



原书第4版

多次获得美国教材和学术著作者协会颁发的“优秀教材奖”

# 计算机组成与体系结构

[美] 琳达·纳尔 (Linda Null) 朱莉娅·洛博 (Julia Lobur) 著

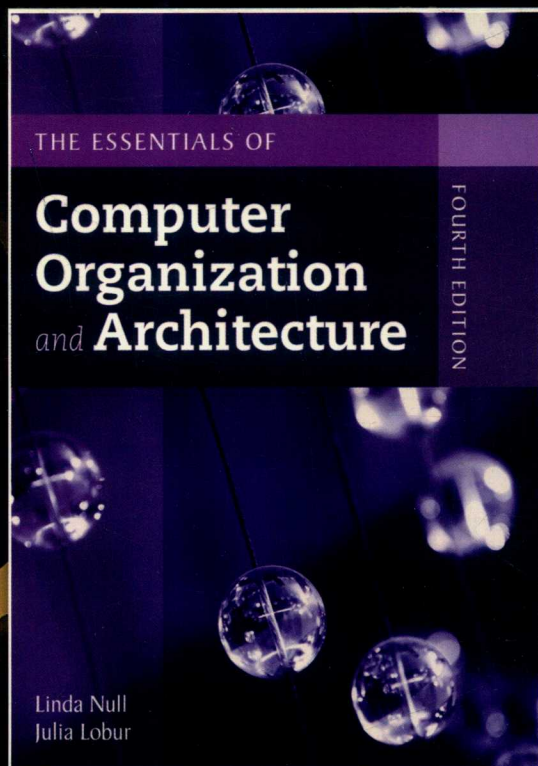
宾夕法尼亚州立大学

张钢 魏继增 李雪威 李春阁 何颖 译

天津大学

The Essentials of Computer Organization and Architecture

Fourth Edition



机械工业出版社  
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛 书

原书第4版

# 计算机组成与体系结构

[美] 琳达·纳尔 (Linda Null) 朱莉娅·洛博 (Julia Lobur) 著

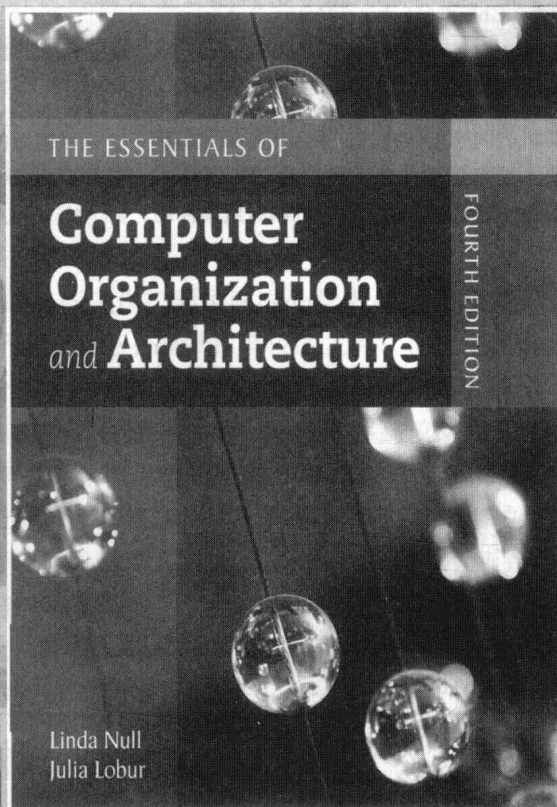
宾夕法尼亚州立大学

张钢 魏继增 李雪威 李春阁 何颖 译

天津大学

The Essentials of Computer Organization and Architecture

Fourth Edition



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

---

计算机组成与体系结构 (原书第 4 版)/(美)琳达·纳尔 (Linda Null) 等著; 张钢等译. —北京: 机械工业出版社, 2019.1

(计算机科学丛书)

书名原文: The Essentials of Computer Organization and Architecture, Fourth Edition

ISBN 978-7-111-61636-8

I. 计… II. ①琳… ②张… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 291625 号

---

**本书版权登记号: 图字 01-2016-1880**

Linda Null, Julia Lobur: The Essentials of Computer Organization and Architecture, Fourth Edition (ISBN 978-1-284-04561-1).

Copyright © 2015 by Jones and Bartlett Learning, LLC, an Ascend Learning Company.

Original English language edition published by Jones and Bartlett Publishers, Inc., 40 Tall Pine Drive, Sudbury, MA 01776.

All rights reserved. No change may be made in the book including, without limitation, the text, solutions, and the title of the book without first obtaining the written consent of Jones and Bartlett Publishers, Inc. All proposals for such changes must be submitted to Jones and Bartlett Publishers, Inc. in English for his written approval.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2019 by China Machine Press.

本书中文简体字版由 Jones and Bartlett Publishers, Inc. 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

本书揭示了现代计算机的内部工作方式, 采用大量真实的例子, 引导读者由浅入深地学习计算机体系结构的概念和理论。第 4 版完全遵循 ACM/IEEE CS 2013 关于计算机组成和体系结构本科课程的要求编写, 适合作为高等院校计算机专业相关课程的教材或参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 蒋 越

责任校对: 李秋荣

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 34.25

书 号: ISBN 978-7-111-61636-8

定 价: 129.00 元

---

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

文艺复兴以来，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的优势，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson、McGraw-Hill、Elsevier、MIT、John Wiley & Sons、Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum、Bjarne Stroustrup、Brian W. Kernighan、Dennis Ritchie、Jim Gray、Afred V. Aho、John E. Hopcroft、Jeffrey D. Ullman、Abraham Silberschatz、William Stallings、Donald E. Knuth、John L. Hennessy、Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力相助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专门为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近500个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

华章网站：[www.hzbook.com](http://www.hzbook.com)

电子邮件：[hzjsj@hzbook.com](mailto:hzjsj@hzbook.com)

