



高等学校计算机专业规划教材

电子·教育

操作系统

于 玉 沈雪明

编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校计算机专业规划教材

操作系统

于 玉 沈雪明 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍微型计算机操作系统。操作系统是计算机系统中最核心和最底层的软件,操作系统是一组程序,是为了提高系统资源的使用效率且方便用户而设计的。本书分 10 章,分别讲述了进程描述与控制、进程互斥与同步、存储器管理、处理机管理、文件系统、分布系统、死锁及安全等内容。

本书适合作为高等学校计算机专业的教材,也可以作为计算机爱好者及自学人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

操作系统/于玉等编著. —北京:电子工业出版社,2003.3

高等学校计算机专业规划教材

ISBN 7-5053-8207-1

I. 操… II. 于… III. 操作系统(软件)—高等学校—教材 IV. TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 008431 号

责任编辑:张云怡

印 刷:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:437 千字

版 次:2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:22.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

出版说明

为了适应我国 21 世纪计算机各类人才的需要,根据计算机学科技术发展的总趋势,结合我国高等学校教育工作的现状,立足培养的学生能跟上国际计算机学科技术发展水平,原“全国高校计算机专业教学指导委员会”、“中国计算机学会教育委员会”的大部分专家、教授于 2001 年 4 月在上海召开研讨会,参照 IEEE 和 ACM 计算机教程 2001 大纲组织编写与其配套的 22 种教材,现推荐给国内的院校,作为教学之用。

为了使这套教材体现现代计算机教学的特点,编出特色,来自上海交通大学、复旦大学、国防科技大学、哈尔滨工业大学、华东师范大学、东南大学、华东理工大学、上海大学、福州大学、重庆大学、东华大学等十几所大学的专家、教授成立了以陈火旺院士为主任委员的编写委员会,并多次集中开会,深入讨论了结合我国高等学校计算机本科教育的实际而推出的“93 教程”的教学情况,以及由全国高校计算机专业教学指导委员会、中国计算机学会教育委员会推出的《2000 计算机学科教学计划》征求意见稿,在研究、学习、借鉴 2000 年 6 月 ACM 和 IEEE/CS 联合专题组发表的“Computing curricula 2001”报告的基础上,结合当前计算机技术飞速发展的现实——对计算机学科的教学内容不断提出更新的要求,特别是为了全面推进素质教育,以及培养学生的创新精神和实践能力,提出了新的编写思路,使这套教材的知识点能反映当前计算机学科技术发展的前沿和趋势。

ACM 和 IEEE 2001 教程的思想是将计算机学科领域的知识分解为几个主要的核心科目(算法与数据结构、计算机体系结构、人工智能与机器人学、数据学与信息检索、人机通信、数值计算、操作系统、程序设计语言、图形学、可视化、多媒体、网络计算、软件工程)并作为学科的公共要求:对计算机学科的教学要突出理论、抽象和设计三个环节,并强调教学一定要与社会需求相结合。另外,还提出了贯穿于计算机学科中常出现的基本概念,并将这些概念在教材中予以清晰的介绍,灵活的应用,以更好地帮助学生,使之成为一个优秀的计算机工作者。

为了保证这套教材的审编和出版质量,以陈火旺院士为主任委员的教材编委会的专家、教授们在 2001 年 4 月召开了全体编委、作者讨论会,制订了编写要求和编审程序。编委们对所有教材的编写提纲进行了讨论,对教材的质量做了专门的要求,并设立专门的负责人选。参加这套教材的编审者都是来自全国重点高校的在计算机领域从事教学和科研的专家和学者,他们具有丰富的教学经验,严谨的治学态度,较高的学术水平。

