

全国优秀畅销图书奖

全国普通高等学校优秀教材一等奖

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学

计算机系列教材

张尧学 宋虹 张高 编著

计算机操作系统教程

(第4版)



清华大学出版社

清华大学 **计算机系列教材**

张尧学 宋虹 张高 编著

计算机操作系统教程

(第4版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

操作系统是现代计算机系统中必不可少的基本系统软件,也是计算机专业的必修课程和从事计算机应用人员必不可少的知识。

本书是编著者在清华大学计算机系多年教学和科研的基础上对第3版改编而成的,全书共12章,主要包括操作系统用户界面、进程与线程管理、处理机管理、内存管理、文件系统与设备管理等基本原理及Linux和Windows两个主流操作系统的内核介绍。

与第3版相比,本书进一步深入浅出地对操作系统的基本原理进行了描述,而且,本书更进一步强调了学生对当前主流操作系统的应有了解。因此,本书在第3版Linux 2.4和Windows NT操作系统实例的基础上,补充了有关Linux 2.6、Windows NT 6.0以及嵌入式操作系统的相关知识。

本书可作为高等院校计算机专业或相关专业操作系统课程的教材,也可供有关科技人员自学或参考。

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

计算机操作系统教程 / 张尧学,宋虹,张高编著. —4版. —北京:清华大学出版社,2013(2014.2重印)
清华大学计算机系列教材

ISBN 978-7-302-33668-6

I. ①计… II. ①张… ②宋… ③张… 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(2013)第206342号

责任编辑:白立军 战晓雷

封面设计:常雪影

责任校对:梁毅

责任印制:何芊

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:19.75

字 数:490千字

版 次:1993年10月第1版

2013年10月第4版

印 次:2014年2月第2次印刷

印 数:3001~8000

定 价:34.50元

产品编号:040257-01

第 4 版前言

计算机技术的飞速发展超过了人们的想象。操作系统作为一门计算机的基础课程,无论是对计算机等信息技术专业的学生或研究人员,还是对一般计算机应用人员而言,都是非常有益和重要的。

本书自 1993 年出版以来,得到了广大读者的支持和厚爱。特别是 1999 年第 2 版之后,本书更得到了许多学校的老师和学生们的支持。这令编著者非常感动。在前 3 版的基础上,结合嵌入式系统技术及操作系统技术的发展,我们对本书内容进行了新的补充。

本书的改编考虑了如下几个事实:

首先,这是一本讲授操作系统基本原理的本科生教材,因此讲授内容不宜过深过细,而重在强调“为什么”、“是什么”和“怎样做”。因此,本书未在基本概念及基本原理方面进行变动。

其次,考虑到 Linux 2.6 和 Windows NT 6.0 内核版本是目前正在使用的主流操作系统内核版本,本书的操作系统实例在第 3 版中的 Linux 2.4 和 Windows NT 的基础上,适当补充了 Linux 2.6 和 Windows NT 6.0 内核版本的一些内容。

第三,考虑到嵌入式系统的发展,本书在最后增加了嵌入式操作系统的管理机制、嵌入式操作系统的集成开发环境及开发过程的内容,并对实验和习题进行了改写。

本书共 12 章。第 1 章简要介绍操作系统的基本概念、功能、分类以及发展历史等。第 2 章主要讨论操作系统的两种界面和简单的使用操作方法。第 3 章介绍进程与线程管理的有关概念和技术。第 4 章主要介绍处理机管理和调度策略。调度策略与算法主要用于处理机管理,但在交换区等其他资源分配时也被大量使用。第 5 章介绍存储管理,包括分区、分页、分段和段页式管理等。作为进程管理与存储管理的实例,第 6 章和第 7 章分别介绍 Linux 和 Windows NT 的进程与存储管理系统。第 8 章介绍文件系统。第 9 章讲述设备管理技术。第 10 章和第 11 章则在第 8 章与第 9 章的基础上介绍 Linux 和 Windows NT 的文件和设备管理方法。第 12 章简述了嵌入式操作系统的基本原理、嵌入式操作系统的集成开发环境及开发过程。

本书的讲授学时可安排为约 68~76 学时:第 1 章为 2 学时,第 2 章为 4 学时,第 3 章为 8~10 学时,第 4 章为 6 学时,第 5 章为 6~8 学时,第 6 章为 8 学时,第 7 章为 6 学时,第 8 章为 8 学时,第 9 章为 6 学时,第 10 章与第 11 章分别为 4~6 学时和 4 学时,第 12 章 6~8 学时。教师也可根据自己的教学计划安排学时。

