

5. 考虑一个流水线处理器。无分支时 CPI 为 1.1；A 使用 BTB，缺失代价为 3 周期，预测错误为 4 周期，正确率 90%。  
B 不使用分支预测，代价为额外 2 周期，分支频率为 15%。

解：  $CPI_A = 1 + (4 \times 0.9 \times 0.1 + 3 \times 0.1) \times 0.15 = 1.099$

$CPI_B = 1 + 2 \times 0.15 = 1.3$

$S = \frac{CPI_B}{CPI_A} = 1.18$ ，为加速比。

12. 考虑一特定的代码片段。

1) 写出功能一致的 C 语言代码。

```
for (int i = 0; i < 10000; i++) { if (i % 2 == 0) { if (i % 5 == 0) break; else Code B } else Code A }
```

2) 无分支预测时，

无分支预测时，B1 的跳转比例为  $\frac{1}{2}$ ，B2 的跳转比例为  $\frac{1}{5}$ ，B3 的跳转比例为  $\frac{9999}{10000}$

3) 静态分支预测器，向前总跳转，向后总不跳转。

对于 B1 其正确率为  $\frac{1}{2}$ ，B2 的正确率为  $\frac{1}{5}$ ，B3 的正确率为  $\frac{9999}{10000}$ 。

13. 对 12 题的代码片段引入局部预测器，其使用 K 位索引，以及 N 位计数器。

解。1) 为使代码片段映射到不同的预测器，K 最小值为

0xccc 对应 1110, 1100, 0000 故至少需要 10 位用于索引，即  $K = 10$ 。

故至少需要  $12 - 3 = 9$  位用于索引，即  $K = 9$ 。

2) 为使准确率不低于静态预测器，需要 N 为多少。

需要 N 至少为 2。

3) 对上述 N，稳态时的准确率为多少。

对 B1 为  $\frac{1}{2}$ ，B2 为  $\frac{1}{5}$ ，B3 为  $\frac{9999}{10000}$

14. 引入局部分支历史, 预测器先索引PC, 使用PC索引LHR, 并通过LHR结果索引一位计数器得到跳转方向。

解: 考虑到B3每10000周期进行一次跳转, 则有  $H=10000$ 。

若不考虑B3的跳转, 则H由B2决定, 即B2  $H=5$  为程序允许的最小值。  
退出

15. 引入全局历史信息。

考虑B3的跳转是跳转, 为完全正确有  $M=3 \times 10000 = 30000$ 。

不考虑B3退出时的跳转, 则有分支跳转历史重复周期为  $2 \times 5 = 10$ , 故  $M=10$ 。

16. 对一特定代码, A预测器使用  $N=1$  的局部预测器, B预测器为局部历史的预测器, 分析P与Q的数值关系。

解: 对于预测器初始化为0的情况。

A预测器每次进入循环退出循环时产生一次错误, 总数为  $2P$ 。

B预测器需要填充  $M$  分支历史, 故前  $Q$  次预测全错,

则当  $2P < Q$  时, A的准确率优于B。

17. 考虑一特定指令,  $a_1$  初值为  $n$ ,  $a_2$  初值为0,  $a_3$  初值为  $p$ 。

解: 1) 使用2位局部预测器, B1, B2映射至不同表项,  $n=8$ ,  $P[1] = \{p, 1, 0, 1, \dots\}$

假设预测器初值为0, 则B2产生  $2+1=3$  次错误, B1产生  $8/2=4$  次错误, 一共为7次。

2) 引入1位全局分支,

设初值为0, B2产生  $2+1=3$  次错误, B1产生  $8/2=4$  次错误, 一共7次。

3) 引入2位全局分支,

设初值为0, B2由于历史分支, 需要  $2 \times 2^{2+1} = 8$  次错误完成预测器填充, 产生  $4+1=5$  次错误。

B1在4次循环完成对  $GH[01]$  PC(B1) 对应项的填充, 产生3次错误, 一共8次。

4) 比较结果。

当  $n$  较小时, 2局部预测及1位全局历史预测的结果一致, 2位降低了准确率, 但  $n$  较大时, 2位全局分支的性能较好。

5) 随机取值。

当值为随机数时, 2位全局分支的性能严重下降, 1位分支与局部预测器不差。



18. 解释为什么在顺序级流水线中, 指令引发的异常也可能乱序产生, 为支持精确异常, 流水线如何处理。

解: 在多执行单元的流水线中, 指令并非同时完成计算, 前一指令可能<sup>后一</sup>晚于<sup>前</sup>指令数周期才写回寄存器, 因此异常可能是乱序产生的。为支持精确异常, 处理器在写回阶段通过记分牌记录指令的分支因, 并通过顺序写回处理异常。

20. 考虑一个流水线处理器的 ROB

周期							
	Decode.	Issue	WB	Committed.	opcode.	目标	源1 源2
I1	0	1	2	3	fld	T0	a0
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1	T0 f0
I3	2	<del>14</del> 4	16	17	fadd.d	T2	T1 f0
I4	3	<del>5</del> 4	5	6	addi	T3	a0
I5	4	<del>6</del> 5	6	7	fld	T4	T3
I6	5	<del>7</del> 6	16	18	fmul.d	T5	T0 T0
I7	6	<del>18</del> 18	19	20	fadd.d	T6	T5 T2

假设 ROB 只有 2 个槽位

	Decode.	Issue	WB	Committed.	opcode.	目标	源1 源2
I1	0	1	2	3	fld	T0	a0
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1	T0 f0
I3	4	14	16	17	fadd.d	T2	T1 f0
I4	15	16	17	18	addi	T3	a0
I5	18	19	20	21	fld	T4	T3
I6	19	20	30	31	fmul.d	T5	T0 T0
I7	22	31	33	34	fadd.d	T6	T5 T2