

高等学校教材

计算机系统结构

■ 陆鑫达 主编

JISUANJI

XITONGJIEGOU

XITONGJIEGOU

JISUANJI

XITONGJIEGOU

高等教育出版社

高等学校教材

计算机系统结构

陆鑫达 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书系统地讲述了计算机系统结构的基本概念、设计原理和分析方法以及有关的先进技术和最新的发展趋向。本书侧重以 RISC 技术来分析和讨论有关系统结构的问题,将定性和定量分析方法结合起来,并从经济、有效观点来权衡有关技术措施的取舍。

全书共分十章。第一章叙述计算机系统结构的设计基础,包括计算机系统结构的含义、分类和计算机系统的设计准则以及计算机系统结构的发展。第二章讲述计算机的性能、成本和价格。第三章叙述数据类型和数据表示。第四章讲述指令系统的设计原理和风格,并以 RISC 设计风格为主进行了讨论。第五章讲解标量流水技术,以 RISC 机中的流水线为例,叙述流水操作中的主要障碍和解决办法,并介绍先进的流水技术。第六章叙述向量流水处理,包括向量处理方法和增强向量处理性能的方法。第七章和第八章分别讲解存储体系和输入/输出子系统。第九章叙述并行处理技术,包括 SIMD 并行机、MIMD 多处理机、互连网络和并行机发展趋向。第十章讲述新型计算机系统结构,包括计算模型的分类、数据流计算机、归约机和人工智能计算机。

本书内容丰富、取材先进,每章有小结并备有一定数量的习题和思考题。本书可作为高等院校计算机专业的高年级学生的教材,也可作为有关专业的研究生教材,本书亦可作为从事计算机研究的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机系统结构/陆鑫达主编.-北京:高等教育出版社,
1996(2001重印)
高等学校教材
ISBN 7-04-005654-2

I. 计… II. 陆… III. 计算机系统结构-高等学校-教材 N. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 01118 号

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010—64054588	传 真	010—64014048
网 址	http://www.hep.edu.cn		
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京华文印刷厂		
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	1996 年 3 月第 1 版
印 张	16.75	印 次	2001 年 6 月第 7 次印刷
字 数	410 000	定 价	13.70 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

实际应用对计算机系统越来越高的要求(更快的计算能力、更大的存储容量以及更高的输入、输出吞吐能力)、集成电路技术的迅速发展以及计算机软件技术的发展,加快了计算机系统结构的演变进程。新的系统结构技术不断涌现,并且很快被应用到新的计算机产品中去。计算机系统结构发展的这一特征,使得编写一本能及时反映当前最新发展水平的计算机系统结构教材变得相当困难。本书力求能反映这种最新的发展水平,因而在取材上力求先进。考虑到 RISC 技术已成为指令系统设计风格的主流,因此本书将重点叙述 RISC 技术的计算机系统结构。

用定量方法来分析和指导计算机系统结构的设计显然要比传统的定性方法有更大的优越性,本教材将尽力反映定量分析方面的最新方法。

由于计算机系统结构反映了一个计算机系统的软、硬件的交界面,因此计算机系统结构所研究的主要内容,不仅涉及硬件,而且还涉及到许多软件技术,特别是有关优化编译技术和操作系统技术。此外,系统结构还与程序设计语言以及算法设计等密切相关。这些在编写本教材时给予了足够的重视。本教材还力求反映当前计算机系统结构的重要进展和今后的发展趋向。

按照国家教育委员会高等学校计算机科学教学指导委员会的要求,本书是作为高等学校计算机的专业必修课教材。学生最好能在学完“数据结构”、“计算机组成原理”、“操作系统”和“编译技术”课程后,再学习本课程。教学内容可根据学时和读者对象的不同,加以不同组合和取舍,其中并行处理技术、先进的流水技术、增强向量处理性能的方法及新型计算机系统结构等章节,可作为本专业及其他相关专业的研究生课程内容。作者推荐本课程的教学时数为 54~72 学时。

本书共分十章,各章的基本内容如下:

第一章主要讲述计算机系统结构的含义、分类、计算机系统设计时应遵循的定量原理以及计算机系统结构的发展。

第二章叙述计算机的性能和成本,讨论衡量计算机性能的重要标准,以及评估计算机性能的典型标准测试程序。论述计算机成本和价格的差异。

第三章主要讨论数据类型和数据表示,重点论述二进制浮点数据的表示以及向量和自定义数据的表示。

第四章叙述指令系统的设计原理和风格,比较 CISC 和 RISC 两种设计风格,并重点介绍 RISC 指令系统的设计实例。

第五章讨论标量流水技术,着重以 RISC 机流水线为例叙述流水操作中的三种主要障碍,即资源冲突、数据相关冲突和控制转移冲突。介绍了先进流水技术,包括集中式和分布式的动态调度,以及超标量、超长指令字(VLIW)、软件流水、超级流水以及展开循环体调度等技术。

