题引导学习。下面按照章节介绍本书的特点。

(1) 在操作系统引论部分，注重内容的组织和增加内容的趣味性。把操作系统的来龙去脉和主要技术组织成一个逻辑清晰的整体，并且内容不失阅读的趣味性。

(2) 在操作系统硬件基础部分，阐述与操作系统紧密相关的硬件知识。该部分除了处理器指令、寻址方式、中断、系统时钟、堆栈、寄存器、磁盘及内存之外，还引入其他操作系统教材较少介绍的 Cache 和非易失性存储。

(3) 在进程管理部分，介绍操作系统原理和实际 Linux 系统的有机融合。在每节介绍进程管理相关原理的基础上，直接给出 Linux 中的具体实现技术和算法；为方便读者查询源码，对重要数据结构和函数的定义，都给出详细的检索路径。

(4) 在存储器管理部分，为兼顾知识的新颖性和系统性，对已经过时的存储管理方式，如连续分配方式只做简单介绍，而对广泛使用的分页存储管理及虚拟存储系统则进行详细描述。此外，本章还介绍了 Linux 系统的寻址机制、物理内存管理及进程的虚拟地址空间管理。

(5) 在设备管理部分，相对系统地介绍操作系统中设备管理的基本概念及相关知识，并介绍 Linux 系统字符设备驱动程序的设计及中断处理机制。

(6) 在文件系统部分，采用从逻辑结构到物理结构的方式进行阐述。在介绍 Linux 的虚拟文件系统 VFS 的基础上，讲述其经典的 Ext2 文件系统。

(7) 本书将操作系统原理教学和实践环节结合到一起，不再分列两本书，方便教师教学和学生学习。共提供五个建议实验项目，全部在 Linux 系统中开发。题目与操作系统原理紧密结合且难度适中，能帮助学生掌握 Linux 系统中底层的编程技术，熟悉相关的系统调用。为方便读者阅读分析 Linux 源码，本书还介绍了几种常用的源码检索工具。

为方便学生课后及考研复习，每一章都给出了数量众多、内容丰富的习题。本书是一本立体化的计算机操作系统教材，除了高质量的课件，我们还将提供面向课堂改革所需要

的所有教学资源，如教学大纲、教学视频、习题详解、拓展知识、Linux 源码分析教学案例、课堂讨论和测试题目等，满足翻转课堂式教学、工程认证对学生处理复杂问题能力的要求等。需要这些资源的读者可与作者联系。

本书由杭州电子科技大学的赵伟华、刘真、周旭、贾刚勇及张梅编写完成。其中，第 1 章和第 4 章由周旭编写，第 2 章和第 5 章由贾刚勇编写，第 3 章由赵伟华编写，第 6 章由刘真编写，第 7 章由张梅编写。

本书的编写参阅了大量的书籍和资料，主要的参考文献列于书后，在这里对相关书籍及资料的编著者表示诚挚的谢意！

虽经多次修改、补充和完善，但限于作者时间、水平和能力，书中难免会有不当和疏漏之处，恳请读者批评指正。作者联系邮箱：[whzhao@hdu.edu.cn](mailto:whzhao@hdu.edu.cn)。

作者  
2018 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 操作系统引论</b> .....	1	<b>第 3 章 进程管理</b> .....	46
1.1 什么是操作系统.....	2	3.1 进程的引入.....	46
1.1.1 计算机系统.....	2	3.1.1 程序的并发执行及特征.....	47
1.1.2 操作系统的概念.....	3	3.1.2 进程管理功能.....	49
1.2 操作系统的发展与分类.....	4	3.2 进程的概念.....	50
1.3 操作系统的特征和功能.....	8	3.2.1 进程定义与特征.....	50
1.3.1 操作系统的特征.....	8	3.2.2 进程状态及转换.....	51
1.3.2 操作系统的功能.....	9	3.2.3 Linux 进程状态解析.....	52
1.4 操作系统用户接口.....	10	3.2.4 进程控制块.....	53
1.5 操作系统内核结构.....	11	3.3 进程控制.....	55
1.6 典型操作系统介绍.....	12	3.3.1 进程创建.....	55
1.7 本章小结.....	14	3.3.2 进程撤销.....	56
本章习题.....	14	3.3.3 进程阻塞与唤醒.....	56
		3.3.4 Linux 进程管理.....	57
<b>第 2 章 操作系统硬件基础</b> .....	16	3.4 进程同步.....	63
2.1 处理器计算.....	16	3.4.1 进程同步的基本概念.....	63
2.1.1 处理器指令.....	16	3.4.2 进程同步机制及应用.....	65
2.1.2 寻址方式.....	18	3.4.3 经典进程同步问题.....	75
2.1.3 寄存器.....	20	3.4.4 管程机制.....	79
2.1.4 处理器特权级.....	22	3.4.5 Linux 同步机制解析.....	82
2.2 存储系统.....	23	3.5 进程调度.....	90
2.2.1 高速缓冲存储器.....	24	3.5.1 进程调度的基本概念.....	90
2.2.2 内存.....	26	3.5.2 进程调度算法.....	94
2.2.3 堆栈.....	27	3.5.3 Linux 调度算法解析.....	99
2.2.4 磁盘.....	28	3.6 进程通信.....	111
2.2.5 非易失性存储.....	30	3.6.1 进程通信类型.....	111
2.2.6 局部性原理.....	30	3.6.2 消息缓冲队列通信机制.....	116
2.3 中断和时钟.....	32	3.6.3 Linux 进程通信机制.....	118
2.3.1 中断和异常.....	32	3.7 进程死锁.....	126
2.3.2 系统调用.....	38	3.7.1 死锁的基本概念.....	126
2.3.3 系统时钟.....	41	3.7.2 预防死锁.....	129
2.4 本章小结.....	43	3.7.3 避免死锁.....	130
本章习题.....	44	3.7.4 死锁的检测与解除.....	134

