

Homework 2

习题1 流水线

1. 如果只考虑数据冒险，即不考虑分支错误，那么对于 n 条指令， p 级流水线的运行总时间为（假设时钟周期为 T ，每 m 条指令停顿 s 个时钟周期，且 $m|n$ ）

$$T_{\text{exec}} = \overbrace{(n/p) \times p \times T}^{\text{实际运行时间}} + \overbrace{(p-1) \times T}^{\text{开始流水线启动时间}} + \overbrace{(\frac{n}{m} - 1) \times s \times T}^{\text{数据冒险停顿时间}} \quad (1)$$

$$= (n + p - 1 + \frac{sn}{m} - s) \times T \quad (2)$$

因此代入数据

- 对于 5 级流水线，运行时间 $T_{\text{exec1}} = \frac{6}{5}n + 3\text{ns}$
- 对于 12 级流水线，运行时间 $T_{\text{exec2}} = \frac{33}{40}n + 4.8\text{ns}$
- 故 12 级流水线相对于 5 级流水线的加速比为

$$S = T_{\text{exec1}}/T_{\text{exec2}} = \frac{16n + 40}{11n + 64}$$

当指令数 $n \geq 5$ 条时，12 级流水线比 5 级流水线快

2. 如果考虑数据冒险和分支错误，那么对于 n 条指令， p 级流水线的运行总时间为（假设时钟周期为 T ，每 m 条指令停顿 s 个时钟周期，且 $m|n$ ，分支错误预测率为 q ，预测错误代价为 r ）

$$\text{CPI} = \left\{ \overbrace{(n/p) \times p}^{\text{实际运行周期数}} + \overbrace{(p-1)}^{\text{开始流水线启动周期数}} + \overbrace{(\frac{n}{m} - 1) \times s}^{\text{数据冒险停顿周期数}} + \overbrace{q \times r}^{\text{分支错误代价}} \right\} / n \quad (3)$$

$$= 1 + \frac{s}{m} + \frac{p + qr - s - 1}{n} \quad (4)$$

因此代入数据

- 对于 5 级流水线： $\text{CPI}_1 = \frac{6}{5} + \frac{3.1}{n}$
- 对于 12 级流水线： $\text{CPI}_2 = \frac{11}{8} + \frac{8.25}{n}$

习题2 Tomasulo

忽略第一条指令

迭代	指令	发射	执行	访存	写CDB	注释
1	LD	1	2	2	3	-
1	MULD	2	4-18	-	19	F2寄存器RAW
1	LD	3	4	-	5	-
1	ADDD	4	20-29	-	30	F4, F6寄存器RAW
1	SD	5	31	32	-	F6寄存器RAW
1	DADDIU	6	7	-	8	-
1	DADDIU	7	8	-	9	-
1	DSLTU	8	9	-	10	-
1	BNEZ	9	11	-	-	R3寄存器RAW
2	LD	10	12	12	13	等待BNEZ分支指令
2	MULD	11	19-33	-	34	浮点乘功能单元结构性冒险
2	LD	12	13	13	14	-
2	ADDD	13	35-44	-	45	F4, F6寄存器RAW, 浮点加功能单元结构性冒险
2	SD	14	46	47	-	F6寄存器RAW
2	DADDIU	15	16	-	17	-
2	DADDIU	16	17	-	18	-
2	DSLTU	17	18	-	20	周期19迭代1的MULD指令正在写CDB, 结构性冒险
2	BNEZ	18	21	-	-	R3寄存器RAW
3	LD	19	22	22	23	等待BNEZ分支指令
3	MULD	20	34-48	-	49	浮点乘功能单元结构性冒险
3	LD	21	23	22	24	整数功能单元结构性冒险
3	ADDD	22	50-59	-	60	F4, F6寄存器RAW, 浮点加功能单元结构性冒险
3	SD	23	61	62	-	F6寄存器RAW
3	DADDIU	24	25	-	26	-
3	DADDIU	25	26	-	27	-
3	DSLTU	26	27	-	28	-
3	BNEZ	27	29	-	-	R3寄存器RAW

- 第一个循环迭代需要 32 个周期;
- 第二个循环迭代需要 38 个周期;
- 第三个循环迭代需要 44 个周期;

习题3 ScoreBoard

1. 请在下表中写出执行指令时每个阶段所属的周期（从 1 开始计数，比如某指令从 a 周期才开始读指令，而执行区间为 b-c 周期）

假设 LD 指令执行阶段需要 1 个时钟周期，浮点数乘法执行阶段需要 10 个时钟周期，而浮点数加法执行阶段需要 2 个时钟周期，假设发射、读取、写回只要1个周期

Op	dest	j	k	Issue	Read Oper	Exec Comp	Write Result
LD	F6	34	R2	1	2	3	4
LD	F2	45	R3	5	6	7	8
MULD	F0	F5	F2	6	9	10-19	20
MULD	F7	F2	F6	7	9	10-19	20
ADDD	F6	F8	F7	8	21	22-23	24

