

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

操作系统原理教程

王德广 张雪 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机

操作系统原理教程

王德广 张雪 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

操作系统是计算机科学与技术专业、软件工程专业的—门重要的专业基础课程。本书采用理论与实际相结合的方式,以传统操作系统的知识为主,既讲述传统和现代理论,又介绍最新开发和应用技术,同时还强调学生的动手实践能力,学以致用。全书共分为5章:第1章操作系统概述,介绍了操作系统的定义、特征、发展历史、分类等内容;第2章进程管理,介绍了进程和线程的基本概念、进程间通信、进程调度、死锁等相关内容;第3章内存管理,介绍了分区管理、页式管理、段式管理、虚拟存储器等内容;第4章设备管理,介绍了设备的硬件、设备的软件、I/O控制方式、磁盘管理等内容;第5章文件管理,介绍了文件及目录的相关概念、文件系统的实现、磁盘空间管理等内容。本书面向高校相关专业师生,同时也可作为从事计算机研究与开发人员的参考书。

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

操作系统原理教程/王德广,张雪主编.--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 978-7-302-40451-4

I. ①操… II. ①王… ②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(2015)第126414号

责任编辑:付弘宇 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

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:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21.5

字 数:537千字

版 次:2015年11月第1版

印 次:2015年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:37.50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。

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

操作系统是位于计算机硬件之上的第一层软件,它管理着系统中所有的软硬件资源,同时向用户提供方便的人机接口。

操作系统课程是计算机科学与技术专业、软件工程专业必修的一门重要的专业基础课程,同时还是从事计算机研究与应用开发人员的必修知识。以往学生在学习操作系统的课程时,感觉非常吃力,往往像学习文科专业一样死记硬背,难以理解其中的原理,所以许多知识只知其然,不知其所以然。本教材力图从计算机和管理者相结合的角度,试图让学生从一个团队管理者的角度去发现问题,提出问题,然后启发学生思考问题,并找出解决问题的方法,尽可能使学生学习操作系统的课程变得轻松、有乐趣,激发学生主动学习的热情,提高学习的效率和效果。

本教材采用理论与实际相结合的方式,以传统操作系统的知识为主,既讲述传统和现代理论,又介绍最新开发和应用技术,同时还强调学生的动手实践能力,学以致用;编写力图简单、通俗,力争让学生轻松、快乐地掌握操作系统的精髓。

全书共分为5章:第1章操作系统概述,介绍了操作系统的定义、特征、发展历史、分类等内容;第2章进程管理,介绍了进程和线程的基本概念、进程间通信、进程调度、死锁等相关内容;第3章内存管理,介绍了分区管理、页式管理、段式管理、虚拟存储器等内容;第4章设备管理,介绍了I/O硬件、I/O软件、I/O控制方式、磁盘管理等内容;第5章文件管理,介绍了文件及目录的相关概念、文件系统的实现、磁盘空间管理等内容。每一章后面都有小结和练习题,小结总结了该章的主要知识点,帮助学生对该章的内容有个总体上的掌握;练习题可以让学生更好地巩固所学的知识,为了顺应双语教学的要求,特此提供了一些英文习题供参考。附录A给出了课后习题参考答案。

本书第1、第2、第3章由王德广编写,第4、第5章由张雪编写,编写过程中主要参考的资料见本书最后的参考文献,也包括Internet上提供的一些技术资料,在此一并表示感谢。感谢杨琦对本书的校对以及所提出的宝贵意见。

