



普通高等教育“十二五”规划教材

# 计算机操作系统原理

张霞 主编  
张海云 王俊红 钱宇华 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 计算机操作系统原理

主 编 张 霞  
副主编 张海云 王俊红 钱宇华  
编 写 梁春华 周 瑞 杨海红 白鹤翔  
主 审 李 茹



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书全面、系统地介绍了操作系统的基本原理和新技术，并以 Linux 系统为例，介绍其实现方法。全书共 9 章，主要内容包括操作系统的功能、发展、分类以及操作系统的特征和实现结构，操作系统的用户界面，进程管理，处理机调度，存储管理，设备管理，文件系统管理，Linux 操作系统原理，多核结构下操作系统的研究进程和关键问题。

本书内容完整、层次丰富，涵盖了操作系统的所有核心内容和考研知识点，适合作为高等院校计算机专业或相关专业操作系统课程的教材，也可供有关科研人员自学或参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机操作系统原理 / 张霞主编. —北京: 中国电力出版社, 2012.9

普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5123-3526-4

I. ①计… II. ①张… III. ①操作系统—高等学校—教材 IV. ①TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 225713 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 10 月第一版 2012 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 316 千字

定价 24.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前 言

操作系统是计算机系统中的核心系统软件，是整个计算机软硬件系统的掌控者。学习操作系统是因为计算机离不开操作系统，只有理解了操作系统的原理，才可能知道程序是如何在计算机上运行的，才能了解到程序是否最大限度地利用了系统的能力。

作为本科生教材，操作系统课程内容不宜过深过细，而应强调“为什么”和“怎样做”，注重原理的逻辑性，注重“形而上”而不是“形而下”。本书提倡操作系统是人造学科的观点，结合人类社会的管理理念更好地理解 and 掌握操作系统原理。本书内容完整、层次丰富，涵盖了操作系统的所有核心内容和考研知识点，并注重强化知识点的掌握，每章后面的习题都紧扣本章的知识点和重点，并加入历年考研真题。

本书全面系统地介绍了操作系统的基本原理和新技术，并以 Linux 系统为例，介绍具体实现方法。全书共 9 章：第 1 章介绍了操作系统的概念、功能、发展和分类以及操作系统的特征和实现结构；第 2 章介绍了操作系统的用户界面；第 3 章深入阐述了进程和线程的概念、进程的状态与控制、进程的同步与互斥、进程的通信与死锁；第 4 章介绍了处理机调度的层次、调度的算法和实时系统的调度方法；第 5 章是存储管理，包括分区存储管理、页式管理、段式与段页式管理方法；第 6 章是设备管理，介绍了数据传输控制方式、中断技术、缓冲技术、设备分配和磁盘存储器管理；第 7 章文件系统管理，介绍了文件的逻辑结构与存取方法、文件的物理结构与存储设备、文件存储空间管理、文件目录、文件的共享与保护等内容；第 8 章以 Linux 为例介绍了其实现原理；第 9 章介绍了多核结构下操作系统的研究进程和关键问题。

这里需要提到的是，本书阐述的是操作系统的原理，它不依赖于任何具体的实现，对所有的操作系统都适用，但具体的商业操作系统在应用这些原理时可以有更灵活的方式。如果要更深入地理解操作系统的细节或者说能够设计开发真正的操作系统，读者还需要进行 Windows、Linux 等商业操作系统课程的学习，阅读分析一个实际的操作系统源代码。本书配有操作系统原理实验指导书，以 Linux 为例进行操作系统的实践学习。

本书由多年从事操作系统课程教学的一线教师执笔。全书由张霞老师负责组织与统稿，张霞老师编写了第 1、3 章，太原理工大学财经学院梁春华老师编写了第 2 章，白鹤翔老师编写了第 4 章，张海云老师编写了第 5 章，王俊红老师编写了第 6 章，忻州职业技术学院的周瑞老师编写了第 7 章，山西旅游职业学院的杨海红老师编写了第 8 章，钱宇华老师编写了第 9 章。

在本书的编写过程中，得到了学院李茹副院长的大力支持与帮助。此外，白志勇老师，卫樱、吕婷婷、赵海宏硕士生在校对、整理等工作中都付出了辛勤的劳动。在此谨向以上各位表示衷心的感谢！也感谢理解和支持我的家人！

由于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

如有疑问，可发邮件 [zhangxia@sxu.edu.cn](mailto:zhangxia@sxu.edu.cn) 进行交流。

编 者

2012 年 9 月

## 目 录

## 前言

第 1 章 操作系统概述	1
1.1 人造的操作系统	1
1.2 什么是操作系统	1
1.3 操作系统的发展和分类	4
1.4 操作系统的基本特征	13
1.5 操作系统的结构	14
习题	16
第 2 章 操作系统用户界面	17
2.1 作业	17
2.2 命令控制界面	18
2.3 Linux 的命令控制界面	19
2.4 系统调用	20
2.5 Linux 的系统调用	23
习题	24
第 3 章 进程管理	25
3.1 进程的概念	25
3.2 进程状态及其转换	30
3.3 进程控制	32
3.4 进程的同步与互斥	35
3.5 进程通信	47
3.6 死锁	50
3.7 线程	55
习题	58
第 4 章 处理机调度	60
4.1 处理机调度的层次	60
4.2 作业调度	61
4.3 进程调度	63
4.4 调度算法	65
4.5 实时系统调度方法	70
4.6 多处理机系统调度方法	75
习题	75

