

操作系统

—UNIX操作系统结构分析

刘日昇 孙玉方

上册

北京 大学 第二 分校

一九八三年二月

7/18/81

前 言

UNIX操作系统目前已成为国际上公认的一个成功的操作系统。在美国，90%以上的大学把这个系统用于教学和科学研究。它的文本已运行在世界各地的各种型号的机器上，从小型机PDP-11，VAX-11到大型机IBM370，直至目前流行的各种微型机。它广泛地应用于科学研究、教学、工业生产以及商业等各个领域。它的出现标志着操作系统发展的一个新的阶段。

本书编写的目的就在于以UNIX系统为背景来介绍操作系统的基本概念、基本功能和基本原理，以便使学生在一个学期的时间内既能学到操作系统的基本原理，又能学到UNIX系统的基本思想，为今后进一步的学习打下基础。

在本书的编写过程中，我们力求遵循以下五项原则：

一 理论与实际相结合

作为一门学科，操作系统课程有着它自己的体系结构。它的基本原理在七十年代就已形成。因此，我们在这些基本原理的指导下来分析和研究UNIX系统，另一方面又以UNIX系统为实例来加深对这些原理的理解和运用。

二 循序渐近，由浅入深

UNIX系统汇集了操作系统发展的许多优秀成果，采用了许多成熟的技术。但这对于一个初学者来说往往是不易一下子理解的。因此，对于UNIX的一些比较复杂的概念和原理，我们力求由浅入深地引入。首先引入操作系统早期采用的比较简单的概念，然后

按照其由简单到复杂的发展过程引出UNIX的实现方法。

三 系统性与完整性

作为一本教科书，应使学生对操作系统得到一个系统的、完整的理解。仅仅靠一种操作系统，即使它是先进的，也是不够的。因此，对于UNIX系统所不具备的，或比较简单的技术，我们力求用其它比较著名的操作系统中采用的，一些比较典型的实现技术加以补充，例如国际上应用最广的IBM的操作系统，对于操作系统，特别是对UNIX系统的发展产生重大影响的MULTIOS系统，以及在操作系统发展过程中起过重要作用的ATLAS，B5500，THE，SOLO系统等。

四 操作系统的整体性和动态性

我们不想把这本教科书写成一本UNIX操作系统的分析报告，又不想把它写成各种孤立概念的静态的集合。由于操作系统是一个动态的、有机的活动实体，我们力求把书中介绍的各种概念和原理在UNIX的背景下联系起来，以得到操作系统的整体结构和动态的活动流程。

五 自底向上的讲述

本书在编写方法上采取自底向上，以数据为中心的写法。全书各章的次序大致对应着操作系统自底向上的构造过程。对于每一章及其中各节，力求先介绍有关的数据结构，然后按程序调用关系，自底向上讲述。最后介绍操作系统的对外接口，即系统调用和作业控制。

实际上UNIX系统远远不止是一个操作系统，后者只占其中的一小部份，是它的核心。在这个核心的支持下运行着外层的庞大

而丰富软件系统。然而本书毕竟是一本操作系统的教科书，因而我们着重从操作系统的角度看待这一系统，而未花费精力去介绍UNIX系统的使用方法。因此，有些对用户来说可能是方便的功能，而在操作系统原理中缺少典型意义的部份并未重点介绍。有关UNIX的各种版本的各种使用说明，国外，国内已有不少详尽的资料，可用作学生的实习材料。

