

国家语言资源监测与研究中心少数民族语言分中心计算语言学系列丛书

中央民族大学“操作系统”优秀课程推荐教材

◎赵小兵 主编

操作系统原理及应用

OPERATING SYSTEM PRINCIPLES AND APPLICATION

(第二版)

Second Edition

孙媛 胥桂仙◎编著

中央民族大学出版社
China Minzu University Press

国家语言资源监测与研究中心少数民族语言分中心计算语言学系列丛书

中央民族大学“操作系统”优秀课程推荐教材

◎赵小兵 主编

操作系统原理及应用

OPERATING SYSTEM PRINCIPLES AND APPLICATION

(第二版)

Second Edition

孙 媛 胥桂仙◎编著

中央民族大学出版社
China Minzu University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

操作系统原理及应用：第二版/孙媛，胥桂仙编著. —北京：中央民族大学出版社，2018.9 重印

ISBN 978-7-5660-1150-3

I. ①操… II. ①孙… ②胥… III. ①操作系统 IV. ①TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 010339 号

操作系统原理及应用 (第二版)

编 著 孙 媛 胥桂仙

责任编辑 满福玺

封面设计 汤建军

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编：100081

电话：68472815 (发行部) 传真：68932751 (发行部)

68932218 (总编室) 68932447 (办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 者 北京建宏印刷有限公司

开 本 787×1092 (毫米) 1/16 印张：15.25

字 数 341 千字

版 次 2018 年 9 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5660-1150-3

定 价 58.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

操作系统这门软件科学，吸引了世界上一大群最有热情、最有智慧的基础人才，集中了人类现代创造性思维活动的精髓；同时出现了一系列比较著名的操作系统，如 DOS 操作系统、Windows 操作系统、Unix 操作系统、Linux 操作系统等。

操作系统是计算机系统中的核心软件。本书全面介绍了操作系统的概念、结构和基本原理，设计了丰富的实践教学，力求提供给计算机科学与技术、软件工程、电子工程、物联网专业本科生一本详细的综合性教材。

本书在第一版的基础上，增加了操作系统接口和嵌入式操作系统的详细介绍及应用，同时对实验部分进行了扩展，增加了虚拟文件系统的课程设计综合实验。全书分为 9 章：第 1 章简要介绍了操作系统的基本概念、功能、分类、发展历史以及发展趋势；第 2 章深入阐述了进程与线程管理的基本概念、同步与互斥、通信、死锁等；第 3 章结合丰富的实例，深入介绍了处理机调度的方法以及实时调度策略；第 4 章主要介绍了操作系统对内存的管理，包括连续存储管理、不连续存储管理及虚拟内存技术；第 5 章和第 6 章主要讨论了文件系统和磁盘存储管理，详细介绍了文件系统的组织结构、目录查找方法等；第 7 章介绍了操作系统的主要接口；第 8 章结合目前比较流行的嵌入式操作系统，介绍了嵌入式操作系统的主要原理以及最新技术；第 9 章设计了丰富的 Linux 操作系统实验和综合性的课程设计实验。

本书内容涵盖了计算机操作系统原理的主要部分。丰富的习题和实践环节的内容，方便学生对操作系统课程的学习。本书力求叙述简明，内容深入浅出，可作为高等院校本科生教材和教师的教学用书，也可供从事操作系统等方面研究和开发的科技人员阅读参考。