本书第 1 章的 1.1 节至 1.4 节以及 1.7 节由史美林教授编写,第 7 章和第 11 章由微软亚洲研究院张高博士编写,第 12 章由中南大学宋虹编写,第 6 章和第 10 章由红旗 Linux 公司门小燕女士提供了资料,其他章节由张尧学编写。

在本书的改编过程中,清华大学史美林教授和华北水利水电学院朱贵良教授提供了宝贵的意见和修改建议;清华大学杨华杰同志帮助整理和试做了所有习题和实验;还有教育部

领导和同事们对编著者“不务正业”的容忍和给予时间上的便利。多少个节假日不能休息，不能和家庭团聚，但家人们仍然毫无怨言，以最大的爱支持我们的工作，编著者们对他们致以万分的感谢！没有大家的支持，本书的改编是不可能完成的。

由于编著者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2013年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 操作系统概念	1
1.2 操作系统的历史	2
1.2.1 手工操作阶段	2
1.2.2 早期批处理	3
1.2.3 多道程序系统	5
1.2.4 分时操作系统	6
1.2.5 实时操作系统	6
1.2.6 通用操作系统	7
1.2.7 操作系统的进一步发展	7
1.3 操作系统的基本类型	8
1.3.1 批处理操作系统	8
1.3.2 分时系统	9
1.3.3 实时系统	9
1.3.4 通用操作系统	10
1.3.5 个人计算机上的操作系统	10
1.3.6 网络操作系统	10
1.3.7 分布式操作系统	11
1.4 操作系统功能	11
1.4.1 处理机管理	12
1.4.2 存储管理	12
1.4.3 设备管理	12
1.4.4 信息管理(文件系统管理)	12
1.4.5 用户接口	13
1.5 计算机硬件简介	13
1.5.1 计算机的基本硬件元素	13
1.5.2 与操作系统相关的几种主要寄存器	14
1.5.3 存储器的访问速度	15
1.5.4 指令的执行与中断	15
1.5.5 操作系统的启动	16
1.6 算法的描述	16
1.7 研究操作系统的几种观点	17
1.7.1 计算机资源管理者的观点	18
1.7.2 用户界面的观点	18

1.7.3 进程管理的观点	18
本章小结	18
习题	19
第2章 操作系统用户界面	20
2.1 简介	20
2.2 一般用户的输入输出界面	21
2.2.1 作业的定义	21
2.2.2 作业组织	21
2.2.3 一般用户的输入输出方式	22
2.3 命令控制界面	24
2.4 Linux 与 Windows 的命令控制界面	25
2.4.1 Linux 的命令控制界面	25
2.4.2 Windows 的命令控制界面	27
2.5 系统调用	29
2.6 Linux 和 Windows 的系统调用	31
2.6.1 Linux 系统调用	31
2.6.2 Windows 系统调用	32
本章小结	33
习题	34
第3章 进程管理	35
3.1 进程的概念	35
3.1.1 程序的并发执行	35
3.1.2 进程的定义	39
3.2 进程的描述	39
3.2.1 进程控制块	40
3.2.2 进程上下文	41
3.2.3 进程上下文切换	43
3.2.4 进程空间与大小	43
3.3 进程状态及其转换	44
3.3.1 进程状态	44
3.3.2 进程状态转换	44
3.4 进程控制	45
3.4.1 进程创建与撤销	45
3.4.2 进程的阻塞与唤醒	47
3.5 进程互斥	47
3.5.1 资源共享所引起的制约	47
3.5.2 互斥的加锁实现	50
3.5.3 信号量和 P、V 原语	51
3.5.4 用 P、V 原语实现进程互斥	54

