

## 作业 4 乱序执行

已知某个采用 Tomasulo 算法实现乱序执行的处理器信息如下：

- 该处理器的前端分为 fetch 和 decode 两个阶段，fetch 和 decode 操作都只需要 1 个时钟周期
- 该处理器只能执行寄存器类型的指令，例如， $OP\ R\_dest \leftarrow R\_src1, R\_src2$
- 该处理器每个周期按照指令顺序发送 1 条指令到保留站，指令发送在 decode 阶段完成
- 一条指令被发送到某功能单元的保留站时，按照从上到下的顺序分配保留站空位（如果有空闲的话）
- 当保留站中的指令完成时，将该指令从保留站删除
- 加法和乘法都没有实现 pipeline，分别需要 2 个周期和 3 个周期完成
- 加法和乘法的结果将在 writeback 阶段在总线上广播，需要这些结果的指令最早可以在 writeback 之后的下个时钟周期开始执行（如果所有的操作数都准备好了）
- 当某个功能单元有多个指令都满足可以执行的条件时，按照指令发送的顺序选择最早的指令开始执行

初始时，该处理器上没有任何指令。已知有 4 条指令按照顺序分别发送到了相应的保留站，当第 4 条指令发送完后寄存器和保留站的状态如下图(tag 表示要提供该数据的保留站 ID，0 表示数据已经 ready)：

寄存器表

Reg	Tag	Value
R0	-	-
R1	A	5
R2	0	8
R3	E	-
R4	B	-
R5	-	-

加法保留站

ID	Tag	Value	Tag	Value
A	D	-	0	8
B	A	-	A	-
C	-	-	-	-

乘法保留站

ID	Tag	Value	Tag	Value
D	0	5	0	5
E	A	-	B	-
F	-	-	-	-

1. 按照顺序给出发射的 4 条指令分别是什么（格式： $OP\ R\_dest \leftarrow R\_src1, R\_src2$ ）？
2. 画出 12 个周期结束后寄存器和保留站的状态。