本书共分八章，并按操作系统的五个基本原理分别介绍，即处理机管理，存储器管理，设备管理，文件管理和作业管理。

第一章介绍操作系统的产生，发展和分类，以及UNIX系统的意义。

第二章有关进程和处理机管理，首先引入进程的概念，然后以UNIX的实例加以说明。

第三章介绍了存储器的管理，首先介绍操作系统中常见的几种存储管理方案，然后介绍UNIX的实现方法。

第四章主要介绍了UNIX系统的两类设备管理，即块设备和字符设备。

第五章比较全面而扼要地介绍了UNIX文件系统的实现原理。在UNIX系统中，文件系统起着重要的作用，也是该系统的最成功的部份之一。

第六章介绍中断和捕捉。主要是中断总控程序，时钟管理，捕捉管理和系统调用。这一章试图说明操作系统的工作流程及其与用户程序的接口。

第七章是关于作业调度和作业控制的介绍其中作业控制部份又是UNIX系统与终端用户之间的接口。用户通过这个接口进入操

作系统并在它控制下使用整个计算机系统。

第八章简要介绍了操作系统的设计方法，重点是结构设计方法，并以实例说明各种结构的设计思想。

近年来，我们在国内若干高等院校，研究所和学习班分别讲授了操作系统的基础课和UNIX操作系统，受到广大高校师生和科技人员的支持和鼓励。同时深感国内迫切需要一本以UNIX操作系统为背景的，系统的而简明的教科书。为此，我们编写了这本讲义，作为大学计算机专业的操作系统基础课教材。

这本书的编写，对于我们来说是一种新的尝试。由于水平有限，教学经验不足，加上时间仓促，错误和不当之处肯定不少，恳请广大读者给予指正。

在本书编写过程中得到北京大学第二分校领导和许多老师的支持，北京大学杨美清老师和科学院计算所仲萃豪老师对本书提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

作者

一九八三年二月

目 录

前言

第一章 操作系统引论	1
1.1 什么是操作系统	1
1.2 操作系统的发展过程	4
1.2.1 手工操作阶段	5
1.2.2 成批处理系统	7
1.2.3 执行程序系统	9
1.2.4 多道程序系统的引入	10
1.3 操作系统的分类	13
1.3.1 多道成批系统	13
1.3.2 分时系统	13
1.3.3 实时系统	16
1.3.4 通用操作系统的产生	19
1.4 UNIX系统的产生及其特征	19
1.5 小结	22
习题	23
第二章 进程和处理机管理	24
2.1 进程的概念	24
2.1.1 顺序程序设计	24
2.1.2 并发程序设计	25

2.1.3	进程概念的引入	29
2.1.4	进程的状态	31
2.1.5	进程映象及其组成	33
2.2	进程调度	34
2.2.1	进程控制块	34
2.2.2	交通控制程序与进程调度程序	37
2.2.3	进程调度算法	38
2.2.4	UNIX系统的进程调度	43
2.3	进程通信	54
2.3.1	进程之间的互斥与同步	54
2.3.2	UNIX系统中的通信工具	57
2.3.3	信号灯上的PV操作	64
2.3.4	PV操作的应用	66
2.3.5	消息通信	71
2.3.6	多处理机中的同步问题	77
2.4	进程控制	80
2.4.1	引言	80
2.4.2	user结构与text结构	82
2.4.3	进程的建立	86
2.4.4	进程的终止	95
2.4.5	等待子进程	99
2.5	死锁问题	100
2.5.1	死锁的发生	100
2.5.2	死锁的对策	102

2.5.3	死锁的研究	106
2.6	进程概念的进一步应用	107
2.6.1	作为并发运行单位的进程	107
2.6.2	作为资源分配单位的进程	108
2.6.3	作为保护单位的进程	108
2.6.4	作为结构设计单位的进程	109
习题	111
第三章	存储管理	113
3.1	引言	113
3.1.1	连接与装配	113
3.1.2	地址重定位	116
3.1.3	存储管理的功能	120
3.2	早期的存储管理	122
3.2.1	单一连续分配	122
3.2.2	分区分配	124
3.2.3	复盖与对换	130
3.3	界地址存储管理	135
3.3.1	单界地址管理	135
3.3.2	多界地址管理	137
3.4	分页存储管理	138
3.4.1	实现原理	138
3.4.2	地址映射机构	141
3.4.3	页面的共享与保护	149