3.8 线程机制.....	137	5.4.1 缓冲的引入.....	219
3.8.1 线程的基本概念.....	137	5.4.2 缓冲的实现机制.....	220
3.8.2 线程的实现机制.....	141	5.5 I/O 软件.....	223
3.8.3 Linux 线程机制.....	144	5.5.1 I/O 软件的层次模型.....	223
3.9 本章小结.....	148	5.5.2 独立于设备的软件.....	224
本章习题.....	150	5.5.3 设备驱动程序的基本概念.....	226
		5.5.4 用户空间的 I/O 软件.....	228
<b>第 4 章 存储器管理.....</b>	<b>156</b>	5.6 设备分配.....	229
4.1 存储器管理概述.....	156	5.7 SPOOLing 系统.....	230
4.1.1 多级存储器体系.....	156	5.8 Linux 字符设备驱动程序.....	231
4.1.2 存储器管理功能.....	158	5.8.1 Linux 字符设备驱动程序基础.....	231
4.1.3 程序的装入和链接.....	159	5.8.2 字符设备驱动程序设计.....	235
4.2 连续存储器管理方式.....	160	5.8.3 字符设备驱动程序举例.....	237
4.2.1 固定分区方式.....	160	5.9 Linux 中断处理机制.....	243
4.2.2 可变分区方式.....	161	5.9.1 Linux 中断处理机制概述.....	243
4.3 分页存储管理方式.....	164	5.9.2 中断服务例程的注册和注销.....	245
4.3.1 分页存储管理基本原理.....	164	5.9.3 上半部的处理过程.....	246
4.3.2 两级和多级页表.....	168	5.9.4 下半部的实现机制.....	247
4.4 分段存储管理方式.....	168	5.10 本章小结.....	253
4.5 段页式存储管理方式.....	171	本章习题.....	253
4.6 虚拟存储系统.....	173		
4.6.1 虚拟存储器的基本概念.....	173	<b>第 6 章 文件系统.....</b>	<b>255</b>
4.6.2 请求分页存储管理方式.....	174	6.1 文件和文件系统.....	256
4.7 Linux 内存管理机制.....	179	6.1.1 文件.....	256
4.7.1 Linux 地址映射机制.....	179	6.1.2 文件系统.....	257
4.7.2 Linux 物理内存空间管理.....	184	6.1.3 文件操作.....	258
4.7.3 Linux 虚拟地址空间管理.....	201	6.2 文件的结构和存取.....	259
4.8 本章小结.....	206	6.2.1 文件的逻辑结构.....	259
本章习题.....	207	6.2.2 文件的物理结构.....	261
		6.2.3 文件存取.....	266
<b>第 5 章 设备管理.....</b>	<b>211</b>	6.3 文件目录管理.....	266
5.1 设备管理的功能.....	211	6.3.1 文件目录的概念.....	267
5.2 输入/输出系统.....	212	6.3.2 文件目录结构.....	270
5.2.1 设备的分类.....	212	6.3.3 目录检索技术.....	273
5.2.2 设备控制器.....	213	6.4 文件存储空间管理.....	273
5.2.3 I/O 通道.....	215	6.5 文件共享和文件保护.....	278
5.2.4 I/O 系统结构.....	216	6.5.1 文件共享.....	278
5.3 输入/输出控制方式.....	217	6.5.2 文件保护.....	280
5.4 缓冲管理.....	219	6.6 磁盘调度.....	283

