

n)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
lw r1,0(r2)	IF	ID	EX	MEM	WB															
daddi r1,r1,1		IF	S	S		ID	EX	MEM	WB											
sw r1,0(r2)					IF	S	S		ID	EX	MEM	WB								
daddi r2,r2,4								IF	ID	EX	MEM	WB								
dsub r4,r3,r2									IF	S	S		ID	EX	MEM	WB				
benz r4,Loop													IF	S	S		ID	EX	MEM	WB
halt																	IF			
lw r1,0(r2)																		IF	ID	EX

无定向: 每轮循环从第1条指令开始到下轮循环第一条指令开始。

为15拍。

本轮循环的最后一条指令 (bnez r4, Loop) 在ID周期后执行3拍结束。

进行 $\frac{396}{4} = 99$ 次循环。

每次循环需15个时钟周期

所需总时钟周期数 = $15 \times 99 + 3 = 1488$

2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
lw r1, 0(r2)	IF	ID	EX	MEM	WB							
daddi r1, r1, 1		IF	ID	S	EX	MEM	WB					
sw r1, 0(r2)			IF	S	ID	EX	MEM	WB				
daddi r2, r2, 4					IF	ID	EX	MEM	WB			
dsub r4, r3, r2						IF	ID	EX	MEM	WB		
benz r4, Loop							IF	S	ID	EX	MEM	WB
halt									IF			
lw r1, 0(r2)										IF		

定向技术 按预测分支失败策略处理分支指令

每轮循环第1条指令开始到下轮循环第1条指令开始为9拍

本轮循环的最后一条指令 (bnez r4, Loop) 在ID周期后执行3拍结束

进行 $\frac{396}{4} = 99$ 次循环。

99个空周期为1次循环

总时钟周期数 = $9 \times 99 + 3 = 894$

3) 指令重新排序

```
lw    r1, 0(r2)
addi   r2, r2, #4
sub    r4, r3, r2
addi   r1, r1, #1
bnez   r4, Loop
sw     r1, -4(r2)
```

加法寄存器R1 ← 取数 (R2)

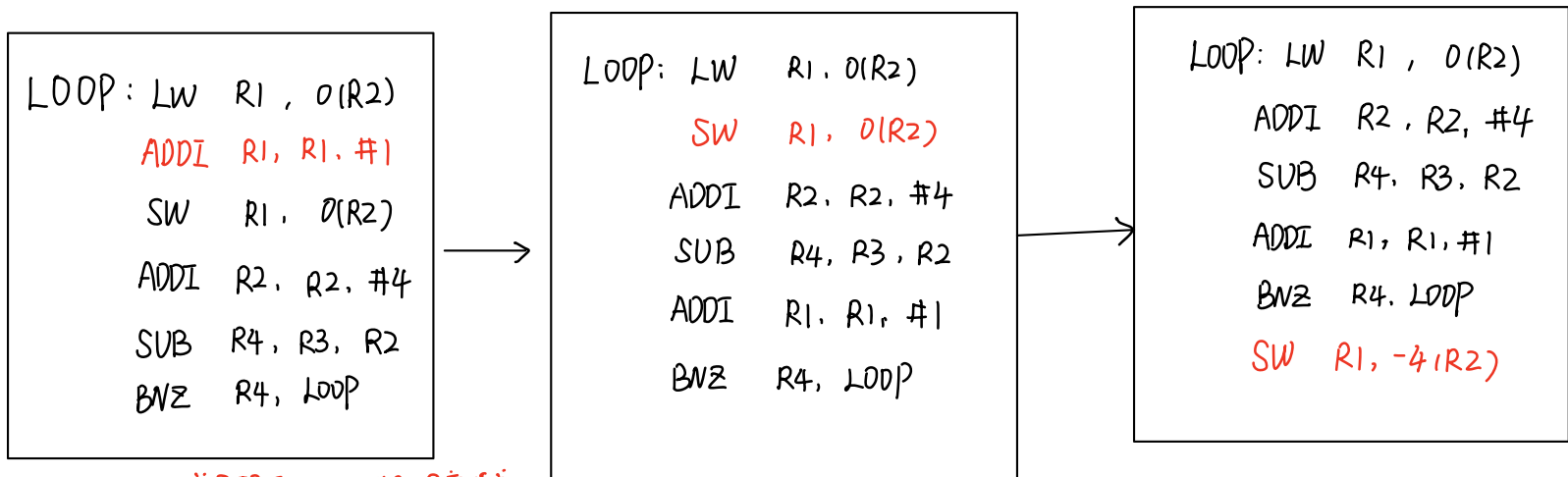
指针R2 ← 指针R2 + 4

R4 ← R3 - R2

R1 ← R1 + 1

若R4不等于0, 循环

分支延迟槽, 存数 (R2 - 4) ← R1



采用定向技术. 单周期延迟分支. 指令调度技术.

重新安排指令顺序

```
loop: lw    r1, 0(r2)
addi   r2, r2, #4
sub    r4, r3, r2

addi   r1, r1, #1
bnz    r4, loop
sw     r1, -4(r2)
```

lw r1, 0(r2)	IF	ID	EX	MEM	WB														
daddi r2, r2, 4		IF	ID	EX	MEM	WB													
dsub r4, r3, r2				IF	ID	EX	MEM	WB											
daddi r1, r1, 1					IF	ID	EX	MEM	WB										
benz r4, Loop						IF	ID	EX	MEM	WB									
sw r1, -4(r2)							IF	ID	EX	MEM	WB								
lw r1, 0(r2)								IF	ID	EX	MEM	WB							

每轮循环从第1条指令开始到下轮循环第1条指令开始为6拍。

本轮循环的最后一条指令 (sw r1, -4(r2)) 在ID周期后还执行4拍才结束

总拍数 = $6 \times 99 + 4 = 598$