这套教材的出版得到电子工业出版社的积极支持。他们把这套教材列为重点图书出版,并制定了专门的编审出版规定和出版流程,组织了专门的编辑力量和协调机构。

我们希望这套教材的出版,对我国的计算机教育事业的发展做出应有的贡献。

编委会

2002 年 1 月

前 言

进入 21 世纪以来,信息产业在持续快速地发展,信息技术已经广泛渗透到生产、经营、管理以及人类社会生活的各个层面,成为经济发展的关键因素。

信息的收集、处理和服务是信息产业的核心内容,这几个环节都离不开软件。在信息技术中,微电子是基础,计算机及通信设施是载体,而软件是核心,没有软件就没有信息化。

操作系统是计算机系统中最核心、最底层的软件。操作系统是一组程序,它能够提高系统资源的使用效率,并且可以方便用户。这些程序可以是软件。也可以是硬件,对操作系统的深入学习关系到对整个系统运作机制的全面理解。操作系统实际上是一个计算机系统中硬件和软件资源的总指挥,其性能的高低,决定着整个计算机系统的能力能否得到充分发挥。操作系统也是软件的基础运行平台。操作系统本身的安全可靠程度,决定整个计算机系统的安全性和可靠性。

本书是编者在复旦大学、华东师范大学计算机系多年讲授《操作系统》课程的教学实践和科学研究的基础上,参考了国内外出版的多种操作系统教材而编写的一本讲述计算机操作系统原理的教科书。

本书在保持操作系统理论体系完整性的基础上,突出基本概念和原理的分析。从强调应用、注重实践出发,本书以 UNIX, Windows 2000 和 Linux 等操作系统为例,具体分析了当代操作系统的设计思想和实现技术。

本书第 1,7,9,10 章由于玉编写,第 2,3,4,5,8 章由沈雪明编写,第 6 章由段起阳编写。全书由于玉统一筹划、统稿。在本书的编写过程中,复旦大学计算机系施伯乐教授和张良博士对本书的成稿给予了很大帮助。此外,杜莉、李杨、张超强同学在本书的编写过程中也做了大量工作。编者在此对他们表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在一些错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。有关意见请发电子邮件至 yuyu@fudan.edu.cn; xmshen@cs.ecnu.edu.cn; qiyangduan@fudan.edu.cn。本人不胜感激!

于玉

2003.01 于上海

目 录

第 1 章 简介	(1)
1.1 操作系统的安装位置	(1)
1.2 操作系统的功能	(2)
1.2.1 硬件资源	(2)
1.2.2 资源管理	(3)
1.2.3 虚拟计算机	(4)
1.3 虚拟计算机	(4)
1.3.1 虚拟处理器	(5)
1.3.2 虚拟主存	(6)
1.3.3 虚拟辅助存储器	(6)
1.3.4 虚拟 I/O	(6)
1.4 操作系统不是必须的	(6)
1.5 硬件接口	(6)
1.5.1 中断的基本概念	(6)
1.5.2 中断的响应与处理	(7)
1.6 操作系统接口	(8)
1.6.1 系统调用	(8)
1.6.2 系统调用的例子	(9)
1.7 操作系统发展历史	(10)
1.7.1 顺序处理	(10)
1.7.2 简单的批处理系统	(10)
1.7.3 多道程序系统	(11)
1.7.4 分时系统	(12)
1.7.5 个人计算机系统	(12)
1.8 操作系统的结构	(12)
1.8.1 单体式系统	(12)
1.8.2 层次式系统	(13)
1.8.3 客户/服务器系统	(13)
第 2 章 进程描述与控制	(15)
2.1 进程的基本概念	(15)
2.1.1 进程的引入	(15)
2.1.2 进程的定义和特征	(18)
2.1.3 进程的基本状态及其转换	(19)
2.1.4 具有挂起功能的进程状态及其转换	(20)
2.2 进程描述	(22)

