



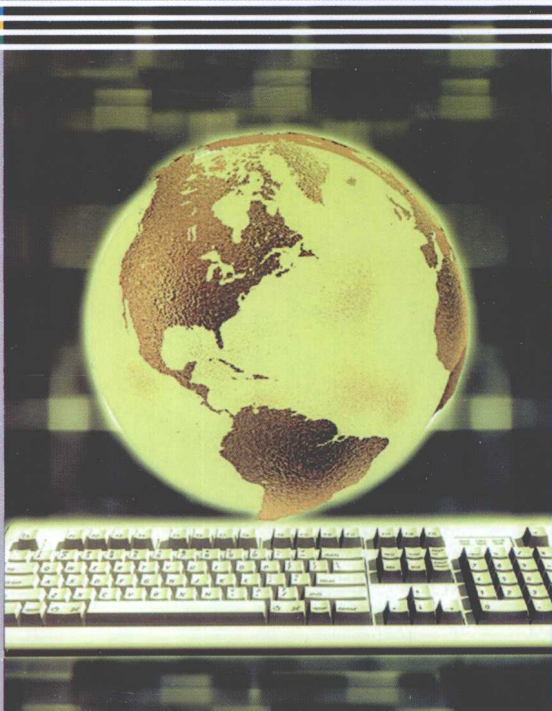
应用型本科院校规划教材/计算机类

主编 蔡爱杰 龚丹

计算机操作系统

Operating System

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业



哈尔滨工业大学出版社



应用型本科院校规划教材/计算机类

主 编 蔡爱杰 龚 丹
副主编 邓 琨 王会英 付 强

计算机操作系统

Operating System



哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书是编者参与应用型本科院校计算机专业课程教学内容改革探索与实践的成果之一。为适应新时期计算机专业人才培养目标的需求、适应计算机行业的发展,在结构组织上采取功能分解、任务驱动的模式,首先通过了解操作系统全貌、提出总的设计目标,进而以“管理目标—解决思路—设计原则—基本实现方法”为线索,依次阐述操作系统的四大资源管理职能,即处理器管理、存储器管理、设备管理和文件管理;在内容安排上除保持稳定的理论核心外,引入了现代操作系统的新技术和主流操作系统的实用技术与系统安全策略。

本书定位于操作系统的知识、技术基础层次,突出实用性、系统性,为学生今后在专业纵深方向的学习和研究奠定基础。

本书可作为应用型本科院校及高职高专院校计算机及相关专业的操作系统课程的教材,也可作为从事计算机专业工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机操作系统/蔡爱杰,龚丹主编.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5603-3048-8

I. ①计… II. ①蔡… ②龚… III. ①操作系统
IV. ①TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 130359 号

策划编辑 赵文斌 杜 燕
责任编辑 费佳明
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 415 千字
版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3048-8
定 价 32.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 王凤岐 王庄严 刘士军

刘宝华 朱建华 刘金祺 刘通学 刘福荣

张大平 杨玉顺 吴知丰 李俊杰 李继凡

林 艳 闻会新 高广军 柴玉华 韩毓洁

藏玉英

序

哈尔滨工业大学出版社策划的“应用型本科院校规划教材”即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学,而且满足就业市场对应用型人才的需求。

应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的“应用型本科院校规划教材”,在选题设计思路上认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

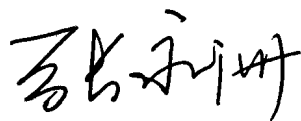
本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用

讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的PPT多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

“应用型本科院校规划教材”的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

黑龙江省教育厅厅长



2010年元月于哈尔滨

前 言

计算机科学与技术的不断发展,使得计算机的应用已经渗透到工业生产、经贸交流以及社会生活的各个方面,随着应用层面的不断加深,人们对计算机所能提供的功能有了更多更苛刻的要求。从历史源头上看,计算机硬件系统产生并投入应用之后,才出现了操作系统,但是操作系统作为发挥计算机硬件系统功能、改造计算机硬件系统性能的第一层次的系统软件,在计算机系统中起着举足轻重的作用,操作系统的设计技术和实现技术必定深刻影响当代以至未来计算机的应用和发展。