2. 在第九个时钟周期时，尝试填写以下功能单元状态图表

Time	Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
-	Integer	No	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Mult1	Yes	Mult	F0	F5	F2	-	-	Yes	Yes
10	Mult2	Yes	Mult	F7	F2	F6	-	-	Yes	Yes
-	Add	No	-	-	-	-	-	-	-	-

习题4

1. 数据相关
 - i. 从 LD 到 DADDI 有对于寄存器 R1 的RAW相关
 - ii. 从 LD 到 DADDI 有对于寄存器 R1 的WAW相关
 - iii. 从 DADDI 到 SD 有对于寄存器 R1 的RAW相关
 - iv. 从 DADDI 到 DSUB 有对于寄存器 R2 的RAW相关
 - v. 从 DSUB 到 BNEZ 有对于寄存器 R4 的RAW相关
2. 这一循环的执行需要 13 个周期

instr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LD	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-	-	-
DADDI	-	IF	ID	Stall	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-
SD	-	-	IF	Stall	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-
DADDI	-	-	-	Stall	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-
DSUB	-	-	-	-	-	IF	ID	Stall	EX	MEM	WB	-	-
BNEZ	-	-	-	-	-	-	IF	Stall	ID	Stall	Ex	MEM	WB

3. 预测未被选中，但是由R2和R3的值的关系，前面98次循环都是分支到循环，只有第99次跳出循环（396 / 4 = 99），因此会导致回滚；这一循环的执行需要

$$\frac{98 \times 8 + 10}{99} = \frac{794}{99} = 8.02$$

个周期

instr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	794
LD(1)	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-	-	-
DADDI	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-	-
SD	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-
DADDI	-	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-
DSUB	-	-	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-
BNEZ	-	-	-	-	-	IF	ID	Ex	MEM	WB	-	-	-
LD(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	IF	ID	EX	...	-
...	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IF	ID	...	-
BNEZ(99)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	...	WB

1. 预测被选中，由R2和R3的值的关系，前面98次循环都是分支到循环，只有第99次跳出循环（396 / 4 = 99），因此不会导致回滚；这一循环的执行需要

$$\frac{98 \times 6 + 10}{99} = \frac{589}{99} = 6.04$$

个周期

instr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	598
LD(1)	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-	-
DADDI	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-	-
SD	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-	-
DADDI	-	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-	-
DSUB	-	-	-	-	IF	ID	EX	MEM	WB	-	-	-
BNEZ	-	-	-	-	-	IF	ID	Ex	MEM	WB	-	-
LD(2)	-	-	-	-	-	-	IF	ID	EX	MEM	...	-
...	-	-	-	-	-	-	-	-
BNEZ(99)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	...	WB

5. 假定在一个 5 级流水线中，最长的流水级需要 0.8ns，流水线寄存器延迟为 0.1ns。这个 5 级流水线的时钟周期时间为

$$0.8 \times 5 + 0.1 \times 3 = 4.3\text{ns}$$

6. 第4问的 $\text{CPI} = 99 \times 6 / 598 \approx 0.9933$

i. 第一种机器（没有完整转发）的平均指令执行时间为

$$T_1 = \frac{\frac{4.3}{5} \times (98 \times 11 + 13)}{6 \times 99} \approx 1.580\text{ns}$$

ii. 第二种机器（有完整转发，预测未选中）的平均指令执行时间为

$$T_2 = \frac{\frac{4.3}{5} \times 794}{6 \times 99} \approx 1.150\text{ns}$$

iii. 第三种机器（有完整转发，预测选中）的平均指令执行时间为

$$T_3 = \frac{\frac{4.3}{5} \times 598}{6 \times 99} \approx 0.866\text{ns}$$

习题5 预测器

update表项解释：entry0: prediction: T表示将entry 0处的prediction表项变更为T

- 对于correlating predictor：最终错误预测率 33.3%

初始化假设last outcome 为 T

Branch PC	Branch	Outcome	Pred	Result	Entry	Update
454	2	T	T	success	4	-
543	3	NT	NT	success	6	entry6: prediction: NT
777	1	NT	T	fail	3	entry3: prediction: T with one misprediction
543	3	NT	NT	success	7	-
777	1	NT	T	fail	3	entry3: prediction: NT
454	2	T	T	success	5	-
777	1	NT	NT	success	2	-
454	2	T	T	success	5	-
543	3	T	NT	fail	6	entry6: prediction: NT with misprediction

- 对于local predictor: 最终错误预测率 22.2%

初始化假设0, 1分支的last outcome 都为 T, T

Branch PC	Branch	last2outcome	Outcome	Pred	Result	Entry	Update
454	0	T T	T	T	success	0	entry0: prediction: T
543	1	T T	NT	T	fail	4	entry4: prediction: T with one misprediction
777	1	T NT	NT	T	fail	5	entry5: prediction: NT
543	1	NT NT	NT	NT	success	7	-
777	1	NT NT	NT	NT	success	7	-
454	0	T T	T	T	success	0	-
777	1	NT NT	NT	NT	success	6	-
454	0	T T	T	T	success	0	-
543	1	NT NT	NT	NT	success	7	-