


孟庆昌 主编



操作系统

(本科)

 中央广播电视大学出版社

中央广播电视大学开放教育
计算机科学与技术系列规划教材编委会

顾 问：葛道凯

主 任：李林曙 于二元

副主任：陶水龙 杨孝堂 刘 臣

成 员：李伟生 胡 俊 崔 林 郭 鸿

袁 薇 何晓新 王春风 顾静相

内 容 简 介

本书以 Linux 为背景全面系统地介绍现代操作系统的基本知识和最新技术。全书共分 7 章：第 1 章概述操作系统的定义、功能、特征、主要类型以及系统结构；第 2 章至第 6 章分别讲述进程管理、处理机调度、存储管理、文件系统和设备管理；第 7 章简述现代操作系统发展。

本书可作为大学本科计算机科学与技术专业的教科书，也可作为其他相关专业或成人教育的参考书，以及计算机工作者的自学用书。

前 言

操作系统是计算机系统的基本组成部分，是整个计算机系统的基础和核心。它对下操纵硬件的动作，控制各种资源的分配与使用，扩充硬件的功能；对上为用户程序和其他软件、工具等提供运行环境和服务，方便用户的使用。由于操作系统处于这样一种特别重要的地位，因而，操作系统课程就是各大场院校计算机科学与技术专业的一门必修课程。

本教材根据中央电大操作系统课程多媒体教材一体化设计方案，经专家组多次审定，又几经修改而成。操作系统课程以文字教材为主媒体，录像教材和IP课件为辅助媒体。本教材为该课程的主媒体。

本书在编写过程中，根据电大远程开放教学中存在的教与学在时间和空间上相分离以及学生成份个别化等重要特征，认真坚持“以学生为中心”的教学指导思想，尽量贯彻“方便学生自主学习”的基本原则。在课程体系、教学内容、讲授方法等方面注意以下几点：

1. 本课程理论强、概念多、知识面广，而学生成份和学习条件存在较大差异。为此，采取突出基本、强调实用的方针，即：围绕“操作系统是什么，操作系统干什么，操作系统如何干”等基本问题，主要讲述操作系统的五大功能。既讲解经典理论，又介绍最新开发应用技术，以求达到学以致用目的。

2. 当今以Linux为代表的开源软件是举世瞩目的，发展最快、应用最广的主流软件之一各国政府对Linux的开发和应用给予很大关注，全球软件业和厂商都以极大热情和资金投入Linux的开发，现在学习和应用Linux成为众多计算机用户和学生的首选。本书以Linux系统为实例，在讲述操作系统基本理论的基础上，介绍Linux系统的实用技术。使读者既学知识，又学技术。通过操作，加深对概念的理解。

3. 在讲授方法上注意由浅入深，由表及里。每章开头先引出问题，然后在正文中给出概念，并加以解释。尽量联系日常生活事例，便于读者理解。努力做到概念严谨、举例贴切。在每章后面对本章内容进行小结。每章最后附有很多习题。这些有代表性的习题对巩固所学知识很有帮助。

本书共分7章。第1章概述操作系统的定义、功能、主要类型以及体系结构；第2章至第6章分别讲述进程管理、处理机调度、存储管理、文件系统和设备管理；第7章简介现代操作系统发展，介绍嵌入式操作系统和分布式操作系统的一般知识。

本书是中央电大计算机科学与技术专业（本科）学生的指定教材，也可作为其他大专院校、成人教育等院校相关专业学生的教材或参考书，也适宜计算机培训班学员以及初学者自学使用。

这里要特别感谢中国石油大学陈明教授、北京大学陈向群教授和北方工业大学吴洁明教授，他们在百忙中对本书初稿认真负责地进行了审定，对本书的内容、讲法等方面提出很多建设性的意见。还要感谢北京电大郭明副教授，她收集了实地教学中师生的很多反馈信息，对教材编写有很大帮助。我们还要感谢中央电大的领导和老师，他们对本书的编写和出版给予了热情的支持和帮助。