2.2.1	操作系统的控制结构	(22)
2.2.2	进程的结构描述	(24)
2.2.3	进程控制块的结构	(25)
2.2.4	进程控制块的组织形式	(26)
2.3	进程控制	(27)
2.3.1	进程控制机构	(27)
2.3.2	进程控制原语	(28)
2.4	线程的概念	(32)
2.4.1	线程的定义和属性	(32)
2.4.2	线程与进程的比较	(33)
2.5	实例	(33)
2.5.1	UNIX System V	(33)
2.5.2	Windows NT	(36)
习题 2		(40)
第 3 章	进程互斥与同步	(41)
3.1	进程互斥	(41)
3.1.1	临界资源	(41)
3.1.2	临界区	(42)
3.1.3	互斥——软件的忙等待方法	(42)
3.1.4	互斥——硬件支持	(46)
3.1.5	互斥——信号量机制(软件不忙等待法)	(48)
3.2	进程同步	(50)
3.2.1	进程同步的例子	(50)
3.2.2	进程同步与进程互斥间的关系	(51)
3.3	用信号量机制解决进程同步及前趋图问题	(51)
3.3.1	用信号量机制解决进程同步问题	(51)
3.3.2	用信号量机制解决前趋图问题	(52)
3.4	用信号量机制解决经典进程同步问题	(53)
3.4.1	生产者-消费者问题	(53)
3.4.2	哲学家进餐问题	(55)
3.4.3	读者-写者问题	(57)
3.5	进程通信	(60)
3.5.1	进程通信的类型	(60)
3.5.2	消息传递系统	(61)
3.5.3	消息缓冲队列通信机制——直接通信方式的实现	(62)
3.6	管程的概念	(64)
3.6.1	管程的引入	(64)
3.6.2	管程的定义	(65)
3.6.3	实现管程的几个关键问题	(65)
3.6.4	用管程解决生产者-消费者问题	(66)

3.7 实例	(68)
3.7.1 UNIX System V	(68)
3.7.2 Windows NT	(70)
习题3	(71)
第4章 存储器管理	(73)
4.1 存储器管理的基本概念	(73)
4.1.1 存储器的层次结构	(73)
4.1.2 重定位及其方式	(74)
4.1.3 存储管理的功能	(76)
4.1.4 存储分配方式	(77)
4.1.5 虚拟存储器	(77)
4.2 连续分配存储管理	(78)
4.2.1 单道连续区管理	(78)
4.2.2 多道固定分区管理	(79)
4.2.3 多道可变分区管理	(80)
4.2.4 多道可重定位分区管理	(83)
4.2.5 分区的存储保护	(84)
4.3 纯分页存储管理	(86)
4.3.1 分页存储管理的基本原理	(86)
4.3.2 页式地址转换机构	(88)
4.4 纯分段存储管理	(90)
4.4.1 分段存储管理的引入	(90)
4.4.2 分段系统的基本原理	(91)
4.4.3 段式地址转换机构	(92)
4.4.4 段的共享与保护	(92)
4.5 请求分页虚拟存储管理	(94)
4.5.1 虚拟存储器的特征	(94)
4.5.2 分页虚拟存储管理中的硬件支持	(94)
4.5.3 两级和多级页表	(96)
4.5.4 页面分配	(98)
4.5.5 页面调入策略	(99)
4.5.6 页面置换算法	(100)
4.5.7 抖动和工作集模型	(103)
4.6 请求分段虚拟存储管理	(104)
4.6.1 扩充的段表机制	(104)
4.6.2 缺段中断机构	(105)
4.6.3 地址转换机构	(106)
4.7 段页式虚拟存储管理	(106)
4.7.1 实现原理	(106)
4.7.2 段页式存储管理算法	(109)

