



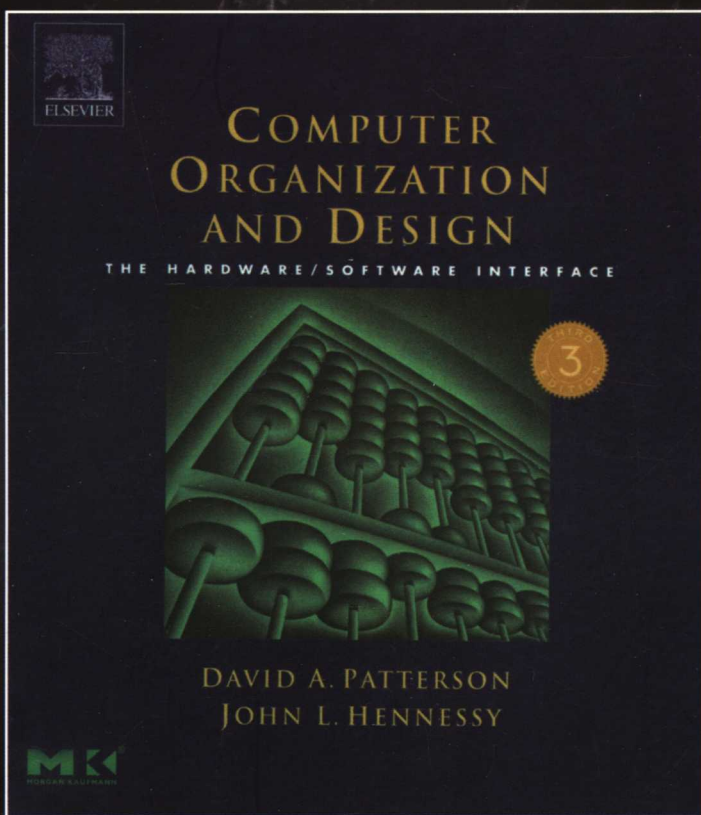
计 算 机 科 学 丛 书

原书第3版

计算机组成与设计

硬件/软件接口

(美) David A. Patterson John L. Hennessy 著 郑纬民 等译



Computer Organization and Design
The Hardware/Software Interface, Third Edition



机械工业出版社
China Machine Press



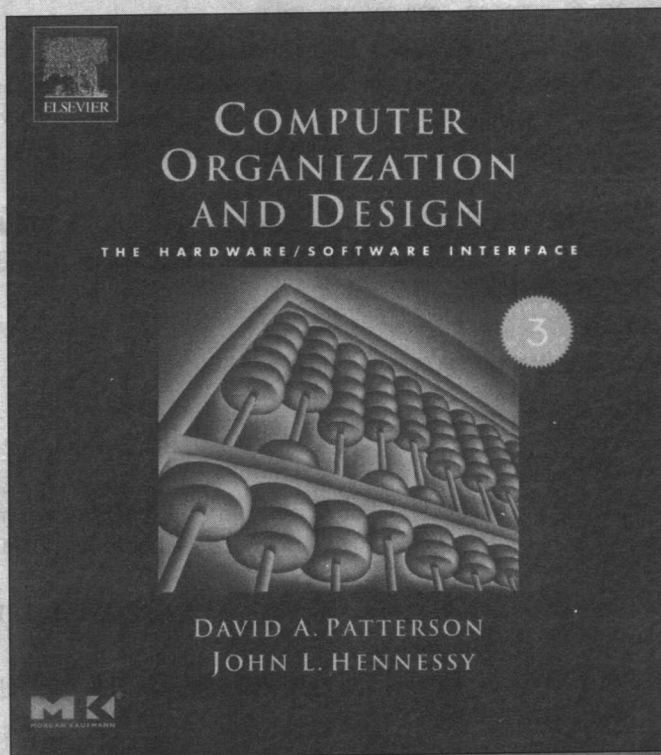
计 算 机 科 学 丛 书

原书第3版

计算机组成与设计

硬件/软件接口

(美) David A. Patterson John L. Hennessy 著 郑纬民 等译



Computer Organization and Design
The Hardware/Software Interface, Third Edition



机械工业出版社
China Machine Press

本书是计算机组成的经典教材。全书着眼于当前计算机设计中最基本的概念，展示了软硬件间的关系，并全面介绍当代计算机系统发展的主流技术和最新成就。

同以往版本一样，本书采用 MIPS 处理器作为展示计算机硬件技术基本功能的核心。书中逐条指令地列举了完整的 MIPS 指令集，并介绍了网络和多处理器结构的基本内容。将 CPU 性能和程序性能紧密地联系起来是本版的一个新增内容。另外，本版对软硬件的讨论更加深入，作者展示了软硬件部件如何影响程序的性能，并在光盘中为侧重硬件和侧重软件的读者分别提供了相关资料。随书光盘内容非常丰富，不仅包括各种配套教学资源，还提供了 HDL 模拟器、MIPS 模拟器以及 FPGA 设计工具等软件。

本书适合作为高等院校相关专业的本科生和研究生的教材，对广大技术人员也有很高的实际参考价值。

David A. Patterson and John L. Hennessy: Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface, Third Edition (ISBN: 1-55860-604-1 ISBN-13: 978-1558606043).

