

1. 一条静态流水线有 6 个功能段组成，加法操作使用其中的 1、2、3、6 功能段，乘法操作使用其中的 1、4、5、6 功能段，每个功能段的延迟时间均相等。流水线的输出端与输入端之间有直接的数据通路，而且设置有足够的缓冲寄存器。用这条流水线计算 $F = \sum_{i=1}^6 (A_i \times B_i)$ ，画出流水线时空图，并计算流水线的实际吞吐率、加速比和效率。

分析：

加法和乘法的流水线时空图分别为

加法

	1	2	3	4
1	√			
2		√		
3			√	
4				
5				
6				√

乘法

	1	2	3	4
1	√			
2				
3				
4		√		
5			√	
6				√

下面分情况讨论公式 $F = \sum_{i=1}^6 A_i \times B_i$ 执行时的时空图

情况 1：对于公式 $F = \sum_{i=1}^6 A_i \times B_i$ 按照如下代码计算，即加法和乘法交替进行

```
1. for(int i=1;i<=6;++i)
2.     F+=Ai*Bi;
```

则流水线的时空图为（m 表示乘法，a 表示加法）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	m	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m	a			
2			a		a		a		a		a		a		
3				a		a		a		a		a		a	
4		m		m		m		m		m		m			
5			m		m		m		m		m		m		
6				m	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m	a

$$\text{此时吞吐率}=\frac{12}{15\times\Delta t}=\frac{4}{5\Delta t}$$

$$\text{加速比}=12\times\frac{4}{15}=3.2$$

$$\text{效率}=\frac{12\times4}{6\times15}=\frac{8}{15}$$

情况 2：对于公式 $F=\sum_{i=1}^6 A_i\times B_i$,如果按照先执行 6 次乘法，之后执行 6 次加法，则流水线的时空图如下所示：（m 表示乘法，a 表示加法）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	m	m	m	m	m	m				a	a	a	a	a	a			
2											a	a	a	a	a	a		
3												a	a	a	a	a	a	
4		m	m	m	m	m	m											
5			m	m	m	m	m	m										
6				m	m	m	m	m	m				a	a	a	a	a	a

$$\text{此时吞吐率}=\frac{12}{18\times\Delta t}=\frac{2}{3\Delta t}$$

$$\text{加速比}=12\times\frac{4}{18}=\frac{8}{3}$$

$$\text{效率}=\frac{12\times4}{6\times18}=\frac{4}{9}$$

2. 一条由 4 个功能段组成的非线性流水线的预约表如下，每个功能段的延迟时间都为 Δt ,

	1	2	3	4	5	6
S_1	×					×
S_2		×		×		
S_3			×			
S_4				×	×	

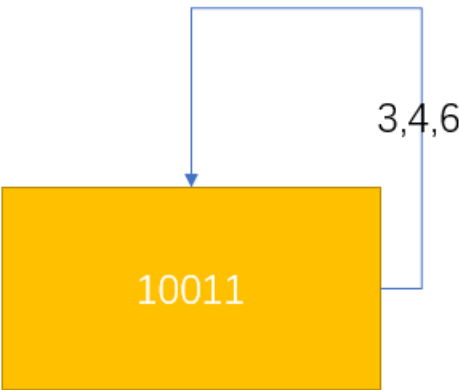
- 1) 写出流水线的禁止向量和初始冲突向量。
- 2) 画出调度流水线的状态图。
- 3) 求流水线的最小启动循环和最小平均启动距离。

1. 根据题中流水线执行的时空图可知，禁止向量 $C = (5, 2, 1)$
 初始冲突向量 $v_0 = (1, 0, 0, 1, 1)$

2. 将初始冲突向量不断向右移位，并与初始冲突向量进行按位或运算，如下所示

右移位数	5	4	3	2	1	Op	5	4	3	2	1	=	5	4	3	2	1
3	0	0	0	1	0	V	1	0	0	1	1	=	1	0	0	1	1
4	0	0	0	0	1	V	1	0	0	1	1	=	1	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	V	1	0	0	1	1	=	1	0	0	1	1

因此可以画出流水线的状态转化图



3. 调度方案如下

调度方案	启动距离
3	3
4	4
3,4	3.5
3,4,3	3.3
3,3,4	3.3
4,3,3	3.3
6	6
...	...