本书编者为孟庆昌、袁薇、张茂林。第3章和第4章由袁薇副教授编写，孟庆昌教授编写了其余章节并对全书进行了统稿，网上实验指导由张茂林副教授编写。参加编写、整理、录入工作的还有刘振英、孟欣、肖林等。

由于编者水平有限，时间又很紧，对读者的需求缺乏广泛了解，因而书中仍难免有不妥甚至错误之处，恳切期望广大读者给予批评指正，不胜感谢。

编者

2008年1月于北京

目 录

1 操作系统概述	(1)
1.1 操作系统概念	(2)
1.1.1 计算机硬件结构	(2)
1.1.2 操作系统的形成	(3)
1.1.3 操作系统的概念	(6)
1.1.4 操作系统的地位	(6)
1.1.5 操作系统的特征	(7)
1.2 操作系统的主要功能	(8)
1.2.1 存储管理	(9)
1.2.2 进程和处理机管理	(10)
1.2.3 文件管理	(10)
1.2.4 设备管理	(11)
1.2.5 用户接口	(11)
1.3 操作系统的主要类型	(13)
1.3.1 批处理系统	(13)
1.3.2 分时系统	(14)
1.3.3 实时系统	(15)
1.3.4 网络操作系统	(16)
1.3.5 其他操作系统	(17)
1.4 操作系统结构设计	(18)
1.4.1 整体结构	(19)
1.4.2 层次结构	(19)
1.4.3 虚拟机结构	(20)
1.4.4 客户机—服务器结构	(21)
1.4.5 UNIX 和 Linux 系统的核心结构	(22)
本章小结	(25)
练习与思考	(26)

2 进程管理	(27)
2.1 进程概念	(28)
2.1.1 程序并发执行时的特征	(28)
2.1.2 进程概念的引入	(30)
2.1.3 进程的状态及其转换	(33)
2.1.4 进程的组成	(34)
2.1.5 进程队列	(36)
2.2 进程管理和有关命令	(37)
2.2.1 进程管理	(38)
2.2.2 Linux 进程管理	(40)
2.2.3 对进程的操作命令	(43)
2.2.4 有关进程控制的系统调用	(46)
2.3 进程间的关系和通信	(50)
2.3.1 进程间的关系	(50)
2.3.2 进程同步机制	(53)
2.3.3 信号量的一般应用	(56)
2.3.4 进程通信	(60)
2.4 死 锁	(64)
2.4.1 死锁的定义	(64)
2.4.2 产生死锁的必要条件	(65)
2.4.3 对待死锁的策略	(66)
本章小结	(67)
练习与思考	(68)
3 处理机调度	(70)
3.1 调度级别.....	(71)
3.2 作业调度	(72)
3.2.1 作业状态	(72)
3.2.2 作业调度	(72)
3.3 进程调度	(74)
3.3.1 进程调度的功能和时机	(74)
3.3.2 两级调度模型	(75)
3.3.3 三级调度模型	(76)
3.4 调度性能的评价	(77)

3.4.1 调度策略的选择	(77)
3.4.2 性能评价标准	(77)
3.5 常用调度算法	(79)
3.5.1 先来先服务法	(79)
3.5.2 时间片轮转法	(80)
3.5.3 优先级法	(81)
3.5.4 其他调度算法简介	(83)
3.6 中断处理	(84)
3.6.1 中断概述	(84)
3.6.2 中断处理过程	(87)
3.6.3 中断优先级和多重中断	(90)
3.6.4 系统调用处理	(93)
3.6.5 shell 命令的一般执行过程	(97)
3.7 Linux 系统中的进程调度	(99)
3.7.1 Linux 进程调度	(99)
3.7.2 Linux 常用调度命令	(100)
本章小结	(103)
练习与思考	(104)
4 存储管理	(106)
4.1 地址空间与重定位	(107)
4.1.1 用户程序的地址空间	(107)
4.1.2 重定位概念	(109)
4.1.3 对换技术	(111)
4.2 分区管理技术	(112)
4.2.1 分区法	(112)
4.2.2 可重定位分区分配	(115)
4.3 分页技术	(117)
4.3.1 分页的基本概念	(118)
4.3.2 分页系统中的地址映射	(120)
4.3.3 页的共享和保护	(121)
4.4 虚拟存储管理	(122)
4.4.1 虚拟存储器的概念	(122)
4.4.2 虚拟存储器的特征	(123)
4.5 请求分页技术	(124)