联系电话：(010)88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



## 译者序

The Essentials of Computer Organization and Architecture, Fourth Edition

本书第2版、第3版和第4版分别于2007年、2013年和2015年获得美国教材和学术著作者协会颁发的“优秀教材奖”，被许多大学选为教材和主要参考书。在翻译过程中，书中的几个主要特点让我们印象深刻。首先，书中提供了很多现实世界的例子，这能帮助学生理解基本概念如何应用于计算领域，使理论与应用达到很好的平衡；其次，书的内容符合ACM/IEEE CS2013建议的主题，并增加了有助于学生继续学习的一些主题；最后，书中的讲解、例子、练习和MARIE仿真器等为学生提供了很好的学习体验。

本书包括13章和一个附录。第1章是一般性的历史概述。第2章介绍数字和字符信息的表示方法。第3章介绍数字逻辑的经典表示及其与布尔代数的关系。第4章介绍计算机组成和体系结构的基本概念。第5章深入讲解指令集架构。第6章是基本存储器系统的概念。第7章介绍I/O原理、总线和外部存储设备。第8章介绍编译器、程序与体系结构的关系。第9章概述近年来出现的其他体系结构。第10章介绍嵌入式系统。第11章介绍各种性能分析和管理工作。第12章介绍网络的组成和体系结构。第13章介绍I/O架构。附录介绍数据结构的基本概念。

本书第1章、第12章、第13章、前言、附录A、精选习题答案与提示由天津大学计算机科学与技术学院张钢翻译，第2章和第3章由天津大学仁爱学院何颖翻译，第4章和第7章由天津大学仁爱学院李春阁翻译，第5章、第6章和第11章由天津大学计算机科学与技术学院李雪威翻译，第8~10章由天津大学计算机科学与技术学院魏继增翻译。天津大学仁爱学院杨志奇审阅修改了第3章，天津大学计算机科学与技术学院魏继增审阅修改了第2~4章和第7章。天津大学计算机科学与技术学院张钢审阅修改了全书。

尽管我们从事计算机组成原理和计算机体系结构教学和科研工作多年，而且在翻译过程中始终本着认真负责的态度，对一些章节的翻译也颇费心思，在尊重原著的前提下，谨慎修改了原著出现的一些错误，力求翻译准确，但是翻译中的错误之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教和批评指正。

译者

2018年12月

## 致学生

这是一本关于计算机组成与体系结构的书。它重点研究处理数字信息所需要的各种组件的功能和设计。我们把计算系统分成一系列的层次，从低层的硬件到更高层的软件，包括汇编程序和操作系统。这些层构成了虚拟机的层次结构。关于计算机组成的研究主要集中在这种层次结构上，包括如何划分所涉及的层次和如何实现每个层次。关于计算机体系结构的研究主要集中在硬件和软件之间的接口上，强调系统的结构和行为。本书中包含的主要信息涉及计算机硬件、计算机组成和体系结构以及它们与软件性能的关系。

学生总是问，“如果我是一名计算机科学专业的学生，我必须学习计算机硬件吗？那不是计算机工程师要学的吗？为什么我要关心计算机内部是什么样子呢？”作为计算机的使用者，我们可能不必关心计算机内部是什么样子的，就像开车时我们不需要知道汽车发动机下面是什么样子一样。在不理解高级语言程序如何执行的情况下，我们当然能写高级语言程序；在不理解各种应用程序包实际如何工作的情况下，我们也可以使用各种应用程序包。但是，当需要使写出来的程序变得更快和更有效，或者正在使用的应用程序没有达到要求时，我们该怎么办？作为计算机科学家，为了解决这些问题我们需要对计算机系统本身有基本的理解。

在计算机系统中，计算机硬件与程序和软件组件的许多方面之间有一种基本的关系。为了写出好软件，理解整个计算机系统是非常重要的。理解硬件能够帮助你解释有时潜入程序中的神秘错误，如分段错误和总线错误。高级程序员必须具备的计算机组成和计算机体系结构的知识水平，取决于所要完成的任务。

例如，在写编译器程序时，你必须理解运行所编译的程序的特定硬件。一些在硬件中使用的思想(如流水线)可能适合于编译技术，从而使编译器更快和更高效。对大型复杂的实时系统建模时，你必须理解浮点运算是如何实现和如何工作的(它们不一定是同一回事)。在为视频设备、磁盘或其他 I/O 设备写驱动程序时，一般来说，你需要很好地理解 I/O 接口和计算机体系结构。如果你想做嵌入式系统方面的工作，由于嵌入式系统通常是非常受资源约束的，你必须理解所有的时间、空间和价格的权衡。在进行硬件、网络或特殊算法方面的研究和提出硬件、网络或特殊算法方面的建议时，你必须理解基准测试并且学习如何表示性能结果。在买硬件之前，你需要理解基准测试和其他可以巧妙处理性能结果以“证明”一个系统比另一个系统更好的所有方法。不管我们擅长的专业领域是什么，作为计算机科学家，理解硬件如何与软件交互是非常重要的。

你可能会奇怪，为什么英文书名中写着 essentials 的书会这么厚。原因有两个方面。首先，计算机组成的主题是宽泛和日益发展的。其次，在这个迅速发展的信息海洋中哪些主题是真正的基础，哪些主题只是有助于了解这个领域，几乎没有共识。这本书的一个目的是符合由 ACM 和 IEEE 联合发布的关于计算机体系结构课程指南的要求。这个指南包含了专家认可的关于计算机组成和体系结构主题的基础核心知识。

我们已经扩大了 ACM/IEEE 建议的主题，增加了我们认为对继续研究计算机科学和提高专业水平有用的(未必是基础的)主题。我们认为这些主题将有助于你继续在操作系统、编译程序、数据库管理和数据通信等计算机科学领域的学习。本书中包含的其他主题将有助于理解实际系统在现实生活中是如何工作的。

我们希望你阅读本书是一次愉快的经历，并且花时间深入钻研我们提供的一些材料。我们的目的是在你正式完成课程后，这本书仍将是有益的参考书。虽然我们给了你大量的信息，但这仅是你学习和职业生涯的基础。成功的计算机专业人员会不断深入了解计算机工作原理。

