

Chapter 3 Homework (2)

2. 考虑以下指令序列：

I₁ = ld a₁, 0(S₁)

I₂ = mul a₂, a₀, a₂

I₃ = add a₁, a₂, a₂

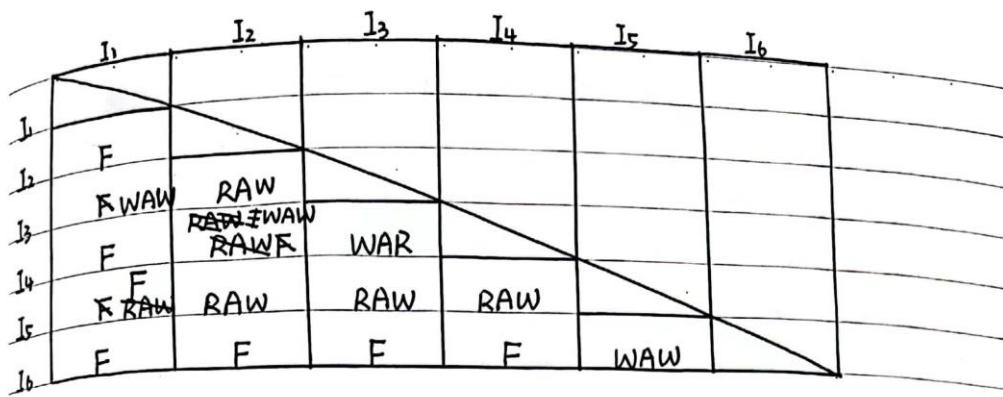
I₄ = ld a₂, 0(S₂)

I₅ = add a₃, a₁, a₂

I₆ = sd a₃, 0(S₃)

不必考虑内存地址的相关性，在下表中列出所有的数据依赖。

(表见下页)



4. 流水线级数的适度加深一方面能够提高频率，但同时也会使流水线冲突的停顿代价变大，最终的性能变化是两者综合作用的结果。考察两个处理器：处理器A有1ns时钟周期的5级流水线，平均每5条指令经历一周期停顿。处理器B有0.6ns时钟周期的8级流水线，平均每8条指令经历三周期停顿。

1) 处理器B相对处理器A的加速比是多少？

2) 若分支指令占所有指令类型的20%，处理器A的错误预测代价为2周期，处理器B的错误预测代价为5周期，两处理器的错误预测率均为5%。计算两处理器的CPI。

$$\text{解：1) } T_1 = T_{\text{pipe}A} (N + k_2 - 1 + \frac{N}{5})$$

$$T_2 = T_{\text{pipe}B} (N + k_2 - 1 + \frac{N}{8} \times 3) \quad \text{设 } N \text{ 为 } 5 \text{ 和 } 8 \text{ 的公倍数}$$

$$S = \frac{T_2}{T_1} = \frac{0.6 \times (N + 11 + \frac{N}{8} \cdot 3)}{1 \times (N + 4 + \frac{N}{5})} \quad \text{当 } N \text{ 很大时 (一般情况)}.$$

$$S = \frac{3}{8} \times \frac{11}{5} = \frac{11}{16} \quad \text{故加速比为 } \frac{11}{16}$$

$$2) \text{ CPI}_A = \frac{5(80\%N + 20\%N \times 95\%) + 20\%N \times 5\% \times (5+2)}{N} \times$$

$$= 5 \times 0.99 + 7 \times 0.01 = 5.22 \times$$

$$\text{CPI}_A = \frac{5(80\%N + 20\%N \times 95\%) + 20\%N \times 5\% \times (5+2) + \frac{N}{5}}{N} \times$$

$$\text{CPI}_A = 4.95 + 0.07 + 0.2 = 5.22 \times$$

$$\text{同理 } \text{CPI}_B = \frac{2N + 5(80\%N + 20\%N \times 95\%) + 5-1 + [20\% \times 5\% \times (5+2) \times 5-1] + \frac{N}{5} + 20\% \times 5\% \times 5}{N} \times$$

$$\text{CPI}_A = \frac{1.22}{5.22} \quad (\text{由于 } N \gg 1).$$

$$\text{而 } \text{CPI}_B = 80\% + 20\% \times 95\% + 20\% \times 5\% \times 5 + \frac{3}{8} + 20\% \times 5\% \times 5$$

$$\text{CPI}_B = 1.38$$

∴ 处理器A的CPI为1.22，B为1.38。

6. 考虑如下所示的代码片段，假设 a_1 寄存器的初值为0， a_3 寄存器的初值为100。回答以下问题：

Loop: Id a1, 0(a2)

addi a1, a1, 1

sd a1, 0(a2)

addi a2, a2, 4

sub a4, a3, a2

bnez a4, Loop

1) 列举代码中的数据相关，说明它们有可能导致什么类型的数据冲突（不考虑流水线级数）

| | Id | addi | sd | addi | sub | bnez | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|----|------|-----|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Id | | | | | | | | | | | | | | | | |
| addi | RAW | | | | | | | | | | | | | | | |
| sd | N | RAW | | | | | | | | | | | | | | |
| addi | WAR | N | N | WAR | | | | | | | | | | | | |
| sub | N | N | N | RAW | RAW | | | | | | | | | | | |
| bnez | N | N | N | N | N | RAW | | | | | | | | | | |