4.5.1	请求分页的基本思想	(124)
4.5.2	硬件支持及缺页处理	(125)
4.6	常用页面置换算法	(127)
4.6.1	页面置换概念	(127)
4.6.2	先进先出法	(129)
4.6.3	最佳置换法	(130)
4.6.4	最近最少使用置换法	(130)
4.6.5	最近未使用置换法	(131)
4.7	Linux 系统的存储管理技术	(132)
4.7.1	对换	(132)
4.7.2	请求分页技术	(133)
	本章小结	(136)
	练习与思考	(137)
5	文件系统	(139)
5.1	文件系统概述	(140)
5.1.1	文件及其分类	(140)
5.1.2	文件系统的功能	(143)
5.2	文件的逻辑组织和物理组织	(144)
5.2.1	文件的逻辑组织	(144)
5.2.2	用户对文件的存取方法	(145)
5.2.3	文件的物理组织	(148)
5.3	目录文件	(152)
5.3.1	文件控制块和文件目录	(152)
5.3.2	目录结构	(154)
5.4	文件存储空间的管理	(157)
5.4.1	空闲盘块表法	(158)
5.4.2	空闲块链接法	(158)
5.4.3	位示图法	(159)
5.4.4	空闲块成组链接法	(159)
5.5	文件的共享和文件系统的安全性	(161)
5.5.1	文件的链接	(162)
5.5.2	文件的存取控制	(163)
5.5.3	文件的备份和恢复	(166)
5.6	Linux 文件系统	(168)

5.6.1	文件系统的格式	(168)
5.6.2	虚拟文件系统	(171)
5.6.3	管道文件	(172)
5.6.4	文件系统的安装与拆卸	(173)
	本章小结	(174)
	练习与思考	(175)
6	设备管理	(177)
6.1	设备管理概述	(178)
6.1.1	设备分类和标识	(178)
6.1.2	I/O系统的结构	(179)
6.1.3	设备管理的功能	(180)
6.2	设备分配技术	(182)
6.2.1	设备分配概述	(182)
6.2.2	SPOOLing 系统	(183)
6.3	I/O软件层次和管理	(185)
6.3.1	设备驱动程序	(185)
6.3.2	与设备无关的操作系统 I/O 软件	(188)
6.3.3	用户级 I/O 软件	(192)
6.3.4	处理输入输出请求的步骤	(192)
6.4	磁盘调度和管理	(194)
6.4.1	磁盘硬件	(194)
6.4.2	磁盘调度算法	(196)
6.5	Linux 系统设备管理	(198)
6.5.1	设备管理概述	(198)
6.5.2	网卡简单配置	(199)
	本章小结	(201)
	练习与思考	(202)
7	现代操作系统发展	(203)
7.1	现代操作系统发展概述	(203)
7.1.1	推动操作系统发展的动力	(203)
7.1.2	操作系统发展展望	(204)
7.2	嵌入式操作系统	(205)
7.2.1	嵌入式系统概述	(205)

7.2.2 嵌入式操作系统	(206)
7.3 分布式操作系统	(207)
7.3.1 分布式系统概述	(207)
7.3.2 分布式操作系统简介	(208)
7.3.3 4种多机系统的比较	(209)
本章小结	(210)
练习与思考	(211)
参考文献	(212)