由于作者水平有限,书中难免有编写不当或纰漏之处,欢迎广大读者多提宝贵意见。

编著者

2015年8月

于大连交通大学

第 1 章 操作系统概述.....	1
1.1 操作系统的概念	1
1.1.1 什么是操作系统.....	1
1.1.2 计算机系统概述.....	3
1.1.3 操作系统的主要功能	13
1.1.4 操作系统的地位	17
1.1.5 操作系统的主要特性	18
1.2 操作系统的发展历史.....	20
1.2.1 手工操作阶段	20
1.2.2 单道批处理系统	22
1.2.3 多道程序设计系统	24
1.2.4 分时系统	27
1.2.5 实时系统	29
1.3 操作系统的进一步发展.....	30
1.3.1 个人 PC 操作系统	30
1.3.2 网络操作系统	31
1.3.3 分布式操作系统	31
1.3.4 嵌入式操作系统	32
1.3.5 大型机操作系统	33
1.3.6 服务器操作系统	33
1.3.7 多处理器操作系统	33
1.3.8 智能卡操作系统	34
1.4 操作系统大观.....	34
1.4.1 Windows 操作系统	34
1.4.2 UNIX 操作系统	35
1.4.3 Linux 操作系统	36
1.4.4 FreeBSD 操作系统	38
1.4.5 NetWare 操作系统	40
1.4.6 AIX 操作系统	40
1.4.7 Solaris 操作系统	41
1.4.8 Mac OS 操作系统	42
1.4.9 其他操作系统	42

1.5	操作系统的结构	45
1.5.1	操作系统的构件	45
1.5.2	整体结构	47
1.5.3	层次结构	47
1.5.4	虚拟机	48
1.5.5	客户机/服务器系统	48
1.6	系统调用	49
1.6.1	什么是系统调用	49
1.6.2	系统调用的实现	50
1.6.3	Trap 与 Interrupt	52
1.6.4	系统调用与过程	52
1.7	小结	52
	课后习题	54
	英文习题	56
	思考题	57
第 2 章	进程管理	58
2.1	进程	58
2.1.1	进程的引入	58
2.1.2	进程的状态	63
2.1.3	进程控制块	67
2.1.4	进程的映像	70
2.1.5	OS 的控制结构	73
2.1.6	进程的控制	74
2.2	线程	79
2.2.1	线程的引入	79
2.2.2	线程控制块	83
2.2.3	线程的状态	84
2.2.4	线程的级别	84
2.3	进程间通信	87
2.3.1	竞争与协作	88
2.3.2	临界区	89
2.3.3	忙等待的互斥	90
2.3.4	睡眠与唤醒	94
2.3.5	信号量及 P、V 原语	96
2.3.6	经典 IPC 问题	103
2.3.7	管程	108
2.3.8	消息	110
2.4	进程调度	112

2.4.1	调度的概念	112
2.4.2	批处理系统的调度	118
2.4.3	交互式系统的调度	121
2.4.4	实时系统的调度	127
2.4.5	策略与机制	128
2.4.6	线程调度	129
2.5	死锁	130
2.5.1	死锁产生的原因	130
2.5.2	死锁产生的条件	132
2.5.3	解决死锁的方法	132
2.6	小结	142
	课后习题	144
	英文习题	146
	思考题	150
第3章	内存管理	151
3.1	内存介绍	151
3.1.1	内存	151
3.1.2	相关概念	155
3.2	单道系统的内存管理	160
3.3	多道系统的分区管理	162
3.3.1	固定分区管理	162
3.3.2	动态分区管理	164
3.3.3	查找算法	167
3.3.4	可重定位分区分配	168
3.3.5	分区管理的优缺点	170
3.4	页式管理	171
3.4.1	页式管理的实现原理	171
3.4.2	页式地址变换	173
3.4.3	相联存储器和快表	174
3.4.4	页的共享与保护	176
3.5	段式管理	177
3.5.1	段式管理的引入	177
3.5.2	段式管理的实现原理	177
3.5.3	段的共享与保护	178
3.5.4	分段和分页的比较	180
3.6	内存扩充	180
3.6.1	覆盖技术	180
3.6.2	交换技术	181

3.6.3	虚拟存储技术	182
3.7	请求页式管理	185
3.7.1	请求页式管理的思想及实现	185
3.7.2	多级页表	190
3.7.3	反置页表	192
3.7.4	请求页式管理的页面置换算法	193
3.7.5	请求页式管理设计时应注意的几个问题	202
3.7.6	请求页式管理性能	205
3.8	请求段式管理	206
3.8.1	请求段式管理的思想及实现	206
3.8.2	段的动态链接	207
3.8.3	段的共享	208
3.9	请求段页式管理	209
3.9.1	请求段页式管理的基本思想	209
3.9.2	请求段页式管理的实现原理	209
3.10	小结	212
	课后习题	214
	英文习题	216
	思考题	218
第4章	设备管理	219
4.1	I/O 硬件的基本原理	219
4.1.1	I/O 设备的分类	219
4.1.2	设备控制器	220
4.2	I/O 的控制方式	224
4.2.1	程序控制 I/O 方式	225
4.2.2	中断驱动 I/O 方式	227
4.2.3	DMA 控制方式	230
4.2.4	通道控制方式	233
4.3	I/O 软件	235
4.3.1	I/O 软件的目标	235
4.3.2	I/O 软件的层次	237
4.4	磁盘管理	249
4.4.1	磁盘的物理特性	249
4.4.2	磁盘的格式化	251
4.4.3	磁盘调度	253
4.4.4	RAID	256
4.5	小结	260
	课后习题	263

