

大话处理器

——处理器基础知识读本

万木杨 编著



- ★国内首本图文并茂、生动幽默的处理器科普读本
- ★恰当、幽默的类比让人叹为观止
- ★丰富的人物、历史介绍，带您遨游计算机、半导体世界

清华大学出版社

大话处理器

——处理器基础知识读本

万木杨 ● 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

处理器是 IT、通信、电子产业的基石，没有处理器，信息产业大厦就如同建立在沙滩上。本书是一本图文并茂、生动幽默的处理器科普读物，全书行文风趣幽默，用类比来解释晦涩的技术，用图画来代替枯燥的文字。本着科技以人为本的理念，本书除了技术外，还介绍了大量人物和公司的故事，供大家闲读。

第 1 章漫游计算机世界，介绍了计算机的前世今生，以及计算机的五脏六腑、七经八脉。第 2 章到第 5 章从外到内，介绍了处理器的外表和内心结构，处理器的核心技术尽在于此。第 6 章向软件人员介绍了怎样编写高效代码，处理器的客户就是程序员，程序员在处理器上开发程序，对处理器了解得越深，编写出来的代码执行效率就越高。第 7 章介绍了大量的处理器 IP 公司，现在的人们攒电脑，以后的人们说不定就能攒处理器了。第 8 章走进处理器的内“芯”世界，介绍处理器芯片是怎么设计与制造出来的。

本书在通信人家园论坛上连载了一部分，得到了广泛的好评，帖子迅速被置顶、加精、进入论坛首页，也在公司内部被大量传播。

本书的主要读者是 IT、通信、电子、半导体行业的从业人员，以及大专院校的学生。喜欢技术的看技术，不喜欢技术的看故事。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

大话处理器——处理器基础知识读本/万木杨编著. —北京：清华大学出版社，2011.10
ISBN 978-7-302-26315-9

I. ①大… II. ①万… III. ①微处理器—基本知识 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 149981 号

责任编辑：王峰松

责任校对：徐俊伟

责任印制：杨 艳

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62795954, jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者：北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者：三河市兴旺装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×230 印 张：16.5 字 数：406 千字

版 次：2011 年 10 月第 1 版 印 次：2011 年 11 月第 2 次印刷

印 数：5001~8000

定 价：36.00 元

序一 寻宝处理器的引人入胜之旅

当出版社的编辑介绍万木杨的这本书给我时，我对书名《大话处理器》是有一定担心的，其一：处理器和计算机的发展几十年来风起云涌，其间有天才的创新、看似偶然的分叉和囿于商业市场考量的成功与失败，一部技术发展史绝不比波谲云诡的社会史逊色。一部“大话”处理器的书会不会流于一部围绕处理器发展种种轶事的大话技术史？读书时固然会津津乐道，兴趣斐然，然而掩卷沉思后，会不会仍然无法对处理器的体系结构有更清晰的认识？其二：处理器的发展是和软件、操作系统的发展互为作用的，其中很多技术点和概念都值得深入讨论。采用“大话”的方式能否既保证技术书籍叙述的准确性，又不至于陷入对某些概念旁征博引的“Rat hole”式的罗列，而变得像很多剪贴式编著的IT书籍一样？

但其后数次断续读稿时沉浸其中的体验打消了我的顾虑。我几次阅读书稿都是在出差途中（如飞机上），一个很深的体验是一旦开始阅读就不愿终止，一直读到不得不将书稿收起走路为止。另一个体验是，从任何一个间断点，都可以把本书当作入口，去找寻别的书籍进一步深入学习其中的一些关键技术，就好像函数调用一般，这是我所期望的带领读者进入处理器世界的导游书籍，因此非常愿意向广大的读者推荐这本书。

在技术书籍的阅读中，我偏爱爱因斯坦阐释的方法——“在所阅读的书中，找出可以把自己引向深入的东西，把其他的一切统统抛掉。”这就是抛掉使大脑负担过重和把自己诱离要点的一切。

万木杨的这本书，在选材上围绕处理器的核心技术，从计算机发展的形态、历史展开叙述，在简略介绍了处理器的周边设备后，迅速深入处理器的抽象模型，以计算机软件生态系统中最重要指令集体系结构ISA切入到探索处理器的微架构，对处理器微架构的一些核心技术，如流水线、乱序执行、指令级并行、线程级并行、缓存结构和算法、缓存一致性等概念，言简意赅地做了原理阐释。而了解这些核心概念，是理解其后第六章优化代码效率的基础。窃以为这些章节是本书的“hardcore”，很值得一读。