1 操作系统概述

学习内容

当你打开计算机电源以后，计算机就开始初启过程：首先在屏幕上显示系统中硬件的配置信息和检测情况，然后显示进入加载操作系统（如 Windows XP）的过程，即将操作系统的代码从硬盘读入内存，建立正常的运行环境。当操作系统引导成功后，则在屏幕上出现主窗口，你就可以在机器上工作了。那么，什么是操作系统呢？它有什么功能？大家熟悉的 Windows XP，Microsoft Office Word，Linux 以及 IE 等都是操作系统吗？……好，下面就介绍这些内容。

本章主要介绍以下主题：

- 操作系统概念
- 操作系统的主要功能
- 操作系统的主要类型
- 操作系统结构设计

学习目标

了解：操作系统的发展历程，分时和实时操作系统的特点，操作系统在计算机系统中的地位，操作系统结构设计，系统调用，UNIX/Linux 系统特点与结构。

理解：操作系统的主要类型，分时概念，操作系统的特征。

掌握：操作系统的定义，操作系统的主要功能。

1.1 操作系统概念

通常，一个完整的计算机系统是由硬件和软件两大部分组成的。**硬件**是指计算机物理装置本身，它是计算机软件运行的基础。从计算机的外观看，它是由主机、显示器、键盘和鼠标等几个部分组成；**软件**是与数据处理系统的操作有关的计算机程序、过程、规则以及相关的文档资料的总称。简单地说，软件是计算机执行的程序。如上面所说的 Windows XP, Microsoft Office Word, Linux 以及 IE 等都属于软件范畴。在所有软件中，操作系统（Operating System, OS）占有特殊的重要地位。它是配置在计算机硬件之上的第一层软件。它控制硬件的工作，管理计算机系统的各种资源，并为系统中各个程序的运行提供服务。众所周知的 Windows XP, Linux 都是当前流行的操作系统。

1.1.1 计算机硬件结构

现代计算机体系结构基本上仍沿用冯·诺依曼（Von Neumann）体系结构，采用存储程序工作原理，即：把计算过程描述为由许多条命令按一定顺序组成的程序，然后把程序和所需的数据一起输入计算机存储器中保存起来，工作时控制器执行程序，控制计算机自动连续进行运算。

大家知道，现代通用计算机系统是由 CPU，内存和若干 I/O（输入/输出）设备组成。它们经由系统总线连接在一起，实现彼此通信。从功能上讲，计算机由五大功能部件组成，即**运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备**。这五大功能部件相互配合，协同工作。其中，运算器和控制器集成在一片或几片大规模或超大规模集成电路中，称之为中央处理器（CPU）。

图 1-1 示出现代计算机系统硬件结构。请注意，图中示出的控制器是设备控制器。每个设备控制器负责对特定类型的设备进行控制和管理，如硬盘控制器用来控制硬盘驱动器，视频控制器用来控制监视器，等等。CPU 和设备控制器可以并行工作，它们都要存取内存中的指令或数据。为保障对共享内存的有序存取，内存控制器对这些访问实施同步管理。

