

## 计算机系统结构第三次作业参考答案

### 多功能流水线

有一条动态多功能流水线由 6 个部件组成，这 6 个部件分别标记为 S1, S2, S3, S4, S5, S6，各个部件的运行时间均为 50ns。如果 S1, S4, S5, S6 组成乘法流水线，S1, S2, S3, S6 组成加法流水线，假设该流水线的输出结果可以直接返回输入端，而且设置有足够的缓冲寄存器，如果以最快的方法用流水线计算  $\sum_{i=1}^5 x_i * y_i * z_i$

- 1、请画出时空图
- 2、请计算实际的吞吐率、加速比和效率

#### 主要问题：

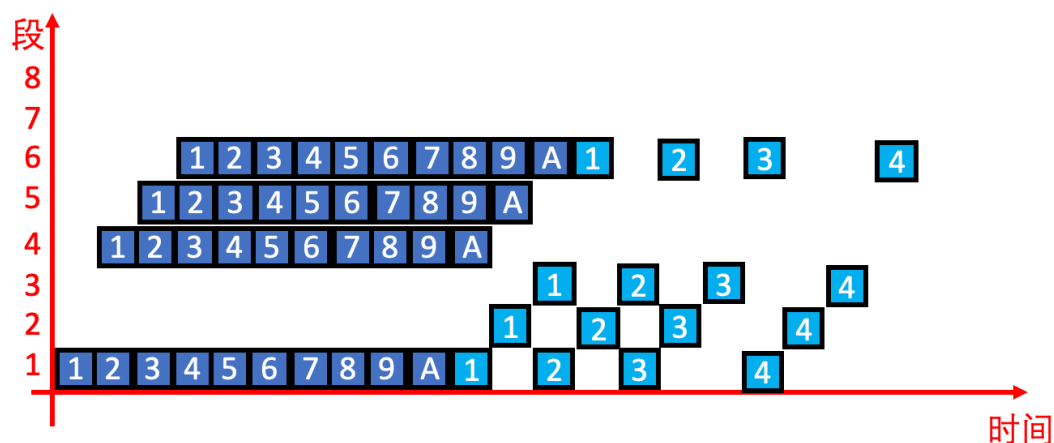
本题的问题并不大，只要时空图画对了基本上大部分同学都计算获得了正确的答案。

解：

1.

共需执行 10 次乘法，4 次加法。我们分别使用深蓝色代表乘法（用 1-A 表示十次计算）用浅蓝色表示加法（用 1-4 表示 4 次计算）

时空图如下



2.

吞吐率为：

$$TP = \frac{14}{22 * \Delta t} = 1.27 * 10^7 / s$$

加速比为：

$$S = \frac{14 * 4 * \Delta t}{22 * \Delta t} = 2.545$$

效率为：

$$E = \frac{14 * 4 * \Delta t}{6 * 22 * \Delta t} = 42.4\%$$

### 非线性流水线调度

假设有一个 5 段的非线性流水线，他的各个执行阶段用时均为  $t$ ，其预约表如下：

	1	2	3	4	5	6	7
S1	X						X
S2		X			X		
S3			X	X			
S4				X			X
S5					X	X	

1、请画出流水线任务调度的状态转移图

2、如果允许不等时间间隔调度，请问最优的调度策略是什么，在这样的调度策略下，流水线的最大吞吐率是多少

3、如果连续输入 10 个任务，采用上述最优调度策略时流水线的实际吞吐率和加速比分别是多少

**主要问题：**

1、有部分同学通过插入延迟段的形式给出了一个最优调度策略为 2，这样计算得到的这个在判作业的时候没有扣分，不过标出来供大家注意。不过尽管题目中并没有明确规定不允许插入延迟段，但是毕竟这个方法修改了题目中给出的预约表，至少不能够被认为是一种常规的方法吧。不过，不可否认的是本题题面确实也有不严谨的地方，在此向大家致歉。