<b>第 5 章 存储管理</b> .....	77
5.1 存储管理的功能.....	77
5.2 分区存储管理.....	81
5.3 覆盖与交换技术.....	86
5.4 页式管理.....	88
5.5 段式与段页式管理.....	100
5.6 局部性原理.....	106
习题.....	107
<b>第 6 章 设备管理</b> .....	109
6.1 输入/输出系统.....	109
6.2 数据传输控制方式.....	111
6.3 中断技术.....	117
6.4 缓冲技术.....	119
6.5 设备分配.....	122
6.6 输入/输出软件.....	126
6.7 磁盘存储器管理.....	129
习题.....	135
<b>第 7 章 文件系统管理</b> .....	136
7.1 文件和文件系统.....	136
7.2 文件的逻辑结构与存取方法.....	138
7.3 文件的物理结构与存储设备.....	143
7.4 文件存储空间管理.....	147
7.5 文件目录.....	150
7.6 文件共享与保护.....	154
7.7 文件的使用.....	159
7.8 文件系统的层次模型.....	160
习题.....	161
<b>第 8 章 Linux 操作系统原理</b> .....	163
8.1 Linux 的内核结构.....	163
8.2 进程管理.....	164
8.3 进程间通信机制.....	171
8.4 存储管理.....	177
8.5 设备管理.....	180
8.6 文件系统.....	183
习题.....	194
<b>第 9 章 多核结构下的操作系统</b> .....	195
9.1 多核技术的出现.....	195
9.2 多核结构.....	196

9.3 多核操作系统的研究进程	197
9.4 多核操作系统的关键问题	197
9.5 讨论：多核系统的性能	200
习题	201
参考文献	202

## 第1章 操作系统概述

操作系统(Operating System, OS)是配置在计算机硬件上的第一层软件,是对硬件系统的首次扩充。对于刚学习操作系统的入门者来说,首先想到的问题是操作系统到底是什么。此外,操作系统作为计算机的核心控制系统,它在计算机运行过程中扮演什么角色?它的来历如何。它有哪些基本概念?我们应该如何看待操作系统?操作系统的基本特征和结构又有哪些?这些也是学习操作系统需要了解的基本问题。本章的内容就是围绕以上问题展开的。

### 1.1 人造的操作系统

为什么要学习操作系统?因为计算机离不开操作系统,它是计算机系统的基本组成部分,是整个系统的基础和核心。很多人都觉得操作系统枯燥、乏味,更有人说懂不懂操作系统没有关系,不是很多人在学习操作系统之前就已经写过程序了吗?可见,不懂操作系统并不妨碍我们学习使用计算机。

你虽然写过程序,可你知道程序到底是如何在计算机上运行的吗?如果不知道,你怎么能肯定你的程序总是会运行正确呢?你就不知道你写的程序是否最大限度地利用了系统的能力。

在学习计算机操作系统的具体原理前,首先要了解的是:什么是计算机的根本特征?

如果我们仔细看看身边的事物,就会发现所有的东西可以划分为两类:一类是本来就存在于自然中,人类所做的只不过是发现;另一类是本来并不存在,人类所做的是发明。第一类事物我们称之为自然存在的事物,第二类事物就是人造事物。从这个思维模式上看,计算机毫无疑问就是人造事物。而这正是我们所需要的答案,即计算机的根本特征是“人造”。

操作系统简单地说就是管理计算机的软硬件资源从而让计算机协调,正确地为用户工作。操作系统的管理方法大都起源于人类社会,例如,管理内存就像管理一个仓库一样,要给入库的物品找到合适的空间入库(内存分配),而且在下次用的时候要能够在放有众多物品的仓库中找到(地址变换)。如同人类社会中的管理方法并不唯一,操作系统中的管理方法也是多样化的,这些方法没有对错,只有不同的适用性和性能上的优劣之分。

明白了计算机是人造事物,操作系统是一个人造的系统,我们就可以按照人造物的特点来进行后续内容的学习,从而更好地理解 and 掌握操作系统原理。

### 1.2 什么是操作系统

英文的 Operating System 意味着什么呢?

