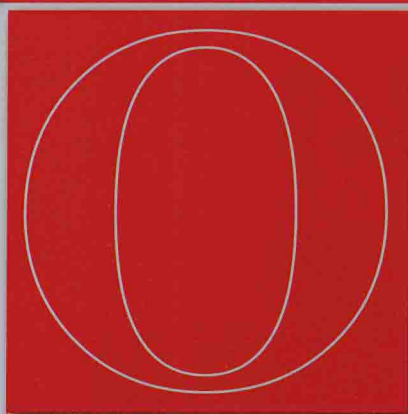
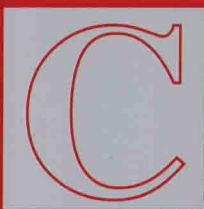


21世纪高等学校计算机**基础**实用规划教材

计算机操作系统

(第2版)

郁红英 王磊 武磊 李春强 编著



清华大学出版社

TP316
588-2

014057379

21 世纪高等学校计算机**基础**实用规划教材

计算机操作系统

(第2版)

郁红英 王磊 武磊 李春强 编著



TP316
588-2

清华大学出版社
北 京



北航

C1742860

内 容 简 介

本书全面而又系统地介绍了现代操作系统的基本理论和最新技术,并具体分析了 Windows Vista/7 和 Linux 中的实现技术和方法。

全书分为 11 章,为了便于没有先修计算机原理、计算机组织结构课程的读者阅读,本书第 2 版中增加了第 0 章,简单介绍了计算机系统,尤其是计算机硬件组成;第 1 章概述了操作系统的定义、发展、功能、特征和类型;第 2~8 章分别介绍进程与线程、进程同步与通信、调度与死锁、存储管理、虚拟存储管理、设备管理和文件管理;第 9 章和第 10 章分别介绍常用操作系统 Windows Vista/7 和 Linux 的实现技术。每章后附有思考与练习题,与本书配套的《操作系统实验指导与习题解析》一书中有对应思考与练习题的详细解答。

本书可作为普通高等院校开设操作系统课程的相关专业的本科生的教材,也可作为具有一些操作系统基本知识并想进一步了解操作系统内部编程的读者的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机操作系统/郁红英等编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2014

21 世纪高等学校计算机基础实用规划教材

ISBN 978-7-302-37118-2

I. ①计… II. ①郁… 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(2014)第 146032 号

责任编辑:魏江江 王冰飞

封面设计:何凤霞

责任校对:梁毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25 字 数:526 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版 2014 年 9 月第 2 版 印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数:16001~18000

定 价:34.50 元

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容,改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域,以公共基础课为主、专业基础课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。出版规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映各层次对基本理论和原理的需求,同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生的知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材配套,同一门课程有针对不同层次、面向不同专业的多本内容各具特点的教材。处理好教材统一性与多样化的关系,基本教材与辅助教材、教学参考书的关系,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。编者在书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校计算机基础实用规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

第 2 版前言

本书自出版以来,操作系统技术有了一些新的发展,为了将这些新技术和操作系统的
新发展融入新版本的教材中,特改写本书。

有些开设操作系统相关课程的高校没有开设先修课计算机原理或计算机组织结构,这
使得有些学生学习操作系统时有些困难,为此第 2 版中增加了第 0 章计算机系统概述。

几年来,原书中的两个实例操作系统 Windows 从当时常用的 Windows XP 发展为
Windows Vista、Windows 7, Linux 内核版本也发展到 2.6 版本。在这些操作系统新版本
中,有一些新的技术和算法引入,本书力图将新的技术更新到原教材中。

第 2 版由郁红英主编。第 0 章由王磊、郁红英编写,第 1~8 章由郁红英编写,第 9 章由
郁红英、武磊编写,第 10 章由郁红英、李春强编写。另外,冯庚豹、陈杰、田雨、郁杨、冯珽参
加了资料查询、整理及绘图等工作,在此表示感谢。

本书在修订过程中听取了许多高校授课教师与广大读者的大量意见和建议,在此谨致
谢意!