第六章介绍向量流水处理,重点讨论增强向量处理性能的各种方法。

第七章叙述存储体系,包括高速缓冲存储器(Cache)、主存储器及虚拟存储器。

第八章讨论输入/输出子系统,重点介绍了有关总线标准、中断系统、输入/输出通道以及 I/O 处理机。对廉价冗余磁盘阵列也作了相应介绍。

前 言

第九章介绍并行处理,包括SIMD并行机、互连网络、并行存储器、多处理机系统以及大规模并行处理机系统。

第十章主要介绍新型计算机系统结构,讨论计算模型分类,叙述数据流计算机、归约机及人工智能计算机。

全书编写框架和内容由陆鑫达制定,其中第七、八两章由胡越明编写,其余各章均由陆鑫达执笔。整个书稿,除七、八两章外,全由研究生江毛进输入计算机,在此向他表示衷心感谢。

本书承蒙清华大学郑纬民教授担任主审,对书稿提出了许多宝贵的修改意见,谨深表谢意。

本书主要内容是作者在上海交通大学,给历届本科生和研究生授课所用讲稿的基础上编写而成的,感谢我的同仁们和历届学生对讲稿内容所提出的宝贵意见。

由于计算机系统结构发展迅速,新技术、新概念、新术语不断涌现,在编写中难免挂一漏万,恳切希望广大读者对本书中存在的不足之处能不吝指教。

编 者

1995年12月

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

第一章 计算机系统结构设计基础 1

1.1 计算机系统结构的含义和分类 1

 1.1.1 计算机系统结构的含义 2

 1.1.1.1 计算机系统结构的外特性 2

 1.1.1.2 计算机系统结构的内部特性 4

 1.1.1.3 计算机系统的微系统结构——微外特性 4

 1.1.2 计算机系统结构的分类 5

 1.1.2.1 按“流”分类 5

 1.1.2.2 按“并行级”和“流水线”分类 7

 1.1.2.3 计算机系统结构风格 8

1.2 计算机系统的设计准则 8

 1.2.1 计算机系统设计的定量原理 8

 1.2.2 计算机系统设计者的主要任务 9

1.3 计算机系统结构的发展 10

 1.3.1 计算机系统结构的演变 10

 1.3.2 软件、应用和器件对系统结构发展的影响 13

 1.3.2.1 软件对系统结构发展的影响 13

 1.3.2.2 应用需求对系统结构发展的影响 16

 1.3.2.3 器件对系统结构发展的影响 17

小结 18

习题和思考题 18

第二章 计算机的性能和成本 20

2.1 引言 20

2.2 计算机性能 20

 2.2.1 衡量计算机性能的主要标准 20

 2.2.2 CPU 性能 21

 2.2.3 MIPS 和 MFLOPS 22

 2.2.4 评估性能的基准测试程序 23

 2.2.5 性能评价结果的统计和比较 23

 2.2.6 加速比性能指标和性能可伸缩性指标 26

2.3 计算机成本和价格 26

小结 28

习题和思考题 28

第三章 数据类型和数据表示 31

3.1 数据类型 31

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

3.1.1 基本数据类型 31

3.1.2 结构数据类型 32

3.2 数据表示 32

3.2.1 数据表示、数据类型和数据结构的关系 32

3.2.2 二进制的定点、浮点数据表示 33