计算机操作系统是计算机科学技术及相关专业必修的专业基础课程,为了使学生更好地学习操作系统的基础原理和透彻理解在操作系统的管理与组织之下计算机系统的动作过程,本书的编者总结多年教学经验,参考相关教材、专著,力图使本教材呈现如下特点:一是注重操作系统学科知识体系的系统性、实用性和先进性,既致力于传统的、具有通用性质的操作系统基本概念、基本技术、基本方法的阐述,又融合现代操作系统最新技术发展和应用的讨论;二是将操作系统的理论知识与操作系统的具体实践结合起来,选择了具有代表性的 Windows 操作系统、Linux 操作系统作为实例进行讲解,使操作系统成熟的知识理论、设计原理与当代最具代表性的具体实例的实现技术相辅相成,十分有益于学生深入理解操作系统的整体概念和牢固掌握操作系统设计实现的精髓。

本书的编写力图达到以下三个层次的学习目标:第一层次是建立操作系统与计算机硬件和其他软件之间的联系,使学生能够掌握操作系统是什么、它有什么职能和任务;第二层次的目标是通过分析操作系统职能、任务,阐述在进行操作系统软件设计时应该考虑哪些问题、实现的原则与理论,同时在任务驱动之下,培养学生分析问题和解决问题能力;第三层次是在前两个层次的基础上,一方面从专业的角度上通过本课程的学习,为后续进行复杂的、综合性的实用软件设计提供系统的过程指导,另一方面,培养学生一个外延性的能力,即通过详细讨论操作系统各部分管理目标、管理任务、管理方法,帮助学生形成管理思维。

本书共分 9 章,第 1 章为概述,初步了解操作系统全貌;第 2 章至 5 章详细介绍操作系统的四大资源管理职能,即处理器管理、存储管理、设备管理和文件管理;在详细阐述了基本的管理职能之后,在第 6 章、第 7 章则分别以 Windows 操作系统和 Linux 操作系统为例,分析前面各章所学知识在实际系统中的运用,使学生能够对具体实现时遇到的更多细节问题有所体会;第 8 章简要叙述了现代操作系统一些新的概念,最后,在第 9 章介绍了有关操作系统安全的知识。

本书第 1、3 章由龚丹编写,第 2、4 章由蔡爱杰编写,第 5 章由邓琨编写,第 6 章至第 9 章分别由张振蕊、付强、姚璐、王会英编写,徐红梅、于剑光、孙海龙、姜晓巍也参与了组织

材料和整理书稿的过程。

尽管本书经过了作者的反复讨论和推敲,但限于水平,难免有不妥之处,希望读者提出宝贵意见。作者电子邮箱为 pcgong1001@yahoo.com.cn。

编者

2010年5月

目 录

第1章 操作系统导论	1
1.1 操作系统的概念	1
1.2 操作系统的发展历史	7
1.3 操作系统的类型	13
1.4 操作系统体系结构	16
1.5 人机界面	19
小 结	22
习 题	23
第2章 进程与处理器管理	25
2.1 进程的引入	24
2.2 进程状态和管理	29
2.3 进程同步与通信	34
2.4 处理器调度	48
2.5 死 锁	57
2.6 线 程	62
小 结	64
习 题	65
第3章 存储器管理	67
3.1 存储器管理概述	67
3.2 重定位	69
3.3 存储器管理技术	71
3.4 分区管理技术	73
3.5 分页存储管理	79
3.6 分段存储管理	84
3.7 段页式存储管理	86
3.8 虚拟存储器管理	87
3.9 常用的页面置换算法	92
3.10 虚拟存储管理中的软件策略	96
小 结	99
习 题	99
第4章 设备管理	101
4.1 概 述	102
4.2 输入/输出的工作过程	105

4.3	设备的管理	107
4.4	数据传输的方式	109
4.5	设备处理	116
4.6	设备管理技术	118
4.7	磁盘 I/O	122
	小 结	124
	习 题	125
第 5 章	文件系统	126
5.1	概 述	126
5.2	文件目录	129
5.3	文件的组织结构	135
5.4	文件存储空间管理	144
5.5	文件的共享、保护与保密	146
5.6	文件系统的实现	152
	小 结	155
	习 题	156
第 6 章	Windows 操作系统	157
6.1	Windows 操作系统简介	157
6.2	Windows XP/2003 的进程与线程	160
6.3	Windows XP/2003 的存储管理	167
6.4	Windows XP/2003 的 I/O 系统	176
6.5	Windows XP/2003 文件系统	188
	小 结	195
	习 题	196
第 7 章	Linux 操作系统	197
7.1	Linux 操作系统简介	197
7.2	Linux 的进程管理	200
7.3	Linux 的内存管理	205
7.4	Linux 的文件系统	208
7.5	Linux 的设备管理	215
	小 结	218
	习 题	218
第 8 章	操作系统安全	219
8.1	操作系统安全概述	219
8.2	数据加密技术	222
8.3	认证技术	224
8.4	防火墙技术	227
8.5	访问控制技术	233

