



21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



计算机操作系统 原理分析（第二版）

丁善镜 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算



计算机操作系统 原理分析（第二版）

丁善镜 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以单处理器计算机系统的并发执行工作方式及管理、控制对象,介绍计算机操作系统基本原理和方法,主要内容包括操作系统引论、操作系统提供用户的接口、处理器管理及调度、存储器管理、文件系统和设备管理等。

在参考了国内外新近出版的操作系统教材和相关技术资料的基础上,结合大学本科学生的实际学习特点,本书对计算机操作系统的原理和方法进行了分析和总结,力求内容完整、结构清晰、重点突出。

本书可作为计算机类各专业的操作系统课程的教材。

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

计算机操作系统原理分析/丁善镜编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2015
21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术
ISBN 978-7-302-38942-2

I. ①计… II. ①丁… 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(2015)第005682号

责任编辑:刘向威 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

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:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20 字 数:504千字

版 次:2012年5月第1版 2015年4月第2版 印 次:2015年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:34.00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。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

本书是对 2012 年出版的《计算机操作系统原理分析》教材进行修改和补充而成的。

计算机操作系统是在认识计算机系统硬件组成及其体系结构的基础上,研究计算机系统的工作方式和用户使用方式,重点研究对计算机系统工作方式进行管理、控制的原理和方法,其目标是使得计算机系统能够更加方便、有效、安全地为人们服务。

在计算机系统的工作方式中,有初期的缺少人机交互的批处理系统,也有现在的多用户多任务的分时系统;有单计算机系统,也有现在普遍使用的多计算机的网络系统,以及研究、发展中的多计算机的分布式系统;有科学计算为主的计算机系统,也有过程控制的实时系统,以及现在的各种电子设备的嵌入式系统。

另外,自从硬件上具有处理器与设备并行工作的能力之后,在微观方面,系统的工作流程从单任务的顺序执行方式,发展到多任务的并发执行方式。

这些都与操作系统的研究密切相关。

本书作为大学本科计算机操作系统的入门教材,以单处理器计算机系统、并发执行工作方式为主,介绍计算机系统管理、控制的基本原理和方法。

在参考了国、内外新近出版的操作系统教材和相关技术资料的基础上,结合学生的实际学习特点,本书系统地介绍了操作系统的基本原理和设计方法,并对其原理和方法的思想进行分析和总结,力求内容完整、结构清晰、重点突出。

本书共 7 章。第 1 章介绍操作系统的概念、多道程序设计与操作系统、计算机操作系统的形成和发展、基本类型及其特征、操作系统的研究内容和操作系统软件的基本功能;第 2 章介绍操作系统的内核、计算机系统的固件 BIOS、EFI,以及操作系统的命令接口和程序接口;第 3 章和第 4 章介绍处理器的管理,实现并发执行工作方式的管理和控制,包括系统工作流程分析、进程的概念、进程管理的五大功能(控制、同步、通信、调度和死锁);第 5 章介绍存储器管理,存储管理的基本方法有分区、分页、分段和段页式等,分别从它们的设计思想、实现关键、特点等几个方面进行分析和总结,存储管理的目标是实现虚拟存储器;第 6 章介绍文件系统,主要包括文件系统的概念及其基本功能,重点围绕按名存取功能的实现,从文件的组织、文件目录管理、文件存储空间管理和文件共享保护等方面进行分析;第 7 章介绍设备管理,主要有 I/O 软件的层次结构分析、I/O 控制方式、缓冲管理、设备分配和磁盘驱动调度,设备管理的目的是实现设备独立性。

本书内容的计划授课时间为 64 个学时左右:第 1 章、第 2 章各 4 学时,第 3 章 18 学时、第 4 章 8 学时,第 5 章 16 学时,第 6 章 8 学时,第 7 章 6 学时。书中带有 * 号的部分作为可选