4.8 实例	(109)
4.8.1 UNIX System V	(109)
4.8.2 Windows NT	(111)
习题 4	(114)
第 5 章 处理机管理	(116)
5.1 调度的类型和模型	(116)
5.1.1 作业调度	(116)
5.1.2 进程调度	(117)
5.1.3 中级调度	(118)
5.1.4 调度队列模型	(119)
5.2 调度算法的选择和性能评价	(121)
5.2.1 调度算法选择时考虑的因素	(121)
5.2.2 调度算法性能评价	(122)
5.3 调度算法	(123)
5.3.1 先来先服务调度算法	(123)
5.3.2 短作业(短进程)优先调度算法	(125)
5.3.3 优先级调度算法	(126)
5.3.4 时间片轮转调度算法	(128)
5.3.5 多级反馈队列调度算法	(129)
5.3.6 实时调度算法	(131)
5.4 实例	(132)
5.4.1 UNIX System V	(132)
5.4.2 Windows NT	(133)
习题 5	(134)
第 6 章 设备管理	(137)
6.1 I/O 设备简介	(138)
6.1.1 不同的设备	(138)
6.1.2 接口和总线标准	(139)
6.2 I/O 子系统的软件体系结构	(141)
6.2.1 设备独立性	(142)
6.2.2 设备驱动程序的功能	(142)
6.3 DMA 原理	(143)
6.4 输入/输出通道	(144)
6.4.1 通道类型	(145)
6.4.2 IBM S/390 中的通道结构	(145)
6.5 磁盘调度	(147)
6.5.1 硬盘基础知识	(147)
6.5.2 磁盘的容量	(147)
6.5.3 磁盘的访问时间	(147)
6.5.4 调度策略	(148)

6.5.5 旋转优化	(150)
6.6 RAID 技术	(151)
6.6.1 RAID 0	(152)
6.6.2 RAID 1	(153)
6.6.3 RAID 2	(153)
6.6.4 RAID 3	(154)
6.6.5 RAID 4	(155)
6.6.6 RAID 5	(155)
6.7 缓冲技术	(156)
6.7.1 概述	(156)
6.7.2 双缓冲	(156)
6.7.3 环形缓冲	(157)
6.7.4 缓冲池	(157)
6.8 设备分配	(157)
6.8.1 独享设备的分配	(158)
6.8.2 SPOOLING 技术	(158)
6.9 Linux 系统中的设备管理	(159)
6.9.1 Linux 系统中对设备的管理方式	(160)
6.9.2 设备文件	(160)
6.9.3 Linux 系统中一个典型的设备访问	(163)
6.9.4 磁盘调度的实现	(164)
6.9.5 DMA 在 Linux 系统中的处理	(167)
6.9.6 缓冲的实现	(168)
6.9.7 Linux 系统中的打印 (SPOOLING 技术的应用)	(170)
习题 6	(171)
第 7 章 文件系统	(172)
7.1 一般概念	(172)
7.1.1 文件	(172)
7.1.2 文件类型	(173)
7.1.3 文件命名	(174)
7.1.4 文件操作	(174)
7.1.5 文件系统	(174)
7.1.6 文件系统结构	(175)
7.1.7 文件管理	(176)
7.2 文件的组织和访问	(176)
7.2.1 堆	(176)
7.2.2 顺序文件	(177)
7.2.3 索引顺序文件	(178)
7.2.4 索引文件	(178)
7.2.5 直接文件	(178)

7.2.6	分区文件	(178)
7.2.7	文件访问	(178)
7.3	文件目录	(179)
7.3.1	文件控制块	(179)
7.3.2	目录结构	(180)
7.3.3	目录操作	(182)
7.3.4	文件共享	(182)
7.4	文件的物理组织	(183)
7.4.1	连续分配	(183)
7.4.2	链接分配	(183)
7.4.3	索引分配	(184)
7.5	磁盘空间管理	(185)
7.5.1	磁盘块大小	(186)
7.5.2	位图法	(186)
7.5.3	链接法	(186)
7.5.4	索引法	(187)
7.5.5	可靠性	(187)
7.5.6	系统性能	(188)
7.6	UNIX 系统.....	(188)
7.6.1	索引节点	(189)
7.6.2	文件分配	(190)
7.7	Windows 2000 的文件系统	(191)
7.7.1	NTFS 的重要特征	(191)
7.7.2	NTFS 卷和文件结构	(192)
7.7.3	可恢复性	(194)
习题 7		(196)
第 8 章	死锁	(197)
8.1	死锁的基本概念	(197)
8.1.1	死锁的定义	(197)
8.1.2	资源的类型	(197)
8.1.3	产生死锁的原因	(198)
8.1.4	永久性资源产生死锁的必要条件	(200)
8.1.5	涉及死锁的四个问题	(200)
8.2	预防死锁	(201)
8.2.1	资源静态分配法	(201)
8.2.2	资源暂时释放法	(201)
8.2.3	资源有序使用法	(202)
8.3	避免死锁	(202)
8.3.1	系统的安全状态	(202)
8.3.2	银行家算法	(203)

