

# 2020 年计算机体系结构课堂测试参考答案

## 1. Amdahl 定律: (10 分, 每小题 5 分)

- (1) 考虑一个程序, 其 50% 的执行时间为多媒体处理(可以借助 MMX 指令集来提供帮助)。根据 Amdahl 定律, 实现这些多媒体处理可以获得的**最大加速比**是多少?
- (2) 现在, 假定一个 Intel 公司的 MMX 设计人员告诉你, 通过 MMX 扩展可以将多媒体处理提升 3.5 倍。为了能获得 1.8 倍的加速比, 多媒体处理所占据的比例是多少?

**参考答案:**

- (1) 假定这些多媒体处理可以获得的提升为无穷大, 那么根据 Amdahl 定律可以得出:

$$S = 1 / (0.5 + 0.5/\infty) \approx 2$$

- (2) 假设多媒体处理所占据的比例为  $x$ , 那么根据 Amdahl 定律可以得出:

$$1.8 = 1 / ((1-x) + x/3.5)$$

所以,  $x \approx 62.2\%$

## 2. 性能分析: 你的任务是评价二个具有不同指令集架构的处理器可能的性能。评价方法基于这二个处理器在一个**给定的基准测试程序 T 上的性能**。其中, 处理器 A 实现了指令集 ISA-1, 运行给定的基准测试程序 T 可以获得的 IPC 为 10。~~该处理器的主频为 500MHz。~~ 另一个主频变为 600MHz 的处理器 B 实现了指令集架构 ISA-2, 在基准测试 T 上可以获得的 IPC 为 2。请问: (3+3+4 分)

- (1) 处理器 A 所获得的 MIPS (Millions of Instructions per Second) 是多少?
- (2) 处理器 B 所获得的 MIPS 是多少?
- (3) 哪个处理器**具有较好的性能**, 为什么?

**参考答案:**

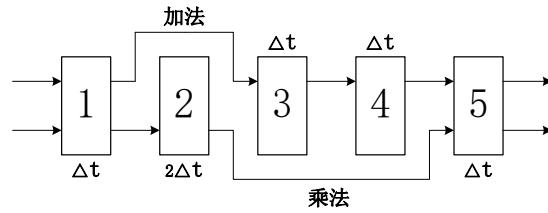
(1) 处理器 A:  $10 \frac{\text{instructions}}{\text{cycle}} \times 500000000 \frac{\text{cycles}}{\text{second}} = 5000 \text{ MIPS}$

(2) 处理器 B:  $2 \frac{\text{instructions}}{\text{cycle}} \times 600000000 \frac{\text{cycles}}{\text{second}} = 1200 \text{ MIPS}$

(3) 不知道。因为对于**给定的程序**, 对应**不同的平台编译而生成的代码的指令数量是不同的**。

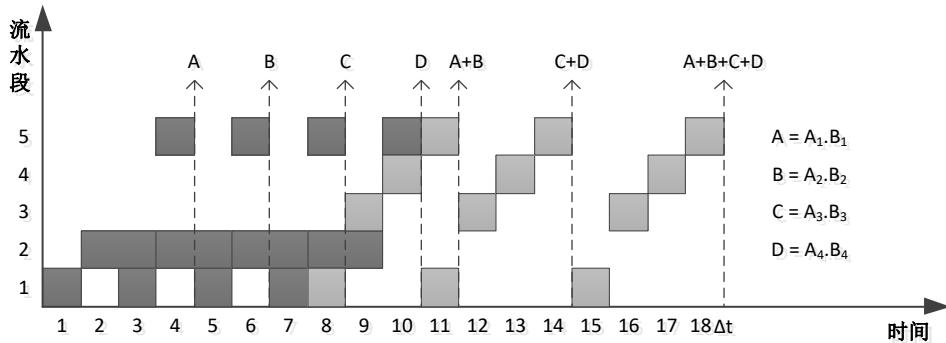
## 3. 有一条动态多功能流水线由 5 段组成(如下图所示), 加法用 1、3、4、5 段, 乘法用 1、

