

清华大学计算机系列教材

COMPUTER

TSINGHUA

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

# 计算机系统结构

TSINGHUA COMPUTER

(第二版)

TSINGHUA COMPUTER

郑伟民 汤志忠 编著

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

TSINGHUA COMPUTER

清华大学出版社

清华大学计算机系列教材

# 计算机系统结构

(第二版)

郑纬民 汤志忠 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

## 内 容 简 介

全书共分 12 章。第一章介绍计算机系统结构的基本概念,包括计算机系统的层次结构、系统结构的定义、分类、设计技术、评价标准和系统结构的发展等,第二章介绍数据表示、寻址技术、指令格式的优化设计、CSIC 指令系统和 RISC 指令系统等,第三章介绍存储系统原理、虚拟存储器和高速缓冲存储器等,第四章介绍输入输出原理、中断系统、通道处理机和输入输出处理机,第五章介绍先行控制技术、流水线处理机、超标量处理机、超流水线处理机和超标量超流水线处理机等,第六章介绍向量的基本概念、向量处理机结构、提高向量处理机性能的方法、向量处理机的性能评价等,第七章介绍互连网络的基本概念、消息传递机制和互连网络实例,第八章介绍 SIMD 计算机模型、结构、实例和 SIMD 计算机的应用,第九章介绍多处理机结构、性能和 Cache 一致性等,第十章介绍多处理机算法,包括同步技术、并行搜索、串行算法到并行算法的转换、并行程序设计语言及其实现方法等,第十一章介绍数据流计算机、数据库机与知识库机、面向函数程序设计语言的归约机,最后第十二章是实验:DLX 处理机,通过实验能够加深对本书主要内容的理解。每章后附有大量习题。

本书是计算机专业本科生“计算机系统结构”课程的通用教材,也可作为有关专业研究生的教材和有关科技工作者的专业参考书。

**版权所有,翻印必究。**

**本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。**

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机系统结构/郑纬民,汤志忠编. —2 版. —北京:清华大学出版社,1998  
(清华大学计算机系列教材)  
ISBN 7-302-02900-8

I. 计… II. ①郑… ②汤… III. 电子计算机-系统结构-高等学校-教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 05648 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:46.75 字数:1107 千字

版 次:1998 年 9 月第 2 版 2000 年 12 月第 6 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02900-8/TP·1534

印 数:61001~67000

定 价:42.00 元

# 前 言

本书是大学计算机专业本科生“计算机系统结构”课的通用教材,也可作为有关专业研究生的教材。在目前各行各业普遍使用计算机的形势下,本书也可作为广大科技工作者从用户角度了解和学习计算机工作原理的专业参考书。

本书内容是根据作者 20 多年来从事“计算机系统结构”等课程的教学经验及有关科研工作的成果写成的。全书以横向方式组织教学内容,力求深入浅出地全面介绍计算机系统结构的基本原理,而不只是从头至尾具体介绍某一种计算机系统。在关键章节有 1 至 2 个实例,通过介绍目前通用的和先进的计算机系统来具体阐述计算机结构原理的各个侧面。读者通过学习本书,能够比较全面地掌握计算机系统结构的基本概念、基本原理、基本结构和基本分析方法。由于计算机系统是一个复杂的系统,在读者已经学习了“计算机组成原理”、“计算机操作系统”、“汇编语言程序设计”、“高级语言程序设计”等计算机硬件和软件方面的多门课程之后,通过学习“计算机系统结构”这门课程能够建立起计算机系统的完整概念。

“计算机系统结构”是从外部来研究计算机系统的一门学科。一般说来,凡是计算机系统的使用者(包括一般用户和系统程序员)所能看到的计算机系统的属性都是“计算机系统结构”所要研究的对象,这一点与“计算机组成原理”这门课程从计算机系统的内部来研究计算机不同。由于部分内容在先修课程(如“计算机组成原理”、“数据结构”、“计算机操作系统”、“汇编语言程序设计”等)中已经涉及到,但许多内容在这些课程中讲解得并不全面和深入,对于属于计算机系统结构的关键内容,本书力求从系统分析和设计的角度,深入浅出地介绍这些基础内容。这部分的内容主要有:数据表示、指令系统、存储系统和输入输出系统。

