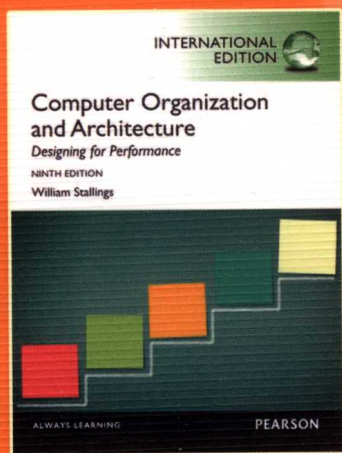


计算机组织与结构

——性能设计（第九版）

Computer Organization and Architecture
Designing for Performance, Ninth Edition



英文版

[美] William Stallings 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<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

(第九版) (英文版)

Computer Organization and Architecture
Designing for Performance
Ninth Edition

[美] William Stallings 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

作者以Intel x86系列通用处理器和ARM系列嵌入式处理器作为主要考察实例贯穿全书,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。通过介绍计算机的发展与演变引入性能评价和性能设计的概念,然后以自顶而下的方式逐层展开介绍计算机系统、存储器体系结构、I/O及互连、计算机算术、指令集体系结构的设计及其实现技术,最后还介绍了处理器的各种并行组织技术。全书力求追踪新技术步伐,增加了高速点到点互连技术、PCIe互连结构、固态驱动器与闪存、当今主机技术等新技术的讨论。

本书可以作为高等院校信息领域的本科生、研究生和教师的教材或教学参考书,对于从事计算机研究与开发的技术人员,也是一本颇具指导意义的参考读物。

Authorized Reprint from the English language edition, entitled *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*, Ninth Edition by William Stallings, published by Pearson Education, Ltd., Copyright © 2012 by Pearson Education, Inc.

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 Pearson Education, Inc.

ENGLISH language edition published by PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY. Copyright © 2018.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale and distribution only in the mainland of China exclusively(except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书英文影印版专有出版权由 Pearson Education (培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书在中国大陆地区出版,仅限在中国大陆发行。

本书贴有 Pearson Education (培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2017-4579

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构:性能设计:第九版 = *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance, Ninth Edition*: 英文 / (美)威廉·斯托林斯(William Stallings)著. —北京:电子工业出版社,2018.7

国外计算机科学教材系列

ISBN 978-7-121-32439-0

I. ①计… II. ①威… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材—英文 IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第190342号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×980 1/16 印张:49 字数:1427千字

版 次:2012年7月第1版(原著第8版)

2018年7月第2版(原著第9版)

印 次:2018年7月第1次印刷

定 价:129.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: classic-series-info@phei.com.cn。

- 4.4 Pentium 4 Cache Organization 163
 - 4.5 ARM Cache Organization 166
 - 4.6 Recommended Reading 168
 - 4.7 Key Terms, Review Questions, and Problems 169
- Appendix 4A Performance Characteristics of Two-Level Memories 174

Chapter 5 Internal Memory 181

- 5.1 Semiconductor Main Memory 182
- 5.2 Error Correction 192
- 5.3 Advanced DRAM Organization 196
- 5.4 Recommended Reading 202
- 5.5 Key Terms, Review Questions, and Problems 203

Chapter 6 External Memory 207

- 6.1 Magnetic Disk 208
- 6.2 RAID 217
- 6.3 Solid State Drives 227
- 6.4 Optical Memory 232
- 6.5 Magnetic Tape 237
- 6.6 Recommended Reading 239
- 6.7 Key Terms, Review Questions, and Problems 240

Chapter 7 Input/Output 243

- 7.1 External Devices 245
- 7.2 I/O Modules 248
- 7.3 Programmed I/O 250
- 7.4 Interrupt-Driven I/O 254
- 7.5 Direct Memory Access 262
- 7.6 I/O Channels and Processors 268
- 7.7 The External Interface: Thunderbolt and Infiniband 270
- 7.8 IBM zEnterprise 196 I/O Structure 278
- 7.9 Recommended Reading 282
- 7.10 Key Terms, Review Questions, and Problems 282

Chapter 8 Operating System Support 287

- 8.1 Operating System Overview 288
- 8.2 Scheduling 299
- 8.3 Memory Management 305
- 8.4 Pentium Memory Management 316
- 8.5 ARM Memory Management 321
- 8.6 Recommended Reading 326
- 8.7 Key Terms, Review Questions, and Problems 326