英文习题	265
思考题	267
第 5 章 文件管理	268
5.1 文件	268
5.1.1 文件命名	268
5.1.2 文件结构	269
5.1.3 文件类型	270
5.1.4 文件存取	272
5.1.5 文件属性	273
5.1.6 文件操作	274
5.2 文件系统的功能和结构	275
5.2.1 文件系统的功能	275
5.2.2 文件系统的结构模型	276
5.3 目录	277
5.3.1 文件控制块和文件目录	277
5.3.2 目录结构	278
5.3.3 目录查询技术	282
5.3.4 目录操作	284
5.4 文件系统的实现	285
5.4.1 文件系统的格式	285
5.4.2 文件存储空间的分配	286
5.4.3 磁盘空间管理	290
5.5 文件的共享与保护	292
5.5.1 文件共享	292
5.5.2 文件的访问保护	294
5.6 文件系统的可靠性	296
5.6.1 文件备份	297
5.6.2 文件系统的一致性	299
5.7 小结	300
课后习题	303
英文习题	305
思考题	306
附录 A 课后习题参考答案	307
参考文献	332

完整的计算机系统是由硬件和软件两大部分组成的。操作系统(Operating System, OS)是计算机系统所有软件中最基础、最核心、最底层的软件,它介于计算机硬件和终端用户之间,为终端用户操作计算机硬件提供环境,管理和控制计算机的硬件和软件资源,扩展计算机的功能。

1.1 操作系统的概念

1.1.1 什么是操作系统

多数计算机用户都有一些使用操作系统的体验,也知道一些操作系统的名称,如 Windows XP、Windows 2000、Linux 等。但什么是操作系统呢?业界至今没有形成一个统一的标准化定义。之所以会出现这种情况,一方面是因为操作系统执行两个相对独立的任务,即计算机功能及性能的扩展和计算机资源的管理;另外一方面的原因是取决于从什么角度看待操作系统,即是用户的观点,还是系统的观点。

1. 用户观点

作为一个普通的用户使用计算机,你希望操作系统有什么样的功能呢?

试想一下:

你刚从电子城配了一台个人计算机(Personal Computer, PC),可惜当时由于时间紧,没安装你所熟悉的 Windows XP,当你把计算机在家里连接好并打开以后,没有出现你所熟悉的 Windows XP 的画面,这时你的感觉是怎样的呢?

鼠标不能用,没有熟悉的桌面,不知道文件在哪里,没有播放 MP3 的千千静听播放器,没有播放视频的暴风影音,没有熟悉的 IE 浏览器或 Firefox 浏览器,没有迅雷或 BT 软件,下载不了想要的文件,也根本找不到所需要的文件资源,因为你根本不知道怎样操作才能上网……这一切你该如何面对呢?

我想,你和我的感受一定是一样的,那就是怎么才能控制和使用这台计算机?应该有一个软件提供给人们,让人们能够方便地操控面前的这台机器。

好了,第一个结论出来了:从用户的观点看,操作系统应该提供一个人与计算机打交道的接口,也就是人机接口。用户可以通过操作系统提供的这个接口使用和控制计算机,从而

达到计算机为用户服务的目的。用汽车做一个不完全一致的类比,汽车的设计者必须提供给用户方向盘和变速箱(不论是自动挡的还是手动挡的),如果没有方向盘和变速箱,让驾驶员怎么开这辆车呢?

那么接着往下想,这种接口是什么样子的呢?是一个接口,还是几种不同的接口呢?

