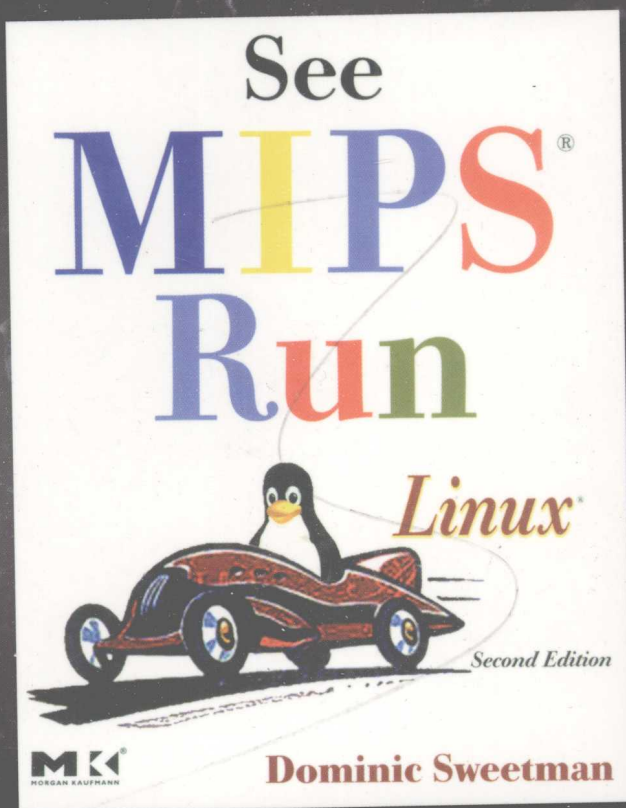


MIPS体系结构透视

(英) Dominic Sweetman 著 李鹏 鲍峥 石洋 等译



See MIPS Run
Second Edition

计 算 机 工 业 从 书

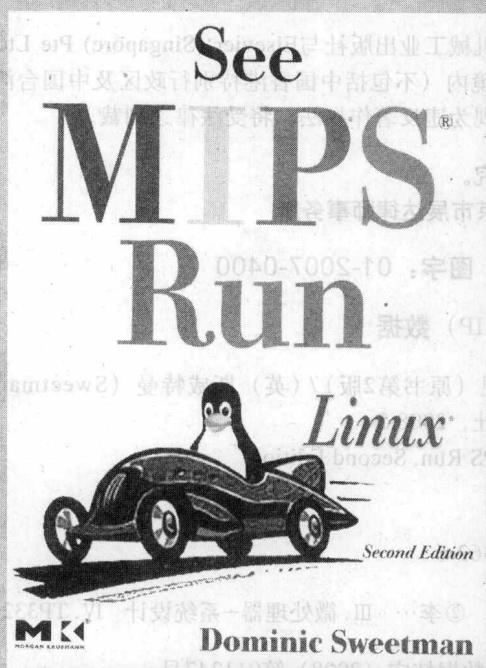
原书第2版

TP332/139

2008

MIPS体系结构透视

(英) Dominic Sweetman 著 李鹏 鲍峥 石洋 等译



See MIPS Run
Second Edition

★ 机械工业出版社
China Machine Press

本书是一本关于MIPS体系结构的经典之作。第2版延续了第1版的可读性传统,通过应用具体的实例对硬件和软件的接口进行强调,并将广泛应用的RISC系统结构MIPS与开源操作系统Linux结合在一起,从MIPS设计原理开始,阐述MIPS指令集和程序员的可用资源。

第2版在描述Linux/MIPS应用代码如何载入到内存、如何连接到库以及如何运行等方面做了介绍。此外,书中还提供了完整的、经过更新的MIPS指令集指南。

本书既可作为高等院校计算机体系结构、嵌入式系统编程和高级计算技术等课程的教材或教学参考书,也很适合科研机构专业人士和硬件开发人员参考阅读。

Dominic Sweetman: See MIPS Run, Second Edition (ISBN-13: 978-0-12-088421-6 ISBN-10: 0-12-088421-6).

Copyright © 2007 by Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by China Machine Press.

