

Chapter 3 Homework (2)

2. 考虑以下指令序列:

$I_1 = \text{ld } a_1, 0(S_1)$

$I_2 = \text{mul } a_2, a_0, a_2$

$I_3 = \text{add } a_1, a_2, a_2$

$I_4 = \text{ld } a_2, 0(S_2)$

$I_5 = \text{add } a_3, a_1, a_2$

$I_6 = \text{sd } a_3, 0(S_3)$

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)

	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
I ₁						
I ₂	F					
I ₃	RAW	RAW				
I ₄	F	RAW	WAR			
I ₅	RAW	RAW	RAW	RAW		
I ₆	F	F	F	F	WAW	

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相比处理器A的加速比是多少？

2) 若某指令占有所有指令类型的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。

解：1) $T_1 = T_{\text{pipeA}} (N + K_1 - 1 + \frac{N}{5})$

$T_2 = T_{\text{pipeB}} (N + K_2 - 1 + \frac{N}{8} \times 3)$ 设N为5和8的公倍数

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

$S = \frac{3}{5} \times \frac{11}{8} \times \frac{5}{2} = \frac{11}{16}$ 故加速比为 $\frac{11}{16}$

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

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

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

$CPI_A = 4.95 + 0.07 + 0.2 = 5.22 \times$

同理 $CPI_B = \times$

$CPI_B = \frac{[(80\%N + 20\%N \times 95\%) + 5 - 1] + [20\% \times 5\% \times (5+2) + 5 - 1] + \frac{N}{8} + 20\% \times 5\% \times 5}{N}$

$CPI_A = \frac{1.22}{5.22}$ (由于 $N \gg 4$)

则 $CPI_B = 80\% + 20\% \times 95\% + 20\% \times 5\% \times 15 + \frac{3}{8} + 20\% \times 5\% \times 5$

$CPI_B = 1.38$

∴ 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_2 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: ld $a_1, 0(a_2)$

addi $a_1, a_1, 1$

sd $a_1, 0(a_2)$

addi $a_2, a_2, 4$

sub a_4, a_3, a_2

bnez $a_4, Loop$

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）

	ld	addi	sd	addi	sub	bnez
ld						
addi	RAW					
sd	N	RAW				
addi	WAR	N	WAR			
sub	N	N	RAW	RAW		
bnez	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级硬件。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。按照下表的格式填充表格，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
ld	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	S	S	EX	MEM	WB					
bnez						IF	ID	S	S	S	S	EX	MEM	WB		

共需要 $4 \times 14 = 56$ 个时钟周期
 $25 \times 14 = 350$

7. 仍考虑题6中的代码片段，假设R2寄存器的初值为0，R3寄存器的初值为100。回答以下问题：
 ① 考虑一个5级流水线，该流水线拥有完整的的前端硬件。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	S	EX	MEM	WB						
sd			IF	ID	EX	S	MEM	WB						
addi				IF	ID	EX	MEM	WB						
sub					IF	ID	EX	MEM	WB					
bne						IF	ID	EX	MEM	WB				

25 x 10 = 250 个时钟周期。

② 若在前端硬件的基础上，该流水线存在一个工作于IF级的固定预测分支预测器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，需完整执行： $10 + 8 \times 23 + 10 = 204$ 个时钟周期。

8. 题目略~

	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 ₁	MEM ₂	WB ₁	WB ₂		
sd			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	EX ₁	EX ₂	MEM ₁	MEM ₂	WB ₁	WB ₂		
sub					IF ₁	IF ₂	ID ₁	ID ₂	EX ₁	EX ₂	MEM ₁	MEM ₂	WB ₁	WB ₂	
bne						IF ₁	IF ₂	ID ₁	ID ₂	EX ₁	EX ₂	MEM ₁	MEM ₂	WB ₁	WB ₂

$15 \times 25 = 375$ 个时钟周期 考虑预测 $15 + 24 \times \frac{8}{11} + 15 = 279$ 个周期

2) $CPI_1 = \frac{375}{150} = 2.5$ $CPI_2 = 1.67$ $CPI_3 = \frac{279}{150} = 1.86$ $CPI_4 = \frac{279}{150} = 1.86$

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。假设某个系统只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个周期	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 a_1 初值为0, a_2 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, 循环单次迭代需要的周期数是多少? 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。