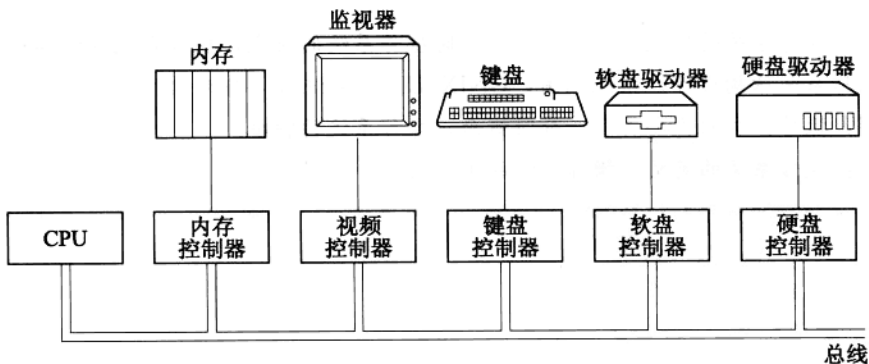


图 1-1 现代计算机硬件结构

1.1.2 操作系统的形成

在计算机初始时期，硬件技术处于起步阶段，此时操作系统并未形成，软件概念还不明确。以后随着硬件技术的发展，促进了软件概念的形成，从而也推动了操作系统的形成和发展。反过来，软件的发展也促进了硬件的发展。

1. 手工操作阶段

从1946年诞生世界上第一台计算机起，到20世纪50年代末，计算机处于第一代。此时没有操作系统。那时候人们利用计算机解题，只能采用手工方式操作。其工作过程大致是：先把程序纸带（或卡片）装到输入机上，然后启动输入机把程序和数据送入计算机，接着利用控制台开关启动程序执行，并监视和控制它的执行情况。计算结束，用户取走打印出来的结果，并卸下纸带（或卡片）。这个过程完全是在“人工干预”下进行的。一个用户下机后，才让下一个用户上机。

由于这种过程需要很多人工干预，就形成了手工操作慢和CPU处理快二者之间的矛盾。所以，这种工作方式有严重的缺点：一是资源浪费，二是使用不便。

2. 早期批处理阶段

为解决人工干预的问题，就必须缩短建立作业（用户的一个计算任务为一个作业）和人工操作的时间。人们首先提出了从一个作业转到下一个作业的自动转换方式，从而出现了早期的批处理方式。由一个程序完成作业的自动转换工作，这个程序叫做监督程序，它是最早的操作系统雏形。

早期的批处理分为联机批处理和脱机批处理两种类型。

(1) 早期联机批处理

在这种系统中，操作员有选择地把若干作业合为一批，由监督程序先把它们输入到磁带上，之后在监督程序的控制下，使这批作业能一个接一个地连续执行。在这样的系统中，作业处理是成批进行的，并且在内存中总是只保留一道作业（故名单道批处理）。同时作业的输出、调入内存以及结果输出都在CPU直接控制下进行。

这种单道批处理系统虽然能实现作业的自动转换工作，但由于联机操作影响了CPU速度的发挥，仍不能很好地利用系统资源。

(2) 早期脱机批处理

为克服早期联机批处理的主要缺点，人们引进了早期的脱机批处理系统。这种方式的明显特征是在主机之外另设一台小型卫星机。该卫星机又称外围计算机，它不与主机直接连接，只与外部设备打交道，专门完成计算机系统的输入输出工作。其工作过程是：卫星机把读卡机上的作业逐个地传送到输入磁带上；主机只负责把作业从磁带上调入内存并运行它，作业完成后主机把计算结果和记账信息记录到输出磁带上；卫星机负责把输出磁带上的信息读出来，并交打印机打印。

这样，卫星机专门负责输入/输出工作，主机专门完成快速计算任务，从而二者可以并行操作。由于 I/O 不受主机直接控制，所以称作“脱机”批处理。

早期批处理系统是在解决人机矛盾和 CPU 与 I/O 设备速率不匹配这一矛盾的过程中发展起来的。它的出现也促进了软件的发展，从而出现了监督程序、汇编程序、编译程序、装配程序等。

3. 多道批处理系统

早期的单道批处理系统中只有一道作业在内存，因此系统资源的利用率不高。为了提高资源利用率和系统吞吐量，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。

多道程序设计的基本思想是：在内存中同时存放多道程序，在管理程序的控制下交替地执行。这些作业共享 CPU 和系统中的其他资源。图 1-2 (a) 示出单道程序运行情况，图中粗线表示 CPU 工作，细线表示设备工作。图 1-2 (b) 示出多道（两道）程序运行情况。图中用不同粗线表示程序 A, B 和监督程序在 CPU 上工作，细线表示磁盘操作，点画线表示磁带操作。