## 致教师

本书是在宾夕法尼亚州立大学哈里斯堡校区教两个班的计算机组成和体系结构课程的基础上形成的。随着计算机科学课程的发展，我们发现不仅需要修改课程中所教的材料，而且需要把课程从连续开设两个学期压缩为一个学期(三学分)。许多其他学校也已经认识到需要压缩教材，以便为新出现的主题腾出空间。这门新课程以及这本教材主要是针对计算机科学专业的，旨在讨论计算机科学专业学生必须熟悉的计算机组成和体系结构中的主题。本书整合了这些领域的基本原理，为计算机科学专业的学生提供了必要的广度，同时为在计算机科学领域继续学习的学生提供了必要的深度。

在写本书时，我们的主要目标是改变讲授计算机组成和体系结构课程的典型方式。计算机科学专业的学生在学完计算机组成和体系结构课程之后，不仅要了解构建数字计算机的重要基本概念，而且还要理解这些概念如何应用于现实世界。这些概念应该超越特定厂家的术语和设计。事实上，学生应该能够理解给定的特定概念并且能将其翻译成一般概念，反之亦然。此外，学生必须为进一步的专业学习打下坚实的基础。

本书介绍的主题是每个计算机科学专业的学生都应该接触、熟悉或精通的。我们并没有期望学生能完全掌握所有主题。然而，我们坚信有些主题必须要掌握，有些主题必须有一定程度的了解，有些主题接触一下就足够了。

我们不认为孤立地研究一般性的原理就可以把这些主题学到足够深入。因此，我们提出的主题是一套完整的解决方案，而不是一个个信息的简单集合。我们认为书中的解释、例子、练习、教程和仿真器全部结合起来，为学生提供了整体的学习体验，这种学习体验在一定程度上揭示了现代数字计算机的内部工作方式。

我们以一种非正式的风格写了这本书，省略了不必要的术语，语言简洁，并且避免了不必要的抽象，希望能提高学生的学习热情。我们也扩大了在主流体系结构书中能够找到的经典主题的范围，包括系统软件、操作系统的简要介绍、性能问题、其他体系结构和对网络的简明介绍，因为这些主题与计算机硬件密切相关。像大多数书一样，我们选择了一种体系结构模型，但它是一个我们在头脑中简单设计的模型。

### 与 CS2013 的关系

2013 年 10 月，ACM/IEEE 联合工作组公布了计算机科学课程计划 2013(CS2013)。虽然我们主要关注计算机体系结构知识域，但是新指南建议通过这门课程整合核心知识。因此，我们也要关注本书所讲的体系结构之外的更多知识域。

CS2013 是对 CS2008 的全面修订，主要聚焦于计算机科学课程计划中的基础概念，同时为了满足个别机构的需求而仍然保留了足够的灵活性。指南中采用了核心一级和核心二级主题的概念，并加入了选修主题。核心一级主题是每个计算机科学课程计划中都应该包含的主题。核心二级主题是计算机科学课程计划中应该包含 90% ~ 100% 的主题。选修主题是课程计划向广度和深度扩展的主题。指南中以课时方式列出了对每个主题建议的范围。

从 CS2008 到 CS2013，在体系结构和组成(AR)知识域方面的主要变化是课时数从 36 降到 16，然而引入了一个新的系统基础(SF)知识域，它包括以前在 AR 模块中给出的一些概念(包括硬件组成和体系结构)。若想了解每个知识域所包括内容的更多信息，读者可以参考 CS2013 指南(<http://www.acm.org/education/curricula-recommendations>)。

本书(原书第4版)除了整合来自其他知识单元的材料外,与ACM/IEEE CS2013指南中关于计算机组成和体系结构的部分是直接相关的。表P-1列出了本教材与AR知识域中的8个主题的对应关系。对于其他知识域,仅列出本教材所覆盖的主题。

表 P-1 本书覆盖的 ACM/IEEE CS2013 主题

AR——体系结构	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
数字逻辑和数字系统		3	否	1, 3, 4
数据的机器级表示		3	否	1, 2
汇编级机器组成		6	否	1, 4, 5, 7, 8, 9
存储系统组成和体系结构		3	否	2, 6, 7, 13
接口与通信		1	否	4, 7, 12
功能组成			是	4, 5
多处理和其他体系结构			是	9
性能优化			是	9, 11
NC——网络和通信	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
介绍	1.5		否	12
网络应用	1.5		否	12
可靠数据传输		2	否	12
路由和转发		1.5	否	12
OS——操作系统	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
操作系统概述	2		否	8
存储管理		3	否	6
虚拟机			是	8
文件系统			是	7
实时和嵌入式系统			是	10
系统性能评价			是	6, 11
PD——并行和分布式计算	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
并行体系结构	1	1	否	9
分布式系统			是	9
云计算			是	1, 9, 13
SF——系统基础	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
计算范式	3		否	3, 4, 9
状态和状态机	6		否	3
并行性	3		否	9
评价	3		否	11
接近		3	否	6
SP——社会问题和专业实践	核心一级学时	核心二级学时	是否包括选修	章号
历史			是	1

### 编写本书的目的

市场上已经有很多关于计算机组成和体系结构方面的教材。在讲授这门课程超过35年的时间里,我们已经使用过许多非常好的教材。然而,在每次讲授这门课程时,内容都变化了,最终我们发现要写大量的课程讲义来补充课堂上必须讲授的素材。课程素材正在从用计算机工程方法讨论组成和体系结构,变成用计算机科学方法对这些主题进行讨论。当决定把计算机组



成课程和计算机体系结构课程合并为一门课程时，我们根本找不到覆盖专业所必需的、从计算机科学角度编写的、不使用特定机器术语的并且在讲授这些主题之前可以激发学生积极性的教材。

