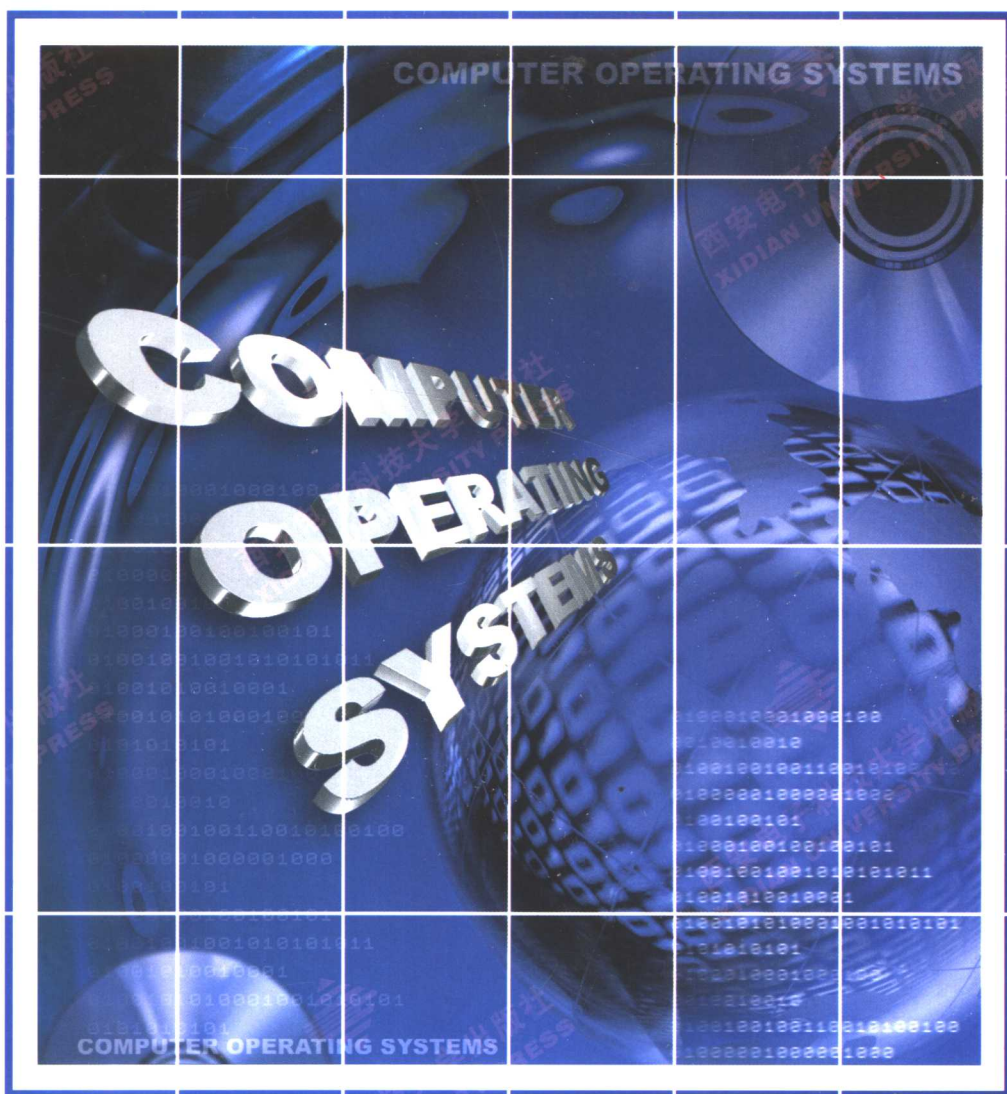


新世纪计算机类本科系列教材

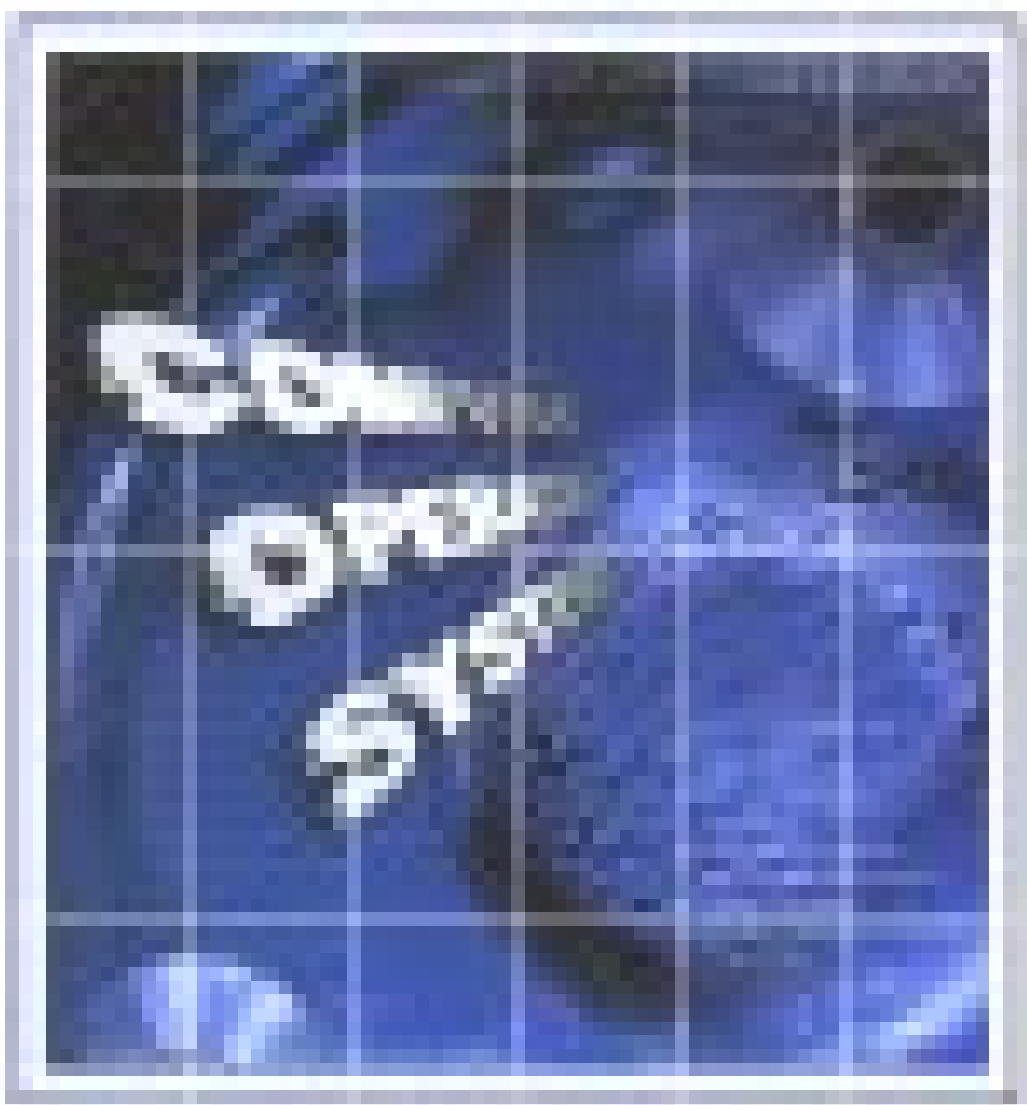


计算机操作系统

方敏 主编
方敏 王亚平 编著
权义宁 王长山

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

教育部高等学校计算机专业类教学指导委员会



计算机操作系统

主 编 王 珊

副 编 王 珊 王 珊 王 珊

编 者 王 珊 王 珊 王 珊

清华大学出版社
北京 2013 年 1 月



新世纪计算机类本科系列教材

计算机操作系统

方 敏 主编
方 敏 王亚平 编著
权义宁 王长山

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书从原理、技术、设计实现三个方面讲述了计算机操作系统，即首先从操作系统设计原理出发，介绍操作系统的设计思想和实现技术，然后回到目前普及的现代操作系统上加以实例讲解和深化，最后是实际应用。全书以 UNIX 和 Windows 2000/XP 为实例辅助原理介绍，并给出相应的编程接口和实用操作。这种集原理、技术以及设计实现于一体的特点是本书的独到之处。