Copyright © 2007 by Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by China Machine Press.

ISBN: 981-259-259-8 ISBN-13: 978-981-259-259-0

Copyright © 2007 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only. Excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由机械工业出版社与 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆境内合作出版。本版仅限在中国境内（不包括中国香港特别行政区及中国台湾地区）出版及标价销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2005-0900

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成与设计：硬件/软件接口 (原书第 3 版) / (美) 帕特森 (Patterson, D.A.), (美) 亨尼希 (Hennessy, J. L.) 著; 郑伟民等译. -北京: 机械工业出版社, 2007.4

(计算机科学丛书)

书名原文: Computer Organization and Design: The Hardware/ Software Interface, Third Edition
ISBN 978-7-111-20214-1

I. 计… II. ①帕… ②亨… ③郑… III. ①计算机体系结构②微型计算机-接口设备
IV. ①TP303②TP364

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127226 号

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: 王 玉

三河市明辉印装有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·38 印张

定价: 75.00 元 (附光盘)

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换。

本社购书热线: (010) 68326294

出版者的话

文艺复兴以降，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，也正是这样的传统，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，还揭开了学术的源变，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、从业人员较少的现状下，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图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与Prentice Hall, Addison-Wesley, McGraw-Hill, Morgan Kaufmann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Tanenbaum, Stroustrup, Kernighan, Jim Gray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、研究及收藏。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襄助，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，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，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，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步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步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域的著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业

的教学度身订造的。其中许多教材均已为M. I. T., Stanford, U.C. Berkeley, C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程,而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下,读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

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,但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。教材的出版只是我们的后续服务的起点。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,我们的联系方式如下:

电子邮件: hzjsj@hzbook.com

联系电话: (010) 68995264

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037

专家指导委员会

(按姓氏笔画顺序)

尤晋元
石教英
张立昂
邵维忠
周克定
郑国梁
高传善
裘宗燕

王 珊
吕 建
李伟琴
陆丽娜
周傲英
施伯乐
梅 宏
戴 葵

冯博琴
孙玉芳
李师贤
陆鑫达
孟小峰
钟玉琢
程 旭

史忠植
吴世忠
李建中
陈向群
岳丽华
唐世渭
程时端

史美林
吴时霖
杨冬青
周伯生
范 明
袁崇义
谢希仁

译者序

美国加州大学伯克利分校计算机系的 Patterson 教授和斯坦福大学校长计算机系的 Hennessy 教授是现今计算机设计领域非常受人尊敬的学者和开创者。David A. Patterson 教授是 RISC 的最初提倡者之一。他创造了 RISC 一词，定义了 RISC 的含义，是 Sun 公司 SPARC 处理器的主要顾问。他提出了 RAID（廉价冗余磁盘阵列），带来了为大量数据服务器提供磁盘存储的工业革命，并且又提出了 NOW（工作站网络）的概念，引领了当今集群技术的发展。John L. Hennessy 教授精通硬件/软件两个方面，是具有传奇色彩的 MIPS 编译器和几代 MIPS 硬件产品技术上的领导者。该书是他们对计算机组织研究和实践的全面而系统的总结。目前，世界上很多大学的计算机原理课程都采用这本教材，国内也有大学采用这本教材。

与同类著作相比，这本书行文深入浅出，具有结构清晰、系统性强、内容新颖、可读性好的特点。特别值得一提的是，这本书不仅讲授计算机组成的基本概念和基础，而且提供了计算机组成和设计的基本框架，使读者能够继续学习必要的知识，从而保持在这一领域的前沿位置。这正是我们将其翻译成中文并极力在国内推广的主要原因。这是一本能使读者在较短时间内全面了解、熟悉和掌握当代计算机系统发展主流技术和最新成就的优秀教材和专业参考书。其中译本的问世必将对我国计算机科学技术的教育和研究工作带来新的思路和素材。

感谢机械工业出版社华章公司对出版本书中译本的支持，感谢清华大学计算机系高性能计算所各位同学在翻译和校对过程中所付出的辛勤努力。由于时间仓促、译者水平有限，文中定有不当或欠妥之处，还望读者批评指正。

郑纬民

2006年8月于清华园

前 言

我们能体验的最美好的东西是神秘的事物。它是所有真正艺术和科学的来源。

阿尔伯特·爱因斯坦《我的世界观》，1930

关于本书

我们认为，讲解计算机科学和工程必须反映这一领域的当前情况，同时介绍组成计算的基本原理。我们认为计算领域的各类读者都需要了解计算机组成原理，这些原理决定计算机系统的能​​力、性能，甚至成功与否。

现代计算机技术要求各类专家既懂硬件又懂软件，因为了解软、硬件在多个层次上的交互，便能理解计算基础的框架。无论你是对硬件还是软件，对计算机科学还是电子工程感兴趣，计算机设计和组成的中心思想是一致的。因此，本书重点讲述软、硬件的关系以及目前计算机系统的基本概念。

本书适用于：没有汇编语言或逻辑设计知识且想了解计算机组织结构基础知识的初学者；以及有汇编语言或逻辑设计背景知识，想学习如何设计计算机并且想了解计算机系统工作原理的读者。

