一. 在 MIPS 五级流水线上执行下列代码,根据下列各种情况分别画出流水线处理示意图并给出处理所需的周期数。

label1: lw \$1,40(\$6)

add \$2,\$6,\$4

beq \$1,\$3,label2 ; 分支发生

sw \$2,20(\$4)

label2: beq \$2,\$4,label1; 分支不发生

add \$4,\$1,\$2

sw \$2,20(\$4)

1. 如果没有转发或冒险电路,通过插入 nop 指令以保证正确执行。

# 参考解答: 软件办法

. X/ <sub>A</sub>	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14	Clk15	Clk16	Clk17	Clk18	Clk19
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB										4 - 1				
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB									XX	4/7			
nop			IF	ID	EX	MEM	WB												
Beq \$1,\$3,label2	4			IF	ID	EX	MEM	WB										V	
Nop	V				IF	ID	EX	MEM	WB								V		
Nop	K	111				IF .	ID	EX	MEM	WB							K		
nop		V			. ' '		IF	ID	EX	MEM	WB							V)	
Beq \$2,\$4,label1				, 6	40			IF	ID	EX	MEM	WB				1/2			
Nop	2				U			4	IF	ID	EX	MEM	WB		V -	3/1			
Nop			/							IF	ID	EX	MEM	WB	//				
Nop											IF	ID	EX	MEM	WB	77			
Add \$4,\$1,\$2												IF	ID	EX	MEM	WB			
Nop													IF	ID	EX	MEM	WB	XX.	
Nop	V					7								IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)	K					7									IF	ID •	EX	MEM	WB

# 分析如下: label1: lw \$1,40(\$6) add \$2,\$6,\$4 nop; lw和 beq之间存在数据冒险 beq \$1,\$3,label2 ; 分支发生 Nop;插入3条Nop指令以延迟分支(无特别说明,分支结果在分支指令的MEM级产生,下同!) Nop nop sw \$2,20(\$4) label2: beq \$2,\$4,label1 ; 分支不发生 Nop;插入3条Nop指令以延迟分支 Nop nop add \$4,\$1,\$2 Nop; sw 和 add 之间存在数据冒险 Nop sw \$2,20(\$4)

满绩小铺QQ: 1433397577, 搜集整理不易,资料自用就好,谢谢!

# 2. 如果处理器中存在转发,没有采取措施解决分支预测。

# 参考解答: 硬件办法

	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14	Clk15	Clk16
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB	110	/							1		TO TO
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB								11		1-2
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID	EX	MEM	WB									
Beq \$2,\$4,label1							IF	ID	EX	MEM	WB					
Add \$4,\$1,\$2											IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)												IF	ID	EX	MEM	WB

	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14	Clk15	Clk16
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB	N V										
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB										
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID (	EX	MEM	WB								1	
- 1		Beq \$1	,\$3,lab	el2 和之	之前的第	2 条指	令 Lw	\$1,40(\$	56) 之じ	间的数据	居冒险通	过旁路	解决;		_ 1	
1/2				V, V	为延迟	分支,队	1塞3/	个周期,	结果	分支发生	Ė				77.	
sw \$2,20(\$4)			A	IF	0	0	0	0								
sw \$2,20(\$4)				V 7	IF	0	0	0	0				sta	lled		
sw \$2,20(\$4)						IF	0	0	0	0						
Beq \$2,\$4,label1	A						IF	ID	EX	MEM	WB			(41.7		
41				<u> </u>	<b>为延迟分</b>	支,阻	塞3个	周期,	结果分	)支不发	生			11		V
add \$4,\$1,\$2								IF	0	0	0	0				, K
add \$4,\$1,\$2	X								IF	0	0	0	0		stal	led
add \$4,\$1,\$2										IF	0	0	0	0	1/-	
Add \$4,\$1,\$2											IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)												IF	ID	EX	MEM	WB
.v. 1/1		Sw	\$2,20(	\$4) 和之	之前的第	1 条指	令 Add	\$4,\$1,	\$2 之间	可的数据	冒险通	过旁路解	解决		V/)	

说明:将被阻塞的指令和被冲洗掉的指令挤压掉不要,就是参考解答(下同)!