本书适合作为计算机专业本科及其他相关专业的操作系统教程，对于从事计算机应用和开发的技术人员也具有很高的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机操作系统 / 方敏主编. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.8

(新世纪计算机类本科系列教材)

ISBN 7-5606-1432-9

I. 计... II. 方... III. 操作系统—高等学校—教材 IV. TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 066463 号

策 划 臧延新

责任编辑 阎 彬 雷鸿俊 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 26.375

字 数 622 千字

印 数 1~4000 册

定 价 28.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1432-9/TP · 0763 (课)

XDUP 1703001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

操作系统是计算机的核心和灵魂。操作系统软件的设计对整个计算机的功能和性能起着至关重要的作用。对于学习操作系统的学生来讲，不仅要理解这门课程中的概念和原理，更重要的是要了解在真正的操作系统中如何实现这些原理。为了达到这一目的，我们编写了这本书，希望通过这种将概念阐释和实际操作系统相结合的方式，使大家更系统、直观、深刻地理解操作系统，并学以致用。

本书在解释基本概念、方法和技术的同时，加入了许多 UNIX 和 Windows 2000/XP 操作系统中的实例，融入了许多操作系统方面的新知识和新的发展趋势，将理论与实践紧密结合，这使本书更为实用，适应了现代教学的需要。

本书的参考学时数为 60 学时。

本书共 10 章。

第 1 章是操作系统概述，介绍了操作系统的基本概念和特征，研究了有关操作系统的几种观点，回顾了操作系统的发展历史，分类介绍了当今比较流行和成熟的几种操作系统。

第 2 章是作业管理和用户接口，介绍了 DOS 和 UNIX 系统的作业组织与管理以及系统功能调用。在用户接口方面着重介绍了图形用户接口（GUI）以及用户管理和配置管理。

第 3 章的进程管理和第 4 章的死锁同属于处理器管理的内容。进程管理一章从进程的引入谈起，分析了进程的概念和控制、进程间的相互作用、进程通信和进程调度，进而引出进程存在的问题以及为了解决这些问题而引入的线程，并介绍了 UNIX 和 Windows 2000/XP 中的进程和线程的模型。死锁一章从死锁的产生原因入手，分析了产生死锁的必要条件，介绍了死锁的预防和避免、死锁的检测和解除等内容。

第 5 章是存储管理，分析了存储体系、存储管理的目的和任务，介绍了几种存储管理的方案，引用了 UNIX 和 Windows 2000/XP 存储管理的具体实例。

第 6 章是文件管理，介绍了文件、文件系统、文件目录等概念以及文件的结构和文件的存取方式、文件系统的实现和使用等内容，对文件系统的可靠性和安全性、文件系统的性能做了分析，还介绍了 UNIX 和 Windows 2000/XP 系统文件管理的具体实例。

第 7 章是设备管理，介绍了 I/O 的特点、I/O 设备的分类以及设备管理的目标和任务，还从管理的角度介绍了 I/O 软件的原理和组成、设备与主机间的连接模式以及与设备相关的技术等，并以实例研究了 UNIX 和 Windows 2000/XP 的设备管理。

第 8 章是网络操作系统，阐述了网络操作系统的组成与功能结构，网络操作系统和 OSI/RM 的对应关系以及 Windows NT/2000/XP、UNIX 这些常用操作系统的网络结构与特性。

第 9 章是分布式计算机系统，介绍了分布式系统的作用、分类和特征，着重介绍了分布式文件系统以及分布式系统中的通信问题。

第 10 章是应用开发篇，着重介绍了 UNIX 系统和 Windows 系统的实用程序设计，若让学生在计算机上实践学习，效果会更好。

本书的第 1~4 章及第 8 章由方敏编写，第 6 章、第 7 章由王亚平编写，第 5 章、第 10 章由权义宁编写，第 9 章由王亚平和王长山共同编写。全书由方敏统稿。在本书的编写过程中，得到了院、系领导的大力支持，任敬等还帮助录入了部分文稿，在此一并表示衷心的感谢。