第一,对于那些非计算机专业的人士(如会计人员、管理人员、销售员等)来说,他们具备的计算机知识有限,他们使用计算机主要是把计算机当成自己专业的辅助工具,为了使自己的业务完成得更加轻松、准确。他们并不会花大量的时间研究计算机的技术,所以应该提供给他们一种图形界面的接口(Graphical User Interface, GUI)。使用这种接口,用户可以通过鼠标操作计算机,让工作变得更轻松。用户不必知道什么命令和原理,但要求操作系统的编程人员必须把图形界面设计得非常人性化,界面非常美观、赏心悦目,让使用者在使用计算机的过程中,感觉是一种享受。但必须清楚,这种赏心悦目的界面背后必然耗费计算机大量的资源,好在这种用户对自己的资源要求不是很高。

第二,对于那些用计算机完成科学计算的用户来说,他们不追求界面的美观,也稍微懂得一些计算机的基本操作知识,他们的需求是让计算机尽最大可能地发挥它的效率,以便更快地完成计算任务。对于这种用户,GUI(图形界面接口)对他们来说,就不是最好的选择,因为他们希望计算机的所有资源尽可能地用于科学计算。那么就应该提供一种命令行(Command Line, CL)接口,这种接口不使用图形界面,那么图形界面所耗费的大量的计算机资源(主要是 CPU 和内存的资源)也就不存在了,系统资源会尽可能地用于用户的计算需求。

第三,对于那些计算机的专业人士,操作系统应该提供什么样的接口呢?回想一下,大家都使用过打印机,当在 Word 中输入一行文字以后,直接单击“打印”按钮输出,打印机会将一张完整的 A4 纸送出,但这张 A4 纸上只有一行文字,这是最常见的现象。但是如果你去超市购物,在收银台的微型打印机里走出的纸,也是一张完整的纸吗?肯定不是的,超市微打的走纸长度和购物的多少有关系,购买的商品种类越多,走纸越多。那么为什么在 Word 中完成不了这个功能呢?这就需要计算机的软件编程人员对微型打印机进行编程控制,也就是说,操作系统需要给计算机专业人员提供一个软件编程的接口。计算机专业人员通过操作系统提供的这个编程接口,可以控制计算机的其他外设,修改它们的工作方式。

另一方面,裸机(仅有硬件的计算机)提供的机器语言难记、难用又难懂,一般的程序员和普通用户不愿意、也没有能力在这种环境下编程或使用计算机。在裸机之上安装操作系统之后,就把硬件的细节与程序员及用户隔离开。用户可以使用系统提供的各种命令,直接打开文件、读写文件、更改目录、将文件复制到其他盘上等。在做这些事情的时候,用户只关心自己要实现的目标,并未考虑到硬件如何动作,从而隐藏了底层硬件的特性。经过操作系统的加工,呈现在用户面前的机器是功能更强、使用更方便的机器。

对于用户来说,不同的用户,对计算机的使用所追求的目标是不同的。有的用户追求计算机的数据处理能力,有的用户追求计算机的实时处理能力,有的用户追求对多用户、多任务的并发能力。所以哪怕是同一台计算机,由于装上了不同的操作系统,所表现出来的能力也是不同的。也就是说,操作系统能够虚拟出一台功能比以前更强的计算机,扩展了现有计算机的能力,根据要求的不同,计算机的表现可以不同。

从上述角度看,操作系统的作用是为用户提供一台等价的扩展机器(Extended Machine),或者称虚拟机(Virtual Machine)。

2. 系统观点

系统观点是从系统内部实现的角度来看待操作系统的作用。操作系统是硬件之上的第一层软件,它要管理计算机系统中各种硬件资源和软件资源的分配问题,如 CPU 时间、内存空间、文件存储空间、I/O 设备等,要解决大量对资源请求的冲突问题,决定把资源分配给谁、何时分配、分配多少等,使得资源的利用高效且公平。现代计算机由 CPU、内存、各种 I/O 设备、总线组成,操作系统的功能就是管理这些硬件资源和数据、程序等软件资源,控制和协调各种程序对这些资源的使用,尽可能最大化地发挥各种资源的作用。这样,操作系统就是资源的分配者。