作者深知水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请同行和广大读者,特别是使用本书的教
师和学生多提宝贵意见。

作 者

2014 年 3 月

第 1 版前言

操作系统课程是一门技术性很强的课程,是计算机及其相关专业本科生的必修课。它强调理论与实践的结合,注重实践训练。由于操作系统涉及的原理和算法比较抽象,使得很多学生难以理解和掌握。作者根据多年的教学经验与体会,同时汲取国内外操作系统优秀教材的精华,本着提高学生素质、培养创新意识的精神编写了本书。

本书将理论与实践相结合,全面而又系统地介绍了现代操作系统的基本理论和最新技术,并具体分析了 Windows 和 Linux 中的实现技术和方法。本教材有以下几个特点。

(1) 内容全面,讲解系统。在内容讲解上注意由浅入深、由表及里,先引出问题,再给出概念、实现技术和相关算法。

(2) 理论配有实例。本书以 Windows 和 Linux 为实例,分别介绍了操作系统理论在这两个实际操作系统中的具体应用,以充实的内容在抽象概念与实际应用之间架设起桥梁,便于读者理解。

(3) 理论与实践相结合。操作系统课程的特点之一是实验的难度大。本书配套有《计算机操作系统实验指导》,实验指导中设计了不同类型的实验题,对每个实验题都进行了较为详细的实验指导,并配有经过测试的源程序代码供学生参考。

本书可作为操作系统课程的教材,也可作为有关专业技术人员学习计算机操作系统的参考书。

本书主要由郁红英编写。李春强对本书的编写提出了许多建设性的意见,并参加了部分章节内容的编写工作。另外,冯庚豹、陈杰、田雨、郁杨参加了资料整理等工作,在此表示感谢。

作者虽然从事操作系统的教学工作多年,但知道自己的水平有限,书中难免有不足之处,恳请同行和广大读者,特别是使用本书的教师和学生多提宝贵意见。

作 者

2008 年 6 月

目 录

第 0 章 计算机系统概述	1
0.1 计算机系统及其结构	1
0.2 计算机硬件	2
0.2.1 中央处理器	4
0.2.2 存储器	5
0.2.3 I/O 系统	6
0.2.4 总线	7
0.2.5 启动计算机	8
0.3 指令的执行	9
0.3.1 取指令与执行指令	9
0.3.2 I/O 函数	9
0.4 中断	9
0.4.1 中断与指令周期	10
0.4.2 中断处理	12
0.4.3 多个中断	13
思考与练习题	13
第 1 章 操作系统引论	14
1.1 操作系统的定义	14
1.1.1 资源管理的观点	14
1.1.2 用户的观点(扩展机器的观点)	15
1.2 操作系统的产生和发展	16
1.2.1 第一代计算机没有操作系统	16
1.2.2 第二代计算机有了监控系统	16
1.2.3 第三代计算机操作系统得到极大的发展	18
1.2.4 第四代计算机操作系统向多元化方向发展	20
1.3 操作系统的特征	21
1.4 操作系统的功能	22
1.4.1 进程管理	22
1.4.2 存储管理	23
1.4.3 设备管理	24

1.4.4	文件管理	24
1.4.5	操作系统接口	25
1.5	操作系统类型	26
1.5.1	批处理操作系统	26
1.5.2	分时操作系统	28
1.5.3	实时操作系统	30
1.5.4	微机操作系统	32
1.5.5	多处理机操作系统	38
1.5.6	网络操作系统	39
1.5.7	分布式操作系统	41
1.5.8	嵌入式操作系统	42
	思考与练习题	43