3.4.4	简单分页系统的优点和缺点	151
3.5	请求分页存储管理	151
3.5.1	虚拟存储器的引入	151
3.5.2	实现原理	152
3.5.3	硬件支持与软件支持	155
3.5.4	淘汰算法	160
3.5.5	请求分页的优点和缺点	163
3.6	分段存储管理	164
3.6.1	分段地址空间	164
3.6.2	实现原理	168
3.6.3	段的动态连接	170
3.6.4	段的共享与保护	176
3.6.5	分段的优点和缺点	180
3.7	段页式存储管理	181
3.7.1	实现原理	182
3.7.2	软件支持	185
3.7.3	段页式系统的优点和缺点	187
3.8	存储器的分配算法	187
3.8.1	概述	187
3.8.2	最优适应分配算法	188
3.8.3	最先适应分配算法	193
3.9	UNIX操作系统的存储管理	199
3.9.1	PDP-11的硬件寻址机构	199
3.9.2	地址空间的分配	204

3 · 9 · 3	进程映象的更换	213
3 · 9 · 4	程序对换	220
3 · 10	系统初启	224
习题	228
第四章	设备管理	232
4 · 1	引言	232
4 · 1 · 1	块设备与字符设备	232
4 · 1 · 2	通道技术	233
4 · 1 · 3	缓冲技术	242
4 · 1 · 4	设备分配策略与 spooling 技术	247
4 · 1 · 5	设备管理的功能	251
4 · 2	块设备管理	253
4 · 2 · 1	概述	253
4 · 2 · 2	数据结构	255
4 · 2 · 3	缓冲区管理	265
4 · 2 · 4	PDP11 的磁盘设备特征	271
4 · 2 · 5	RK 磁盘的管理	275
4 · 2 · 6	块设备的使用	286
4 · 3	字符设备管理	298
4 · 3 · 1	概述	298
4 · 3 · 2	数据结构	299
4 · 3 · 3	缓冲区管理	302
4 · 3 · 4	内存数据的传送	305
4 · 3 · 5	纸带机的设备表和寄存器组	306

4.3.6 纸带机的管理	310
习题	321
第五章 文件系统	325
5.1 引言	325
5.1.1 文件	325
5.1.2 文件的分类	326
5.1.3 文件系统的特点	327
5.1.4 文件系统的功能	328
5.2 文件结构和存取方法	329
5.2.1 文件的逻辑结构	330
5.2.2 存取方法	331
5.2.3 文件的物理结构	334
5.2.4 文件存储器介质	342
5.2.5 文件结构与存储设备及存取方法的关系	343
5.3 文件目录	345
5.3.1 简单的文件目录	345
5.3.2 二级目录结构	348
5.3.3 多级目录和UNIX树形层次结构	349
5.3.4 UNIX目录与索引节点	353
5.3.5 UNIX的目录检索	362
5.3.6 UNIX文件的连接	365
5.4 文件存储空间的管理	366
5.4.1 常用的一些方法	367

~ 8 ~

5.4.2	UNIX中的空闲块成组链接法	370
5.4.3	索引节点的分配和释放	381
5.5	文件的共享及存取控制	385
5.5.1	文件共享与打开文件表	385
5.5.2	文件保护与保密	391
5.5.3	UNIX系统的文件存取控制	394
5.6	文件卷的安装与拆卸	396
5.6.1	实现原理	396
5.6.2	实现过程	400
5.7	文件系统的使用及其处理	404
5.7.1	UNIX文件系统的数据结构	405
5.7.2	文件的创建和删除	407
5.7.3	文件的连接和解除连接	414
5.7.4	文件的打开和关闭	418
5.7.5	文件的读写	425
5.7.6	管道线特殊文件的处理	436
5.8	文件系统的可靠性	443
	习题	444

第六章	中断与捕获	449
6.1	引言	449
6.1.1	操作系统与其它程序的接口	449
6.1.2	中断及其分类	450
6.2	中断系统	453

6.2.1	PDP 11 的中断系统	453
6.2.2	中断的分级与屏蔽	456
6.3	中断处理	461
6.3.1	中断处理的一般过程	462
6.3.2	UNIX 系统的中断捕获总控程序	467
6.4	UNIX 系统中的中断和捕获处理	470
6.4.1	时钟中断处理	470
6.4.2	捕获处理	475
6.4.3	系统调用	477
6.5	操作系统工作流程举例	482
6.6	UNIX 系统中的软中断机构	486
6.6.1	软中断的概念	486
6.6.2	软中断的处理	489
	习题	493
第七章 作业管理		494
7.1	引言	494
7.1.1	基本概念	494
7.1.2	作业的分类	495
7.1.3	批作业的组织	497
7.1.4	作业状态及其转换	498
7.2	作业调度	500
7.2.1	作业调度的功能	500
7.2.2	作业队列和作业控制块	501