PART THREE ARITHMETIC AND LOGIC 331

Chapter 9 Number Systems 331

- 9.1 The Decimal System 332
- 9.2 Positional Number Systems 333
- 9.3 The Binary System 334
- 9.4 Converting Between Binary and Decimal 334

9.5	Hexadecimal Notation	337
9.6	Recommended Reading	339
9.7	Key Terms and Problems	339
Chapter 10	Computer Arithmetic	341
10.1	The Arithmetic and Logic Unit	342
10.2	Integer Representation	343
10.3	Integer Arithmetic	348
10.4	Floating-Point Representation	363
10.5	Floating-Point Arithmetic	371
10.6	Recommended Reading	380
10.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	381
Chapter 11	Digital Logic	386
11.1	Boolean Algebra	387
11.2	Gates	390
11.3	Combinational Circuits	392
11.4	Sequential Circuits	410
11.5	Programmable Logic Devices	419
11.6	Recommended Reading	423
11.7	Key Terms and Problems	423
PART FOUR THE CENTRAL PROCESSING UNIT 427		
Chapter 12	Instruction Sets: Characteristics and Functions	427
12.1	Machine Instruction Characteristics	428
12.2	Types of Operands	435
12.3	Intel x86 and ARM Data Types	437
12.4	Types of Operations	440
12.5	Intel x86 and ARM Operation Types	453
12.6	Recommended Reading	463
12.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	463
	Appendix 12A Little-, Big-, and Bi-Endian	469
Chapter 13	Instruction Sets: Addressing Modes and Formats	473
13.1	Addressing Modes	474
13.2	x86 and ARM Addressing Modes	481
13.3	Instruction Formats	486
13.4	x86 and ARM Instruction Formats	495
13.5	Assembly Language	499
13.6	Recommended Reading	501
13.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	501
Chapter 14	Processor Structure and Function	505
14.1	Processor Organization	506
14.2	Register Organization	508
14.3	Instruction Cycle	513
14.4	Instruction Pipelining	517
14.5	The x86 Processor Family	534

14.6	The ARM Processor	542
14.7	Recommended Reading	548
14.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	549
Chapter 15 Reduced Instruction Set Computers 553		
15.1	Instruction Execution Characteristics	555
15.2	The Use of a Large Register File	560
15.3	Compiler-Based Register Optimization	565
15.4	Reduced Instruction Set Architecture	567
15.5	RISC Pipelining	573
15.6	MIPS R4000	578
15.7	SPARC	584
15.8	RISC Versus CISC Controversy	590
15.9	Recommended Reading	591
15.10	Key Terms, Review Questions, and Problems	591
Chapter 16 Instruction-Level Parallelism and Superscalar Processors 595		
16.1	Overview	596
16.2	Design Issues	601
16.3	Pentium 4	611
16.4	ARM Cortex-A8	617
16.5	Recommended Reading	625
16.6	Key Terms, Review Questions, and Problems	627
PART FIVE PARALLEL ORGANIZATION 633		
Chapter 17 Parallel Processing 633		
17.1	Multiple Processor Organizations	635
17.2	Symmetric Multiprocessors	637
17.3	Cache Coherence and the MESI Protocol	641
17.4	Multithreading and Chip Multiprocessors	648
17.5	Clusters	655
17.6	Nonuniform Memory Access	662
17.7	Vector Computation	666
17.8	Recommended Reading	678
17.9	Key Terms, Review Questions, and Problems	679
Chapter 18 Multicore Computers 686		
18.1	Hardware Performance Issues	687
18.2	Software Performance Issues	691
18.3	Multicore Organization	696
18.4	Intel x86 Multicore Organization	698
18.5	ARM11 MPCore	701
18.6	IBM zEnterprise 196 Mainframe	706
18.7	Recommended Reading	709
18.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	709

Appendix A Projects for Teaching Computer Organization and Architecture 712

- A.1 Interactive Simulations 713
- A.2 Research Projects 715
- A.3 Simulation Projects 715
- A.4 Assembly Language Projects 716
- A.5 Reading/Report Assignments 717
- A.6 Writing Assignments 717
- A.7 Test Bank 717

Appendix B Assembly Language and Related Topics 718

- B.1 Assembly Language 719
- B.2 Assemblers 727
- B.3 Loading and Linking 731
- B.4 Recommended Reading 739
- B.5 Key Terms, Review Questions, and Problems 740