8.3.3	银行家算法举例	(205)
8.4	检测死锁	(207)
8.4.1	资源分配图	(207)
8.4.2	死锁定理	(209)
8.4.3	检测死锁的算法	(210)
8.5	解除死锁	(211)
8.5.1	撤销死锁进程	(211)
8.5.2	挂起死锁进程	(211)
习题 8		(212)
第 9 章	对称多处理系统和分布处理	(213)
9.1	概况	(213)
9.1.1	计算机系统的分类	(213)
9.1.2	主/从组织	(214)
9.1.3	分离执行组织	(214)
9.1.4	对称组织	(215)
9.2	对称多处理器操作系统的设计	(215)
9.3	分布处理	(215)
9.3.1	OSI 参考模型	(215)
9.3.2	分布处理	(216)
9.4	客户/服务器	(218)
9.4.1	信息处理基本模式	(218)
9.4.2	客户/服务器模式的工作过程	(219)
9.4.3	客户/服务器应用	(220)
9.5	基于消息传递的通信方式	(222)
9.5.1	消息传递	(222)
9.5.2	消息传递过程	(223)
9.5.3	发送原语和接收原语	(223)
9.6	通信原语的设计	(223)
9.6.1	通信原语的类型	(223)
9.6.2	同步原语和异步原语	(224)
9.6.3	缓冲与非缓冲原语	(225)
9.6.4	可靠的和不可靠的通信原语	(226)
9.7	远程过程调用	(227)
9.7.1	远程过程调用概述	(227)
9.7.2	单机环境下的过程调用	(228)
9.7.3	基本远程过程调用操作	(229)
9.7.4	参数传递	(230)
9.7.5	参数表示	(230)
9.7.6	动态绑定	(230)
9.7.7	同步和异步	(231)

9.7.8 远程过程调用与通信原语的比较	(231)
9.8 集群	(232)
9.8.1 集群操作系统的设计问题	(233)
9.8.2 集群与对称多处理器	(233)
9.9 组通信	(233)
9.9.1 组	(234)
9.9.2 组通信的实现	(234)
9.10 分布式系统中的同步	(234)
9.10.1 分布式操作系统的特点	(234)
9.10.2 同步算法	(235)
9.11 分布式系统中的互斥	(236)
9.11.1 集中式算法	(236)
9.11.2 分布式算法	(237)
9.11.3 令牌环网算法	(238)
9.12 分布式系统中的死锁	(239)
9.12.1 集中式死锁检测方法	(239)
9.12.2 分布式的死锁检测	(240)
9.12.3 分布式死锁预防	(241)
9.13 分布式系统的管理	(241)
9.13.1 分布式操作系统的结构	(242)
9.13.2 分布式系统中的资源管理	(242)
习题9	(242)
第10章 系统安全	(243)
10.1 安全要求和威胁	(243)
10.1.1 安全领域	(243)
10.1.2 威胁的类型	(244)
10.1.3 操作系统安全的脆弱性和计算机系统资源	(245)
10.2 保护	(248)
10.2.1 存储器的保护	(249)
10.2.2 面向用户的访问控制	(250)
10.2.3 面向数据的访问控制	(250)
10.3 入侵者	(251)
10.3.1 入侵技术	(252)
10.3.2 口令保护	(253)
10.4 病毒	(253)
10.4.1 病毒的类型	(254)
10.4.2 宏病毒	(255)
10.4.3 反病毒方法	(256)
10.5 Windows 2000 的安全机制	(256)
10.5.1 安全描述符和访问控制	(257)