2、在画状态转移图的时候请不要忘记画 7+ 的线

3、请不要忘记吞吐率必然和  $\Delta t$  相关，有些同学计算得到的吞吐率中没有这一项

4、连续输入 9 个任务，一共需要花费  $9 \times 3 = 27t$  的时间，而最后一个任务在等他们全部输入之后再输入，再需要  $7t$  的时间就必然能够执行结束，因此总花费时间为  $34t$  时间

解：

1. 状态转移图使用如下表格表示

源节点	右移位数	目标节点
100101（起始冲突向量）	2	101101
	4	100111
	5	100101
	7+	100101
101101	2	101111
	5	100101
	7+	100101
100111	4	100111
	5	100101
	7+	100101
101111	5	100101
	7+	100101

2.

不等时间间隔最优调度策略为  $(2, 2, 5)$ ，平均延迟为  $3\Delta t$ 。由此可以得到最大吞吐率为：

$$TP_{max} = \frac{1}{3 * \Delta t}$$

3.

连续输入 10 个任务，流水线的实际吞吐率为

$$TP = \frac{10}{(7 + 9 * 3) * \Delta t} = \frac{10}{34 * \Delta t}$$

加速比为：

$$S = \frac{10 * 7 * \Delta t}{34 * \Delta t} = 2.059$$

### 记分牌算法

考虑如下的一段汇编程序：

L.D F2, 0(R1)

MUL.D F4, F2, F3

L.D F3, 0(R2)

ADD.D F3, F4, F3

ADD.D F5, F5, F2

DIV.D F6, F5, F3

其中 L.D 表示 LOAD 指令，它需要用 2 个时钟周期完成；MUL.D 表示乘法指令；它需要用 10 个时钟周期完成；ADD.D 表示加法指令，它需要用 2 个时钟周期完成；DIV.D 表示除法指令，它需要用 40 个时钟周期完成。已知功能部件包括：一个访存部件（Integer），两个加法器（Add1, Add2），一个乘法器（Mult）和一个除法器（Divide），此外共有 7 个浮点寄存器分别标记为 F0 到 F6。

根据记分牌算法请问：

1、MUL.D 指令，两条 ADD.D 指令和 DIV.D 指令分别第几个周期发射（Issue），整个汇编程序在第几个时钟周期执行完成？

**主要问题：**

1、需要注意，记分牌算法在发射指令时，需要先检测 WAW 冲突，因此在本题中，第一条 ADD 发射时，F3 处存在和 LD 的 WAW 冲突，因此只能等到 11 周期才能发射。

2、需要注意在记分牌算法中 Qj, Rj 等的具体含义：Qj 是产生操作数 j 的功能部件，Rj 为 yes 表示 Fj 中的操作数就绪且还未被取走（也就是说有只有这两个条件都满足的时候 Rj 才是 yes）

3、需要注意在 Add2 写回结果的那个周期的前半段它的目标寄存器 F5 依旧会指示 Add2（因为此时仅仅是写回周期之初，因此还没有完全被写入 F5），但是在后半段这个位置将被清空。不过由于题目中描述的不是很清楚，因此没有写 Add2 的同学也只是圈出来提醒你注意，并没有因此扣分。本题题面存在不严谨的地方，在此向大家致歉。

4、此外需要注意记分牌算法是顺序发射的，因此除法指令只能在第 12 周期之后发射。

解：

MUL.D 指令在第 2 周期发射；  
第一条 ADD.D 指令在第 11 周期发射；  
第二条 ADD.D 指令在第 12 周期发射；  
DIV.D 指令在第 13 周期发射；  
整个汇编程序在第 63 周期执行完成

2、请填写第一条 ADD.D 指令发射的那个周期下表中所示的各个功能部件的状态（各字母的含义以及填写规范应和课件中保持一致）：

解：

	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	No								
Add 1	Yes	ADD	F3	F4	F3	Mult		No	Yes
Add 2	No								
Mult	Yes	MUL	F4	F2	F3			No	No
Divide	No								

3、请填写第二条 ADD.D 指令写回结果的那个周期各个寄存器的状态

解：

	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6
FU				Add 1	Mult	Add 2	Divide