在本书的写作风格上，作者运用了很多崭新的网络元素和鲜活的比拟来厘清概念，比如用《我的兄弟叫顺溜》中的顺溜装配子弹的例子来开展指令流水线的讨论，既不流于表面、为举例而举例，又一以贯之地将每个案例充分展开、把问题说透，这样的例子在本书中比比皆是，也是我推荐该书的原因之一。这体现了“抛掉使大脑负担过重”的原则，以及作者对所叙述的技术的深度把握。没有这种把握，是很难用好这种比拟的，反而容易变成“画虎不成反类犬”。

由于长期从事性能优化工作，此前也出版了一本针对并行优化指南的书，因此对本书

中阐述并行处理和编写高效代码的章节仍觉意犹未尽，这让我想起了两件事：

其一，我在 2001 年左右从事针对多核 DSP 的手写汇编代码优化工作，就是本书里所总结的 VLIW 并行实现机制，当时一个很深的感触是，人类大脑的并行度很低，至少在汇编这个层级，能够持续对多个计算单元实现高效并行处理编程的上限恐怕就是四级并行了，人的大脑有所谓“一心不可二用”的限制，因此，此后在 IA 平台上，多核、多进程一直到大规模集群的并行开发的方向就很清楚了，就是必须依赖高级语言的开发工具，支持并行实现的编译器、数学库和线程，MPI 进程追踪工具和类似 Vtune 这样的指令微架构行为的示波器，来解放人的大脑。另一方面就是开发新的并行编程模型和语言，进一步释放多核处理器的性能。

其二，在一本论述并行超级计算机体系架构的英文专著上，我曾读到一段话，似可借来总结处理器性能发展的方向。即，要做快、做好一件事，基本上有三种方法。一是把事情本身缩短、少做事，这就是处理器流水线效率、分支预测命中率等等技术的发展，体现在软件上就是更好的算法和更短的代码关键路径。二是做得更快、更勤些，这就是处理器上更多的浮点计算单元、更高效的缓存、新的高效指令集直到 AVX 这样的高密度向量计算指令。三是让别人去做或者和别人一起做，这就是并行，多线程和多进程的并行工作。处理器的发展，从性能上看，基本上也可以归为上述三点，比照本书的结构，读者也可以做个归纳。

未来的发展，我们看到了 SOC 的兴起，我们看到 CPU 和 GPU 的混合计算，我们也看到英特尔即将推出的、针对大规模并行应用、集成众核架构的协处理模式的处理器。正如丘吉尔所言，“你能看见多久的过去，就能看见多远的未来”。回顾本书中提到的那些引人入胜的处理器技术的来龙去脉，背后的技术原因或是市场竞争要素，奇妙之处在于，处理器的技术史是我们创造出来的，而身处其中之人却难以知晓，那就让我们“把其他的一切统统抛掉”，一起踏上本书寻宝处理器的引人入胜之旅！是为序。

何万青 博士
英特尔数据中心产品部 高性能计算/工作站架构师

序 二

发明第一台计算机的科学家们在发明当初应该不会想到，目前计算机的使用就像水银一样无孔不入地渗透到人类社会的各个方面，并且随着电子、光电子、材料、信息、网络技术的不断朝前发展，会进一步对人类产生巨大影响，人类将越来越依赖计算机技术。

目前许多电子产品并没有明显的计算机三个字出现在其产品说明书上，但实际上，几乎所有智能或部分非智能的电子产品都有一个心脏——CPU 核（计算处理单元）在那里跳动。这个心脏的计算能力，根据产品的需求，它可以超级强大到一秒钟完成 50 亿次运算；其大小根据产品需求，也可以小到只有几十个微米以下，同时还具有很强的计算能力，从而使得这个心脏的功耗可以很小。在这个心脏周围配上相关的硬件、软件就成为是一个智能的电子产品。

