

考虑以下指令序列：

2. I1: ld a1,0(s1)
- I2: mul a2,a0,a2
- I3: add a1,a2,a2
- I4: ld a2,0(s2)
- I5: add a3,a1,a2
- I6: sd a3,0(s3)

不必考虑内存地址的相关性，在下表中列出所有的数据依赖。

| I1  | I2  | I3  | I4  | I5  | I6 |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| -   | -   | -   | -   | -   | -  |
| X   | -   | -   | -   | -   | -  |
| WAW | RAW | -   | -   | -   | -  |
| X   | WAW | WAR | -   | -   | -  |
| X   | X   | RAW | RAW | -   | -  |
| X   | X   | X   | X   | RAW | -  |

$$4. S_{overall} = \frac{T_A \cdot CPI_A}{T_B \cdot CPI_B} = \frac{1 \times 1.2}{0.6 \times 1.375} \approx 1.455$$

处理器A的时钟周期为  $T_A=1\text{ns}$ ，处理器B的时钟周期为  $T_B=0.6\text{ns}$

带有流水线  $CPI_A = \frac{N-(k-1)+\frac{N}{5}}{N}$  当N很大时  $CPI_A \approx \frac{6}{5} = 1.2$ 。  
级数

$$CPI_B = \frac{N-(k-1)+\frac{3N}{8}}{N} \text{ 当N很大时 } CPI_B \approx \frac{11}{8} = 1.375$$

2) 计算  $CPI_A$ .  $CPI_A = \frac{Ncycle}{NInstruction} \approx \frac{0.8N-(k-1)+\frac{N}{5}+0.2N+0.2N \times 5\% \times 2}{N} = \frac{N-(k-1)+\frac{N}{5}+0.2N \times 5\% \times 2}{N} \text{ 当N即指令数很多时} = 1.22$

$CPI_B = \frac{Ncycle}{NInstruction} = \frac{0.8N-(k-1)+\frac{3N}{8}+0.2N+0.2N \times 5\% \times 5}{N} = \frac{11}{8} + 0.2 \times 5\% \times 5 = 1.375 + 0.05 = 1.425 \text{ 当N充分大时}$

6. Loop: I1: ld a1,0(a2)

I2: addi a1,a1,1

I3: sd a1,0(a2)

I4: addi a2,a2,4

I5: sub a4,a3,a2

I6: bnez a4,Loop

D

| I1      | I2  | I3  | I4  | I5  | I6 |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|
| -       | -   | -   | -   | -   | -  |
| WAW,RAW | -   | -   | -   | -   | -  |
| X       | RAW | -   | -   | -   | -  |
| X       | X   | WAR | -   | -   | -  |
| X       | X   | X   | RAW | -   | -  |
| X       | X   | X   | X   | RAW | -  |

|              | 1  | 2  | 3  | 4   | 5  | 6   | 7  | 8   | 9  | 10  | 11 | 12 | 13  | 14 | 15  | 16 | 17 | 18 |
|--------------|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|
| ld a1,0(a2)  | IF | ID | EX | MEM | WB |     |    |     |    |     |    |    |     |    |     |    |    |    |
| addi a1,a1,1 |    | IF | ID | S   | EX | MEM | WB |     |    |     |    |    |     |    |     |    |    |    |
| sd a1,0(a2)  |    | IF | S  | S   | ID | S   | EX | MEM | WB |     |    |    |     |    |     |    |    |    |
| addi a2,a2,4 |    |    |    |     | IF | S   | S  | ID  | EX | MEM | WB |    |     |    |     |    |    |    |
| sub a4,a3,a2 |    |    |    |     |    |     |    | IF  | ID | S   | S  | EX | MEM | WB |     |    |    |    |
| bnez a4,Loop |    |    |    |     |    |     |    |     | IF | S   | S  | ID | S   | EX | MEM | WB |    |    |

