

4.25

3. (1) ① 不可能发生，因为 $0(\text{ad})$ 和 $0(\text{a1})$ 在物理地址不同
② 不可能发生， $0(\text{ad})$ 和 $0(\text{a1})$ 在同一地址页的同一地址，会有数据依赖
(2) 均不可能发生；① $0(\text{ad})$ 与 $4(\text{a1})$ 在不同地址页
② $0(\text{ad})$ 和 $4(\text{a1})$ 在同一物理地址页不同地址
(3) ① 可能发生， $0(\text{ad})$ 和 $4096(\text{a1})$ 在不同地址页
② 不可能发生， $0(\text{ad})$ 和 $4096(\text{a1})$ 在同一物理地址页不同地址

5. $CPI = 1$

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

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

加速比 $S = \frac{1.3}{1.099} \approx 1.183$, A 和 B 快约 1.183 倍

12. 解：li a0, 0

li a4, 10000

addi a1, a0, 0

Loop: addi a3, a0, 2

rem a2, a1, a3

0xe44: bne a2, a0, Rem2
code A

Rem2: addi a3, a0, 5

rem a2, a1, a3
code B

0xe84: bne a2, a0, End

End: addi a1, a1, 1

0xec0: bne a1, a4, Loop

① C 语言: `for (i=0; i<10000; i++)`

```

{
    i-2*(3/2)
    if (i-2 == 0)
    {
        #code A
    }
    if (i-5*(4/5) == 0)
    {
        #code B
    }
}

```

(2) 无分支预测时, B1 跳转比例 $P_1 = \frac{1}{2}$; B2: $P_2 = \frac{4}{5}$; B3: $P_3 = \frac{999}{1000}$

(3) B1: 向前跳转, 预测为“跳转”, 准确率 $\frac{1}{2} \times 50\% = 25\%$

B2: 向前跳转, 预测为“跳转”, 准确率 $\frac{4}{5} \times 80\% = 64\%$

B3: 向后跳转, 预测为“不跳转”, 准确率 0.01%

13. ① 需计算跳转每个 loop 中有 3 个 ~~10000 * 3 = 30000~~ $2^1 < 3 < 2^2$

$\therefore K \geq 2$ 至少 2 位, K 最小为 2

② 考虑 B3 在 10000 次指令中只有一 次不跳转,

因此确保高位每次在 B3 预测时为 1。2.5 最小公倍数为 10, 考虑周期

$N=1$ 时, $P_1 = 50\%$, $P_2 = \frac{2}{5} = 40\% < 80\%$, $P_3 = 80\%$

$N=2$ 时, ~~发现~~ 在两个周期后, 保持计数器在 10 \rightarrow 11 间跳转,

在第 10 周期时变为 $10 \rightarrow 10 \rightarrow 01 \rightarrow 10$ 重复循环

因此 $P_1 = 50\%$, $P_2 = 80\%$, $P_3 = 90\%$

N 至少为 2

(3) 稳态时, 由(1)的分析

B1: 高位保持为 1 $\therefore P_1 = 50\%$

B2: 高位保持为 1 $\therefore P_2 = 80\%$

B3: 每 10 个周期高位出现一次 0, $P_3 = 90\%$

14. 稳态时, 由(3)中的分析, 以 10 个循环为周期

$$2^3 < 10 < 2^4$$

因此 $H_{\min} = 4$

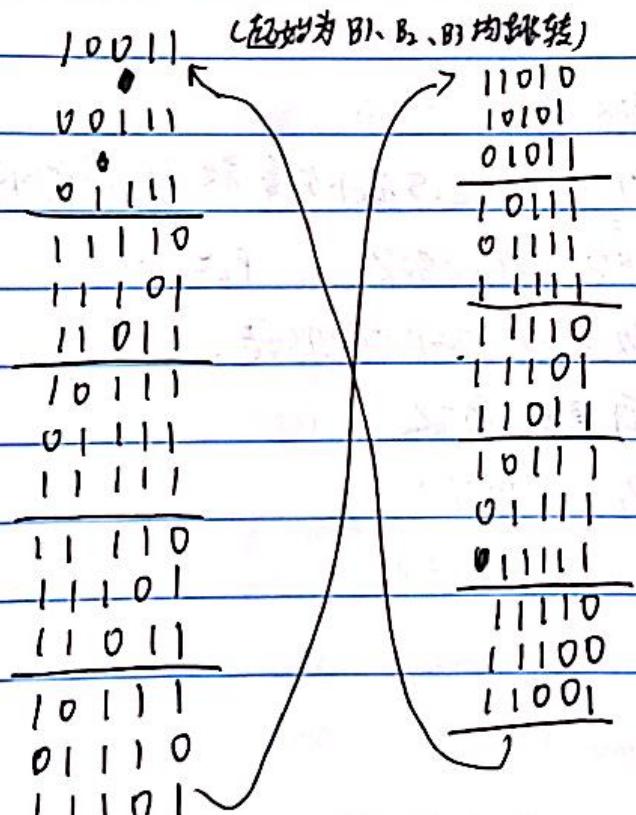
15. $M=1$ 时, 显然不满足 $\therefore M \geq 2$

~~$M=2$ 时, $M=3$ 时, $M=4$ 时, \dots~~ (枚举)