Glossary 744

References 754

Index 766

国外计算机科学教材系列

计算机组织与结构

——性能设计

(第九版) (英文版)

Computer Organization and Architecture
Designing for Performance
Ninth Edition

[美] William Stallings 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

作者以Intel x86系列通用处理器和ARM系列嵌入式处理器作为主要考察实例贯穿全书,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。通过介绍计算机的发展与演变引入性能评价和性能设计的概念,然后以自顶而下的方式逐层展开介绍计算机系统、存储器体系结构、I/O及互连、计算机算术、指令集体系结构的设计及其实现技术,最后还介绍了处理器的各种并行组织技术。全书力求追踪新技术步伐,增加了高速点到点互连技术、PCIe互连结构、固态驱动器与闪存、当今主机技术等新技术的讨论。

本书可以作为高等院校信息领域的本科生、研究生和教师的教材或教学参考书,对于从事计算机研究与开发的技术人员,也是一本颇具指导意义的参考读物。

Authorized Reprint from the English language edition, entitled *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*, Ninth Edition by William Stallings, published by Pearson Education, Ltd., Copyright © 2012 by Pearson Education, Inc.

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 Pearson Education, Inc.

ENGLISH language edition published by PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY. Copyright © 2018.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale and distribution only in the mainland of China exclusively(except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书英文影印版专有出版权由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书在中国大陆地区出版,仅限在中国大陆发行。

本书贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2017-4579

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构:性能设计:第九版 = *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*, Ninth Edition: 英文 / (美) 威廉·斯托林斯 (William Stallings) 著. —北京: 电子工业出版社, 2018.7

国外计算机科学教材系列

ISBN 978-7-121-32439-0

I. ①计… II. ①威… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材—英文 IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第190342号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 马 岚

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 49 字数: 1427千字

版 次: 2012年7月第1版(原著第8版)

2018年7月第2版(原著第9版)

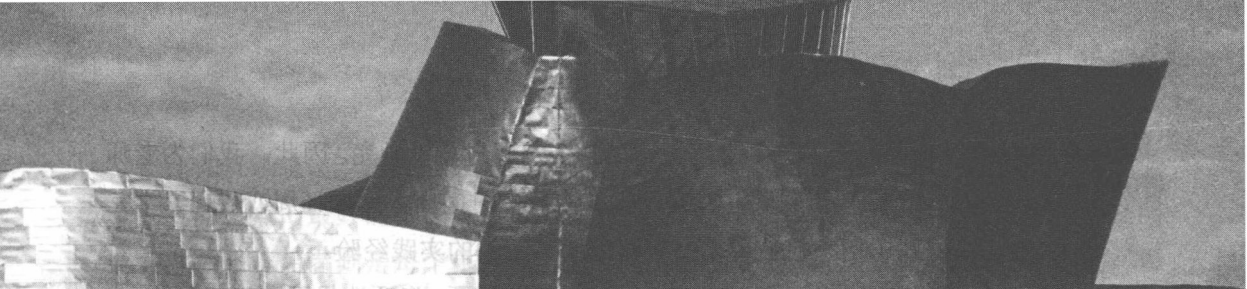
印 次: 2018年7月第1次印刷

定 价: 129.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至zts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: classic-series-info@phei.com.cn。



前言

在第九版中有哪些新内容

本书第八版出版四年以来，这个领域在不断创新和进步。在新版中，我尽力补充本领域的新知识，同时继续保持本书内容能够全面覆盖这个领域的知识。为了做好这次修订工作，我们请了很多本学科的教授和本领域的专业人士对本书第八版进行了全面复查。复查结果收效明显，很多文字叙述更加清晰简洁，很多图表得到进一步改善。

除了在改进教学方法和提高用户友好性方面精益求精，全书已经有了实质性的变化。尽管新版大体上保持了同样的章节结构，但大部分内容都已经做过修订，并增加了许多新内容。最重要的变化包括如下几个方面。