与本书相关的另一本书

有些读者可能熟悉我们写的另一本书《计算机体系结构：量化研究方法》。我们写那本书的目的是通过坚实的工程基础和量化的性能/价格权衡描述计算机体系结构的基本原则。我们以实例和度量相结合的方法，在商用系统的基础上，建立实际的设计经验。目的是要说明计算机的体系结构可以通过量化的方法而非描述的方法来学习。它是为想了解计算机细节的专业人士准备的。

而大部分人并非想成为计算机系统结构专家。然而，软件设计者对系统中硬件技术的理解程度在很大程度上决定了未来的软件系统的性能。因此，编译器的设计者、操作系统的设计者、数据库的设计者和其他软件设计人员都需要理解本书讲述的基本原理。同样，硬件设计者也应该清楚地认识到他们的工作对软件应用产生的影响。

虽然我们两人合作写了《计算机体系结构：量化研究方法》和这本书，但本书并非前者的子集，我们针对不同的读者修订了书中的素材。另外，《计算机体系结构：量化研究方法》一书的后​​续版本也去除了介绍性的内容，因此两书重合的部分更少了。

第3版的变化

在本书第3版中，我们有六个主要目标：使本书既适合关心硬件的读者也适合关心软件的读者；改进教学方法；加强理解程序性能的内容；更新了技术内容以反映当前行业情况（因为第2版是1998年出版的）；使书中的内容更接近计算机行业以外的实际应用；减少书本的篇幅。

第一，下面的表格显示了软件知识和硬件知识在各章节中的分布。第1、4、7章是共同的内容，与经验和关注点无关。第2、3章可以看做是硬件相关的，但是对于关注软件的读者，特别是那些对编译器和面向对象编程语言感兴趣的读者而言，也是需要掌握的。第5、6章的第一节可以使关心软件的读者对该章有一个整体的了解。而关心硬件的读者会发现这两章是核心内容；根据各自背景不同，有些读者可能需要先读附录B“逻辑设计基础”以及5.7节“微程序设计：简化控制设计”和5.8节“使用硬件描述语言进行数字设计概述”。第8章关于输入/输出的内容对关心软件的读者很重要，如果时间允许也应该读一读。最后一章关于多处理器和集群，读与不读同样要看读者的时间而定。“历史回顾”部分也考虑到了均衡性，它们涵盖程序设计语言、编译器、数值处理软件、操作系统、网络协议和数据库。

章或附录	节	关注软件	关注硬件
第1章 计算机概念和技术	1.1 ~ 1.6		
	■ 1.7 (历史)		
第2章 计算机指令	2.1 ~ 2.11		
	■ 2.12 (编译器)		
	2.13 (C 排序)		
	■ 2.14 (Java)		
	2.15 ~ 2.18		
	■ 2.19 (历史)		
第3章 计算机的算术运算	3.1 ~ 3.9		
	■ 3.12 (历史)		
附录 D 桌面计算机、服务器和嵌入式计算机上的 RISC 体系结构	■ D.1 ~ D.19		
第4章 性能	4.1 ~ 4.6		
	■ 4.7 (历史)		
附录 B 逻辑设计基础	■ B.1 ~ B.13		
第5章 处理器：数据通路及其控制	5.1 (概述)		
	5.2 ~ 5.7		
	■ 5.8 (微代码)		
	■ 5.9 (Verilog)		
	5.10 ~ 5.12		
	■ 5.13 (历史)		
附录 C 控制器的硬件实现	■ C.1 ~ C.6		
第6章 利用流水线提高性能	6.1 (概述)		
	6.2 ~ 6.6		
	■ 6.7 (Verilog)		
	6.8 ~ 6.9		
	6.10 ~ 6.12		
	■ 6.13 (历史)		
第7章 层次结构的存储器	7.1 ~ 7.8		
	■ 7.9 (历史)		
第8章 存储器、网络和其他外围设备	8.1 ~ 8.2		
	■ 8.3 (网络)		
	8.4 ~ 8.10		
	■ 8.13 (历史)		
第9章 多处理器和集群	■ 9.1 ~ 9.10		
	■ 9.11 (历史)		
附录 A 汇编程序、连接程序和 SPIM 模拟器	■ A.1 ~ A.12		
现实世界中的计算机	在各章之间		

仔细阅读 有时间应该读 参考资料

回顾或阅读 拓展阅读

第二，根据第2版读者提到的困难，我们改善了书中观点的表述方式。我们在新书中加了五个模块帮助读者阅读。为了便于查询，我们在新术语第一次出现时，以脚注的形式给出了术语的定义。另一个变化是加入了“自测”部分，可以帮助读者检查对新概念的理解。还增加了额外的习题——更多练习 (For More Practice)，增加了自测和更多练习的参考答案，以帮助读者通过对照答案加深理解。我们受 IBM System/360 “绿卡”的启发，相信你会发现在编写 MIPS 汇编程序时，文前插页“MIPS 参考数据卡”是一个很好的参考资料。我们的建议是你将这页从书的前页撕下来，折起来，装在口袋里，就像 IBM S/360 的程序员在 20 世纪 60 年代做的那样。