8.6 操作系统安全及网络安全	237
小 结	244
习 题	244
第9章 现代操作系统的发展	245
9.1 现代操作系统概述	245
9.2 嵌入式操作系统	252
9.3 分布式操作系统	261
小 结	271
习 题	272
参考文献	273

随着计算机的发展和普及,计算机的应用已经渗透到社会生产和生活的各个领域,若使计算机的作用得以发挥必须为其配置操作系统。那么什么是操作系统,从其产生至今经过哪些发展变化、具有哪些功能和特性呢?本章将阐明这些最基本的问题。

【学习目标】

- 1.理解操作系统在计算机系统中所处的地位,熟练掌握操作系统的概念、功能和特性。
- 2.了解操作系统的发展历史。
- 3.掌握不同类型操作系统的设计目标、特点和适用场合。
- 4.理解并掌握操作系统的体系结构。
- 5.了解操作系统的人机界面。

【知识要点】

操作系统的概念、功能、特性;操作系统的类型;操作系统的体系结构。

1.1 操作系统的概念

在认识操作系统、分析其功能之前,必须对计算机系统结构和功能逻辑有一定的认识,因此本节会首先对计算机系统特别是底层的硬件知识进行概述,引出操作系统的特性和涉及的设计问题,以便在学习过程中抓住其前后关系。

1.1.1 计算机系统

从一般用户的角度来看,计算机是这样一种现代化的电子设备:它有一个很重要的部分称为主机,并且连接着一些负责输入与输出的设备,能帮助人们处理事务、进行高速又精确的数据计算与统计、储存资料,还可以娱乐,与网络连接后还可以共享大量的资源和信息。但是从专业人员的角度,则会突破一般用户所“见到”的计算机。

计算机系统是由硬件和软件两大部分组成,它们是计算机系统的资源。计算机的硬件部分是计算机系统赖以工作的实体,主要由处理器、主存储器、输入/输出模块等部件组成,并由系统总线实现部件间的互联,如图 1.1 所示。

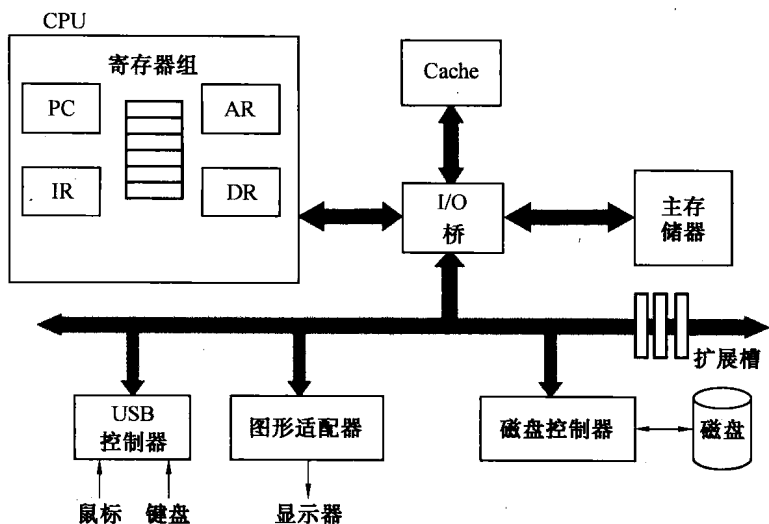


图 1.1 典型计算机系统硬件组成

(CPU:中央处理单元;PC:程序计数器;IR:指令寄存器;AR:地址寄存器;DR:数据寄存器;
Cache:高速缓冲存储器;I/O:输入/输出;USB:通用串行总线)

1. 处理器和几种主要的寄存器

处理器是计算机中最核心的部件,控制计算机的操作及执行数据处理功能,在单处理器的系统中通常指中央处理单元(CPU)。处理器中包括一组存取速度极快的寄存器,如:

- (1)数据寄存器(DR):用于暂存指令执行过程中需要或产生的数据。
- (2)地址寄存器(AR):包含指令和数据的主存储器地址。

数据寄存器和地址寄存器可以是通用的,对程序员也是可见的,可通过编程引用,减少对主存储器的访问,提高执行速度。

- (3)程序计数器(PC):保存下一条指令的地址,处理器每取指一次则自动递增。
- (4)指令寄存器(IR):保存处理器即将执行的指令的内容。
- (5)程序状态字(PSW)寄存器组:包含条件码和其他状态信息。