本书内容参考了部分国内外教材以及互联网上的技术资料，在这里对参考书籍和参考资料的著作者也表示深深的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者给予批评指正。

作 者
2004 年 5 月

目 录

第 1 章 操作系统概述	1
1.1 操作系统的地位	1
1.2 操作系统的定义	2
1.3 操作系统的特征	3
1.4 操作系统的发展	4
1.4.1 操作系统的发展历史	4
1.4.2 操作系统的分类	6
1.5 操作系统结构研究	17
1.5.1 资源管理的观点	17
1.5.2 层次结构观点	18
1.5.3 模块接口法	19
1.5.4 虚拟机	19
1.5.5 客户机/服务器系统	20
1.5.6 用户观点	20
1.6 内核体系结构模型	21
1.6.1 微内核	21
1.6.2 单内核	22
1.7 UNIX 操作系统	23
1.7.1 UNIX 操作系统概述	23
1.7.2 UNIX 系统的特点	23
1.7.3 UNIX 操作系统的结构	24
1.8 Windows NT/2000/XP 简介	25
1.8.1 Windows NT	25
1.8.2 Windows 2000	25
1.8.3 Windows XP	26
习题	26
第 2 章 作业管理和用户接口	28
2.1 作业的组织和管理	28
2.1.1 作业和作业处理过程	28
2.1.2 作业的输出/输入方式	30
2.1.3 作业控制块	32
2.1.4 作业调度	32
2.2 作业控制方式	38
2.2.1 脱机作业控制方式	38

2.2.2 联机作业控制方式	39
2.3 系统功能调用	42
2.3.1 系统调用及实现	42
2.3.2 系统调用的实现过程	47
2.4 图形用户接口	49
2.4.1 概述	49
2.4.2 Xwindow 系统	51
2.4.3 Windows 系统	52
2.5 用户管理	54
2.5.1 UNIX 的用户管理	54
2.5.2 Windows NT 的用户管理	55
习题	56
第 3 章 进程管理	57
3.1 进程的引入	57
3.1.1 顺序程序	57
3.1.2 多道程序设计	58
3.1.3 程序并发执行的特性	59
3.1.4 与时间有关的错误	60
3.2 进程定义与控制	60
3.2.1 进程的概念	61
3.2.2 进程控制块	63
3.2.3 进程的基本状态及其转换	64
3.2.4 进程控制	65
3.2.5 进程的特征	68
3.3 进程调度	68
3.3.1 确定进程调度算法的原则	68
3.3.2 进程调度算法	69
3.4 进程间的相互作用	70
3.4.1 进程间的同步和互斥	71
3.4.2 进程的同步机制	73
3.4.3 IPC 经典问题	78
3.4.4 进程的同步机制——管程	81
3.5 进程通信	83
3.5.1 概述	83
3.5.2 共享内存模式	83
3.5.3 消息传递方式	84
3.5.4 管道	86
3.6 线程	88
3.6.1 线程的引入	88

3.6.2	线程的实现机制	90
3.6.3	线程与进程的比较	91
3.7	UNIX 进程模型	92
3.7.1	进程模型的基本结构和工作过程	92
3.7.2	进程状态及转换	95
3.7.3	进程调度算法	95
3.7.4	UNIX 的进程控制与管理	96
3.8	Windows 2000/XP 的进程和线程模型	105
3.8.1	Windows 2000/XP 的进程和线程模型总述	106
3.8.2	Windows 2000/XP 的进程实现	106
3.8.3	Windows 2000/XP 的线程实现	109
3.8.4	Windows 2000/XP 的线程调度	111
3.8.5	空闲线程	113
3.8.6	多线程编程	113
	习题	116
第 4 章	死锁	119
4.1	死锁的基本概念	119
4.1.1	资源	120
4.1.2	产生死锁的四个必要条件	120
4.2	产生死锁的示例	120
4.3	解决死锁的方案	122
4.3.1	死锁的预防	122
4.3.2	死锁的避免	125
4.3.3	死锁的检测和解除	128
4.4	其他相关问题	131
4.4.1	两阶段加锁	131
4.4.2	饥饿	132
	习题	132
第 5 章	存储管理	135
5.1	概述	135
5.1.1	存储体系	135
5.1.2	地址重定位	136
5.1.3	链接	138
5.1.4	存储管理的目的	140
5.1.5	存储管理的任务	141
5.1.6	各种存储管理方案	141
5.2	分区存储管理方案	142
5.2.1	单一连续分区存储管理	142
5.2.2	固定分区	143