对大多数人来讲，计算机是一个谜一般的东西。但由于是人类发明了计算机，是人类在使用计算机，而且计算机已经成为人类社会不可缺少的重要组成部分，因此使用计算机的人应该或多或少对计算机有所了解。但如何获得这方面的知识呢？随便到书店或网上去搜索，给出的都是专业的解释。由于计算机产品是一个系统，涉及到与计算技术有关的方方面面，因此要全面、完整、很容易地了解系统的知识，对非从事这行的普通人来讲确实很困难。

万木杨让我给他的新书写一个序，我看完《大话处理器》，觉得这本书的主要对象就是为了这些想了解这个谜的读者。万木杨在计算机、通信领域工作多年，在这方面积累了很强的专业知识，而且博学多才，文采出众。在介绍计算机及其相关知识时，他用了很多与人们日常生活相关的事物来进行对比，一步一步地帮助读者深入。

本书不仅仅是对计算机的核心技术——CPU 进行了介绍，而且涉及与 CPU 相关的多个方面，包括硬件、软件等等，对一般从事电子产品设计的专业人士来讲，也是一本非常有用的参考书。相信这本书不仅能给广大读者带来计算机方面的基础知识，而且能帮助大家用好计算机以及越来越多的智能产品。

周峰

原浙江大学信息与电子工程系副主任、博导

原 Aitech 公司工程部主管

原 VIMICRO 公司系统工程部资深总监

华为美研所专家

序三 处理器——半导体巅峰，纵横四十年

处理器，这个半导体科技的最前沿，在过去 40 年的信息化浪潮中充当了发动机的核心角色。它是如此高贵、而又如此普及，各国政府争相投资，普通家庭却人人拥有；它是如此流行、而又如此神秘，不只工程师们在苦苦探索、寻微知著，就连业余的发烧友们也都对它津津乐道、魂牵梦绕。

木杨兄弟是一位热情而又执着的 DSP 领域工程师，多年的工作，让他在 DSP 领域驾轻就熟。在他自由翱翔后，不肯专美，利用自己的专业背景和业余时间，试图把复杂、专业的处理器技术通俗化，与大家分享，正所谓“独乐乐不如众乐乐”，真有侠客之风也。

本书的主人翁——处理器，自发明之初至今已有 40 多年的历史了，相比浩瀚的宇宙，它是何其短暂，却又是如此的丰富多彩，可以说，处理器的发展，印证着人类信息社会飞速发展的轨迹。

第一次作序，诚惶诚恐，只盼能够给读者一个兴趣盎然的开始，其他无须赘言，就此打住，仅以华为公司 2010 年处理器技术大会闭幕时的一首小诗开始，引导读者进入探寻处理器神秘硅片奥秘之旅。

华为 2010 年处理器技术大会闭幕词：

处理器生态圈 40 年，沧桑沿革，英雄如过江之鲫，童叟未必不珠玑，泰斗亦只能为一家之言。然，盛况者唯在于开放互师，集摸象之和，共探未知！

附拙文以记：

沙中求世界，乾坤即微丸；

格物无穷尽，妙理不待言。

今开三尺坛，八仙恣意展；

四十年沧桑，尽赋谈笑间！

蔡绪鹏

华为处理器行业管理协会会长
公司硬件技术开发部部长

前 言

正如广告语说的那样：处理器无处不在（Microprocessors are everywhere）。每一个成功的男人背后都有一个成功的女人，每一个成功的电子产品里面至少有一个成功的处理器。不管是我们经常使用的计算机、手机、汽车，还是为我们服务但我们不知道它们在哪儿的基站、服务器、交换机等，莫不如此。我们身处的电子世界，是建立在处理器基础之上的。前科技部部长徐冠华曾经发出这样的感叹：“没有自己的 CPU 芯片，我们的信息产业大厦就如同建立在沙滩上。”正因如此，龙芯、汉芯等芯的一点点风吹草动，总能牵动大家的心。

服务器的处理器被 Intel 和 IBM 把持着，PC 机的处理器被 Intel 和 AMD 把持着，手机、平板电脑上的处理器则是百家争鸣，不仅有传统的高通、博通、TI、Freescale 等公司，三星、苹果、nVidia 等公司也加入了战团。另外，新的处理器公司也依靠自己在某一方面的独特技术优势而备受追捧，如擅长多核的 Tiler、擅长可配置处理器的 Tensilica 等。