再者,操作系统要对 I/O 设备和用户程序加以控制,保证设备的正常运行,防止非法操作,及时诊断设备的故障等。从这个意义上讲,操作系统又是工作流程的调度者。

从以上的论述中可以看到,操作系统的概念如图 1-1 所示。

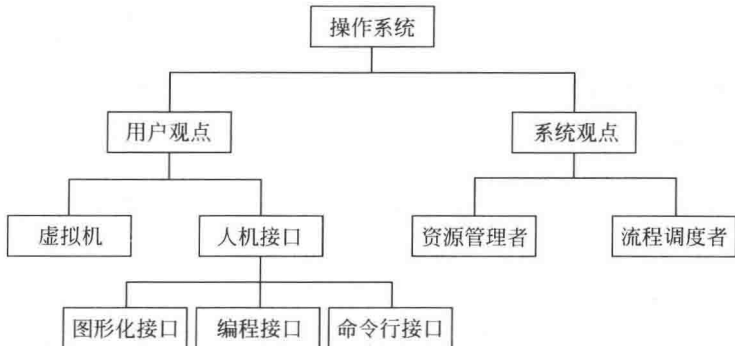


图 1-1 操作系统

1.1.2 计算机系统概述

计算机系统是由硬件和软件组成的。硬件是软件建立与活动的基础,而软件又是对硬件功能的扩充。没有硬件,就失去了计算机系统的物理基础,软件也就无法存在了。反过来,如果只有硬件而没有软件,就会像最初的计算机那样,很难使用,没有活力,应用价值有限。硬件与软件有机地结合在一起,相辅相成,才使计算机技术飞速发展,且在当今信息时代占据举足轻重的地位。

操作系统与运行操作系统的计算机硬件联系密切。操作系统扩展了计算机的指令集,并管理计算机的资源,为了能够更好地工作,操作系统必须了解和掌握大量的硬件,需要了解硬件如何面对程序员。下面简述一下计算机的硬件结构,这些正是操作系统所管理的对象。

从概念上讲,一台简单的个人计算机可以抽象为如图 1-2 所示的模型。CPU、内存以及 I/O 设备都由一条系统总线连接起来,并通过总线与其他设备进行通信的。

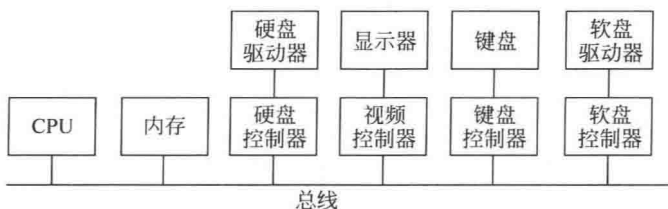


图 1-2 微型计算机的结构组成

1. CPU

计算机的“大脑”是 CPU(处理器),它从内存中取出指令并执行。在每个 CPU 的基本周期中,首先从内存中取出指令,解码以确定操作类型和操作数,接着执行之,然后取指、解码并执行下一条指令。按照这一方式,程序被执行完成。

每个 CPU 都有一套可执行的专门指令集,所以,Pentium 不能执行 SPARC 程序,而 SPARC 也不能执行 Pentium 程序。由于通过访问内存得到的指令或数据的时间要比执行指令花费的时间长得多,因此所有的 CPU 都有一些用来保存关键变量和临时结果的寄存器。这样,通常在指令集中提供一些指令,用以将一个字从内存调入寄存器,以及将一个字从寄存器写回内存。其他的指令可以把来自寄存器和内存的操作数组合,或者用两者产生一个结果,例如,将两个字相加并把结果存在寄存器或内存中。

除了用来保存变量和临时结果的通用寄存器之外,多数计算机还有一些对程序员可见的专用寄存器。其中之一就是程序计数器,它保存了将要取出的下一条指令的内存地址,在指令取出之后,程序计数器就被更新以便指向后继的指令。

另外一个寄存器是堆栈指针寄存器,它指向内存中当前栈的顶端。该栈含有已经进入并且还没有退出的每一个过程的中间数据,在堆栈中保存了有关的输入参数、局部变量以及那些没有保存在寄存器中的临时变量。