5.2.3	可变分区	144
5.2.4	可再定位式分区	150
5.2.5	多重分区	151
5.3	页式存储管理	151
5.3.1	基本原理	151
5.3.2	页式存储管理的地址变换	153
5.3.3	硬件支持	155
5.3.4	优缺点	156
5.4	段式存储管理	157
5.4.1	基本思想	157
5.4.2	分段式管理的数据结构	159
5.4.3	分段式管理的地址变换	159
5.4.4	分段式管理的硬件支持	160
5.4.5	分段式管理的优缺点	160
5.4.6	分页式管理和分段式管理的比较	160
5.5	段页式存储管理	161
5.5.1	基本思想	161
5.5.2	段页式存储管理的地址变换	162
5.5.3	硬件支持	162
5.6	交换技术与覆盖技术	163
5.6.1	覆盖技术	163
5.6.2	交换技术	164
5.7	虚拟存储	164
5.7.1	虚拟存储管理的引入	164
5.7.2	虚拟页式存储管理	166
5.7.3	性能问题	173
5.7.4	虚拟段式存储管理	176
5.8	高速缓冲存储器	177
5.8.1	高速缓存的组织	177
5.8.2	缓存的工作过程	178
5.9	内存管理实例分析	179
5.9.1	UNIX S5 的内存管理	179
5.9.2	Windows 2000/XP 的内存管理	186
	习题	192
第 6 章	文件管理	195
6.1	概述	195
6.1.1	文件与文件系统	195
6.1.2	文件的分类	196
6.2	文件的结构及文件存取方式	197

6.2.1	文件的逻辑结构	197
6.2.2	存储介质	198
6.2.3	文件的物理结构	202
6.2.4	文件结构、文件存取方式与文件存储介质的关系	206
6.3	文件目录	208
6.3.1	文件目录的内容	208
6.3.2	目录结构	209
6.4	文件系统的实现	215
6.4.1	文件空间的分配和管理	216
6.4.2	内存中所需的表目	218
6.4.3	外存空间管理	222
6.5	文件系统的使用	224
6.5.1	文件操作	224
6.5.2	文件的系统调用	226
6.5.3	文件共享	231
6.6	文件系统的可靠性与安全性	235
6.6.1	文件系统的可靠性	235
6.6.2	文件系统的安全性	238
6.6.3	文件的保护机制	240
6.7	文件系统的性能问题	241
6.7.1	块高速缓存	242
6.7.2	磁盘调度	243
6.7.3	信息的优化分布	246
6.8	Windows 2000/XP 文件系统实例分析	246
6.8.1	Windows 2000/XP 文件系统概述	246
6.8.2	Windows 2000/XP 文件系统模型和 FSD 体系结构	250
6.8.3	NTFS 的文件驱动程序	253
6.8.4	NTFS 的磁盘结构	255
6.8.5	NTFS 的实现机制	257
6.8.6	NTFS 的可恢复性支持	260
6.8.7	NTFS 的安全性支持	261
	习题	262
第 7 章	设备管理	266
7.1	概述	266
7.1.1	I/O 系统的结构和控制方式	266
7.1.2	设备的分类	269
7.1.3	设备管理的目标和任务	270
7.2	I/O 软件的组成	271
7.2.1	I/O 软件的目标	271