在手术室里,主刀大夫称为 Operating Surgeon。在整个手术过程中,主刀大夫具有至高无上的权威,整个手术的过程皆由其主控。Operating Surgeon 就是掌控整个手术过程、具有精湛技术和敏锐判断力的医师。Operating Surgeon 另一个意思是操刀手,就是掌控事



情的人。Operating System 指的就是掌控局势的一种系统,也就是说计算机里面的一切事情均由 Operating System 来掌控。那么,我们现在面临两个问题:第一个问题是操作系统到底是什么,第二个问题是操作系统到底操控什么事情。

### 1.2.1 操作系统的概念

计算机系统由两部分组成:硬件和软件。硬件是软件建立与活动的基础,而软件是对硬件功能的扩充。没有任何软件支持的计算机称为裸机(Bare Machine),它仅仅构成了计算机系统的物质基础,而实际呈现在用户面前的计算机系统是经过若干层软件改造的计算机。计算机软件包括系统软件和应用软件。系统软件如操作系统、多种语言处理程序(汇编和编译程序等)、连接装配程序、系统实用程序等;应用软件是为应用编制的程序。图 1.1 展示了它们之间的关系。

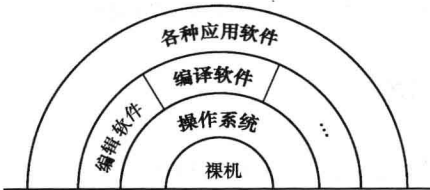


图 1.1 操作系统与硬件的关系

由图 1.1 可看出,计算机的硬件和软件及应用之间是一种层次结构的关系。裸机在最里层,它的外面是操作系统,经过操作系统提供的资源管理功能和方便用户的各种服务功能把裸机改造成功能更强、使用更为方便的机器,通常称为虚拟机(Virtual Machine)或扩展机(Extended Machine)。而各种实用程序和应用程序运行在操作系统之上,它们以操作系统作为支撑环境,同时又向用户提供各种服务。

引入操作系统的目的可从 3 方面来理解。

引入操作系统的目的可从 3 方面来理解。

(1) 从用户的观点来看。计算机是为用户提供服务的,计算机所完成的任何工作,都是为了满足用户的计算或处理需求。因此引入操作系统是让计算机为用户提供更好的服务,构建一个用户和计算机之间的和谐交互环境。这要求计算机有一个良好的用户界面,使用户无须了解许多有关硬件和系统软件的细节,就能够方便灵活地使用计算机。同时计算机还能为用户提供一个可靠和安全的系统管理,以保证用户得到可靠安全的服务。

(2) 从系统管理人员的观点来看。引入操作系统是为了合理地组织计算机工作流程,管理和分配计算机系统硬件及软件资源。因此操作系统是计算机资源的管理者。

(3) 从发展的观点看。引入操作系统是为了给计算机系统的功能扩展提供支撑平台,使之在追加新的服务和功能时更加容易和不影响原有的服务与功能。

综上所述,我们可以非形式地把操作系统定义为操作系统是计算机系统中的一个系统软件,它是这样一些程序模块的集合——管理和控制计算机系统硬件及软件资源,合理地组织计算机工作流程,以便有效地利用这些资源为用户提供一个具有足够的功能、使用方便、可扩展、安全和可管理的工作环境,从而在计算机与用户之间起到接口的作用。

操作系统是一个管理计算机软硬件资源的系统软件,它为用户提供尽可能多的服务,它的管理过程根据用户要求不同而有所不同,但主要是为了让用户高效率地共享计算机软硬件资源,但又要保证其可靠性、安全性、可用性和可管理性。

### 1.2.2 操作系统的功能

操作系统到底操控什么事情?当然是计算机上或计算机里发生的一切事情。最原始的计算机并没有操作系统,而是直接由人来掌控事情,即所谓的单一控制终端、手工操作模式。但是随着计算机复杂性的增长,人已经不能胜任直接掌控计算机了。于是编写出操作系统这个软件来掌控计算机,将人类从日益复杂的任务中解脱出来。

如前所述,操作系统的职能是管理和控制计算机系统中的所有硬、软件资源,合理地组织计算机工作流程,并为用户提供一个良好的工作环境和友好的接口。计算机系统的主要硬件资源有处理机、存储器、输入/输出设备等。软件和信息资源往往以文件形式存储在外部存储器。下面从资源管理和用户接口的观点分5个方面来说明操作系统的基本功能。

(1) 处理机管理。在单道作业或单用户的情况下,处理机被一个作业或一个用户独占,对处理机的管理十分简单。但在多道程序或多用户的情况下,要组织多个作业或进程同时运行,就要解决对处理机分配调度策略、分配实施和资源回收等问题,这就是处理机管理功能。正是由于操作系统对处理机管理策略的不同,其提供的作业处理方式也就不同,例如批处理方式、分时处理方式和实时处理方式,呈现在用户面前,就成为了具有不同性质的操作系统。

(2) 存储管理。存储管理的主要工作是对内存进行分配、保护、扩充和管理。

内存分配。在内存中除了操作系统、其他系统软件外,还有一个或多个用户程序。如何分配内存,以保证系统及各用户程序的存储区互不冲突,这是内存分配问题。

存储保护。系统中有多个程序在运行,如何保证一道程序在执行过程中不会有意或无意地破坏另一道程序?如何保证用户程序不会破坏系统程序?这是存储保护问题。

内存扩充。当用户作业所需要的内存量超过计算机系统所提供的内存容量时,如何把内部存储器和外部存储器结合起来管理,为用户提供一个容量比实际内存大得多的虚拟存储器,而用户使用这个虚拟存储器和使用内存一样方便,这就是内存扩充所要完成的任务。