3.6	进程同步	55
3.6.1	同步的概念	55
3.6.2	私用信号量	56
3.6.3	用 P、V 原语操作实现同步	57
3.6.4	生产者-消费者问题	58
3.7	进程通信	59
3.7.1	进程的通信方式	59
3.7.2	消息缓冲机制	60
3.7.3	邮箱通信	61
3.7.4	进程通信的实例——和控制台的通信	62
3.7.5	进程通信的实例——管道	66
3.8	死锁问题	69
3.8.1	死锁的概念	69
3.8.2	死锁的消除方法	70
3.9	线程的概念	71
3.9.1	为什么要引入线程	71
3.9.2	线程的基本概念	72
3.9.3	线程与进程的区别	72
3.9.4	线程的适用范围	73
3.10	线程分类与执行	74
3.10.1	线程的分类	74
3.10.2	线程的执行特性	76
	本章小结	77
	习题	77
第 4 章	处理机调度	79
4.1	分级调度	79
4.1.1	作业的状态及其转换	79
4.1.2	调度的层次	80
4.1.3	作业与进程的关系	81
4.2	作业调度	81
4.2.1	作业调度功能	81
4.2.2	作业调度目标与性能衡量	82
4.3	进程调度	84
4.3.1	进程调度的功能	84
4.3.2	进程调度的时机	85
4.3.3	进程调度性能评价	86
4.4	调度算法	86
4.5	算法评价	90
4.5.1	FCFS 方式的调度性能分析	90
4.5.2	轮转法调度性能评价	93

4.5.3	线性优先级法的调度性能	94
4.6	实时系统调度方法	95
4.6.1	实时系统的特点	95
4.6.2	实时调度算法的分类	97
4.6.3	时限调度算法与频率单调调度算法	97
	本章小结	99
	习题	99
第5章	存储管理	101
5.1	存储管理的功能	101
5.1.1	虚拟存储器	101
5.1.2	地址变换	102
5.1.3	内外存数据传输的控制	104
5.1.4	内存的分配与回收	104
5.1.5	内存信息的共享与保护	105
5.2	分区存储管理	106
5.2.1	分区管理基本原理	106
5.2.2	分区的分配与回收	108
5.2.3	有关分区管理其他问题的讨论	111
5.3	覆盖与交换技术	112
5.3.1	覆盖技术	112
5.3.2	交换技术	113
5.4	页式管理	115
5.4.1	页式管理的基本原理	115
5.4.2	静态页面管理	115
5.4.3	动态页式管理	118
5.4.4	请求页式管理中的置换算法	120
5.4.5	存储保护	123
5.4.6	页式管理的优缺点	123
5.5	段式与段页式管理	124
5.5.1	段式管理的基本思想	124
5.5.2	段式管理的实现原理	124
5.5.3	段式管理的优缺点	128
5.5.4	段页式管理的基本思想	129
5.5.5	段页式管理的实现原理	129
5.6	局部性原理和抖动问题	131
	本章小结	134
	习题	134

第 6 章 进程与存储管理示例	136
6.1 Linux 进程和存储管理简介	136
6.2 Linux 进程结构	139
6.2.1 进程的概念.....	139
6.2.2 进程的虚拟地址结构.....	140
6.2.3 进程上下文.....	141
6.2.4 进程的状态和状态转换.....	143
6.2.5 小结.....	145
6.3 Linux 进程控制	145
6.3.1 Linux 启动及进程树的形成	145
6.3.2 进程控制.....	146
6.4 Linux 进程调度	149
6.5 Linux 进程通信	152
6.5.1 Linux 的低级通信	152
6.5.2 进程间通信.....	153
6.6 Linux 存储管理	161
6.6.1 虚存空间和管理.....	161
6.6.2 请求调页技术.....	163
本章小结.....	165
习题.....	166
第 7 章 Windows 的进程与内存管理	167
7.1 Windows NT 的特点及相关的概念	167
7.1.1 Windows NT 体系结构的特点	167
7.1.2 Windows 的管理机制	168
7.2 Windows 进程和线程	169
7.2.1 Windows 的进程和线程的定义	170
7.2.2 进程和线程的关联.....	170
7.2.3 Windows 进程的结构	170
7.2.4 Windows 线程的结构	171
7.2.5 Windows 进程和线程的创建	172
7.3 Windows 处理器调度机制	173
7.3.1 调度优先级.....	174
7.3.2 线程状态.....	174
7.3.3 线程调度机制.....	175
7.4 Windows 的内存管理	176
7.4.1 内存管理器.....	177
7.4.2 内存管理的机制.....	177
7.5 虚拟地址空间	178
7.5.1 虚拟地址空间布局.....	178