内容,供学有余力或对相关内容有兴趣的读者学习。

本书旨在系统、规范地介绍计算机操作系统的基本原理和方法,通过分析和总结,最大限度地帮助读者理解和掌握操作系统的核心内容。

由于编者的学识水平、知识结构有限,对于书中存在的疏漏和不妥之处,恳请读者不吝批评指正(dsj@fzu.edu.cn)。

编者

2015年3月



目 录

第 1 章 引论	1
1.1 操作系统概述	1
1.1.1 计算机系统的组成	1
1.1.2 操作系统的定义	2
1.1.3 计算机系统的层次结构	2
1.2 操作系统的形成	3
1.2.1 操作系统形成与发展的主要因素	3
1.2.2 多道程序设计与操作系统	4
1.2.3 操作系统的发展	7
1.3 操作系统的基本类型	8
1.3.1 批处理系统及其特征	9
1.3.2 分时系统及其特征	12
1.3.3 实时系统及其特征	13
1.4 计算机操作系统的研究内容	14
1.4.1 操作系统理论	14
1.4.2 操作系统软件	15
1.4.3 操作系统的主要功能	16
小结	17
习题	18
第 2 章 操作系统的接口	19
2.1 操作系统内核	19
2.1.1 处理器指令及工作模式	19
2.1.2 操作系统内核	20
2.2 操作系统的启动	21
2.2.1 固件及其基本功能	21
2.2.2 基本输入输出系统(BIOS)	21
2.2.3 可扩展固件接口(EFI)	24
2.2.4 操作系统的启动	28
2.3 操作系统的用户接口	29
2.3.1 命令接口	29
2.3.2 程序接口及系统调用	31

2.3.3	UNIX 的用户接口	32
小结	36
习题	36
第 3 章	处理器管理	37
3.1	系统的工作流程.....	37
3.1.1	程序及其特点	37
3.1.2	顺序执行的工作方式及特征	38
3.1.3	并发执行的工作方式及特征	38
3.2	进程的概念.....	41
3.2.1	进程的定义	41
3.2.2	进程的主要特征	42
3.3	进程的动态性.....	43
3.3.1	进程的基本状态	43
3.3.2	基本状态的转换关系	44
3.4	进程管理的主要功能.....	46
3.4.1	进程控制块及其组成	46
3.4.2	PCB 队列	47
3.4.3	进程管理的主要功能	48
3.5	进程控制.....	48
3.5.1	原语	48
3.5.2	进程控制的含义	48
3.5.3	进程的创建	48
3.5.4	进程的撤销	50
3.5.5	进程的阻塞	50
3.5.6	进程的唤醒	50
3.6	进程同步.....	51
3.6.1	并发进程的关系	52
3.6.2	间接制约与互斥关系	55
3.6.3	直接制约与同步关系	56
3.6.4	进程同步机制	57
3.6.5	互斥关系与加锁机制	57
3.6.6	信号量机制与互斥关系	61
3.6.7	信号量机制与同步关系	63
3.6.8	生产者/消费者问题.....	67
3.6.9	读者/写者问题.....	72
3.6.10	标志位机制.....	74
3.6.11	管程机制.....	79
3.7	进程通信.....	86

3.7.1	进程通信的概念	86
3.7.2	进程通信方式	87
3.7.3	消息缓冲通信的设计和实现	88
*3.7.4	UNIX 消息队列通信	89
3.7.5	信箱通信的设计实现	94
3.8	线程	96
3.8.1	线程的引入	96
3.8.2	线程与进程的关系	97
3.8.3	线程的类型	97
3.8.4	线程的常用细化方法	98
*3.8.5	Java 线程及控制实例	100
	小结	103
	习题	105
第 4 章	处理器调度	108
4.1	操作系统中的调度	108
4.1.1	调度的定义	108
4.1.2	操作系统中的调度	108
4.1.3	调度的性能指标	109
4.2	作业调度	111
4.2.1	作业状态	111
4.2.2	作业调度的功能	112
4.2.3	作业调度算法	113
4.2.4	作业调度算法例子	117
4.3	进程调度	121
4.3.1	进程调度的含义	121
4.3.2	进程调度的功能	121
4.3.3	进程调度的方式	121
4.3.4	进程调度算法	122
4.3.5	实时系统的进程调度算法	127
4.4	死锁问题	130
4.4.1	死锁的含义	130
4.4.2	死锁的解决方法	132
4.4.3	死锁预防	133
4.4.4	死锁避免	137
4.4.5	死锁检测与恢复	143
	小结	146
	习题	147