2) 考虑一个五级RISC流水线，在该流水线不使用任何前端硬件。假设MEM阶段均回在单个周期内完成，分支指令在WB阶段完成后取新指令。按照下表的格式补充表格，写出该代码段在一次循环中的完整执行时序，并计算执行完成所有循环共需多少个时钟周期。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|------|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|----------|----|-----|----|-----|----|----|----|
| Id | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | | | | |
| addi | | IF | ID | S | S | EX | MEM | WB | | | | | | | | |
| sd | | | IF | ID | EX | S | S | S | MEM (WB) | | | | | | | |
| addi | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | |
| sub | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | EX | MEM | WB | | | | |
| bnez | | | | | | IF | ID | S | S | S | S | EX | MEM | WB | | |

共需要 $\frac{15}{4} \times 14 = 52.5$ 个时钟周期

$$25 \times 14 = 350$$

7. 仍考虑题6中的代码片段，假设Q2寄存器的初值为0，Q3寄存器的初值为100。回答以下问题：

该流水线拥有完整的前馈硬件。假设MEM阶段均可在单个周期内完成，分支指令在WB阶段完成后取新指令。重新写出该代码段在一次循环中的完整执行时序，并计算执行完成所有循环共需要多少个时钟周期。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| Id | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | | |
| addi | | IF | ID | S | EX | MEM | WB | | | | | | | |
| sd | | | IF | ID | EX | S | MEM | WB | | | | | | |
| addi | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | |
| sub | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | |
| bnez | | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | |

25 × 10 = 250 个时钟周期。

2) 若在前馈硬件的基础上，该流水线存在一个工作于IF级的固定预测，发生跳转且能记录跳转目标位置的分支预测器，此时执行完所有的循环需要的时钟周期变为多少？

在第8周期（第一次）EX完成× 第一次执行在第10周期后跳转之后在第8周期跳转最后由于预测错误，

需家费执行； $\frac{8}{2} + \frac{8}{2} \times 23 + 10 = 22 + 138 = 160$ 个时钟周期。 分支预测的机理？

8. 题目略~

跳转处在哪阶段？

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Id | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | EX ₁ | EX ₂ | MEM ₁ | MEM ₂ | WB ₁ | WB ₂ | | | | | |
| addi | | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | S | S | EX ₁ | EX ₂ | MEM | MEM | WB ₁ | WB ₂ | | |
| sd | | | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | EX ₁ | EX ₂ | MEM | MEM | WB ₁ | WB ₂ | | | |
| addi | | | | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | EX ₁ | EX ₂ | MEM | MEM | WB ₁ | WB ₂ | | |
| sub | | | | | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | EX ₁ | EX ₂ | MEM | MEM | WB ₁ | WB ₂ | |
| bnez | | | | | | IF ₁ | IF ₂ | ID ₁ | ID ₂ | EX ₁ | EX ₂ | MEM | MEM | WB ₁ | WB ₂ |

15 × 25 = 375 个时钟周期 考虑预测 $15 + 24 \times \frac{14}{15} + 15 = 253 + 34 = 287$ 个周期

2) $CPI_1 = \frac{375}{6} = 2.33$ $CPI_2 = 1.67$ $CPI_3 = \frac{15}{17}$ $CPI_4 = \frac{287}{236}$

19. 基础的5级RISC流水线能够单周期完成ID阶段的前提是寄存器堆拥有至少2个读端口以同时读出2个源操作数。假设某个系统仅能使用具有单个读端口的寄存器堆，这将导致流水线面临结构冲突。为此，拥有两个源操作数寄存器的指令的ID阶段需要被拆分为两周期完成，单个源操作数寄存器指令则不受影响。

1) 标记以下表中的指令是否需要两周期完成ID阶段。

| | add | addi | ld | sd | bne | jal | jalr |
|---------|-----|------|----|----|-----|-----|------|
| 是否需要2周期 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 否 | 否 |

2) 考虑以下指令序列：

Loop: lw a4, 0(a3)

addw a1, a4, a1

addiw a2, a2, -1

addiw a3, a3, 4

bnez a2, Loop

若 a1 初值为 0, a2 初值为 N, 流水线无前馈, 则在上述单个读端口寄存器堆系统中, 循环最少需要多少个周期? 画出执行时序表。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
|-------|----|----|-----------------|-----------------|----|-----|-----|----|-----|----|--|--|
| lw | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | |
| addw | | IF | ID ₁ | ID ₂ | S | EX | MEM | WB | | | | |
| addiw | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | |
| addiw | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | |
| bnez | | | | | IF | ID | S | EX | MEM | WB | | |

需要10个周期；

3) 题目略~

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|----|----|-----------------|-----------------|----|-----|-----|----|---|
| lw | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | |
| addw | | IF | ID ₁ | ID ₂ | EX | MEM | WB | | |
| addiw | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | |
| addiw | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | |
| bnez | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | |

需要9个周期。