# 3. 在 2 的基础上又没有延迟时间槽而且在 EX 级执行分支。

### 参考解答: 硬件办法

41	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB									57
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB						1		
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID	EX	MEM	WB						<i>(</i> ))	
Beq \$2,\$4,label1	X					IF	ID	EX	MEM	WB				1,5
Add \$4,\$1,\$2				20					IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)				15						IF	ID	EX	MEM	WB

分析如下:														
	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB									
Add \$2,\$6,\$4	XIII	IF	ID	EX	MEM	WB								
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID	EX	MEM	WB					lí		
I	Beq \$1,	\$3,labe	el2 和					·	可的数据 分支发生		过旁路角	解决;	(1)	X
sw \$2,20(\$4)				IF	0	0	0	0				-4-11- J		
sw \$2,20(\$4)	N,		(	70	IF	0	0	0	0			stalled		
Beq \$2,\$4,label1		٨	X			IF	ID	EX	MEM	WB		JE		

# 为延迟分支,阻塞2个周期,结果分支不发生

add \$4,\$1,\$2	IF	0	0	0	0	1//		11.1
add \$4,\$1,\$2		IF	0	0	0	0	Sta	lled
Add \$4,\$1,\$2			IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)				IF	ID	EX	MEM	WB

### Sw \$2,20(\$4) 和之前的第 1 条指令 Add \$4,\$1,\$2 之间的数据冒险通过旁路解决

# 4. 在 2 的基础上但在 ID 级执行分支。

### 参考解答: 硬件办法

	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB								×.
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB						- 1/2	
Beq \$1,\$3,label2	· .		IF	ID	ID	EX	MEM	WB					
Beq \$2,\$4,label1		)			0) /	IF	ID	EX	MEM	WB			
Add \$4,\$1,\$2				3				IF	ID	EX	MEM	WB	V1.
Sw \$2,20(\$4)				5					IF	ID	EX	MEM	WB

1	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB								V
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB							
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID	ID	EX	MEM	WB			V		77

Beq \$1,\$3,label2 和之前的第 2 条指令 Lw \$1,40(\$6) 之间的数据冒险通过旁路解决;

为延迟分支,阻塞1个周期,结果分支发生

sw \$2,20(\$4)			70	IF	0	0	0	0		sta	lled	
Beq \$2,\$4,label1	,	1			IF	ID	EX	MEM	WB		X	
		为延.	迟分支,	阻塞	1 个周	期,结果	果分支ス	下发生		4		
add \$4,\$1,\$2						IF	0	0	0	0	sta	lled
Add \$4,\$1,\$2							IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw \$2,20(\$4)								IF	ID	EX	MEM	WB

Sw \$2,20(\$4) 和之前的第 1 条指令 Add \$4,\$1,\$2 之间的数据冒险通过旁路解决

5. 在 4 的基础上使用了延迟时间槽,给定的代码中跟在分支之后的指令是该分支的延迟槽指令。

# 参考解答:硬件办法+软件办法

					/							
	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB							
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB						
Beq \$1,\$3,label2	Š	•	IF	ID	ID	EX	MEM	WB				7//
Sw \$2,20(\$4)				IF	IF	ID	EX	MEM	WB			
Beq \$2,\$4,label1				5		IF	ID	EX	MEM	WB		
Add \$4,\$1,\$2		٨	1	J			IF	ID	EX	MEM	WB	X,
Sw \$2,20(\$4)			<b>&gt;</b>					IF	ID	EX	MEM	WB

label1: lw \$1,40(\$6)

add \$2,\$6,\$4

beq \$1,\$3,label2 ; 分支发生

sw \$2,20(\$4); 时间槽指令

label2: beq \$2,\$4,label1 ; 分支不发生

add \$4,\$1,\$2; 时间槽指令

sw \$2,20(\$4)

X, X	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12
Lw \$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MEM	WB							
Add \$2,\$6,\$4		IF	ID	EX	MEM	WB						
Beq \$1,\$3,label2			IF	ID	ID	EX	MEM	WB				
Beq \$1,\$3	3,label2				令 Lw S 1 条时		\\			过旁路的	解决;	
XX.1//				.,又而	1 水町		<b>~</b> ,	<b>不刀又</b>		I		
Sw \$2,20(\$4)	X	•		IF	IF	ID	EX	MEM	WB			
	2,20(\$4	)和之下	 前的第							 辻旁路解	沙决	
	2,20(\$4	)和之ī	前的第							立旁路解 WB	<b>!</b> 决	
Sw \$2	2,20(\$4			2条指		\$2,\$6,\$ IF	54 之间[ ID	的数据 EX	冒险通过 MEM		沙	-X-
Sw \$2	2,20(\$4			2条指	♦ Add	\$2,\$6,\$ IF	54 之间[ ID	的数据 EX	冒险通过 MEM		以 WB	