2) 一个循环需要18个时钟周期，总共需要25个循环之后才能完成指令内容的执行

$$t_{cycle\_总} = t_{cycle} \times N_{cycle} = 18 \times 25 = 450 \text{ 个时钟周期}$$

7. 1) 相比无前馈电路此时一个循环需要11个时钟周期，需要25个循环。

$$t_{cycle\_总} = 11 \times 25 = 275 \text{ 个时钟周期}$$

|              | 1  | 2  | 3  | 4   | 5  | 6   | 7   | 8   | 9  | 10  | 11 | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|
| ld a1,0(a2)  | IF | ID | EX | MEM | WB |     |     |     |    |     |    |     |    |    |    |    |    |
| addi a1,a1,1 |    | IF | ID | S   | EX | MEM | WB  |     |    |     |    |     |    |    |    |    |    |
| sd a1,0(a2)  |    |    | IF | S   | ID | EX  | MEM | WB  |    |     |    |     |    |    |    |    |    |
| addi a2,a2,4 |    |    |    |     | IF | ID  | EX  | MEM | WB |     |    |     |    |    |    |    |    |
| sub a4,a3,a2 |    |    |    |     |    | IF  | ID  | S   | EX | MEM | WB |     |    |    |    |    |    |
| bnez a4,Loop |    |    |    |     |    |     | IF  | S   | ID | S   | EX | MEM | WB |    |    |    |    |

8 (1)  $t_{cycle} = 12 \quad t_{cycle\_总} = 10 + 24 \times 12 + 1 = 309 \text{ 个时钟周期}$

(2)  $N_{指令总} = 25 \times 6 = 150, CPI_B = \frac{N_{cycles}}{N_{指令总}} = \frac{450}{150} = 3$

$$CPI_{7-1} = \frac{275}{150} = 1.83$$

$$CPI_{7-2} = \frac{179}{150} = 1.193$$

$$CPI_{8-1} = \frac{309}{150} = 2.06$$

|              | 1  | 2  | 3  | 4   | 5  | 6   | 7   | 8  | 9   | 10  | 11 | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|--------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ld a1,0(a2)  | IF | ID | EX | MEM | WB |     |     |    |     |     |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| addi a1,a1,1 |    | IF | ID | S   | EX | MEM | WB  |    |     |     |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| sd a1,0(a2)  |    |    | IF | S   | ID | EX  | MEM | WB |     |     |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| addi a2,a2,4 |    |    |    |     | IF | ID  | S   | EX | MEM | WB  |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| sub a4,a3,a2 |    |    |    |     |    | IF  | S   | ID | EX  | MEM | WB |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| bnez a4,Loop |    |    |    |     |    |     | IF  | S  | ID  | S   | EX | MEM | WB |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

19. 基础的5级RISC流水线能够单周期完成ID阶段的前提是寄存器堆拥有至少2个读端口以同时读出2个源操作数。假设某个系统仅能使用具有单个读端口的寄存器堆，这将导致流水线面临结构冲突。为此，拥有两个源操作数寄存器的指令的ID阶段需要被拆分为两周期完成，单个源操作数寄存器指令则不受影响。

1) 标记下表中的指令是否需要两周期完成ID阶段。

|          | add | addi | ld | sd | bne | jal | jalr |
|----------|-----|------|----|----|-----|-----|------|
| 是否需要2周期？ | ✓   | ✗    | ✗  | ✓  | ✓   | ✗   | ✗    |

2) 考虑以下指令序列：

Loop: lw a4,0(a3)

addw a1,a4,a1

addiw a2,a2,-1

addiw a3,a3,4

bne a2,Loop

|                | 1  | 2  | 3  | 4   | 5  | 6   | 7   | 8   | 9  | 10  | 11 | 12 | 13 |
|----------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|
| lw a4,0(a3)    | IF | ID | EX | MEM | WB |     |     |     |    |     |    |    |    |
| addw a1,a4,a1  |    | IF | ID | S   | EX | MEM | WB  |     |    |     |    |    |    |
| addiw a2,a2,-1 |    |    | IF | S   | ID | EX  | MEM | WB  |    |     |    |    |    |
| addiw a3,a3,4  |    |    |    |     | IF | ID  | EX  | MEM | WB |     |    |    |    |
| bne a2,Loop    |    |    |    |     |    | IF  | ID  | S   | EX | MEM | WB |    |    |