

12. (1) `for(i=0; i<10000; i++) {`

if ($i \% 2 == 0$)

//... Code A

if ($i \% 5 == 0$)

//... Code B

}

(2). 共循环 10000 次

无分支预测 跳转比例

$$\text{对 } B_1: \frac{10000 \times \frac{1}{2}}{10000} = \frac{1}{2}$$

$$\text{对 } B_2: \frac{10000 \times (1 - \frac{1}{5})}{10000} = \frac{4}{5}$$

$$\text{对 } B_3: \frac{9999}{10000}$$

(3). 预测向前总跳，向后总不跳。准确率如下

$$\text{对 } B_1(\text{向前}): \frac{1}{2}$$

$$\text{对 } B_2(\text{向前}): \frac{4}{5}$$

$$\text{对 } B_3(\text{向后}): \frac{1}{10000}$$

13. (1) 需要 3 个预测器表项 至少需要 2 位索引 k 最小为 $4-2=2$

(2) 对 B_1 . 跳转情况为 $NTNTNTN\cdots$ $N=1$ 全错 $\xrightarrow{N \geq 2}$ 准确率为 50%

对 B_2 , 跳转情况为 $NTTTTNTTTTN\cdots$

由 B_1 条件知 $N \geq 2$ B_2 有 $\frac{1}{2}$ 的几率跳转, 对应 N 可以较小。

如 $N=2$ 时 ~~向前几次预测情况~~ $\begin{matrix} 00 \\ N \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 00 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 01 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 10 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 11 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 11 \\ N \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 10 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 11 \\ T \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 11 \\ T \end{matrix}$

准确率为 $\frac{7999}{10000} \sim 0.8$ 且由推理可知 N 越大 前期错的会更多 $N=2$ 最佳

对 B_3 , 跳转情况 $TTT\cdots TN$, 基本全跳 $N=2$ 可行

\downarrow 稳态时即 0.8 综上, N 最小为 2

$NTNTNT\cdots$

14. 对 B_1 只需知道上一次是否跳转 $H \geq 1$ 均可。

对 B_2 : $NTTTTNTTTTN\cdots$ 周期为 5 需要知道前 4 次跳转历史 $H \geq 4$

对 B_3 : $TTT\cdots TN$ 基本全跳 $H \geq 1$ 均可
(稳态时等同全跳)

综上 H 的最小值为 4

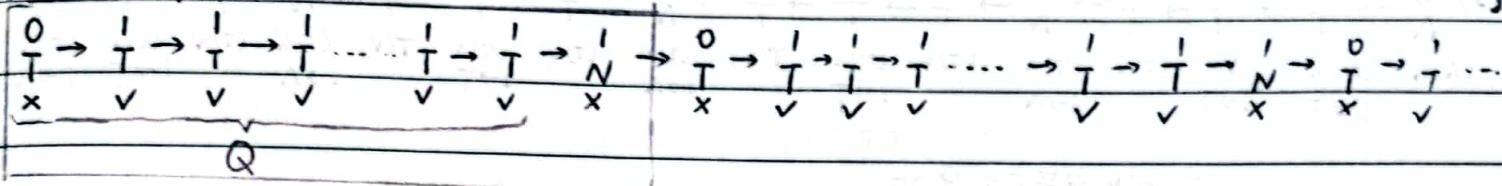
15. 稳态时 $B_1 \cdots NTNTNT\cdots$ $B_2 \cdots NTTTTNTTTT\cdots$ $B_3: \cdots TTTT\cdots$

GHR 写入情况 0011101111011101011110111110011111

B_1 周期为 2 B_2 周期为 5 三者相耦合序列为周期为 $2 \times 5 \times 3$ M 最小 30

外循环P次 内循环Q×P次，仅考虑内循环分支预测 No. Date

16. 对于方案A：



矩形框重复P次，一个框内正确Q-1次错2次 正确率 $\frac{P(Q-1)}{P(Q+1)} = \frac{Q-1}{Q+1}$

对于方案B：

我们知道，稳态后内循环... $\overbrace{TT \dots T}^{Q\text{个}} \overbrace{NTT \dots TN}^{Q\text{个}} \dots$ 序列周期为Q+1

使用Q位BHT在稳态时能完全准确预测，方案B预测错误仅可在BHT写入初期

原BHT和1bit计数器全初始化为0，意味着第一次循环前Q次全错，Q+1次对(N)

