

2. 考虑以下指令序列

I1: ld a1, 0(s2)

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)

不考虑内存地址相关性, 在下表列出所有数据依赖关系。

解: 考虑顺序流水线, 且运算周期数相同: (WAW, WAR 不发生在严格执行的 pipeline 中)

	I1	I2	I3	I4	I5	I6
I1	///	///	///	///	///	///
I2		///	///	///	///	///
I3		RAW	///	///	///	///
I4				///	///	///
I5			RAW	RAW	///	///
I6					RAW	///

注: 若 mul 指令需多周期完成, 则 I3 与 I5 还需插入额外空闲周期。

若不考虑架构, 则还有以下数据依赖关系:

I1 与 I3 存在可预防的 WAW 冲突。

I3 和 I4 存在 WAR 冲突

4. 1)  $\bar{T}_A = 1ns + \frac{1}{5}ns = 1.2ns$

$\bar{T}_B = 0.6ns + \frac{3 \times 0.6ns}{8} = 0.825$

$\therefore \text{加速比} \approx \frac{1.2ns}{0.825ns} \approx 1.45$

2) A:  $CPI = 1 + \frac{1}{5} + 2 \times 5\% \times 20\% = 1.22$

B:  $CPI = 1 + \frac{3}{8} + 5 \times 5\% \times 20\% = 1.425$

因此, 处理器 A 的 CPI 更低

6. 考虑如下代码片段, 假设  $a1$  寄存器初值为 0,  $a3$  寄存器初值为 100, 回答如下问题:

Loop: ld  $a1, 0(a2)$

addi  $a1, a1, 1$

sd  $a1, 0(a2)$

addi  $a2, a2, 4$

sub  $a4, a3, a2$

bne  $a4, Loop$

1) 列举该代码数据相关, 说明它们可能导致什么类型的数据冲突。

① ld  $a1, 0(a2)$  和 addi  $a1, a1, 1$  存在 RAW 冲突, 在  $a1$  寄存器更新前 addi 不能使用  $a1$  的值。

② addi  $a1, a1, 1$  与 sd  $a1, 0(a2)$ , sd 指令将尝试在  $a1$  更新前读取数据, 将导致 RAW 冲突。

③ addi  $a2, a2, 4$  和 sub  $a4, a3, a2$  存在 RAW 冲突, sub 指令将在  $a2$  更新完成前读取。

④ sub 指令和 bne  $a4, Loop$  指令存在 RAW 冲突, bne 在  $a4$  更新前试图对其进行读取与运算。

2) 考虑 5 级 RISC 流水线, 不使用任何前馈石硬件, 假设 MEM 阶段均可在单周期完成, 分支在 WB 阶段完成后取新指令, 请写出该代码在一次循环中的完整执行时序, 并计算完成执行共需要多少时钟周期。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ld a1,0(a2)	IF	ID	EX	MEM	WB											
addi a1,a1,1		IF	ID	S	S	EX	MEM	WB								
sd a1,0(a2)			IF	S	S	ID	EX	S	MEM	WB						
addi a2,a2,4				S	S	IF	ID	EX	MEM	WB						
sub a4,a3,a2							IF	ID	S	S	EX	MEM	WB			
bne3 a4,loop								IF	S	S	ID	S	S	EX	MEM	WB

需16个时钟周期

7. 仍考虑6中代码, 假设a2寄存器初值为0, a3为100.

1) 若拥有完整前馈石更件, 依MEM均可在单周期执行, 分支指令在WB阶段完成后取新指令, 请写出完成所有循环共需多少个时钟周期.

前馈可解决上述RAW冲突, 不需要再插入停顿周期, 一次循环需

要10个周期;  $\because a2=0, a3=100$ , 所以一共循环25次, 故完成循环需要

250个周期.

2) 若在前馈石更件基础上, 存在一个工作于IF段的固定预测分支跳转且记录跳转目标位置的分支预测器, 此时时钟周期变为多少?

前24次会正确预测, 因此每循环需9个周期

最后一次分支预测错误, 将造成零开销, 需11个周期

$$\text{Number of cycles} = 9 \times 25 + 11 = 227$$



8. 现有10级流水线性, 将原来的5级RISC流水线拆分为两个阶段:

IF1/IF2、ID1/ID2、EX1/EX2、MEM1/MEM2、WB1/WB2。前级只能从两个阶段的第二个阶段与它相连需要它的第一阶段, 例如从MEM1前级到EX1。静态分支预测器因发生跳转:

1) 按下来补充代码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周期。

I1:	IF1	IF2	ID1	ID2	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2
I2:		IF1	IF2	ID1	ID2	S	S	S	EX1	EX2
I3:			IF1	IF2	ID1	S	S	S	ID2	EX1
I4:				IF1	IF2	S	S	S	ID1	ID2
I5:					IF1	S	S	S	IF2	ID1
I6:						S	S	S	IF1	IF2

共需要19个周期完成一次迭代, 总共需要的周期为  $18 \times 24 + 20 = 452$ 。

2) 计算6-8题处理器CPI

① 6:  $CPI = \frac{16 \times 26}{25 \times 6} \approx 2.77$

② 7: 无分支预测,  $CPI = \frac{250}{25 \times 6} \approx 1.67$

有分支预测,  $CPI = \frac{227}{25 \times 6} \approx 1.51$

③ 8:  $CPI = \frac{412}{25 \times 6} \approx 3.01$

19. 基础 5 级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两个读端口以同时读出两个源操作数, 假设某处理器只有单端口寄存器堆, 将面临结构冲突, 为此 ID 需要被拆分为两周期, 单个源操作数指令则不受影响。

ID 标门下表指令是否需两个周期完成 ID 阶段。

add	addi	ld	sd	bne	jal	jalr
是	否	否	是	是	否	否

2) 考虑以下指令序列:

```

Loop: lw a9, 0(a3)
      addw a1, a9, a1
      addiw a2, a2, -1
      addiw a3, a3, 4
      bnez a2, Loop
  
```

若  $a1$  初值为 0,  $a2$  为  $N$ , 则上述单端口寄存器堆系统中, 单次迭代需要的周期是多少? <sup>读</sup> 流水线无饥饿

$I_1$ : IF ID EX MEM WB  
 $I_2$ : IF ID<sub>1</sub> ID<sub>2</sub> S EX MEM WB  
 $I_3$ : IF ID S S EX MEM WB  
 $I_4$ : IF S S ID ~~ID~~ EX MEM WB  
 $I_5$ : S S IF ID EX MEM WB

需要 11 个周期完成单次迭代。

3) 引入前馈, 则单次迭代需多少周期? 数量

$I_1$ : IF ID EX MEM WB  
 $I_2$ : IF ID EX MEM WB  
 $I_3$ : IF ID EX MEM WB  
 $I_4$ : IF ID EX MEM WB  
 $I_5$ : IF ID EX MEM WB.

此流水线单次迭代的周期数为 9。