7.5.2	虚拟地址转换	179
7.6	页面调度	181
7.6.1	缺页处理	181
7.6.2	工作集及页面调度策略	182
7.6.3	页框号和物理内存管理	182
	本章小结	183
	习题	184
第8章	文件系统	185
8.1	文件系统的概念	185
8.2	文件的逻辑结构与存取方法	187
8.2.1	逻辑结构	187
8.2.2	存取方法	189
8.3	文件的物理结构与存储设备	191
8.3.1	文件的物理结构	192
8.3.2	文件存储设备	194
8.4	文件存储空间管理	195
8.5	文件目录管理	197
8.5.1	文件的组成	198
8.5.2	文件目录	198
8.5.3	便于共享的文件目录	200
8.5.4	目录管理	201
8.6	文件存取控制	203
8.7	文件的使用	205
8.8	文件系统的层次模型	205
	本章小结	207
	习题	208
第9章	设备管理	210
9.1	引言	210
9.1.1	设备的类别	210
9.1.2	设备管理的功能和任务	211
9.2	数据传送控制方式	212
9.2.1	程序直接控制方式	212
9.2.2	中断方式	213
9.2.3	DMA方式	215
9.2.4	通道控制方式	217
9.3	中断技术	219
9.3.1	中断的基本概念	219
9.3.2	中断的分类与优先级	219
9.3.3	软中断	220

9.3.4	中断处理过程	220
9.4	缓冲技术	222
9.4.1	缓冲的引入	222
9.4.2	缓冲的种类	222
9.4.3	缓冲池的管理	223
9.5	设备分配	225
9.5.1	设备分配用数据结构	225
9.5.2	设备分配的原则	227
9.5.3	设备分配算法	228
9.6	I/O 进程控制	228
9.6.1	I/O 控制的引入	228
9.6.2	I/O 控制的功能	228
9.6.3	I/O 控制的实现	229
9.7	设备驱动程序	230
	本章小结	230
	习题	231
第 10 章	Linux 文件系统	233
10.1	Linux 文件系统的特点与文件类别	233
10.1.1	特点	233
10.1.2	文件类型	234
10.2	Linux 的虚拟文件系统	235
10.2.1	虚拟文件系统框架	235
10.2.2	Linux 虚拟文件系统的数据结构	235
10.2.3	VFS 的系统调用	241
10.3	文件系统的注册和挂装	242
10.3.1	文件系统注册	242
10.3.2	已挂装文件系统描述符链表	243
10.3.3	挂装根文件系统	244
10.3.4	挂装一般文件系统	245
10.3.5	卸载文件系统	246
10.4	进程与文件系统的联系	246
10.4.1	系统打开文件表	246
10.4.2	用户打开文件表	246
10.4.3	进程的当前目录和根目录	247
10.5	ext2 文件系统	247
10.5.1	ext2 文件系统的存储结构	247
10.5.2	ext2 文件系统主要的磁盘数据结构	248
10.5.3	ext2 文件系统的内存数据结构	251
10.5.4	数据块寻址	252

10.6	块设备驱动	253
10.6.1	设备配置	253
10.6.2	设备驱动程序的接口	254
10.7	字符设备驱动	255
	本章小结	256
	习题	257
第 11 章	Windows 的设备管理和文件系统	258
11.1	Windows I/O 系统的结构	258
11.1.1	设计目标	258
11.1.2	设备管理服务	258
11.2	设备驱动程序和 I/O 处理	259
11.2.1	设备驱动类型和结构	260
11.2.2	Windows 的 I/O 处理	260
11.3	Windows 的文件系统	262
11.3.1	Windows 磁盘管理	263
11.3.2	Windows 文件系统格式	263
11.3.3	Windows 文件系统驱动	264
11.4	NTFS 文件系统	264
11.4.1	NTFS 的特点	264
11.4.2	NTFS 的磁盘结构	265
11.4.3	NTFS 的文件系统恢复	266
	本章小结	267
	习题	268
第 12 章	嵌入式操作系统简介	269
12.1	嵌入式操作系统的总体架构	269
12.1.1	嵌入式操作系统特点及分类	269
12.1.2	嵌入式操作系统的总体架构	270
12.2	嵌入式操作系统的任务管理	273
12.2.1	多任务机制	273
12.2.2	任务状态和任务状态迁移	274
12.2.3	任务调度	275
12.2.4	任务间通信	276
12.2.5	VxWorks 任务管理	278
12.3	内存管理	281
12.3.1	动态内存管理机制	282
12.3.2	VxWorks 动态内存管理函数	282
12.3.3	虚拟内存管理机制	283
12.3.4	VxWorks 虚拟内存管理	284

12.4	设备管理与文件系统	285
12.4.1	I/O 系统内部结构	285
12.4.2	实时内核的中断管理	286
12.4.3	基本 I/O 操作流程	287
12.4.4	VxWorks 的 I/O 接口	287
12.4.5	文件系统架构及操作	288
12.4.6	VxWorks 文件系统	289
12.5	嵌入式操作系统的开发	290
12.5.1	集成开发环境 Tornado	291
12.5.2	VxWorks 的交叉编译开发环境	294
12.5.3	实例开发的设计与实现过程	296
	本章小结	297
	习题	298
	参考文献	299

