

5. 方案 A：设共有 N 条指令  $N$  足够大

其中分支指令共有  $0.15N$  条

命中  $0.9 \times 0.15N = 0.135N$  条，缺失  $0.015N$  条

正确  $0.135N \times 0.9 = 0.1215N$  条，错误  $0.0135N$  条

总周期为： $N + 0.015N \times 3 + 0.0135N \times 4 = 1.099N$ ， $CPI_A = 1.099$

对 B：总周期为： $N + 0.15N \times 2 = 1.3N$

加速比： $S = \frac{CPI_B}{CPI_A} = 1.18$

12. 1)

汇编代码：

li	a0,0		$a_0 = 0$	;	for ( $a_1 = 0; a_1 < 10000; a_1++$ )
li	a4,10000		$a_4 = 10000$	;	{ if ( $a_1 \% 2$ )
Loop:	addi	a1,a0,0		$a_1 = a_0$	
	addi	a3,a0,2			if ( $a_1 \% 5$ )
	rem	a2,a1,a3			# code B
0xe44:	bne	a2,a0,Rem2	//B1		
	#...CodeA				do
Rem2:	addi	a3,a0,5		$a_3 = a_0 + 2$	
	rem	a2,a1,a3		$a_2 = a_1 \% a_3$	
0xe84:	bne	a2,a0,End	//B2		}
	#...CodeB				$a_3 = a_0 + 5$
End:	addi	a1,a1,1			
0xec0:	bne	a1,a4,Loop	//B3	if ( $a_2 == a_0$ )	
					{ # code A }
					$a_3 = a_0 + 5$
					$a_2 = a_1 \% a_3$
					if ( $a_2 == a_0$ )
					{ # code B }
					$a_1 = a_1 + 1$
					{ while ( $a_1 != a_4$ )}

2) 0xe44 在  $a_1$  为奇数跳转，0xe84 在  $a_1$  不为 5 倍数跳转

0xe0 在 a. h 1 - 999.一直跳转

比例为 5000 : 8000 : 9999 ~ 5 : 8 : 10

3) 0xe44 : 50%

0xe84 : 20% 0xe0 : 99.99%

13. (1) 由于 跳转指令 PC 分别为 0xe40, 0xe84, 0xe0

其中 PC 的 [8:5] 位不同，故 N 最小为 6

(2) 在程序稳定时，对 0xe0，预测器是跳转，不考虑对 N 的影响

对 0xe40，当 N=1 时，预测正确率为 0

当 N>1 时，正确率为 50%，预测为不跳转

对 0xe80，当 N=1 时，正确率为 60%

真实	X	✓	✓	✓	✓	X
预测	✓	X	✓	✓	✓	✓X

当 N=2 时，正确率为 80%

真实	X	✓	✓	✓	✓	X
预测	✓	✓	✓	✓	✓	✓

故 N 最小为 2.

(3) 0xe40 : 50% 0xe80 : 80% 0xe0 : 100%

14. 对 0xe0，稳定时 分支历史表总为全 1，一定准确

对 0xe40，当 H>1 时，即可使预测全正确

即只考虑历史表最后 1 位，为 1 则不跳转，为 0 则跳转

对 0xe80，当 H>4 即可

当历史表出现连续四次跳转的 1111 时

下次必不跳转，

否则均发生跳转。

综上， $H \geq 4$

15. 稳态时， $0xe40$  必跳转， $0xe40$  间隔跳转。 $0xe80$  每五次不跳转一次

各分支得到的历史表为：  
 $0xe40$ ：... | 0 0 | 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 | 1 0 1  
 $0xe80$ ：... | 0 0 | 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 | 0 1  
 $0xe80$ ：1 0 0 | 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 | 1

三条指令中只有  $0xe40$  会连续跳转。

对  $0xe40$  而言，只须知道自己上次跳转结果，故  $m \geq 3$  即可。

对  $0xe80$  而言，须要知道自己前 4 次历史，故  $m \geq 12$ 。

对  $0xe80$  而言，总是跳转。

区分三个指令的预测需根据只有  $0xe40$  会连续跳转。

按照  $0xe40$  指令历史出现位置分为了类。

16. 本题共有 2 条分支指令。outer loop 执行  $P$  次，无分支预测。

inner loop 执行  $P \times Q$  次，有分支预测。

方案 A：

对 inner loop 指令预测失败共  $2P$  次。

共失败  $2P$  次

方案 B：第一次循环时会失败共  $Q$  次。第二次共  $Q-1$  次。

cycle 1      00..0      0 ↗ 1      j = 0  
                00....1      0 ↗ 1      j = 1  
                0...11      0 ↗ 1      :  
                011....1      0 ↗ 1      j = Q-1  
                1111..1      0 ↗ 0      j = Q

cyclez:

$Q+1$	$\left( \begin{array}{c} 11\dots10 \\ 11\dots10 \\ \vdots \\ 101\dots1 \\ 0111\dots1 \\ 11\dots1 \end{array} \right)$	$0^{\nearrow} \downarrow \quad j=0$
		$0^{\nearrow} \downarrow \quad j=1$
		$0^{\nearrow} \downarrow \quad j=Q-2$
		$i^{\nearrow} \downarrow \quad j=Q-1$
		$0^{\nearrow} \downarrow \quad j=Q$

共失敗 2(1-1) 次。

当  $2Q-1 > 2P$  即  $Q > P + \frac{1}{2}$  时，方案 A 好

当  $\alpha < p + \frac{1}{2}$  时，方程  $B$  好

17.