程序计数器、指令寄存器和程序状态字寄存器组只能由控制模式(也称操作系统模式)下的某些机器指令访问。

不同的机器有不同的寄存器结构,此处仅列出了通常情况下指令执行所必需的,其他的还有中断寄存器组、栈指针寄存器等,在此不一一列举。

2. 主存储器和高速缓冲存储器

寄存器是计算机系统中访问速度最快的存储部件,但它的容量极其有限,因此处理器执行的指令和处理的数据在拷贝到相应寄存器之前是保存在主存储器,简称主存(也称内部存储器,简称内存)中的,而操作结果,包括一些中间结果也将从寄存器拷贝到主存储器中暂存,主存储器在容量上有明显优势,但是存取速度与处理器的执行速度不相匹配,为了提高存取速度,调和寄存器与主存储器在容量和速度(包括价格)上的矛盾,引入了高速缓冲存储器(Cache)。处理器与高速缓存之间以字节传送,而高速缓存与主存储器之间以块为单位存取,这样做一方面使处理器摆脱了主存储器的速度制约,另一方面频繁访问的

数据刚好暂存于高速缓存中(称为命中)时,则极大地提高了访问和执行的速度。

计算机系统容量更大但同时存取速度也相对更慢的存储部件是辅助存储器,简称辅存(也称外部存储器,简称外存),如硬盘、磁带,以及光盘等可移动存储设备,它们主要用来永久保存海量信息。寄存器、高速缓存、主存储器和辅助存储器共同构成了计算机系统的存储层次结构,如图 1.2 所示,对它们的选取、组织和利用是操作系统设计时必须考虑的问题之一。

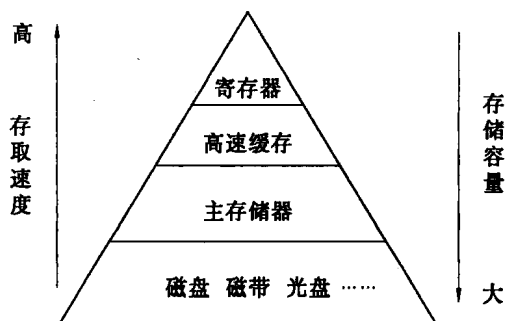


图 1.2 存储器层次结构图

3. 指令执行过程

从处理器的角度看,程序实际上是按一定顺序排列的指令集合,处理器的工作就是不断重复地从存储器中取指令并执行指令,一条指令从取出到执行完毕称为一个指令周期,在指令周期内,可能涉及数据的输入/输出(I/O),为了提高处理器的利用率,在处理 I/O 时,允许当前指令中断(这只是发生中断的典型事件之一,有关中断的内容将在后续章节中详细介绍),处理器转去执行其他指令,指令执行过程如图 1.3 所示,中断处理完成后恢复原指令的执行,中断发生时 CPU 现场的保存以及中断结束后的恢复由操作系统完成。

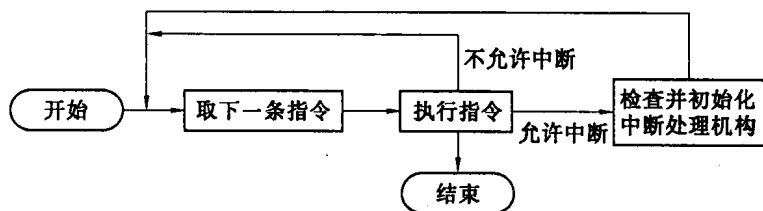


图 1.3 处理器执行指令过程

以上介绍了计算机系统中主要的硬件部件,在没有任何软件支持时称其为裸机,它们构成了计算机系统的物质基础,而实际运行的计算机是经过若干层次的软件改造后的。简单地说,计算机软件就是计算机所运行的程序集合,用于指挥计算机系统按指定要求进行工作。计算机软件包括系统软件和应用软件。系统软件有操作系统、汇编和编译程序、连接装配程序、其他系统实用程序与工具等;应用软件则是依不同需求编制的程序,如 Office 办公软件、影音播放软件等。这样,完整的计算机系统可以描述为如图 1.4 所示的结构。