自从本书第一版发行以来,计算机系统结构在许多方面有了新的发展,如超标量、超流水线及超标量超流水线结合的系统结构在微处理机中已经得到广泛应用,并行处理及其互连网络的发展非常迅速。本书对各章内容都进行了重写。与第一版相比,主要有如下特点:第一,反映了国内外计算机系统结构方面比较成熟的研究成果和最新的发展。第二,内容更加全面。本书加入了许多新的内容。凡属于计算机系统结构的主要内容,在本书中都有介绍。第三,对许多关键内容的介绍更加深入。本书力求从系统设计和系统分析的高度来介绍计算机系统的基本概念和基本分析方法。第四,在每章后面增加了大量的习题,对加深对各部分内容的理解很有帮助。第五,增加了一个实验,即描述了一个虚拟的 DLX 处理机,它是一个 RISC 结构的流水线处理机。这是从美国著名的计算机系统结构教材中引进的。通过学习 DLX 处理机的指令系统和流水线结构,并使用 DLX 模拟器进行实验可以帮助读者更加全面地理解本书的有关内容。推出这一实验得到美国 MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS INC 的许可。

本书每章内容相互独立,教师可根据不同的学时和不同的专业需要任意选择其中的

几章或有关章节的部分内容进行教学。对于在“计算机组成原理”或“计算机操作系统”等先修课程中已经系统学习过的内容可以舍去不讲,有些章节的内容可以让学生自学。

本书第一、六、七、八、九、十章和第十一章的第三部分由清华大学计算机系的郑纬民教授编写,第二、三、四、五章和第十一章的第一、二部分由清华大学计算机系的汤志忠教授编写。第十二章由杨博、裴丹、许开新译自 David A. Patterson 和 John L. Hennessy 编写的“Computer Architecture: A Quantitative Approach”中的有关部分,由陈文光博士审校和整理。

本书的编写和出版得到清华大学计算机系领导的大力支持,并得到有关教师多方面的帮助和鼓励。

限于作者的水平,错误和不当之处希望读者批评指正。

作 者

1997 年 12 月于清华大学

# 目 录

<b>第一章 计算机系统结构的基本概念</b> .....	1
1.1 计算机系统结构 .....	2
1.1.1 计算机系统层次结构.....	2
1.1.2 计算机系统结构定义.....	4
1.1.3 计算机组成与实现.....	5
1.1.4 计算机系统结构的分类.....	6
1.2 计算机系统设计技术 .....	9
1.2.1 计算机系统设计的定量原理.....	9
1.2.2 计算机系统设计者的主要任务 .....	13
1.2.3 计算机系统设计的主要方法 .....	14
1.3 系统结构的评价标准.....	15
1.3.1 性能 .....	15
1.3.2 成本 .....	19
1.4 计算机系统结构的发展.....	22
1.4.1 冯·诺依曼结构 .....	22
1.4.2 软件对系统结构的影响 .....	23
1.4.3 价格对系统结构的影响 .....	25
1.4.4 应用对系统结构的影响 .....	26
1.4.5 VLSI 对系统结构的影响 .....	27
1.4.6 技术的发展对价格的影响 .....	27
1.4.7 算法和系统结构 .....	29
习题一 .....	31
<b>第二章 指令系统</b> .....	36
2.1 数据表示.....	36
2.1.1 数据表示与数据类型 .....	36
2.1.2 浮点数据表示 .....	38
2.1.2.1 浮点数的表数范围.....	39
2.1.2.2 浮点数的表数精度.....	42
2.1.2.3 浮点数的表数效率.....	45
2.1.2.4 浮点数尾数基值的选择.....	46
2.1.2.5 浮点数格式的设计.....	50
2.1.2.6 浮点数的舍入处理.....	53