本书由孙媛策划与统稿。胥桂仙编写了第 9 章，各章习题与思考部分由胥桂仙和孙媛共同编写，其余章节由孙媛编写。

在本书编写过程中，得到了国家自然科学基金重点课题“跨语言社会舆情分析基础理论与关键技术研究”（项目号：61331013）、国家自然科学基金课题“基于词向量的藏

目 录

第1章 操作系统概述	1
1.1 什么是操作系统	1
1.2 操作系统的发展历史	4
1.3 操作系统的功能	13
1.4 操作系统的体系结构	16
1.5 操作系统的发展趋势	19
习题与思考	20
第2章 进程管理	23
2.1 为什么引入进程	23
2.2 进程的描述	28
2.3 进程状态及其转换	32
2.4 进程控制	33
2.5 进程互斥	38
2.6 进程同步	46
2.7 进程通信	55
2.8 死锁问题	57
2.9 线程	65
习题与思考	67
第3章 处理机调度	72
3.1 处理机的调度层次	72
3.2 进程调度	75

3.3 调度算法	77
3.4 综合实例解析.....	85
3.5 实时调度	86
习题与思考	90
第4章 存储管理	93
4.1 程序的装入和链接.....	93
4.2 连续空间分配.....	95
4.3 不连续空间分配.....	101
4.4 虚拟存储系统	111
习题与思考	115
第5章 文件系统	119
5.1 基本概念	119
5.2 文件结构	120
5.3 文件目录管理.....	126
5.4 文件存储空间管理.....	132
5.5 文件访问系统调用.....	134
5.6 文件的共享与保护.....	135
习题与思考	137
第6章 设备管理	139
6.1 I/O 系统	139
6.2 I/O 控制方式.....	141
6.3 设备 I/O 子系统.....	143
6.4 磁盘存储器	147
习题与思考	152
第7章 操作系统接口	153
7.1 用户接口	153
7.2 程序接口	156
习题与思考	158
第8章 嵌入式操作系统	159

8.1 嵌入式操作系统的定义.....	160
8.2 嵌入式操作系统的组成.....	160
8.3 嵌入式操作系统的特点.....	160
8.4 实时嵌入式操作系统.....	161
8.5 主流嵌入式操作系统.....	165
8.6 Android OS.....	172
8.7 物联网操作系统.....	174
习题与思考.....	177
第9章 操作系统实验	178
9.1 Linux 的初步认识.....	178
9.2 系统调用实验.....	180
9.3 进程同步实验.....	189
9.4 进程通信实验.....	195
9.5 页面调度算法模拟.....	202
9.6 Linux socket 编程.....	205
9.7 Linux 设备驱动程序.....	213
9.8 虚拟文件系统.....	217
参考文献	236

第 1 章 操作系统概述

操作系统这门软件科学，吸引了世界上一大群最有热情、最有智慧的基础人才，集中了人类现代创造性思维活动的精髓；同时出现了一系列比较著名的操作系统，如 DOS 操作系统、Windows 操作系统、Unix 操作系统、Linux 操作系统等，并且诞生了操作系统界三大著名人物：比尔·盖茨（微软公司的创始人）、费尔南多·考巴脱（实现分时系统的功臣，1980 年计算机先驱奖获得者，1990 年图灵奖获得者）、Linus Torvalds（Linux 之父）。

没有软件，计算机就像一堆没有用的金属。当我们装上软件以后，计算机才能存储、计算、播放电影、发送 E-mail。操作系统作为配置在计算机硬件上的第一层软件，是计算机硬件以及软件的主要管理者，在计算机系统中占据重要地位。

1.1 什么是操作系统

我们每天都用操作系统，操作系统运作的基本原理是什么？我们先看几个问题：

- (1) 为什么在 Windows 操作系统下既可以编辑文档，又可以同时听音乐呢？
- (2) 为什么一个文件夹下存储文件不能重名？
- (3) 32 位 CPU，可以挂 $2^{32}=4G$ 内存，为什么我的电脑内存 2G，计算机在操作的时候仍然按照 4G 来寻址呢？
- (4) 为什么在操作系统里要引入进程？

下面我们通过详细介绍操作系统的运行原理，回答上述问题。

1.1.1 操作系统的地位

裸机 (Bare Machine)：没有任何软件支持的计算机，仅仅构成了计算机系统的物质基础。

一个完整的计算机系统由两大部分组成：计算机硬件和计算机软件。

1. 计算机硬件

硬件指计算机系统中由电子、机械和光电元件等组成的各种计算机部件和计算机设备。计算机硬件系统的基本组成包括运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备。