- **点对点互连：**传统的总线结构越来越多地被高速点对点互连模式替代。本书新增一节内容，以Intel公司的QuickPath Interconnect (QPI) 技术为例来介绍这种技术。
- **PCI Express：**PCI Express (PCIe) 已经成为标准的外部设备互连体系结构，替换掉了PCI和其他基于总线的体系结构。本书新增一节内容介绍PCIe。
- **固态硬盘驱动器和闪存：**在很大一部分计算机中，固态硬盘驱动器正越来越多地取代硬盘驱动器。因此新增一节内容介绍SSD(固态硬盘驱动器)及其底层的闪存技术。
- **IEEE 754 浮点标准：**对有关IEEE 754的内容进行了修订，以反映2008新标准。
- **当代大型机组成：**第7章和第18章中增加了介绍IBM大型机zEnterprise 196的内容。
- **I/O标准：**本书进行了修订，以反映I/O标准的最新进展，包括Thunderbolt。
- **多核心架构：**有关多核心架构的材料得到显著扩展。
- **辅助学习清单：**每一章开头都给出了一个学习主题的清单。

- **示例大纲：**书中包含了更多的材料，在一个学期内难以学完。因此，我们为老师提供了一些示例的要点说明，以有助于在有限的时间内（比如16周或12周）学完这些内容。这些示例来自使用本书第八版的教授们的实践经验。
- **题库：**每章都提供了一组复习题，题型包括判断题、多项选择题和填空题等。

对于每一个新版本来说，在增加新内容的同时保持合理的页数都是非常令人纠结的事。为实现这个目标，一方面，新版适当删减过时内容、压缩文字叙述；另一方面，新版把非必读章节和附录都制作成单独的PDF文件，作为在线内容放在网站上，从而使本书的厚度和价格不会随着内容的增加而增加。

本书目标

本书介绍计算机的结构和功能，其目标是尽可能清晰完整地描绘现代计算机系统的特性和特征。

这个任务之所以颇具挑战性，是由于以下几个原因。首先，有各种各样的产品都可以堂而皇之地冠以计算机的名称，其中包括从几美元的单片机到耗资几千万美元的超级计算机。其多样性不仅表现在成本上，也体现在大小、性能和应用上。其次，计算机技术快速发展变化的特点从来没有改变过。这些发展变化涵盖了计算机技术的各个方面，从底层用于构建计算机零部件的集成电路技术，到把这些零部件组合起来的应用日益广泛的并行结构的概念和技术。

虽然计算机领域产品种类繁多、技术变化快速，但其中有些基本概念却始终适用于整个领域。这些概念的应用取决于目前的技术发展水平和设计师想要的性价比。本书的目的是结合当前的设计问题，对计算机组成和体系结构的基本原理进行透彻的阐述。

书名的副标题暗示了本书的主题和方法。设计计算机系统以获得高性能向来是非常重要的要求，但这个要求从来没有像现在这样强烈和难以满足。计算机系统的所有基本性能特征，包括处理器速度、存储器速度、存储容量和互连数据速率都在迅速提高，并且在以不同的速度提高。我们总是想设计出均衡的系统，它可以充分发挥所有元素的最佳性能和全部价值，但各种技术不平衡的发展速度使我们的目标难以实现。因此，计算机设计越来越成为一个补偿游戏，在某个方面改变结构或功能，以补偿另一个方面的性能不足。在全书中，我们将在许多设计决策中看到这个让人筋疲力尽的游戏。

计算机系统由一组相互关联的部件构成，这和其他任何系统都一样。要说清楚一个系统的特点，最好的方法就是从结构和功能两方面进行说明，前者就是各部件之间的关联关系，后者则是每个单独部件的作用。此外，计算机的组成是分层结构的，每个部件都可以进一步分解成子部件，即每个部件都可以用它的结构和功能来说明。

为了叙述清楚，易于理解，本书按照计算机组成的分层结构自上向下逐层说明。

- **计算机系统：**主要部件包括处理器、内存、I/O模块。
- **处理器：**主要部件包括控制单元、寄存器、ALU及指令执行单元。
- **控制单元：**为处理器所有组件的操作和协调提供控制信号。习惯上，控制单元使用微编程技术实现，它的主要部件包括控制存储器、微指令排序逻辑和寄存器。最近，微编程技术已经不再那么风光，不过仍然不失为一种重要的实现技术。

我们的目标是在书中补充新材料，并继续保持全书内容丰富、条理清晰，这样就能最大限度地减少让读者感到困惑的可能性，与自底向上方式相比，这也可以更有效地激发读者的阅读兴趣。

在整本书中，对系统的各个方面都是从体系结构（对机器语言程序员可见的系统属性）和组成（实现体系结构的各操作单元及其关联方式）两个角度来阐明。

示例系统

本书旨在让读者了解当代操作系统的设计原则和实现要点，所以仅从概念和理论上来说明是远远不够的。为了阐述清楚这些概念，我们用为实现系统必须做出的设计选项来配合说明，这里选择两种处理器系列作为可以运行的实例。