第 5 章 存储器管理	150
5.1 存储管理概述	150
5.1.1 计算机系统的存储器类型	150
5.1.2 虚拟地址和物理地址	152
5.1.3 重定位	153
5.1.4 存储管理的目的	154
5.1.5 存储管理的主要功能	154
5.1.6 存储管理方法	157
5.2 单一连续区存储管理	157
5.2.1 基本思想	158
5.2.2 主要特点	158
5.3 固定分区存储管理	158
5.3.1 基本思想	159
5.3.2 实现关键	159
5.3.3 主要特点	160
5.4 可变分区存储管理	162
5.4.1 基本思想	162
5.4.2 实现关键	163
5.4.3 主要特点	169
5.4.4 分区管理总结	170
5.4.5 对换和覆盖	170
5.5 分页存储管理	177
5.5.1 基本思想	177
5.5.2 静态分页的实现关键	180
5.5.3 静态分页的特点及效率的改进	185
5.5.4 虚拟存储器思想	186
5.5.5 动态分页	188
5.5.6 请求分页的实现关键	188
5.5.7 分页存储管理的主要特点	199
5.6 分段存储管理	203
5.6.1 基本思想	203
*5.6.2 硬件基础	204
5.6.3 实现关键	210
5.6.4 分段与分页的区别	212
5.6.5 主要特点	213
5.7 段页式存储管理	214
5.7.1 基本思想	214
5.7.2 实现关键	215

5.7.3 主要特点	216
小结	217
习题	219
第 6 章 文件系统	221
6.1 文件系统概述	221
6.1.1 文件系统的引入	221
6.1.2 文件及分类	222
6.1.3 文件系统及其主要功能	224
6.2 文件的逻辑结构	225
6.3 文件的物理结构	227
6.3.1 文件存取方式	228
6.3.2 文件存储介质	228
6.3.3 物理结构分类	231
6.4 文件目录管理	238
6.4.1 文件控制块	238
6.4.2 文件目录及其结构	240
6.5 文件存储空间管理	243
6.5.1 磁盘存储管理方法	244
6.5.2 空闲块成组链接法	244
6.6 文件使用	247
6.6.1 文件系统的命令接口	247
6.6.2 文件的系统调用	248
* 6.6.3 利用文件通信及其同步控制	250
6.7 文件的共享	259
6.7.1 文件共享方法	259
6.7.2 基本文件目录法(BFD)	260
6.7.3 文件共享语义	261
6.8 文件的安全性	262
6.8.1 文件保护及主要方法	262
6.8.2 文件保密及主要方法	263
* 6.8.3 BLP 安全模型	266
* 6.8.4 Biba 安全模型	268
小结	268
习题	270
第 7 章 设备管理	272
7.1 设备管理概述	272
7.1.1 设备分类	272

7.1.2	设备独立性	274
7.1.3	设备管理的主要功能	277
7.2	I/O 控制方式	278
7.2.1	程序查询方式	278
7.2.2	中断方式	279
7.2.3	DMA 方式	287
7.2.4	通道方式	290
7.3	设备分配	291
7.3.1	设备管理的数据结构	292
7.3.2	设备分配原则	293
7.3.3	设备分配	294
7.3.4	设备分配的安全性	295
7.4	缓冲技术	295
7.4.1	缓冲及其引入的目的	295
7.4.2	缓冲类型	296
7.4.3	缓冲池管理	297
7.5	磁盘驱动调度	301
7.5.1	磁盘 I/O 操作的时间组成	301
7.5.2	磁盘驱动调度	302
7.5.3	移臂调度算法	302
	小结	306
	习题	307
	参考文献	308

计算机系统由硬件和软件两部分组成,计算机操作系统是计算机系统不可缺少的软件,人们正是通过操作系统来使用计算机的。本章主要介绍计算机操作系统的定义、形成、基本类型以及计算机操作系统的研究内容。