因此，最小启动循环为（3），最小启动距离为 3，此时流水线执行的时空图为

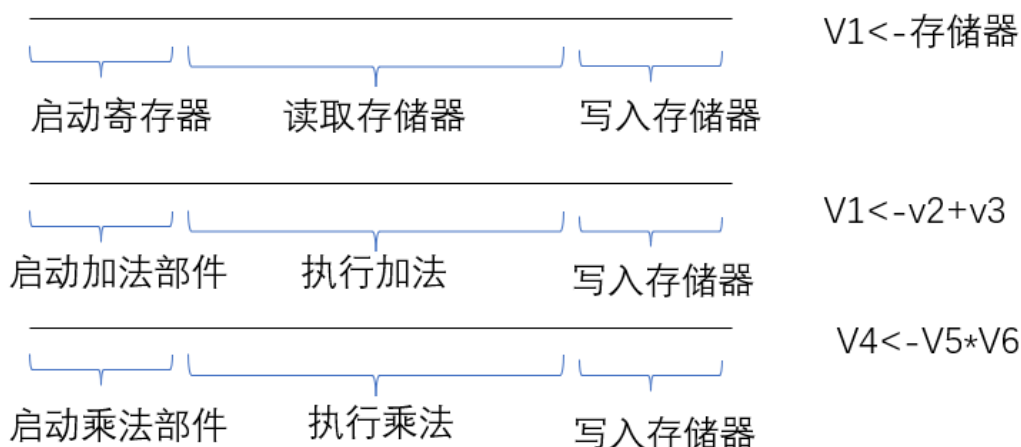
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	F1			F2			F3				
2		F1		F1	F2		F2	F3		F3	
3			F1			F2			F3		
4				F1	F1		F2	F2		F3	F3

3. 假设向量长度均为 64，在 CRAY-1 机上所用浮点功能部件的执行时间分别为：相加 6 拍，相乘 7 拍，求倒数近似值 14 拍；在存储器读数 6 拍，打入寄存器及启动功能部件各 1 拍。问下列各指令组内的哪些指令可以链接？哪些指令不可链接？不能链接的原因是什么？分别计算出各指令组全部完成所需的拍数。

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| (1) $V0 \leftarrow \text{存储器}$ | (2) $V2 \leftarrow V0 \times V1$ |
| $V1 \leftarrow V2 + V3$ | $V3 \leftarrow \text{存储器}$ |
| $V4 \leftarrow V5 \times V6$ | $V4 \leftarrow V0 + V3$ |
| (3) $V0 \leftarrow \text{存储器}$ | (4) $V0 \leftarrow \text{存储器}$ |
| $V2 \leftarrow V0 \times V1$ | $V1 \leftarrow 1/V0$ |
| $V3 \leftarrow V2 + V0$ | $V3 \leftarrow V1 \times V2$ |
| $V5 \leftarrow V3 + V4$ | $V5 \leftarrow V3 + V4$ |