注意: 1) 时间槽指令是紧跟分支指令之后进入流水线而且必须正常执行的指令。

2) 如果时间槽指令与相邻的指令之间存在数据冒险,则还必须按数据冒险的处理方式处理,以消除相应的数据冒险。

- 3) 如果在 ID 级决定分支结果,并且使用了时间槽指令,则预测无意义!
- 二. 在 MIPS 五级流水线上执行下列代码:

1. 假设有完全旁路和预测分支总发生,画出循环一次执行的流水线图。

V <sub>2</sub> .	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10
Lw r1, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM,	WB					
And r1, r1, r2		IF	ID	ID	EX	MEM	WB			
Sw r1, 0(r1)			IF	IF	ID	EX	MEM	WB		
Addi r2, r0, -1		,			IF	ID	EX	MEM	WB	
Beq r2, r0, loop						IF	ID	EX	MEM	WB

X'/ = " / /														
(A)	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10				
Lw r1, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM	WB									
And r1, r1, r2		IF	ID	0	0	0		sta	lled					
And r1, r1, r2       ID       EX       MEM       WB         And r1, r1, r2 和前面的 Lw r1, 0(r1)之间的数据冒险       在 And 阳塞 1 个周期后利用旁路解决														
Sw r1, 0(r1)	Z,		IF	IF	ID	EX	MEM	WB						
Sw	/ r1,0(r1	)和前回	面的 Ar	nd r1,r1,r	2 之间	的数据冒	冒险通过	旁路解决	<del></del>					
Addi r2, r0, -1			(0	10	IF	ID	EX	MEM	WB					
Beq r2, r0, loop		٨	17,	/		IF	ID	EX	MEM	WB				
E	Beq r2,r	0,loop 🤊	和 Addi	r2.r0,-1	之间的	数据冒	险通过旁	多路解决						

2. 假设只有 Mem/WB 流水线寄存器到 EX 阶段的旁路,预测分支总发生,画出<mark>循环一次</mark>执行的流水线图。

1//	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12
Lw r1, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM,	WB							
And r1, r1, r2		IF	ID	ID	EX	MEM	WB					
Sw r1,0(r1)			IF	IF	ID	ID	EX	MEM	WB			
Addi r2, r0, -1	Ÿ.				IF	IF	ID	EX	MEM,	WB		
Beq r2, r0, loop				_0	3		IF	ID	ID	EX	MEM	WB

			_					1	1			
	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12
Lw r1, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM	WB							
And r1, r1, r2	X	IF	ID	0	0	0	stalle	d	I		ı	
And r1, r1, r2				ID	EX	MEM	WB					
And r1, r1, r2 和	前面的	J Lw r	1, 0(r1)	之间的	数据旨	险在 A	nd 阻塞	塞1个周	別期后利	月旁路	解决	X
Sw r1,0(r1)	V.		IF	IF	ID	0	0	0	stalled			
Sw r1,0(r1)				20	9	ID	EX	MEM	WB			
Sw r1, 0(r1)和前	方面的 Δ	And r1	, r1, r2	之间的	数据冒	险在 sv	v 阻塞	1 个周期	期后通过	过旁路解	<b>译</b> 决	
		I										
Addi r2, r0, -1		٨			IF	IF	ID	EX	MEM	WB		17
Addi r2, r0, -1 Beq r2, r0, loop		А	\ \\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\		IF	IF	ID IF	EX ID	MEM	WB	0	stalled

3. 假设有完美的分支预测和完全旁路,循环三次需要多少个时钟周期?

参考解答: 4+3\*6=22

分析如下:前4个周期之后,每6个周期完成一次循环

1	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10
Lw r1, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM,	WB					
And r1, r1, r2		IF	ID	ID	EX	MEM	WB			
Sw r1, 0(r1)	Ÿ.	•	IF	IF	ID	EX	MEM	WB		
Addi r2, r0, -1				0	IF	ID	EX	MEM	WB	
Beq r2, r0, loop				20		IF	ID	EX	MEM	WB

三. 假设一个五阶段流水线,具有完全的旁路,在 ID 阶段能够计算出跳转目标地址,在 EX 阶段判断是否要跳转,并且预测分支总是发生。画出下列代码的流水线执行示意图并指出需要多少个时钟周期。

lw r2, 0(r1)

label1: beq r2, r0, label2 //第一次不跳转,第二次跳转

lw r3, 0(r2)

beq r3, r0, label1 //跳转

add r1, r3, r4

label2: sw r1, 0(r2)

add r3, r1, r2

X. (1)	Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14
Lw r2, 0(r1)	IF	ID	EX	MEM	WB	0							3	
Beq r2, r0, label2		IF	ID	ID	EX	MEM	WB							K
Lw r3, 0(r2)				3	)	IF	ID	EX	MEM_	WB			V-	
Beq r3, r0, label1		,		)			IF	ID	ID	EX	MEM	WB		
Beq r2, r0, label2			\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \					IF	IF	ID	EX	MEM	WB	
Sw r1, 0(r2)	X									IF	ID	EX	MEM	WB

