

国外计算机科学教材系列

计算机组织与结构

——性能设计（第五版）

Computer Organization and Architecture

Designing for Performance, Fifth Edition

[美] William Stallings 著

张昆藏 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
URL: <http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

计算机组织与结构——性能设计

(第五版)

Computer Organization and Architecture
Designing for Performance
Fifth Edition

[美] William Stallings 著

张昆藏 等译

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书是一本反映当代计算机系统结构主流技术和最新技术进步的优秀教材。作者以 Intel Pentium II 和 PowerPC 作为主要考察实例,将当代计算机系统性能设计问题和计算机组织与结构的基本概念及原理紧密联系起来。本书详细讨论了 CPU 性能设计、指令流水线、整数和浮点数运算、微程序设计的控制器;介绍了 RISC 处理器和超标量处理器,并介绍了最新的 IA-64 结构;介绍了 PCI 新型系统总线规范;介绍了 Cache 存储器组织、Cache 一致性问题 and 著名的 MESI 协议;讨论了 DRAM 技术的最新进展和存储体交错存取技术;讨论了冗余磁盘阵列 RAID 技术、SCSI 并行 I/O 总线和 FireWire 串行总线技术。最后,论述多个处理器的并行组织问题,这包括:对称多处理机、机群系统、非均匀存储器存取 (NUMA) 系统以及向量计算问题。本书可以作为高校计算机科学与技术专业的计算机系统结构课程的教材;对从事计算机研究与开发的技术人员,也是一本有指导意义的参考读物。

Authorized translation from the English language edition published by Prentice-Hall, Inc. Copyright © 2000.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Simplified Chinese language edition published by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2001.

本书中文简体专有翻译出版版权由 Pearson 教育集团所属的 Prentice-Hall 授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构——性能设计(第五版)/(美)斯大林(Stallings, W.)著;张昆藏等译.

-北京:电子工业出版社,2001.5

(国外计算机科学教材系列)

书名原文:Computer Organization and Architecture: Designing for Performance, 5e

ISBN 7-5053-6674-2

I.计... II.①斯...②张... III.计算机体系结构-系统性能-系统设计 IV.TP302.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 029044 号

丛 书 名:国外计算机科学教材系列

书 名:计算机组织与结构——性能设计(第五版)

原 书 名:Computer Organization and Architecture: Designing for Performance (Fifth Edition)

著 者:[美] William Stallings

译 者:张昆藏 等

责任编辑:杨福平

排版制作:今日电子公司制作部

印 刷 者:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036 电话:68279077

经 销:各地新华书店

开 本:787 × 1092 1/16 印张:34.75 字数:556 千字

版 次:2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-6674-2

TP · 3720

定 价:50.00 元

版权贸易合同登记号 图字:01-2000-3476

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。

出版说明

随着 21 世纪的到来, 计算机技术的发展更加迅猛, 在各行各业的应用更加广泛, 越来越多的高等院校增设了有关计算机科学的课程内容, 或对现有计算机课程设置进行了适当调整, 以紧跟前沿技术。在这个教学体系和学科结构变革的大环境下, 对适合不同院系、不同专业、不同层次的教材的需求量与日俱增。此时, 如果能够借鉴、学习国外一流大学的先进教学体系, 引进具有先进性、实用性和权威性的国外一流大学计算机教材, 汲取其精华, 必能更好地促进中国高等院校教学的全面改革。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年成立以来, 一直致力于教材的出版, 所出版的计算机教材为美国众多大学采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著, 已翻译成多种文字在世界各地的大学中使用, 成为全人类的共同财富。许多蜚声世界的教授、学者都是该公司的资深作者, 如道格拉斯·科默 (Douglas E. Comer)、威廉·斯大林 (William Stallings) 等。早在 1997 年, 电子工业出版社就从 Prentice Hall 引进了一套计算机英文版专业教材, 并将其翻译出版, 同时定名为《国外计算机科学教材系列》(下称: 第一轮教材)。截至 2000 年 12 月, 该系列教材已出版 23 种, 深受读者欢迎, 被许多大学选为高年级学生和研究生教材或参考书。

4 年过去了, 已出版的教材中多数已经有了后续版本。因此, 我们开始设计新一轮教材 (第二轮教材) 的出版, 成立了由我国计算机界著名专家和教授组成的“教材出版委员会”, 并结合第一轮教材的使用情况和师生反馈意见, 组织了第二轮《国外计算机科学教材系列》出版工作。

第二轮教材的出版原则为:

1. 引进 Prentice Hall 出版公司 2000 年和 2001 年推出的新版教材, 作为替换版本。
2. 在著名高校教授的建议下, 除了从 Prentice Hall 新选了一些教材之外, 还从 McGraw-Hill 和 Addison Wesley Longman 等著名专业教材出版社、麻省理工学院出版社和剑桥大学出版社等著名大学出版社引进了一些经典教材, 作为增补版本。
3. 对于第一轮中无新版本的优秀教材, 我们将其作为延用版本, 直接进入第二轮使用。
4. 对于第一轮中翻译质量较好且无新版本的教材, 我们将其进行了修订, 也作为延用版本, 进入第二轮使用。

这次推出的教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多, 既有本科专业课程教材, 也有研究生课程教材, 以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求。广大师生可自由选择 and 自由组合使用。

按照计划, 本轮教材规划出版 37 种, 其中替换版本 8 种, 新增版本 14 种, 延用版本 15 种。教材内容涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。本轮教材计划于 2001 年 7 月前全部出版。教材的使用年限平均为 3 年。我们还将陆续推出一些教材的参考课件, 希望能为授课老师提供帮助。

为了保证本轮教材的选题质量和翻译质量, 我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通

大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本轮教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师和博士,也有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师。

在本轮教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括:

1. 对于新选题和新版本进行了全面论证。
2. 对于延用版本,认真审查了前一版本教材,修改了其中的印刷错误。
3. 对于译者和编辑的选择,达到了专业对口。
4. 对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,一一做了修改。
5. 对于翻译、审校、编辑、排版、印刷质量进行了严格的审查把关。

通过这些工作,保证了本轮教材的质量较前一轮有明显的提高。相信读者一定能够从字里行间体会到我们的这些努力。

今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

由于我们对国际计算机科学、我国高校计算机教育的发展存在认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议。

电子工业出版社
2001 年春

教材出版委员会

- | | | |
|----|-----|---|
| 主任 | 杨芙清 | 北京大学教授
中国科学院院士
北京大学信息与工程学部主任
北京大学软件工程研究所所长 |
| 委员 | 王 珊 | 中国人民大学信息学院院长、教授 |
| | 胡道元 | 清华大学计算机科学与技术系教授
国际信息处理联合会通信系统中国代表 |
| | 钟玉琢 | 清华大学计算机科学与技术系教授
中国计算机学会多媒体专业委员会主任 |
| | 谢希仁 | 中国人民解放军理工大学教授
全军网络技术研究中心主任、博士生导师 |
| | 尤晋元 | 上海交通大学计算机科学与工程系教授
上海分布计算技术中心主任 |
| | 施伯乐 | 上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授
中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长 |
| | 邹 鹏 | 国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师
教育部计算机基础教学课程指导委员会副主任委员 |
| | 张昆藏 | 青岛大学信息工程学院教授 |

写在本书的前面

Stallings 是一位非常著名的计算机专业教授和教材作家,他所著的《计算机组织与结构》一书畅销欧美,经久不衰。在美国,该书普遍被选为大学教材,其第4版曾荣获“全美优秀计算机科学图书”1996年度奖。在征求多名此领域专家、学者对第4版的审阅意见基础上,Stallings 又对该书进行了修改。第5版内容更加精练,尤其包括了IA-64新结构和SMP、机群系统、NUMA系统这些最新系统进步。总之,该书确实是一本能反映当代计算机系统结构主流技术和最新成就的优秀教材和专业参考书。

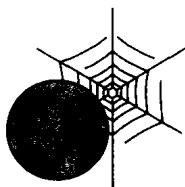
第4版的中文译本曾由清华大学出版社于1999年出版。当时,参加翻译工作的有三位同志:上海交通大学经致远博士负责序言和第1章~第3章;上海工程技术大学施一萍副教授负责第4章~第7章和附录;青岛大学张昆藏教授负责第8章~第16章和全书的统校。译文被清华大学出版社认定为优秀。

这次,电子工业出版社竞先由Prentice Hall公司购得第5版的中文版权,并邀请张昆藏教授对全书进行统译。在书籍的准备、翻译、审校和编辑过程中,不仅翻译了第5版所有新增的内容,而且在第4版译本的基础上对全书进行了仔细的修改、校订,修正了上一版译文中许多不正确或不全面的部分,力求以流畅的中文正确、准确地表达原著的内容和风格。