ISBN: 978-981-259-856-1

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:01-2007-0400

图书在版编目(CIP)数据

MIPS体系结构透视(原书第2版)/(英)斯威特曼(Sweetman, D.)著;李鹏等译.
—北京:机械工业出版社,2008.5

书名原文:See MIPS Run, Second Edition
(计算机科学丛书)

ISBN 978-7-111-23362-6

I. M… II. ①斯… ②李… III. 微处理器—系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第011347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

北京市慧美印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2008年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张

标准书号:ISBN 978-7-111-23362-6

定价:48.00元

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，还揭橥了学术的源变，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、研究及度藏。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260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，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”。为了保证这两套丛书的权威性，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。

这两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

推 荐 序

There is no doubt the first “See MIPS Run” translation was widely popular amongst MIPS fans in China. I am sure this second version with an emphasis in Linux will even be more popular as MIPS is known to be “the Linux in the embedded world”.

Over the last three years since MIPS Technologies entered China and setup their Shanghai Engineering office by Mr. Ho Ying Wai, a veteran MIPS engineering Director from their Mountain View HQ, I have seen good success in the use of the MIPS architecture such as the licensing by China’s #1 semiconductor company in Zhuhai’s Actions for PMP devices.

Your efforts have helped to provide more reference material for MIPS users and students in Chinese.

May I wish you all continual success in your contributions to the industry!

祝贺《MIPS体系结构透视》第2版中文译本面世。

《MIPS体系结构透视》第1版的中文译本无疑在中国的MIPS迷中很受欢迎。我确信本书的第2版因为更加侧重Linux应用将会受到更多的欢迎，就像在嵌入式领域，MIPS体系结构广受各种Linux应用欢迎一样。

三年前，MIPS Technologies进入中国，来自Mountain View总部的资深MIPS主任工程师Ho Ying Wai先生也在上海建立了工程办公室。三年来，我见证了MIPS体系结构应用方面的重大成功，例如中国最大的半导体公司珠海炬力在PMP设备中的授权使用。你们的努力已经为MIPS用户和学生提供了更多的中文参考资料。

衷心祝愿你们对工业界的贡献获得持续成功！

Kin Lai (黎庆生) [⊖]

2008年3月

⊖ Kin Lai (黎庆生) 现任ONStor公司大中华和新加坡区董事总经理，是业内资深专家，在中国及整个亚太地区拥有长达20年的技术销售与管理经验，曾任MIPS Technologies在华首席代表以及Netro公司的亚太区副总裁，并历任SDRC、Cabletron、Sun和Delco Electronics在亚太区的高级管理和销售职位。——编辑注

译者序

“世界潮流，浩浩荡荡，顺之者昌，逆之者亡”。孙中山先生这句名言道出了伟人的睿智与对真理的不倦追求。从中我们可以体会到，成功不仅取决于个人的努力，更取决于世界潮流这个大平台。在计算机工程领域，我们可以清楚地观察到，近年来在世界范围内，计算机微处理器等芯片的设计与制造产业中心有向中国转移的趋势：在中高端芯片领域，龙芯处理器的研发进展喜人；在中低端芯片领域，中星微、珠海炬力等IC设计公司已实现大规模生产；在晶圆代工领域，中芯国际的赶超国际先进技术水平的速度也越来越快。“单点突破”正在成为历史，中国芯片产业已经初步形成一个“闭环”，“生态圈”雏形已经形成。作为计算机体系结构领域的研究人员与工程技术人员，面对如此形势，更要努力学习、深入研究与开发，顺应浩浩荡荡的世界潮流。

与计算机微处理器中其他流行体系结构相比，MIPS体系结构在商业上绝不是最成功的。但作为最早的RISC微处理器以及较早的超标量与64位微处理器，MIPS体系结构有着辉煌的过去。现在，在网络设备、多媒体与娱乐设备以及办公自动化设备等领域，MIPS系列微处理器仍占有主要的市场份额。未来在多核处理器与嵌入式设备普及的背景下，相信MIPS体系结构凭借其内在的简洁性与低功耗特性仍会发出耀眼的光芒。因此，国内许多大学与科研院所的微处理器研究就是从MIPS体系结构为起点开展的。