Clk1	Clk2	Clk3	Clk4	Clk5	Clk6	Clk7	Clk8	Clk9	Clk10	Clk11	Clk12	Clk13	Clk14
IF	ID	EX	MEM	WB									0
	IF	ID	0	0	0				sta	lled			KI
			ID .	EX	MEM	WB						, 1	
		IF	IF	ID	0	0	0						
				IF	0	0	0	0			flushed		
/之间和	字在数	据冒险	Beq	需要阻	塞1个月	周期; 〕	-	<b>支发生,</b>	结果预	测失败,	需要清	青除 sw	和 add
			20		IF	ID	EX	MEM	WB			1-	
V		, 0	5			IF	ID	0	(O	0	,	stalled	
	4	1	)					ID	<b>V</b> EX	MEM	WB		
		<b>)</b>					IF	IF	ID	EX	MEM	WB	
	0				÷ 4 A F	된 <del>11</del> 0 - 5	宝油 八日	⊥ ⊢#3. /1.		) )	AV.		X
7之间7	字在数	据冒险	Beq	需要阻	基1个月	<b>司</b> 别; ]	ツ洲分グ	之及王,	结果拟	测成功			
/ 之间/ 生,结:			Beq	需要阻	基   个力	司 别;	ツ洲分グ	文友生,	结果拟	测成功			
	IF	IF ID IF	IF ID EX ID IF	IF ID EX MEM  IF ID ©  ID  IF IF	IF ID EX MEM WB  IF ID ©  ID EX  IF ID ID EX	IF ID EX MEM WB  IF ID © © ©  ID EX MEM  ID EX MEM  IF IF ID ©  IF IF ID ©  Z 之间存在数据冒险,Beq 需要阻塞 1 个 F	IF ID EX MEM WB IF ID © © ID EX MEM WB IF IF ID © © IF IF ID © © IF IF ID	IF ID EX MEM WB	IF	IF	IF	IF	IF

四、假设下列 MIPS 代码在一个五级流水线、有完全旁路和预测分支总发生的处理器上运行,给定的代码中跟在分支之后的指令是该分支的延迟槽指令,分支的执行在 ID 级,画出流水线执行示意图,标出转发箭头,框出要阻塞的指令。

L2: Lw \$1,40(\$6)

beq \$1, \$2, L1; 分支不发生 1 次然后发生

add \$1,\$6,\$4; 时间槽指令

sw \$1, 16(\$2)

L1: beq \$1,\$2,L2; 分支发生1次然后不发生

w \$4,50(\$1); 时间槽指令

sw \$4, 100(\$4)

clk	X/Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Lw	\$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MA	WB																	
beq			IF	ID	ID	ID	EX	MA	WB											7)			
add				IF	IF	IF	ID	EX	MA	WB													
sw	\$1, 16(\$2)						IF	ID /	EX	MA	WB												8
beq	\$1, \$2, L2							IF	ID	EX	MA	WB							Ţ,				
lw.	\$4,50(\$1)								IF	ID	EX	MA	WB								R	Me	
Lw	\$1,40(\$6)						,			IF	ID	EX	MA	WB									
beq											IF	ID	ID	ID	EX	MA	WB						
add												IF	IF	IF	ID	EX	MA	WB	X				
beq	\$1, \$2, L2														IF	ID	ID	EX	MA	WB			
lw	\$4, 50(\$1)															IF	IF	ID	EX	MĄ	WB		
sw	\$4, 100(\$4)																	IF	ID	ID `	EX	MA	WB