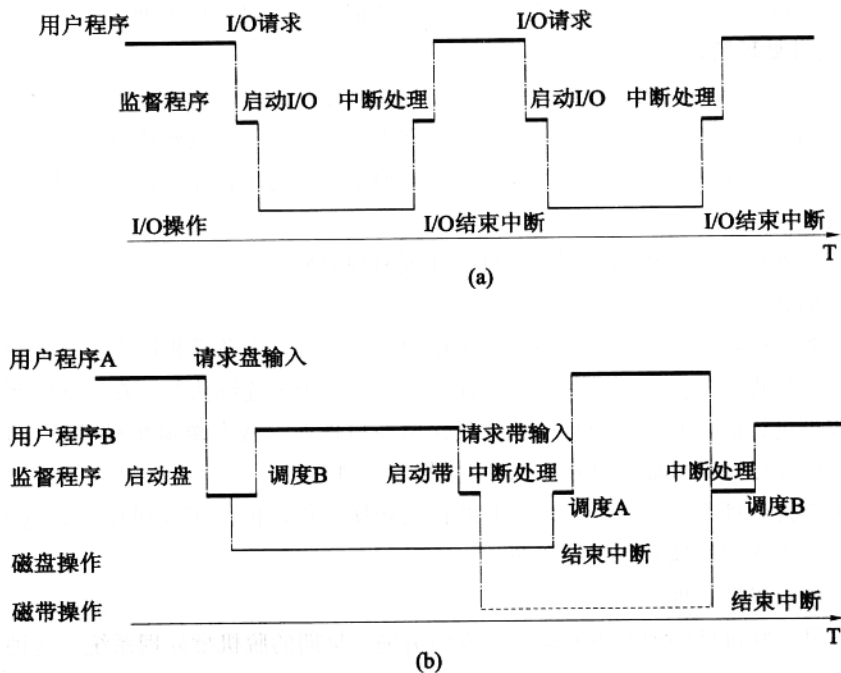


图 1-2 单道和多道程序运行情况

由图可见，在两道程序运行时，可出现以下过程：

- ① 当程序 A 请求磁盘输入时，程序 A 停止运行；系统（即监督程序）运行，它启动磁

盘设备做输入工作，并把 CPU 转给程序 B。在此情况下，程序 A 利用磁盘设备进行输入，程序 B 在 CPU 上执行计算任务。

② 程序 B 请求磁带输入，程序 B 停止运行；监督程序运行，它启动磁带设备做输入工作。在此情况下，磁盘设备和磁带设备都在工作，而 CPU 处于空闲状态。

③ 程序 A 所请求的磁盘输入工作完成，发 I/O 结束中断，监督程序运行，它进行中断处理，调度程序 A 运行。此后，程序 A 在 CPU 上执行计算任务，程序 B 利用磁带设备进行输入。

④ 当程序 A 工作完成后，让出 CPU，监督程序运行，它又调度程序 B 运行。

可以看出，程序 A 和程序 B 可交替运行，如安排合适，就使 CPU 总保持忙碌状态，而 I/O 设备也可满负荷工作。多道程序的这种交替运行称作并发执行。（严格讲，多道程序的并发执行必须经由进程实现。有关进程概念见第 2 章。）

与单道程序运行情况相比，可以看出：系统资源（CPU，内存、设备等）利用率提高了；在一段给定的时间内，计算机所能完成的总工作量（称为系统吞吐量）也增加了。

由一道程序执行到两道程序执行产生了“质”的飞跃，而由两道到更多道程序的执行却仅仅是“量”的变化。

在多道批处理系统中，由于有多道程序可以并发执行，而且它们既要共享系统资源，又要保证能协调地工作，因此系统管理变得很复杂。多道批处理必须解决一系列问题，包括：内存的分配和保护问题、处理机的调度和作业的合理搭配问题，I/O 设备的共享和方便使用问题、文件的存放和读写操作及安全性问题等。处理这些问题正是操作系统所应具备的基本功能。