(3) 设备管理。设备管理是对通道、控制器、输入/输出设备的分配和管理。现代计算机常常配置有种类很多的输入/输出设备,这些设备具有不同的操作性能,特别是它们对信息传输、处理的速度差别很大。设备管理的任务就是根据一定的分配策略,把通道、控制器和输入/输出设备分配给请求输入/输出操作的程序,并启动设备完成实际的输入/输出操作。为了尽可能发挥设备和主机的并行工作能力,常需要采用虚拟技术和缓冲技术。

另外,由于输入/输出设备种类很多,使用方法各不相同。设备管理应为用户提供一个好的界面,而不必去涉及具体的设备特性,以使用户能方便、灵活地使用这些设备,也就是要实现设备的独立性。

(4) 文件系统管理。上述3种管理都是针对计算机的硬件资源的管理。文件系统管理(信息管理)则是对系统的软件资源的管理。

我们把程序和数据统称为信息或文件。一个文件在暂时不用时,就被放到外部存储器(如磁盘、磁带、光盘等)上保存起来。文件系统负责为用户建立、撤销、读/写、修改和复制文件,还负责完成对文件的按名存取。

信息的共享、保密和保护,也是文件系统所要解决的。如果系统允许多个用户协同工作,那么就on应该允许用户共享信息文件。但这种共享应该是受控制的,应该有授权和保密机制,还要有一定的保护机制以免文件被非授权用户调用和修改。

(5) 用户接口。前述的4项功能是操作系统对资源的管理。除此以外,操作系统还为用户提供方便灵活的使用计算机的手段,即提供一个友好的用户接口。一般来说,操作系统提供两种方式的接口为用户服务。

一种用户接口是程序一级的接口,即提供一组广义指令(或称系统调用、程序请求)供用户程序和其他系统程序调用。当这些程序要求进行数据传输、文件操作或有其他资源要求时,通过这些广义指令向操作系统提出申请,并由操作系统代为完成。

另一种接口是提供一组控制操作命令（或称作业控制语言）供用户去组织和控制自己作业的运行。

操作系统实现的关键原则是有效和公平，这是管理者的必备素质。有效，是指不能浪费资源。公平，是指每个人都有享有资源的可能，即尽量减少不公平的现象。除了对上述资源进行管理和抽象外，操作系统作为掌控一切的软件系统，其自身必须是稳定和安全的，即操作系统自己不能出现故障。因此，操作系统本身的设计还包括健壮性管理（即如何确保操作系统自身的正常运作）和安全性管理（即如何防止非法操作和入侵）。

### 1.3 操作系统的发展和分类

操作系统的不断发展与改善由两个因素驱动：硬件成本的不断下降；计算机的功能和复杂性的不断变化。就是这些变化使得操作系统从最初的仅仅几百或几千行代码的独立库函数，发展到今天的多达 4000 万行代码的 Windows XP 操作系统。而某些 Linux 的版本的代码行数更加庞大。操作系统之所以越来越复杂是因为硬件质量和数量的提升使得操作管理的内容增多，而且人类永不满足的各种越来越苛刻的要求也使得计算机操作系统的复杂度增加。

谈论历史的目的是以史明鉴，不是为了谈论历史而谈论历史，而是为了让读者明白操作系统为什么是现在这个样子，以及将来会是什么样子，从根本上把握操作系统这一计算机领域核心学科的脉搏，深刻理解社会变迁给计算机这门人造学科带来的不可抵挡的变化。

操作系统是由于客观的需要而产生的，它伴随着计算机技术本身及其应用的日益发展而逐渐发展和不断完善。它的功能由弱到强，在计算机系统中的地位不断提高。由于操作系统与硬件基础休戚与共，因此我们考察各代计算机，看看它们的操作系统是什么样子，具有哪些功能。

第一代，电子管时代，无操作系统，手工操作。

第二代，晶体管时代，批处理系统。

第三代，集成电路时代，多道程序系统。

第四代，大规模和超大规模集成电路时代，分时、实时系统。

21 世纪初开始，以移动、分布计算为代表，现代计算机正向着普适计算、网格计算及巨型、微型、并行、分布、网络化、智能化等方面发展。

#### 1.3.1 手工操作阶段

在第一代计算机时期，构成计算机的主要元器件是电子管，计算机运算速度慢（只有几千次/秒），计算机上没有操作系统，甚至没有任何软件。用户直接用机器语言编制程序，并上机时独占全部计算机资源。用户既是程序员，又是操作员。上机完全是手工操作：先把程序纸带（或卡片）装上输入机，然后启动输入机把程序和数据送入计算机，接着通过控制台开关启动程序运行，计算完毕，打印机输出计算结果，用户取走并卸下纸带（或卡片）。第二个用户上机，照此办理。这种由一道程序独占机器及人工操作的情况，在计算机速度较慢时是允许的，因为此时计算机计算所需时间相对较长，手工操作所占比例还不是很大。

20 世纪 50 年代后期，计算机的运行速度有了很大提高，从每秒几千次、几万次发展到每秒几十万次、上百万次。这时，由于手工操作的慢速度和计算机的高速度之间形成矛盾，手工操作与机器有效运行时间之比将大大地加大，这种矛盾已经到了不能容忍的地步。唯一