将BHT的 $\underbrace{000 \dots 0}_{m\text{个}} \underbrace{11 \dots 1}_{n\text{个}}$ ($m+n=Q$) 序列映射结果进行修正 $\frac{\text{原 } 1111}{Q+1} \rightarrow 0$

但这种形式的序列后续并无作用(除 $0 \underbrace{1111}_{Q-1\text{个}}$) 因为稳态BHT为 $\underbrace{1111 \dots 1}_{Q+1}$

或 $\underbrace{11 \dots 1}_{m\text{个}} \underbrace{01 \dots 11}_{n\text{个}}$ ($m+n=Q-1$) 意味第二次循环还是建立正确的跳转结果

~~前几次~~ 前 ~~Q-1~~ 次前 Q-1 次错 第Q次 $0 \underbrace{111 \dots 1}_{Q-1\text{个}} \xrightarrow{1} 0$ 在第一次循环已校正，T ✓

第Q+1次 $\underbrace{111 \dots 1}_{Q\text{个}} \rightarrow 0$ (N) ✓ 共错 $Q+Q-1 = 2Q-1$ 次

$$\begin{aligned} & \text{正确率 } 1 - \frac{2Q-1}{P(Q+1)} \quad \text{若 } A \text{ 优于 } B \quad \frac{Q-1}{Q+1} > \frac{2Q-1}{P(Q+1)+1} \quad P > \frac{2Q-1}{Q-1} \\ & 1 - \frac{2Q-1}{P(Q+1)} \quad Q-1 > Q+1 - \frac{2Q-1}{P} \quad P < \frac{2Q-1}{2} \end{aligned}$$

17. (1) $n=8$ a_1 初值8 a_2 初值0 a_3 初值P. $2b_1 + \text{局部} \cdot [PC] = \{1, 0, 1, 0, \dots\}$

设2bit局部预测器初值均为00

B1 $\begin{array}{ccccccccc} 00 & \rightarrow & 00 & \rightarrow & 01 & \rightarrow & 00 & \rightarrow & 01 \\ N & \xrightarrow{T} & N & \xrightarrow{T} & N & \xrightarrow{T} & N & \xrightarrow{T} & N \end{array}$ 错4次

B2 $\begin{array}{ccccccccc} 00 & \rightarrow & 01 & \rightarrow & 10 & \rightarrow & 11 & \rightarrow & 11 \\ T & \xrightarrow{T} & T & \xrightarrow{T} & T & \xrightarrow{T} & T & \xrightarrow{T} & N \end{array}$ 错3次 共7次

(2) $N=1$

$$0 \rightarrow \frac{0}{T} \rightarrow \frac{1}{T} \rightarrow \frac{1}{N} \rightarrow \frac{0}{T} \rightarrow \frac{1}{T} \rightarrow \frac{1}{N} \rightarrow \frac{0}{T} \rightarrow \frac{1}{T} \rightarrow \frac{1}{N} \rightarrow \frac{0}{T} \rightarrow \frac{1}{T}$$

$$(N) \vee (N)X (N)X (T) \vee (T)X (T) \vee (N)X T(v) (T)X (T) \vee (N)X T(v) (T)X (T) \vee (N)X (T)X$$

$$0 \rightarrow T \quad I \rightarrow T \quad I \rightarrow N \quad I \rightarrow T \quad I \rightarrow N$$

共发生错误 9 次。

(3) $N=2$

$$00 \rightarrow \frac{00}{T} \rightarrow \frac{01}{T} \rightarrow \frac{11}{N} \rightarrow \frac{10}{T} \rightarrow \frac{01}{T} \rightarrow \frac{11}{N} \rightarrow \frac{10}{T} \rightarrow \frac{01}{T} \rightarrow \frac{11}{N} \rightarrow \frac{11}{N}$$

$$(N) \vee (N)X (N)X (T)X (N)X (T) \vee (N)X (T)X (T) \vee (N)X (T) \vee (T)X (N)X (T)X$$

$$00 \rightarrow T \quad 01 \rightarrow T \quad 11 \rightarrow N \quad 10 \rightarrow T \quad 11 \rightarrow T \quad 11 \rightarrow N \quad 11 \rightarrow T \quad 11 \rightarrow N \quad 11 \rightarrow T \quad 11 \rightarrow N$$

