

## 第 5 章 指令级并行 习题

(书本第 3 章)

3.14

解：(a) 未调度：

	DADDIU R4,R1,#800		
FOO:	L.D	F2, 0(R1)	1
	Stall		2
	MUT.D	F4, F2, F0	3
	L.D	F6, 0(R2)	4
	Stall		5
	Stall		6
	Stall		7
	Stall		8
	ADD.D	F6, F4, F6	9
	Stall		10
	Stall		11
	Stall		12
	S.D	F6, 0[R2]	13
	DADDIU	R1, R1, #8	14
	DADDIU	R2, R2, #8	15
	DSLTU	R3, R1, R4	16
	Stall		17
	BNEZ	R3, FOO	18
	Stall		19

只考虑每个循环，所以，共有 19 个时钟周期，其中有 10 个空转周期。

调度后：

	DADDIU R4,R1,#800		
FOO:	L.D	F2, 0(R1)	1
	L.D	F6, 0(R2)	2
	MUT.D	F4, F2, F0	3
	DADDIU	R1, R1, #8	4
	DADDIU	R2, R2, #8	5
	DSLTU	R3, R1, R4	6
	Stall		7
	Stall		8
	ADD.D	F6, F4, F6	9
	Stall		10
	Stall		11
	BNEZ	R3, FOO	12
	S.D	F6, -8[R2]	13

共有 13 个时钟周期，其中有 4 个空转周期。

(b) 必须展开 3 次，未调度指令：

	DADDIU	R4,R1,#800	
FOO:	L.D	F2, 0(R1)	1
	Stall		2
	MUT.D	F4, F2, F0	3
	L.D	F6, 0(R2)	4
	Stall		5
	Stall		6
	Stall		7
	Stall		8
	ADD.D	F6, F4, F6	9
	Stall		10
	Stall		11
	Stall		12
	S.D	F6, 0[R2]	13
	L.D	F8, 8(R1)	14
	Stall		15
	MUT.D	F10, F8, F0	16
	L.D	F12, 8(R2)	17
	Stall		18
	Stall		19
	Stall		20
	Stall		21
	ADD.D	F14, F10, F12	22
	Stall		23
	Stall		24
	Stall		25
	S.D	F14, 8[R2]	26
	L.D	F16, 16(R1)	27
	Stall		28
	MUT.D	F18, F16, F0	29
	L.D	F20, 16(R2)	30
	Stall		31
	Stall		32
	Stall		33
	Stall		34
	ADD.D	F22, F18, F20	35
	Stall		36
	Stall		37
	Stall		38
	S.D	F22, 16[R2]	39
	DADDIU	R1, R1, #24	40
	DADDIU	R2, R2, #24	41

DSL TU	R3, R1, R4	42
Stall		43
BNEZ	R3, FOO	44
Stall		45

调度后指令:

	DADDIU	R4,R1,#800	
FOO:	L.D	F2, 0(R1)	1
	L.D	F6, 0(R2)	2
	MUT.D	F4, F2, F0	3
	L.D	F8, 8(R1)	4
	L.D	F12, 8(R2)	5
	MUT.D	F10, F8, F0	6
	L.D	F16, 16(R1)	7
	L.D	F20, 16(R2)	8
	MUT.D	F18, F16, F0	9
	ADD.D	F6, F4, F6	10
	DADDIU	R1, R1, #24	11
	ADD.D	F14, F10, F12	12
	DADDIU	R2, R2, #24	13
	DSL TU	R3, R1, R4	14
	ADD.D	F22, F18, F20	15
	S.D	F6, -24[R2]	16
	S.D	F14, -16[R2]	17
	BNEZ	R3, FOO	18
	S.D	F22, -8[R2]	19

共用了 19 个时钟周期，则计算一个 Y 值平均需要  $19/3 = 6.3$  个时钟周期，

(c)

展开 6 次

访存1	访存2	浮点指令1	浮点指令2	整数指令	时钟周期
L.D F1, 0(R1)	L.D F2, 8(R1)				1
L.D F3, 16(R1)	L.D F4, 24(R1)				2
L.D F5, 32(R1)	L.D F6, 40(R1)	MUT.D F1, F1, F0	MUT.D F2, F2, F0		3
L.D F7, 0(R2)	L.D F8, 8(R2)	MUT.D F3, F3, F0	MUT.D F4, F4, F0		4
L.D F9, 16(R2)	L.D F10, 24(R2)	MUT.D F5, F5, F0	MUT.D F6, F6, F0		5
L.D F11, 32(R2)	L.D F12, 40(R2)				6
				DADDIU R1, R1, #48	7
				DADDIU R2, R2, #48	8
		ADD.D F7, F7, F1	ADD.D F8, F8, F2		9
		ADD.D F9, F9, F3	ADD.D F10, F10, F4		10
		ADD.D F11, F11, F5	ADD.D F12, F12, F6		11
				DSLTU R3, R1, R4	12
S.D F7, -48(R2)	S.D F8, -40(R2)				13
S.D F9, -32(R2)	S.D F10, -24(R2)				14
S.D F11, -16(R2)	S.D F12, -8(R2)			BNEZ R3, FOO	15

计算一个 Y 值需要  $15/6 = 2.5$  个时钟周期,

3.18

解：先求 CPI

方法一：

在BTB 中，预测成功，实际成功，延迟为0；

在BTB 中，预测成功，实际失败，延迟为4；

不在BTB 中，延迟为3；

$$\begin{aligned}\text{所以平均CPI} &= (1 - 15\%) \times 1 + 15\% \times [90\% \times (10\% \times 5 + 90\% \times 1) + 10\% \times 4] \\ &= 0.85 + 0.15 \times (1.26 + 0.4) = 1.099\end{aligned}$$

方法二：

程序执行的 CPI = 没有分支的基本 CPI (1) + 分支带来的额外开销

分支带来的额外开销是指在分支指令中，缓冲命中但预测错误带来的开销与缓冲没有命中带来的开销之和。

$$\text{分支带来的额外开销} = 15\% \times (90\% \times 10\% \times 4 + 10\% \times 3) = 0.099$$

命中 预测错误 没命中

$$\text{所以，程序执行的 CPI} = 1 + 0.099 = 1.099$$

$$\text{采用固定的 2 个时钟周期延迟的分支处理 CPI} = 1 + 15\% \times 2 = 1.3$$

$$\text{加速比} = 1.3 / 1.099 \approx 1.18。$$