第2章 进程与线程 44

2.1	进程的引入	44
2.1.1	单道程序的顺序执行	44
2.1.2	多道程序的并发执行	45
2.1.3	程序并发执行的条件	47
2.1.4	进程的概念	47
2.2	进程的状态及组成	48
2.2.1	进程的基本状态	49
2.2.2	进程的挂起状态	50
2.2.3	进程控制块	52
2.3	进程控制	54
2.3.1	操作系统内核	54
2.3.2	进程的创建与撤销	56
2.3.3	进程的阻塞与唤醒	57
2.3.4	进程的挂起与激活	58
2.4	线程	58
2.4.1	线程的概念	59
2.4.2	线程与进程的比较	61
2.4.3	线程的实现	63
2.4.4	多线程问题	69
	思考与练习题	70

第3章 进程同步与通信 72

3.1	进程同步与互斥	72
3.1.1	并发原理	72
3.1.2	临界资源与临界区	74

3.1.3	互斥实现的硬件方法	76
3.1.4	互斥实现的软件方法	77
3.1.5	信号量和PV操作	79
3.2	经典进程同步与互斥问题	81
3.2.1	生产者—消费者问题	81
3.2.2	读者—写者问题	83
3.2.3	哲学家进餐问题	85
3.2.4	打瞌睡的理发师问题	86
3.3	AND 信号量	87
3.3.1	AND 信号量的引入	88
3.3.2	用 AND 信号量解决实际应用	89
3.4	管程	90
3.4.1	管程的思想	90
3.4.2	管程的结构	91
3.4.3	用管程解决实际应用	92
3.5	同步与互斥实例	94
3.5.1	Solaris 的同步与互斥	94
3.5.2	Windows 的同步与互斥	95
3.5.3	Linux 的同步与互斥	95
3.6	进程通信	96
3.6.1	进程通信的类型	96
3.6.2	进程通信中的问题	97
3.6.3	消息传递系统的实现	98
3.6.4	客户端—服务器系统通信	100
	思考与练习题	101

第4章 调度与死锁

4.1	调度类型与准则	103
4.1.1	调度类型	103
4.1.2	进程调度方式	104
4.1.3	进程调度时机	105
4.1.4	调度的性能准则	105
4.2	调度算法	106
4.2.1	先来先服务调度算法	106
4.2.2	短作业(进程)优先调度算法	107
4.2.3	时间片轮转调度算法	108
4.2.4	优先权调度算法	109
4.2.5	多级反馈队列调度算法	110
4.2.6	多种调度算法比较	111

4.3	死锁的基本概念	112
4.3.1	死锁定义	112
4.3.2	死锁产生的原因	112
4.3.3	可重复使用资源和可消耗资源	114
4.3.4	死锁产生的必要条件	116
4.4	死锁的预防与避免	116
4.4.1	死锁的预防	116
4.4.2	死锁的避免	117
4.4.3	银行家算法	118
4.5	死锁的检测与解除	122
4.5.1	资源分配图	122
4.5.2	死锁的解除	123
4.5.3	鸵鸟算法	124
	思考与练习题	124
第5章	存储管理	126
5.1	程序的装入和链接	126
5.1.1	重定位	126
5.1.2	链接	128
5.2	连续分配存储管理方式	129
5.2.1	单一连续分区	129
5.2.2	固定分区	130
5.2.3	可变分区	131
5.2.4	动态重定位分区	133
5.3	页式存储管理	133
5.3.1	页式存储管理的基本原理	134
5.3.2	页式存储管理的地址变换机构	135
5.3.3	页表的硬件实现	136
5.3.4	页表的组织	137
5.3.5	页式存储管理系统举例	139
5.4	段式存储管理	142
5.4.1	段式存储管理的基本原理	142
5.4.2	段式存储管理系统地址变换过程	143
5.4.3	分段和分页的区别	143
5.4.4	段的共享与保护	144
5.5	段页式存储管理	147
5.5.1	段页式存储管理的基本原理	147
5.5.2	段页式存储管理的地址变换	147
5.5.3	段页式存储管理系统举例	149