2. 计算机软件

软件是由计算机硬件执行以完成一定任务的所有程序及其数据。软件可以分为系统软件和应用软件两大类。

应用软件、系统软件的层次结构如图 1-1 所示。



图 1-1 计算机系统的层次结构

应用软件是专门为某一应用目的而编制的软件。主要包括：

(1) 文字处理软件：用于输入、存贮、修改、编辑、打印文字材料等，如 WORD、WPS 等。

(2) 信息管理软件：用于输入、存贮、修改、检索各种信息，如工资管理软件、人事管理软件、仓库管理软件、计划管理软件等。

(3) 辅助设计软件：用于高效地绘制、修改工程图纸，进行设计中的常规计算，帮助寻求好的设计方案。

(4) 实时控制软件：用于随时搜集生产装置、飞行器等的运行状态信息，以此为依据按预定的方案实施自动或半自动控制，安全、准确地完成任务。

各种应用软件，虽然完成的工作各不相同，但它们都需要一些共同的基础操作。例如，都要从输入设备取得数据，向输出设备送出数据，向外存写数据，从外存读数据，对数据的常规管理等。这些基础工作也要由一系列指令来完成。人们把这些指令集中组织在一起，形成专门的软件，用来支持应用软件的运行，这种软件称为系统软件。

系统软件在为应用软件提供上述基本功能的同时，也进行着对硬件的管理，使在一台计算机上同时或先后运行的不同应用软件有条不紊地合用硬件设备。例如，两个应用软件都要向硬盘存入和修改数据，如果没有一个协调管理机构来为它们划定区域的话，必然形成互相破坏对方数据的局面。那么，有哪些系统软件呢？

(1) 操作系统。管理计算机的硬件设备，使应用软件能方便、高效地使用这些设备。计算机上常见的有 DOS、Windows、Unix 等。

(2) 数据库管理系统。有组织地、动态地存贮大量数据，使人们能方便、高效地使用这些数据。现在比较流行的数据库有 FoxPro、DB2、Access、SQLserver 等。

1.1.2 操作系统的目标

操作系统是控制应用程序执行的系统软件，充当应用程序和计算机硬件之间的接口。在操作系统设计时，主要目标如下：

1. 方便性

提供良好的、一致的用户接口。

2. 有效性

管理和分配硬件、软件资源，合理地组织计算机的工作流程。

3. 可扩充性

随着计算机技术的迅速发展，计算机硬件和体系结构也随之发展，对操作系统提出了更高的功能和性能要求。

4. 开放性

各种类型的计算机硬件系统，出自不同的厂家，通过网络加以集成化并能协调工作，实现应用程序的可移植性和互操作性，要求具有统一的开放环境。

1.1.3 操作系统的定义

操作系统是计算机系统中的一个系统软件，它是一些程序模块的集合。它是管理和控制计算机系统中的硬件及软件资源，合理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。

一句话概括：操作系统是方便用户，管理和控制计算机软硬件资源的系统软件。

1.1.4 操作系统的主要特征

操作系统具有以下几大特征：

1. 并发性

所谓并发是指两个或多个事件在同一时间间隔内发生。

与并行的区别在于，并行是指两个或多个事件在同一时刻发生。

在多道程序环境下，并发性是指在一段时间内，宏观上有多个程序在同时运行，但在单处理机系统中每一时刻却只能有一道程序执行，微观上这些程序只能是分时地交替执行。倘若在计算机系统中有多个处理机，则这些可以并发执行的程序便可被分配到多个处理机上，实现并行执行，即利用每个处理机来处理一个可并发执行的程序，这样多个程序便可同时执行。