分析：

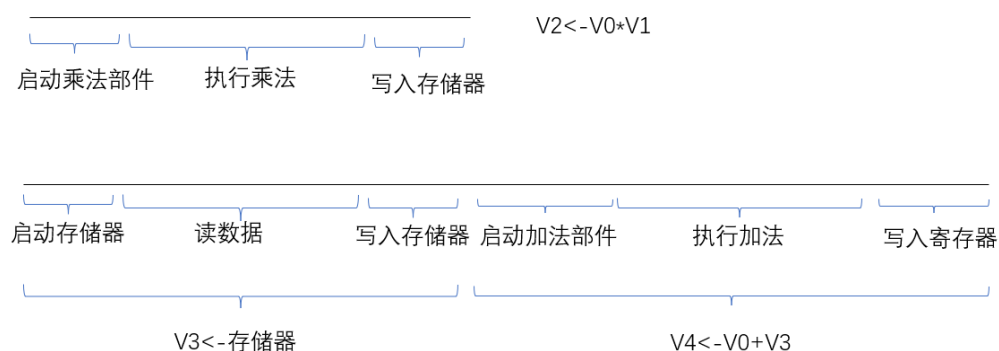
- (1) 不可以，因为三条指令之间不存在写入相关，因此可以三条指令同时并行执行,如下所示：



此时需要花费的时间为

$$t = \max\{1 + 6 + 1 + (64 - 1), 1 + 6 + 1 + (64 - 1), 1 + 7 + 1 + (64 - 1)\} = 72$$

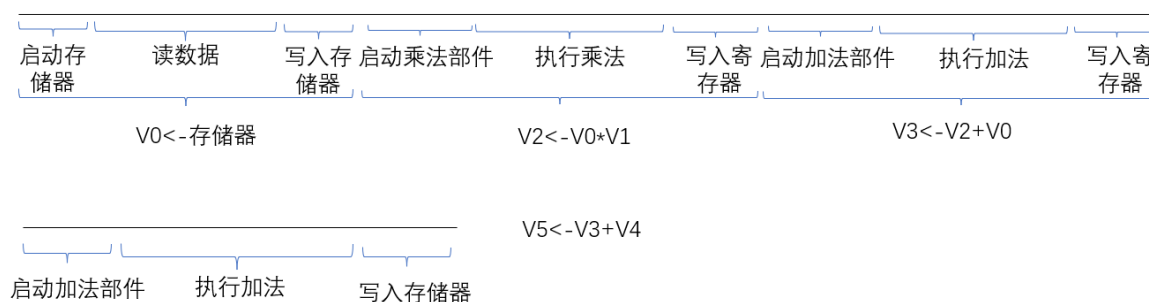
- (2) 可以，第三条指令需要用到第二条指令的执行结果，存在写入相关，因此可以连接成为一个大的流水线。执行示意图如下



此时执行时间

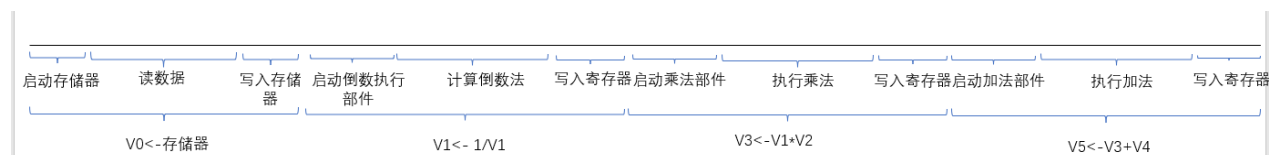
$$t = \max\{1 + 7 + 1 + (64 - 1), 1 + 6 + 1 + 1 + 6 + 1 + (64 - 1)\} = 79$$

- (3) 可以，指令 1, 2, 3 可以链接执行，但是指令 4 也需要使用加法器，因此无法与指令 1, 2, 3 同时链接执行。因此指令执行示意图为



此时执行时间为 $t = 1 + 6 + 1 + 1 + 7 + 1 + 1 + 6 + 1 + (64 - 1) + 1 + 6 + 1 + (64 - 1) = 88 + 71 = 159$

- (4) 指令 1 到指令 4 可以链接为一个大的流水线，此时示意图为



此时执行时间为

$$t = (1 + 6 + 1) + (1 + 14 + 1) + (1 + 7 + 1) + (1 + 6 + 1) + 64 - 1 = 104$$