6.6.1	磁盘管理概述 .....	283	7.2.3	Linux 添加系统调用的步骤 .....	331
6.6.2	磁盘调度算法 .....	284	7.2.4	Linux 内核编译步骤 .....	332
6.7	Linux 文件系统 .....	286	7.3	实验二: Linux 内核模块编程 .....	336
6.7.1	Linux 文件系统概述 .....	286	7.3.1	设计目的和内容要求 .....	336
6.7.2	虚拟文件系统 VFS .....	288	7.3.2	Linux 内核模块简介 .....	336
6.7.3	文件系统的注册、安装和卸载 .....	294	7.3.3	内核模块编程基础 .....	337
6.7.4	Linux 文件系统对文件的操作 .....	298	7.3.4	实验指南 .....	342
6.7.5	Ext 文件系统 .....	303	7.4	实验三: Linux 进程管理 .....	345
6.8	本章小结 .....	307	7.4.1	设计目的和内容要求 .....	345
	本章习题 .....	308	7.5	实验四: Linux 设备驱动程序开发 .....	346
			7.5.1	设计目的和内容要求 .....	346
<b>第 7 章</b>	<b>操作系统实验 .....</b>	<b>311</b>	7.5.2	Linux 字符设备驱动程序的设计 .....	347
7.1	Linux 常用工具介绍 .....	311	7.5.3	Linux 字符设备驱动程序的编译及加 载 .....	350
7.1.1	Linux 基本使用 .....	311	7.6	实验五: 简单文件系统的实现 .....	351
7.1.2	查看 Linux 源码内容工具 .....	316	7.6.1	设计目的和内容要求 .....	351
7.1.3	Linux 中的汇编语言 .....	324	7.6.2	预备知识 .....	352
7.2	实验一: Linux 内核编译及添加 系统调用 .....	328	7.6.3	实例系统的设计与实现 .....	354
7.2.1	设计目的和内容要求 .....	328			
7.2.2	Linux 系统调用的基本概念 .....	329	<b>参考文献 .....</b>	<b>359</b>	





## 第1章 操作系统引论

自1946年世界上第一台计算机诞生至今已逾70年，这在人类历史的长河中是何等短暂的时光，但是计算机相关的技术在这些年间的发展及成就却令人震惊和兴奋不已，其对人类的思维方式和生活方式所带来的影响是巨大而彻底的。计算机技术不仅广泛应用于科学计算、过程控制和数据处理，而且已渗透到商务、办公、教育、家庭等许多领域，人们日常生活的方方面面都离不开计算机系统的支撑。

计算机系统有如此强大的计算与处理能力，除了依靠人们看得到摸得着的硬件以外，更加重要的是那些纷繁复杂、功能强大的软件，尤其是每台计算机都必须配置的系统软件——操作系统。操作系统是计算机硬件上覆盖的第一层软件，是对硬件系统的首次扩充，而其他软件的执行都将依赖于操作系统的支持。

虽然我们每天都在使用操作系统，也知道计算机运行离不开操作系统，智能手机中也运行着操作系统(iOS和Android)，但是我们真的了解和认识这些操作系统吗？请你试着回答这些问题：

- 为什么计算机必须依靠这些操作系统才能工作呢？
- 我们使用的软件与操作系统是什么关系呢？
- 为什么操作系统有一个启动的过程，不能刚开机就启动好了？
- 为什么新买的计算机也会觉得启动不够快？
- 为什么Windows中的软件不能在Linux中运行？
- 为什么玩游戏画面会不流畅？该怎么办呢？
- 在线看视频的时候经常看到提示“正在缓冲中”，这个缓冲是什么意思？
- 点击鼠标为什么能把待机状态的计算机唤醒？
- 为什么将Windows XP中编写的程序放在Windows 7中运行时，界面上的窗口和按钮等会自动更换为Windows 7系统界面的样子？

或许我们只会比较熟练地使用操作系统的部分功能，又或是能够熟练地使用一些应用程序(如微信、QQ、浏览器和办公软件等)，但是操作系统背后其实蕴含着更加精彩的奥秘，值得我们探究和学习。

本章学习要点：

- 什么是操作系统；
- 操作系统的发展与分类；
- 操作系统的特征和功能；
- 操作系统用户接口；



- 操作系统内核结构;
- 典型操作系统介绍。

## 1.1 什么是操作系统

计算机系统中都安装了称为操作系统(Operating System)的软件,如大家所熟知的 Unix、Linux、Windows 和 macOS 等。操作系统是计算机软件中最基础、最核心的部分,是计算机用户与计算机硬件之间的中介程序,它为用户执行程序提供更方便、更有效的环境。从资源管理的观点看,操作系统对计算机系统内的所有硬件和软件资源进行管理和调度,优化资源的利用,协调系统内的各种活动。

### 1.1.1 计算机系统

计算机系统就是按人的要求接收和存储信息,自动进行数据处理和计算,并输出结果的系统。一个完整的计算机系统是由硬件和软件两大部分组成的。通常硬件是指计算机的物理装置,是完成系统各项工作的物质基础;而软件是指各种程序和文件,用于指挥和管理整个计算机系统按指定的要求进行工作。