程序的并发执行，有效地改善了系统资源的利用率，提高了系统的吞吐量，但提高了系统的复杂程度，因此，操作系统必须具有控制和管理各种并发活动的的能力。

2. 共享性

资源共享是指系统中的资源可供内存中多个并发执行的进程共同使用。

并发和共享是操作系统两个最基本的特征，两者之间互为存在条件。资源共享以程序并发为条件，如果系统不允许程序并发执行，自然不存在资源共享问题。此外，如果系统不能对资源共享实施有效的管理，也必将影响到程序的并发执行，甚至根本无法并发执行。

3. 虚拟性

所谓虚拟，是指把一个物理上的实体变为若干个逻辑上的对应物。物理实体是实的，即实际存在的。而逻辑上的对应物是虚的，是用户感觉上的东西。相应地，用于实现虚拟的技术，称为虚拟技术。在操作系统中利用了多种虚拟技术，分别用来实现虚拟处理机、虚拟内存、虚拟外部设备和虚拟信道等。

在虚拟处理机技术中，通过多道程序设计技术，使得多道程序并发执行，分时使用一台处理机。此时，虽然只有一台处理机，但它能同时为多个用户服务，使每个终端用户都认为是有一个 CPU 在专门为它服务。利用多道程序设计技术，把一台物理上的 CPU 虚拟成多台逻辑上的 CPU，称为虚拟处理机。

类似地，可以通过虚拟存储器技术，将一台机器的物理存储器变为虚拟存储器，以便从逻辑上来扩充存储器的容量。当然这时用户所感觉到的内存容量是虚的。我们把用户所感觉到的存储器称为虚拟存储器。

我们还可以通过虚拟设备技术，将一台物理 I/O 设备虚拟为多台逻辑上的 I/O 设备，并允许每个用户占用一台逻辑上的 I/O 设备，这样便可使原来仅允许在一段时间内由一个用户访问的设备，变为在一段时间内允许多个用户同时访问的共享设备。

4. 异步性

多道程序环境下程序的执行是以异步方式进行的，异步性是操作系统的的一个重要特征。换言之，每个程序在何时执行，多个程序间的执行顺序以及完成每道程序所需的时间都是不确定的，因而也是不可预知的。

1.2 操作系统的发展历史

为了更好地理解操作系统的基本概念和特征，我们首先回顾一下操作系统形成和发展的历史。整个操作系统的发展，一句话概括就是“需求推动了操作系统的发展”。这些需求主要包括以下几个方面：

- (1) 提高资源的利用率和系统性能。
- (2) 方便用户使用。
- (3) 器件的发展。
- (4) 计算机体系结构的不断发展。

1.2.1 手工操作阶段

19 世纪 50 年代，第一代计算机出现。在第一代计算机时期，构成计算机的主要元件是电子管，计算机运行速度很慢，没有操作系统，没有任何软件，用户直接用机器语言编制程序，并在上机时独占全部计算机资源。