的解决办法是摆脱人的手工操作，实现作业的自动过渡，这样就出现了批处理操作系统。

### 1.3.2 批处理操作系统

在计算机发展的早期阶段，用户上机时需要自己建立和运行作业，并做结束处理。由于没有任何用于管理的软件，所有的运行管理和具体操作都由用户自己承担。每个作业都由许多作业步组成，任何一步的错误操作都可能导致该作业从头开始。在当时，计算机的价格是极其昂贵的，CPU的时间是非常宝贵的，尽可能提高CPU的利用率成为十分迫切的任务。

解决的途径有两个：首先配备专门的计算机操作员，程序员不再直接操作机器，减少了操作机器的错误；另一个重要措施是进行批处理（Batch Processing），操作员把用户提交的作业分类，把一类中的作业编成一个作业执行序列，每一批作业将有专门编制的监督程序（monitor）自动依次处理。

批处理操作系统（Batch Processing Operating System）针对的是第二代计算机，如IBM 1401和IBM 7094等，通过去除人机交互达到CPU和输入/输出利用率的改善。批处理的过程是：用户将自己的程序编在卡片或纸带上，交给计算机管理员。管理员在收到一定数量的用户程序后，将卡片及纸带上的程序和数据通过机器读入，并写在磁带上。这样每盘磁带通常会含有多个用户的程序。然后，计算机操作员将这盘磁带加载到计算机上，一个一个地运行用户的程序，运行的结果写在另一个磁盘上。所有用户程序运行结束后，将存有结果的磁盘取下来，连到机器上进行结果打印，然后就可以将打印结果交给各个用户了。

这个时代的操作系统仍然只能在同一时间段内执行一个程序，但此时文件的概念已经出现。为什么到批处理时期出现了文件的概念呢？因为磁带上的多个用户程序必须以某种方式进行隔离，这需要一个抽象的东西来区分一下。这个抽象的东西就是文件。除了文件管理外，此时的操作系统还能够管理读卡机，磁带，打印机等。此时操纵系统的任务就是加载一个程序、运行、打印结果，然后执行下一个程序。批处理操作系统的两个部分的关系也很清楚：一部分是控制程序执行，一部分是支持程序执行。

批处理操作系统的重要实例有IBM开发的FORTRAN监视系统FMS；IBM开发的基于磁带的工作监控系统IBSYS，用于IBM 7090和IBM 7094；密歇根大学开发的UMES（密歇根大学执行体系系统），用于IBM 7094。

驱动这个阶段操作系统发展的动力是改善效率。因为机器的昂贵，我们不能容忍机器在操作员思考或I/O设备工作期间闲置起来。

## 知识拓展

密歇根大学执行系统UMES：操作系统的黎明

当时，世界上最先进的计算机是IBM 7094。作为礼物，IBM分别给密歇根大学（UM）和麻省理工学院（MIT）各捐赠了一台。密歇根大学靠湖——密歇根湖和伊利湖，麻省理工学院靠海——大西洋。IBM的高管喜欢搞帆船比赛。而每次帆船比赛，需要使用计算机来安排赛程、计算成绩、打印名次等。因此，IBM在捐赠计算机给密歇根大学和麻省理工学院时有一个要求：平时归学校用，一旦帆船比赛就得停下一切计算任务为IBM服务。这当然使得学校很恼火。因为那个时候很难在程序执行中间停下来，将中间结果保留等以后再执行。只要停下来，就要从头来过。

于是，密歇根大学的R.M Graham, Bruce Arden和Bernard Galler在1959年开发出了当

时很有名的 MAD/UMES 系统，即密歇根算法译码器和密歇根大学执行系统。密歇根算法译码器是一种可扩展的程序设计语言，而密歇根大学执行系统是一个能够保存中间结果的操作系统。有了这个系统，密歇根的计算机运行基本就不受 IBM 帆船比赛所造成的中断的影响。麻省理工学院在知道这个系统后，将其安装到了自己的 IBM 7094 上，而 MAD 编程语言随后又进一步移植到 Philco、Univac 和 CDC 等计算机上，其很多功能后来被加入到 FORTRAN 语言里。

### 1.3.3 多道批处理操作系统

虽然批处理操作系统无需人机交互过程，在一定程度上提高了计算机的效率，但还是不那么令人满意。因为，CPU 和输入/输出设备的运行是串行的，即在程序进行输入/输出时，CPU 只能等待。CPU 需要不断地探询输入/输出是否完成，因而不能执行别的程序。

这个时候，由于输入/输出设备的运行速度相对于 CPU 来说实在太慢，这种让高速设备等待低速设备的状况令人颇感痛心。人们又想，能否将 CPU 和输入/输出进行并发呢？即在一个程序输入/输出时，让另一个程序继续执行。换句话说，能否将 CPU 运行和输入/输出设备的运行重叠起来改善整个系统的效率呢？答案是肯定的，不过需要付出代价。因为 CPU 和输入/输出重叠需要我们将多个程序同时加载到计算机内存里，从而出现了多道批处理 (Multi-programmed Batch Processing) 操作系统。