思考与练习题	152
第 6 章 虚拟存储管理	154
6.1 虚拟存储器的引入	154
6.1.1 局部性原理	154
6.1.2 虚拟存储器	154
6.1.3 虚拟存储器的特征	155
6.2 请求页式存储管理	155
6.2.1 请求页式存储管理系统的实现	155
6.2.2 请求页式存储管理驻留集管理	157
6.2.3 请求页式存储管理的调入策略	158
6.2.4 请求页式存储管理的页面置换算法	159
6.2.5 请求页式存储管理系统的性能	161
6.3 请求段式存储管理	163
6.3.1 请求段式存储管理的地址实现	163
6.3.2 动态链接	164
思考与练习题	166
第 7 章 设备管理	168
7.1 I/O 管理概述	168
7.1.1 I/O 管理的功能	168
7.1.2 I/O 硬件组成	169
7.1.3 I/O 设备	170
7.1.4 设备控制器	172
7.1.5 设备通道	173
7.2 I/O 控制方式	175
7.2.1 程序直接控制方式	176
7.2.2 中断控制方式	177
7.2.3 DMA 控制方式	178
7.2.4 通道控制方式	179
7.3 I/O 系统	181
7.3.1 设备分配	181
7.3.2 SPOOLing 技术	186
7.3.3 设备驱动程序	187
7.3.4 中断处理程序	189
7.4 磁盘管理	191
7.4.1 磁盘结构和管理	191
7.4.2 磁盘调度	195
7.4.3 独立磁盘冗余阵列	197

7.5 缓冲管理	200
7.5.1 缓冲	201
7.5.2 磁盘高速缓存	205
7.5.3 提高磁盘 I/O 速度的其他方法	206
思考与练习题	207

第8章 文件管理

8.1 文件概述	209
8.1.1 文件类型	209
8.1.2 文件属性	210
8.1.3 文件的操作	211
8.1.4 文件访问方式	211
8.2 文件结构和文件系统	212
8.2.1 文件结构	212
8.2.2 有结构文件的组织	213
8.2.3 文件系统	215
8.3 目录	217
8.3.1 文件控制块和索引节点	217
8.3.2 单级目录	218
8.3.3 两级目录	219
8.3.4 树形目录	220
8.3.5 目录的查询	222
8.3.6 文件的共享	224
8.4 文件系统实现	226
8.4.1 文件系统的格式	227
8.4.2 文件的存储结构	227
8.4.3 空闲存储空间的管理	231
8.5 文件系统的可靠性	235
8.5.1 坏块管理	235
8.5.2 备份	235
8.5.3 文件系统一致性问题	236
8.5.4 数据一致性控制	238
8.6 保护机制	238
8.6.1 保护域	239
8.6.2 保护矩阵的实现	240
8.6.3 分级安全管理	241
思考与练习题	243

