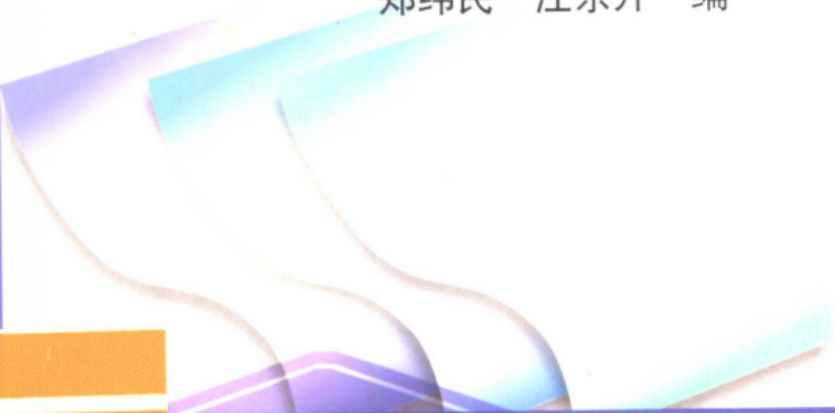


同等学力人员申请硕士学位考试用书

计算机科学与技术学科 计算机系统结构 复习与考试指导

郑纬民 汪东升 编



高等教育出版社

同等学力人员申请硕士学位考试用书

计算机科学与技术学科

计算机系统结构复习与考试指导

郑纬民 汪东升 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机系统结构复习与考试指导/郑纬民,汪东升编.
—北京:高等教育出版社,2001
ISBN 7-04-008592-5

I.计… II.①郑…②汪… III.电子计算机-系统结
构-自学参考资料 IV.TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 79180 号

计算机系统结构复习与考试指导
郑纬民 汪东升 编

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>

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

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京印刷集团有限责任公司
印刷二厂

开 本 850×1168 1/32

版 次 2001 年 3 月第 1 版

印 张 8

印 次 2001 年 3 月第 1 次印刷

字 数 200 000

定 价 12.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据国务院学位委员会组织编写的《同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试大纲与指南》中计算机系统结构考试大纲的要求编写,本书既可作为同等学力人员参加硕士学位课程考试的复习指导,也适合于普通在校研究生计算机系统结构课程的学习指导用书。

“计算机系统结构”作为计算机学科的一个分支,主要研究软件、硬件功能分配和对软件、硬件界面的确定,即确定哪些功能由软件完成,哪些功能由硬件实现。它是计算机及相关学科的专业技术基础课程,又是一门实践性很强的课程。

人们在学习“计算机系统结构”课程的时候,普遍感到这门课程涉及面广,理论与实践结合密切,特别是有一种教材内容理解了但面对各种类型的习题无从下手的感觉。本书精选了国际计算机系统结构有关教材的经典习题,并对这些习题做了详细的分析解答或给出了提示信息。这本题集基本上覆盖了国内外有关教材的内容和习题,是计算机系统结构读者的必备参考工具。

这本解题指导,有助于学生深入理解教材内容,巩固基本概念和定义,培养分析解决问题的能力,达到学以致用、举一反三的目的。其中的一些题目可以检查学生对授课内容的理解和掌握程度,有助于教师因材施教,提高教学质量。

本书共分为十章,其中前九章内容按“复习要求”、“内容提要”、“例题分析”、“习题”和“部分习题参考答案”进行组织。“复习要求”紧扣教学大纲,指明复习要点,明确内容掌握程度;“内容提要”对本章的内容进行高度概括,以期达到提纲挈领、缩短复习时间的目的;“例题分析”精选了有代表性的各种题型的习题,并对这

些习题做了解题分析和详细答案。通过对这一部分内容的学习,读者完全有能力独立完成“习题”部分的各种练习题。“部分习题参考答案”有选择性地给出了部分习题的提示信息或参考答案。

本书的第十章给出了清华大学计算机系从1994年到2001年中历届研究生入学考试的计算机系统结构试题,并对每一套题的每个题目都给出了详细的参考答案。

本书是在作者多年教学实践的基础上编写而成的。在整个编写过程中,陈永健、赵刚、吴岷、齐继国、胡敏、高滨、陈康、林海波等研究生和其他一些教师付出了辛勤劳动,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之系统结构课程的系统性和复杂性关系,书中的答案不可避免地存在错误和有争议之处,我们诚恳地欢迎广大读者批评指正,并将意见反馈给我们。在此谨向热情的读者致以诚挚的谢意。