工作方式：用户既是程序员，又是操作员。

编程语言：机器语言。

输入输出：纸带或卡片。

工作特点：用户独占全机，资源不共享，CPU 利用率低。

用户首先把程序纸带装上输入设备，然后启动输入设备把程序和数据送入计算机，接着启动程序，程序运行完毕，启动输出设备输出。

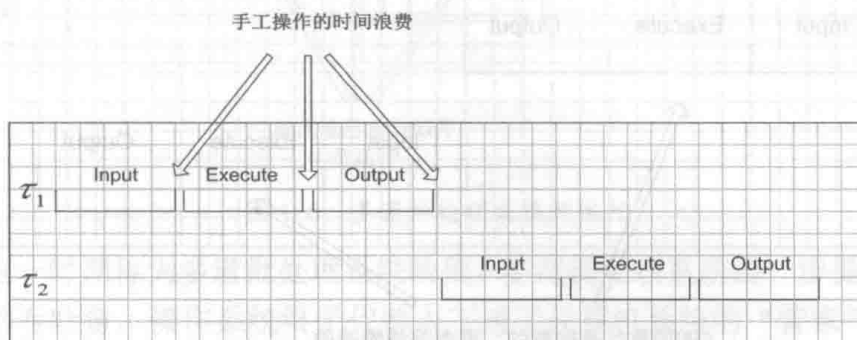


图 1-2 手工操作阶段任务的运行

手工操作阶段任务运行如图 1-2 所示。任务 1 输入、执行、输出完成以后，任务 2 才能开始运行，并且任务 1 和任务 2 之间的所有操作都需要人手工操作。在这种情况下，面临的主要问题是计算机处理能力的提高和手工操作低效率的矛盾。如何解决手工操作的慢速和计算机处理高速之间的矛盾，成为主要问题。

解决的方法：一种方法是由一个专门的计算机操作员，提高人工操作的速度；另外一种方法是进行批处理，一次提供一批作业处理。作业和作业之间的过渡由软件完成。

1.2.2 单道批处理系统

19 世纪 50 年代末到 60 年代中期，出现了早期批处理系统。

早期批处理系统利用磁带把若干个作业分类编成作业执行序列，每批作业由一个专门的监督程序 (Monitor) 自动依次处理。由于实现了作业之间的自动过渡，消除了手工操作的时间浪费，作业运行情况如图 1-3 所示。每一时刻系统中只有一道作业在内存，我们把这一时期称为单道批处理系统。

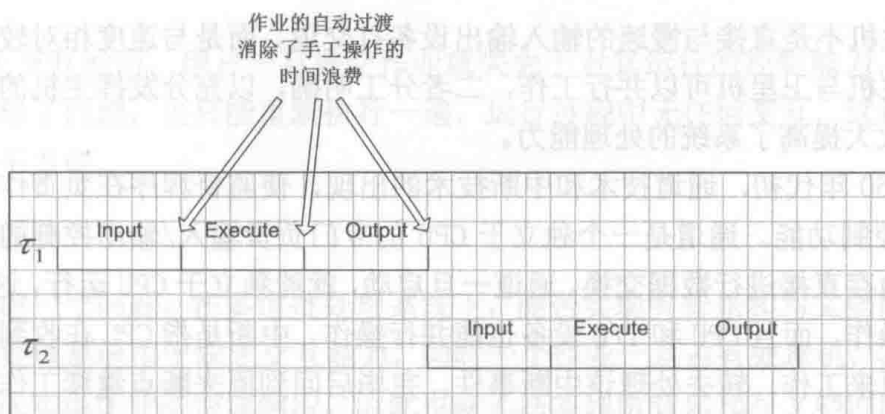
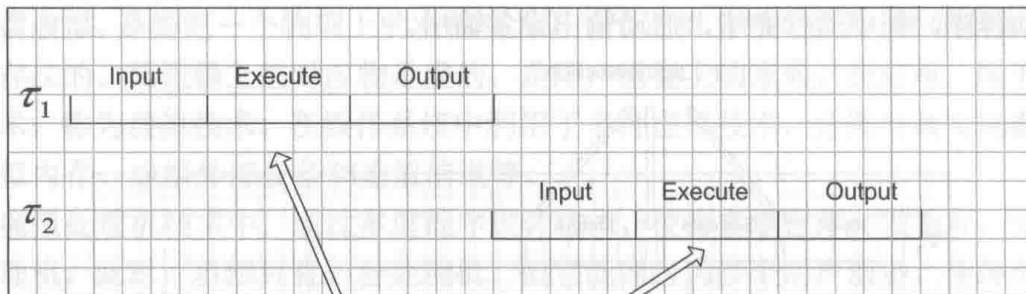