本书的译者都是在计算机体系结构相关领域学习与工作的年轻技术人员，包括参与清华大学MIPS兼容微处理器THUMP研发的李鹏博士、AMD北京研发中心的软件高级研发工程师鲍峥、美国风河系统公司的高级工程师石洋、中国科学院博士后汪福全。几位译者同时又是亚嵌教育中心（www.akaedu.org）的技术顾问，在该中心组织的关于嵌入式的学习与交流中，产生了翻译本书的想法。本书是关于MIPS体系结构最经典的教材，也是译者视野范围内关于处理器体系结构设计实现的最经典的书籍之一。尤其可贵的是，本书的第2版使用最流行的Linux开源操作系统，说明计算机软件与硬件的接口，使读者对计算机体系结构以及其对操作系统等系统软件的支持有了更直观与具体的印象。译者在翻译本书的过程中也学到了许多原理与知识。本书不但内容丰富，而且语言优美，风趣幽默，深入浅出，对复杂的技术细节娓娓道来，读起来生动而有趣。然而，这对译者来说，特别是像本书这样以工程技术为背景的译者来说，就是一件头疼的事了。译者在保证传达作者真实的技术意图的同时，尽量保留其语言风格。但是，由于水平有限，难免有画虎不成反类犬的情况，敬请读者谅解。

本书的翻译与校对分工如下：序言、前言、第1章、第2章和第3章由李鹏翻译，汪福全校对。第4章和第5章由石洋翻译，汪福全校对。第6章和第7章由李鹏翻译，汪福全校对。第8章、第9章、第10章和第11章由鲍峥翻译，李鹏校对。第12章由鲍峥翻译，汪福全校对。第13章由鲍峥翻译，石洋校对。第14章和第15章由李鹏翻译，石洋校对。第16章、附录A、附录B和术

语表由李鹏翻译，鲍峥校对。AKA信息技术小组的何家胜先生参加了本书的校对工作。

本书的翻译工作得到了亚嵌教育中心（AKA）信息技术小组的郎铁山先生与机械工业出版社华章分社的大力支持。他们的精心策划、热情的鼓励与大力支持，以及认真细致的工作，使本书的翻译工作得以最终顺利地完成。他们对工作的认真态度值得我们学习。我们在翻译的过程中借鉴了本书第1版。在此，对第1版的译者赵俊良、张福新、陶品等各位先生表示感谢。最后，我们衷心地感谢家人、师长、同事以及朋友的鼎力支持。

译者

2008年1月

序 言

MIPS体系结构是在20世纪80年代早期从斯坦福大学John Hennessy教授和他的学生们的工作中诞生的。他们探寻了精简指令集(RISC)体系结构概念,该概念基于如下理论:使用相对简单的指令,结合优秀的编译器以及采用流水线执行指令的硬件,就可以用更少的晶元面积生产更快的处理器。这一概念如此成功以致于1984年就成立了MIPS计算机系统公司对MIPS体系结构进行商业化。

在以后的14年里,MIPS体系结构在很多方面得到发展,在工作站和服务器系统中应用得非常成功。在这段时间里,这一体系结构和它的实现得到加强来支持64位寻址和操作,支持复杂的内存保护操作系统,例如UNIX,以及非常高性能的浮点运算。也是在这段时间里,MIPS计算机系统公司被SGI公司收购,MIPS处理器成为了SGI计算机系统的标准。凭借64位处理器、高性能的浮点运算和SGI公司的遗产,MIPS处理器成为了大批量游戏控制台选择的解决方案。

在1998年,MIPS Technologies公司从SGI公司中分离出来,作为一个单独的公司,将全部精力集中在嵌入式市场的知识产权。相应的结果是,体系结构发展的脚步不断加快以满足这些市场的特殊需求:高性能计算、代码压缩、图形的几何处理、安全、信号处理和多线程。每个体系结构的发展都伴随着该体系结构的处理器内核的实现,这使得基于MIPS的处理器成了高性能、低功耗应用的标准。

MIPS在工作站和服务器等复杂系统中的应用传统直接有助于今天变得十分复杂的嵌入式系统。一个典型的嵌入式系统由多个处理单元、高性能内存以及一个或多个操作系统组成。与尚在研究建立一个复杂系统需要什么的其他嵌入式体系结构相比,MIPS体系结构早已经提供了一个实现这样的系统的基准方案。