本书译者曾用此书(第4版)原著影印本作为教材来讲授计算机系统结构课程,并两次参加了该书的翻译工作。本书新版有如下三个特点:一是结构清晰、逐步深入、系统性强;二是内容新颖、学术水平高;三是全书以Pentium II作为CISC处理器典型产品,以PowerPC作为RISC处理器典型产品,并组织了当代许多著名的机器作为讲述的实例。此外,各章之后都附有习题,作者还为此书建立了Web站点,教师手册推荐了课程课题,并免费提供了Simple Scalar仿真软件包。这一切,无疑是对教学的有力支持。译者建议:此书可作为我国高校计算机科学与技术专业的计算机系统结构课程的教材;对于软件专门化,此书可作为计算机原理和计算机系统结构两门课程的教材。

对于以工作站或PC为工作环境的广大计算机用户来说,阅读此书能收到理论联系实际的效果。对于从事计算机研究与开发的技术人员来说,此书是一本有指导意义的参考读物。

本书编、译者



本书的 Web 站点

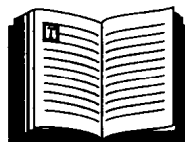
位于 <http://www.shore.net/~ws/COA5e.html> 的 Web 站点为师生使用本书提供了支持, 包括如下主要方面。



课程支持材料

课程支持材料包括:

- 以 PDF 格式存储的本书的副本;
- PDF 格式的课程要点详解, 适合于向学生通告或作为视图演示;
- 讲演可用的一组 PowerPoint 幻灯片;
- 本书的勘误表, 最多每月修改一次。



COA 课程

COA5e Web 站点包括为使用本书进行课程教学的 Web 站点的链接。这些站点能提供关于课程计划和进度的有益建议, 以及几个有用的通告和其他资料。



有用的 Web 站点

COA5e Web 站点也包括对相关 Web 站点的链接, 按章组织。此连接覆盖了很广的题目和文章, 并使学生适时地、更深入地探讨问题。



因特网电子邮件信箱列表

维护着一个因特网电子邮箱表; 这样, 使用本书的教师能与作者或彼此之间交换信息、建议和问题。此 Web 站点提供了预定信息。



仿真工具

此 Web 站点包括了对 Simple Scalar Web 站点的链接。这是一个仿真工具, 能用于分析处理器设计问题的实验。这个站点包括可下载的软件和背景信息。教师手册包括了有关装入和使用此软件的更多信息和推荐的学生课题。详见附录 B。

序 言

目标

这是一本关于计算机结构和功能的书,其目标是尽可能清楚完整地给出当今计算机系统的性质和特征。

这个任务具有挑战性,主要有如下几个原因。首先,有非常多的产品类型都冠以“计算机”的名字,从只值几美元的单片机到价值几千万美元的超级计算机。多样性不仅表现在价格上,而且也表现在规模、性能和应用上。其次,改变的迅猛已成为持续不断发展的计算机技术的特征。这些改变覆盖了计算机技术的所有方面,从用于构造计算机部件的底层的集成电路技术,到组合这些部件的并行组织概念的日益广泛使用。

尽管计算机领域存在多样性和改变的迅速性,但某些基本概念始终不渝地、贯通一切地在起作用。当然,这些概念的应用要取决于当前的技术状况和设计者的性能/价格目标。本书的目的在于深入地讨论计算机组织与结构的基本概念和原理,并将它们运用到当代计算机设计问题上去。

副标题(指性能设计-译者注)暗示了本书的主题和采用的方法。设计计算机系统以达到高性能从来都是重要的,但这一要求从来没有像今天这样强烈和难以满足。包括处理器速度、存储器速度、存储器容量和互连的数据速率在内的计算机系统的所有基本性能特征都在迅速提高;而且,是以不同速率在提高。这就使设计一个实现性能最大化并利用所有因素的平衡系统变得非常困难。于是,计算机设计越来越成为一种博弈,它要改变一个领域的结构和功能来补偿另一领域的性能失配。将会看到,这种博弈在贯穿本书的许多设计中始终在起作用。

像任何系统一样,计算机系统由一组相互关联的部件组成。通过结构(部件互连方式)和功能(各个部件的操作)最能表征一个系统。另外,计算机的组织是层次化的。通过将主要部件分解成各主要子部件,并描述各主要子部件的结构和功能,来进一步描述各主要部件。为清楚和易于理解,本书由上至下地描述这种层次化组织:

- **计算机系统:** 主要部件是处理器、存储器和 I/O。
- **处理器:** 主要部件是控制器、寄存器、ALU 和指令执行单元。
- **控制器:** 主要部件是控制存储器、微指令顺序逻辑和寄存器。