图 1-3 单道批处理系统的任务运行

1.2.3 多道批处理系统

尽管单道批处理系统解决了慢速的手工操作和快速的计算机处理之间的矛盾，但是相对慢速的输入输出设备与相对快速的 CPU 计算之间的矛盾仍然存在，如图 1-4 所示。



CPU 的执行是间断的，需要等待慢速的输入输出设备

图 1-4 单道批处理系统的问题

如何解决这个矛盾？一种方法可以增加一台不与主机直接相连而专门用于与输入输出设备打交道的卫星机，如图 1-5 所示。卫星机的主要功能包括：

- (1) 输入设备通过它把作业输入到输入磁带。
- (2) 输出磁带把作业执行结果输出到输出设备。

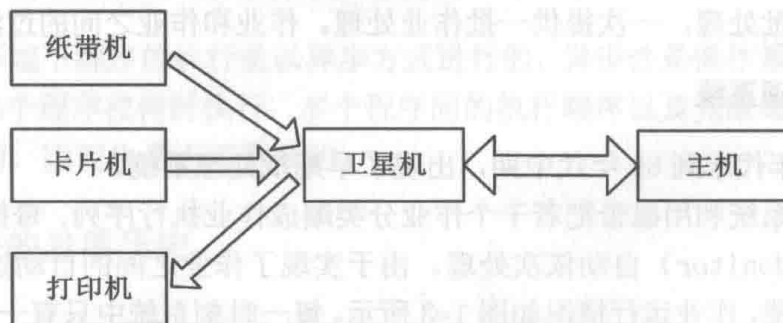


图 1-5 卫星机的运行

这样，主机不是直接与慢速的输入输出设备打交道，而是与速度相对较快的卫星机发生关系。主机与卫星机可以并行工作，二者分工明确，以充分发挥主机的高速度计算能力，因此大大提高了系统的处理能力。

20 世纪 60 年代初，通道技术和中断技术的出现，使监督程序在负责作业运行的同时提供 I/O 控制功能。通道是一个独立于 CPU 的专门负责输入/输出控制的处理器，它控制设备与内存直接进行数据交换。通道一旦启动，就能独立于 CPU 运行，这样可使 CPU 和通道并行操作，而且 CPU 和 I/O 设备也能并行操作。中断是指 CPU 在收到外部中断信号后，停止原来工作，转去处理该中断事件，完毕后回到原来断点继续工作。借助于通道、中断技术，实现了 CPU 与 I/O 设备的并行工作，如图 1-6 所示。

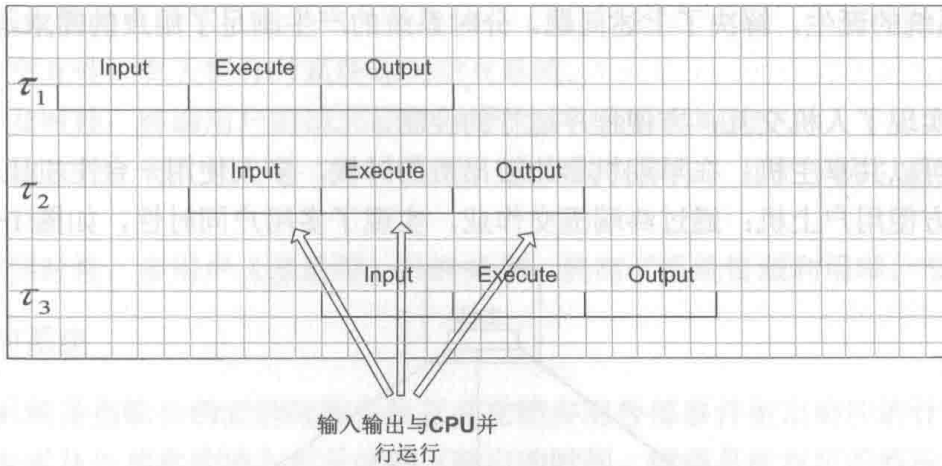


图 1-6 多道批处理系统的运行

我们把这一时期称为多道批处理系统阶段。多道批处理系统进一步提高了资源的利用率和系统的吞吐量，操作系统终于代替人工成了计算机系统的“管家”，其发展进入了成熟期。

多道程序运行的特点包括：

- (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：各道程序轮流使用 CPU，交替执行。

多道批处理系统的优点：

- (1) 资源利用率高。由于在内存中装入了多道程序，它们共享资源，使得系统中的各种资源得到了更充分的利用。
- (2) 系统吞吐量大。系统吞吐量是指系统在单位时间内完成的总工作量。