第三个寄存器是程序状态字(Program Status Word,PSW)寄存器。这个寄存器包含了条件码位(它由比较指令设置)、CPU 优先级、模式(用户态或核心态)以及各种其他的控制位。用户程序通常读取整个 PSW,但是,只对其中的少量字段进行写操作。在系统调用和 I/O 操作中,PSW 的作用非常重要。

在多道程序设计中,操作系统经常会中止正在运行的某个程序并启动另外一个程序。每次它停止一个正在运行的程序时,操作系统必须保存所有寄存器的内容,这样在稍后该程序被再次运行时,可以把这些寄存器的内容重新装入。

为了改善性能,CPU 设计师早就放弃了一次取指、译码和执行一条指令的简单模型,现在许多 CPU 具有同时取出多条指令的机制。例如,一个 CPU 可以有分开的取指单元、译码单元和执行单元,于是当它执行指令 n 时,它还可以对指令 $n+1$ 译码,并且读取指令 $n+2$,这样的一种机制称为流水线(Pipeline),图 1-3(a)是一个有着三个阶段的流水线示意图。更长的流水线也是常见的。在多数的流水线设计中,一旦一条指令被取进流水线中,它就必须被执行完毕,即便前一条取出的指令是条件转移,它也必须被执行完毕。流水线机制使得编译器和操作系统的编写者很头痛,因为它造成了在机器中实现这些软件的复杂性问题。

比流水线更先进的设计是一种超标量 CPU,如图 1-3(b)所示。在这种设计中,有多个

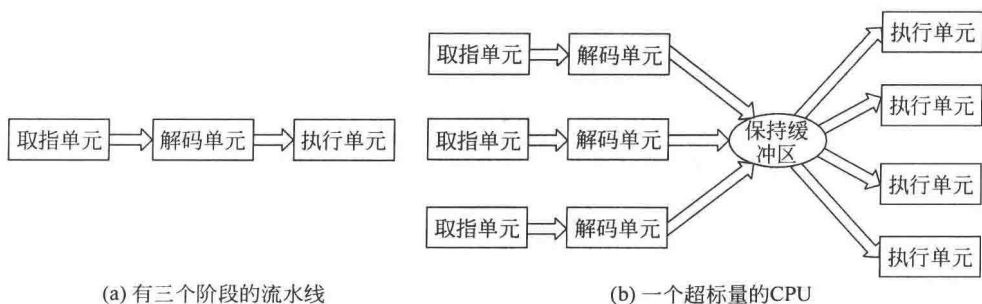


图 1-3 流水线与超标量 CPU

执行单元,例如,一个执行单元用于整数算术运算,一个执行单元用于浮点算术运算,而另一个用于布尔运算。两个或更多的指令被同时取指、译码并转储到一个保持缓冲区中,直至它们执行完毕。只要有一个执行单元空闲,就检查保持缓冲区中是否还有可处理的指令,如果有,就把指令从缓冲区中移出并执行。这种设计存在一种隐含的作用:程序的指令经常不按顺序执行。在多数情况下,硬件负责保证这种运算结果与顺序执行指令时的结果相同。但是,仍然有部分令人烦恼的复杂情形被强加给操作系统处理,在后面同步信号量的内容中会讨论这种情况。

除了用在嵌入式系统中的非常简单的 CPU 之外,多数 CPU 都有两种模式,即核心态(管态)和用户态(目态),在 PSW 寄存器中有一个模式位控制这两种模式。当 CPU 执行操作系统的代码时,CPU 处于核心态,CPU 可以执行指令集中的每一条指令,并且使用硬件的每一种功能,访问整个硬件。相反,当 CPU 执行用户程序的代码时,CPU 处于用户态,仅允许执行整个指令集的一个子集和访问所有功能的一个子集。一般而言,在用户态中有关 I/O 和内存保护的所有指令是禁止的。当然,将 PSW 寄存器中的模式位设置成核心态也是禁止的。

为了从操作系统中获得服务,用户程序必须使用系统调用(System Call),系统调用陷入内核(Kernel)并调用操作系统。TRAP 指令从用户态切换成核心态,并启用操作系统。当有关工作完成之后,在系统调用后面的指令处把控制权返回给用户程序。在 1.6 节中将具体解释系统调用的过程。