做处理器很难吗？难，也可说不难。说它难，是因为从头设计一款处理器确实很难，说它不难，是因为现在可以买到一大堆的处理器 IP 核，如 ARM 核、MIPS 核、PowerPC 核、Xtensa 核等，网上还有开源的处理器核，用这些处理器 IP 核再搭配一些外围的东西，就可以设计出一款处理器，交由芯片代工厂生产，就得到了一颗处理器芯片。这个行业是越来越开放，越来越“混乱”，也越来越有意思。

本书内容

本书是一本图文并茂、生动幽默的处理器科普读物，全书行文风趣幽默，用类比来解释晦涩的技术，用图画来代替枯燥的文字。本着科技以人为本的理念，本书除了技术外，还介绍了大量人物和公司的故事，供大家闲读。本书站在一个软件工程师的角度来描述处理器，书中没有花篇幅谈论处理器的外设、接口、中断等内容，而是更多地探讨影响处理器性能的流水线、指令并行、数据并行、线程并行、Cache 等内容。

说起处理器，自然不能不提计算机，第 1 章漫游计算机世界，介绍了计算机的前世今生，以及计算机的五脏六腑、七经八脉。

第 2~5 章从外到内，介绍了处理器的外表和内心结构，处理器的核心技术尽在于此。了解了这几章，我们就能知道一款处理器擅长做什么事情，不擅长做什么事情。第 6 章向软件人员介绍了怎样编写高效代码，处理器的客户就是程序员，程序员在处理器上开发程序，对处理器了解得越深，编写出来的代码执行效率就越高。

第 7 章介绍了一大堆的处理器 IP 公司，现在的人们攒电脑，以后的人们说不定就能攒处理器了。

第 8 章走进处理器的内“芯”世界，介绍处理器芯片是怎么设计与制造出来的。

本书特色

图多。常言道，文不如表，表不如图，图一来可以节省笔墨，二来可以迅速向读者强化作者的意思，其实汉语本身就是象形字，最早也是从图演化而来，以图代文也是理所当然。

语言生动、幽默，多用类比。一个东西，这样说不容易懂，换一种说法就容易懂了，很多技术也来源于生活，技术和生活实例联系在一起，也更能帮助读者理解、记忆。

知识面广、新颖。本书介绍了大量的公司、人物和故事，也介绍了计算机、处理器、软件、芯片设计与制造。

读者对象

本书的读者对象是对计算机、处理器感兴趣的人员，做软件开发的人员，以及 IT、通信、电子、半导体行业的从业人员和大专院校的学生。喜欢技术的看技术，不喜欢技术的看故事。

致谢

感谢漂亮、可爱的曹阳妹妹为本书作画，画工精湛，创意一流。感谢英特尔高性能计算/工作站架构师何万青博士在百忙之中读完本书，并熬夜作序，导致第二天发高烧，在此致上歉意。感谢华为处理器行业管理协会会长、硬件技术开发部部长蔡绪鹏总结了处理器四十年发展历程，为本书作序（注：根据出版需要，有删减，原文参见作者博客）。感谢原浙江大学信息与电子工程系副主任、博导，华为美国研究所专家，资深硅谷人士周峰博士，在本书的写作与出版上，提出了诸多指导意见，并作序。感谢清华大学出版社王峰松老师为本书的写作与出版殚精竭虑，出谋划策。感谢为我的成长给予过帮助的所有人。

本书包含大量的图片，除了原创的漫画、示意图外，还包含不少历史名人照片、剧照、相关产品照片、互联网娱乐照片等，此外，本书还有少量图片直接引用或者参考了现有的学术示意图，这些图片来源于各大公司官方网站（如 Intel、TI、IBM 等）、国外著名大学、维基百科等网站，特对这些图片的作者和所有者表示感谢。

本书从 2009 年 7 月开始写作，大约花了两年时间，期间做过 3 次大的结构调整，终于形成了现在的结构。本书接近写成之际，作者在通信人家园论坛里连载了一部分，得到了不少好评，也迅速被置顶、加精、进入论坛首页。该帖在华为公司内部也被多次转载、邮件传播，不少同事的相关培训 PPT 直接引用作者在书中所绘制的原图，相信本书不会让读者失望。

本书邀请了不少业内专家进行审查，不过也不一定能确保完全准确无误，读者可以访

问作者的博客（<http://blog.csdn.net/muxiqingyang>）或微博（<http://weibo.com/muxiqingyang>）对本书进行批评、建议、讨论，还可以下载作者为本书所设计的 PPT，也可以通过电子邮件（muxiqingyang@qq.com）和作者交流。

万木杨

目 录

第 1 章 漫游计算机世界..... 1



奔跑中的计算机



玩游戏的计算机



装口袋里的计算机



计算机or机器人?



