

5. 无分支指令 CPI=1

A 的平均分支代价为 $(0.1 \times 0 + 0.9 \times 0.1 \times 0 + 0.9 \times 0.9 \times 0) \times 1 + (0.1 \times 3 + 0.9 \times 0.1 \times 4 + 0.9 \times 0.9 \times 0) \times 1$
 $= 0.39$

B 为 $0.15 \times 2 = 0.3$

故 A 比 B 多花费的平均周期数为 0.09。由基本 CPI 为 1，得 A 比 B 快 $1 - 0.09 = 0.91$ ，快 3.4%。

12. 1) `int a0 = 0;`

`int a4 = 10000;`

`int a1 = a0;`

`while (a1 != a4)`

`{ int a3 = a0 + 2;`

`int a2 = a1 % a3;`

`if (a2 != a0) { code A -- }`

`else { int a3 = a0 + 5;`

`int a2 = a1 % a3; }`

`if (a2 != a0) { -- code B -- }`

`}`

`}`

`a1 += 1;`

(2) 无分支预测时，三条 `bne` 指令发生跳转的比例如下。

B1. 发生跳转，因为 `ren` 指令的结果不为 0

B2. 不发生跳转 为 0

B3: 发生跳转, a1 的值不等于 a4

故比例为 $\frac{2}{3}$

(3) B1 正确, B2 不正确 B3 正确

因此三条 bne 指令的预测准确率为 $\frac{2}{3}$

13. 1) 需要不同的指令序列映射到不同的索引。由于本段代码有 4 条指令, 则至少 4 条索引。局部预测器使用 PC 的第 $[k+2:3]$ 共 k 位索引, 故 $k \geq 4$

$$(1) \text{ bne } (B1) \quad P_1 = \frac{1}{2} \times T = \frac{3}{2}$$

bne2 (对于包含 B1 的历史记录, $P_{21} = P_1 = \frac{3}{2}$

不包含

则直接跳转到 End 标记, 准确率为 100%

$$P_2 = P_{21} \times P(B1) + 1 \times (1 - P(B1)) = \frac{3}{4} P(B1) + \frac{1}{4}$$

bne3 (B3)

$$P_3 = \frac{1}{2} \times T \times P(B2) = \frac{3}{4} P(B1) \times P(B2)$$

当 $T=3$, $N=2$ 的条件下, 三条指令预测准确率

$$P_1 = \frac{1}{2} \times \frac{3}{2}$$

$$P_2 = \frac{3}{4} P(B1) + \frac{1}{4}$$

$$P_3 = \frac{3}{8} P^2(B1)$$

16. A: 内循环无分支指令, 故不跳转

外层循环 i 值在 $[0, p-a]$ 范围内时, j 会依次取到 $[0, a-1]$, 不跳转

i $[p-a+1, p-1]$

$[0, a-1]$, 最后一次跳转

$$\text{准确率} = \frac{1}{p-a+1}$$

5. B: 内循环不跳转、外循环只有 $p > q$ 时才出现

它在 $[q, p-1]$ 时, 内循环取 $1, q-1$ 的值, 最后一次跳到外层循环,
共会跳转 $p-q$ 次.

准确率为 $\frac{q}{p}$

当 $\frac{1}{p-q+1} > \frac{q}{p}$ 时, A 优于 B

即 $q-1 < p < 2q-1$

17.

1) 对于 B1 分支 2 位局部预测器, 00 不 01 不 10 是 11 是
B2 相反

B1、B2 分支交替出现, 共 n 次, 其中 $\frac{n}{2}$ 被正确预测

分支指令实际是在 $loop+4$ 和 B2 位置发生的.

故出现错误的概率 $\frac{n}{2} - 1$

(2) 共同使用一个全局历史记录.

共 n 次, 其中有 $\frac{n-1}{2} + 1$ 正确

(3) $\frac{n-1}{2} + 2$

(4) 随着执行次数的增加, 信息会记录得更加完整

(5) 随机读取时, 都会降低。但相对而言, 全局的表现更好.

18. 原因: 也会有数据相关、跳转、预测错误等原因导致乱序执行

措施: 在出现异常的时候暂停流水线的执行, 在流水线中所有未执行完的指令都被清空。接下来, 异常处理会处理这个异常。处理完成后, 会重新执行。

在这个过程中, 流水线需要维护重排序缓冲区、异常通知寄存器等数据结构