第三，现代计算机太复杂了，分析一个程序的性能需要深入理解底层原则和所使用的计算机的组织方式。我们的目标是使读者能够了解程序的性能并指导他们如何改进。为了这一目标，我们在很多章节中加入了“理解程序性能”的小结，它们给出了该章内容如何影响实际程序的具体例子。

第四，自本书第2版问世以来，硬件系统持续按照摩尔定律发展着。现在我们有包括 2 亿个晶体管的处理器，包括 10 亿个晶体管的 DRAM 芯片，时钟频率达到了几 GHz。“实例”中的例子更新到了现在的芯片。第3版还引入了 AMD 64/IA-32e，它是生命期很长的 80x86 体系结构的 64 位版本，被认为是 IA-64 的克星。本书还反映了从并行总线到串行网络的迁移。后面的章节还谈到了 Google，介绍了它的集群技术和在搜索领域内的杰出应用。

第五，尽管许多计算机科学与工程专业的学生出于技术的原因而喜爱信息技术，还有一些人有更利他主义的兴趣，后者的群体中有很多女性和未被提及的少数派群体。因此，我们在每章之后加入了新的模块——“现实世界中的计算机”。我们的观点是信息技术比其他话题（如文化遗产保护、帮助第三世界国家、保护环境等）对人类更有价值，所以我们展示了一些非传统应用的具体例子。我们相信读者读了这些内容后，除了内在的令人感兴趣的技术外，读者更能够欣赏到计算机文化的魅力，就像读了每章后面的“历史回顾”内容一样。

第六，书和人一样，会变得越来越厚，越来越老。通过现代技术，我们在增添上述内容的同时还将在书的页数缩减了几百页。如同前面的表格展示的，软件和硬件的核心内容留在了书中，那些只对一部分读者有额外价值的材料放到了随书的光盘中[⊖]。这一方式使得作者可以提供大量的历史材料和更多的相关练习而不必担心书的篇幅。增加了光盘，我们就还可以放很多免费软件和很多老师都会在课堂上使用的辅导材料。

教学支持

我们收集了很多材料帮助老师用本书授课。练习题的答案、书中的图表、笔记、课件以及其他材料都可以从出版商那里获得。需要更多的信息请访问出版商的网站：

www.mkp.com/companions/1558606041

结语

从下面的致谢部分，你会看到我们尽了最大努力修改书中的错误。一本书的印刷次数越多，就有更多的机会来修改错误。如果你发现任何可能的错误，请发电子邮件到 cod3bugs@mkp.com 或写信与出版商联系。

本书是两个人合作的结晶。我们共同探讨主要内容和表述方法，然后分别写一半的内容，再为另一半的草稿作审校。我们写了几乎同样页数的内容，因此，我们共同承担读者对本书的任何

⊖ 为方便中国读者全面理解和学习本书的内容，本书中文翻译版将原放在光盘中的一些章节也留在了书中。——编者注

批评。

第3版致谢

我们再次表达对 Jim Larus 的感激，感谢他为本书提供的关于汇编语言编程的专业见解。我们欢迎读者使用他所开发和维护的模拟器。我们的习题编辑 Dan Sorin 承担了增添新习题和答案的艰巨任务。Peter Ashenden 在收集整理光盘中的内容时也付出了同样巨大的努力。

我们要感谢很多的老师，他们参加了出版商的调查，阅读了我们的提议，参加了不同的兴趣小组分析并回应我们关于这一版的计划。他们是：哈特福德大学的 Michael Anderson，新墨西哥大学的 David Bader，空军技术学院的 Rusty Baldwin，伊萨卡学院 (Ithaca College) 的 John Barr，南部大学的 Jack Briner，瑞典 KTH 的 Mats Brorsson，富兰克林大学的 Colin Brown，波因特-劳玛-拿撒勒大学的 Lori Carter，东北大学的 John Casey，Messiah 学院的 Gene Chase，马萨诸塞大学 Lowell 分校的 George Cheney，以色列耶路撒冷理工学院的 Daniel Citron，法国 INRIA 的 Albert Cohen，PathScale 的 Lloyd Dickman，西班牙巴伦西亚理工大学的 Jose Duato，华盛顿大学的 Ben Dugan，加拿大萨斯喀彻温大学的 Derek Eager，瑞典查尔姆斯理工大学的 Magnus Ekman，南康涅狄格州立大学的 Ata Elahi，宾夕法尼亚印第安那大学的 Soundararajan Ezekiel，西北密苏里州立大学的 Ernest Ferguson，宾夕法尼亚 Lebanon 谷学院的 Michael Fry，阿肯色小石城大学的 R. Gaede，加州大学尔湾分校的 Jean-Luc Gaudiot，威斯康星 La Crosse 大学的 Thomas Gendreau，加州州立大学圣博那帝诺分校的 George Georgiou，加拿大纽芬兰纪念大学的 Paul Gillard，加利福尼亚州立工业大学波莫纳分校的 Joe Grimes，古斯塔夫斯-艾道尔佛斯学院的 Max Hailperin，明尼苏达州立圣克劳德大学的 Jayantha Herath，威斯康星大学麦迪逊分校的 Mark Hill，弗吉尼亚技术大学的 Michael Hsaio，加州大学圣克鲁兹分校的 Richard Hughey，哥伦比亚大学的 Tony Jebara，萨维尔大学的 Elizabeth Johnson，圣母大学的 Peter Kogge，BAH 的 Morris Lancaster，蒙大拿大学的 Doug Lawrence，明尼苏达大学的 David Lilja，加州圣克拉拉大学的 Nam Ling，Agilent Technologies 的 Paul Lum，加拿大滑铁卢大学的 Stephen Mann，卡内基-梅隆大学的 Diana Marculescu，美国海军军官学校的 Margaret McMahon，佛罗里达州立大学的 Uwe Meyer-Baese，弗吉尼亚大学的 Chris Milner，西南浸信会大学的 Tom Pittman，加州圣荷西州立大学的 Jalel Rejeb，密苏里-罗拉大学的 Bill Siever，弗吉尼亚大学的 Kevin Skadron，科罗拉多州里吉斯大学的 Pam Smallwood，洛基山学院的 K. Stuart Smith，普利茅斯州立大学的 William J. Taffe，德州农工大学的 Michael E. Thomodakis，加拿大曼尼托巴大学的 Ruppa K. Thulasiram，南阿拉巴马大学的 Ye Tung，卡尔文学院的 Steve VanderLeest，德州大学圣安东尼奥分校的 Neal R. Wagner 和加州大学戴维斯分校的 Kent Wilken。