clk	1122	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Lw	\$1,40(\$6)	IF	ID	EX	MA	WB													X				
beq	\$1, \$2, L1		IF	ID	0	0	0													1/			
beq	\$1, \$2, L1		0		ID	0	0	0	1									7					
beq	\$1, \$2, L1			\ 0		ID	EX	MA	WB										/ /			1.	
add	\$1, \$6, \$4			IF	IF	IF	ID	EX	MA	WB													
SW	\$1, 16(\$2)			4			IF	ID /	EX	MA	WB										1-		
beq	\$1, \$2, L2							IF	ID	EX	MA	WB									1		
lw	\$4, 50(\$1)								IF	ID	EX	MA	WB										
Lw	\$1, 40(\$6)					X	/			IF	ID	EX	MA	WB						K			
beq	\$1, \$2, L1					/ /					IF	ID	0	0	0			4	No.	$V^{\gamma}$			
	\$1, \$2, L1					p.				1			ID	0	0	0				4/			
beq	1 1 1								10					ID	EX	MA	WB		111-				
add			XA									IF	IF	IF	ID	EX,	MA	WB	11			1	10
beq	\$1, \$2, L2						6	4							IF	ID /	0	0	0				
beq	\$1, \$2, L2																ID	EX	MA	WB	1		<b>)</b>
lw	\$4, 50(\$1)															IF	IF	ID	EX	MĄ	WB		
SW	\$4, 100(\$4)																	IF	ID	0	( O	0	
SW	\$4, 100(\$4)				A															ID	EX	MA	WB
				•															- P V				

说明:此例中即使预测失败也不存在清除指令的问题!因为分支是否发生在 ID 级决定,同一周期时间槽指令进入流水线。下一周期是预测方向上的第一条指令,如果预测成功,继续沿着预测方向前进;如果预测失败,下一周期回到另一方向上的第一条指令。此时的预测失去意义!

五.对 MIPS 系统下面的如下程序段,假设其在一个五级流水线(IF ID EX ME WB)、有完全转发和预测分支总发生的处理器上运行,假设没有延时时间槽而且分支在 ID 级判断和执行,画出此指令序列的流水线执行图(在图上用箭头指明指令间的转发和阻塞)。

L0: s1t \$1, \$2, \$3

beq \$1, \$0, L1 ; 发生一次, 然后未发生

1w \$10, 4(\$10)

addi \$5, \$5, 2

sub \$10, \$11, \$10

sw \$10,0(\$11)

beq \$0, \$0, end

L1: lw \$11, 0 (\$10)

add \$11, \$5, \$2

beq \$11, \$0, L0 ; 发生

end:

cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Slt \$1,\$2,\$3	IF	ID	EX.	MEM	WB					)							K-1/			
Beq \$1,\$0,L1		IF	ID .	ID	EX	MEM	WB											/		
Lw \$11,0(\$10)			IF	IF	ID	EX	MEM	WB								3/1			4	
Add \$11,\$5,\$2			\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \		IF	ID	EX	MEM	WB							4	N .		17	
Beq \$11,\$0,L0						IF	ID	ID	EX	MEM	WB								K	
Slt \$1,\$2,\$3							IF	IF	ID	EX	MEM	WB								
Beq \$1,\$0,L1									IF	ID :	ID	EX	MEM	WB				. , \		
Lw \$10,4(\$10)					A.	50						IF	ID	EX	MEM	WB	_ /	X		
Addi \$5,\$5,2									1 1				IF	ID	EX	MEM	WB			
Sub \$10,\$11,\$10					(V)					)				IF	ID	EX	MEM	WB		
Sw \$10,0(\$11)															IF	ID 🔨	EX	MEM	WB	
Beq \$0,\$0,end								V								IF	ID	EX	MEM	WB

cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Slt \$1,\$2,\$3	IF	ID	EX	MEM	WB			7.								W.				
Beq \$1,\$0,L1		IF	ID	0	0	0	stalled								4					
Beq \$1,\$0,L1			2	D	EX	MEM	WB	1									7			
Lw \$11,0(\$10)	1	1	IF	IF	ID	EX	MEM	WB								11			VX	
Add \$11,\$5,\$2			(7)		IF	ID (	EX.	MEM	WB											V
Beq \$11,\$0,L0						IF	ID \	, O	0	0	stalled								N	
Beq \$11,\$0,L0						$\gamma$		ID	EX	MEM	WB						V.			
Slt \$1,\$2,\$3					Λ,	70	IF	IF	ID	EX,	MEM	WB					1.2			
Beq \$1,\$0,L1				A					IF	ID \	0	0	0	stalled		47				
Beq \$1,\$0,L1										•	ID	EX	MEM	WB		XX	2 4/)			
1w \$11, 0 (\$10)									\		IF	0	0	0	0	预测失	败而 flu	shed		
Lw \$10,4(\$10)			9					V )				IF	ID	EX	MEM	WB				
Addi \$5,\$5,2													IF	ID	EX	MEM	WB		V	
Sub \$10,\$11,\$10														IF	ID	EX	MEM	WB		
Sw \$10,0(\$11)		X					7								IF	ID	EX	MEM	WB	
Beq \$0,\$0,end						14										IF	ID 🗸	EX	MEM	WB