$$\rightarrow \frac{10}{T} \rightarrow \frac{01}{T} \rightarrow \frac{11}{N}$$

共发生错误 9 次

(4) 考虑 3 位 GHR:

$$000 \rightarrow \frac{000}{T} \rightarrow \frac{001}{T} \rightarrow \frac{011}{T} \rightarrow \frac{111}{N} \rightarrow \frac{111}{N} \rightarrow \frac{110}{T} \rightarrow \frac{101}{T} \rightarrow \frac{011}{T} \rightarrow \frac{111}{N}$$

$$(N) \vee (N)X (N)X (N)X (N)X (N) \vee (N)X (N)X (T) \vee (N)X (T) \vee (N)X$$

$$000 \rightarrow T \quad 001 \rightarrow T \quad 011 \rightarrow T \quad 111 \rightarrow N \quad 110 \rightarrow T \quad 101 \rightarrow T \quad 011 \rightarrow N$$

$$\rightarrow \frac{110}{T} \rightarrow \frac{101}{T} \rightarrow \frac{011}{T} \rightarrow \frac{111}{N} \rightarrow \frac{110}{T} \rightarrow \frac{101}{T} \rightarrow \frac{011}{N}$$

共错 6 次。

考虑 4 位 GHR

$$0000 \rightarrow \frac{0000}{T} \rightarrow \frac{0001}{T} \rightarrow \frac{0011}{T} \rightarrow \frac{0111}{T} \rightarrow \frac{1110}{N} \rightarrow \frac{1101}{T} \rightarrow \frac{1011}{T} \rightarrow \frac{0111}{N}$$

$$(N) \vee (N)X (N)X (N)X (N)X (N) \vee (N)X (N)X (T) \vee (N)X (T) \vee (N)X (N) \vee$$

$$0000 \rightarrow T \quad 0001 \rightarrow T \quad 0011 \rightarrow T \quad 0111 \rightarrow T \quad 1110 \rightarrow N \quad 1101 \rightarrow T \quad 1011 \rightarrow T \quad 0111 \rightarrow N$$

$$\rightarrow \frac{1110}{T} \rightarrow \frac{1101}{T} \rightarrow \frac{1011}{T} \rightarrow \frac{0111}{N} \rightarrow \frac{1110}{T} \rightarrow \frac{1101}{T} \rightarrow \frac{1011}{N}$$

共错 7 次

该例中 N 较小，全局历史表位数小且 $(N=1, N=2)$ 错误次数大，因为位数太少不足以完整记录全局历史状况，而 $N=3$ 时错得最少， $N>3$ 则会因为初期对计数器修正变多而错误次数增加。
 N 非常大时 3 位全局历史表预测最佳。

(5) PC 随机取 0/1，全局关联性大大减弱，位数越多的 GHR 效果会下降越多。
 GHR 效率都下降。而 2bit 局部预测器效果则可能变好。

18. 顺序的5级RISC流水线：指令引发的异常由于具有时间、空间上的不确定性，且对程序一般是“透明”的，很可能会影响指令的流水线处理。异常指令未完全异常处理后读的指令就开始执行，导致现场难以恢复带来乱序。

为支持精确异常，引入了ROB。ROB的顺序提交和清空作用强大，若指令发生异常，在指令提交阶段会触发异常处理机制，异常处理完成后处理器会从发生异常的指令位置重新执行，得益于ROB的循序提交，相应异常指令之后的ROB表项也会清空，不会对处理器造成执行上的问题。

18.20. (1)	Decode (ROB enqueue)	Issue	WB	Committed	opcode	目标	源1	源2
I1	0	1	25	3	fld	T0	a0	-
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1	T0	fo
I3	2	14	16	17	fadd.d	T2	T1	fo
I4	3	4	5	18	addi	T3	a0	-
I5	4	5	6	19	fld	T4	T3	-
I6	5	13	23	24	fmul.d	T5	T4	T4
I7	6	24	26	27	fadd.d	T6	T5	T2

(2)	Decode (ROB enqueue)	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	fo
I3	4	14	16	17	fadd.d	T2	T1	fo
I4	15	16	17	18	addi	T3	a0	-
I5	18	19	20	21	fld	T4	T3	-
I6	19	21	31	32	fmul.d	T5	T4	T4
I7	22	32	34	35	fadd.d	T6	T5	T2