2.1.2.7	警戒位的设置方法	61
2.1.3	自定义数据表示	65
2.1.3.1	带标志符的数据表示法	66
2.1.3.2	数据描述符表示法	69
2.2	寻址技术	71
2.2.1	编址方式	71
2.2.1.1	编址单位	71
2.2.1.2	零地址空间个数	75
2.2.1.3	输入输出设备的非线性编址	77
2.2.1.4	并行存储器的编址技术	78
2.2.2	寻址方式	79
2.2.2.1	寻址方式的设计思想	79
2.2.2.2	间接寻址与变址寻址	81
2.2.2.3	寄存器寻址	83
2.2.2.4	堆栈寻址方式	85
2.2.3	定位方式	85
2.2.3.1	逻辑地址与物理地址	86
2.2.3.2	直接定位方式	87
2.2.3.3	静态定位方式	87
2.2.3.4	动态定位方式	88
2.3	指令格式的优化设计	90
2.3.1	指令的组成	90
2.3.2	操作码的优化表示	91
2.3.2.1	固定长操作码	91
2.3.2.2	Huffman 编码法	91
2.3.2.3	扩展编码法	93
2.3.3	地址码的优化表示	95
2.3.3.1	地址码个数的选择	96
2.3.3.2	缩短地址码长度的方法	99
2.3.4	指令格式设计举例	100
2.4	指令系统的功能设计	102
2.4.1	基本指令系统	103
2.4.2	复杂指令系统(CISC)	107
2.4.2.1	目标程序的优化	107
2.4.2.2	对高级语言和编译程序的支持	110
2.4.2.3	操作系统的优化实现	111
2.4.3	精简指令系统(RISC)	111
2.4.3.1	从 CISC 到 RISC	111

2.4.3.2	RISC 的定义与特点 .....	115
2.4.3.3	减少指令平均执行周期数是 RISC 思想的精华 .....	116
2.4.3.4	RISC 的关键技术 .....	118
2.4.3.5	RISC 优化编译技术 .....	123
习题二	.....	124
<b>第三章</b>	<b>存储系统</b> .....	130
3.1	存储系统原理 .....	130
3.1.1	存储系统的定义.....	130
3.1.2	存储器的层次结构.....	134
3.1.3	频带平衡.....	136
3.1.4	并行存储器.....	136
3.1.4.1	并行访问存储器 .....	137
3.1.4.2	交叉访问存储器 .....	138
3.1.4.3	一种无访问冲突存储器 .....	143
3.2	虚拟存储器 .....	146
3.2.1	虚拟存储器工作原理.....	146
3.2.2	地址的映象与变换.....	147
3.2.2.1	段式虚拟存储器 .....	148
3.2.2.2	页式虚拟存储器 .....	151
3.2.2.3	段页式虚拟存储器 .....	153
3.2.2.4	外部地址变换 .....	155
3.2.3	加快内部地址变换的方法.....	157
3.2.3.1	目录表 .....	158
3.2.3.2	快慢表 .....	159
3.2.3.3	散列函数 .....	160
3.2.3.4	虚拟存储器举例 .....	161
3.2.4	页面替换算法及其实现.....	164
3.2.4.1	页面替换算法 .....	164
3.2.4.2	堆栈型替换算法 .....	166
3.2.4.3	页面替换算法的实现 .....	168
3.2.5	提高主存命中率的方法.....	169
3.2.5.1	页面大小的选择 .....	170
3.2.5.2	主存容量 .....	171
3.2.5.3	页面调度方式 .....	171
3.3	高速缓冲存储器(Cache) .....	172
3.3.1	基本工作原理.....	173
3.3.2	地址映象与变换方法.....	174