我们还要感谢那些仔细阅读了本书手稿的人们；他们有些甚至反复阅读，以确保我们在修订时没有增加新的错误。他们是：麻省理工学院的 Krste Asanovic，华盛顿大学的 Jean-Loup Baer，哈佛大学的 David Brooks，普林斯顿大学的 Doug Clark，科罗拉多大学 Boulder 分校的 Dan Connors，加州大学戴维斯分校的 Matt Farrens，马里兰大学学院公园分校的 Manoj Franklin，莱斯大学的 John Greiner，哈维玛德学院的 David Harris，加州大学伯克利分校的 Paul Hilfinger，惠普公司的 Norm Jouppi，东北大学的 David Kaeli，加州大学伯克利分校的 David Oppenheimer，南加州大学的 Timothy Pinkston，克莱蒙森大学的 Mark Smotherman 和威斯康星大学麦迪逊分校的 David Wood。

为了实现本版习题的 70% 都是新题的目标，我们招募了很多教授推荐的一些研究生。非常感谢他们的创造力和努力工作。他们是：马里兰州立大学的 Michael Black，罗彻斯特大学的 Lei Chen，麻省理工学院的 Nirav Dave，罗彻斯特大学的 Wael El Essawy，布朗大学的 Nikil Mehta，

罗彻斯特大学的 Nicholas Nelson, 德州大学奥斯汀分校的 Aaron Smith 和杜克大学的 Charlie Wang。

我们要特别感谢 Mark Smotherman, 他仔细校读了本书, 找出技术和写作上的错误, 大大提高了这一版的质量。

我们要感谢 Morgan Kaufmann 公司同意再次出版本书, 这次是在 Denise Penrose 的有力领导下完成的。她想出了书本和光盘混合发行的方法, 并找到了上述在本书的写作过程中起着重要作用的许多人。

Simon Crump 负责整个出版过程。Summer Block 进行了读者调查并整理他们的反馈。我们还要感谢许多帮助完成本书的自由职业者, 特别是编排人员 Nancy Logan 和 Dartmouth 出版公司。

以上提及的近 100 来人为本书的第 3 版做出了贡献, 使本书成为我们所出的最好的一本书。感谢大家。

David A. Patterson

John L. Hennessy

目 录

出版者的话	
专家指导委员会	
译者序	
前言	
第 1 章 计算机概念和技术	1
1.1 概述	1
1.2 程序的表象之下	5
1.3 打开计算机的机箱	8
1.4 实例：制造 Pentium 4 芯片	17
1.5 谬误和陷阱	20
1.6 结论	21
1.7 历史回顾和深入阅读	21
1.8 习题	22
现实世界中的计算机：信息技术在非 IT 领域的 40 亿产值	25
第 2 章 计算机指令	27
2.1 概述	27
2.2 计算机硬件的操作	28
2.3 计算机硬件的操作数	29
2.4 计算机中指令的表示	34
2.5 逻辑运算	40
2.6 分支指令	42
2.7 计算机硬件的过程支持	47
2.8 人机交互	55
2.9 对 32 位立即数的 MIPS 编址 和寻址	58
2.10 程序的翻译和启动运行	65
2.11 编译器如何优化	72
2.12 编译器如何工作初探	75
2.13 以一个 C 程序的排序为例	75
2.14 面向对象语言的实现	81
2.15 数组与指针	81
2.16 实例：IA-32 指令	84
2.17 谬误和陷阱	91
2.18 结论	91
2.19 历史回顾和深入阅读	93
2.20 习题	93
现实世界中的计算机：用数据拯救我们的 环境	97
第 3 章 计算机的算术运算	99
3.1 概述	99
3.2 有符号数与无符号数	99
3.3 加法与减法	106
3.4 乘法	111
3.5 除法	115
3.6 浮点运算	122
3.7 实例：IA-32 中的浮点部件	142
3.8 谬误和陷阱	144
3.9 结论	147
3.10 历史回顾和深入阅读	152
3.11 习题	152
现实世界中的计算机：重建古代世界	155
第 4 章 评估和理解性能	157
4.1 概述	157
4.2 CPU 的性能和影响因素	161
4.3 性能评估	166
4.4 实例：两个 SPEC 基准测试以及 新型 Intel 处理器的性能评价	170
4.5 谬误和陷阱	175
4.6 结论	178
4.7 历史回顾和深入阅读	179
4.8 习题	179
现实世界中的计算机：使交通工具 更快更安全	183
第 5 章 处理器	185
5.1 概述	185
5.2 逻辑设计规则	188
5.3 数据通路的建立	190
5.4 一个简单的实现方案	195
5.5 多周期实现方案	206
5.6 异常	221
5.7 微程序设计：简化控制设计	225
5.8 使用硬件描述语言进行 数字设计概述	225
5.9 实例：近期的 Pentium 处理器的 实现结构	225