编 者
2000年5月

目 录

第一章 计算机系统结构的基本概念	1
一、复习要求	1
二、内容提要	1
三、例题分析	5
四、习题	12
五、部分习题参考答案	15
第二章 指令系统	16
一、复习要求	16
二、内容提要	16
三、例题分析	19
四、习题	37
五、部分习题参考答案	41
第三章 存储系统	45
一、复习要求	45
二、内容提要	45
三、例题分析	48
四、习题	57
五、部分习题参考答案	61
第四章 输入输出系统	66
一、复习要求	66
二、内容提要	66
三、例题分析	70
四、习题	83
五、部分习题参考答案	89
第五章 标量处理机与流水线	94
一、复习要求	94

二、内容提要	94
三、例题分析	96
四、习题	121
五、部分习题参考答案	133
第六章 向量处理机	137
一、复习要求	137
二、内容提要	137
三、例题分析	140
四、习题	151
五、部分习题参考答案	155
第七章 互连网络	156
一、复习要求	156
二、内容提要	156
三、例题分析	161
四、习题	171
五、部分习题参考答案	173
第八章 SIMD 计算机	176
一、复习要求	176
二、内容提要	176
三、例题分析	178
四、习题	188
五、部分习题参考答案	192
第九章 多处理机	194
一、复习要求	194
二、内容提要	194
三、例题分析	198
四、习题	204
五、部分习题参考答案	207
清华大学硕士研究生入学考试计算机系统结构试题 (1994~2001)及参考答案	208
2001 年计算机系统结构试题及参考答案	208

2000 年计算机系统结构试题及参考答案	221
1999 年计算机系统结构试题及参考答案	230
1998 年计算机系统结构试题及参考答案	232
1997 年计算机系统结构试题及参考答案	235
1996 年计算机系统结构试题及参考答案	237
1995 年计算机系统结构试题及参考答案	240
1994 年计算机系统结构试题及参考答案	243

第一章 计算机系统结构的基本概念

一、复习要求

1. 熟练掌握内容:

计算机系统层次结构,系统结构定义,计算机组成定义,计算机实现定义,系统结构、组成与实现三者的关系,透明性,Amdahl定律,CPU性能公式,局部性原理,MIPS定义,MFLOPS定义。

2. 掌握内容:

系统结构分类,冯·诺依曼计算机特征。

3. 了解内容:

计算机系统结构的发展,计算机系统设计的主要方法,价格、应用、VLSI和算法对系统结构的影响。

二、内容提要

1. 计算机系统由硬件和软件组成,按功能划分为多级层次结构。

2. 计算机系统结构作为一门学科,主要是研究软件、硬件功能分配和对软件、硬件界面的确定,即哪些功能由软件完成,哪些功能由硬件完成。计算机系统结构,计算机组成和计算机实现是3个不同的概念。计算机系统结构是计算机系统的软、硬件的界面;计算机组成是计算机系统结构的逻辑实现;计算机实现是计算机组成的物理实现。

3. 计算机系统结构的分类

(1) 通常把计算机系统按照其性能和价格的综合指标分为巨型、大型、中型、小型、微型等。

(2) 按用途可分为科学计算、事务处理、实时控制、家用等。

(3) 按处理机个数和种类,可分为单处理机、多处理机、并行处理机、关联处理机、超标量处理机、超流水线处理机、SMP(对称多处理机)、MPP(大规模并行处理机)、机群系统等。

(4) Flynn 分类法。按照指令流和数据流的不同组织方式,将计算机系统结构分为以下 4 类:

① 单指令流单数据流 SISD (Single Instruction stream Single Datastream)

② 单指令流多数据流 SIMD (Single Instruction stream Multiple Datastream)

③ 多指令流单数据流 MISD (Multiple Instruction stream Single Datastream)

④ 多指令流多数据流 MIMD (Multiple Instruction stream Multiple Datastream)

(5) 冯式分类法。提出用最大并行度对计算机系统结构进行分类。分为:

① 字串位串 WSBS (Word Serial and Bit Serial)

② 字并位串 WPBS (Word Parallel and Bit Serial)

③ 字串位并 WSBP (Word Serial and Bit Parallel)

④ 字并位并 WPBP (Word Parallel and Bit Parallel)

(6) Handler 分类法。根据并行度和流水线提出的分类方法。

4. 计算机系统设计的定量原理

(1) 加快经常性事件的速度 (Make the common case fast)。

(2) Amdahl 定律:系统中某一部件由于采用某种更快的执行方式后整个系统性能的提高与这种执行方式的使用频率或占总执行时间的比例有关。

$Fe = (\text{改进前可改进部分占用的时间}) / (\text{改进前整个任务的})$

执行时间)

$Se = (\text{改进前改进部分的执行时间}) / (\text{改进后改进部分的执行时间})$

则:

① 改进后的整个任务的执行时间为:

$$T_n = T_0 \left(1 - Fe + \frac{Fe}{Se} \right)$$

其中, T_0 为改进前的整个任务的执行时间

② 改进后的整个系统加速比为:

$$S_n = \frac{T_0}{T_n} = \frac{1}{(1 - Fe) + Fe/Se}$$

(3) CPU 性能公式

CPU 时间 = CPU 时钟周期数/频率

CPU 时间 = CPU 时钟周期数 $\times$ 时钟周期长

每条指令平均时钟周期数 $CPI = \text{CPU 时钟周期数} / IC$ (指令的条数)

CPU 时间 = $(IC \times CPI) / \text{频率 } f$

I_i = 指令 i 在程序中执行的次数

CPU 的时钟周期数 = $\sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i)$

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i)}{IC} = \sum_{i=1}^n \left(CPI_i \times \frac{I_i}{IC} \right)$$

(4) 访问的局部性原理

时间局部性、空间局部性。

5. 计算机系统设计者的主要任务

(1) 确定用户对计算机系统的功能、价格和性能的要求。

(2) 软、硬件的平衡。

(3) 设计出符合今后发展方向的系统结构。

6. 计算机系统设计的主要方法

- (1) “由下往上”(bottom - up)设计。
- (2) “由上往下”(top - down)设计。
- (3) “由中间开始”(muddle - out)设计。

7. 系统结构的评价标准

(1) 性能

① MIPS (Million Instructions Per Second)

$$MIPS = \frac{\text{指令条数}}{\text{执行时间} \times 10^6} = \frac{f}{CPI \times 10^6}$$

② MFLOPS (Million Floating point Operations Per Second)

$$MFLOPS = \frac{\text{程序中的浮点操作次数}}{\text{执行时间} \times 10^6}$$

③ 用基准测试程序来测试评价机器的性能。

④ 综合基准测试程序。

(2) 性能比较

① 总执行时间。

② 加权执行时间。

(3) 成本

① 成本指标。

② 硬件考虑。

8. 冯·诺依曼计算机的特征

(1) 存储器是字长固定的、顺序线形编址的一维结构。

(2) 存储器提供可按地址访问的一级地址空间,每个地址是唯一定义的。

(3) 由指令形式的低级机器语言驱动。

(4) 指令的执行是顺序的,即一般按照指令在存储器中存放的顺序执行,程序分支由转移指令实现。

(5) 机器以运算器为中心,输入输出设备与存储器之间的数据传送都途经运算器。运算器、存储器、输入输出设备的操作以及

它们之间的联系都由控制器集中控制。

9. 软件对系统结构的影响

(1) 采用系列机方法。

(2) 采用模拟与仿真方法。

(3) 采用统一的高级语言方法。

10. 价格、应用、VLSI 对系统结构的影响

11. 技术的发展对价格的影响

12. 算法和系统结构

三、例题分析

例题 1 用一台 40 MHz 处理机执行标准测试程序,它含的混合指令数和相应所需的时钟周期数如表 1-1 所示。

表 1-1 标准测试程序所含指令数与对应的 CPI

指令类型	指令数	时钟周期数
整数运算	45 000	1
数据传送	32 000	2
浮点	15 000	2
控制传送	8 000	2

求有效 CPI、MIPS 速率和程序的执行时间。

解答

$$\begin{aligned}CPI &= \sum_{i=1}^n (CPI_i \times \frac{I_i}{I}) = (45\,000 \times 1 + 32\,000 \times 2 + 15\,000 \times 2 \\&\quad + 8\,000 \times 2) / (45\,000 + 32\,000 + 15\,000 + 8\,000) \\&= 1.55 \text{ 周期/指令}\end{aligned}$$

$$MIPS \text{ 速率} = f / (CPI \times 10^6) = 40 \times 10^6 / (1.55 \times 10^6) = 25.81$$