第 1 章 绪 论

计算机发展到今天,从个人计算机到巨型计算机系统,毫无例外都配置一种或多种操作系统。什么是操作系统,它具有什么样的功能等,将在这一章作简要阐述。为了阐明这些问题,扼要地回顾一下操作系统的形成和发展过程是必要的。为便于今后的学习,本章随后介绍操作系统的类型及其特点,以及研究操作系统的几种观点。

1.1 操作系统概念

什么是操作系统

迄今,任何一个计算机系统都配置一种或多种操作系统。

计算机系统由两部分组成:硬件和软件。计算机硬件通常由中央处理机(运算器和控制器)、存储器、输入设备和输出设备等部件组成,它构成了系统本身和用户作业赖以活动的物质基础和工作环境。

计算机软件包括系统软件和应用软件。系统软件包括操作系统、多种语言处理程序(汇编和编译程序等)、连接装配程序、系统实用程序和多种工具软件等;应用软件是为应用编制的程序。

没有任何软件支持的计算机称为裸机(bare machine),它仅仅构成了计算机系统的物质基础,而实际呈现在用户面前的计算机系统是经过若干层软件改造的计算机。图 1.1 展示了这种情形。

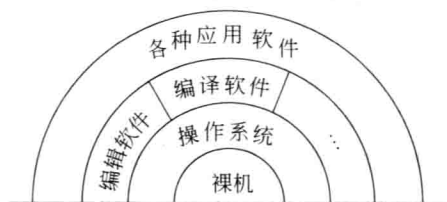


图 1.1 操作系统与硬件软件的关系

由图 1.1 可以看出,计算机的硬件和软件以及应用之间是一种层次结构的关系。裸机在最里层,它的外面是操作系统,操作系统提供的资源管理功能和方便用户的各种服务功能把裸机改造成功能更强、使用更为方便的机器,通常称为虚拟机(virtual machine)或扩展机(extended machine),而各种实用程序和应用程序运行在操作系统之上,它们以操作系统作为支撑环境,同时又向用户提供完成其作业所需的各种服务。

引入操作系统的目的可从三方面来考察。

引入操作系统的目的可从三方面来考察。

(1) 从用户的观点来看,计算机是为用户提供服务的,计算机所完成的任何工作都是为了满足用户的计算或处理需求。因此,引入操作系统是让计算机为用户提供最好的服务,构建一个用户和计算机之间的和谐交互环境。这要求计算机有一个良好的用户界面,使用户无须了解许多有关硬件和系统软件的细节,能够方便灵活地使用计算机。同时,计算机还能为用户提供一个可靠和安全的系统管理,以保证用户得到可靠安全的服务。

(2) 从系统管理人员的观点来看,引入操作系统是为了合理地组织计算机工作流程,管理和分配计算机系统硬件及软件资源,使之能为多个用户高效率地共享。因此,操作系统是

计算机资源的管理者。

(3) 从发展的观点看,引入操作系统是为了给计算机系统的功能扩展提供支撑平台,使之在追加新的服务和功能时更加容易并且不影响原有的服务与功能。

综上所述,可以非形式地把操作系统定义为:操作系统是计算机系统中的一个系统软件,它是这样一些程序模块的集合——它们管理和控制计算机系统硬件及软件资源,合理地组织计算机工作流程,以便有效地利用这些资源为用户提供一个具有足够的功能、使用方便、可扩展、安全和可管理的工作环境,从而在计算机与其用户之间起到接口的作用。

操作系统的几个主要特点是:它是一个管理计算机软硬件资源的系统软件,它为用户提供尽可能多的服务,它的管理过程根据用户要求不同而有所不同,但主要是为了让用户高效率地共享计算机软硬件资源,但又要保证其可靠性、安全性、可用性和可管理性。

1.2 操作系统的历史

为了更好地理解操作系统的基本概念、功能和特点,本节首先回顾操作系统形成和发展的历史过程。

操作系统是由于客观的需要而产生的,它伴随着计算机技术本身及其应用的日益发展而逐渐发展和不断完善。它的功能由弱到强,在计算机系统中的地位不断提高。至今,它已成为计算机系统核心,无一计算机系统不配置操作系统的。