3.2.3 向量数据表示 34

3.2.4 自定义数据表示 36

小结 40

习题和思考题 40

第四章 指令系统的设计原理和风格 42

4.1 引言 42

4.2 指令系统集结构的分类 43

4.2.1 堆栈型、累加器型和通用寄存器型指令集的结构 43

4.2.2 通用寄存器型指令系统的进一步分类 44

4.3 操作数访问(寻址)方式 45

4.3.1 按地址访问方式 45

4.3.2 按内容访问方式 49

4.4 指令格式及其优化 50

4.5 两种不同的指令系统设计风格——CISC 和 RISC 54

4.5.1 CISC 设计风格 55

4.5.1.1 CISC 的主要特点 55

4.5.1.2 CISC 发展的主要问题 56

4.5.2 RISC 设计风格 56

4.5.2.1 RISC 技术的发展 56

4.5.2.2 RISC 技术的主要特征 57

4.5.2.3 RISC 技术中所采用的特殊方法 58

4.5.2.4 CISC 机和 RISC 机设计风格的比较 62

4.6 RISC 机指令系统实例和分析 64

4.6.1 加州大学伯克莱分校的 RISC 机和 SUN SPARC 系统结构 64

4.6.1.1 加州大学伯克莱分校的 RISC 机 64

4.6.1.2 SUN SPARC 系统结构 66

4.6.2 斯坦福大学的 MIPS 机和 MIPS R3000 67

4.6.3 新一代 RISC 机的主要特征和发展趋向 68

小结 70

习题和思考题 70

第五章 标量流水技术 72

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

5.1 控制流及其改变	72
5.2 标量流水工作原理	73
5.2.1 重叠操作方式和先行控制	73
5.2.2 标量流水工作原理	76
5.2.3 标量流水分类	77
5.2.4 流水线的主要性能及其分析	79
5.2.5 流水线性能分析举例	81
5.3 流水操作中的主要障碍	83
5.3.1 资源冲突(结构冲突)	84
5.3.2 数据相关冲突	84
5.3.3 控制转移冲突	88
5.4 流水的实现和控制	91
5.4.1 流水线的中断处理	91
5.4.2 非线性流水线中功能段使用冲突及相应调度	91
5.5 先进的流水技术	93
5.5.1 先进的流水调度方法——动态调度	94
5.5.1.1 流水的集中式动态调度	94
5.5.1.2 流水的分布式动态调度	95
5.5.1.3 动态硬件预测转移方法	97
5.5.2 流水中指令级并行性的进一步开发	97
5.5.2.1 超级标量方法	98
5.5.2.2 VLIW(超长指令字)方法	100
5.5.2.3 展开循环体后调度	104
5.5.2.4 软件流水方法	105
5.5.2.5 超级流水方法	106
小结	107
习题和思考题	108
第六章 向量流水处理	111
6.1 向量流水机的基本系统结构	111
6.1.1 向量流水处理的主要特点	111
6.1.2 向量机的基本系统结构	111
6.1.3 向量启动时间和启动率	113
6.2 向量操作长度控制和向量访问步长	114
6.3 向量处理方法	115
6.4 增强向量处理性能的方法	117
6.4.1 多功能部件的并行操作	117
6.4.2 链接技术	118