#### 1. 计算机硬件

计算机硬件(hardware)是指计算机系统中由电子、机械和光电组件等组成的各种“看得见、摸得着”的计算机部件和设备,主要包括中央处理器(CPU)、存储器和各种输入/输出设备(简称 I/O 设备)。中央处理器是对信息进行高速运算和处理的部件;存储器又分为主存储器(即内存)和辅助存储器(如磁盘、光盘、优盘等),前者可被中央处理器直接访问,后者主要用于存放数据信息;而输入/输出设备(如键盘、鼠标、打印机、显示器、网卡、绘图仪、扫描仪等)是计算机和用户之间交互的接口部件。

#### 2. 计算机软件

软件(software)是指计算机系统程序、数据和有关的文档。程序是计算任务的处理对象和处理规则的描述,是一组指令的集合;数据是信息在计算机中的表示,是计算机处理的对象;而文档是各种说明文本,是软件操作的辅助性资源。计算机的所有工作都必须在软件的控制下才能进行。

根据软件的作用可以将其分为系统软件、支撑软件和应用软件三类。系统软件是计算机系统中最靠近硬件的一层软件,它支持和管理硬件,与具体的应用领域无关,它创立的是一个平台,如编译程序、装配程序和操作系统等;支撑软件是支撑其他软件的编制和维护的软件,如中间件(middleware)、数据库管理系统(DBMS)、各种接口软件和软件开发工具等;应用软件是某个特定应用领域专用的软件,是范围很广的一类软件,如学籍管理系统、游戏软件、PhotoShop、邮件收发系统等。所有这些软件中,操作系统是基础,是紧挨着硬件的第一层软件,是对硬件功能的首次扩充,其他软件只有在操作系统的支持下,才能发挥作用。计算机系统的层次结构如图 1-1 所示。

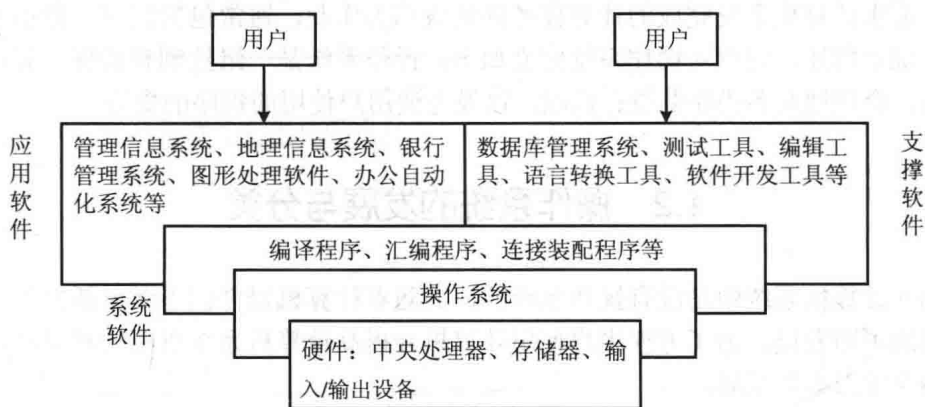


图 1-1 计算机系统层次结构

### 1.1.2 操作系统的概念

从前面的介绍可知操作系统在计算机系统中的地位和作用，它是计算机硬件和其他软件以及计算机用户之间的联系纽带，如果没有操作系统，则用户几乎无法使用计算机系统。那么，什么是操作系统呢？不同的计算机使用者的看法可能不同，下面从不同的角度来讨论操作系统的概念。

#### 1. 用户环境的观点

从用户的角度看，操作系统是用户与计算机硬件系统之间的接口，用户通过操作系统来使用计算机系统，即用户在操作系统的支持下，能够方便、快捷、安全、可靠地操纵计算机硬件资源，运行自己的程序。用户可通过以下三种方式使用计算机：① 直接使用操作系统提供的键盘命令或 Shell 命令语言；② 利用鼠标点击窗口中的按钮、菜单等图标，以执行相应的应用程序，如 Windows 操作系统的图形用户接口；③ 在应用程序中调用操作系统的内部功能模块，即系统调用接口。这些接口为用户开发和运行应用软件提供了便利的环境和手段。

#### 2. 资源管理的观点

把操作系统看作系统资源的管理者，是目前关于操作系统描述的主要观点。现代计算机系统通常包括各种各样的资源，总体上可分为处理器、存储器、I/O 设备和文件四类，因此，操作系统的功能就是负责对计算机的这些软、硬件资源进行控制、调度、分配和回收，解决系统中各程序对资源使用请求的冲突，保证各程序都能顺利完成运行。

#### 3. 虚拟机观点

一台完全无软件的计算机系统称之为裸机，即使其功能再强，也是难于使用的。如果在裸机上覆盖一层 I/O 设备管理软件，用户便可以利用它所提供的 I/O 命令，方便地进行数据的输入和输出。此时用户所看到的机器将是一台比裸机功能更强、使用更方便的机器，通常把覆盖了软件的机器称为虚拟机。如果在 I/O 设备管理软件上再覆盖一层文件管理软件，则用户可利用它提供的文件管理命令，方便地进行文件的存取。如果在文件管理软件上再覆盖一层面向用户的窗口软件，则用户便可在窗口环境下更加方便地使用计算机，形成一台功能更强的虚拟机。