在批处理系统中采用多道程序设计技术，就形成了多道批处理系统。要处理的许多作业存放在外部存储器中，形成作业队列，等待运行。当需要调入作业时，将由操作系统中的作业调度程序对外存中的一批作业，根据其对资源的要求和一定的调度原则，调几个作业进入内存，让它们交替运行。当这几个作业完成时，然后再调入一个或几个作业。这种处理方式，在内存中总是同时存在几道程序，系统资源得到比较充分的利用。

在多道批处理操作系统时代，同一时间可以运行多个程序（宏观上），但控制计算机的人还是只有一个，即用户将自己的程序交给计算机管理员，由管理员负责将用户的程序加载到计算机里并执行。由于多个程序同时执行，操作系统需要能够在多个作业之间进行切换，并且能够管理多个输入/输出设备，同时还需要能够保障运行中的作业互不干扰。

早期批处理系统每次只调用一个用户作业程序进入内存并运行，称为单道运行。图 1.2 (a) 给出了单道程序工作示例。图 1.2 (b) 给出了多道程序工作示例。

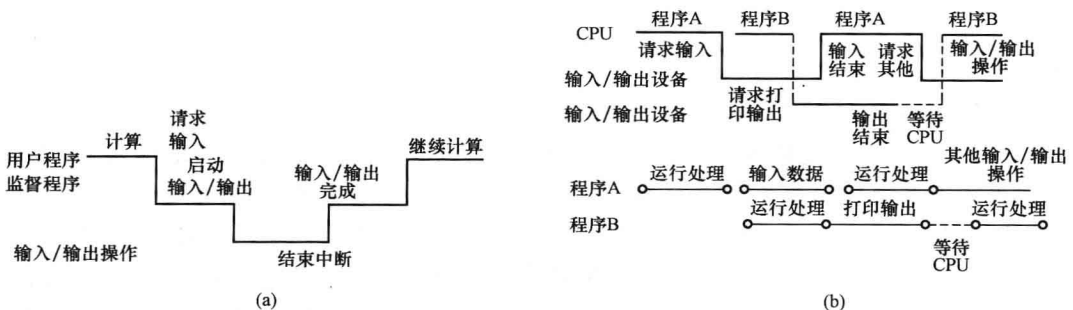


图 1.2 程序工作示例

(a) 单道程序; (b) 多道程序

在单处理机系统中，多道程序运行的特点如下。

(1) 多道。计算机内存中同时存放几道相互独立的程序。

(2) 宏观上并行。同时进入系统的几道程序都处于运行过程中，即它们先后开始了各自的运行，但都未运行完毕。

(3) 微观上串行。实际上，各道程序轮流使用 CPU，交替执行。

多道程序系统中，要解决以下技术问题。

(1) 并发运行的程序要共享计算机系统的硬件和软件资源，既有对资源的竞争，又须相互同步。因此同步与互斥机制成为操作系统设计中的重要问题。

(2) 随着多道程序的增加，出现了内存不够用的问题，提高内存的使用效率也成为关键。因此出现了诸如覆盖技术、交换技术和虚拟存储技术等内存管理技术。

(3) 由于多道程序存在于内存，为了保证系统程序存储区和各用户程序存储区的安全可靠，提出了内存保护的要求。

显而易见，多道批处理操作系统的功能和复杂性都比单道批处理操作系统时要复杂得多，既要管理作业，又要管理内存，还要管理 CPU 调度。

多道批处理操作系统的优点是由于系统资源为多个作业所共享，其工作方式是作业之间自动调度执行，并在运行过程中用户不干预自己的作业，从而大大提高了系统资源的利用率和作业吞吐量。其缺点是无交互能力，用户一旦提交作业后就失去了对其运行的控制能力；作业是批处理的，要排队依次进行处理，因而作业的周转时间较长。

驱动这个阶段操作系统发展的动力仍然是改善效率。因为计算机的昂贵，人们不能容忍计算机（CPU）在输入/输出设备工作期间闲置下来。同时，人们对计算机的要求也开始多起来。因此，这个阶段还伴随着对用户不断增长的要求进行满足。

## 知识拓展

### OS/360: 划时代的多道批处理操作系统

典型的多道批处理操作系统是 IBM 的 OS/360，它运行在 IBM 的第三代计算机 System/360、System/370、System/4300 等之上。OS/360 在技术和理念上都是划时代的操作系统，但在商业上没有使用。因为它有很多错误，可这是避免不了的。划时代的、崭新的东西，很难一次做到完美。内存的分段管理也是在这时候引进的。OS/360 虽然有很多错误，但是不妨碍其作为一个划时代的操作系统。IBM 随后对 OS/360 进行了完善，逐渐演变为一个功能强大、性能可靠的操作系统。该操作系统提供了资源管理和共享，允许多个输入/输出同时运行，CPU 和磁盘操作可以并发。

### 1.3.4 分时操作系统

批处理方式下，用户以脱机操作方式使用计算机。用户在提交作业以后就完全脱离了自己的作业，在作业运行过程中，不管出现什么情况都不能加以干预，只有等该批作业处理结束，用户才能得到计算结果。根据结果再做下一步处理，若有错，还得重复上述过程。它的好处是计算机效率高。不过，用户十分留恋手工操作阶段的联机工作方式，独占计算机，并直接控制程序运行，但独占计算机方式会造成资源效率低。既能保证计算机效率，又能方便用户使用，成为一种新的追求目标。20 世纪 60 年代中期，计算机技术和软件技术的发展使这种追求成为可能。由于 CPU 速度不断提高和采用分时技术，一台计算机可同时连接多个用

