

## 5. 无分支指令 $CPI=1$

$$\begin{aligned} A \text{ 的平均分支代价} &= (0.1 \times 0 + 0.9 \times 0.1 \times 0 + 0.9 \times 0.9 \times 0) \times 1 + (0.1 \times 3 + 0.9 \times 0.1 \times 4 + 0.9 \times 0.9 \times 0) \times 2 \\ &= 0.39 \end{aligned}$$

$$B \quad \Rightarrow \quad 0.15 \times 2 = 0.3$$

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34.9%。

12.11) int a0=0;

int a4=100000;

int a1=a0;

while (a1 != a4)

{ int a3=a0+2;

int a2=a1%a3;

if (a2 != a0) { codeA-- }

else { int a3=a0+5;

int a2=a1%a3; }

if (a2 != a0) { --codeB }

}

}

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， $\alpha_1$  的值不等于  $\alpha_4$

故概率为  $\frac{2}{3}$

(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. (ii) 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  $[l(k+2):3]$  共  $K$  位索引，故  $K \geq 4$

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

$$\text{bne } 2(B2) \text{ 对于包含 B1 的历史记录. } P_{21} = P_1 = \frac{3}{2}$$

不然

则直接跳转到 End 标记，准确率为 100%

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

bne 3(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，三条预测准确率

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

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

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

16. A: 内循环无分支指令，故不跳转

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

$i \in [P-Q+1, P-1]$

$[0, Q-1]$ ，最后一次跳转

$$\text{准确率 } \frac{1}{P-Q+1}$$

5. B: 内循环不跳转、外循环只有  $P > Q$  时才出现

当在  $[Q, P-1]$  时，内循环取  $[0, Q-1]$  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 是走全局路径  
B2 相反

B1、B2 分支交替出现，其次，其中有  $\frac{n}{2}$  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

20.