1.1 计算机的前世、今生、来世..... 3

佛家喜欢谈三世，即前世、今生和来世。我们也沾沾佛祖的光，来谈谈计算机的三世。

1.1.1 计算机的诞生..... 3

1.1.2 从军用到民用——飞入寻常百姓家..... 12

1.1.3 个人计算机时代——英雄辈出的时代..... 15

1.1.4 手机——装在口袋的计算机..... 25

1.1.5 无处不在的计算机..... 31

1.1.6 计算机的来世..... 31

1.2 计算机分门别类..... 33

不分类，就不利于管理，人类由于具有归类的能力，才不会被周围环境的复杂性所压垮。

1.3 PC 机结构探秘..... 34

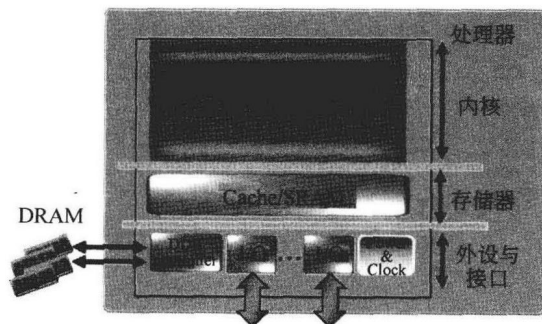
当我们把计算机和人做类比时，硬件就相当于人的身体，软件就相当于人的三魂七魄。

1.3.1 处理器——一颗奔腾的心..... 34

1.3.2 存储器——大肚能容，容天下难容之事..... 36

1.3.3 主板与芯片组——架起沟通的桥梁..... 38

1.3.4	输入设备——五觉	39
1.3.5	显示设备——脸面	42
1.3.6	显卡——我贵，因为我专业	47
1.3.7	通信接口——关节	47
1.3.8	软件——计算机的灵魂	49
1.3.9	计算机产业发展态势	50
第 2 章	初识处理器——掀起你的盖头来	53



2.1	处理器是怎样工作的——处理器的硬件模型	55
-----	---------------------	----

硬件搭台，软件唱戏。

2.1.1	硬连线电路——一定终身	55
2.1.2	通用计算机模型——硬件搭台，软件唱戏	56
2.2	怎样来使用处理器——处理器的编程模型	57
2.2.1	软硬不分	57
2.2.2	ISA 横插一刀	57
2.3	处理器的分层模型	58

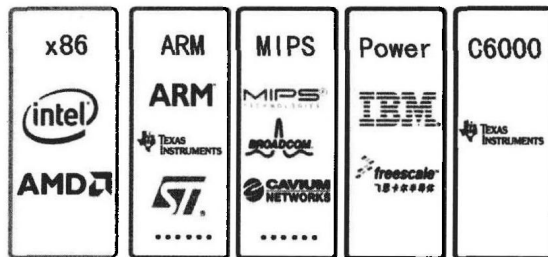
如果用软件开发的流程来和处理器进行对比，那么 Architecture 就好比需求，Microarchitecture 好比设计，物理实现好比真正的代码。

2.4	选什么样的处理器——适合的才是最好的	59
-----	--------------------	----

选处理器就像找老婆，没有好坏之分，只有适合与不适合之分，适合的才是最好的。

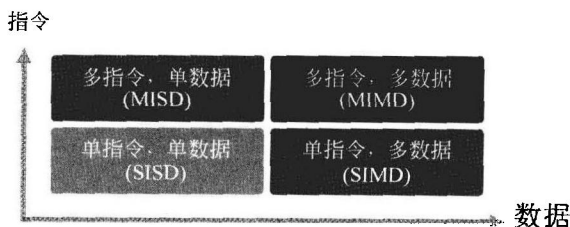
2.4.1	硬件指标——硬实力的竞争	59
2.4.2	软件指标——软实力的竞争	62
2.4.3	商业指标——在商言商	63