在很多方面,第1版《See MIPS Run》是具有开创性的关于MIPS体系结构及其实现的书。尽管其他书籍也有类似内容,但是《See MIPS Run》的重点放在程序员需要理解的体系结构和对MIPS芯片有效编程的软件环境上。

嵌入式系统变得越来越复杂,MIPS体系结构的改进满足了这些系统的需求。本书的第2版对任何目前基于MIPS嵌入式系统的开发者都是必读的书。本版增加了大量的新内容,包括MIPS32和MIPS64体系结构的标准化,崭新的应用特定扩展(如多线程),以及流行的Linux操作系统在MIPS体系结构上的出色实现。除了MIPS体系结构规范,本书第2版是反映MIPS体系结构的最新发展的一部力作,可读性也最强。

我希望你将发现本书是值得一读且读来有趣的,如我的感受一样。

Michael Uhler

MIPS Technologies公司首席技术官

Mountain View, CA

2006年5月

前 言

这是一本关于MIPS的书。MIPS是20世纪80年代中期对于RISC CPU设计的狂热追求下的产物。这些年来，在32位处理器中，MIPS的销量虽然不是最大的，但是它却稳居第二位。MIPS的骄人之处在于它所获得的广泛应用。一件内置MIPS CPU的设备可能是一台35美元的无线路由器，也可能是一台价值几十万美元的SGI超级计算机（尽管随着SGI的破产，这些产品已经走到了尽头）。在这两端之间还有索尼和任天堂的游戏机，许多思科的路由器，电视机的机顶盒，激光打印机等等。

本书第1版的英文版本这些年来的销量接近10 000本，并被翻译为中文，我非常高兴，也非常惊讶，我没想到在美国之外还有如此多的MIPS程序员。

第2版是MIPS/Linux系统透视。第1版在分析MIPS体系结构的一些特性时有些吃力，因为除非你明白它们如何在操作系统内核中发挥作用，否则没有任何意义。然而，现在许多人都对Linux如何工作有所了解，我可以引用它的源代码，更重要的是，我在谈到它时知道，对它感兴趣的你们可以阅读源代码并且发现它实际上是如何工作的。

因此，这是一本关于MIPS体系结构的书，但是最后三章涉及Linux内核和应用程序，以说明那些古怪的特征如何起作用。我希望Linux专家原谅我相对忽略了Linux细节，因为描述一个运行在实际体系结构中的实际操作系统这样的机会更让我难以割舍。

MIPS是一个RISC，一个有用的首字母缩写，它是20世纪80年代发明的许多计算机体系结构的普遍特征，RISC代表了高效率流水线的实现。而首字母缩写CISC则是含糊的。狭义而言，CISC代表着x86和其他1982年前出现的体系结构，那时的人们老想着微码设计。

你们中有些人可能要举手了：他在混淆实现与体系结构之间的关系！而事实上，计算机体系结构既被看作是与程序员之间的约定——什么样的程序可以在它上面正确运行，本质上，它又是地地道道的工程设计，因为计算机体系结构是为制造好的CPU而设计的。随着芯片设计变得越来越复杂，对体系结构设计者而言，是约定重要还是工程实现重要，其中的权衡恐怕是不一而足。

本书是写给程序员的，这是我们用来决定本书应该包括什么内容的标准——如果程序员希望看到或者可能感兴趣，这些就被包括进来了。诸如折磨了两代硬件设计工程师的MIPS系统接口这样的对程序员而言陌生的问题不在本书讨论之列。另外，你的操作系统可能隐藏了许多这里讨论的细节，还有许多优秀的程序员认为C语言本身就是相当底层的了，并且具有很好的可移植性，所以没必要对体系结构作详细的了解。但是有的时候，确实需要深入到体系结构中具体的细节——人类生来就爱追根刨底。

这种导向的一个结果是当描述软件工程师不熟悉的东西，特别是CUP内部工作时，我们倾向于通俗的表达方式，而当处理程序员以前遇到过的部分，例如寄存器、指令以及数据在内存中如何储存时，我们会更加简洁和专业。