4. 操作系统的发展

多道批处理系统缺少人机交互能力，因此用户使用不便。为解决这一问题，人们开发出分时系统。在分时系统中，一台主机可以连接几台以至上百台终端，每个用户可以通过终端与主机交互作用——可以方便地编辑和调试自己的程序、向系统发出各种控制命令、请求完成某项工作；系统完成用户提出的要求，输出计算结果以及出错、告警、提示等必要的信息。

为了满足某些应用领域内对实时（表示“及时”或“即时”）处理的需求，人们开发出实时系统。实时系统具有专用性，不同的实时系统用于不同的应用领域，如工业生产自动控制、卫星发射自动控制、飞机订票系统和银行管理系统等。与分时系统相比，实时系统要求有更高的可靠性和更严格的及时性。

随后，又发展了个人机操作系统、网络操作系统、多处理器操作系统、嵌入式操作系统以及分布式操作系统等。伴随着硬件技术的飞速发展和应用领域的急剧扩充，操作系统不仅种类越来越多，而且功能更加强大，给广大用户提供了更为舒适的应用环境。

1.1.3 操作系统的概念

大家几乎天天用到计算机，每次开机后都要引导操作系统。你的机器上或是安装了 Windows XP，或是 Linux，或是 Vista，等等。它们有许多相同之处，又有众多差别。那么，什么是操作系统呢？

操作系统是一类软件的总称。虽然操作系统已存在很多年，但至今仍没有一个统一的定义。通常情况下，我们可以这样来定义它：

操作系统是控制和管理计算机系统内各种硬件和软件资源、有效地组织多道程序运行的系统软件（或程序集合），是用户与计算机之间的接口。

怎样理解操作系统的定义呢？我们要注意以下几点：

第一，操作系统是软件，而且是系统软件，就是说，它由一整套程序组成。例如，UNIX 系统就是一个很大的程序，它由上千个模块组成，有的模块负责内存分配，有的模块实现 CPU 管理，还有的做读文件工作，等等。程序中还使用了大量的表格、队列等数据结构。

第二，它的基本职能是控制和管理系统内各种资源，有效地组织多道程序的运行。想象一下你编写的程序在计算机上执行的大致过程：程序以文件形式存放在磁盘上，运行之前计算机把它调入内存，然后在 CPU 上运行，产生的结果在屏幕上显示出来。这些工作都由操作系统完成。

第三，它提供众多服务，方便用户使用，扩充硬件功能。例如，用户可以使用操作系统提供的上百条命令或者图形界面完成对文件、输入/输出、程序运行等许多方面的控制和管理工作；可以在一台机器上完成多项任务；甚至可以多个人同时使用一台机器。

1.1.4 操作系统的地位

如上所述，计算机系统是由硬件和软件组成的。软件裹在硬件之上。**硬件是软件建立与活动的基础，而软件对硬件进行管理和功能扩充。**没有硬件，就失去了计算机系统的物理基础，软件也就无法存在了。反过来，若只有硬件而没有软件，则硬件就很难使用，没有活力，也就没有多大应用价值。硬件与软件有机地结合在一起，相辅相成，才使得计算机技术飞速发展，并在当今信息时代占据举足轻重的地位。

按照所起的作用和需要的运行环境，软件通常可分为 3 大类，即系统软件、应用软件和支撑软件。

系统软件包括操作系统（如 Windows XP，Linux 等）、编译程序（如 C/C++，Java 等）、汇编程序（如 Intel 8080，8086 等）、连接装配程序（如 Loader）和数据库管理系统（如 SQL 2000，Oracle）等，这些软件对计算机系统的资源进行控制、管理，并为其他程序