在本教材中，我们希望传达现代计算系统开发中使用的设计思想，以及这种设计思想对计算机专业学生的影响。然而，学生在理解和领会有关设计的方方面面之前，必须掌握基本概念。大多数计算机组成和体系结构的教材都有相似的技术信息。然而，我们对这些信息的覆盖水平以及与计算机专业学生相关的背景给予了特别的关注。例如，在本书中，当介绍具体例子时，我们会给出与个人计算机、企业系统和大型机相关的例子，因为这些系统类型都是最有可能遇到的。我们避免类似的书中存在的“个人计算机偏见”，希望学生理解各种平台在当今的自动化基础设施中的不同之处、相似之处和所发挥的作用。很多时候，教材忘记了动机也许是学习中一个最重要的因素。为此，我们包括了许多实际的例子，同时试图保持理论与应用之间的平衡。

### 本书特色

本书的很多特色都是为了强调计算机组成和体系结构中的各种概念，并使学生更容易理解相关材料。这些特色包括：

- 补充材料。穿插在正文中的补充材料包括有趣的信息，这些信息超出了相应章的重点内容，方便读者进一步探究这些材料。
- 实际的例子。教材中整合了来自现实生活的例子，使学生更好地理解技术是如何与实际问题相结合的。
- 小结。这个部分对每章的要点进行了简明扼要的总结。
- 扩展阅读。这个部分为希望更详细研究相关主题的读者列出了额外的资源，并且包含了与该章主题相关的权威论文和书籍的引用。
- 复习题。每章都包含一套复习题，方便读者巩固所学的知识。
- 习题。每章都有可供选择的练习，以强化所介绍的概念。
- 精选习题答案与提示。习题中用菱形标示的问题都有答案。
- 特别关注。这个部分为教师提供了额外的信息，例如卡诺图和数据压缩等。
- 附录。附录提供了数据结构的简要介绍，包括堆栈、链表和树等主题。

### 作者简介

这本教材不仅融合了我们超过 35 年的教学经验，而且还有 30 多年的行业经验。因此，我们不仅强调计算机组成和体系结构的基本原理，而且把这些主题与实践相结合。我们使用了现实生活中的例子，用于帮助学生理解这些基本概念如何应用于计算领域。

Linda Null 从艾奥瓦州立大学获得了计算机科学硕士和博士学位，从西北密苏里州立大学获得了计算机科学教育硕士学位、数学教育硕士学位、数学和英语学士学位。她已经从事数学和计算机科学教学工作超过了 35 年，目前是宾夕法尼亚州立大学哈里斯堡校区计算机科学研究课程协调员和课程副主席，从 1995 年开始她一直是那里的教师。她已经获得了许多教学奖，包括宾夕法尼亚州立大学杰出教师奖和优秀教学奖。她感兴趣的领域包括计算机组成和体系结构、操作系统、计算机科学教育和计算机安全。

Julia Lobur 是一名在计算机行业工作超过 30 年的从业者。她除了兼职教学工作外，还担任过系统顾问、高级程序员/分析师、系统和网络设计师、软件开发经理和项目经理等职位。Julia 获得了计算机科学硕士学位，并且是一名 IEEE 认证的软件开发专业人员。

### 预备知识

学生使用本教材前需要具有一年使用高级过程语言编写程序的经验，也应该学过一年的大

学数学(微积分或离散数学)。本教材假定之前学生不了解计算机硬件。

计算机组成和体系结构课程通常是本科生学习操作系统(学生必须知道存储器层次结构、并发、异常和中断)、编译器(学生必须知道指令集、存储器地址和链接)、网络(学生必须理解系统的硬件,然后才能理解将这些部件连接在一起的网络)以及任何高级计算机体系结构课程之前的选修课。

### 本书的组织结构

在本教材中对概念的介绍方式是一次尝试,即简明而全面地覆盖我们认为对于计算机科学专业学生必要的主题。我们不认为最好的方式是“划分”各种主题,因此,我们选择了一种结构化的整合方式,使每个主题都包含在整个计算机系统的背景中。

与许多流行的教材一样,我们采用了自底向上的方法,即从数字逻辑层开始构建到应用层,应用层是学生在开始学习这门课程之前就应该熟悉的。当读者到达应用层时,计算机组成和体系结构中必要的概念都已经呈现了。我们的目标是让学生把本书中涵盖的硬件知识与在程序设计导论课程中学到的概念联系起来,形成一个完整而全面的硬件和软件如何组织在一起的画面。最终,硬件理解程度对软件设计和性能有重大的影响。如果学生能够掌握硬件基本知识,将有助于成为更好的计算机科学家。

计算机组成和体系结构中的概念对于计算机专业人员的许多日常工作是必需的。为了处理计算机专业人员应该了解的许多领域内的问题,我们采用从更高层次看计算机体系结构的方法,仅当理解一个特定概念需要低层信息时才给出这些信息。例如,当讨论 ISA 时,在不同的案例研究背景中引入了许多与硬件相关的问题,这不仅区分而且也加强了与 ISA 设计相关的问题。

本书包括 13 章和 1 个附录,列举如下:

- 第 1 章对计算提供了一般性的历史概述,指出了计算系统开发中的许多里程碑,让读者了解我们是如何达到当前的计算状态的。本章介绍了必要的术语、计算机系统的基本部件、计算机系统的各种逻辑层和冯·诺依曼计算机模型,提供了计算机系统的高层视图,以及进一步研究的动机和必要的概念。
- 第 2 章对计算机使用的表示数字和字符信息各种方法提供了全面讨论。一旦读者接触到进制和典型的数字表示技术(包括 1 的补码、2 的补码和 BCD 码等),就可以学习加、减、乘和除运算了。此外,也介绍了 EBCDIC、ASCII 和 Unicode 字符表示法,以及定点和浮点表示法。对于错误检测与纠错进行了简要介绍。在“特别关注”中描述了数据记录和传输的编码。
- 第 3 章是数字逻辑的经典表示及其与布尔代数的关系。本章详细介绍了组合逻辑和时序逻辑,以使读者能够理解更复杂的 MSI(中等规模集成)电路(如译码器)的逻辑组成。更复杂的电路(如总线和存储器)也包括在内。优化和卡诺图包含在“特别关注”中。
- 第 4 章解释了基本的计算机组成并且介绍了许多基本概念,包括取指-译码-执行周期、数据通路、时钟和总线、寄存器传输表示和 CPU。介绍了一种非常简单的 MARIE 体系结构及其 ISA,使读者对基本体系结构(包括程序执行)有了全面理解。MARIE 展示了经典的冯·诺依曼设计,包括一个程序计数器、一个累加器、一个指令寄存器、4096 字节的存储器和两种寻址方式。为了强化早些时候提出的指令格式、指令模式、数据格式和控制等概念,还介绍了汇编语言程序设计。本书不是一本汇编语言教材,也不是为汇编语言程序设计而设计的实践课程。介绍汇编的主要目的是进一步从总体上理解计算机体系结构。我们为 MARIE 提供了一个仿真器,这样就可以在 MARIE 体系结构上编写、编译和运行汇编语言程序了。本章介绍和比较了控制的两种方法:硬连线和微程序。