本书假设读者对C语言非常熟悉。书中很多相关材料用C代码片段来简化语言描述，特别

是在介绍指令集和汇编语言细节的章节中。

书中部分内容是针对看过一些汇编语言的读者。透过汇编语言才能充分领略MIPS体系结构的精巧和古怪。但对于完全不懂汇编的读者，也没有太大的关系。

本书旨在告诉读者对于编程通用MIPS CPU，你需要知道的一切。更确切地说，它描述了MIPS Technologies公司定义的MIPS32和MIPS64体系结构，具体而言，是指自2003年以来发布的第2版标准规范，缩写为“MIPS32/64”。这不仅是一个参考手册，要记住一个体系结构意味着全面地理解它。我也希望想要全面理解现代CPU体系结构的正在学习编程的学生们（在大学中或者在社会这所大学校当中）对本书感兴趣。

如果你计划从头到尾将此书读上一遍，你一定希望从整体到细节的逐步深入，对于这一点你是不会失望的。你还会看到一些MIPS历史的演进；当我们第一次谈论一个概念时，侧重于第1个版本，Hennessy和Patterson称这种方法为“从演进中学习”，对他们有益的我想也一定会对我有益。

第1章从一些历史和背景开始，通过讨论当初MIPS的发明者们在头脑中最初形成的技术考虑和观念，将MIPS引进来。在接下来的第2章中，继续跟随他们的思路讨论MIPS机器语言的特点。

为了帮助读者看到更广阔的图景，直到第3章才开始讨论处理器的控制细节，介绍MIPS CPU用以控制它的缓存、异常和启动，以及内存管理，貌似丑陋实则极其实用。最后三个题目分别成为第4章~第6章的主题。

MIPS体系结构非常小心地剥离出指令集中处理浮点数运算的部分，从而使MIPS CPU形成对不同层次浮点运算的支持，从完全没有到部分实现再到近乎完全实现。因此，这里也将浮点函数剥离开来，直到第7章才介绍。

到这时，章节安排遵循认识MIPS的合理顺序。随后的章节改变了方向，更像参考手册或者实例教程。

在第8章，我们介绍整个机器指令集，目的是要精确，并且要比标准的MIPS参考手册更加简明。在短短几页中包含了其他资料里上百页的内容。[⊖]第9章是对阅读和编写汇编语言的简要介绍，比汇编程序手册简短得多。

第10章是帮助的建议清单，针对需要在其他CPU和MIPS CPU之间移植软件的读者。其中最长的第一节专门用来讲解在CPU、软件和系统中令人棘手的大小尾端问题。

第11章是简要的软件约定（寄存器使用、参数传递等）的总结。为了使来自不同开发环境下的软件之间可以交互，这些个约定是必需的。第12章介绍了调试和MIPS CPU的标准轮廓特性。

然后，我们来看MIPS是如何运行GNU/Linux的。第13章描述了Linux内核和计算机体系结构的关系，第14章和第15章深度挖掘了关于MIPS体系结构如何满足Linux内核需要的一些细节。第16章简要浏览了一下GNU/Linux应用程序是如何与动态链接库进行动态链接的。

附录A包括MIPS MT（多线程）扩展，它可能在很多年中都是体系结构最重要的扩展。附录B描述更加重要的增补：MIPS 16、新的MIPS DSP扩展以及MDMX。

⊖ 我在制作这些表时已经非常仔细，它们大多数是正确的。如果你的系统依赖于此，请确保交叉检查这些信息。一个相当可靠的很好的信息源是GNU工具集的行为和源程序，我自己也参考了它，因此，这不是完全无关的。

在本书的最后有一个术语表——寻找专业的、不熟悉的词汇和首字母缩写的好地方，以及进一步阅读需要的书籍、文章列表以及在线参考资料。

风格和限制

每本书都体现了作者的风格，所以我最好说说本书的特点。

因为读者当中有一些学生，所以我考虑要不要将通用用法和MIPS特定用法分开。我决定不这样做。我针对的就是MIPS特定内容，除非对读者一般没什么用。我也尽量写得具体而不那么抽象。不会过多关心像“TLB”这样的术语在更广阔领域中的意思，只在MIPS背景下解释它们。人类是很好的归纳者，具体的解释不会妨碍读者学得更多。

从1986年秋天我开始MIPS CPU方面的工作已经20年了。书中的一些资料可以追溯到1988年，那时我刚开始进行MIPS体系结构的培训课程。在1993年，我把它们汇集成重点针对IDT的R3051家族CPU的软件手册；增加很多额外的资料后产生了本书的第1版，于1999年出版。

