

5. 对方案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)

```
li      a0,0
li      a4,10000
Loop:   addi a1,a0,0
        addi a3,a0,2
        rem  a2,a1,a3
0xe44:  bne  a2,a0,Rem2    //B1
        #...CodeA
Rem2:   addi a3,a0,5
        rem  a2,a1,a3
0xe84:  bne  a2,a0,End     //B2
        #...CodeB
End:    addi a1,a1,1
0xec0:  bne  a1,a4,Loop    //B3
```

```
a0 = 0 ; for(a1=0; a1<10000; a1++)
a4 = 10000 ; { if(a1%2)
a1 = a0 ;     #code A
do           if(a1%5)
{ a3 = a0 + 2 ; #code B
  a2 = a1%a3 ; }
if(a2 == a0)
{ #code A }
a3 = a0 + 5 ;
a2 = a1%a3 ;
if(a2 == a0)
{ #code B }
a1 = a1 + 1 ;
} while(a1 != a4);
```

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

0xec0 在 a.h 1-9999. 直接跳转

比例为 5000 : 8000 : 9999 \approx 5 : 8 : 10

3) 0xe4 : 50%

0xe8 : 20% 0xec0 : 99.99%

13. (1) 由于 跳转指令 PC 分别为 0xe4, 0xe8, 0xec0

其中 PC 的 (8:5) 位不同, 故 K 最小为 6

(2) 在程序稳态时, 对 0xec0, 预测器总是跳转, 不考虑对 N 的影响

对 0xe4, 当 N=1 时, 预测正确率为 0

当 N>1 时, 正确率总为 50%, 预测为不跳转

对 0xe8, 当 N=1 时, 正确率为 60%

真实	X	✓	✓	✓	✓	X
预测	✓	X	✓	✓	✓	✓

当 N=2 时, 正确率为 80%

真实	X	✓	✓	✓	✓	X
预测	✓	✓	✓	✓	✓	✓

故 N 最小为 2.

(3) 0xe4 : 50% 0xe8 : 80% 0xec0 : 100%

14. 对 0xec0, 稳态时 分支历史表总为全 1, 一定准确

对 0xe4, 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 0xe8, 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. 稳定态时, $0xe c0$ 总是跳转, $0xe 40$ 间隔跳转, $0xe 80$ 每五次不跳转一次

各分支得到的历史表为:

$0xe 40$	...	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
$0xe 80$	...	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
$0xe c0$	...	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1

三条指令中只有 $0xe c0$ 会连续跳转

对 $0xe 40$ 而言, 只需要知道自己上次跳转结果, 故 $m \geq 3$ 即可

对 $0xe 80$ 而言: 须要知道自己前4次历史, 故 $m \geq 12$

对 $0xe c0$ 而言, 总是跳转

区分三个指令的预测器可根据只有 $0xe c0$ 会连续跳转.

按照 $0xe c0$ 指令历史出现位置分为了3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

$Q+1$	$00 \dots 0$	$0 \rightarrow 1$	$j=0$
{	$00 \dots 1$	$0 \rightarrow 1$	$j=1$
	$0 \dots 11$	$0 \rightarrow 1$	\vdots
	$011 \dots 1$	$0 \rightarrow 1$	$j=Q-1$
	$1111 \dots 1$	$0 \rightarrow 0$	$j=Q$

$cycle2:$
 $Q+1 \left\{ \begin{array}{l} 11 \dots 10 \quad 0 \rightarrow 1 \quad j=0 \\ 11 \dots 101 \quad 0 \rightarrow 1 \quad j=1 \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ 101 \dots 1 \quad 0 \rightarrow 1 \quad j=Q-2 \\ 0111 \dots 1 \quad 1 \rightarrow 1 \quad j=Q-1 \\ 11 \dots 1 \quad 0 \rightarrow 0 \quad j=Q \end{array} \right.$

共失败 $2Q-1$ 次。

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

当 $Q < P + \frac{1}{2}$ 时，方案 B 好

17.

Loop: lw a4,0(a3)
 addi a3,a3,4
 addi a1,a1,-1
 B1: beqz a4,B2
 addi a2,a2,1
 B2: bnez a1,Loop

for($a_2=0, a_1=n, i=0; a_1 > 0; a_1--, i++$)
 if ($p[i] \neq 0$)
 a_2++ ;

1) 初始态下:

B_1 : 真实 $X \checkmark X \checkmark X \checkmark X \checkmark$

预测 $X \text{ (red)} X \text{ (red)} X \text{ (red)} X \text{ (red)} X \text{ (red)} X \text{ (red)}$

共 4 次。

B_2 真实 $\checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark X$

预测 $X \text{ (red)} X \text{ (red)} \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \checkmark \text{ (red)}$

共 3 次

综上初始态下共 7 次。

2)

	H	B	
B_1	0	00	$P=1$
B_2	0	00 \rightarrow 01	$n=7$
B_1	1	00 \rightarrow 01	$P=0$
B_2	1	00 \rightarrow 01	$n=6$

稳定态下 B_1 总不跳转

转, B_2 总跳转

则失败 5 次。

B_1	1	01 00	$p=1$
B_2	0	01 10	$n=5$
B_1	1	00 01	$p=0$
B_2	1	01 10	$n=4$
B_1	1	01 00	$p=1$
B_2	0	10 11	$n=3$
B_1	1	00 01	$p=0$
B_2	1	00 11	$n=2$
B_1	1	01 00	$p=1$
B_2	0	11 10	$n=1$
B_1	1	00 01	$p=0$
B_2	1	11 10	$n=0$

若从初态考虑 共9次失败

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

(3)	H	counter.	
B_1	00	00	$q=1$
B_2	00	00 01	$n=7$
B_1	01	00 01	$q=0$
B_2	11	00 01	$n=7$
B_1	11	00	$q=1$
B_2	10	00 01	$n=6$
B_1	01	01 10	$q=0$

B_2	11	$01 \rightarrow 10$	$n=5$
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，稳态后准确率越高。当 n 非常大时，2位全局预测更好。否则局部分支预测最好。

5) 此时局部分支预测稳定性低，2位全局预测效果最好

18. 因为在流水线中指令执行的时间是不一样长的，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。

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	$T_0(f_1)$	a0	—
I2	1	3	13	14	fmul.d	$T_1(f_2)$	$T_0(f_1)$	f0
I3	2	14	16	17	fadd.d	$T_2(f_3)$	$T_1(f_2)$	f0
I4	3	4	5	18	addi	a0	a0	—
I5	4	6	7	19	fld	$T_3(f_1)$	a0	—
I6	5	8	18	20	fmul.d	$T_4(f_2)$	$T_3(f_1)$	$T_1(f_1)$
I7	6	19	21	22	fadd.d	$T_5(f_2)$	$T_4(f_2)$	$T_2(f_3)$

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	$T_0(f_1)$	a0	—
I2	1	3	13	14	fmul.d	$T_1(f_2)$	$T_0(f_1)$	f0
I3	4	14	16	17	fadd.d	$T_2(f_3)$	$T_1(f_2)$	f0
I4	15	16	17	18	addi	a0	a0	—
I5	18	19	20	21	fld	$T_3(f_1)$	a0	—
I6	19	21	31	32	fmul.d	$T_4(f_2)$	$T_3(f_1)$	$T_1(f_1)$
I7	22	32	34	35	fadd.d	$T_5(f_2)$	$T_4(f_2)$	$T_2(f_3)$