3.3.2.1	全相联映象及其变换 .....	174
3.3.2.2	直接映象及其变换 .....	176
3.3.2.3	组相联映象及其变换 .....	178
3.3.2.4	位选择组相联映象及其变换 .....	182
3.3.2.5	段相联映象及其变换 .....	184
3.3.3	Cache 替换算法及其实现 .....	186
3.3.3.1	轮换法及其实现 .....	187
3.3.3.2	LFU 算法及其实现 .....	188
3.3.3.3	比较对法 .....	189
3.3.3.4	堆栈法 .....	191
3.3.4	Cache 的性能分析 .....	193
3.3.4.1	Cache 系统的加速比 .....	193
3.3.4.2	Cache 的一致性问题的 .....	195
3.3.4.3	Cache 的预取算法 .....	198
3.4	三级存储系统 .....	198
3.4.1	虚拟地址 Cache .....	200
3.4.2	全 Cache 技术 .....	201
习题三	.....	202

<b>第四章</b>	<b>输入输出系统</b> .....	208
4.1	输入输出原理 .....	208
4.1.1	输入输出系统的特点.....	208
4.1.1.1	异步性 .....	208
4.1.1.2	实时性 .....	209
4.1.1.3	与设备无关性 .....	210
4.1.2	输入输出系统的组织方式.....	210
4.1.2.1	自治控制 .....	210
4.1.2.2	层次结构 .....	211
4.1.2.3	分类组织 .....	212
4.1.3	基本输入输出方式.....	212
4.1.3.1	程序控制输入输出方式 .....	212
4.1.3.2	中断输入输出方式 .....	214
4.1.3.3	直接存储器访问(DMA)方式 .....	215
4.2	中断系统 .....	217
4.2.1	中断源的组织.....	217
4.2.1.1	中断源的种类 .....	217
4.2.1.2	中断源的分类组织 .....	218
4.2.1.3	中断优先级 .....	219

4.2.2	中断系统的软硬件功能分配	221
4.2.2.1	中断处理过程	222
4.2.2.2	中断响应时间	223
4.2.2.3	识别中断源的查询法	224
4.2.2.4	识别中断源的串行排队链法和中断向量法	225
4.2.2.5	识别中断源的独立请求法	227
4.2.2.6	中断现场的保存和恢复	229
4.2.3	中断屏蔽	230
4.3	通道处理机	233
4.3.1	通道的作用和功能	233
4.3.2	通道的工作过程	235
4.3.3	通道种类	238
4.3.3.1	字节多路通道	238
4.3.3.2	选择通道	239
4.3.3.3	数组多路通道	240
4.3.4	通道中的数据传送过程	241
4.3.5	通道的流量分析	243
4.4	输入输出处理机	245
4.4.1	输入输出处理机的作用	245
4.4.2	输入输出处理机的种类	247
4.4.3	输入输出处理机的特点	248
	习题四	250

## 第五章 标量处理机 253

5.1	先行控制技术	253
5.1.1	指令的重叠执行方式	253
5.1.2	先行控制方式的原理和结构	255
5.1.2.1	处理机结构	256
5.1.2.2	指令执行时序	258
5.1.2.3	先行缓冲栈	259
5.1.2.4	缓冲深度的设计	261
5.1.3	数据相关	263
5.1.3.1	指令相关	264
5.1.3.2	主存操作数相关	265
5.1.3.3	通用寄存器数据相关	266
5.1.3.4	变址相关	268
5.1.4	控制相关	269
5.1.4.1	无条件转移	269