1999年以来发生了很多事情。现在，MIPS在SGI服务器上已经处于生存的边缘，但在嵌入式系统上开拓了很多重要的领域。Linux作为嵌入式MIPS最常用的OS出现，但是在嵌入式市场仍然有很多其他操作系统。MIPS规范在MIPS32和MIPS64获得认可（本版将它们作为基准）。完成第2版大约花了3年的时间。

MIPS的故事仍在继续，如果不是，我们只是为历史学家写这本书了，Morgan Kaufmann对出版本书并不十分感兴趣。2005年底以后发布的MIPS进展对本书来说已经太晚了。

致谢

本书的主题伴随了我的计算机生涯。Mike Cole使我对计算机产生了激情，从那以后我一直努力模仿他选择好观点的技能。在Whitechapel Workstations 短暂但激动人心的日子里（1983~1988年），许多同事教我关于计算机体系结构以及如何设计硬件，Bob Newman 和Rick Filipkiewicz可能是教得最多的。我要感谢Whitechapel的销售人员Dave Gravell，他最早使我转向MIPS。我还要双倍感谢在Algorithmics公司存在期间的伙伴工程师（Chris Dearman, Rick Filipkiewicz, Gerald Onions, Nigel Stephens和Chirs Shaw）为我从数不清的讨论、争论和设计中所学到的，以及忍受本书对我时间的占用。

许多感谢应给予审阅者，他们花了很长一段时间来阅读各章节：Integrated Device Technology公司的Phil Bourekas、LSI Logic公司的Thomas Daniel、Silicon Graphics公司的Mike Murphy以及Carnegie Mellon 大学的David Nagle。

对于本书的第2版：我已经认识Paul Cobb很长一段时间了，我们都在MIPS公司工作。Paul提供了资料更新MIPS CPU的历史演进和编程章节，整理了参考书目。尽管如此，无论如何是我做了最后的修订，因此，任何错误都是我的。

在准备这一版的时候，我受雇于MIPS Technologies公司。挑选一些同事感谢而没有感谢其他人是非常危险的，但无论如何我将这样做。

Ralf Baechle维护了www.linux-mips.org网站，该网站协调MIPS上的Linux内核。他对于驱散我对Linux形成的一些幻想很有帮助：我本认为它就像其他的操作系统一样……（Robert Love的《Linux Kernal Development》一书也有帮助，我要向需要内核教育指导书的人们热切地推荐它）。感谢MIPS Technologies和我的多个经理为我提供具有弹性的工作时间，感谢

MIPS Technologies的同事们（太多了没办法写出名字），他们阅读了书稿并给出了评论。

Todd Bezenek是本书最坚持的同事/审阅者。MIPS Technologies公司外的审阅者因为热爱和尊敬这一领域而做这一工作：最显著的贡献者是Steven Hill (Reality Diluted公司), Jun Sun (DoCoMo USA实验室), Eric Devolder和Sophie Wilson。

Denise Penrose无疑是最好的编辑。在Finsbury公园（我的家在北伦敦），没有许多人可以说他们飞到旧金山只是为了同出版商吃早餐。

最后当然要最感谢的是Carol O'Brien, 她在这次重写的过程中仓促地嫁给了我。

目 录

出版者的话	
专家指导委员会	
推荐序	
译者序	
序言	
前言	

第1章 RISC和MIPS	1
1.1 流水线	1
1.1.1 什么使流水线效率降低	3
1.1.2 流水线和缓存	3
1.2 MIPS的五段流水线	4
1.3 RISC和CISC	5
1.4 迄今为止一些重要的MIPS芯片	6
1.4.1 R2000处理器到R3000处理器	6
1.4.2 R6000处理器：一次偏轨	7
1.4.3 第一批CPU内核	8
1.4.4 R4000处理器：一次革命	8
1.4.5 ACE联盟的兴衰	9
1.4.6 SGI收购MIPS	9
1.4.7 QED：嵌入式系统中的快速 MIPS处理器	9
1.4.8 R10000处理器和它的后继者	10
1.4.9 消费类电子产品中的MIPS处理器	10
1.4.10 网络路由器和激光打印机 中的MIPS	11
1.4.11 现代的MIPS处理器	12
1.4.12 MIPS Technologies的重生	14
1.4.13 现状	14
1.5 MIPS和CISC体系结构的比较	16
1.5.1 对MIPS指令的各种限制	16
1.5.2 编址及内存访问	17
1.5.3 MIPS不支持的特性	18
1.5.4 程序员可见的流水线效果	19