由于操作系统历来跟运行其上的计算机组成与体系结构休戚与共,因此下面考察各代计算机,看看它们的操作系统是什么样子,具有哪些功能和特征。

人们通常按照器件工艺的演变把计算机发展过程分为4个阶段。

1946年至20世纪50年代末:第一代,电子管时代,无操作系统。

20世纪50年代末至60年代中期:第二代,晶体管时代,批处理系统。

20世纪60年代中期至70年代中期:第三代,集成电路时代,多道程序设计。

20世纪70年代中期至20世纪末:第四代,大规模和超大规模集成电路时代,分时系统。

21世纪初开始,以移动、分布和网络计算为代表,现代计算机正向着普适计算、网格计算以及巨型、微型、并行、分布、网络化、智能化和生物信息化几个方面发展着。

适应上述计算机发展过程,操作系统经历了如下的发展过程:手工操作阶段(无操作系统)、批处理、执行系统、多道程序系统、分时系统、实时系统、通用操作系统、网络操作系统和分布式操作系统等。

1.2.1 手工操作阶段

在第一代计算机时期,构成计算机的主要元器件是电子管,计算机运算速度慢(只有几千次/秒),没有操作系统,甚至没有任何软件。用户直接用机器语言编制程序,并在上机时独占全部计算机资源。用户既是程序员,又是操作员。上机完全是手工操作:先把程序纸带(或卡片)装上输入机,然后启动输入机把程序和数据送入计算机,接着通过控制台开关启动程序运行。计算完毕,打印机输出计算结果,用户取走并卸下纸带(或卡片)。第二个用户程序上机,照此办理。这种由一道程序独占机器且有手工操作的情况,在计算机速度较慢时

是允许的,因为此时计算机所需时间相对较长,手工操作所占比例还不很大。

20世纪50年代后期,计算机的运行速度有了很大提高,从每秒几千次、几万次发展到每秒几十万次、上百万次。这时,手工操作的慢速度和计算机的高速度之间形成矛盾,手工操作与计算机有效运行时间之比大大地加大,这种矛盾已经到了不能容忍的地步。唯一的解决办法是摆脱人的手工操作,实现作业的自动过渡。这样就出现了批处理。

1.2.2 早期批处理

在计算机发展的早期阶段,用户上机时需要自己建立和运行作业,并做结束处理。由于没有任何用于管理的软件,所有的运行管理和具体操作都由用户自己承担。每个作业都由许多作业步组成,任何一步的错误操作都可能导致该作业从头开始。在当时,计算机的价格是极其昂贵的,计算机(CPU)的时间是非常宝贵的,尽可能提高CPU的利用率成为十分迫切的任务。

解决的途径有两个:一个是配备专门的计算机操作员,程序员不再直接操作计算机,减少操作错误;另一个是进行批处理(batch processing),操作员把用户提交的作业分类,把一批作业编成一个作业执行序列。每一批作业将有专门编制的监督程序(monitor)自动依次处理。

早期的批处理可分为两种方式。

1. 联机批处理

慢速的输入输出(I/O)设备和主机直接相连。作业的执行过程如下:

- (1) 用户提交作业,包括作业程序、数据以及用作业控制语言编写的作业说明书。
- (2) 作业被做成穿孔纸带或卡片。
- (3) 操作员有选择地把若干作业合成一批,通过输入设备(纸带输入机或读卡机)把它们存入磁带。
- (4) 监督程序读入一个作业(若系统资源能满足该作业要求)。
- (5) 从磁带调入汇编程序或编译程序,将用户作业源程序翻译成目标代码。
- (6) 连接装配程序把编译后的目标代码及所需的子程序装配成一个可执行程序。
- (7) 启动执行。
- (8) 执行完毕,由善后处理程序输出计算结果。
- (9) 再读入一个作业,重复(5)~(9)步。
- (10) 一批作业完成,返回到(3),处理下一批作业。

这种联机批处理方式解决了作业自动转接的问题,从而减少了作业建立和人工操作时间。但是在作业的输入和执行结果的输出过程中,主机CPU仍处在等待状态,这样慢速的输入输出设备和快速主机之间仍处于串行工作,CPU的时间仍有很大的浪费。

2. 脱机批处理

脱机批处理方式的显著特征是增加一台不与主机直接相连而专门用于与输入输出设备打交道的卫星机,如图1.2所示。

卫星机的功能如下:

- (1) 输入设备通过卫星机把作业输入到输入带。
- (2) 输出带通过卫星机将作业执行结果输出到输出设备。