5.1.4.2	一般条件转移 .....	270
5.1.4.3	复合条件转移 .....	272
5.1.4.4	转移预测技术 .....	272
5.1.4.5	短循环程序的处理 .....	274
5.2	流水线处理机 .....	276
5.2.1	流水线工作原理 .....	277
5.2.1.1	从重叠到流水线 .....	277
5.2.1.2	时空图 .....	278
5.2.1.3	流水线的特点 .....	279
5.2.2	流水线的分类 .....	280
5.2.2.1	线性流水线与非线性流水线 .....	280
5.2.2.2	流水线的级别 .....	281
5.2.2.3	单功能与多功能流水线 .....	282
5.2.2.4	静态流水线与动态流水线 .....	283
5.2.3	线性流水线的性能分析 .....	285
5.2.3.1	吞吐率 .....	285
5.2.3.2	加速比 .....	288
5.2.3.3	效率 .....	289
5.2.3.4	流水线最佳段数的选择 .....	291
5.2.3.5	流水线性能分析举例 .....	292
5.2.4	非线性流水线的调度技术 .....	294
5.2.4.1	非线性流水线的表示 .....	295
5.2.4.2	非线性流水线的冲突 .....	296
5.2.4.3	无冲突调度方法 .....	298
5.2.4.4	优化调度方法 .....	301
5.2.5	局部相关 .....	303
5.2.5.1	顺序流动与乱序流动 .....	304
5.2.5.2	数据相关及其避免方法 .....	307
5.2.5.3	数据重定向 .....	308
5.2.5.4	Tomasulo 动态指令调度算法 .....	310
5.2.6	全局相关 .....	312
5.2.6.1	转移的影响 .....	312
5.2.6.2	动态转移预测技术 .....	315
5.2.6.3	提前形成条件码 .....	317
5.2.6.4	精确断点与不精确断点 .....	319
5.3	超标量处理机与超流水线处理机 .....	320
5.3.1	超标量处理机 .....	321
5.3.1.1	基本结构 .....	322

5.3.1.2	单发射与多发射 .....	323
5.3.1.3	多流水线调度 .....	326
5.3.1.4	资源冲突 .....	330
5.3.1.5	超标量处理机性能 .....	332
5.3.2	超流水线处理机 .....	332
5.3.2.1	指令执行时序 .....	333
5.3.2.2	典型处理机结构 .....	333
5.3.2.3	超流水线处理机性能 .....	336
5.3.3	超标量超流水线处理机 .....	337
5.3.3.1	指令执行时序 .....	337
5.3.3.2	典型处理机结构 .....	338
5.3.3.3	超标量超流水线处理机性能 .....	341
习题五 .....		342
<b>第六章</b>	<b>向量处理机 .....</b>	<b>347</b>
6.1	向量处理的基本概念 .....	347
6.1.1	什么是向量处理 .....	347
6.1.2	向量处理方式 .....	348
6.2	向量处理机的结构 .....	349
6.2.1	存储器-存储器结构 .....	351
6.2.2	寄存器-寄存器结构 .....	355
6.3	向量处理机的存取模式和数据结构 .....	358
6.3.1	数值算法的存取模式 .....	358
6.3.2	向量处理机的数据结构 .....	361
6.4	提高向量处理机性能的方法 .....	365
6.4.1	向量处理机系统结构的设计目标 .....	365
6.4.2	提高向量处理机性能的常用技术 .....	369
6.5	向量处理机实例 .....	376
6.5.1	向量处理机的历史与现状 .....	376
6.5.2	Cray Y-MP,C-90 .....	379
6.5.3	Fujitsu VP2000 和 VPP500 .....	381
6.5.4	向量协处理器 .....	383
6.6	向量处理机的性能评价 .....	386
6.7	关于向量处理机的几点看法 .....	389
习题六 .....		391
<b>第七章</b>	<b>互连网络 .....</b>	<b>394</b>
7.1	互连网络的基本概念 .....	394