本书尽力做到以使新资料保持在清新的上下文中的方式来提供资料,这使读者不会在新资料面前变得茫然,而且应该比由下至上的方法能提供更好的推进说明。

考查系统的两个观点是,体系结构(机器语言程序员可见的系统属性)和组织(实现体系结构的操作单元和它们的互连),它们将自始至终贯穿于所有讨论之中。

使用的范例

本书选用许多不同机器的例子,来阐明和增援所提出的概念。大量例子,但不是全部,是来自两个计算机系列: Intel Pentium II 和 PowerPC (最近推出的 Pentium III 基本上同于 Pentium II,只是扩展了多媒体指令集)。这两种系统一起包括了当前计算机的主要设计趋势。Pentium II 基本上是一

种复杂指令集计算机（CISC），但带有一个 RISC 内核；而 Power PC 基本上是一种精简指令集计算机（RISC）。两种系统都利用了超标量设计原理，并都支持多个处理器的配置。

本书的安排

本书组织成 5 个部分：

第一部分 概述：提供对本书其余部分的浏览和明确各部分的上下文关系。

第二部分 计算机系统：计算机系统由处理器、存储器、I/O 模块以及这些主要部件之间的互连机构所组成。这部分依次考察所有这些方面，只是处理器太复杂，所以留作第三部分单独考察。

第三部分 中央处理器：CPU 由控制器、寄存器、算术逻辑单元、指令执行单元以及这些部件之间的互连结构所组成。这部分还介绍了如指令集设计和数据类型这类体系结构问题，以及如流水化这类组织问题。

第四部分 控制器：是控制处理器其余各个部件的处理器部分，这里考察控制器的功能和使用微程序设计的实现。

第五部分 并行组织：最后这一部分考察涉及到多个处理器使用的某些问题和向量处理的组织问题。

本书第一部分中第 1 章结尾处给出逐章更详细的摘要。

因特网服务

本书的 Web 站点能为教师和学生提供支持，这包括与其他有关站点的链接、以 PDF（Adobe Acrobat）格式提供的本书插图和本书因特网邮箱表的签到信息。Web 主页是在 [http:// www.shore.net/~ws/COA5e.html](http://www.shore.net/~ws/COA5e.html)；详见本序言之前的“本书 Web 站点”。已建立一个因特网邮箱表；这样，使用本书的教师能彼此之间或与作者之间交换信息、建议和问题。只要发现印刷错误或其他错误，您可使用位于 [http:// www.william Stallings.com](http://www.william Stallings.com) 的本书勘误表。

本书的教学用课题

许多教师都清楚，课题训练是计算机组织和体系结构课程的重要部分，通过它可使学生得到实践锻炼并强化他们由书中所学到的概念。为在课程中列入课题，本书提供了以前未有的支持。教师手册不仅包括如何组织课题和向学生分派课题的指导，而且包括了一组覆盖本书广泛内容的推荐课题：

- **研究性课题：**手册包括了一系列的研究要求，指导学生研究 Web 网上或文献中的课题并写出报告。
- **仿真性课题：**手册提供了对使用 Simple Scalar 仿真软件包的支持，它能用于探索计算机组织和体系结构的设计问题。
- **阅读/报告类题目：**手册包括了一个文献论文列表，每章有一篇或几篇，可要求学生阅读并写出简短报告。

详细情况请见附录 B。

第5版的新内容

自第4版发行后的4年来,这一领域出现了不断的革新和进步。在第5版中我尽力捕捉这些变化,同时保持对整个领域广泛而综合的介绍。为开始这个重新审阅过程,曾请几位此领域的教授对本书的第4版进行广泛的评论。结果是第5版在许多方面叙述得更明了紧凑,图解也进行了改进,而且加入了许多正在接受市场考验的新设计问题。

除了使本书更便于教学和对用户更友好所做的提炼之外,本书已有许多实质性的变化。大致同样的章节组织保留下来了,但许多资料重新改写了并添加了许多新资料。某些最值得注意的修改包括有:

- **光存储器:** 此部分内容已被扩展,包括了磁-光存储设备。
- **超标量设计:** 此部分内容也被扩展,包括了更详细的讨论和Ultra Sparc II 与 MIPS R10000 两个新例子。
- **多媒体指令集:** 考察了用于 Pentium II 和 Pentium III 的 MMX 指令集。
- **断定执行和推测装入:** 这些最新概念的讨论是第5版最具特色的部分,这些新概念是 Inter 公司和 Hewlett-Packard 公司联手设计的 IA-64 新结构的核心。
- **SMP、机群系统和 NUMA 系统:** 并行组织这一章已完全重新改写了,新内容包括对称多处理机(SMP)、机群系统和非均匀存储器存取(NUMA)系统的详细描述,以及它们之间的比较。
- **教师支持的扩充:** 正如前面所提到的,本书的 Web 站点为使用本书进行教学提供了广泛的支持,包括许多课题的推荐。

致 谢

这一新的版本得到了许多人的帮助,他们慷慨地付出了自己的时间和知识。下面这些专家审阅了第4版,并提出了许多建设性的意见:明尼苏达大学的 Yew Pen-Chung; UCLA 的 Yuval Tamir; SUNY Buffalo 的 Arthur Wrebner、Bina Ramamurthy; 明尼苏达大学的 Kitty Niles 和自动化研究公司的 Marcus Goncalves。Inter 公司的 David Lambert 审阅了 Pentium 材料。如下这些专家审阅了第5版文稿: Atari Games 公司的 Jay Kubicky、Mike Albaugh; Silicon Graphics 公司的 Tom Callaway; Lehigh University 的 James Stine; Gabriel Dos Reis of Ecole Normale Supérieure de Cachan; 以及 Rutgers 公司的 Rick Thomas。IBM 德国公司的 Bernd Leppla 帮助我理解 IBM 大型机的 SMP 策略。Appalachian 州立大学的 Cindy Norris 教授提供了某些问题。威斯康星大学的 Todd Bezenek 和 Lehigh 大学的 James Stine 为教师手册准备了 SimpleScalar 问题, Todd 还提供了 SimpleScalar 用户指南。

William Stallings

目 录

第一部分 概述	1
第 1 章 导论	2
1.1 计算机组织和体系结构	2
1.2 结构和功能	3
1.2.1 功能	3
1.2.2 结构	4
1.3 本书内容的组织	8
1.4 因特网和万维网资源	10
第 2 章 计算机的演变和性能	12
2.1 计算机简史	12
2.1.1 第一代：真空管	12
2.1.2 第二代：晶体管	18
2.1.3 第三代：集成电路	19
2.1.4 以后的几代	24
2.2 性能设计	27
2.2.1 微处理器的速度	28
2.2.2 性能平衡	28
2.3 Pentium 和 PowerPC 的进展	30
2.3.1 Pentium	30
2.3.2 PowerPC	31
2.4 参考文献和 Web 站点	32
2.5 习题	33
第二部分 计算机系统	35
第 3 章 系统总线	36
3.1 计算机的部件	36
3.2 计算机功能	38
3.2.1 取指周期和执行周期	39
3.2.2 I/O 功能	48
3.3 互连结构	48
3.4 总线互连	50
3.4.1 总线结构	50

11

3.4.2	多总线分级结构	51
3.4.3	总线设计的要素	53
3.5	PCI	57
3.5.1	总线结构	57
3.5.2	PCI 命令	60
3.5.3	数据传送	61
3.5.4	仲裁	63
3.6	参考文献和 Web 站点	64
3.7	习题	65
附录 3A	时序图	67
第 4 章	内部存储器	68
4.1	计算机存储系统概述	68
4.1.1	存储系统的特性	68
4.1.2	存储器分层结构	70
4.2	半导体主存储器	73
4.2.1	半导体随机存储器分类	73
4.2.2	组织	75
4.2.3	芯片逻辑	75
4.2.4	芯片封装	77
4.2.5	模块组织	78
4.2.6	纠错	79
4.3	Cache 存储器	83
4.3.1	原理	83
4.3.2	Cache 的设计要素	85
4.4	Pentium II 和 PowerPC 的 Cache 组织	94
4.4.1	Pentium II 的 Cache 组织	94
4.4.2	PowerPC 的 Cache 结构	97
4.5	高级 DRAM 结构	98
4.5.1	增强型 DRAM	98
4.5.2	带 Cache 的 DRAM	99
4.5.3	同步 DRAM	99
4.5.4	Rambus DRAM	99
4.5.5	RamLink	100
4.6	参考文献和 Web 站点	102
4.7	习题	102
附录 4A	两级存储器的性能特点	105
4A.1	局部性	105
4A.2	两级存储器的操作	107
4A.3	性能	107