第2章 MIPS体系结构	21
2.1 MIPS汇编语言的风格	23
2.2 寄存器	24
2.3 整数乘法单元和寄存器	26
2.4 加载和存储：寻址方式	27
2.5 存储器和寄存器中的数据类型	27
2.5.1 整数数据类型	28
2.5.2 未对齐的加载和存储	28
2.5.3 内存中的浮点数据	29
2.6 汇编语言中的合成指令	29
2.7 MIPS I发展到MIPS 64指令集： 64位（和其他）的扩展	30
2.7.1 迈向64位	31
2.7.2 谁需要64位	31
2.7.3 关于64位与无模式转换：寄存器 中的数据	32
2.8 基本地址空间	33
2.8.1 简单系统的寻址	35
2.8.2 核心与用户特权级别	35
2.8.3 整体视图：内存映射的64位视图	35
2.9 流水线的可见度	36
第3章 协处理器0：MIPS处理器控制	38
3.1 CPU控制指令	40
3.2 相关寄存器与时序	41
3.3 CPU控制寄存器及其编码	42
3.3.1 状态寄存器（SR）	42
3.3.2 原因寄存器	46
3.3.3 异常返回地址（EPC）寄存器	48
3.3.4 无效虚地址（BadVaddr）寄存器	48
3.3.5 计数/比较寄存器（Count/Compare）： CPU上的计时器	48
3.3.6 处理器ID（PRId）寄存器	48
3.3.7 配置（Config）寄存器：CPU资源 信息与配置	49
3.3.8 EBase和IntCtl：中断与异常设置	51

3.3.9	SRSCtl和SRSTMap: 影子寄存器 设置	52	5.8.1	MIPS CPU中的中断资源	81
3.3.10	链接加载地址 (LLAddr) 寄存器	53	5.8.2	通过软件实现中断优先级	82
3.4	CP0冒险——不经意间的陷阱	53	5.8.3	原子性和SR的原子改变	83
3.4.1	冒险屏障指令	54	5.8.4	中断使能时的临界区: MIPS中的 信号量机制	84
3.4.2	指令冒险与用户冒险	54	5.8.5	MIPS32/64中向量化和EIC中断	86
3.4.3	CP0指令之间的冒险	55	5.8.6	影子寄存器	86
第4章	MIPS处理器的高速缓存	56	5.9	启动	86
4.1	高速缓存和高速缓存的管理	56	5.9.1	探测和识别CPU型号	88
4.2	高速缓存怎样工作	56	5.9.2	启动序列	89
4.3	早期MIPS CPU中的写透式高速 缓存	59	5.9.3	启动一个应用程序	89
4.4	MIPS CPU中的写回式高速缓存	59	5.10	模拟指令	89
4.5	高速缓存设计的其他选择	59	第6章	底层内存管理与TLB	91
4.6	管理高速缓存	60	6.1	TLB/MMU硬件和它的功能	91
4.7	二级和三级高速缓存	62	6.2	TLB/MMU的寄存器描述	92
4.8	MIPS CPU高速缓存的配置	62	6.2.1	TLB关键字域——EntryHi和 PageMask	92
4.9	编程MIPS32/64高速缓存	63	6.2.2	TLB输出域——EntryLo0-1	94
4.9.1	Cache指令	64	6.2.3	选择一个TLB表项——Index, Random和Wired寄存器	95
4.9.2	高速缓存初始化和Tag/Data 寄存器	66	6.2.4	页表访问助手——Context和 XContext	95
4.9.3	CacheErr, ERR和ErrorEPC寄存器; 内存/高速缓存的错误处理	66	6.3	TLB/MMU的控制指令	97
4.9.4	计算高速缓存大小和配置方式	67	6.4	对TLB编程	97
4.9.5	初始化例程	67	6.4.1	如何进行重填	98
4.9.6	在高速缓存中无效或写回一个 内存区域	68	6.4.2	使用ASID	98
4.10	高速缓存效率	69	6.4.3	Random寄存器与被锁定表项	99
4.11	重组软件来影响高速缓存效率	70	6.5	硬件友好的页表和重填机制	99
4.12	高速缓存别名	71	6.5.1	TLB缺失处理	100
第5章	异常、中断和初始化	74	6.5.2	XTLB的缺失处理函数	101
5.1	精确异常	75	6.6	MIPS TLB的日常使用	102
5.2	异常发生时刻	76	6.7	更简单操作系统中的内存管理	102
5.3	异常向量: 异常处理开始的地方	77	第7章	浮点支持	104
5.4	异常处理: 基础	79	7.1	浮点的基本描述	104
5.5	从异常返回	79	7.2	IEEE 754标准及其背景	104
5.6	嵌套异常	80	7.3	怎样存储IEEE浮点数	106
5.7	一个异常处理例程	80	7.3.1	IEEE尾数和规格化	106
5.8	中断	80	7.3.2	使用特殊值时的预留指数值	107
			7.3.3	MIPS浮点数据格式	107
			7.4	IEEE 754的MIPS实现	108