7.1.1	互连网络的作用	394
7.1.2	互连函数	395
7.1.3	互连网络的特性和传输的性能参数	399
7.1.4	互连网络的种类	402
7.2	消息传递机制	414
7.2.1	消息寻径方式	414
7.2.2	死锁和虚拟通道	418
7.2.3	流控制策略	420
7.2.4	选播和广播寻径算法	425
7.3	互连网络实例	427
7.3.1	总线互连	427
7.3.2	环形互连	430
7.3.3	交叉开关互连	431
7.3.4	混洗交换互连和合并开关	434
7.3.5	Omega 网络	436
7.3.6	蝶形操作	439
7.3.7	合并网络和取与加指令	442
	习题七	446
<b>第八章</b>	<b>SIMD 计算机</b>	<b>451</b>
8.1	SIMD 计算机模型	451
8.2	SIMD 计算机的基本结构	453
8.2.1	分布式存储器结构	453
8.2.2	共享存储器结构	454
8.2.3	SIMD 计算机的特点	455
8.3	SIMD 计算机实例	456
8.3.1	Illiac IV 阵列处理机	457
8.3.2	BSP 计算机	461
8.3.3	CM-2 计算机	466
8.3.4	MasPar MP-1 系统	469
8.4	SIMD 计算机的应用	473
8.4.1	数值应用问题的特征	473
8.4.2	算法举例	483
8.5	连续模型的结构向何处发展	493
	习题八	495
<b>第九章</b>	<b>多处理机</b>	<b>499</b>
9.1	多处理机结构	499

9.1.1	两种多处理机结构	499
9.1.2	多处理机系统的特点	500
9.2	多处理机性能模型	502
9.2.1	基本模型	504
9.2.2	$N$ 台处理机系统的基本模型	505
9.2.3	随机模型	507
9.2.4	通信开销为线性函数的模型	507
9.2.5	一个完全重叠通信的理想模型	509
9.2.6	一个具有多条通信链的模型	510
9.2.7	多处理机模型	511
9.3	多处理机的 Cache 一致性	512
9.3.1	问题由来	513
9.3.2	监听协议	514
9.3.3	基于目录的协议	518
9.4	多处理机实例	521
9.4.1	MPP	521
9.4.2	SMP	528
9.4.3	机群系统	541
9.4.3.1	机群系统的组成、特点和关键技术	541
9.4.3.2	机群系统通信技术	545
9.4.3.3	并行程序设计环境	551
9.4.3.4	机群系统负载平衡技术	555
	习题九	560
<b>第十章</b>	<b>多处理机算法</b>	<b>563</b>
10.1	简单并行性	563
10.1.1	do par 和 do seq 结构	565
10.1.2	阻塞同步	566
10.1.3	性能分析	567
10.1.4	增大粒度	568
10.1.5	任务的初始化	571
10.2	同步技术	572
10.2.1	使用测试与设置指令的同步技术	573
10.2.2	使用增 1 和减 1 指令的同步技术	575
10.2.3	使用比较与交换指令的同步技术	577
10.2.4	使用取与加指令的同步技术	582
10.3	并行搜索	584
10.3.1	搜索单峰函数的极大值	584

10.3.2	并行分支限界法	586
10.4	串行算法到并行算法的转换	589
10.4.1	相关性分析	590
10.4.2	开发迭代的并行性	591
10.5	同步并行算法和异步并行算法	593
10.5.1	同步并行算法	593
10.5.2	异步并行算法	596
10.6	并行程序设计语言及其实现方法	598
10.6.1	并行程序设计语言的特点	598
10.6.2	并行程序设计模型	599
10.6.3	并行程序设计语言涉及的关键技术	600
10.6.4	并行程序设计语言的实现途径	601
10.7	小结	604
	习题十	605

## 第十一章 计算机系统结构的新发展 607

11.1	数据流计算机	607
11.1.1	数据驱动原理	607
11.1.1.1	串行控制流与并行控制流	608
11.1.1.2	数据流计算机中指令的执行过程	609
11.1.1.3	数据流计算机的指令结构	611
11.1.2	数据流计算机模型	611
11.1.2.1	静态数据流计算机模型	612
11.1.2.2	动态数据流计算机模型	612
11.1.2.3	静态与动态两种数据流计算机的比较	613
11.1.2.4	普遍化的数据流计算机结构	613
11.1.3	数据流计算机的性能分析	614
11.1.3.1	数据流计算机的优点	614
11.1.3.2	数据流计算机的缺点	615
11.1.3.3	数据流计算机设计中需要解决的几个问题	616
11.1.4	数据流程序图和数据流语言	617
11.1.4.1	数据流程序图	617
11.1.4.2	数据流语言	623
11.1.4.3	数据流语言的性质	624
11.1.5	静态数据流计算机结构	626
11.1.5.1	静态数据流计算机的组成	626
11.1.5.2	分块结构的静态数据流计算机	628
11.1.5.3	多处理机结构的静态数据流计算机	630