第 9 章 Windows Vista/7 操作系统	245
9.1 Windows Vista/7 的特点和结构	245
9.1.1 Windows Vista/7 的特点	245
9.1.2 Windows Vista/7 的结构	246
9.2 Windows Vista/7 进程管理	249
9.2.1 Windows Vista/7 的进程和线程	249
9.2.2 Windows Vista/7 的互斥与同步	253
9.2.3 Windows Vista/7 的进程通信	255
9.2.4 Windows Vista/7 的线程调度	257
9.3 Windows Vista/7 内存管理	262
9.3.1 Windows Vista/7 的地址空间布局	262
9.3.2 Windows Vista/7 的地址变换机制	263
9.3.3 Windows Vista/7 的内存分配	266
9.3.4 Windows Vista/7 的页面共享	268
9.3.5 Windows Vista/7 的驻留集	269
9.3.6 Windows Vista/7 的物理内存管理	270
9.4 Windows Vista/7 设备管理	273
9.4.1 Windows Vista/7 的 I/O 系统结构	273
9.4.2 Windows Vista/7 的 I/O 系统的数据结构	274
9.4.3 Windows Vista/7 的 I/O 系统的设备驱动程序	277
9.4.4 Windows Vista/7 的 I/O 处理	278
9.4.5 Windows Vista/7 的磁盘管理	279
9.4.6 Windows Vista/7 的高速缓存管理	281
9.4.7 Windows Vista/7 的高速缓存支持的操作	282
9.5 Windows Vista/7 文件管理	284
9.5.1 Windows Vista/7 文件系统概述	284
9.5.2 NTFS 卷及其结构	287
9.5.3 NTFS 的可恢复性、可靠性和安全性	291
思考与练习题	293
第 10 章 Linux 操作系统	295
10.1 Linux 内核设计	295
10.1.1 内核设计目标	295
10.1.2 微内核与单内核	296
10.1.3 Linux 内核结构	297
10.2 Linux 系统的启动与初始化	298
10.2.1 初始化系统	298
10.2.2 操作系统的初始化	299

10.2.3	init 进程	300
10.3	Linux 进程管理	300
10.3.1	Linux 中的进程与线程	300
10.3.2	进程与线程的创建和撤销	302
10.3.3	进程调度	303
10.3.4	进程通信	304
10.4	Linux 内存管理	306
10.4.1	虚拟内存管理	306
10.4.2	物理内存管理	307
10.5	Linux 文件管理	308
10.5.1	虚拟文件系统	309
10.5.2	文件系统的安装与卸载	311
10.5.3	EXT2 逻辑文件系统	313
10.6	Linux 设备管理	315
10.6.1	Linux 设备管理概述	315
10.6.2	Linux 设备的类型	316
10.6.3	中断	317
10.6.4	缓存和刷新机制	318
10.6.5	磁盘调度	318
	思考与练习题	320
	参考文献	321

第0章

计算机系统概述

计算机系统是一个复杂系统,其包括硬件资源(中央处理器、主存储器、各种外围设备)和软件资源(程序、数据)。硬件是计算机系统运行的物质基础,物理设备按系统结构的要求构成一个有机整体,为软件运行提供载体和支撑。如果说软件系统是计算机的灵魂,操作系统便是灵魂中的基石所在,它作为配置在计算机硬件上的第一层软件,是对硬件系统的第一次扩充。操作系统直接工作于硬件之上,管理这些资源,并为应用程序进行软硬件的合理配置,因而操作系统与计算机硬件密不可分。所以在深入研究操作系统之前,必须对计算机系统的硬件结构有一个基本了解,本章将介绍计算机系统硬件的基本知识。

计算机系统的硬件主要由中央处理器(CPU)、存储器、输入输出控制系统和各种输入输出设备组成。中央处理器是对信息进行高速运算和处理的部件。存储器可分为主存储器和辅助存储器(磁盘、磁带、光盘等),用于存放各种程序和数据,主存储器可被中央处理器直接访问。输入输出设备(如键盘、鼠标、打印机、显示器、语音输入输出设备、绘图仪等)是计算机与用户间的交互接口部件。输入输出控制系统管理外围设备(包括各种辅助存储器和输入输出设备)与主存储器之间的信息传递。

0.1 计算机系统及其结构

计算机系统的最外层是使用计算机的人,内层便是硬件。人与计算机硬件之间的接口界面是计算机软件(分为系统软件、支撑软件以及应用软件)。在计算机上配置的各种软件中,操作系统是最重要的,它管理并优化各种软硬件资源,为上层应用提供接口和方便,在计算机系统中起到指挥管理的作用。