5.10 谬误和陷阱	227	8.2 磁盘存储及其可靠性	371
5.11 结论	228	■ 8.3 网络	379
■ 5.12 历史回顾和深入阅读	229	8.4 总线以及在处理器、内存和 I/O 设备之间的其他连接	379
5.13 习题	229	8.5 为处理器、内存和操作系统提供 I/O 设备接口	384
现实世界中的计算机：助力残障人士	235	8.6 I/O 性能测量：磁盘和文件 系统的例子	390
第 6 章 利用流水线提高性能	237	8.7 设计 I/O 系统	392
6.1 流水线概述	237	8.8 实例：数码相机	394
6.2 流水线的通路	248	8.9 谬误和陷阱	396
6.3 流水线中的控制	259	8.10 结论	398
6.4 数据冒险与转发	262	■ 8.11 历史回顾和深入阅读	399
6.5 数据冒险与阻塞	269	8.12 习题	399
6.6 分支冒险	271	现实世界中的计算机：通过更好的 诊断来延长寿命	405
■ 6.7 使用硬件描述语言对流水线 进行建模	279	第 9 章 多处理器和集群	407
6.8 异常	279	9.1 概述	407
6.9 高级话题：如何提高性能	283	9.2 多处理器编程	410
6.10 实例：Pentium 4 处理器的流水线	294	9.3 用单一总线连接的多处理器	412
6.11 谬误和陷阱	296	9.4 通过网络连接的多处理器	419
6.12 结论	297	9.5 集群	421
■ 6.13 历史回顾和深入阅读	298	9.6 网络拓扑结构	422
6.14 习题	298	9.7 片内多处理器和多线程技术	425
现实世界中的计算机：无网守的 大众通信方式	304	9.8 实例：Google PC 集群系统	427
第 7 章 层次结构的存储器	307	9.9 谬误和陷阱	430
7.1 概述	307	9.10 结论——计算机系统结构的 改良和变革	432
7.2 高速缓存基础知识	310	9.11 历史回顾和深入阅读	435
7.3 高速缓存性能的评估和提高	323	9.12 习题	440
7.4 虚拟存储器	334	■ 附录 A 汇编器、链接器和 SPIM 模拟器	443
7.5 层次结构存储器的一般框架	353	■ 附录 B 逻辑设计基础	493
7.6 实例：Pentium P4 和 AMD Opteron 的存储器层次结构	357	■ 附录 C 控制器的硬件实现	543
7.7 谬误和陷阱	360	■ 附录 D 桌面计算机、服务器和嵌 入式计算机上的 RISC 体系 结构综述	563
7.8 结论	362		
■ 7.9 历史回顾和深入阅读	364		
7.10 习题	364		
现实世界中的计算机：保护世界 艺术财富	367		
第 8 章 存储器、网络和其他外围设备	369		
8.1 概述	369		

第 1 章 计算机概念和技术

增多我们不加思索就能完成的重要工作的数量,文明便是如此进步的。

Alfred North Whitehead, *An Introduction to Mathematics*, 1911

1.1 概述

欢迎阅读本书!我们很高兴有机会传播计算机系统界令人兴奋的事情。这不是一个枯燥沉闷、进展缓慢的领域,也不是新想法会被忽视而遭到扼杀的领域。不!计算机是生机勃勃的信息技术产业的产物,该产业的所有方面几乎占美国国民生产总值(GNP)的10%。这个充满创新活力的不寻常的产业正在以惊人的速度发展。自1985年以来,已经出现了多种导致计算产业大革命的新计算机,而这些革命仅仅因为其他人造出了更好的计算机就匆匆结束了。

自20世纪40年代末电子计算机出现以来,这个产业的创新速度已经导致了空前的进步。举例来说,如果交通运输业也能始终保持计算机业的发展速度,今天我们就可以花几美分在大约1秒钟内穿越大洋。想象一下如果以这种进步来改变我们的社会,你就可以住在塔希提岛而在旧金山工作,晚上还可以去莫斯科出席芭蕾舞会。你能理解这种发展速度的意义了吧。