1.1 操作系统概述

本节简要介绍计算机系统的组成,在认识计算机系统组成的基础上,介绍操作系统的定义和计算机系统的层次结构。

1.1.1 计算机系统的组成

计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。

1. 硬件系统

硬件系统构成计算机系统的实体,又分为以下 3 个部分。

(1) 中央处理器

中央处理器简称处理器或 CPU,是计算机系统的核心部件,其主要功能是自动进行高速、精确的运算,通过逐条执行程序的指令完成对数据的处理。

(2) 存储器

用于存放程序和数据的部件称为存储器,存储器又分主存储器、辅助存储器等,其中主存储器(简称内存或主存)是计算机系统不可缺少的部件,原则上,有了处理器和主存储器,计算机就可以工作了,所以,处理器和主存储器构成计算机的核心部件,计算机系统的运行速度主要取决于处理器的性能和主存储器容量的大小。

(3) 外围设备

外围设备简称设备(或外备),通常把计算机硬件系统中除了处理器和主存储器之外的其余部件统称为设备。计算机要处理的数据从设备读取或输入,处理后的结果也通过设备反馈给用户。如键盘、显示器、打印机等是个人计算机最基本的设备。

在硬件系统中,虽然每个部件都拥有各自的强大功能,但是,计算机系统要能够成为一个有机整体,实现复杂数据的处理功能,还要依靠软件的支持,一方面需要软件来合理地协调硬件各部件之间的工作,另一方面对于数据要如何进行处理需要软件描述。

2. 软件系统

程序和数据统称为软件,软件按程序实现的功能又分为以下两类。

(1) 系统软件

用于管理计算机系统本身的软件称为系统软件。例如操作系统、编译系统和数据库系统等,是最常见的系统软件。

(2) 应用软件

应用软件是解决各领域的实际应用需求的软件的总称,或者说,除了系统软件之外的软件称为应用软件。例如,办公自动化管理系统、财务管理系统、网上购物等软件都是典型的应用软件。

上述所介绍的计算机系统组成的各个部分,通常也称为计算机系统的资源。

1.1.2 操作系统的定义

虽然,不同教材对操作系统(Operating Systems, OS)定义的描述有所不同,但各种定义的核心思想基本一致。通常把计算机硬件系统上配置的第一个大型软件称为计算机操作系统,该软件满足:

- (1) 管理计算机系统的硬件和软件;
- (2) 控制计算机系统的工作流程;
- (3) 为其他软件 and 用户提供安全、方便的运行、操作环境;
- (4) 提高计算机系统的效率。

或者说,计算机操作系统是在研究计算机系统的工作方式和使用方式基础上,提出对计算机系统进行管理、控制的原理和方法,让计算机能够更好地为人们的学习、工作和生活服务。

1.1.3 计算机系统的层次结构

从计算机系统的层次结构,可以看出计算机操作系统在计算机系统中的地位 and 作用,从而更好地理解操作系统的定义。

1. 系统及其体系结构

什么是系统? 系统是由相互作用 and 相互依赖的若干部分(要素)结合而成的具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所隶属的一个更大系统的组成部分。

系统的各个部分不是简单地排列,而是有一定的组织方式。一个系统的体系结构就是指构成这个系统的各个要素的组织形式。

系统通过其中的各要素相互作用实现系统的整体功能。系统仅仅依靠要素还不够,因为各自独立的要素不会自动完成系统的目标,只有通过管理、控制,使之有机地结合在一起,系统才能正常地运行与活动,有效地发挥系统的功能。计算机系统就是在操作系统的管理、控制下完成系统的功能的。

2. 计算机系统的层次结构

计算机系统的常见的层次划分,如图 1-1 所示,下面介绍层次结构的几个基本概念。

(1) 层

层次结构是由若干个层(Layer)组成的,层是具有独立功能的模块或部件。

(2) 接口

层与层之间的关系通过接口(Interface)实现。一个层向外提供一组接口(即约定),其他层通过这些接口使用层的功能。

(3) 单向依赖

在层次结构系统中,各个层从低到高排列。一般地,一个层只能使用比它更低的层的接口。层与层之间的这种规定称为层的单向依赖性。

(4) 隐藏性

一个层通过接口使用低层的功能,所以,它只需要了解相关层的接口即可,而对于层内部的设计、实现等细节则不必关心。层次结构的这一特性称为隐藏性,也称为透明性(Transparency)。