MIPS

程序执行时间

$$t = (45\,000 \times 1 + 32\,000 \times 2 + 15\,000 \times 2 + 8\,000 \times 2) \times \left(\frac{1}{40 \times 10^6} \right) = 3.875 \times 10^{-3} \text{ s}$$

例题 2 某工作站采用时钟频率 f 为 15 MHz, 处理速率为 10 MIPS 的处理机来执行一个已知混合程序。假定每次存储器存取为 1 周期延迟, 试问:

(a) 此计算机的有效 CPI 是多少?

(b) 假定将处理机的时钟频率 f 提高到 30 MHz, 但存储器子系统速率不变。这样, 每次存储器存取需要 2 个时钟周期, 如果 30% 指令每条只需要一次存储存取, 而另外 5% 每条需要 2 次存储存取, 还假定已知混合程序的指令数不变, 并与原工作站兼容, 试求改进后的处理机性能。

解答

$$(a) \text{CPI}_{\text{old}} = f_{\text{old}} / (\text{MIPS} \times 10^6) = 15 \times 10^6 / (10 \times 10^6) = 1.5$$

(b) 如题所述, 30% 的指令需要一次存储存取, 则这些指令在处理器提高时钟频率之后需要增加 1 个时钟周期; 同样, 另外 5% 的指令需要增加 2 个时钟周期。

$$\begin{aligned} \text{CPI}_{\text{new}} &= (\text{改进前执行混合程序的所需时钟周期数} + 30\% \times 1 \\ &\quad \times \text{指令数} + 5\% \times 2 \times \text{指令数}) / \text{指令数} \\ &= \text{CPI}_{\text{old}} + 30\% \times 1 + 5\% \times 2 = 1.5 + 0.3 + 0.1 = 1.9 \end{aligned}$$

$$\text{处理速率 MIPS} = f_{\text{new}} / (\text{CPI}_{\text{new}} \times 10^6) = 30 \times 10^6 / (1.9 \times 10^6) = 15.79 \text{ MIPS}$$

假设混合程序的指令数为 IC , 则有

$$\frac{\text{CPI}_{\text{old}} \times IC / f_{\text{old}}}{\text{CPI}_{\text{new}} \times IC / f_{\text{new}}} = 1.58$$

可见, 改进后工作站性能提高了。

例题 3 假设在一台 40 MHz 处理机上运行 200 000 条指令的目标代码, 程序主要由 4 种指令组成。根据程序跟踪实验结果, 已知指令混合比和每种指令所需的周期数如表 1-2 所示。

表 1-2 指令混合比和每种指令所需的周期数

指令类型	CPI	指令混合比
算术和逻辑	1	60%
高速缓存命中的加载/存储	2	18%
转移	4	12%
高速存储缺失的存储器访问	8	10%

(a) 计算在单处理机上用上述跟踪数据运行程序的平均 CPI。

(b) 根据(a)所得的 CPI, 计算相应的 MIPS 速率。

解答

(a) 平均 $CPI = 1 \times 60\% + 2 \times 18\% + 4 \times 12\% + 8 \times 10\% = 2.24$

(b) $MIPS = \frac{f}{CPI \times 10^6} = \frac{40 \text{ MHz}}{2.24 \times 10^6} = 17.86$

例题 4 假定要將某一执行部件改进后速度提高 10 倍, 改进后被改进部件执行时间占系统总运行时间的 50%。问改进后, 获得的加速比 S_p 是多少?