7.2.2	中断处理程序	271
7.2.3	设备驱动程序	274
7.2.4	与设备无关的系统软件	275
7.2.5	用户空间的 I/O 软件	277
7.3	具有通道的设备管理	278
7.3.1	通道的类型	278
7.3.2	“瓶颈”问题	279
7.3.3	通道命令与通道程序	279
7.3.4	通道的工作原理	281
7.4	与设备管理有关的技术	283
7.4.1	DMA 技术	283
7.4.2	缓冲技术	284
7.4.3	总线技术	288
7.4.4	即插即用技术	291
7.5	设备管理中的数据结构	293
7.5.1	设备管理中的数据结构	293
7.5.2	设备的分配与回收	294
7.5.3	设备的处理	294
7.6	UNIX 设备管理实例分析	296
7.6.1	UNIX 块设备管理的主要数据结构	296
7.6.2	UNIX 的缓冲区管理	299
7.6.3	块设备管理	301
7.6.4	字符设备管理	304
7.7	Windows 2000/XP 设备管理机制实例分析	306
7.7.1	Windows 2000/XP 输入/输出系统的体系结构	306
7.7.2	核心态模块	307
7.7.3	输入/输出系统的数据结构	308
7.7.4	Windows 2000/XP 的设备驱动程序	311
7.7.5	Windows 2000/XP 的 I/O 处理	312
	习题	314
第 8 章	网络操作系统	315
8.1	网络操作系统的功能	315
8.1.1	网络操作系统简介	315
8.1.2	网络操作系统的功能和特性	315
8.1.3	网络操作系统的功能结构	318
8.1.4	网络操作系统的逻辑构成	318
8.1.5	网络操作系统与 OSI-RM	320
8.2	Windows NT/2000/XP	321
8.2.1	Windows NT/2000/XP 网络基本概念	321

8.2.2 Windows NT/2000 网络结构	327
8.3 UNIX 网络文件系统	329
8.4 Linux 操作系统	329
8.4.1 Linux 的特点	330
8.4.2 Linux 系统结构及文件组织	330
8.4.3 Linux 系统启动和初始化	332
8.4.4 Linux 的常用软件	333
8.5 对等式局域网	333
8.5.1 对等式局域网操作系统	333
8.5.2 Windows 98 的网络技术	334
习题	334
第 9 章 分布式计算机系统	336
9.1 分布式计算机系统	336
9.1.1 概述	336
9.1.2 分布式系统的特征	337
9.1.3 分布式系统的结构	337
9.1.4 分布式系统的设计方法	341
9.2 分布式系统的设计	341
9.3 分布式系统中的通信问题	344
9.3.1 发送策略	344
9.3.2 连接策略	344
9.3.3 争夺处理	345
9.3.4 保密	346
9.4 消息传递	347
9.4.1 异步型	347
9.4.2 同步型	347
9.4.3 组通信	348
9.5 远程过程调用	349
9.5.1 概述	349
9.5.2 基本 RPC 操作	350
9.5.3 两种通信方式的比较	352
9.6 进程迁移	353
9.6.1 数据和计算的迁移	353
9.6.2 引入进程迁移的原因	354
9.6.3 进程迁移机制	355
9.6.4 迁移的协商	356
9.7 分布式操作系统中的进程同步	357
9.8 分布式操作系统中的进程互斥	358
9.9 分布式系统的资源管理	361

9.10 死锁处理.....	363
习题.....	365
第 10 章 应用开发篇	366
10.1 UNIX Shell.....	366
10.1.1 Shell 基础.....	366
10.1.2 正文全屏编辑程序 vi.....	367
10.2 Shell 程序设计.....	373
10.2.1 Shell 变量及其赋值.....	373
10.2.2 命令表与命令行.....	375
10.2.3 流程控制命令.....	376
10.2.4 命令替换与参数替换.....	380
10.2.5 Shell 过程的运行.....	381
10.3 UNIX 实用程序.....	381
10.3.1 目录操作与文件操作命令.....	381
10.3.2 过滤器.....	389
10.4 UNIX 程序设计.....	391
10.4.1 文件系统程序设计.....	391
10.4.2 高级进程间的通信.....	393
10.5 Windows 应用程序设计.....	396
10.5.1 WIN32 API.....	396
10.5.2 Windows 应用程序的设计模式.....	397
10.5.3 Windows 应用程序的基本结构.....	403
习题.....	406
参考文献	409