7.2.3	作业调度算法	503
7.2.4	多级调度	512
7.2.5	Spool 输入/输出和批处理作业调度	516
7.3	作业控制	521
7.3.1	脱机控制	521
7.3.2	联机控制	531
7.3.3	UNIX 系统的 shell	534
习题	545

第八章	操作系统的设计	550
8.1	操作系统的研制过程	550
8.1.1	引言	550
8.1.2	要求和目标	552
8.1.3	功能设计	553
8.1.4	结构与模块设计	553
8.1.5	编码、调试和排错	554
8.2	结构设计概述	559
8.2.1	结构设计的提出	559
8.2.2	结构程序设计的意义	560
8.2.3	结构设计的目标	561
8.3	传统的无序模块结构	562
8.3.1	模块化设计的概念	562
8.3.2	UNIX 操作系统的结构	564
8.4	层次结构	567

8.4.1	层次设计的概念	568
8.4.2	层次设计方法	570
8.4.3	THE 多道程序系统	575
8.5	进程结构	577
8.5.1	面向过程的结构和面向消息的结构	577
8.5.2	基于UNIX的NUKE操作系统	579
8.5.3	面向消息结构的优缺点	583
8.6	以管程为工具的结构设计方法	583
8.6.1	管程的引入与实现	583
8.6.2	管程的评介	593
8.6.3	以数据为中心的模块结构	596
8.6.4	UNIX系统的模块化设计	597
	习题	608
附录A	UNIX系统中的系统调用一览表(第六版)	609
附录B	UNIX系统shell	617
B1	一些常用的shell命令	617
B2	shell中的元字符和保留字	632
B3	shell语法	634
	参考文献	636

第一章 操作系统引论

1.1 什么是操作系统

操作系统是计算机系统中的这样一些程序模块，它们控制和管理系统内的资源，合理地组织计算机的工作流程，以便有效地利用这些资源，并为用户提供一个功能强又使用方便的工作环境，从而在用户和计算机硬件之间起到接口的作用。