10.5.2 访问令牌 (257)

10.5.3 登录 (257)

10.6 计算机系统的安全等级 (258)

习题 10 (259)

参考文献 (260)

第1章 简介

操作系统运行在计算机的硬件上，并且为其他软件运行提供服务平台。本章介绍操作系统的概况，主要讨论 7 个问题：

- 计算机系统中，操作系统的安装位置。
- 操作系统的功能。
- 操作系统的结构。
- 人们需要操作系统吗？
- 硬件接口。
- 操作系统的接口。
- 操作系统结构。

用户可以从两个角度来看待操作系统：作为资源管理器；作为虚拟机管理器。可以看出操作系统存在于硬件和用户软件之间。

1.1 操作系统的安装位置

计算机系统由硬件和软件两部分组成。计算机硬件通常是指构成计算机系统的物理设备，比如寄存器、中断、中央处理器（控制器和运算器）、存储器、输入/输出设备、通道和网络接口等部件，它们构成了用户程序赖以活动的物质基础和工作环境。操作系统位于计算机系统的硬件和用户软件之间，如图 1.1 所示。操作系统做所有软件所期望的：它在更低层上建立可用功能，实现一些期望的功能；其他软件经接口调用这些功能，从而实现更容易使用的功能。这样，软件将一类接口转化为另一类接口。例如，一个 BASIC 解释器将计算机转化为 BASIC 机，一个统计包把计算机转化为统计机，等等。

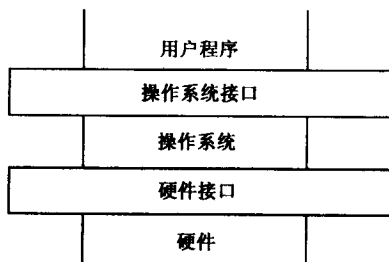


图 1.1 计算机系统的分层

操作系统直接构建在硬件接口上，为硬件和用户程序之间提供了连接。没有任何软件支持的计算机称为裸机，裸机仅构成计算机系统的物质基础，不能直接使用，需要在裸机上安装操作系统和应用软件。呈现在用户面前的计算机系统是经过多层软件改造过的计算机，而操作系统正是计算机启动时运行的第一个程序。

图 1.1 给出了硬件、软件和操作系统的简单层次结构。硬件接口由程序计数器、寄存器、中断、硬盘和终端等部件组成。操作系统同时拥有软件和硬件的特性。操作系统是软件，它是经过编译、连接、运行在计算机上的一个程序；但它又像硬件，只有一个操作系统拷贝运行在计算机上，它扩展了计算机的性能。其他软件使用特殊的“自陷”(trap)或“系统调用”命令请求操作系统提供服务，这类类似于使用硬件的指令。

现代计算机系统中硬件与软件之间的关系可分成若干层次，如图 1.2 所示。

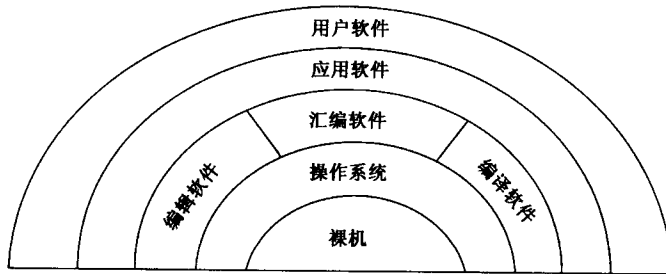


图 1.2 操作系统与硬件软件的关系

由图可见，硬件（裸机）在最里层，是计算机系统工作的物质基础，它的外面是操作系统，通过系统程序对计算机系统中各类资源（处理器、存储器、设备、数据等）进行管理并提供方便用户使用的多种服务功能，隐蔽对硬件的复杂操作，把裸机改造成功能更强、使用更方便的系统。