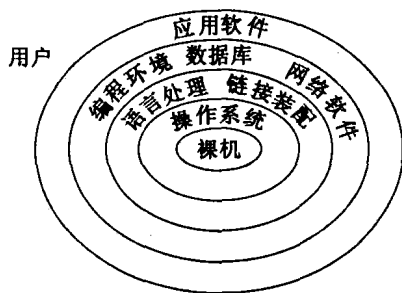


图 1.4 完整的计算机系统构成

软件多种多样,功能各异,它们的存在使得用户可以轻松地指挥计算机为自己服务。而在所有的软件中,操作系统是最接近硬件的,它不仅是用户与计算机之间的媒介,更是所有的其他软件的支撑平台,是构成基本计算机系统必不可少的系统软件。

1.1.2 操作系统的概念

从图 1.4 可以看出,由裸机开始,向上呈现了一种层次结构,直至计算机的使用者。用户不必直接与硬件打交道,而是从各种应用软件那里得到服务,满足需求;而各种应用软件包括数据库系统和网络工具不必受限于编制语言,在语言处理程序的帮助下获得了语言的透明性和编制方法的灵活性,通过链接和装配工具形成一个个待运行的程序,接下来程序执行所需的、硬件部件所能提供的输入、处理(计算)和输出功能都以操作系统为媒介,在操作系统的控制和管理下各得其所。

现在,我们正式为操作系统下一个定义,操作系统(Operating System)是控制和管理计算机系统硬件资源和软件资源的系统软件,它合理地组织计算机工作流程,是用户与计算机之间的接口。

我们可以从以下几个方面来理解操作系统定义的含义:

(1)从操作系统的概念可以知道,操作系统是一个系统软件,而且是一个特殊的系统软件。操作系统的特殊性体现在,其他的系统软件必须在操作系统的管理和控制下,并得到操作系统的支持和服务才能得以正常运行,完成各自的功能。

(2)操作系统管理和控制计算机系统的资源、合理地组织计算机工作流程,就是要用计算机系统的有限资源来满足用户的无限需求。操作系统是如何解决有限资源与无限需求这一对矛盾的呢?操作系统需要采用一些合理、公平的方法与策略进行分配资源、回收资源,使得硬件的功能发挥得更好、利用率更高,使得用户合理共享资源、防止各用户间的干扰,从而计算机系统能够高效地工作。

(3)操作系统是用户与计算机之间的接口,它给用户提供了一个方便、友好的操作的平台。用户无需了解硬件的特性,就可以通过操作系统提供的命令或图形界面来完成自己的操作。

1.1.3 操作系统的功能

操作系统的功能可以分为以下三个方面。

1. 用户和用户程序与计算机之间的接口

前面我们已经学习到计算机系统的典型硬件构成,并简单认识了处理器执行指令的逻辑过程,操作系统的存在,可以使用户不用关心计算机的这些硬件细节,对于一般应用者来说处理器如何执行指令也无需知道,他们只要知道自己想要做的,而如何“做”则由各种软件来完成;如果用户是一名程序员,了解一定的处理器逻辑是必要的,但你需要做的也仅是组织好自己的指令集合,也就是编写程序,至于程序的解释、对硬件的指挥全部交给系统软件就可以了。

各种软件程序是如何运行的呢?运行一个程序前,操作系统会做许多准备工作,申请空闲的主存空间,把指令和数据装入其中,申请 I/O 设备及其他资源;程序运行中,操作系统随时监控,进行控制转移和分配资源,在多用户及多道程序的环境下,还要进行访问安全控制;程序运行结束后操作系统回收各种资源并进行记录。

所以说,无论是用户还是用户程序都是通过操作系统提供的方便、统一、透明的接口来使用计算机的。

2. 资源管理

一台计算机就是一组资源,从资源管理的角度看,操作系统主要有四大功能:

(1)处理器管理。在单道串行作业时,处理器只为一个作业所使用,对处理器管理十分简单,但是在引入多道程序设计后,操作系统必须合理组织多个作业,按照一定的调度算法分配和回收处理器,不同的实施策略表现出不同的操作系统;在多处理器的系统中,处理器的管理还要负责多个处理器之间的平衡。

(2)存储管理。主要指主存储器的管理,负责为程序分配空间、进行地址变换以及运行结束后回收空间,除此之外,为了尽可能多地接纳用户提交的作业任务,提高系统中各种资源,特别是处理器的利用率,同一时刻主存中会存放多道程序,也包括操作系统自身的相关模块,所以存储管理还必须保证系统程序与用户程序、用户程序与用户程序之间都不会发生冲突,各个作业的程序空间受到保护,互不干扰;为节省空间占用,要支持对公共的程序段的共享;当用户作业所需的主存空间超过系统所能提供的数量时,提供必要的主存扩充技术,如虚拟存储等。