现代计算机硬件的功能越来越强，结构也越来越复杂。图 1.1 画出了它的一种可能的配置情况。

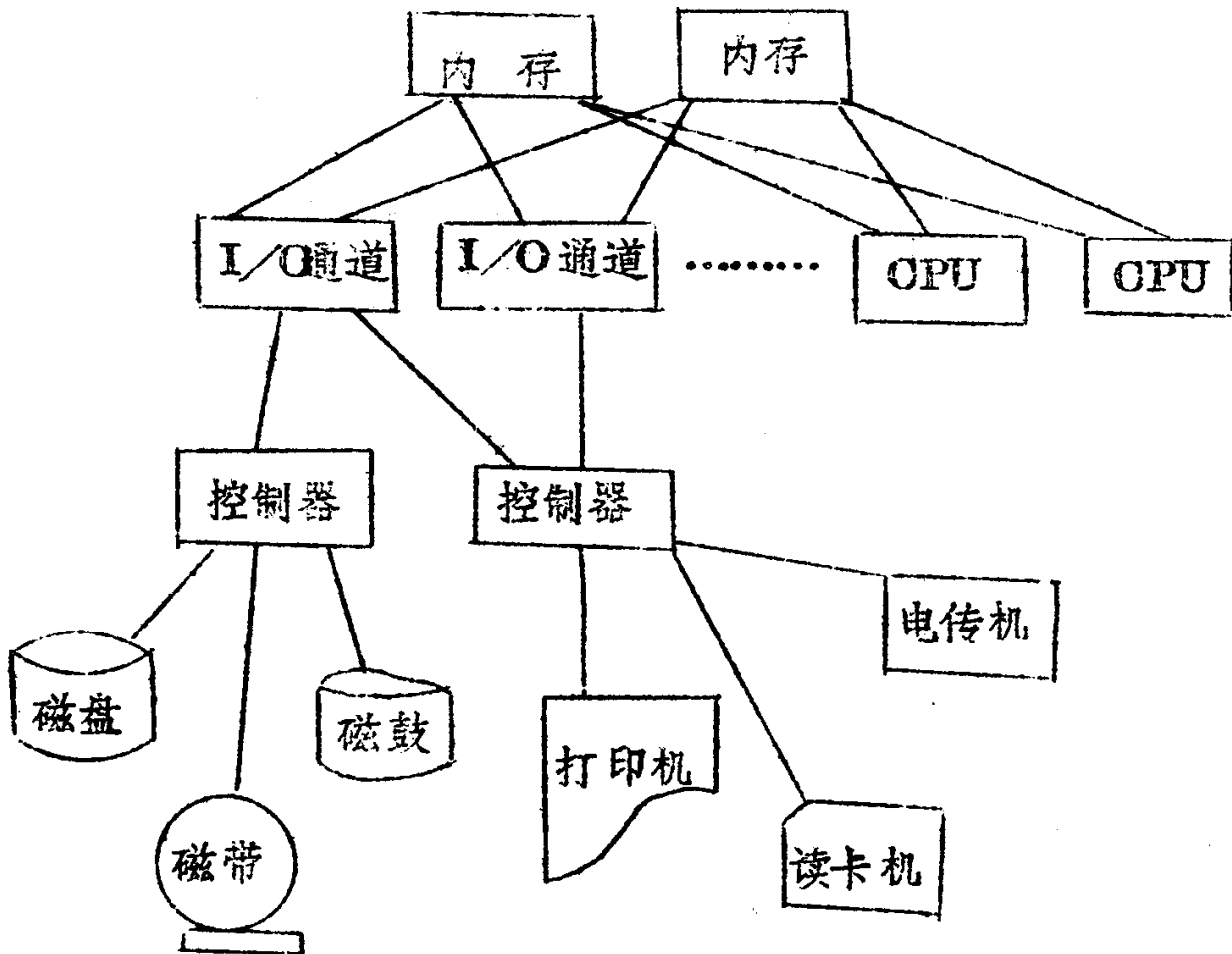


图 1.1 基本的计算机硬件配置

面对这样一个复杂的计算机硬件机器，一个普通的用户会感到束手无策。因为他首先必须要了解并熟悉上述硬件的各种复杂的细节才能使用它，至于有效地利用这个硬件，使它的各部份充分发挥效率就更谈不上了。因此，必须有操作系统这样的系统程序来实现用户与机器之间的接口。

操作系统的功能基本上分为五个部份，对应于操作系统的五个基本原理。它们是，处理机管理，存储器管理，外部设备管理，文件管理和作业管理。前三种功能对应于计算机硬件的三个组成部份。文件管理指的是计算机内存储信息的管理，作业管理是作为操作系统本身与用户之间的接口。下面简述这五个部份的主要作用。

当多个用户程序请求处理服务时，如果一个运行程序因等待某一条件（例如等待输入输出完成）而不能运行下去时，就要把处理机转交给另一个可运行的程序，以便充分利用处理机的能力。或者如果出现了一个可运行的程序比当前正占有处理机的程序更重要时，则要从运行程序那里把处理机抢过来，以便合理地为所有用户服务。如何协调这些程序之间的运行就是处理机管理的任务。

多个用户程序共用一个计算机系统时，它们往往要公用计算机的内存储器。如何把它们程序和数隔离而互不干扰，又能共享一些程序和数呢？特别是如何防止它们破坏操作系统本身的程序而造成整个系统瘫痪呢？这些都是操作系统中的存储器管理的任务。此外，当用户程序占用内存量超出计算机的可用内存量时，它必须根据各个程序的不同需要和不同运行状态把它们及时地送入内存或从内存送入外存。这也是存储器管理的功能。

现代的计算机硬件都提供有通道的机构，它们之间以及它们与