用户要求计算机系统完成的计算任务的集成称为作业，通常包括程序、数据及作业处理说明。综上所述，可以对操作系统定义如下：操作系统是一组控制和管理计算机硬件与软件资源，合理地各类作业进行调度，以及方便用户使用的程序的集合。

## 1.2 操作系统的发展与分类

早期的计算机系统中是没有操作系统的，而随着计算机器件的不断更新换代、计算机体系结构的不断发展，为了方便用户使用计算机并提高计算机系统资源的利用率，操作系统得以逐渐地形成和发展。

### 1. 手工操作阶段

早期的计算机只配备有硬件，没有操作系统，程序的装入、调试以及控制程序的运行都是通过控制台上的开关来实现的，用户也只能使用机器语言进行编程。这种工作方式需要很多人工干预，形成了手工操作慢但处理机快的所谓人机矛盾，并且使用不方便。

### 2. 批处理操作系统

为了缓和上述的人机矛盾，提高系统资源的利用率，人们提出了自动从一个作业转到下一个作业的工作方式，由此出现了批处理操作系统，这样，用户将需要计算机完成的一批工作交给计算机，计算机自动地完成这些工作。批处理操作系统又分为单道批处理系统和多道批处理系统。

#### 1) 单道批处理系统

在单道批处理系统中，设置了一个能完成作业自动转换工作的程序，该程序被称为监督程序，当操作员把一批作业交给系统后，就由监督程序控制这一批作业的自动运行。监督程序首先从磁带或磁盘上读取第一个作业到内存，在第一个作业全部完成之后，监督程序又自动调入该批第二个作业(如图 1-2(a)所示)，并且重复此过程，直至该批作业全部完成，再处理下一批作业。

#### 2) 多道批处理系统

由于单道批处理系统的内存中仅有一道作业，致使系统资源的利用率仍不高，如图 1-2(a)所示，处理器在  $t_2 \sim t_4$  期间内被闲置，而设备 2 在  $t_1 \sim t_7$  期间内完全闲置。为了提高资源利用率和系统吞吐量(所谓系统吞吐量，是指系统在单位时间内所完成的工作量)，在 20 世纪 60 年代中期引入了多道程序设计技术，形成了多道批处理系统。其基本思想是把用户所提交的作业都先存放在外存上并排成一个队列，称为“后备队列”；然后由作业调度程序按一定的算法从后备队列中选择若干个作业同时装入内存，在管理程序的控制下交替执行，共享 CPU 和系统中的其他各种资源，每当正在运行的程序因某种原因(如等待 I/O 操作的完成)不能继续运行时，CPU 立即转去执行另一道程序，其运行情况如图 1-2(b)所示。相对于单道系统而言，在多道系统中，CPU 在  $t_2 \sim t_3$  期间得到了利用，设备 2 在  $t_3 \sim t_5$  期间得到了利用。单道系统在  $t_8$  时刻才结束两道程序的执行，而多道系统在  $t_6$  时刻就结束了，只使用了与原来执行程序 A 相同的时间。可见多道程序运行方式既提高了 CPU 的利用率，也提高了内存和 I/O 设备的利用率，同时也大幅增加了系统吞吐量。