2、5段，第2段的时间为 $2\Delta t$ ，其余各段时间均为 $\Delta t$ ，而且流水线的输出可以直接返回输入端或暂存于相应的流水寄存器中。若在该流水线上计算 $\sum_{i=1}^4(A_i \cdot B_i)$ ，试计算其吞吐率、加速比和效率。(30分)



**参考答案：**

首先，应选择适合于流水线工作的算法。对于本题，应先计算 $A_1 \cdot B_1$ 、 $A_2 \cdot B_2$ 、 $A_3 \cdot B_3$  和  $A_4 \cdot B_4$ ；再计算 $A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2$  和  $A_3 \cdot B_3 + A_4 \cdot B_4$ ；最后求总的结果。



根据上面的时空图，可得：

$$TP = \frac{7}{18\Delta t}$$

处理上述计算，非流水方式的时间为： $4 \cdot 4 + 3 \cdot 4 = 28\Delta t$

所以， $S = 28/18 \approx 1.56$

$$E = (4 \cdot 4 + 3 \cdot 4) / (5 \cdot 18) \approx 0.31$$

4. 理想情况下，单发射 MIPS 流水线的 CPI 为 1。由于一系列因素的干扰，实际能获得的 CPI 大于 1。请给出影响 MIPS 流水线性能的主要原因。(10分)。

**参考答案：**

数据相关、结构和控制相关、缓存缺失、分支预测错误/清空分支、流水线注入和排空时间

5. 请根据你的理解，用自己的语言简述 5 阶段流水线的数据相关检测机制。（10 分）

**参考答案：**

在 ID 段可以知道当前指令所需要的源寄存器的编号（可能 1 个或 2 个源寄存器），将这 2 个编号分别于处于 EX、MEM、WB 段的指令的目标寄存器编号分别进行比较，若相同，则发生了数据相关。

6. 假设有一条长流水线，仅仅对条件转移指令使用分支目标缓冲。假设分支预测错误的开销为 4 个时钟周期，缓冲不命中的开销为 3 个时钟周期。假设：命中率为 90%，预测精度为 90%，分支频率为 15%，没有分支的基本 CPI 为 1。（10 分）

(1) 求程序执行的 CPI。

(2) 相对于采用固定的 2 个时钟周期延迟的分支处理，哪种方法程序执行速度更快？

**参考答案：**

(1) 根据 CPU 性能公式，程序执行的  $CPI = \text{没有分支的基本 CPI} + \text{分支带来的额外开销}$   
由题目所给的条件可知，分支所带来的额外开销由两部分构成：

- BTB 命中，但分支预测错误带来的开销；
- BTB 没有命中带来的开销；

所以，分支带来的额外开销 =  $15\% * (90\% \times 10\% \times 4 + 10\% \times 3)$   
= 0.099

所以，程序执行的  $CPI = 1 + 0.099 = 1.099$

(2) 采用固定的 2 个时钟周期延迟的分支处理  $CPI = 1 + 15\% \times 2 = 1.3$   
所以，分支目标缓冲方法执行速度快。

7. 计分板算法是如何解决输出相关和反相关的？（5 分）为了获得更好的性能，请思考并给出你的建议？（5 分，开放题）

**参考答案：**

计分板算法没有解决这二类相关，而是通过暂停指令的处理，等到这些相关消除之后再继续进行指令的处理。

可以通过引入额外的缓冲，将相关指令的操作数映射到缓冲中，从而对操作数重新命名，进而消除了上面的二种相关。这样可以获得更好的性能。

8. 请简述 Tomasulo 算法与推测执行中保留站的主要功能？（6 分）推测执行中 ROB 的主要功能是什么？（4 分）

**参考答案：**

保留站的主要功能是保存还没有处理完的指令（包括其操作数）；此外，保留站还有一个寄存器换名的功能，它可以消除名相关来提升指令处理的性能；  
ROB 首先得负责 tomasulo 算法中保留站的换名功能；此外，它还负责对处理完还没有提交的指令进行重排序，来确保按序提交，使得错误推测情况下执行的指令的计算结果不会被提交。