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

6.4.3 条件执行语句和稀疏矩阵的加速处理方法 119

6.4.4 向量归约操作的加速方法 121

6.5 向量处理性能评估参数和方法 121

6.6 向量化编译技术 123

小结..... 124

习题和思考题..... 125

第七章 存储体系 127

7.1 引言——访存局部性原理 127

7.2 存储体系构成的基本原理 128

7.3 高速缓冲存储器(Cache) 129

7.3.1 Cache 基本工作原理和结构 130

7.3.2 地址映象与变换 131

7.3.2.1 直接映象及变换 131

7.3.2.2 全相联映象及变换 132

7.3.2.3 组相联映象及变换 133

7.3.3 替换策略及更新主存策略 134

7.3.4 数据 Cache、指令 Cache 及一体化 Cache 139

7.3.5 Cache 性能分析 139

7.4 主存储器及带宽拓宽方法 141

7.4.1 提高主存性能方法 141

7.4.2 多体交叉存储器 142

7.4.2.1 高位交叉存储器 142

7.4.2.2 低位交叉存储器 142

7.4.3 拓宽存储器带宽的方法 143

7.5 虚拟存储器 143

7.5.1 虚拟存储器的基本概念 143

7.5.2 三种不同的虚拟存储器管理方式 144

7.5.2.1 段式管理 144

7.5.2.2 页式管理 144

7.5.2.3 段页式管理 145

7.5.3 页式虚拟存储器结构及其实现 148

7.5.3.1 快速地址变换技术 148

7.5.3.2 虚存的保护技术 149

小结..... 154

习题和思考题..... 154

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

第八章 输入/输出子系统	157
8.1 引言	157
8.2 I/O 子系统主要特征	157
8.3 I/O 部件类型	159
8.3.1 磁盘	159
8.3.2 光盘	161
8.3.3 图形显示设备	163
8.4 总线	163
8.4.1 总线分类	163
8.4.2 总线控制方式	164
8.4.3 总线标准	169
8.5 中断系统	174
8.5.1 中断分类和优先等级	174
8.5.2 中断处理系统	175
8.6 输入/输出通道	175
8.7 I/O 处理机	178
8.8 I/O 子系统的性能衡量标准	179
8.9 I/O 子系统的设计	180
小结	180
习题和思考题	181
第九章 并行处理技术	183
9.1 并行处理技术的发展	183
9.1.1 并行性基本概念	183
9.1.2 并行性的开发策略	184
9.2 SIMD 并行计算机(阵列处理机)	185
9.2.1 阵列机的基本结构	185
9.2.2 阵列机的主要特点	186
9.2.3 阵列机的并行算法	186
9.2.4 典型 SIMD 计算机举例	188
9.3 计算机互连网络	190
9.3.1 互连网络的设计准则及互连函数	190
9.3.2 单级互连网络	192
9.3.3 多级互连网络	196
9.4 并行存储器的无冲突访问	198
9.5 多处理机	200
9.5.1 多处理机主要特征及其分类	200
9.5.2 多处理机间的互连方式	205

计算机系统结构

目

录

高等教育出版社

9.5.3 多处理机系统中并行性的开发 210

 9.5.3.1 程序并行性的分析 210

 9.5.3.2 并行程序设计语言 211

9.5.4 多处理机操作系统 214

 9.5.4.1 多处理机操作系统的特点 214

 9.5.4.2 多处理机操作系统的分类 214

9.5.5 多处理机调度策略 215

9.6 并行机的发展趋向 217

 9.6.1 并行机的现状 217

 9.6.2 MPP 大规模并行处理机 218

小结 221

习题和思考题 222

第十章 新型计算机系统结构 225

10.1 计算模型分类 225

10.2 数据流计算机 228

 10.2.1 数据流计算机的基本工作原理 228

 10.2.2 数据流程图和数据流语言 228

 10.2.3 数据流机的基本结构 232

10.3 归约机 235

 10.3.1 函数式程序设计语言 235

 10.3.2 面向函数式语言的归约机 237

10.4 人工智能计算机 240

 10.4.1 人工智能(AI—Artificial intelligent)计算特征 241

 10.4.2 人工智能计算机的分类和设计方法 242

 10.4.3 PROLOG 推理机 243

 10.4.4 人工智能计算机的研究进展 243

 10.4.5 真实世界计算机研究计划 244

小结 246

习题和思考题 246

附录 1 SPARC 指令系统 249

附录 2 MIPS R3000 指令系统 250

参考文献 253

第一章 计算机系统结构设计基础

本章从外特性和内特性两方面介绍计算机系统结构的含义。叙述计算机系统结构的分类方法。讨论进行计算机系统设计应遵循的三个定量原理。最后概述计算机系统结构的发展,并说明软件、应用和器件在计算机系统结构发展中所起的作用。

1.1 计算机系统结构的含义和分类

电子计算机自 1946 年问世以来,已经历了近半个世纪,在此期间计算机系统性能得到了大幅度地提高,价格却大幅度下降。这一方面是由于制造计算机所用的器件不断发展,使它的工作速度、功能、集成度和可靠性等指标不断提高和价格不断降低而造成的;另一方面则主要得益于计算机系统结构的改进。有人统计在 1965 年到 1975 年期间,计算机系统性能提高近 100 倍,其中由于器件性能提高使其性能增加 10 倍,而另外的 10 倍,主要归功于系统结构改进。近五十年的发展中,总的来讲,器件在技术上的改进是比较稳定的,而系统结构的改进则有较大起伏,特别是近二十年来,由于计算机系统的设计对集成电路技术的依赖性大为增加,从而使得在这一期间内,各类不同的计算机系统的性能增长率有了差异。

大型机的性能增长主要靠器件工艺上的改进,因为系统结构方面的改进没有新的突破;巨型机的性能增长则得益于器件技术和系统结构两方面的改进;小型机的发展,一方面是由于计算机实现方法有了较大的改进,另一方面是因为采用了许多大型机中行之有效的先进技术。但这三类计算机,在 1970 年到 1990 年期间,每年计算机的性能平均增长率均只在 18% 左右。与之相对照,微型计算机的性能增长则比较快,每年的平均增长率约为 35%,这是因为微型计算机能从集成电路技术的进展中得到最为直接的好处。自 80 年代起,微处理机技术实际上已成为新系统结构和老系统结构更新时所选用的主要技术。