图 1-1 计算机系统的层次结构

3. 操作系统在计算机系统的地位和作用

从图 1-1 看出,操作系统是对硬件层的第一次扩充,同时又是其他软件运行和用户操作的基础。

操作系统把其他软件 and 用户与硬件系统隔离开来,起了“承下启上”的作用,也就是说操作系统把底层硬件的特性差异、处理细节、物理位置等隐藏起来,向上提供一致的接口,同时扩充硬件层的功能,并为上层提供安全、方便的运行、操作环境。

例如。平时人们经常需要把 U 盘中的文件复制到硬盘,或把光盘中的文件复制到硬盘,不管源文件是在 U 盘还是在光盘,都可以按同样的操作方式,如使用“复制”和“粘贴”操作实现文件的复制,在操作时根本无须关心 U 盘和光盘的存储介质结构的差异。这就是操作系统隐藏底层细节、提供一致接口带给用户操作上的方便。

在现代计算机系统中,用户正是通过操作系统来使用计算机的。

1.2 操作系统的形成

本节简要介绍促进操作系统发展的主要因素、计算机操作系统的形成过程,重点介绍多道程序设计对操作系统形成的意义。

1.2.1 操作系统形成与发展的主要因素

1945 年第一台计算机诞生时没有操作系统,然而对计算机硬件的研究、实验不断取得丰硕的成果,以及软件理论及方法的蓬勃发展,促进了计算机操作系统的形成与发展。

促进操作系统发展的主要因素有以下几个方面。

1. 硬件的发展

硬件方面不断推出功能强大的处理器,例如,微处理器从 8 位、16 位,发展到 32 位、64 位,对应地分别产生了 8 位、16 位、32 位以及 64 位的操作系统;从单处理器、多处理器,发展到多计算机,相应地产生了单处理器操作系统、多处理器操作系统、网络操作系统、分布式操作系统等。另外,随着硬件技术的发展和制作工艺的提高,可以把操作系统的一部分功能通过硬件实现。

值得关注的是,I/O 控制技术的发展,使得计算机系统在硬件上具有处理器与设备、设备与设备并行工作的能力,从而促进了操作系统的形成。

2. 软件的发展

灵活、高效的 C 程序设计语言的推出,为设计和实现复杂的现代操作系统带来了很大的方便,多道程序设计技术的提出为操作系统的形成奠定了基础;面向对象程序设计技术,使得操作系统可以用对象来描述资源。这些软件理论、技术的发展不断推进操作系统向前发展。

3. 应用需要

计算机作为高科技核心技术的工具之一,在社会的各行各业发挥着巨大的作用。一方面人们在应用实践中不断提出新的需求,另一方面设计开发操作系统的公司,也不断地为用户研究、设计开发更加便于使用的操作系统。另外,随着一些特殊应用领域的需求变化,产生了实时操作系统。

1.2.2 多道程序设计与操作系统

20 世纪 60 年代中期,在硬件上具有中央处理器与设备、设备与设备并行工作的能力,相应地,在软件上,提出了多道程序设计技术,两者奠定了操作系统形成的基础。

1. 并发执行与多道程序设计

处理器执行程序的方式称为系统的工作流程,处理器有两种基本工作流程:并发执行和顺序执行。

(1) 多道程序设计

多道程序设计(Multiprogramming):在内存中同时存放多道程序,这些程序可以并发执行。

(2) 并发执行

多道程序的并发执行(Concurrency):在多道程序设计环境下,处理器在开始执行一道程序的第一条指令后,在这道程序完成之前,处理器可以开始执行另一道程序、甚至更多的其他程序。这种工作流程的外在表现就是多任务,现代的计算机操作系统都采取了并发执行的工作流程。

(3) 顺序执行

顺序执行:处理器在开始执行一道程序后,只有在这道程序执行结束(程序指令运行完成,或程序执行过程出现错误而无法继续运行)之后,处理器才能开始执行下一道程序。这