解答 假设系统在改进前后的执行时间分别为 T_{before} 和 T_{after} , 则

$$S_p = \frac{T_{\text{before}}}{T_{\text{after}}} = \frac{1}{(1 - Fe_{\text{before}}) + Fe_{\text{before}}/Se} \quad (1)$$

由(1)式, 可得

$$T_{\text{after}} = [(1 - Fe_{\text{before}}) + Fe_{\text{before}}/Se] \times T_{\text{before}} \quad (2)$$

由题意:

$$50\% T_{\text{after}} = \frac{Fe_{\text{before}} \times T_{\text{before}}}{10} \quad (3)$$

(2)式 ~ (3)式, 得

$$50\% T_{\text{after}} = (1 - Fe_{\text{before}}) \times T_{\text{before}} \quad (4)$$

$$Fe_{\text{before}} = \frac{10 \times T_{\text{after}}}{2 \times T_{\text{before}}} \quad (5)$$

由(4)、(5)式,可得

$$S_p = \frac{T_{\text{before}}}{T_{\text{after}}} = 5.5$$

例题 5 例题 4 中的部件在改进前的执行时间占改进后的百分比为多少?

解答

$$S_p = \frac{1}{(1 - Fe_{\text{before}}) + Fe_{\text{before}}/10}$$

由上式,可解得 $Fe_{\text{before}} = 91\%$

小结:由例题 4、例题 5 两题可看出,执行部件在改进前后所占总执行时间的百分比是不同的,这一点值得大家注意。

例题 6 假定一台具有理想 Cache(无 Cache 缺失)计算机的有关数据如表 1-3 所示。其中 Cache 的缺失率对指令来说为 5%,对数据访问来说为 10%,并且 Cache 缺失导致的缺失损失为 40 个时钟周期。求出当有 Cache 缺失时各种类型指令的 CPI。

表 1-3 无 Cache 缺失时不同类型指令的行为

指令类型	频率	周期	指令访问	数据访问
ALU	43%	1	1	0
LOAD	21%	2	1	1
STORE	12%	2	1	1
BRANCH	24%	2	1	0

解答

$$\text{由} \quad CPI = \sum_{i=1}^n CPI_i \times \frac{IC_i}{IC} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} CPI_i &= CPI_{\text{ideal}} + CPI_{\text{stalls}} \\ &= CPI_{\text{ideal}} + \sum_{s \in \text{stalls}} \text{缺失率}_s \times \text{缺失损失} \end{aligned} \quad (2)$$

$$CPI_{\text{stalls}} = (\text{指令访问次数} \times \text{指令访问缺失率}_{\text{miss}} \times \text{指令访问缺失损失}_{\text{miss}}) + (\text{数据访问次数}_d \times \text{数据访问缺失}$$

率 $d_{miss} \times$ 数据访问缺失损失 d_{miss})

可得表 1-4。

表 1-4 不同类型指令在理想 Cache 与实际 Cache 两种情况下的性能

类型	频率	(理想 Cache)			(实际 Cache)	
		CPI_{ideal}	CPI_{stalls}	CPI_i	CPI_{stalls}	CPI_i
ALU	43%	1	0	1	2	3
LOAD	21%	2	0	2	6	8
STORE	12%	2	0	2	6	8
BRANCH	24%	2	0	2	2	4

例题 7 在例题 6 中的理想 Cache 相对于实际 Cache(有 Cache 缺失)的加速比为多少?

解答 由例题 6, 可得

$$CPI_{ideal} = (1 \times 43\%) + (2 \times 21\%) + (2 \times 12\%) + (2 \times 24\%) = 1.6 \quad (1)$$

$$CPI_{real} = (3 \times 43\%) + (8 \times 21\%) + (8 \times 12\%) + (4 \times 24\%) = 4.9 \quad (2)$$

由(1)、(2)式, 可得

$$S_p = \frac{CPI_{real}}{CPI_{ideal}} = \frac{4.9}{1.6} = 3.1$$

例题 8 假定利用增加向量处理模块来提高计算机的运算速度。计算机处理向量的速度比其通常的运算要快 20 倍。将可用向量处理部分所花费的时间占总时间的百分比称为可向量化百分比。

(a) 求出加速比 S 和可向量化百分比 F 之间的关系式。

(b) 当要得到加速比为 2 时的可向量化百分比 F 为多少?

(c) 为了获得在向量模式所得到的最大加速比的一半, 可向量化百分比 F 为多少?

解答