尽管多道批处理系统提高了资源的利用率和系统的吞吐量，但仍存在一些缺点：

- (1) 作业周转时间长。作业周转时间是指从作业进入系统开始，直至完成并退出系统为止所经历的时间。在多道批处理系统中，由于作业要排队，依次进行处理，因而作业的周转时间较长。尤其是执行时间短的作业，由于等待时间过长，导致作业周转时间长。

- (2) 无交互能力。用户一旦提交作业就失去了对其运行的控制能力，如果作业执行过程中出现了问题，也只能重新执行一遍，运行过程中无任何交互，这对程序的修改和调试非常不方便。

1.2.4 分时系统

我们考虑一个问题，在多道批处理系统下，能否实现听音乐和写文档同时进行呢？

多道批处理系统由于缺乏交互能力，同时一个作业一旦占有处理机，其他作业就不能运行。无法实现作业的快速响应，因此也就无法实现听音乐和写文档同时运行。那如何解决这些矛盾呢？

分时系统的诞生，解决了上述问题。分时系统的产生满足了用户的需求，解决了以下问题：

- (1) 实现了人机交互：方便程序运行的控制。
- (2) 可以共享主机：在早期机器比较昂贵的时候，多人使用一台主机比较经济。
- (3) 方便用户上机：通过终端提交作业，实现了多用户同时性，如图 1-7 所示。

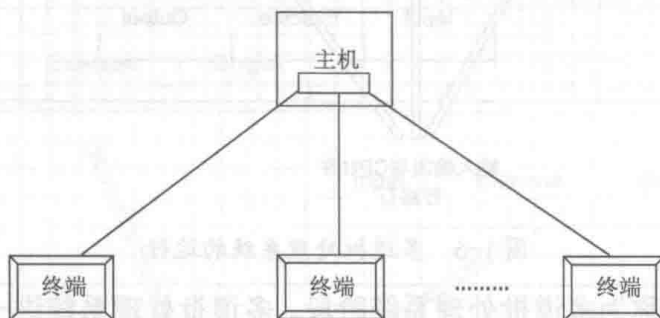


图 1-7 用户通过终端共同使用计算机

所谓分时，指若干并发程序对 CPU 时间的共享，通过系统软件实现。两个或多个事件按时间划分轮流使用计算机系统中的某一资源。在分时系统中，多个用户可分享使用同一台计算机。

实现分时的基本方法是设立一个时间单位——时间片 (time slice)。它是系统规定进程一次使用处理机的最长时间。时间片的长短可以因不同系统而异，通常在 100ms 左右。

每个用户在各自的终端上以问答方式控制程序运行，系统把 CPU 的时间划分成时间片，轮流分配给各个终端用户，每个用户只能在时间片内执行，如果时间片用完，而程序还未做完，则挂起，等待下次时间片的到来。

我们来看分时系统实现的原理，如图 1-8 所示。任务分时交替使用 CPU，每个任务最多运行一个时间片。由于时间片通常很短，任务提出请求，系统总会很快给出响应，使得任务（用户）感觉自己独占 CPU 一样，因此可以实现听音乐和写文档同时进行。

在批处理系统中，用户不能干预自己程序的运行，无法得知程序运行情况，对程序的调试和排错不利。分时系统实现了人机交互，从而可以控制程序的运行。目前，Unix 是一个典型的分时操作系统。