第 1 章 操作系统概述

操作系统在计算机科学的发展过程中是功不可没的，没有它也就没有计算机科学的普及与发展。半个多世纪以来，在计算机科学领域的研发人员的不断创新与艰苦努力下，操作系统经历了从无到有、从最初的监控程序逐渐演变成目前可以并发执行的多用户多任务的高级系统软件的发展过程，并产生了许多有关操作系统的基本理论和核心技术。操作系统之所以能够不断推陈出新，其动力源于人们总是会发现一个使用中的操作系统版本还存在着各种各样的问题与不足，并且总是难以完全达到预期的设计目标，因此人们不得不重新设计或改造已有版本。可以说新操作系统的研究与开发过程也就是计算机科学与技术不断创新的过程。设计开发操作系统的目标是让用户以更有效的手段，更加方便地使用计算机资源。为了实现这个目标，需要研究有关操作系统的基本原理、相关技术与具体实现的编程方法。

本章的主要内容包括：

- 操作系统的定义。
- 操作系统的分类。
- 操作系统研究的几种观点。
- 操作系统的结构。
- 操作系统内核体系结构。
- UNIX 和 Windows 操作系统简介。

1.1 操作系统的地位

计算机系统由硬件和软件两部分组成。通常把未配置软件的计算机称为裸机。直接使用裸机不仅不方便，而且将严重降低工作效率和机器的利用率。操作系统(OS, Operation System)是为了填补人与机器之间的鸿沟，即为了建立用户与计算机之间的接口，而为裸机配置的一种系统软件。由图 1.1 可以看出，操作系统是裸机上的第一层软件，是对硬件系统功能的首次扩充。它在计算机系统中占据着重要而特殊的地位，所有其他软件，如编辑程序、汇编程序、编译程序、数据库管理系统等系统软件以及大量的应用软件都是建立在操作系统基础上的，并得到了它的支持和服务。从用户角度看，当计算机配置了操作系统后，用户不再直接使用计算机系统硬件，而是利用操作系统所提供的命令和服务去操纵计算机。操作系统已成为现代计算机系统中必不可少的最重要的系统软件。

操作系统的地位：位于系统硬件之上，所有其他软件之下(是其他软件的共同环境)。

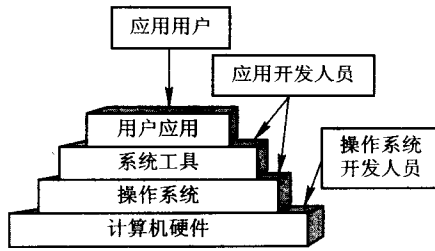


图 1.1 操作系统在计算机系统中的地位

配置操作系统的目标有：

- (1) 提供一个计算机用户与计算机硬件系统之间的接口，使计算机系统更易于使用。
- (2) 有效地控制和管理计算机系统中的各种硬件和软件资源，使之得到更有效的利用。
- (3) 合理地组织计算机系统的工作流程，以改善系统性能(如响应时间、系统吞吐量等)。
- (4) 遵循国际标准，设计和构筑开放式的环境，支持可扩展的体系结构，支持应用程序的可移植性和可互操作性。

从不同角度，操作系统具有以下特性：

- (1) 有效性(系统管理人员的观点)：管理和分配硬件与软件资源，合理地组织计算机的工作流程。
- (2) 方便性(用户的观点)：提供良好的、一致的用户接口，弥补硬件系统的类型和数量上的差别。
- (3) 可扩充性(开放的观点)：是指硬件的类型和规模、操作系统本身的功能和管理策略、多个系统之间的资源共享和互操作的可扩展性能。