进入 80 年代后,计算机市场上出现了两个显著的变化,使得新系统结构商品化变得较为容易。一个变化是汇编语言编程的重要性逐步降低,这就放宽了对目标代码兼容性的苛刻要求;另一个变化是与制造厂商无关的、类似 UNIX 操作系统那样的标准化的建立,使得新系统结构出台的成本和风险性都大为降低。这种情况导致了许多公司追求新的系统结构发展方向,从而很快地涌现出一些新的计算机类型,如小巨型机(Minisupercomputer),高性能微处理机(High-performance microprocessor),工程工作站(Engineering workstation)以及各种各样的多处理机(Multiprocessor)等等,因此,有人把这段时期比喻为计算机蓬勃发展的“文艺复兴”时期。

自 1985 年开始,一种具有新颖设计风格的系统结构,即采用 RISC 技术的系统结构,为计算机工业界所青睐。它将集成电路技术进展、编译技术改进以及新颖系统结构设计思想三者有机地结合起来,从而使得以这种风格设计的计算机系统的性能能以每年增长一倍的高速率加

以改进。应该指出的是,这种改进的基础是通过以往计算机如何被使用的模拟实验数据进行定量分析后获得的。有的学者将这种设计风格称为定量分析的计算机系统结构设计风格,显然这比传统的定性设计风格要精确得多。开发 RISC 技术的两位先驱者,美国加州大学伯克莱分校的 D. Patterson 教授和斯坦福大学的 J. Hennessy 教授是这种定量分析设计方法的主要倡导者。

为了解这种定量的设计系统结构方法,必须先要了解计算机系统结构的含义。我们将从内、外特性两个方面来加以讨论。

1.1.1 计算机系统结构的含义

1.1.1.1 计算机系统结构的外特性

计算机系统结构(Computer architecture)这一术语,是 Buchholz 在 1962 年描述 Stretch (IBM 7030)计算机中首次采用的。实际上,建筑学(Architecture)一词可以认为是指出一个系统的外貌,计算机作为一个包括有硬件、软件和固件的系统,也必然有其外观,即外特性。1964 年,IBM 360 系列机的主设计师 Amdahl 提出了有关计算机系统结构的定义:计算机系统结构就是程序员所看到的计算机的基本属性,即概念性结构和功能特性。这实际上是计算机系统的外特性,对这一定义,是有争论的。Myers(1982 年)、Tanenbaum(1984 年)以及 Dasgupta(1984 年)等等都先后分别给出了不同的定义,主要的争议点是基于这样的事实,即由于计算机系统是包括软、硬件乃至固件资源的较复杂系统,因此处在不同层次的使用者(各级程序员)所看到的外特性就可能是完全不一样的。例如,对于使用 FORTRAN 那样的高级语言程序员来讲,一台 IBM 3090 大型机、一台 VAX 11/780 小型机或是一台 PC386 微机,在他看来都是一样的,因为在这三台机器上运行他所编制的程序,得到的结果是一样的。但对使用汇编语言编程的程序员来讲,由于必须熟悉这三台机器的完全不同的汇编指令,他就感到这三台机器是完全不同的。另外,即使对同一台机器来讲,处在不同级别的程序员,例如应用程序员、高级语言程序员、系统程序员和汇编程序员,他们所看到的计算机外特性也是完全不一样的。那末通常所讲的计算机系统结构的外特性应是处在哪一级的程序员所看到的外特性呢?比较一致的看法是机器语言程序员或编译程序编写者所看到的外特性,这种外特性是指由他们所看到的计算机基本属性,即计算机的概念性结构和功能特性,这是机器语言程序员或编译程序编写者为使其所编写、设计或生成的程序能在机器上正确运行所必须遵循的。由机器语言程序员或编译程序编写者所看到的计算机的基本属性是指传统机器级的系统结构,在传统机器级上的功能被视为属于软件功能,而在其之下的则属硬件和固件功能,因此计算机系统的概念性结构和功能属性实际上已成为计算机系统中软、硬件之间的界面。

据上所述,可引出如下的几个重要概念:

1. 计算机系统按功能可划分成多层次结构,如图 1.1 所示,在传统机器级以上的是操作系统级、汇编语言级、高级语言级和应用语言级,在其下面的是微程序机器级以及扩展级电子线路,微程序机器级也可称为计算机的微系统结构。

在传统机器级以上的所有机器都称为是虚拟机(Virtual machine),因为它们均是由软件实现的机器,与实际物理机器级有所不同。对应于这些级的机器语言分别是操作系统机器语言、汇编语言、高级语言及应用软件。这种垂直式的层次概念有助于理解各级语言的实质及实