7.5 浮点寄存器	109	8.5.3 条件传递指令	156
7.6 浮点异常/中断	110	8.5.4 可能分支指令	157
7.7 浮点控制: 控制/状态寄存器	110	8.5.5 整数乘累加指令和乘加指令	157
7.8 浮点实现寄存器	113	8.5.6 浮点乘加指令	158
7.9 浮点指令指南	114	8.5.7 多浮点条件标志位	158
7.9.1 加载/存储	114	8.5.8 缓存数据预取	159
7.9.2 寄存器间的传递	115	8.5.9 存取内存屏障: Sync指令	159
7.9.3 三操作数算术运算	116	8.5.10 冒险屏蔽指令	160
7.9.4 乘加运算	116	8.5.11 Synci: 指令写入的缓存管理	161
7.9.5 一元(改变符号)运算	116	8.5.12 读取硬件寄存器	161
7.9.6 转换操作	117	8.6 指令的机器编码	162
7.9.7 条件分支和测试指令	117	8.6.1 指令编码表中的域	162
7.10 成对单精度浮点指令和 MIPS-3D ASE	119	8.6.2 指令编码表的注意事项	163
7.10.1 成对单精度指令的异常	119	8.6.3 编码方式和处理器的简单实现	163
7.10.2 成对单精度的三操作数算术、乘加、 改变符号和无条件移动操作	119	8.7 指令集的功能分组	180
7.10.3 成对单精度转换操作	119	8.7.1 空操作	180
7.10.4 成对单精度测试和条件移动指令	120	8.7.2 寄存器间的数据传递指令	180
7.10.5 MIPS-3D指令	121	8.7.3 常数加载指令	181
7.11 指令时序需求	122	8.7.4 算术/逻辑操作指令	181
7.12 指令加速的时序	123	8.7.5 整数乘法、除法以及求余指令	182
7.13 按需初始化和使能	123	8.7.6 整数乘累加指令	183
7.14 浮点仿真	124	8.7.7 存取指令	184
第8章 MIPS指令集完全指南	125	8.7.8 跳转、分支和子程序调用指令	185
8.1 一个简单的例子	125	8.7.9 断点及陷阱指令	186
8.2 汇编指令及其含义	126	8.7.10 协处理器0功能	186
8.2.1 U和非U助记符	127	8.7.11 浮点操作指令	187
8.2.2 除法助记符	128	8.7.12 用户模式下对“底层”硬件的 有限访问	187
8.2.3 指令的详细清单	128	第9章 阅读MIPS汇编语言	188
8.3 浮点指令	145	9.1 一个简单的例子	188
8.4 MIPS32/64发行版1的区别	150	9.2 句法	191
8.4.1 在发行版2中加入的常规指令	150	9.3 指令的约定	192
8.4.2 发行版2新加入的特权指令	151	9.3.1 计算指令: 3寄存器、2寄存器和 1寄存器	192
8.5 特殊指令和它们的用途	151	9.3.2 立即数: 带常量的计算指令	192
8.5.1 向左加载/向右加载: 地址非对 齐的存取操作	151	9.3.3 关于64位和32位指令	193
8.5.2 链接加载/条件存储	155	9.4 寻址模式	193
		9.5 目标文件和内存布局	195