1.2 操作系统的定义

由于操作系统向用户隐蔽了系统使用的硬件设备，因此操作系统要为它上面的应用软件提供一组命令或系统调用接口供用户程序使用。例如：用户要使用一个硬件设备如磁盘，可以通过系统命令或系统调用来间接完成，而不需要亲自动手编写一个磁盘设备驱动程序。因此，对于用户来说，当计算机加载操作系统后，用户不再直接与计算机硬件打交道，而是利用操作系统提供的命令和功能去使用计算机。为了与裸机相区别，有人把此时的计算机称为虚拟计算机，简称虚拟机。

在应用软件与操作系统之间还存在着其他的系统实用程序和工具，如编译程序、汇编程序、编辑程序以及数据库等，它们和操作系统一起为用户组成了一个非常有效的工作环境。这些实用程序虽然属于系统软件，但不属于操作系统的组成部分。

用户程序在最顶层运行，用来处理各种各样的实际业务，诸如工程计算、人事档案管理以及电子游戏等。

尽管操作系统这个概念从诞生至今已有了几十年了，计算机使用人员一般都知道它，但要对其下一个精确的定义并非轻而易举。很多论述操作系统的书籍都从不同的角度对操作系统下了不同的定义。综上所述，通常把操作系统定义为：操作系统是控制和管理计算

硬件和软件资源、合理地组织计算机的工作流程以方便用户使用的程序的集合。

当用分层的方法来处理运行在裸机之上的所有程序(软件)时,由于操作系统处于硬件和软件的中央位置,因此很早就有人把操作系统称为计算机系统软件的核心,简称核心或内核(kernel)。软件分层的方法强调:内核把用户程序和机器硬件属性隔离开,以便位于核心之上的程序代码与体系结构不相关,这样可以比较容易地把它们移植到不同体系结构的其他机器上。

操作系统虽然是软件,但由于操作系统在计算机中的特殊位置,因此人们要真正掌握操作系统必须具备计算机硬件基础知识,例如:计算机组成原理、计算机接口技术等。

1.3 操作系统的特征

1. 并发(concurrency)

并行性和并发性是既相似又有区别的两个概念。并行性是指两个或多个事件在同一时刻发生,而并发性是指两个或多个事件在同一时间间隔内发生。在多道程序环境下,并发性是指宏观上在一段时间内有多道程序在同时运行。但在单处理机系统中,每一时刻仅能执行一道程序,故微观上这些程序是在交替执行的。能并发执行的程序称为并发程序,相应的系统称为并发系统。为使程序能并发执行,系统必须为该程序建立进程。所谓进程,简单来说,是指在系统中能独立运行和进行资源分配的基本单位,它能和其他程序并发执行。有关进程的概念将在第3章详细介绍。程序的并发执行,有效地改善了系统资源的利用率并提高了系统的吞吐量,但它使系统复杂化,操作系统必须具备控制和管理各种并发活动的能力。

2. 共享(sharing)

资源共享是指系统中的硬件和软件资源不再为某个程序所独占,而是供多个用户共同使用。根据资源属性的不同,可有以下两种不同的资源共享方式。

一种共享方式是,系统中的很多资源虽能提供给多个作业(进程)使用,但在一段时间内却只允许一个作业访问该资源,这称为互斥共享。当一个进程正在访问该资源时,其他欲访问该资源的进程必须等待,仅当该进程访问完并释放该资源后,才允许另一进程对该资源进行访问。许多物理设备诸如字符设备、磁带机以及某些变量、表格等都属于临界资源,它们要求互斥共享。

另一种共享方式是,允许在一段时间内,由多个进程同时对资源进行访问。这里所谓的“同时”仍然是宏观上的。而微观上,这些进程可能是交替地对该资源进行访问。

并发和共享是操作系统的两个最基本的特征,而这两者之间又是互相依存的:一方面,资源共享是以程序的并发执行为条件的,假若系统不允许程序并发执行,就不存在资源共享问题;另一方面,若系统不能对资源共享实施有效的管理,势必影响到程序的并发执行。

3. 虚拟(virtual)

在操作系统中,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,前者是实的,即是实际存在的,而后者是虚的,是逻辑上的。例如,在多道程序系统中,虽然只有一个CPU,每次只能执行一道程序,但通过分时使用,在一段时间间隔内,宏观上