继农业和工业革命之后,计算机引发了人类第三次文明革命,即信息革命。结果大大增强了人类智慧力量,并且很自然对我们的日常生活产生深远的影响,同时改变了我们探索新知识的方法。现在科学研究中有一个新的倾向,计算机科学家与理论和实验科学家共同合作,在天文学、生物学、化学、物理学等新的前沿领域进行探索。

计算机革命还在继续。每次革命都可使计算成本降低10倍,而使用计算机的机会则成倍增加。经济上原本不可行的应用忽然成为现实。就在不久以前,下列应用还只是“计算机科学幻想”。

- 自动柜员机:在20世纪50年代,把计算机安装在银行墙壁中,用于分发和收集现金还是个荒谬的想法。那时最便宜的计算机也要500 000美元,并且有一辆小汽车那么大。
- 车载计算机:计算机控制汽车这种想法在以前是荒唐的,直到20世纪80年代早期微处理器性价比有了显著的改进后才得以实现。今天,计算机可以控制发动机,提高燃油效率并减少污染,通过防打滑以及安全气囊来保护车上人员,提高安全性。
- 笔记本电脑:谁曾梦想过计算机系统的进步会导致笔记本电脑的出现,人们可以带着计算机去咖啡屋或乘飞机?
- 人类基因组计划:绘制并分析人类DNA序列所需要的计算机设备的成本是巨大的。如果按照10~20年前的计算机成本计算,那么这项花费将是现在的10~100倍,那样的话谁都不会考虑这样的项目了。
- 万维网:在本书的第1版时它还不存在,现在万维网正在改变我们的社会。在其应用中有:发布新闻、送花、网上购物、通过电子导游决定度假地、找到与你共同爱好的人,以及更为平常的应用,如查找教材作者的演讲记录等。

显然,计算机技术的进步几乎影响到人类社会生活的所有方面。硬件技术的进步允许程序员编制优秀且实用的软件,并解释了计算机为什么会无所不在。明天关于计算机用途的科幻小说将是:没有现金来往的社会,自动智能高速公路,真正的普适计算(没有人携带计算机,因为计算机无处不在)。

1.1.1 计算应用的类型及特征

从智能家用电器,到手机,到大型超级计算机,都使用了共同的硬件技术(1.3节和1.4节中将深入讨论)。但是由于不同的应用有不同的设计需求,所以使用核心硬件技术的方式也有所不同。宽泛地说,计算机出现在以下三类应用中:

桌面电脑^①可能是尽人皆知的计算资源,以个人电脑为代表,本书的大部分读者可能都使用这种类型的计算机。台式机强调以较小的代价为单一用户提供较高的性能,通常用来执行第三方软件,又称商业软件包。台式计算是最大的计算机市场之一,很多计算技术的革新都是由这一类计算推动的,而它问世至今仅仅大约30年!

服务器^②是以往主机(mainframe)、小型计算机(minicomputer)、巨型计算机(supercomputer)的现代形式,通常只能通过网络访问。服务器最初用来承担大负载任务,例如单个科学或工程应用中的复杂应用或者处理多个小任务,如同构建大型的Web服务器一样。这些应用通常是基于其他软件,例如数据库、模拟系统等,但通常会为了特定的功能而调整或者定制。制造服务器所用的基本技术同台式机的相同,但是服务器需要拥有扩展性、较好的计算能力和输入输出能力。在第4章中我们将会看到,随着应用领域的不同,服务器的性能可以用多种方式来衡量。通常,可靠性在服务器中占有十分重要的地位,因为同台式机相比,服务器崩溃的代价要大得多。

服务器在价格和性能上差别很大。低端服务器的造价可能比一个没有显示器或键盘的台式机稍贵,大约1000美元左右,通常用于文件存储、小型商务应用或者简单的Web服务。服务器的另一极端是**超级计算机**^③,目前一台超级计算机大约有数十万个处理器,数GB或者数TB(terabytes)^④的内存,数TB或者数PB的存储设备,造价大约几百万到几亿美元。超级计算机通常用于高端的科学和工程计算,例如天气预报、石油勘探、蛋白质结构判定以及其他大规模问题。尽管这些超级计算机代表最强的计算能力,它们在服务器领域只占较小的份额。同样,以总收入来看,它们在全部计算机市场中也只占相对较小的份额。

嵌入式计算机^⑤是计算机中最大的一类,其性能及应用领域跨幅最大。嵌入式计算机包括洗衣机、汽车中的微处理器,手机、个人数字助理(personal digital assistant, PDA)中的计算机,视频游戏机、数字电视中的计算机以及控制现代飞机及货船的处理器等。嵌入式计算系统被设计用来完成单一的或一组相关的应用,它通常被集成在硬件中,作为一个整体系统使用。因此,尽管存在着大量的嵌入式计算机,大部分用户从未真正意识到他们在使用计算机!