第 3 章 指令集体系结构——处理器的外表 65



- 3.1 指令集是什么 67
- 3.1.1 从处理器编程模型谈起——一切从模型开始 67
- 3.1.2 计算机语言——人与计算机沟通的桥梁 68
- 3.2 指令集发展的来龙去脉 69
- 3.2.1 CISC 时代——粗放式扩张 69
- 其实最早并没有 CISC，只是因为 RISC 出现后，才有了 CISC。这就好比世上本没有旧中国，只是新中国出现了，才有了旧中国。
- 3.2.2 RISC 时代——优化配置资源，合理提升效率 70
- 3.2.3 后 RISC 时代——不管黑猫白猫，抓到老鼠就是好猫 71
- 3.3 指令集的五朵金花 73
- 3.3.1 x86——硕大的大象 73
- 3.3.2 ARM——稳扎稳打的蚁群 74
- 3.3.3 MIPS——优雅的孔雀 75
- 3.3.4 Power——昔日的贵族 76
- 3.3.5 C6000——偏安一隅的独立王国 77
- 3.3.6 至今仍在服役的元老们 78
- 3.4 地盘之争 78
- 不管你是狮子还是羚羊，太阳升起的时候你就得开始跑了。同样的一幕在处理器行业也一样发生着。
- 3.4.1 地盘划分 79
- 3.4.2 x86、ARM 之战 80
- 3.4.3 ARM、MIPS 之战 80
- 3.5 汇编语言格式——没有规矩不成方圆 81
- 3.5.1 机器字长 81
- 3.5.2 操作数个数 82

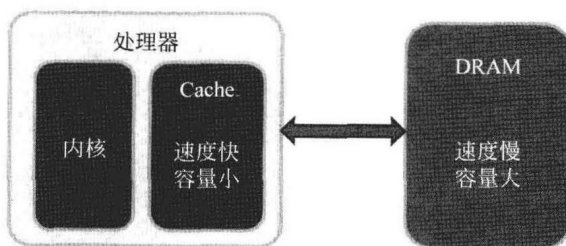
3.5.3	操作数顺序	83
3.5.4	大小端——小问题，大折腾	83
3.5.5	指令类型——我们需要哪些指令	83
3.5.6	寻址方式——千万里，我追寻着你	84
3.5.7	总结	85
第4章	微架构——处理器的内心世界	87



4.1	跟着顺溜学流水线	89
科学管理之父泰勒认为：科学管理理念的精髓之一就是进行流水作业。		
4.1.1	顺溜的2级流水线	89
4.1.2	顺溜流水线的深入分析	90
4.2	从子弹射击到指令执行	93
4.2.1	最简单的3级流水线	93
4.2.2	史上最经典的5级流水线	95
4.2.3	DSP更深的流水线	97
4.2.4	流水线上的冒险——免不了磕磕绊绊	98
4.2.5	分支预测——以古为镜，可以知兴替	103
4.3	从顺序执行到乱序执行——因时制宜	107
4.3.1	乱序的概念	107
4.3.2	指令的相关	108
4.3.3	去除指令的相关性	110
4.3.4	处理器的乱序执行	113
4.4	处理器并行设计——并行，提高性能的不二法门	117
4.5	指令并行 (Instruction Level Parallelism)	118

世上没有无缘无故的爱，也没有无缘无故的恨，没有无缘无故的 Superscalar，也没有无缘无故的 VLIW。

4.5.1	指令并行的“绿营”和“蓝营”	118
4.5.2	Superscalar 处理器实例——Intel P4 CPU	119
4.5.3	VLIW 处理器实例——TI C6000 DSP	125
4.5.4	Superscalar 和 VLIW 总结	130
4.6	数据并行 (Data Level Parallelism)	130
4.6.1	何为 SIMD、MMX、SSE	130
4.6.2	几种不同形式的 SSE 指令	132
4.7	线程并行 (Thread Level Parallelism)	133
	刘、关、张三兄弟联手，也只是稍微强过吕布一点点，而即使是强如吕布，最终还是敌不过曹操的千军万马，可见一个人的力量总是有限的，人多还是力量大，核多力量也大。	
4.7.1	多线程——时分复用	133
4.7.2	硬件多线程——让我来帮你一把	135
4.7.3	多核——从“芯”到“蕊”的跳变	136
4.7.4	各种硬件多线程对比	138
4.8	并行总结	139
4.9	微架构总结	142
4.9.1	处理器性能公式	142
4.9.2	通过微架构的改进提高程序执行效率	142
4.9.3	商用处理器微架构的选择	143
第 5 章	Cache——处理器的“肚量”	145