Loop:	lw	a4,0(a3)	$\text{for( } a_2=0, a_1=n, i=0; a_1 > 0; a_1--, i++ \text{)}$ <i>if ( p[i] != 0 )</i> $a_2++;$
	addi	a3,a3,4	
	addi	a1,a1,-1	
B1:	beqz	a4,B2	

第4次

B2 真実 ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ X

预测 X X ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓

某次

絃上初奏下共了次。

H B

2

$$B_1 \quad 0 \quad 0b \quad p=j$$

$$B_2 \quad 0 \quad \text{00} \xrightarrow{\text{01}} \quad n=7$$

$$B_1 \quad | \quad \text{0001} \quad p=0$$

$$B_2 \quad | \quad \text{W.D.} \quad n=6$$

$B_1$  1 00  $p=1$

$B_2$  0 01  $n=5$

$B_1$  1 00  $p=0$

$B_2$  1 01  $n=4$

$B_1$  1 00  $p=1$

$B_2$  0 10  $n=3$

$B_1$  1 00  $p=0$

$B_2$  1 01  $n=2$

$B_1$  1 00  $p=1$

$B_2$  0 11  $n=1$

$B_1$  1 00  $p=0$

$B_2$  1 10  $n=0$

若 h h 初态考虑，并优先级

若在稳态下考虑， $B_2$  跳转， $B_1$  不跳转  
结果同(1). 共 5 种.

(3) H counter

$B_1$  00 00  $q=1$

$B_2$  00 01  $n=7$

$B_1$  01 00  $q=0$

$B_2$  11 01  $n=7$

$B_1$  11 00  $q=1$

$B_2$  10 01  $n=6$

$B_1$  01 11  $q=0$

$B_2$  11       $\overset{01}{\overbrace{10}}$        $n=5$

$B_1$  11      00       $q=1$

$B_2$  10       $10 \rightarrow 11$        $n=4$

$B_1$  01       $10 \rightarrow 11$        $q=0$

$B_2$  11       $10 \rightarrow 11$        $n=3$

$B_1$  11       $01 \rightarrow 00$        $q=1$

$B_2$  10      11       $n=2$

$B_1$  01      11       $q=0$

$B_2$  11      11       $n=1$

$B_1$  11      00       $q=1$

$B_2$  01       $11 \rightarrow 10$        $n=0$

综上初态下共失败7次  
在稳态下，      稳定跳转，共失败1次

④ 全局预测位数越多，建立的稳态越久，但位数越多，稳态准确率越高。当n非常大时，  
    1) 全局预测更好。否则局部分支预测最好。

⑤ 此时局部分支预测稳定性低，全局预测效果最好

18. 因为各流水线中指令执行的时间是不一样的，可能后面的指令出现的异常先于之前执行的指令的异常，即异常乱序。  
可以采用异常检测与恢复的方式处理乱序异常，在每个流水级放置异常检测电路，捕获异常后将流水线状态保存到寄存器中，等到异常处理完成后，再从寄存器中恢复状态。

可以采用异常检测与恢复的方式处理乱序异常，在每个流水级放置异常检测电路，捕获异常后将流水线状态保存到寄存器中，等到异常处理完成后，再从寄存器中恢复状态。

1) 如果 ROB 的深度是无限的, 将下表补充完全。(部分结果已给出)

	周期				操作码	目标	源 1	源 2
	Decode (ROB enqueue)	Issue	WB	Committed				
I1	0	1	2	3	fld	T0(f <sub>1</sub> )	a0	—
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1(f <sub>2</sub> )	T0(f <sub>1</sub> )	f0
I3	2	14	16	17	fadd.d	T <sub>2</sub> (f <sub>3</sub> )	T <sub>1</sub> (f <sub>2</sub> )	f0
I4	3	4	5	18	addi	a <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	—
I5	4	6	7	19	fld	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )	a <sub>0</sub>	—
I6	5	8	18	20	fmul.d	T <sub>4</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )
I7	6	19	21	22	fadd.d	T <sub>5</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>4</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>2</sub> (f <sub>3</sub> )

2) 如果 ROB 仅容纳 2 条指令, 当一条指令提交后的下一周期该条目可以被新指令占据。重新将下表补充完全。(部分结果已给出)

	周期				操作码	目标	源 1	源 2
	Decode (ROB enqueue)	Issue	WB	Committed				
I1	0	1	2	3	fld	T0(f <sub>1</sub> )	a0	—
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1(f <sub>2</sub> )	T0(f <sub>1</sub> )	f0
I3	4	14	16	17	fadd.d	T <sub>2</sub> (f <sub>3</sub> )	T <sub>1</sub> (f <sub>2</sub> )	f0
I4	15	16	17	18	addi	a <sub>0</sub>	a <sub>0</sub>	—
I5	18	19	20	21	fld	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )	a <sub>0</sub>	—
I6	19	21	31	32	fmul.d	T <sub>4</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )	T <sub>3</sub> (f <sub>1</sub> )
I7	22	32	34	35	fadd.d	T <sub>4</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>4</sub> (f <sub>2</sub> )	T <sub>2</sub> (f <sub>3</sub> )