(3)文件管理。文件管理可以分为硬资源和软资源两方面的管理。硬资源包括辅助存储器、磁带、光盘等存储设备,外围海量存储设备是供长期保存用户程序和数据的,为有效利用存储空间和方便存取,对存储空间要进行适当的组织管理、分配和回收,而对程序、数据等软资源,要为用户提供按名存取、文件目录、文件读写、检索、修改以及解决文件的共享、保密和保护。

(4)设备管理。计算机系统中常常配置多种外围设备,各自功能和输入输出的特性都不同,要在一个系统中协同工作,必须由操作系统对这些设备进行管理,涉及分配和回收、启动及故障处理等,为提高系统的并行性,引入虚拟设备技术和缓冲;设备管理中还要求实现设备的独立性,来减少用户使用设备的技术负担,也可以提高用户程序的通用性。

3. 控制和协调程序的运行

也许你也曾试过一边进行文档编写、一边听音乐,一边玩游戏、一边聊天,在一台计算机上呈现了多个程序同时运行的情形,这么多个程序是如何相安无事地在一个系统环境

中同时活动的呢？犹如世界各国进行国际经济贸易交流时，需要一个规则制定者和监督管理者——世界贸易组织(WTO)，而计算机系统中由操作系统承担这样的功能。

事实上，即使计算机系统中只有一个应用程序在运行，或者一个程序也没有运行(当然这是用户的感受，操作系统本身也是一种程序，它的某些模块以及其他一些系统软件一直在运行中)，也离不开操作系统的控制和协调。五花八门、功能各异的用户程序都是由某种高级语言编写的(通常情况是这样的)，要由操作系统完成翻译工作，使其能够被处理器读懂；程序执行过程中需要输入或输出时，由操作系统接收这种申请并决定是否支持，不论是否申请成功，都将发生执行路线的转移，或是转到相应的处理上，或是中止当前程序，这其中要进行转移前的现场保护、调度新程序执行及现场恢复都需要操作系统的控制和协调。

操作系统的组织协调工作主要有进程调度、中断管理、进程通信、死锁对策等。

1.1.4 操作系统的特性

操作系统实质上就是一组程序模块的集合，与所有软件一样由某种程序设计语言编写，并储存于存储设备上，装载入主存储器后为处理器提供指令。但是操作系统作为用户和用户程序与计算机之间的接口，管理着计算机系统中的软、硬件资源，控制并协调其他程序的执行，它还必须具备以下特性。

1. 并发性

并发指的是在操作系统中存在许多同时的或平行的活动。例如，输入输出活动和计算活动的并行；又如，在主存中同时存在几道用户程序，它们在处理器上交替运行等。由并发而引起的一些问题是：要能从一个活动转向另一个；保护一个活动使其不受另外一些活动的影响；有相互依赖的活动之间能相互协调、实施同步并进行信息交换。

2. 共享性

系统中存在的各种并发活动要共享系统软、硬件资源，之所以这样做有四个理由：

(1)从经济上考虑。计算机系统的价格仍然很昂贵，资源共享是提高经济效益的一种比较合理的解决方法。

(2)当若干程序员协同工作开发软件时，可能需要互相使用他人拥有的软件资源。

(3)许多用户往往要同时使用某一资源，特别是系统软件。例如，某种语言的编译程序、文本编辑程序等。为了节省存储空间，提高工作效率，可以使这些用户共享这些资源，而不是向每个用户提供一个副本。

(4)几个用户要求运行不同的程序，但可能要使用相同的数据。

与共享有关的问题有资源分配、对数据的同时存取、不同的活动要能同时执行一个程序以及必要的保护等。

3. 不确定性

如果同一程序在同一数据集上运行，则不论今天或每天，产生的结果应该是相同的。从这个意义上来说，操作系统应该是确定的。但是同样一个程序在同一数据集上运行，这次需要三分钟，下一次则可能需要三分半钟。同一组程序 pr_1 、 pr_2 、 pr_3 ，它们一起提交操作系统运行，这次可能 pr_1 先完成，然后 pr_2 、 pr_3 ；下一次却可能是 pr_2 ，然后是 pr_1 、 pr_3 。从这个