现。分层后,处在某一级虚拟机的程序员只需知道这一级的语言及虚拟机,至于这一级语言是如何再逐层地经翻译或解释直到下面的实际机器级,就毋需知道了。一般来讲,越是上层的语言,语义越高级,因此当其由下一级语言来实现时,往往要用好几条指令或语句。

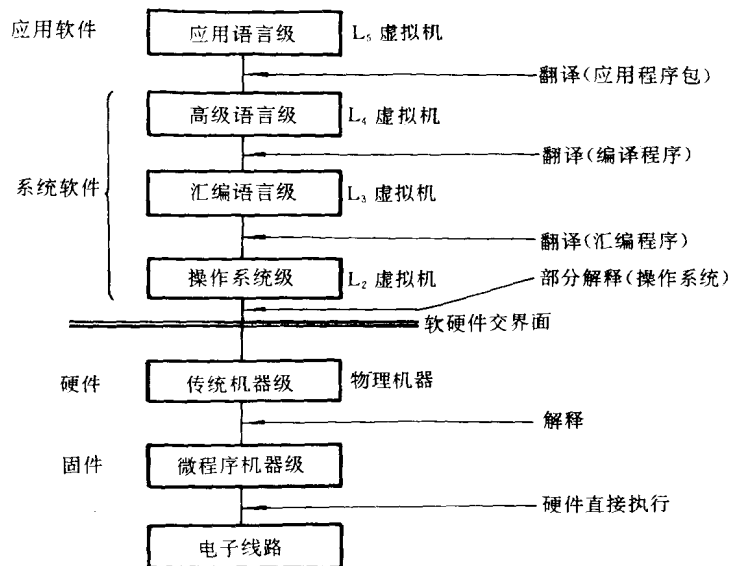


图 1.1 计算机系统的多层次结构

2. 虽然软件和硬件两者在实质上是完全不同的,但它们的功能在逻辑上是等价的。即绝大部分硬件功能都可用软件来实现,反之亦然,但两者在实现时,将在性能价格比上以及实现难易程度上反映出等价。一般而言,用硬件替代软件所实现的功能往往在性能上占优势,且占用存储容量少,但成本相对较高,改变的灵活性较差;使用软件的情况正好相反。

3. 具有相同功能的计算机系统,它们的软、硬件间的功能分配,可在很宽的范围内变化,因此软、硬件的界面是含糊的,没有明确的固定界线,可随各种因素的影响在一定的范围内动态地变化。主要因素有性能和成本、对存储器容量的需求量、可扩展和可更改性等。随着 VLSI 技术的不断发展以及器件的功能越来越强,硬件在功能实现中的比例将趋向增大。

4. 透明性概念。一种本来存在的有差异的事物或属性,从某种角度来看似乎不再存在,称为透明性现象。例如,前面提到的高级语言程序员看不到各种不同类型机器的差异性就是一个明显的例证。从用户使用计算机系统方便观点来讲,透明性越多越好,但这种透明性往往是借助软件填补了实际存在的差异而得到的。

关于计算机系统结构的外特性,比较一致的看法认为应包括以下几个方面:

- (1) 指令系统。它反映了机器指令的类型和形式,指令间排序和控制机构。
- (2) 数据表示。它反映了能由硬件直接识别和处理的数据类型和指令。
- (3) 操作数的寻址方式。它反映了系统能寻址的最小单位(寻址单位)、寻址方式和表示。
- (4) 寄存器的构成定义。反映了通用寄存器和专用寄存器的数量、定义和使用方式。
- (5) 中断机构和例外条件。表示中断的类型、分级和中断响应的硬件功能以及例外条件。
- (6) 存储体系和管理。包括主存储器、编址方式、最大可编址空间。

(7) I/O 结构。包括 I/O 设备的连接方式,处理机、存储器与 I/O 设备间的数据传递方式和格式、传递的数据量及传递操作结束的表示及出错指示等。

(8) 机器工作状态的定义和切换。如系统态和用户态等。

(9) 信息保护。包括保护方式及有关的硬件支持等。

1.1.1.2 计算机系统结构的内部特性

计算机系统的外特性是由硬件和固件来加以实现的,然而,它们本身也是由电路、逻辑门或寄存器传递级所组成,但这些组成的描述通常过于详细。对它们的抽象便成为计算机系统的内特性,也称为计算机组成,它实际是计算机系统的逻辑实现。