5.1	什么是 Cache——探索既熟悉又陌生的领域	147
-----	------------------------------	-----

今天要上《高数》课，就把《高数》的课本放进书包，明天要上《C 语言》，就把书包中的《高数》课本取出来，把《C 语言》课本放进书包，这个包就是一个 Cache（缓存）。

5.1.1	随处可见的 Cache——技术来源于生活	147
5.1.2	处理器的 Cache——一切都是收益和成本的权衡	147

5.2	处理器的 Cache 结构——探索那些鲜为人知的秘密	150
	<p>我们通常会有这样的生活习惯，将最常用的东西放在桌上，这样可以最方便的拿到，将次常用的东西放在抽屉里，也能较快的拿到，将不常用的东西放在箱子里，去箱子里拿东西需要耗费更多的时间。</p>	
5.2.1	Cache 的层次——层次化管理	150
5.2.2	Cache 的工作方式——丘比特之剑，命中与未命中	151
5.2.3	Cache 的映射方式——多对一的策略	152
5.2.4	Cache 的写方式——你不需要知道真相	156
5.3	Cache 一致性	158
	<p>现实生活中常常会出现因为沟通不畅而导致的扯皮，一方修改了某些东西，又没有及时通知到另一方，导致双方掌握的信息不一致，这就是一致性问题。</p>	
5.3.1	一致性问题的产生——信息不对称导致的问题	158
5.3.2	Cache 一致性的底层操作	159
5.3.3	Cache 一致性协议	160
5.4	片内可寻址存储器——软件管理的 Cache	163
第 6 章	编写高效代码——时间就是生命	167



6.1	软件效率——21 世纪什么最重要？效率！	169
-----	----------------------	-----

作为程序员，我们应该勤俭编码，让代码使用更少的 CPU 运算量，做更多的活。

6.1.1	高效代码的意义——时间就是生命，时间就是金钱	169
6.1.2	代码剖析——没有调查，就没有发言权	169

- 6.2 减少指令数——勤俭持家..... 171
 - 6.2.1 使用更快的算法——算法，程序设计的灵魂..... 171
 - 6.2.2 选用合适的指令——合适的人做合适的事..... 172
 - 6.2.3 降低数据精度——比特也要省着用..... 173
 - 6.2.4 减少函数调用——不要老打断我..... 173
 - 6.2.5 空间换时间——我们总是在走，却忘了停留..... 174
 - 6.2.6 减少过保护——打不破的部门墙..... 176
- 6.3 减少处理器不擅长的操作——不要逼我做我不喜欢的事情..... 176

尺有所短，寸有所长，每种处理器都有自己擅长与不擅长的操作。

- 6.3.1 少用乘法..... 177
- 6.3.2 少用除法、求余..... 177
- 6.3.3 在精度允许的条件下，将浮点数定点化..... 177
- 6.3.4 尽量减少分支..... 178
- 6.3.5 将最可能进入的分支放在 if 中，而不是 else 中..... 179
- 6.4 优化内存访问——别让包袱拖垮了你..... 180

处理器运算的速度像兔子一样快，但是存储器的访问速度像乌龟一样慢，而且越是远离内核的存储器，访问速度越慢。

- 6.4.1 少使用数组，少使用指针..... 181
- 6.4.2 少用全局变量..... 181
- 6.4.3 一次多访问一些数据..... 182
- 6.4.4 数据对齐访问..... 182
- 6.4.5 大数据结构时的 Cache line 对齐..... 183
- 6.4.6 程序、数据访问符合 Cache 的时间、空间局部性..... 183
- 6.4.7 多线程编程时，避免 false sharing..... 185
- 6.4.8 自己管理内存动态分配..... 185
- 6.4.9 隐藏数据搬移时间..... 186
- 6.5 充分利用编译器进行优化——编译器：我才是优化第一高手..... 187

战场上讲究知己知彼，百战不殆。写代码时，这个“彼”就是编译器。

- 6.5.1 编译器的结构——知己知彼，百战不殆..... 187
- 6.5.2 编译器提供了几级优化选项——分级管理..... 188
- 6.5.3 编译器会计算常量..... 188
- 6.5.4 简单的表达式化简..... 188