一般来说,计算机软件可以分为系统软件、支撑软件以及应用软件三类。系统软件是计算机系统中最近硬件层次的软件,是计算机系统中不可缺少的软件,操作系统为系统软件。系统软件与具体的应用领域无关,解决任何领域的问题一般都要用到系统软件。支撑软件是支撑其他软件的开发和维护的软件,如各种接口软件、软件开发工具和环境等都是支撑软件。应用软件是特定应用领域的专用软件,如人口普查软件、飞机订票软件、财务管理软件等都是应用软件。系统软件、支撑软件和应用软件三者既有分工,又相互结合,而且相互有所覆盖、交叉和变动,并不能截然分开。例如,操作系统是系统软件,但从另一角度来看,它也支撑其他软件的开发,故也可看作是支撑软件。

计算机硬件是借助电、磁、光、机械等原理构成的各种物理部件的组合,是系统赖以工作的实体。硬件层包括所有硬件资源,提供了基本的可计算性实体,是操作系统和上层软件赖

以工作的基础。对外界面由机器指令系统组成,操作系统及其外层软件通过执行机器指令访问和控制各种硬件资源。迄今为止,计算机硬件的组织结构仍采用冯·诺依曼基本原理,即“存储程序控制”原理。它一般归纳为控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备五类部件组成。人们通常把控制器和运算器做在一起,称为中央处理机(Central Processing Unit,CPU),把输入设备和输出设备统称为输入输出设备(I/O 设备)。

计算机系统便是由上述软件结合计算机硬件组成的一种层次式结构。层次结构的最大特点是把整体问题局部化,把一个大型复杂的操作系统分解成若干单向依赖的层次,由各层的正确性来保证整个操作系统的正确性。采用层次结构,能使结构清晰,便于调试,有利于功能的增、删和修改,正确性容易得到保证,也提高了系统的可维护性和可移植性,计算机系统层次结构如图 0-1 所示。

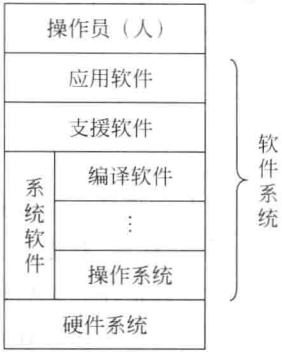


图 0-1 计算机系统层次结构

0.2 计算机硬件

操作系统与硬件系统关系密切。这是因为从系统角度来看,计算机系统硬件资源在操作系统的组织与管理下有效完成计算机工作任务,是实现用户服务需求的物质基础;而从用户角度来看,操作系统隐藏了硬件的复杂细节,为用户提供了一台功能经过扩展的机器或“虚拟机”。出于这个原因,这里先要简单介绍现代个人计算机的计算机硬件部分,然后深入探讨操作系统的具体工作细节。

现代个人计算机可以抽象为类似于图 0-2 所示的模型。通用计算机系统由一个或多个 CPU 和若干设备控制器通过共同的总线相互连接。该总线实现了对共享内存的访问。每个设备控制器负责一种特定类型的设备。

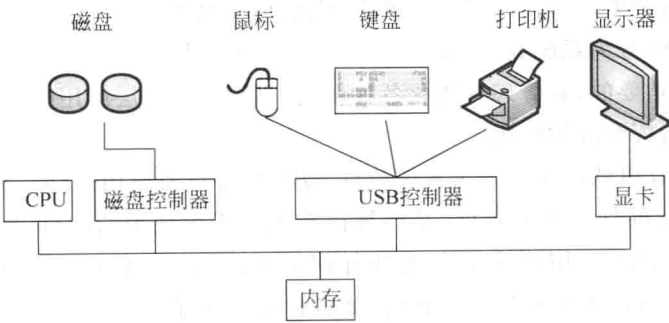


图 0-2 现代计算机系统

从逻辑结构上讲,典型的冯·诺依曼计算机是以运算器为中心的,而现代计算机已转化为以存储器为中心,如图 0-3 所示,各部件的功能如下所述。

- 运算器用来完成算术运算和逻辑运算,并暂存运算的中间结果。
- 存储器用来存放数据和程序。