第 5 章 外部存储器	111
5.1 磁盘	111
5.1.1 数据组织和格式化	111
5.1.2 物理特性	113
5.1.3 磁盘性能参数	115
5.2 RAID (磁盘冗余阵列)	117
5.2.1 RAID 0 级	118
5.2.2 RAID 1 级	122
5.2.3 RAID 2 级	122
5.2.4 RAID 3 级	123
5.2.5 RAID 4 级	123
5.2.6 RAID 5 级	124
5.2.7 RAID 6 级	124
5.3 光存储器	124
5.3.1 CD-ROM	125
5.3.2 WORM (一写多读光盘)	127
5.3.3 可擦光盘	127
5.3.4 DVD	128
5.3.5 光-磁盘	128
5.4 磁带	128
5.5 参考文献和 Web 站点	129
5.6 习题	129
第 6 章 输入/输出	131
6.1 外部设备	131
6.1.1 键盘/显示器	133
6.1.2 磁盘驱动器	133
6.2 I/O 模块	135
6.2.1 模块功能	135
6.2.2 I/O 模块结构	136
6.3 编程控制的 I/O	137
6.3.1 概述	138
6.3.2 I/O 命令	138
6.3.3 I/O 指令	138
6.4 中断驱动的 I/O	140
6.4.1 中断处理	141
6.4.2 设计问题	142
6.4.3 Intel 82C59A 中断控制器	144
6.4.4 Intel 82C55A 可编程外部接口	144
6.5 存储器直接存取 (DMA)	146
6.5.1 编程控制的 I/O 和中断驱动 I/O 的不足	146

6.5.2 DMA 功能	148
6.6 I/O 通道和处理器	150
6.6.1 I/O 功能的演变	150
6.6.2 I/O 通道的特性	150
6.7 外部接口: SCSI 和 FireWire	151
6.7.1 接口的类型	151
6.7.2 点对点和多点配置	152
6.7.3 小型计算机系统接口 (SCSI)	152
6.7.4 FireWire 串行总线	158
6.8 参考文献和 Web 站点	162
6.9 习题	163
第 7 章 操作系统支持	166
7.1 操作系统概述	166
7.1.1 操作系统的目标和功能	166
7.1.2 操作系统的类型	168
7.2 调度	175
7.2.1 长项调度	176
7.2.2 中项调度	176
7.2.3 短项调度	176
7.3 存储管理	180
7.3.1 交换	180
7.3.2 分区	181
7.3.3 分页	183
7.3.4 虚拟存储器	185
7.3.5 分段	188
7.4 Pentium II 和 PowerPC 的存储管理	189
7.4.1 Pentium II 的存储管理硬件	189
7.4.2 PowerPC 存储管理硬件	191
7.5 参考文献和 Web 站点	195
7.6 习题	196
第三部分 中央处理器	199
第 8 章 计算机算法	200
8.1 算术和逻辑单元 (ALU)	200
8.2 整数表示	201
8.2.1 符号 - 幅值表示法	201
8.2.2 2 的补码表示法	202
8.2.3 不同位长间的转换	204
8.2.4 定点表示法	205

8.3 整数算术运算	205
8.3.1 取负	206
8.3.2 乘法	208
8.3.3 除法	215
8.4 浮点表示	218
8.4.1 原理	218
8.4.2 二进制浮点表示的 IEEE 标准	221
8.5 浮点算术运算	222
8.5.1 浮点加法和减法	223
8.5.2 浮点乘法和除法	225
8.5.3 浮点运算的精度问题	226
8.5.4 二进制浮点算术的 IEEE 标准	228
8.6 参考文献和 Web 站点	230
8.7 习题	230
附录 8A 数值系统	232
8A.1 十进制系统	232
8A.2 二进制系统	233
8A.3 二进制与十进制间的转换	234
8A.4 十六进制表示法	236
第 9 章 指令集：特征和功能	238
9.1 机器指令特征	238
9.1.1 机器指令要素	238
9.1.2 指令表示	239
9.1.3 指令类型	240
9.1.4 地址数目	241
9.1.5 指令集设计	243
9.2 操作数类型	243
9.2.1 数值	243
9.2.2 字符	244
9.2.3 逻辑数据	244
9.3 Pentium II 和 PowerPC 数据类型	245
9.3.1 Pentium II 数据类型	245
9.3.2 PowerPC 数据类型	245
9.4 操作类型	247
9.4.1 数据传送类	248
9.4.2 算术运算类	249
9.4.3 逻辑类	249
9.4.4 转换类	251
9.4.5 输入/输出类	252
9.4.6 系统控制类	252