户终端，而每个用户可在自己的终端上联机使用计算机，好像自己独占计算机一样。

分时技术，就是把处理机的运行时间分成很短的时间片，按时间片轮流把处理机分配给各联机作业使用。若某个作业在分配给它的时间片内不能完成其计算，则该作业暂时中断，把处理机让给另一作业使用，等待下一轮时再继续其运行。由于计算机速度很快，作业运行轮转的很快，给每个用户的印象是好像他独占了一台计算机。而每个用户可以通过自己的终端向系统发出各种操作控制命令，完成作业的运行。

分时操作系统（Time Sharing Operating System）一般采用时间片轮转的方式，使一台计算机为多个终端用户服务。对每个用户能保证足够快的响应时间，并提供交互会话能力。它具有下述特点。

(1) 交互性。交互会话工作方式给用户带来了许多好处。首先，用户可以在程序动态运行情况下对其加以控制，从而加快调试过程，提供了软件开发的良好环境。其次，用户上机提交作业方便，特别对于远程终端用户，不必将其作业交给机房，在自己的终端上就可以提交、调试、运行其程序。

(2) 多用户同时性。多个用户同时在自己的终端上操作，共享 CPU 和其他资源，充分发挥系统的效率。

(3) 独立性。由于采用时间轮转方式使一台计算机同时为多个终端服务，对于每个用户的操作命令又能快速响应，因此，客观效果上用户彼此之间都感觉不到有别人也在使用该台计算机，如同自己独占计算机一样。

(4) 及时性。用户的请求能在很短的时间内获得响应。

为实现分时系统，必须解决一系列问题。其中最关键的问题是如何使用户能与自己的作业进行交互。当用户在自己的终端上输入命令时，系统应能及时接受并及时处理该命令，再将结果返回给用户。

分时操作系统是一个联机的（on-line）多用户（multi-user）交互式（interactive）的操作系统。1970 年诞生的 UNIX 是当今最流行的一种多用户分时操作系统，但 CTSS（Compatible Time Sharing System）和 MUTICS（Multiplexed Information and Computing Service）这两个系统也是值得一提的。前者是一个实验性的分时系统，在 1963 年由 MIT 研制成功。后者是由 MIT、Bell 实验室和 GE 公司联合在 1965 年开始设计的，尽管它并没有取得最后成功，但 UNIX 是在其基础上开发出来的。

## 知识拓展

1970 年，Ken Thompson 用汇编语言在 PDP-7 计算机上设计了一个小型的操作系统，取名为 UNIX。1971 年 Dennis Ritchie 开发了 C 语言，并在 1973 年用 C 语言重写了 UNIX，这就成为今日 UNIX 的最初蓝本。UNIX 的主要特点是：可移植性好，在微机、工作站、小型机到大型机上都能运行；有良好的用户界面；树形分级结构的文件系统；字符流式文件；丰富的核外系统程序，提供相当完备的程序设计环境；设计思想先进，核心精干；提供管道机制；提供对网络通信能力的有力支持，是 Internet 上服务器级的主流操作系统；系统安全，可靠性高。

UNIX 经过几十年的发展，目前的商业使用版本主要有：IBM 的 AIX、SUN（Stanford University Networks，斯坦福大学网络）的 Solaris 系列、Linux 系列、惠普公司的 HP-UX。

### 1.3.5 实时操作系统

20 世纪 60 年代中期计算机进入第三代, 计算机的性能和可靠性有了很大提高, 造价也大幅度下降, 促使计算机应用越来越广泛。计算机由于应用于工业过程控制、军事实时控制等领域形成了各种实时系统。实时操作系统 (Real-time Operating System) 是以在允许时间范围之内做出响应为特征的。它要求计算机对于外来信息能以足够快的速度进行处理, 并在被控对象允许时间范围内做出快速响应, 其响应时间要求在秒级、毫秒级甚至微秒级或更小。

实时系统中必然存在若干个实时任务, 可从不同的角度对实时任务加以分类。

(1) 按任务执行时是否呈现周期性来划分, 可分为周期性实时任务和非周期性实时任务。

(2) 根据对任务完成截止时间的要求来划分, 可分为硬实时 (hard real-time) 和软实时 (soft real-time) 任务。硬实时任务系统必须满足任务对截止时间的要求, 否则可能出现难以预测的结果, 如导弹防卫系统。软实时任务的截止时间不严格, 若偶尔延迟, 对系统产生的影响是可以承受的, 如流水线控制系统。

实时系统的主要特点是提供即时响应和高可靠性。系统必须保证对实时信息的分析和处理的速度要快, 而且系统本身要安全可靠。因为在生产过程的实时控制、武器系统的实时控制、航空订票、银行业务等实时事务系统中, 信息处理的延误或丢失往往会带来不堪设想的后果。实时系统往往具有一定的专用性, 与多道批处理系统、分时系统相比, 实时系统的资源利用率可能较低。