操作系统的外面是其他系统软件。操作系统是最基本的系统软件，其他系统软件对用户的操作和开发软件提供支持。如文本编辑、汇编程序、编译程序、连接程序、命令解释程序等，它们不是操作系统的一部分，一般与操作系统一起由供应商提供。有时，人们也将系统实用软件、系统工具软件等视做系统软件。

系统软件的外面是应用软件，它们是为各应用领域服务的软件，如数据库软件、财务软件等。

用户可以直接经系统软件操纵计算机，也可以通过实用软件或工具软件操纵计算机。

1.2 操作系统的功能

操作系统的功能可以从两个方面解释：

- 资源管理器——操作系统管理计算机系统的硬件资源。
- 虚拟计算机的实现——实现计算机的软件方面的功能。

1.2.1 硬件资源

计算机系统中主要的硬件资源有：

- 处理器——处理器是计算机系统的一部分，能够执行指令。
- 主存储器——存储数据和程序。这个存储器是易失的，常称为内存存储器。
- 输入/输出（I/O）模块——为计算机和外部环境之间传递数据。
- 外部设备——辅助存储器设备，如磁盘、磁带，终端、网络等。

图 1.3 显示了计算机系统的硬件资源。

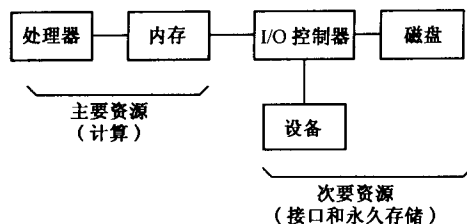


图 1.3 计算机系统的硬件资源

1.2.2 资源管理

资源管理主要有以下 3 点：

- 扩充——从一个现存的资源创建一个新资源。创建的资源将作为现存资源的替代，但是功能更强，更易使用。

- 多路技术——从一个资源创建几个资源的映射。

- 调度——决定哪个程序得到哪个资源及何时得到这个资源。

下面考虑多个虚拟打印机的转化——一个虚拟打印机对应一个虚拟计算机。

1. 扩充

扩充即转化。硬件资源有相当复杂的接口，如打印机的硬件接口可能包括数据寄存器、控制寄存器和状态寄存器。为了给打印机传送一个字符，CPU 需要重复读状态寄存器，直到它表明打印机已经准备好接受下一个字符为止。打印机准备好后，就可以将数据值写到数据寄存器中，并且把一个“发送”命令写到控制寄存器。这并不困难，但容易出错：需要知道数据、控制和状态寄存器的地址，这并不困难，还要知道控制和状态寄存器的位结构。

为了避免直接使用硬件资源的困难，操作系统把物理资源转化为虚拟资源。一个虚拟资源能提供基本的硬件资源功能，由于隐藏了硬件接口细节，使用起来也很容易。例如，操作系统提供的一台虚拟打印机能够打印一个字符。使用这个虚拟的资源，一个应用只需指定某个字符被打印。虚拟的打印机提供一台硬件打印机的基本功能，而操作系统处理难以使用的硬件接口的细节（寄存器寻址、寄存器格式化、等待打印机准备好接受下一个字符等）。

2. 多路技术

通常，计算机系统的物理资源是宝贵的，操作系统需要使众多的应用程序（虚拟计算机）共享物理资源。物理资源的共享称为多路技术。继续打印机的例子，设想系统只有一台打印机。如果运行两个或多个应用程序（虚拟计算机），操作系统需要显示出好像每个虚拟计算机都有一台自己的打印机。也就是说，操作系统需要确保一台虚拟计算机打印字符不和另一台虚拟打印机打印字符相混淆。

为了创建多重打印机的映射，操作系统常常用一个磁盘文件实现虚拟打印机。在这种解决方案中，每个虚拟的计算机（应用）有一个自己的“打印文件”。任何时刻，这个应用打印的字符，操作系统简单地把字符添加到该虚拟计算机所对应的打印文件的尾部。一般情况下，当应用完成时，操作系统把这个应用的打印文件加入打印队列。

这种方法常简称为 SPOOLING 方法，应用的打印文件称做 SPOOLING 文件。SPOOL 是