

高等计算机体系结构，2019 年春季

作业 3：流水线 1（参考答案）

主讲教师：栾钟治

助讲教师：杨海龙；助教：许崇杨，左佩璇

作业下发时间：2019 年 4 月 1 日

作业回收时间：2019 年 4 月 15 日

1 流水线 15 分

观察以下程序：

MUL R3 R1, R2

ADD R5 R4, R3

ADD R6 R4, R1

MUL R7 R8, R9

ADD R4 R3, R7

MUL R10 R5, R6

分别计算该程序在以下的机器上执行时花费的时钟周期数：

(a) 非流水线机器

(b) 采用记分板（scoreboarding）的流水线机器，有 5 个加法器、5 个乘法器，没有数据转发逻辑

(c) 采用记分板（scoreboarding）的流水线机器，有 5 个加法器、5 个乘法器，带数据转发逻辑

(d) 采用记分板（scoreboarding）的流水线机器，有 1 个加法器、1 个乘法器，没有数据转发逻辑

(e) 采用记分板（scoreboarding）的流水线机器，有 1 个加法器、1 个乘法器，带数据转发逻辑

对于所有上述的机器模型，采用以下 4 阶段的基本指令周期：

1) 取指 (1 个时钟周期)

2) 译码 (1 个时钟周期)

3) 执行

MUL(5 个时钟周期)

ADD(2 个时钟周期)

乘法器和加法器内部不是流水线的

4) 写回 (2 个时钟周期)

请列出你为了计算对流水线结构的所有假设（例如如何在流水段之间做数据转发）

参考答案：

(a) 非流水线机器

$9 + 6 + 6 + 9 + 6 + 9 = 45$ 时钟周期

(b) 采用记分板 (scoreboarding) 的流水线机器，有 5 个加法器、5 个乘法器，没有数据转发逻辑

Cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
MUL R3, R1, R2	F	D	E	E	E	E	E	W	W																				
ADD R5, R4, R3		F	D	-	-	-	-	-	-	-	E	E	W	W															
ADD R6, R4, R1			F	-	-	-	-	-	-	-	D	E	E	W	W														
MUL R7, R8, R9											F	D	E	E	E	E	E	W	W										
ADD R4, R3, R7												F	D	-	-	-	-	-	-	-	-	E	E	W	W				
MUL R10, R5, R6													F	-	-	-	-	-	-	-	-	D	E	E	E	E	E	W	W

28 时钟周期(或 26 时钟周期，利用寄存器堆内部的数据旁路)

(c) 采用记分板 (scoreboarding) 的流水线机器，有 5 个加法器、5 个乘法器，带数据转发逻辑

Cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
MUL R3, R1, R2	F	D	E	E	E	E	E	W	W													
ADD R5, R4, R3		F	D	-	-	-	-	-	E	E	W	W										
ADD R6, R4, R1			F	-	-	-	-	D	E	E	W	W										
MUL R7, R8, R9								F	D	E	E	E	E	E	W	W						
ADD R4, R3, R7									F	D	-	-	-	-	E	E	W	W				
MUL R10, R5, R6										F	-	-	-	-	D	E	E	E	E	E	W	W

22 时钟周期

(d) 采用记分板 (scoreboarding) 的流水线机器，有 1 个加法器、1 个乘法器，没有数据转发逻辑

Cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
MUL R3, R1, R2	F	D	E	E	E	E	E	W	W																				
ADD R5, R4, R3		F	D	-	-	-	-	-	-	-	E	E	W	W															
ADD R6, R4, R1			F	-	-	-	-	-	-	D	-	E	E	W	W														
MUL R7, R8, R9								F	-	D	E	E	E	E	E	W	W												
ADD R4, R3, R7									F	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E	E	W	W					
MUL R10, R5, R6										F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	E	E	E	E	E	W	W	

29 时钟周期(或 27 时钟周期，利用寄存器堆内部的数据旁路)

(e) 采用记分板 (scoreboarding) 的流水线机器，有 1 个加法器、1 个乘法器，带数据转发逻辑

Cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
MUL R3, R1, R2	F	D	E	E	E	E	E	W	W															
ADD R5, R4, R3		F	D	-	-	-	-	E	E	W	W													
ADD R6, R4, R1			F	-	-	-	-	D	-	E	E	W	W											
MUL R7, R8, R9							F	-	D	E	E	E	E	E	W	W								
ADD R4, R3, R7								F	D	-	-	-	-	E	E	W	W							
MUL R10, R5, R6									F	-	-	-	-	D	E	E	E	E	E	W	W			

23 时钟周期

2 延迟槽 15 分

一台五阶段流水线的机器，五个流水段分别是：取指、译码、执行、访存和写回。该机器采用延迟槽技术处理控制相关。无条件分支和有条件分支都在执行阶段获得分支的结果。

(a) 需要多少个延迟槽才能够确保正确的操作？

参考答案：2 个

(b) 按照你在(a)中设计的延迟槽数量，下列汇编指令序列中，哪（些）条指令可以放入延迟槽？请使用合适的延迟槽填充方案重写下边的汇编指令代码。

(i) ADD R5 R4, R3
 OR R3 R1, R2
 SUB R7 R5, R6
 J X
 延迟槽
 LW R10 (R7)
 ADD R6 R1, R2
 X:

参考答案：

ADD R5 R4, R3
 J X
 OR R3 R1, R2
 SUB R7 R5, R6
 LW R10 (R7)
 ADD R6 R1, R2
 X:

(ii) ADD R5 R4, R3
 OR R3 R1, R2
 SUB R7 R5, R6
 BEQ R5 R7, X
 延迟槽
 LW R10 (R7)
 ADD R6 R1, R2
 X:

参考答案:

```
ADD R5 R4, R3
SUB R7 R5, R6
BEQ R5 R7, X
OR R3 R1, R2
NOP
LW R10 (R7)
ADD R6 R1, R2
X:
```

(iii) ADD R2 R4, R3
OR R5 R1, R2
SUB R7 R5, R6
BEQ R5 R7, X
延迟槽
LW R10 (R7)
ADD R6 R1, R2
X:

参考答案:

```
ADD R2 R4, R3
OR R5 R1, R2
SUB R7 R5, R6
BEQ R5 R7, X
NOP
NOP
LW R10 (R7)
ADD R6 R1, R2
X:
```

(c) 你能修改流水线减少延迟槽的数量吗(不使用分支预测的技术)? 请清楚地说明你的方法并解释为什么这样能减少延迟槽。

参考答案:

将对 **jump** 和 **branch** 的目标的解析放到译码阶段。

Jump 和 **branch** 可以提前一个时钟周期得到解析，因此一个延迟槽足够保证正确的操作。