前面提到的计算机外特性,即计算机系统结构,是从有关软件人员角度所看到的系统基本属性,那么计算机系统的设计人员所看到的基本属性,本质上是为了将有关软件人员所看到的基本属性加以逻辑实现的基本属性。这实际上就是内特性。因为它对有关软件人员来讲是看不到的。计算机系统的内特性所涉及的内容包括机器级内的数据流和控制流的组成和 CPU 内部及主存等部件的逻辑设计,着重于机器级内各事件的排序方式与控制机构、各部件的功能以及各部件间的联系,因为它关心的主要问题是如何合理地实现分配给硬件的功能和性能指标。

计算机实现是指计算机组成的物理实现。它主要包括处理机、主存等部件的物理结构;器件的集成度和速度的确定;器件、模块、插件、底板的划分与连结;微组装及整机装配技术;专用器件的设计以及信号传输、电源、冷却方法等。它主要着眼于器件技术和微组装技术。

1.1.1.3 计算机系统的微系统结构——微外特性

它是由微程序编写者所看到的计算机的外部特性——逻辑结构和功能能力,把它作为一个抽象级,可以定义硬件和固件(微代码)之间的界面。因此微系统结构对之微程序员犹如计算机系统外特性对机器语言程序员一样。图 1.2 示出了计算机系统结构的内、外特性与微系统结构以及与寄存器传递级之间关系。

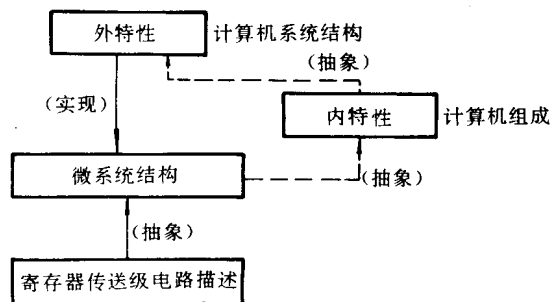


图 1.2 计算机内、外特性与微系统结构及寄存器传递级之间的关系

下面以具体实例来说明计算机系统外特性、内特性以及与物理实现的关系。例如,指令系统的确定属外特性,而指令的解释实现,如取指、译码、取数、运算、存结果等操作及其排序则属内特性。再如,指令可以按顺序方式执行,也可以按重叠或流水方式执行,而完成这些功能的具体电路器件的设计及装配技术等则是计算机实现。又如,主存储器、主存容量与编址方式的确定

定属外特性范畴,而主存的带宽应为多少方可达到速度要求,譬如采用多模块交叉存储等则属内特性,而选用什么样的存储器芯片来构成和组装成存储器则属计算机实现。

应该注意的是,由于外特性是对内特性的进一步抽象,因此两者之间的映射是一对多的关系,即某一外特性可以映射不同的内特性方式。而某一内特性与具体物理实现之间也是存在一对多的关系。因此,计算机组成和它的具体实现可由设计者根据所需要的性能价格比及实现的难易程度在较大的范围内加以选择。

以 DEC 公司生产的计算机为例,VAX 11/780 和 VAX 8600 具有相同的系统结构,但两者具有不同的组成方式,而 VAX 11/780 和 VAX 11/785 两者不但有相同的系统结构,而且有相同的组成方式,但两者却具有不同的物理实现方式,VAX 11/785 采用了改进的集成电路工艺以获取更快的时钟速率以及在存储系统中作了一些小的改动。

1.1.2 计算机系统结构的分类

研究计算机系统的分类有助于了解各类系统的演变和它们的基本属性,此外,对分类的研究有助于深化对某些特定系统的了解,以启发对新系统结构的探索途径。

1.1.2.1 按“流”分类

计算机系统的分类方法有很多种,但目前最为流行的是 Flynn 教授在 1966 年提出的按指令流和数据流的多倍性概念进行分类的方法。这里的指令流是指机器执行的指令序列,而数据流是指指令流所调用的数据序列。多倍性是指在机器中最受限制的(即瓶颈最严重的)部件上的处在同一执行阶段的可并行执行的最多指令或数据个数。按指令流和数据流两者的组合可将计算机系统划分成四类:单指令流单数据流(SISD)、单指令流多数据流(SIMD)、多指令流单数据流(MISD)以及多指令流多数据流(MIMD)。