- **Intel x86架构：**x86架构在非嵌入式计算机系统中的应用最为广泛。它本质上是带有一些RISC特征的复杂指令集计算机（CISC）。x86系列的最新成员使用了超标量和多核设计原则。x86架构的特征演变提供了一个研究计算机体系结构绝大多数设计原则的独一无二的案例。
- **ARM：**ARM架构的处理器可以说是使用最广泛的嵌入式处理器，应用于手机、iPod、远程传感仪表及很多其他设备。ARM实际上是精简指令集计算机（RISC）。ARM系列的最新成员使用了超标量和多核设计原则。

当然了，虽然本书中很多例子都是基于这两种处理器系列的，但并非全部。很多例子是基于当代或历史上各种其他系统的，用以说明重要的计算机体系结构设计特征。

本书结构

本书分成六个部分（可参见第0章）：

- 概述
- 计算机系统
- 算术和逻辑
- 中央处理器
- 并行结构（包括多核结构）
- 控制单元

本书包含了很多便于教学使用的特征，其中包括交互式仿真和大量图表，以清晰地阐述知识内容。每章有关键词列表、复习题和课后作业题，还有对进一步阅读的建议。本书还包括内容丰富的术语表、常用缩略语和参考文献。

目标读者

本书面向高校师生和专业技术人员。它可以作为计算机科学、计算机工程及电气工程专业本科生教材，安排在一个学期或两个学期讲授。根据IEEE/ACM计算机课程体系，本书覆盖了其中关于计算机分类、体系结构和组成的所有核心知识点。

本书适合自学，对本领域感兴趣的专业人士，可以将本书作为入门参考书。

教学辅助材料

本书的教学资料中心（IRC）为教师们提供了辅助材料，通过访问www.pearsoninternationaleditions.com/stallings可获取如下材料。

- **课题手册**：给出了课题资料，包括文档和可移植软件，以及各种推荐课题。
- **答案手册**：每章末尾习题的答案。
- **PPT**：一组PPT，覆盖所有章节内容，可用于授课。
- **PDF文件**：包含书中的所有插图和表格。
- **试题库**：按章组织的试题。

- **教学大纲样例：**本书包含的内容较多，在一个学期内难以轻松学完。鉴于此，本书为老师们提供了一些教学大纲的样例，这些样例基于教授们使用本书第一版从事一线教学的经验，可以指导老师们在有限的时间内完成教学。

配套网站WilliamStallings.com/ComputerOrganization（点击“**Instructor Resources**”链接），包括如下内容：

- 链接到使用本书教学的其他课程的网站。
- **Internet**邮箱列表注册信息，帮助使用本书的老师之间以及老师和作者之间交流信息、建议和问题。

学生资源^①

在新版中，为学生提供了大量原创性的辅助材料，可以通过两个网站在线访问。配套网站WilliamStallings.com/ComputerOrganization（点击“**Student Resource**”链接）包含按章组织的相关链接清单和本书勘误表。

学生资源包括如下材料：

- **在线部分：**为控制本书的页数和价格，有两章内容以PDF格式提供。这两章已在本书目录中列出。
- **在线附录：**有很多有趣的话题是有助于阅读和理解本书内容的，但因篇幅所限无法印在书里，已整理为13个附录，供有兴趣的学生阅读。这些附录已在本书目录中列出。
- **课后题与解答：**为帮助学生理解本书内容，单独提供了一套课后题与答案。学生可以先自己解答，然后与给出的答案对照，以此加深对知识内容的理解。
- **关键论文：**从专业著作中收集了几十篇论文，其中很多论文都是费尽周折才找到的，供读者进一步学习阅读。
- **支持文献：**本书还引用了其他多种有用的文献，这些文献也以在线方式提供给读者。

此外，作者维护着计算机科学学生资源网站（**Computer Science Student Resource Site**），网址是WilliamStallings.com/StudentSupport.html。

① 相关资源科登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册下载。——编者注

项目和其他学生练习

有很多教师都设计了一个或一组项目，作为“计算机组成与体系结构”课程的重要组成部分，学生可从中获得动手的体验，以强化从书中学到的概念。本书为课程提供了无与伦比的项目构件支持能力。我们出版了一些教师支持材料，这不仅包括项目任务的构成与分配的指南，而且为各种不同类型的项目及其具体任务提供了一套用户手册，这些全部专为本书编写。教师可以在以下方面分派作业：