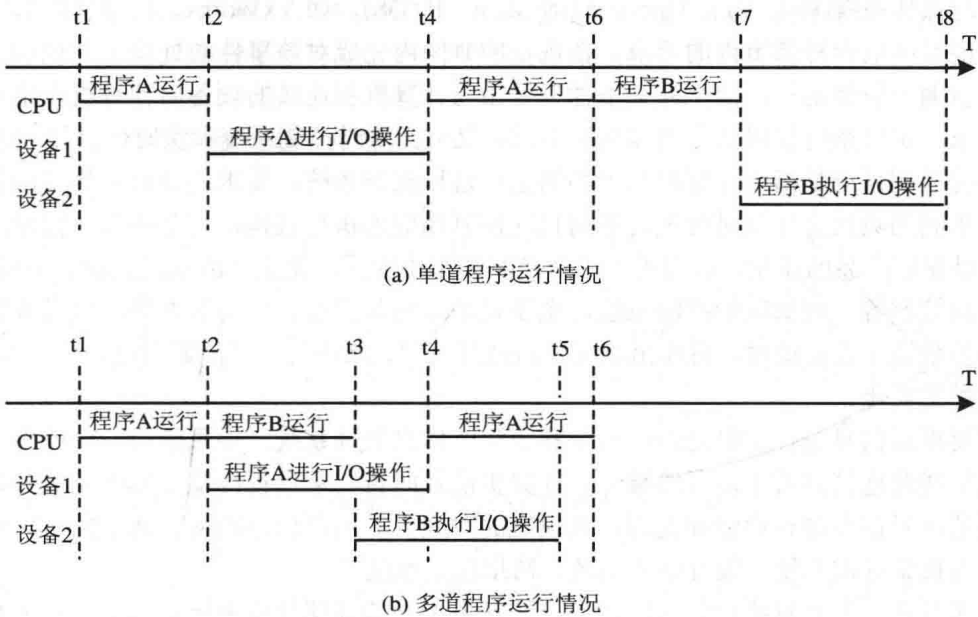


图 1-2 单道和多道程序运行情况

多道批处理系统的主要优点是资源利用率高，系统吞吐量大；而其主要缺点是作业的平均周转时间长(所谓周转时间，是指从作业装入系统开始，到运行完成并退出系统为止所经过的时间)，并且无交互能力，这对修改和调试程序是极不方便的。

### 3. 分时操作系统

虽然批处理系统提高了资源的利用率和系统吞吐量，但由于缺乏交互能力，对用户而言极不方便，这就促进了分时系统的出现。

在一个分时系统中，一个主机与多个交互终端相连，这些终端可能是本地的，也可能是远程的。每个终端上可以有一个用户，这些用户通过自己的终端以交互方式使用计算机，共享主机中的资源，如图 1-3 所示。系统把 CPU 的运行时间分成适当大小的时间片(所谓时间片，是指作业能够连续使用 CPU 的最长时间)，通常是几十毫秒，然后按时间片轮流为各终端用户服务。若某个作业在分配给它的时间片内不能运行完成，则系统将暂时中断该作业的运行，保存其当前运行状态，让其等待下一轮时间片，而把 CPU 分给另一个终端用户的作业使用。由于 CPU 处理速度极快，作业运行轮转得也很快，使得每个终端用户的作业都能在一个不太长的时间间隔内(比如 2~5 s)得到一次运行机会，这样每个终端用户都感觉好像独占一台计算机，以交互的方式使用计算机的各种资源。分时系统具有多路性、独立性、及时性和交互性特征，而交互性是其最重要的特征之一。

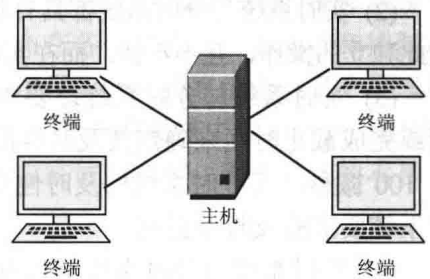


图 1-3 分时操作系统示意图

### 4. 实时操作系统

随着计算机应用领域的扩大，有些应用领域对系统响应时间的要求非常严格，于是出



现了实时操作系统(Real-Time Operating System, RTOS), 如 VxWorks。所谓实时系统, 是指系统能及时响应外部事件的要求, 在规定的时间内完成对该事件的处理, 并控制所有实时任务协调一致地运行。而“外部事件”是指与计算机相连接的设备向计算机发出的各种服务请求。实时系统按照其应用领域的不同, 又分为实时控制系统和实时信息处理系统。

实时控制系统是指以计算机为中心的生产过程控制系统, 要求能及时采集现场数据, 并对采集到的数据进行及时处理, 进而自动控制相应的执行机构, 使某些参数按预定规律变化, 以保证产品的质量。通常用于工业控制和军事应用, 如生产流水线控制、宇航控制、火炮自动控制等。例如锅炉控制系统, 系统定期采集其温度、压力等参数, 当发现温度、压力等参数高于设定值时, 将作出响应, 如打开阀门、断电等, 以降低温度、压力等参数, 保证锅炉的安全。

把要求对信息进行实时处理的系统称为实时信息处理系统。该系统由一台或多台主机通过通信线路连接到若干远程终端上, 计算机能及时接收从远程终端上发来的服务请求, 并根据请求对信息进行检索和处理, 在很短的时间内对用户作出响应。典型的实时信息处理系统有机票订购系统、银行财务系统、情报检索系统等。

在实时系统中并发执行的实时任务, 按任务执行的周期性分为周期性实时任务和非周期性实时任务。周期性实时任务按照指定周期循环执行, 而非周期性的任务都必须联系着一个截止时间。截止时间又可以分为开始截止时间(任务在某时间以前必须开始执行)和完成截止时间(任务在某时间以前必须完成)。根据截止时间的要求, 实时任务又可以划分为硬实时任务和软实时任务。

实时操作系统具有及时性和可靠性都很高的特点, 但它的交互性比分时系统的弱。可以从如下几方面对比分时系统与实时系统:

(1) 实时系统与分时系统都具有多路性。分时系统按照分时原则为多个终端用户服务; 而实时控制系统的多路性则主要表现在经常对多路的现场信息进行采集以及对多个对象或多个执行机构进行控制。

(2) 实时系统与分时系统都具有独立性。每个终端用户在向分时系统提出服务请求时, 是彼此独立的操作, 互不干扰; 而在实时控制系统中信息的采集和对象的控制, 也互不干扰。