最后，比较了 Intel 和 MIPS 体系结构，以强化本章介绍的概念。

- 第 5 章对指令集架构进行了更深入的考察，包括指令格式、指令类型和寻址方式，还介绍了指令级流水线。给出了实际的 ISA(包括 Intel 和 MIPS 技术、ARM、Java)，以强化本章中的概念。
- 第 6 章讨论了存储器的基本概念，如 RAM 和各种存储设备，也讨论了更高级的存储器层次结构的概念，包括高速缓存和虚拟存储器。本章对高速缓存的直接映射、全相联映射和组相联映射技术进行了全面介绍，还详细介绍了分页和分段、TLB 以及与每种技术相关的各种算法和设备。
- 第 7 章介绍了 I/O 原理、总线通信协议、典型的外部存储设备(如磁盘和光盘)，以及每种设备可用的各种格式，也涉及 DMA、编程控制 I/O 和中断。另外介绍了在设备之间交换信息的各种技术，详细介绍了 RAID 体系结构。在“特别关注”中介绍了各种数据压缩格式。
- 第 8 章讨论了各种可用的编程工具(如编译器和汇编程序)以及它们与程序所运行的机器体系结构之间的关系。本章的目标是把计算机系统程序员的观点与底层机器的实际硬件和体系结构联系在一起。另外，介绍了操作系统，但是仅涵盖应用到一个系统中的体系结构和组成方面的更多细节(如资源使用和保护、陷阱和中断以及各种其他服务)。
- 第 9 章对近年来出现的其他体系结构进行了概述，涵盖 RISC、Flynn 分类法、并行处理器、指令级并行、多处理器、互连网络、共享存储系统、高速缓存一致性、存储模型、超标量机、神经网络、数据流计算机、量子计算和分布式体系结构。本章的主要目的是帮助读者认识到我们不局限于冯·诺依曼体系结构，并引导读者考虑性能问题，为下一章做好准备。
- 第 10 章讨论了前面章节中没有涵盖的嵌入式系统中的概念和主题。具体来说，本章关注嵌入式硬件和组件、嵌入式系统设计主题、嵌入式软件构建基础和嵌入式操作系统特征。
- 第 11 章涉及各种性能分析和管理工作，介绍了必要的数学知识，随后讨论了 MIPS、FLOPS、基准测试和各种优化问题。计算机科学家应该熟悉这些优化问题，包括分支预测、推测执行和循环优化。
- 第 12 章关注网络的组成和体系结构，包括网络组件和协议，在因特网背景中介绍了 OSI 模型和 TCP/IP。本章的目的绝不是全面介绍网络，而是将计算机体系结构置于相对于网络体系结构的正确环境中。
- 第 13 章介绍了一些流行的适合于大型和小型系统的 I/O 架构，包括 SCSI、ATA、IDE、SATA、PCI、USB 和 IEEE 1394。本章也概述了存储区域网络和云计算。
- 附录 A 是关于数据结构的简短介绍，因为在一些情况下学生可能需要复习堆栈、队列和链表等主题。

教学时可以按照书中的先后顺序进行。然而，如果有需要，教师可以修改这个顺序以便更好地适合于给定的课程。图 P-1 给出了各章节之间的关系。

#### 第 4 版中的新内容

自本书第 3 版出版以来，计算机体系结构领域在不断发展。在第 4 版中，除了前面三版中已经介绍的主题外，我们纳入了许多新变化。在第 4 版中，我们的目标是更新内容和参考文献、增加新的材料、基于读者的评论扩展当前的讨论并且增加核心章节中练习的数量。虽然不能列出这一版中所有的变化，但是下面的列表突出了读者可能感兴趣的主要变化。