2. 存储器

计算机的第二个主要部件就是存储器。在理想的情形下,存储器应该快速(快于执行一个指令,这样 CPU 不会受到存储器的限制)、容量大并且非常便宜。但是目前的技术无法同时满足所有这三个目标,于是采用了不同的处理方式。

1) 存储器系统结构

存储器系统以一种分层次的结构构造,如图 1-4 所示。

(1) 存储器系统的顶层是 CPU 的寄存器。它们用与 CPU 相同的材料和工艺制成,所以其存取速度和 CPU 的运行速度一样快。因此,访问它们是没有延时的。其典型的存储容量小于 1KB。程序必须在软件中自行管理这些寄存器,决定如何使用它们。

(2) 接下来的一层是高速缓存,它多数由硬件控制。高速缓存被分割成高速缓存行

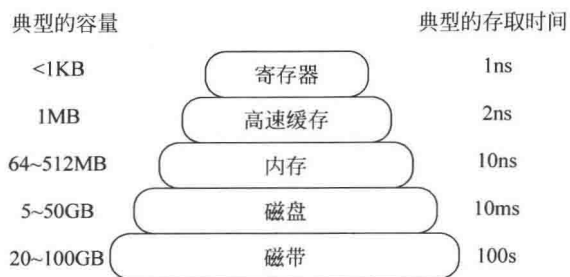


图 1-4 典型的存储层次结构(数字是粗略的估计)

(Cache Line),其典型大小为 64 字节,地址 0~63 对应高速缓存行 0,地址 64~127 对应高速缓存行 1,以此类推。最常用的高速缓存行放置在 CPU 内部的高速缓存中或者非常接近 CPU。当某个程序需要读一个存储字时,高速缓存硬件检查所需要的高速缓存行是否在高速缓存中。如果在,称为高速缓存命中,高速缓存满足了请求,就不需要通过总线把访问请求送往内存。高速缓存命中通常需要两个时钟周期。高速缓存未命中就必须访问内存,这就需要付出大量的时间代价。由于高速缓存的价格昂贵,所以其容量有限。有些机器具有两级甚至三级高速缓存,每一级高速缓存都比前一级慢且容量大。

(3) 内存(又称主存),这是存储系统的主力。内存通常称为随机访问存储器(Random Access Memory, RAM)。目前,内存的容量在几百兆字节至几个吉字节之间,并且容量正在迅速增长。所有不能在高速缓存中得到满足的访问请求都转往内存。

(4) 磁盘(硬盘),也称为外存。磁盘与 RAM 相比,每个二进制位的成本低了两个数量级,而且容量也大了两个数量级。磁盘唯一的问题是随机访问数据的时间大约慢了三个数量级。其低速的原因是由于磁盘的机械装置,如图 1-5 所示。

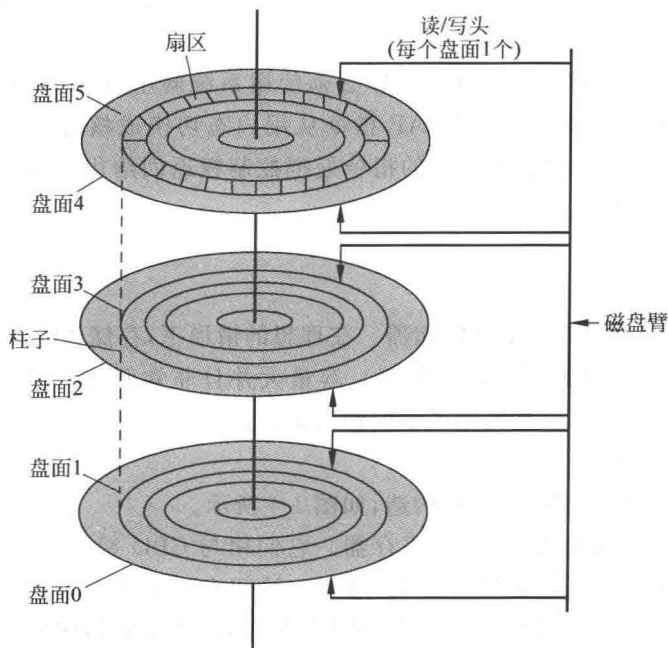


图 1-5 磁盘驱动器的结构