(3) 实时系统与分时系统都要求及时性。实时系统是以控制对象所要求的开始截止时间或完成截止时间来确定其及时性的, 一般为秒级、百毫秒级直至毫秒级, 甚至有的要低于 100 微秒。而分时系统的及时性是以用户所要求的响应时间来确定的, 一般为秒级, 实时系统要求的及时性更高。

(4) 实时系统与分时系统都具有交互性。实时系统的交互仅限于访问系统中某些特定的专用服务程序; 而分时系统则能向终端用户提供数据处理、资源共享等多种服务, 分时系统的交互性是其主要特征。

(5) 实时系统与分时系统都要求可靠性。分时系统要求系统可靠, 而实时系统要求系统高可靠度, 因为实时系统的任何差错都可能带来巨大的经济损失甚至无法预料的灾难性后果。因此, 实时系统往往采取多级容错措施来保证系统的高可靠性。

## 5. 微机操作系统

微机操作系统是指配置在微型计算机上的操作系统, 按其功能可分为单用户单任务操



作系统(如 MS-DOS)、单用户多任务操作系统(如 OS/2 和 Windows)及多用户多任务操作系统(如 Linux)。单用户是指系统可以同时登录使用系统的用户数量只有一个,如果可以多个用户同时登录系统使用,则为多用户。如果系统中只允许单个任务执行就是单任务系统,如果系统可以同时执行多个任务,则称为多任务系统。

## 6. 网络操作系统

计算机网络是通过通信设施将地理位置上分散的具有自治功能的多个计算机系统互连起来,实现信息交换、资源共享、互操作和协作处理的系统。而网络操作系统是配置在网络中用于管理网络通信和共享资源,协调各计算机上任务的运行,并向用户提供统一的、有效方便的网络接口的程序集合。要说明的是,在网络中各独立计算机仍有自己的操作系统,由它管理自身的资源,只有在各计算机要进行相互间的信息传递及使用网络中的共享资源时,才会涉及网络操作系统。

网络操作系统除了具备一般操作系统所具有的功能外,还应具有以下功能:

- (1) 网络通信管理:主要负责实现网络中计算机之间的通信。
- (2) 网络资源管理:对网络中共享的软硬件资源实施有效的管理,保证用户方便、正确地使用这些资源,提高资源的利用率。
- (3) 网络安全管理:提供网络资源访问的安全措施,保证系统中共享资源的安全性。
- (4) 提供网络服务:包括文件传输服务、打印服务、电子邮件服务等。

## 7. 分布式操作系统

在以往的计算机系统中,处理和控制功能都高度地集中在一台主机上,所有的任务都由主机处理,这样的系统称为集中式处理系统。而分布式处理系统则是把系统的处理和控制功能都分散在系统的各个处理单元上,系统中的所有任务,也可动态地分配到各个处理单元上并行执行,实现分布处理。可见,分布式处理系统最基本的特征是实现了处理上的分布,而处理分布的实质是资源、功能、任务和控制都是分布的。

配置在分布式处理系统上的操作系统称为分布式操作系统。与前面介绍的操作系统不同,它不是集中地安装在某一台主机上,而是均匀地分布在各个站点上,其处理和 control 功能都是分布的。同时,操作系统的任务分配程序可将多个任务分配到系统中的多个处理单元上,使这些任务并行执行,从而加速任务的执行。此外,分布在系统中各个站点上的软、硬件资源,可供全系统中的所有用户共享,并以透明的方式访问它们,用户看到的不是多个分散的处理单元,而是一个功能强大的计算机系统。

## 8. 嵌入式操作系统

在机器人、掌上电脑、车载系统、智能家用电器、手机等设备上,通常会嵌入安装各种微处理器或微控制芯片。嵌入式操作系统就是运行在嵌入式智能芯片环境中,对整个智能芯片以及它所操作、控制的各种部件装置等资源进行统一协调、调度、指挥和控制的系统软件。与一般操作系统相比,嵌入式操作系统具有以下特点:① 操作系统规模一般较小。因为通常相应硬件配置较低,而且对操作系统提供的功能要求也不高。② 应用领域差别大。对于不同的应用领域其硬件环境和设备配置情况有明显的差别。

嵌入式操作系统具有微小、实时、专业、可靠、易裁剪等优点。代表性的嵌入式操作系统有 Win CE、Linux、VxWorks 等。



### Unix 操作系统与 C 语言

Unix 最早是由 Ken Thompson、Dennis MacAlistair Ritchie 和 Douglas McIlroy 于 1969 年在 AT&T 的贝尔实验室开发的。在开发 Unix 第三版的时候，Ken Thompson 与 Dennis MacAlistair Ritchie 深深感到用汇编语言做移植非常困难，Dennis MacAlistair Ritchie 改良了基于 BCPL 语言的 B 语言，于是影响深远大名鼎鼎的 C 语言诞生了。Unix 第三版内核便是采用 C 语言编写的，Unix 和 C 语言完美地结合为一体，很快成为世界计算机技术领域的主导。如果你想充分理解 Unix，则必须熟练掌握 C 语言；而如果你对 C 语言感到困惑，那么请你深入学习 Unix。