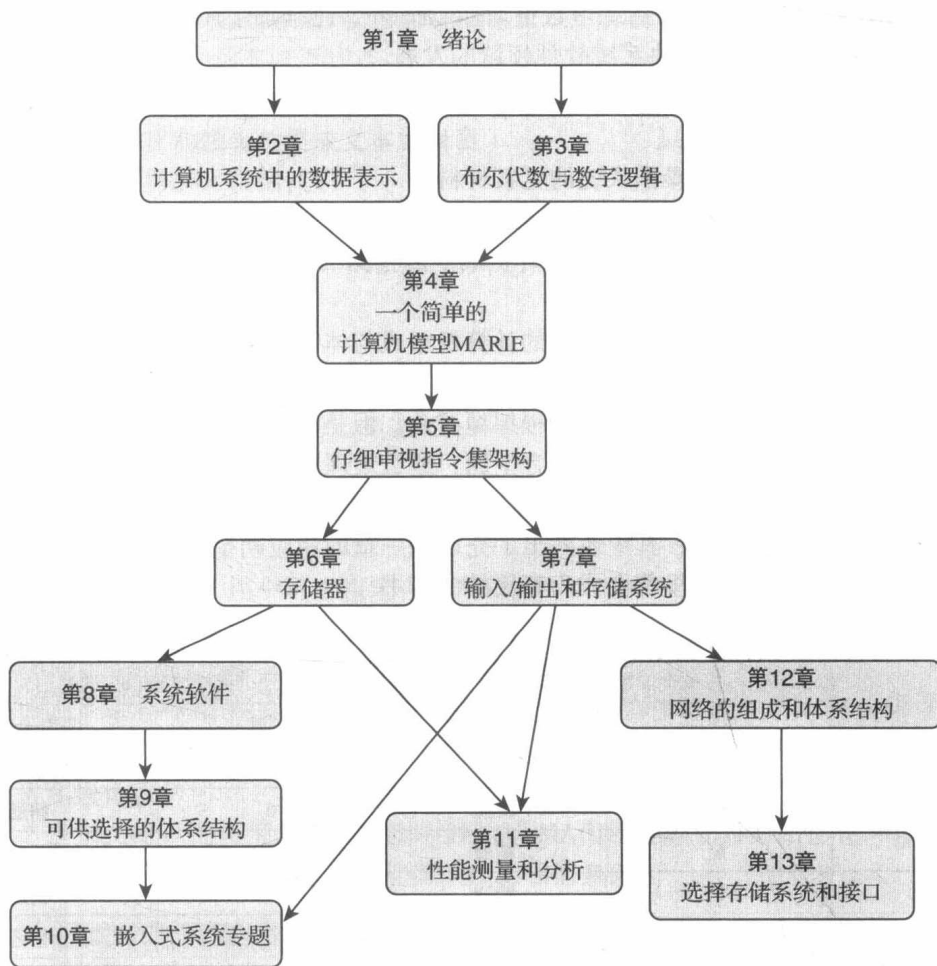


图 P-1 各章之间的关系

- 第1章已经更新，包括新的例子和解释、平板电脑、计算即服务(云计算)和认知计算。硬件概述已经扩展和更新(值得注意的是，删除了对CRT的讨论，增加了对图形卡的讨论)并且增加了补充材料。更新了非冯·诺依曼模型，并且新增了并行性部分。章后练习的数量增加了26%。
- 第2章包含移码表示法。之前的简单模型已经修改为使用标准格式，并且增加了更多的例子。本章练习的数量增加了44%。
- 第3章已经改用“ $\neg$ ”号代替上划线( $\bar{\quad}$ )表示非运算符。添加了时序图，以帮助解释时序电路的操作。扩展了FSM部分的内容，包括附加练习。
- 第4章扩展了存储器组织(包括存储器交叉存取)内容，包括附加的例子和练习。我们现在使用“0x”符号表示十六进制。在硬连线和微程序控制方面增加了更多细节的讨论，并更新了MARIE硬连线控制单元的逻辑图和MARIE微程序时序图。
- 第5章除了新的ARM处理器部分外，还扩展了大端和小端内容，包括附加例子和练习。
- 第6章更新了图，扩展了全相联存储器的讨论，包括附加的例子，更明确讨论了高速缓存。所有例子都更新了，用十六进制地址取代了十进制地址。本章现在包含的例子比第3版多20%。
- 第7章扩展了固态硬盘和新兴的数据存储设备(如碳纳米管和忆阻器)的讨论，还增加

了 RAID 的内容。除了章后练习数量增加 20% 外，还增加了 MP3 压缩方面的内容。

- 第 8 章已经更新，以反映系统软件领域的发展。
- 第 9 章扩展讨论了 RISC 与 CISC(把两者的比较融入了移动领域)，还讨论了量子计算(包括技术奇点的讨论)。
- 第 10 章包含对嵌入式操作系统的更新材料。
- 第 12 章已经更新，删除了过时的材料，整合了新材料。
- 第 13 章扩展和更新了 USB 的内容，扩展了云存储的内容，删除了过时的材料。

### 读者对象

本书最初是为计算机专业本科生的计算机组成与体系结构课程编写的。虽然本书面向计算机专业，但是也适用于 IS 和 IT 专业的学生。

本书包含的材料对于典型的一学期课程绰绰有余。但是，一般学生无法在一学期课程中掌握本书的所有材料。如果教师计划覆盖所有主题，那么最理想的是连续两个学期的课程。这种组织方式使教师可以根据学生的经验和需求，以不同深度覆盖重要的主题。教师覆盖这些主题所需时间的建议如表 P-2 所示，其中还列出了完成每一章的相应期望程度。我们希望本书在正式课程学完后的很长一段时间里都会成为有用的参考书。

表 P-2 建议学时

章号	一个学期(42 学时)		两个学期(84 学时)	
	学时	期望的程度	学时	期望的程度
1	3	精通	3	精通
2	6	精通	6	精通
3	6	精通	6	精通
4	8	精通	8	精通
5	4	熟悉	6	精通
6	3	熟悉	8	精通
7	2	熟悉	6	精通
8	2	了解	7	精通
9	2	熟悉	7	精通
10	1	了解	5	熟悉
11	2	了解	9	精通
12	2	了解	7	精通
13	1	了解	6	精通

### 教学模型：MARIE

在关于计算机组成与体系结构的书中，体系结构模型的选择既会影响教师，也会影响学生。如果模型太复杂，那么教师和学生都会陷入与课堂所讲概念无关的细节中。虽然真实的体系结构令人感兴趣，但是把这些体系结构用于入门课程中往往会有太多的独特之处。真实的体系结构每天都在变，这使得事情变得更加复杂。另外，很难找到一本书，其所包含的模型与某个学院中的本地计算平台相匹配，值得注意的是，这个平台也可能每年都会变化。

为了缓解这些问题，我们设计了专门用于教学的简单体系结构 MARIE。利用 MARIE，学生学习计算机组成与体系结构的基本概念(包括汇编语言)时，不会陷入存在于真实体系结构中的不必要和混乱的细节中。尽管 MARIE 很简单，但是它却仿真了一个功能系统。MarieSim 是 MARIE 机的仿真器，具有用户友好的图形用户界面，利用它，学生可以创建和编辑源代码，