图 1.3 给出了 Flynn 的计算机分类方法。图 1.4 示出了与这四类计算机系统相对应的基本框图。

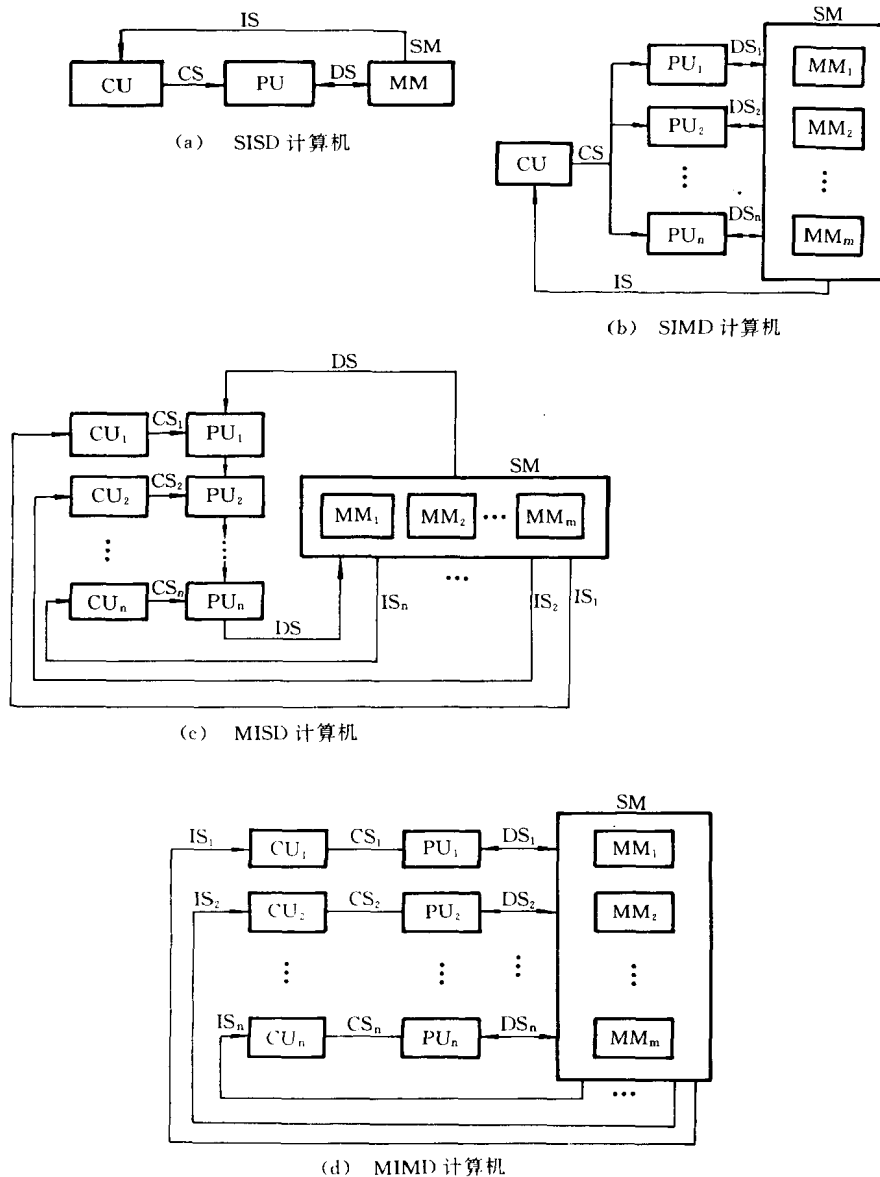
指令流 \ 数据流	单	多
	单	多
单	SISD	SIMD
多	MISD	MIMD

图 1.3 计算机系统的 Flynn 分类

传统的单处理机计算机属 SISD 计算机,它每次只对一条指令译码,并只对一个操作部件分配数据,存储器可以是单模块,也可以是多个并行模块,操作部件可以是多个。

并行处理机是 SIMD 计算机的典型代表,系统中有多个相同的处理单元,但由单一指令部件控制,各处理单元同步地对分配给它们的不同数据进行操作。

与 MISD 系统对应的实际机器实际上并不存在,因为它要求系统在指令级上并行,而数据级上又不并行,这不太现实,但现在也有学者认为,超级标量机以及超长指令字计算机



CU——控制部件 PU——处理部件 MM——主存模块 SM——共享主存
 CS——控制流 IS——指令流 DS——数据流

图 1.4 Flynn 分类法中四种系统的基本结构

(VLIW)和退耦(Decoupled)计算机以及脉动阵列计算机都可归于这一类型,特别是退耦计算机系统,具有两个指令流,及两个独立的程序计数器但数据流只有一个。

MIMD 系统包括了大多数多处理机及多计算机系统。若 n 个处理器共享一个主存空间,此时就称为紧耦合 MIMD 系统。也可以是不直接的共享一个主存空间,此时称为松耦合 MIMD 系统,它实质上只是多个独立的 SISD 单机系统的集合。