嵌入式应用通常只有一个应用需求,即在严格控制成本和功耗的前提下,以实现最低限度的性能要求。以手机为例:处理器只要足够应付手机有限的功能即可,除此之外,使功耗和成本最小化尤为重要。另外,嵌入式计算机最不能容忍故障,因为其后果小到制造混乱(例如,新买的电视崩溃掉),大到产生灾难(例如,飞机或汽车中的计算机出现故障)。在面向消费者的嵌入式应用中,例如数字家电,可靠性主要是通过“简化”达到的,它所强调的是只完成一个功能,完成得尽量完美。在大型嵌入式系统中,常常采用服务器中经常使用的冗余技术。尽管本书主要讨论通

① 桌面电脑(desktop computer) 为个人用户设计,通常包括图形显示设备、键盘、鼠标。

② 服务器(server) 用来运行大规模程序的计算机,为多个用户提供服务,并且通常是多个用户同时使用,一般只能通过网络访问。

③ 超级计算机(supercomputer) 一类高性能、高造价的计算机,通常用作服务器,造价一般几百万美元。

④ TB(terabyte) 最初表示1 099 511 627 776(2⁴⁰)字节,后来一些通信和辅助存储系统将定义调整为1 000 000 000 000(10¹²)字节。

⑤ 嵌入式计算机(embedded computer) 集成在其他设备中的计算机,用来执行一个预制的任务或一组固定的软件。

用型计算机，书中的绝大部分概念可以稍加改动，甚至直接应用到嵌入式计算机中。在后面的—些地方，我们会谈一些嵌入式计算机才有的概念。

如图 1-1 所示，过去的几年里，在数量上，嵌入式计算机的增长速率(年增长率 40%)远远高于台式机和服务器(年增长 9%)。注意，此处嵌入式计算机包括：手机、游戏机、数字电视、机顶盒、PDA 以及其他类似消费品。注意不包括使用 8 位和 16 位处理器的低端嵌入式控制设备。

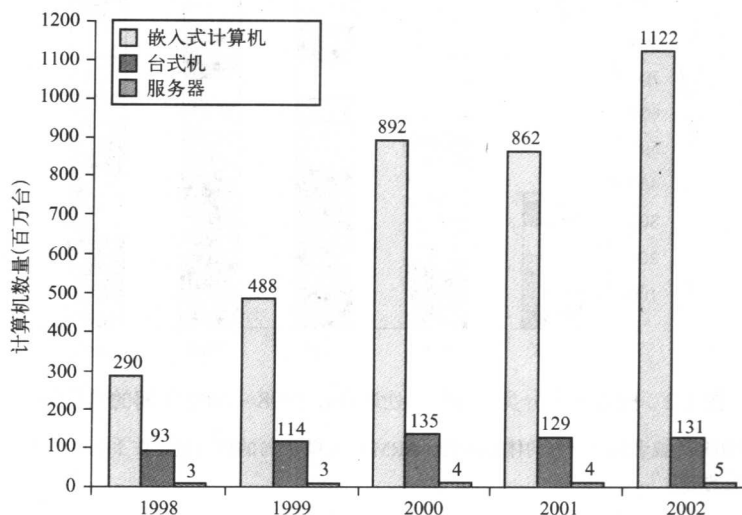


图 1-1 不同的处理器在 1998~2002 年间的销量

[这些数据的获得有些差异，因此在解释结果时需要注意。例如，台式机和服务器的总数是以整个计算机系统数量统计的，因为有些系统含有多个处理器，因此实际销售的处理器数量可能会多一些，但是总共只有 10%~20% (因为通常每个系统含有多个处理器的服务器的销售量只有台式机的 3%，而后者大部分都是单处理器系统)。嵌入式计算机的实际数量就是处理器的数量，很多甚至看不到。在有些情况下，一个设备中含有多个处理器]

细节：“细节”是本书中就某一特定话题提供更多细节的小段文字，可能会有读者感兴趣。对此不感兴趣的读者可以跳过这段内容，本书后续内容不依赖细节。

许多嵌入式处理器的设计都使用处理器核(processor core)，即使用硬件描述语言(例如 Verilog 或 VHDL)编写的处理器。处理器设计者可以将处理器核和其他应用相关的硬件整合，构建一个单一的芯片。集成工具可以根据 Verilog 描述生成芯片，加之现代硅芯片的容量越来越大，使得专用处理器有很强的吸引力。由于处理器核可以集成到不同的半导体生产线，这也为选择制造商提供了灵活性。在过去的几年里，“处理器核”的使用飞速增长。例如，1998 年，只有 31% 的嵌入式处理器使用处理器核。到 2002 年，其使用率已经达到 56%。不仅如此，在此期间嵌入式市场的年总增长率高达 40%，这些增长主要由处理器核的使用所推动。其间，处理器核的年综合增长率是 63%!

图 1-2 是市场上主要的体系结构及其销售量，统计数据包括了所有三类产品(嵌入式、台式和服务器)。以上数据统计了 32 位和 64 位处理器，其中 32 位处理器在大部分体系结构中占绝大部分份额。

1.1.2 从本书中能学到什么

成功的程序员总是关心他们写的程序的性能，因为快速地向用户返回计算结果是编写一个成功的软件中的关键部分。在 20 世纪 60 和 70 年代，计算机性能的一个主要制约因素是计算机内