- **交互式仿真任务：**稍后说明。
- **研究项目：**一系列研究任务，可以指导学生在互联网上研究特定主题并撰写报告。
- **仿真项目：**IRC为两个仿真软件提供支持：SimpleScalar可以用于探索计算机组成与体系结构的设计问题，SMPCache则是用于对称多处理器缓存设计问题测验的强大教学工具。
- **汇编语言项目：**CodeBlue，这是一套简化的汇编语言，可以基于众所周知的Core Wars的概念来使用它并分派作业。
- **阅读/报告作业：**每章一个或多个文献列表，可以作为作业留给学生阅读，并撰写一个简短的报告。
- **写作作业：**写作作业清单，可以促进对知识的学习。
- **试题库：**包括判断题、多项选择题、填空题等及其答案。

这种多样化的项目和其他学生练习，使教师可以使用本书作为丰富多彩的学习体验的一个组成部分，并可以调整教学计划，以满足教师和学生的特殊需求（详见本书附录A）。

致谢

本书新版受益于许多人的审阅，他们慷慨地献出了时间和专业知识。以下的各位教授和老师审阅了本书的全部或大部原稿：**Branson Murrill**（弗吉尼亚州立大学）、**Pan Deng**（佛罗里达国际大学）、**Bob Broeg**（西俄勒冈大学）、**Curtis Meadow**（缅因大学奥罗诺分校）、**Charles Weems**（马萨诸塞大学）和**Mike Jochen**（东斯特劳斯堡大学）。

感谢很多人对本书的一章或几章内容提供了详细技术审阅，他们是：**Kausar Johar**，**Todd Bezenek**（昆腾公司）、**Moustafa Mohamed**（科罗拉多大学波尔得分校），

Dharmesh Parikh, Qigang Wang, Rajiv Dasmohapatra (威普罗公司), Anup Holey (明尼苏达大学双城分校), Alexandre Keunecke Ignacio de Mendonca, Douglas Tiedt, Kursad Albayraktaroglu (AMD公司), Nilanjan Goswami (佛罗里达大学盖恩斯维尔分校)、Adnan Khaleel (Cray公司), Geri Lamble, Liu Han, mafjul Islam (沃尔沃科技公司, 瑞典), Roger Kahn, Brian Case, Mani Srinivasan, Abhishek Deb, Sushil Menon (宾夕法尼亚大学), Jigar Savla (乔治亚理工学院), Madhu Mutyam, Karl Stevens, Vineet Chadha (英特尔实验室), Xingxing Jin (萨斯喀彻温大学)、Jan Hoogerbrugge (恩智浦半导体公司), Ninad Laxman Sawant, Aziz Eker (土耳其TOBB经济与技术大学安卡拉分校), Bhupati Shukla, Niket Choudhary (北卡罗来纳州立大学), Oguz Ergin (土耳其TOBB经济与技术大学安卡拉分校)。

阿巴拉契亚州立大学的Cindy Norris教授、纽布伦斯威克大学的Bin Mu教授, 以及阿拉斯加大学的Kenrick Mock教授, 无私地提供了作业问题。

马萨诸塞大学的Aswin Sreedhar开发了交互式仿真作业, 并编写了试题库。

西班牙埃斯特雷马杜拉大学的三位教授Miguel Angel Vega Rodriguez、Juan Manuel Sánchez Pérez博士、Juan Antonio Gómez Pulido博士等, 编写了教师手册中关于SMPCache的问题, 撰写了SMPCache用户指南。

威斯康星大学的James Stine和利哈伊大学的Todd Bezenek编写了教师手册中关于SimpleScalar的问题, Todd还撰写了SimpleScalar用户指南。

最后, 我要感谢负责本书出版的人们, 所有的人都出色地完成了日常工作, 其中包括培生教育出版集团的工作人员, 特别是我的编辑Tracy Dunkelberger, 她的助理Carole Snyder, 以及产品经理Kayla Smith Tarbox和Pat Brown。我也要感谢Shiny Rajesh和Inergra的产品管理人员, 感谢他们出色而快速的工作。感谢培生教育出版集团的市场和销售人员, 由于他们的努力, 这本书才到了您的手上。