

	I_1 : ld $a_1, 0(S_1)$	I_2 : mul a_2, a_0, a_2	I_3 : add a_1, a_2, a_2	I_4 : ld $a_2, 0(S_2)$	I_5 : add a_3, a_1, a_2	I_6 : sd $a_3, 0(S_3)$	I_7 : WAW	I_8 : RAW	I_9 : RAW	I_{10} : RAW
I_1	X			X	X	X	X	X	X	X
I_2		X		X	X	X	X	X	X	X
I_3			X				X	X	X	X
I_4				X				X	X	X
I_5					X			X	X	X
I_6						X				X

4. 10个流水=者都处理N条指令, $T_A = T_{\text{pipe}} \times CPI$

$$T_A = T_{\text{pipe}} \times (N - 5 + 1) = T_{\text{pipe}} \times (N - 5 + 1)$$

$$T_A = T_{\text{pipe}} \times \left(N - 5 + 1 + \frac{N}{5}\right) = \frac{6}{5}N - 4 = \frac{6}{5}N \quad (N \gg 4)$$

$$AB \in (2\text{~ns}) \quad T_{A3} = T_{\text{pipe}} \times \left(N - 12 + 1 + \frac{N}{8} \times 3\right) = 0.6 \left(\frac{11}{8}N\right) \quad (N \gg 11)$$

$$\therefore B \text{ 相比 } A \text{ 加速倍数} = \frac{T_B}{T_{A3}} = \frac{\frac{6}{5}N}{\frac{0.6}{8}N} = 1.455$$

$$2) \overline{CP}_{T_A} = 0.8 \times \frac{6}{5} + 0.2 \times 0.95 \times \frac{6}{5} + 0.2 \times 0.05 \times 2 = 10.7$$

$\overline{CP}_{T_A} = 0.8x$ 若不考虑分支预测, 对 A 来说, 平均每条指令周期为 $\frac{26}{5}$; 对 B 来说, 为 $\frac{12 \times 8 + 3}{8}$

$$\overline{CP}_{T_B} = 0.8 \times \frac{26}{5} + 0.2 \left(0.95 \times \frac{26}{5} + 0.05 \times 2 \right) = 4.4096 \approx 5.22$$

$$\overline{CP}_{T_B} = 0.8 \times \frac{119}{8} + 0.2 \left(\frac{119}{8} + 0.05 \times 5 \right) = 14.925$$

b. Loop: 1d $a_1, 0(a_2) - \textcircled{1}$ a_2 初值为 0, a_3 为 100.

addi $a_1, a_1, 1 - \textcircled{2}$

sd $a_1, 0(a_2) - \textcircled{3}$ ①、② 中 a_1 , 有写后读(RAW)

addi $a_2, a_2, 4 - \textcircled{4}$

③、④ 中 a_1 , 有写后读(RAW)

sub $a_4, a_3, a_2 - \textcircled{5}$

⑤、④ 中 a_2 , 有写后读(RAW)

bneq $a_4, \text{Loop} - \textcircled{6}$

⑥、⑤ 中 a_4 , 有写后读(RAW)

(2)

(d) $a_1, 0(0_2)$. IF ID EX MEM WB

addi $a_1, a_1, 1$ IF ID S S EX MEM WB

sd $a_1, 0(a_2)$ IF ID S S S EX MEM WB

addi $a_2, a_2, 4$ IF ID EX MEM S S S WB

sub $a_4, a_3, 6$ IF ID S S S S EX MEM WB

bneq a_4, Loop IF ID S S S S S EX

读图, 一次循环 7 个周期.

MEM
WB

共 25 个周期. ; 共 425 个周期.

循环.

7. $ld\ a_1, 0(a_2)$ IF ID EX MEM WB
 $addi\ a_1, a_1, 1$ IF ID S EX MEM WB
 $sd\ a_1, 0(a_2)$ IF ID S EX MEM WB
 $addi\ a_2, a_2, 4$ IF ID S EX MEM WB
 $sub\ a_4, a_3, a_2$ IF ID S EX MEM WB
 $bneq\ a_4, \text{Loop}$ IF ID S EX MEM WB

(1) 一个循环是1个周期，总共同样时为25个周期 $\Rightarrow C_{\text{总}} = 2500$ (个)

$$\text{12} \times 12 + \cancel{23} \times 11 + \cancel{24} \times 7 + 10 = 178 \quad (4)$$
$$24 \times 12 + 24 \times 11$$

8.

[d $a_1, o(a_2)$] $\sqcap_{\bar{F}} [\bar{F} \bar{D}_1 \bar{D}_2] \bar{D}_1 \bar{D}_2 \bar{E}_1 \bar{E}_2 \bar{M}_1 \bar{M}_2 \bar{W}_1 \bar{W}_2$

addi a₁, a₁, 1 If I_{F2} ID₁ ID₂ S S S EX₁ EX₂ M₁ M₂ W₁ W₂

$s_1 \oplus s_2$ $\vdash \exists x_1 \exists x_2 \exists y_1 \exists y_2 \exists z_1 \exists z_2 \exists w_1 \exists w_2$

addi \$2,\$2,4 JF, JF,D,D,S S S S EX,EX,M,M,W,W

Sub A₄, A₃, A₂ IF I₁ I₂ I₃ I₄ S S S S EX₁ EX₄ M₁ M₂ W₁ W₂

bnez a+, Loop

(1) 预测成功：8周期。

不規則：171週期 ∵ 需要 $8 \times 24 + 1 = 209$ (T).

$$(4) \text{无前馈: } \frac{425}{25 \times 1} = 2-83$$

$$\text{有前情无预测: } \frac{275}{25 \times 6} = 1.03$$

~~有前奏有旋律~~: 1-39
深沉曲(2)

19. 1) add addi ld sd bne jal jalr
要 不要 要 要 不要 不要 要

(2) +

~~lw a4,0(a3)~~ IF ID₁, ID₂ EX MEM WB
~~addw a1,a4,a1~~ IF ID₁, ID₂ S EX MEM WB
~~addiw a2,a2,-1~~ IF ID₁ S EX MEM WB
~~addiw a3,a3,4~~ IF S IS ID₁, ID₂ EX MEM WB
~~bnez a2,loop~~ IF ID₁, S EX MEM WB.

单次循环周期

差 P2

(3)
~~lw a4,0(a3)~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~addw a1,a4,a1~~ IF ID₁, ID₂ S EX MEM WB
~~addiw a2,a2,-1~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~addiw a3,a3,4~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~bnez a2,loop~~ IF ID₁ EX MEM WB.

11个周期

(4)
~~lw a4,0(a3)~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~addw a1,a4,a1~~ IF ID₁ S EX MEM WB.
~~addiw a2,a2,-1~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~addiw a3,a3,4~~ IF ID₁ EX MEM WB
~~bnez a2,loop~~ IF ID₁ EX MEM WB.

10个周期