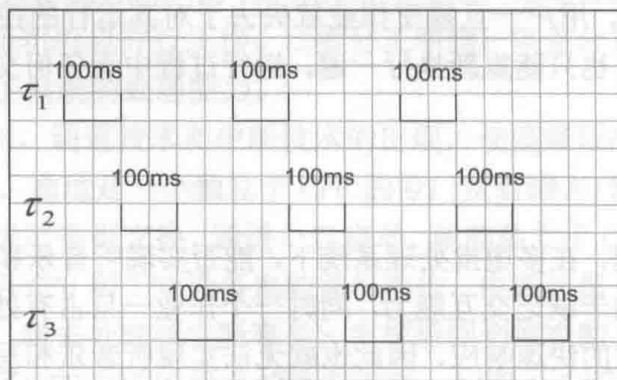


图 1-8 分时系统原理

分时系统的特点如下:

- (1) 交互性: 有人把分时系统称为交互系统。
- (2) 及时性: 终端用户的请求能在很短的时间内获得响应。
- (3) 独占性: 每个用户各占一个终端, 彼此独立操作, 互不干扰, 感觉好像自己独占主机一样。
- (4) 同时性: 多用户(多进程)分时共享, 提高了系统资源利用率, 节省了开支。

1.2.5 实时系统

实时系统是指能在确定的时间内执行其功能并对外部事件做出响应的计算机系统。实时系统要求从外部激励输入到系统响应输出的时间, 能满足所规定的响应时间要求。其操作的正确性不仅依赖于逻辑设计的正确程度, 而且与这些操作进行的时间有关。

实时系统对逻辑和时序的要求非常严格, 如果逻辑和时序出现偏差将会引起严重后果。“在确定的时间内完成”是实时系统定义的核心, 也就是说, 实时系统对响应时间有严格的要求。

实时系统主要有两种类型: 软实时系统和硬实时系统。软实时系统仅要求事件响应是实时的, 并不限定某一任务必须在多长时间内完成, 即使某一任务错过时间限也不会造成严重的后果, 比如视频播放, 如果没有在规定的时间内完成数据帧的解压, 所带来的后果只是视频质量的降低, 并不会造成严重的后果。而在硬实时系统中, 不仅要求任务响应实时, 而且要求在规定的时间内必须完成事件的处理, 如果没有完成将会造成严重的后果, 比如汽车里的安全气囊系统, 如果在汽车发生碰撞时, 安全气囊没有在规定的时间内打开, 那么将会造成严重的后果。通常, 大多数实时系统是两者的结合, 如图1-9所示。

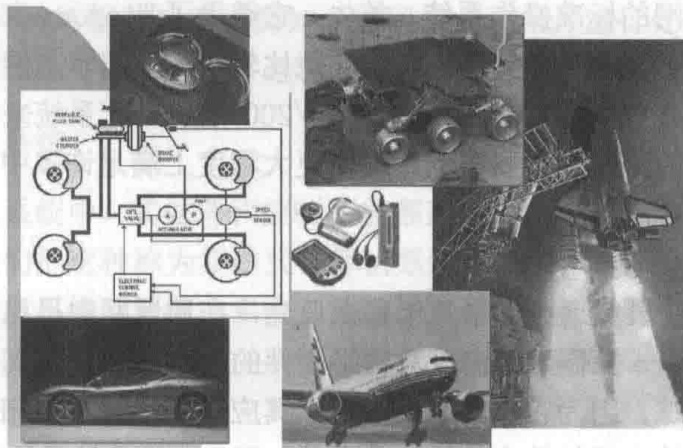


图 1-9 实时系统举例

实时系统的特征:

- (1) 稍弱的交互性: 它仅允许操作人员访问系统中某些特定的专用服务程序, 一般不允许写入或修改现有程序, 不像分时系统那样能向终端用户提供数据处理和资源共享等服务。