设计实时操作系统要考虑如下一些因素。

(1) 实时时钟管理 (定时处理和延时处理)。

(2) 连续的人—机对话, 这对实时控制往往是必需的。

(3) 过载保护。在实时系统中进入系统的实时任务的时间和数目有很大的随意性, 因而在某一时刻有可能超出系统的处理能力, 这就是所谓过载问题, 要求采取过载保护措施。

(4) 高度可靠性和安全性, 需采取冗余措施。双机系统前、后台工作, 包括必要的保密措施等。

商业实时操作系统的代表有 VxWorks 和 EMC 的 DART 系统。

### 1.3.6 通用操作系统

多道批处理系统和分时系统的不断改进、实时系统的出现及其应用日益广泛, 使操作系统日益完善。在此基础上, 出现了通用操作系统 (Multi-purpose Operating System)。它可以同时兼有多道批处理、分时、实时处理中的两种或三种处理能力。例如, 将实时处理和多道批处理相结合构成实时批处理系统。在这样的系统中, 它首先保证优先处理实时任务, 插空进行批处理作业处理。通常把实时任务称为前台作业, 批作业称为后台作业。将批处理和分时处理相结合可构成分时批处理系统。在保证分时用户的前提下, 没有分时用户时可进行批量作业的处理。同样, 分时用户和批处理作业可按前后台方式处理。

从 20 世纪 60 年代中期开始, 国际上开始研制大型通用操作系统。这些系统试图达到功能齐全、可适应各种应用范围和操作方式变化多端的目标。但是这些系统本身很庞大, 不仅付出了巨大的代价, 而且由于系统过于复杂和庞大, 在解决其可靠性、可维护性、可理解性和开放性等方面都遇到很大的困难。相比之下, UNIX 操作系统却是一个例外, 这是一个通用的多用户分时交互型的操作系统。它首先建立的是一个精干的核心, 而其功能却足以与许多大型的操作系统相媲美, 在核心层以外可以支持庞大的软件系统, 它很快得到应用和推广



并不断完善,对现代操作系统有着重大的影响。目前广泛使用的各种工作站级的操作系统,如 SUN 公司的 Solaris、IBM 公司的 AIX 等都是基于 UNIX 的操作系统。即使是 Microsoft 公司的 Windows 系列操作系统,其主要原理也是基于 UNIX 系统的。另外,目前广为流传的 Linux 系统也是从 UNIX 演变成的。

至此,操作系统的基本概念、功能、基本结构和组成都已形成并渐趋完善。

### 1.3.7 现代操作系统

在 20 世纪 80 年代后期,计算机工业获得了井喷式的发展,各种新计算机和新操作系统不断出现和发展,计算机和操作系统领域均进入了一个百花齐放、百家争鸣的时代。一方面迎来了个人计算机的时代,同时又向计算机网络、分布式处理、嵌入式、巨型计算机方向发展。

#### 1. 微型计算机操作系统

随着超大规模集成电路的发展,芯片集成度越来越高,价格越来越低,迎来了微型计算机时代,在微型计算机上配置的操作系统称为微型计算机操作系统(Microcomputer Operating System)。

由于是个人专用,本操作系统在对处理机调度、存储保护方面将会简单得多。然而,由于个人计算机的应用普及,对于提供更方便友好的用户接口的要求会越来越迫切。多媒体技术已迅速进入个人计算机系统,多媒体计算机给办公室、家庭、个人提供声、文、图、数据并茂的全面的信息服务。它要求计算机具有高速信号处理、大容量的内存和外存等能力,能同时处理多个实时事件。

微型计算机上的操作系统可以分为单用户和多用户两类。

单用户是指仅允许一个用户上机,可以执行单任务或多任务,也即单用户单任务和单用户多任务系统。单用户单任务的操作系统较为常见的为 CP/M、MS-DOS。目前单用户单任务操作系统已被 Windows 系列所取代,支持多道程序并发,成为单用户多任务操作系统。微型计算机操作系统的产生和广泛应用,无疑是操作系统发展成熟的标志。

多用户操作系统是可以支持多个用户通过终端共同使用同一个主机,共享主机资源。在微型计算机上配置的多用户操作系统有代表性的是 UNIX 和近年来得到迅速应用的 Linux 操作系统。

### 知识拓展

在 20 世纪 80 年代,Andres S. Tanenbaum 教授为了满足教学的需要,自行设计了一个微型 UNIX 操作系统——MINIX。1991 年,芬兰赫尔辛基大学的学生 Linus Torvalds 在此基础上开发了 Linux 核心,并利用 Internet 发布了源代码,从而创建了 Linux 操作系统。之后,许多系统软件设计专家共同对它进行改进和提高。

Linux 系统的功能强大而全面,具有一系列显著特点:与 UNIX 兼容;是一个自由软件,源码公开;系统的性能高,安全性强;便于定制和再开发;互操作性强;是全面的多任务和真正的 32 位操作系统。随着 Linux 技术的更加成熟和完善,其应用领域和市场份额继续快速扩大。国内外流行的 Linux 发行版本有:Red Hat、Turbo Linux、Slackware、Open Linux、红旗 Linux、中软 Linux 等。