$M=2$ 时, 在出现 $GHR=11$ 时, 之后跳转转为 0, 也可能为 1, 不能确定, 因此 $M \geq 3$

同理 $M \neq 3, M \neq 4$

$M=5$ 时, 以 10 个循环为周期, GHR 变化如下:



此时不会发生 GHR 与 1-bit 计数器

预测表冲突

$$\therefore M_{\min} = 5$$

16. 由循环体可知，共 PQ 次预测，其中 P 次不跳转， Q 次跳转
- A: K 足够大，视为高位始终为 0，因此至预测“不跳转”
- ∴ 准确率为 $\frac{P}{P+Q} = \frac{1}{\alpha}$
- B: K 足够大，且 $P \geq 2$
- ① 外层 for: ~~每 K 个周期~~ $Q+1$ 个指令出现错误， $Q+2$ 到 P 不错误
有 $P-Q-1$ 个正确
- 内层 for: $P(Q+1) - (2Q-2)$ 次正确
- ∴ 正确率 $\frac{P(Q+1) - 2(Q-1) + P - (Q+1)}{PQ} = 1 + \frac{2P-3Q+1}{PQ}$
- $\frac{1}{\alpha} > 1 + \frac{2P-3Q+1}{PQ} \quad \therefore 2P < 3Q-1$

17. Loop: lw a4, 0(a3)
- addi a3, a3, 4
- addi a1, a1, 1
- B1: beqz a4, B2 a_2 初始为 0
- B: addi a2, a2, 1 功能：统计 a_3 指针中前 a_1 有几个非 0
- B2: bneq a1, Loop
- ① 设局部计数器初始为 0，共 8 次循环
- 每 B1: 实际 01010101
预测: 00000000 4 次错误
- B2: 实际: 11111110
预测: 00111111 3 次
共 1 次错误

②

1位全局分支历史，设初始为0

则

$0 \xrightarrow[B1]{ } 0 \xrightarrow[B2]{ } 1 \xrightarrow[B1]{ } 1 \xrightarrow[B2]{ } 0 \xrightarrow[B1]{ } 0 \xrightarrow[B2]{ } 1 \xrightarrow[B1]{ } 1 \xrightarrow[B2]{ } 0 \xrightarrow[B1]{ } 0 \xrightarrow[B2]{ } 1$

$\rightarrow (0 \rightarrow 1) \rightarrow (1 \rightarrow 0)$

$B1 \quad B2$

① GHR = 0 对应跳转

B1：始终为 1，预测错误 5 次

B2：预测错 4 次

② GHR = 1 对应跳转

B1：预测错 4 次

B2：预测错 5 次

∴ 共 9 次错误

③ 2 个全局分支历史，初始为 00

全局预测情况：

$00 \rightarrow (00 \rightarrow 01) \rightarrow (11 \rightarrow 11) \rightarrow (10 \rightarrow 01) \rightarrow (11 \rightarrow 11)$

$\rightarrow (10 \rightarrow 01) \rightarrow (11 \rightarrow 11) \rightarrow (10 \rightarrow 01) \rightarrow (11 \rightarrow 10) \xrightarrow{\text{错误}} (11 \rightarrow 11)$

预测 00 时不跳转，10, 11 时跳转时错误最小

∴ 有 5 次预测错误

- (4) 全局分支历史表位数越大, 稳定前错误率越大, 但稳定时错误率越小, 总体错误率更小。n很大时, 应选择2位全局分支历史表。
- (5) PC值在{0, 1}间随机取值, PC数组中不稳定性更大, 因此2个局部预测器更好。

18. 解: ① 异常可能在指令执行不同阶段被检测, 一个时钟周期可能有多个指令发生异常, 且异常处理程序可能以不同顺序捕捉。
- ② 可以为异常分配优先级按顺序提交。

20. I1: fld f1, 5(a0) 浮点加法器: 1个 2 cycle
- I2: fmul.d f2, f1, f0 乘法器: 1个 10 cycle
- I3: fadd.d f3, f2, f0 load/store单元: 1个 1 cycle
- I4: addi a0, a0, 8
- I5: fld f1, 5(a0)
- I6: fmul.d f2, f1, f1
- I7: fadd.d f2, f2, f3

ID	周期				操作码	目标	源1	源2
	Decode	Issue	WB	committed				
I1	0	1	2	3	fld	T0	a0	-
I2	1	3	13	14	fmul.d	T1	T0	f0
I3	2	14	16	17	fadd.d	T2	T1	f0
I4	3	15	17	18	addi	T3	a0	-
I5	4	17	18	19	fld	T4	T3	-
I6	5	18	28	29	fmul.d	T5	T4	T4
I7	6	29	30	32	fadd.d	T6	T4	T2

22

	周期				op code	目标	源1	源2
I1	Decode(ROB)	Issue	WB	committed				
I2	0	1	2	3	fld	T0	a0	-
I3	1	3	13	14	fmul.d	T1	T0	f0
I4	15 16 17	14 16 18	16 18 19	17 19 20	fadd.d	T2	T1	f0
I5	18 19	19	20	21	addi	T3	a0	-
I6	20	21	31	32	fld	T4	T3	-
I7	22	32	34	35	fmul.d	T5	T4	T4
					fadd.d	T6	T4	T2