## 1.3 操作系统的特征和功能

### 1.3.1 操作系统的特征

不同类型的操作系统通常具有各自不同的特征，但操作系统作为系统软件也有其基本特征，这就是：并发性、共享性、虚拟性和异步性。

#### 1. 并发性

在多道程序环境下，并发性是指两个或多个事件在同一时间间隔内同时发生，即宏观上有多个程序在同时执行，而微观上，在单处理机系统中这多个程序是交替运行的。它与并行性的区别是并行性是指两个或多个事件在同一时刻同时发生，即微观上仍是同时运行的。并发的目的是改善系统资源的利用率和提高系统的吞吐量。应该注意的是，程序本身只是一组静态代码，它们是不能并发运行的，真正实现并发活动的实体是进程，详见第 3 章内容。

#### 2. 共享性

在操作系统中引入多道程序设计技术后，系统中的硬件资源和软件资源不再被某个程序所独占，而是供系统中的多个程序共同使用。根据资源属性的不同，可以有两种资源共享方式：互斥共享和同时共享。

互斥共享是指某些系统资源，如打印机、绘图仪等，虽然可以提供给多个程序使用，但是在一段时间内只能由一个程序使用。例如，当一个程序正在使用打印机时，其他需要使用这台打印机的程序必须等待，直到该程序打印完毕，释放打印机，才允许另一程序使用它。这种在一段时间内只允许一个程序访问的资源称为临界资源，系统中的许多物理设备、某些共享变量、表格等都属于临界资源，它们只能互斥共享。

同时共享是指系统资源允许在同一段时间内被多个程序同时访问。这里的“同时”是宏观上的，微观上这些程序仍是交替访问系统资源。典型的可以同时共享的资源是磁盘。

并发和共享是操作系统的两个基本特征，它们互为存在条件。首先，共享是以并发执行为条件，若系统不支持程序并发执行，则系统中将不存在资源共享；同时，共享也必然





会影响程序的并发执行，若资源共享不当，并发性会减弱，甚至无法实现。

### 3. 虚拟性

虚拟性是指通过某种技术把一个物理实体变成若干个逻辑上的对应物。即物理上虽然只有一个实体，但用户感觉有多个实体可供使用，如通过多道程序设计技术，可以实现处理机的虚拟，另外还有虚拟存储、虚拟设备等。

### 4. 异步性

异步性又称为不确定性。在多道程序环境下，允许多个程序并发执行，但由于资源等因素的限制，使得多个程序的运行顺序和每个程序的运行时间是不确定的，各程序的执行过程有“走走停停”的特点。具体地说，各个程序什么时候得以运行、在执行过程中是否被其他事情打断暂停执行、向前推进的速度是快还是慢等都是不可预知的，由程序执行时的现场所决定。

## 1.3.2 操作系统的功能

引入操作系统的目的有两个：一是充分发挥计算机系统资源的使用效率；二是方便用户的使用。为实现上述目的，从资源管理的观点看，操作系统应具有五个方面的功能：处理器管理、存储器管理、设备管理、文件管理和提供用户接口。这五大部分相互配合，协调工作，实现计算机系统的资源管理、控制程序的执行，并为用户提供方便的使用接口。

### 1. 处理器管理

当用户程序进入内存后，只有获得处理器后才能真正投入运行。处理器管理的主要任务就是对处理器进行分配调度，并对其运行进行有效的控制和管理，尤其是在多道程序或多用户的情况下，要求运行的程序数目往往大于处理器的个数，这就需要按照一定的原则进行分配调度。

### 2. 存储器管理

存储器管理的对象是主存储器即内存。其主要任务是管理内存资源，根据内存空间的使用情况和用户程序的要求为程序分配内存空间，并在合适的时机回收。同时，如果有多个用户共享内存，则应保证彼此间不相互冲突和干扰。基于虚拟存储技术，扩充内存空间，为用户提供比实际物理内存容量大的虚拟存储空间。

### 3. 设备管理

计算机系统中，除了处理器和内存以外的所有外部设备，都是设备管理的对象。其主要任务是根据用户对各类设备的使用请求和设备当前的使用状态进行设备的分配。由于设备资源种类繁多，性能差异大，而且速度较慢，容易形成系统的“瓶颈”，因此如何有效地分配和使用设备、协调处理器与设备之间的速度差异、提高系统总体性能、方便用户使用设备等问题就成为设备管理要解决的主要问题。

### 4. 文件管理

文件管理的对象是以文件形式存放在外存储器中的程序和数据。其主要任务是实现文件的按名存取，支持对文件的存储、检索和修改，解决文件的共享和保护等问题。