将源代码转换为机器码，运行机器码，调试程序。

具体而言，MarieSim 具有以下特点：

- 对第 4 章中引入的 MARIE 汇编语言的支持
- 用于程序创建和修改的集成文本编辑器
- 十六进制机器语言目标代码
- 带有单步模式、断点、暂停、恢复以及寄存器与存储器跟踪的集成调试器
- 显示 MARIE 存储器中 4096 个地址的图形存储器监控器
- MARIE 寄存器的图形显示
- 在程序执行期间加亮指令
- 用户控制的执行速度
- 状态消息
- 用户可见的符号表
- 让用户改正任何错误和自动重新汇编而不改变环境的交互式汇编器
- 在线帮助
- 可选的内核转储，用户可以指定存储器范围
- 用户可以修改的帧大小
- 平缓的学习曲线，学生可以快速学会使用这个系统

由于 MarieSim 是使用 Java 语言编写的，所以这个系统可以移植到任何使用 Java 虚拟机 (JVM) 的平台上。学过 Java 的学生可以查看这个仿真器的源代码，甚至可以对仿真器的简单功能进行改进和强化。

图 P-2 是 MarieSim 的图形化环境，图中展示了 MARIE 机仿真器的图形化环境。该截图包含 4 个部分：菜单栏、中央监控区、存储器监控器和消息区。

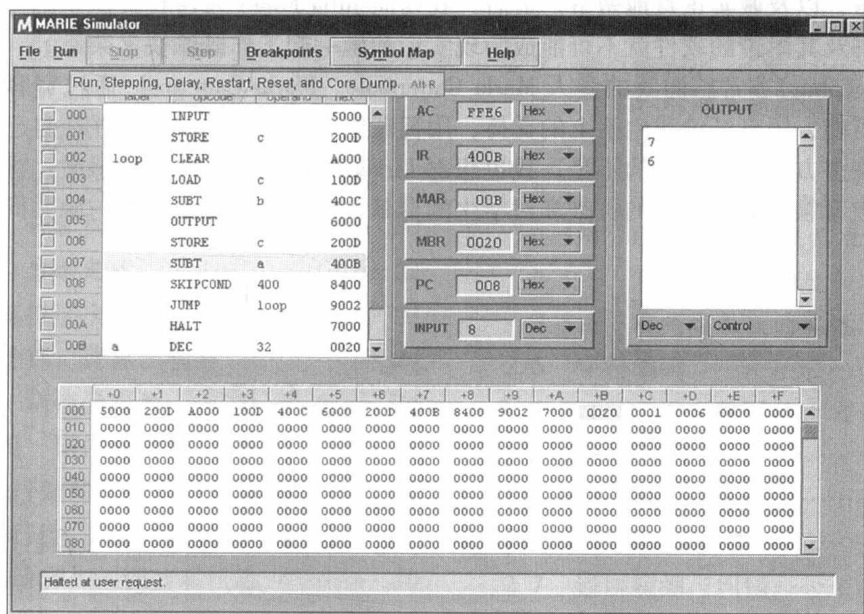


图 P-2 MarieSim 的图形化环境

菜单选项允许用户控制 MARIE 仿真器系统的活动和行为。这些选项包括加载、启动、停止、设置断点和暂停已经用 MARIE 汇编语言编写好的程序。

MARIE 仿真器在一个简单环境中展示了汇编过程、加载和执行。用户能够直接看到程序

的汇编语言状态，以及相应的机器码(十六进制)。这些指令的地址也可显示出来，用户能够在任何时间看到存储器的任何部分。加亮用于指示程序的初始加载地址，以及当程序运行时所执行的当前指令。寄存器和存储器的图形显示使学生可以看到指令是如何引起寄存器和存储器的值变化的。

### 如果发现了错误

我们试图使本书准确，但是即使已经进行了多次检查，也还是会有错误。我们非常感谢发现任何错误的读者，意见和建议请发送电子邮件到 [ECO@jblearning.com](mailto:ECO@jblearning.com)。

### 致谢

一本书的完成不可能是一两个人努力的结果，本书也不例外。我们意识到编写一本教材是一项艰巨的任务，只有共同努力才可能完成，而且我们发现逐一感谢帮助本书的每个人是不可能的。在下面的感谢中，如果无意中遗漏了任何人，那么我们非常抱歉。

很多人对本书做出了贡献。我们首先感谢所有审校者对以前版本仔细的评价和深思熟虑的书面评论。另外，我们对许多通过电子邮件发送有用想法和建议的读者表示感谢。虽然在这里我们不可能提到所有人，但是我们特别感谢 John MacCormick (Dickinson 学院) 和 Jacqueline Jones (Brooklyn 学院) 细致入微的审阅和大量的建议。我们特别感谢 Karishma Rao 和 Sean Willeford 在制作高质量存储器软件模块中投入的时间和精力。

我们也要感谢 Jones & Bartlett Learning，与他们的密切合作使得本书得以出版。我们非常感谢 Tiffany Silter、Laura Pagluica 和 Amy Rose 的敬业精神、奉献和努力工作。

我(Linda Null)非常感谢丈夫 Tim Wahls，他对于我第四次写书而不能料理家务继续保持耐心，对本书的内容坦率地提出了修改意见。他承担了所有做饭的工作，忍受了由于我写本书所做的妥协，包括错过了每年的飞钓假期，以及使我们的马长期处于无人喂养的状态。我觉得嫁给这么好的男人真是太幸运了。我衷心感谢我的恩师 Merry McDonald，他教会了我学习和教学的价值和快乐，以及诚实正直地做事。最后，我要向 Julia Lobur 表达我最深切的感谢，因为没有她，这本书及其附带的软件就不可能成为现实。和她一起工作既愉快又荣幸。

我(Julia Lobur)非常感谢我的爱人 Marla Cattermole。Marla Cattermole 通过宽容和尽责使这项工作成为可能，用烹饪给我生活上的支持，用智慧给我精神上的支持，并在自己的事业上努力工作，在许多方面弥补了我的不足。我也想对 Linda Null 表达我深深的感激：首先是对她在计算机科学教育领域非常卓越的贡献和对学生的奉献，其次是对她给了我与她共同编写教材的机会。