11.1.5.4	静态数据流计算机作为后端机	631
11.1.6	动态数据流计算机结构	632
11.1.6.1	网络结构的动态数据流计算机	632
11.1.6.2	环形结构的动态数据流计算机	634
11.1.6.3	网状结构的动态数据流计算机	635
11.1.7	其它类型的数据流计算机	637
11.1.7.1	利用传统多处理机结构的数据流计算机	637
11.1.7.2	提高并行级别的数据流计算机	637
11.1.7.3	采用多级并行的数据流计算机	638
11.1.7.4	同步与异步相结合的数据流计算机	639
11.1.7.5	控制流与数据流相结合的数据流计算机	639
11.2	数据库机与知识库机	641
11.2.1	数据库机与知识库机模型	641
11.2.1.1	软件后端机数据库机与知识库机	642
11.2.1.2	智能控制后端机数据库机与知识库机	643
11.2.1.3	硬件后端机数据库机与知识库机	643
11.2.2	数据库机和知识库机在智能计算机系统中的作用	644
11.2.2.1	由数据库机和知识库机构成的智能计算机系统	644
11.2.2.2	数据库机与知识库机作为网络系统中的结点机	644
11.2.2.3	分布式数据库机与知识库机系统	645
11.2.3	数据库机与知识库机系统结构	645
11.2.3.1	数据库机与知识库机的逻辑结构	646
11.2.3.2	数据库机与知识库机的物理结构	646
11.2.3.3	多级存储器结构	647
11.2.3.4	操作执行部件的结构	647
11.2.3.5	智能接口的结构	648
11.2.4	后端机与前端机的接口	649
11.2.4.1	逻辑接口	650
11.2.4.2	物理接口	650
11.2.4.3	后端机与前端机之间的接口选择	651
11.2.5	典型的数据库机与知识库机	652
11.2.5.1	高速数据处理技术	653
11.2.5.2	数据库机的分类	653
11.2.5.3	Relational KBM 关系知识库机	654
11.2.5.4	PSI+Delta 知识库机结构	655
11.2.5.5	PUKBM 知识库机	656
11.3	面向函数程序设计语言的归约机	659
11.3.1	引言	659



11.3.2	函数式语言的归约计算方法	660
11.3.3	图归约的并行实现方法	677
11.3.4	并行图归约机系统结构	692
习题十一		700
<b>第十二章</b>	<b>实验:DLX 处理器</b>	<b>703</b>
12.1	DLX 基本结构	703
12.1.1	寄存器	703
12.1.2	数据类型	704
12.1.3	数据转移寻址模式	704
12.1.4	指令格式	704
12.1.5	操作	704
12.1.6	效率	709
12.2	DLX 流水线结构	712
12.2.1	一个简单实现	712
12.2.2	基本流水线	715
12.2.3	扩展 DLX 操作使其能处理多周期操作	720
12.2.3.1	在长延迟的流水线中的相关和专用通路	723
12.2.3.2	维持精确的异常处理	725
12.2.3.3	浮点流水线的性能	728
12.3	实验环境与内容	729
12.3.1	实验环境	729
12.3.2	实验内容	729
12.3.2.1	使用 WINDLX 模拟器,对 Fact.s(WINDLX 附带的例子)作如下分析	729
12.3.2.2	用 DLX 汇编语言编写矩阵乘程序,并对该程序做如下分析	729
12.3.2.3	用 Intel X86 汇编语言编写矩阵乘程序	730
12.3.3	实验总结	730
<b>参考文献</b>		<b>731</b>