出版者的话

译者序

前言

## 第1章 绪论 ..... 1

1.1 引言 ..... 1

1.2 计算机的主要部件 ..... 2

1.3 一个实例系统：吃力地读专业  
词汇 ..... 3

1.4 标准组织 ..... 12

1.5 发展历史 ..... 13

1.5.1 第零代：机械计算机  
(1642~1945年) ..... 131.5.2 第一代：电子管计算机  
(1945~1953年) ..... 151.5.3 第二代：晶体管计算机  
(1954~1965年) ..... 181.5.4 第三代：集成电路计算机  
(1965~1980年) ..... 201.5.5 第四代：超大规模集成电路  
计算机(1980~) ..... 20

1.5.6 摩尔定律 ..... 22

1.6 计算机层次结构 ..... 23

1.7 云计算：计算即服务 ..... 24

1.8 冯·诺依曼模型 ..... 26

1.9 非冯·诺依曼模型 ..... 28

1.10 并行处理器和并行计算 ..... 29

1.11 并行性：机器智能的  
推动者——深蓝和沃森 ..... 30

本章小结 ..... 32

扩展阅读 ..... 32

参考文献 ..... 33

复习题 ..... 34

习题 ..... 35

## 第2章 计算机系统中的数据表示 ..... 37

2.1 引言 ..... 37

2.2 按位计数系统 ..... 37

2.3 不同进制之间的转换 ..... 38

2.3.1 无符号整数的转换 ..... 38

2.3.2 小数的转换 ..... 40

2.3.3 2的幂次作为基数的计数  
系统之间的转换 ..... 41

2.4 有符号整数表示 ..... 42

2.4.1 原码 ..... 42

2.4.2 补码系统 ..... 45

2.4.3 有符号数的移码表示 ..... 49

2.4.4 无符号数与有符号数 ..... 50

2.4.5 计算机、算术和布斯算法 ..... 50

2.4.6 进位和溢出 ..... 53

2.4.7 使用移位进行二进制乘法和  
除法 ..... 54

2.5 浮点数表示 ..... 55

2.5.1 一个简单的模型 ..... 55

2.5.2 浮点运算 ..... 57

2.5.3 浮点误差 ..... 58

2.5.4 IEEE-754浮点标准 ..... 59

2.5.5 表数范围、精度和准确度 ..... 60

2.5.6 有关浮点数的其他问题 ..... 61

2.6 字符编码 ..... 62

2.6.1 二进制编码的十进制 ..... 63

2.6.2 EBCDIC ..... 64

2.6.3 ASCII ..... 64

2.6.4 Unicode ..... 65

2.7 错误检测与纠错 ..... 67

2.7.1 循环冗余校验 ..... 67

2.7.2 汉明码 ..... 69

2.7.3 里德-所罗门纠错码 ..... 74

本章小结 ..... 74

扩展阅读 ..... 75



参考文献 .....	75	第 4 章 一个简单的计算机模型	
复习题 .....	76	MARIE .....	139
习题 .....	76	4.1 引言 .....	139
特别关注: 数据记录和传输的编码 .....	82	4.2 CPU 基本知识和组织结构 .....	139
<b>第 3 章 布尔代数与数字逻辑</b> .....	<b>88</b>	4.2.1 寄存器 .....	139
3.1 引言 .....	88	4.2.2 ALU .....	140
3.2 布尔代数 .....	89	4.2.3 控制单元 .....	140
3.2.1 布尔表达式 .....	89	4.3 总线 .....	140
3.2.2 布尔代数的基本定律 .....	90	4.4 时钟 .....	143
3.2.3 化简布尔表达式 .....	91	4.5 输入/输出子系统 .....	144
3.2.4 求反 .....	92	4.6 存储器的组成和寻址方式 .....	145
3.2.5 表示布尔函数 .....	93	4.7 中断 .....	148
3.3 逻辑门 .....	94	4.8 MARIE .....	149
3.3.1 逻辑门符号 .....	94	4.8.1 组织结构 .....	149
3.3.2 通用逻辑门 .....	95	4.8.2 寄存器和总线 .....	150
3.3.3 多输入逻辑门 .....	96	4.8.3 指令集架构 .....	151
3.4 数字组件 .....	96	4.8.4 寄存器传输表示 .....	153
3.4.1 数字电路及其与布尔代数的		4.9 指令的执行过程 .....	155
关系 .....	96	4.9.1 取指-译码-执行周期 .....	155
3.4.2 集成电路 .....	97	4.9.2 中断和指令周期 .....	155
3.4.3 汇总: 从问题描述到电路 .....	99	4.9.3 MARIE 的 I/O .....	157
3.5 组合逻辑电路 .....	100	4.10 一个简单的程序 .....	157
3.5.1 基本概念 .....	100	4.11 关于编译程序的讨论 .....	159
3.5.2 典型的组合逻辑电路		4.11.1 编译程序的作用 .....	159
示例 .....	100	4.11.2 使用汇编语言的原因 .....	160
3.6 时序电路 .....	105	4.12 指令集的扩展 .....	161
3.6.1 基本概念 .....	105	4.13 关于译码的讨论: 硬连线和	
3.6.2 时钟 .....	105	微程序控制 .....	166
3.6.3 触发器 .....	105	4.13.1 机器控制 .....	166
3.6.4 有限状态机 .....	108	4.13.2 硬连线控制 .....	169
3.6.5 时序电路示例 .....	112	4.13.3 微程序控制 .....	171
3.6.6 时序逻辑的应用: 卷积		4.14 实际的计算机体系结构 .....	174
编码和维特比检测 .....	115	4.14.1 Intel 体系结构 .....	175
3.7 电路设计 .....	119	4.14.2 MIPS 体系结构 .....	179
本章小结 .....	119	本章小结 .....	181
扩展阅读 .....	120	扩展阅读 .....	182
参考文献 .....	120	参考文献 .....	183
复习题 .....	121	复习题 .....	184
习题 .....	122	习题 .....	185
特别关注: 卡诺图 .....	128		