流水线
Pipeline

2023.6.20

刘祎禹

简单执行流程

- 逐个指令执行

运算指令

1. 读取指令
2. 从寄存器读取数据
3. 计算
4. 存回寄存器

跳转指令

1. 读取指令
2. 从寄存器读取数据
3. 比较数据
4. 修改 PC

读取内存指令

1. 读取指令
2. 从内存读取数据
3. 将数据存到寄存器

写入内存指令

1. 读取指令
2. 从寄存器读取数据
3. 将数据写到内存

简单执行流程

- 逐个指令执行
- 每个指令中的电路比较复杂 – 时延较大
- 拆分指令 – 但是这仍然不能解决问题

运算指令

1. 读取指令
2. 从寄存器读取数据
3. 计算
4. 存回寄存器

简单执行流程

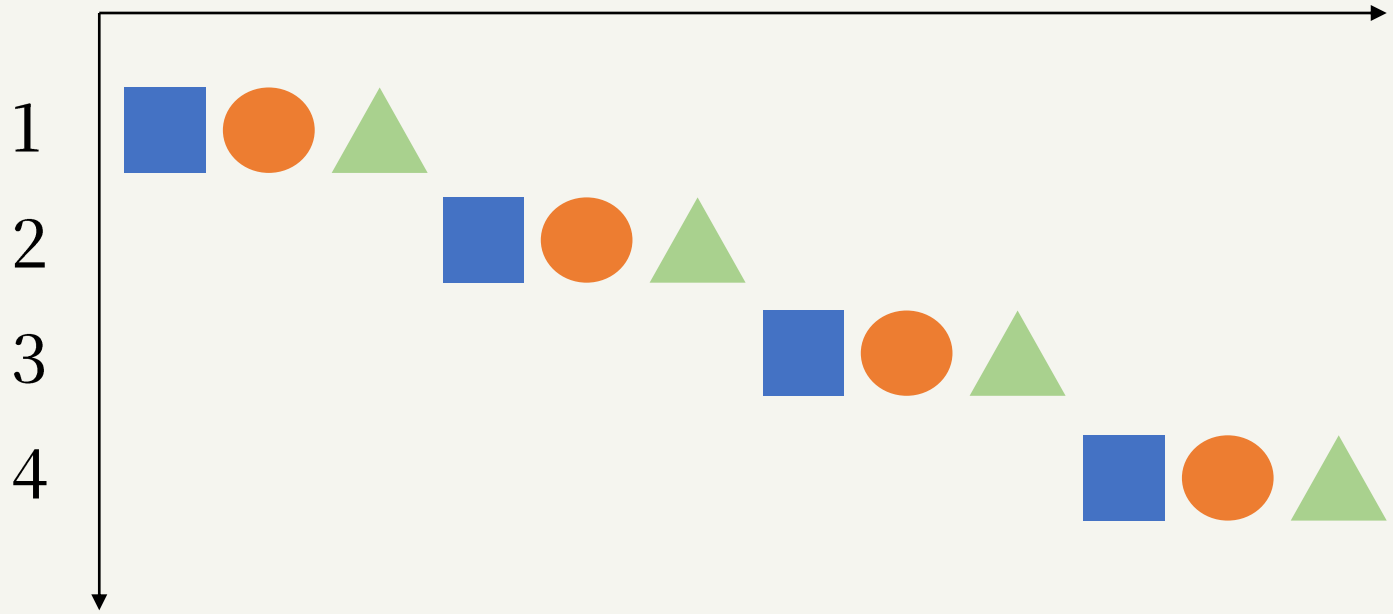
- 逐个指令执行
- 每个指令中的电路比较复杂 – 时延较大
- 拆分指令 – 但是这仍然不能解决问题
- 观察到一个指令的几个小步骤是单独的模块

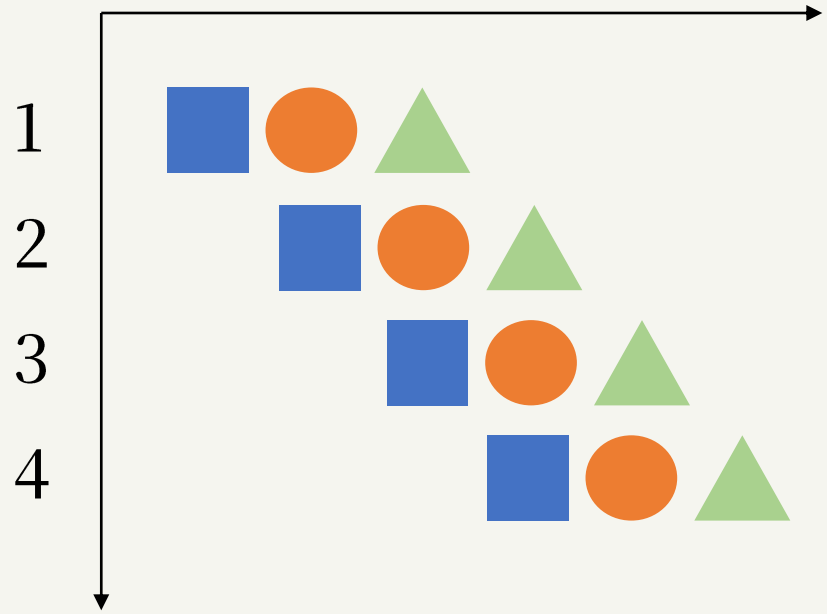
运算指令

1. 读取指令
2. 从寄存器读取数据
3. 计算
4. 存回寄存器

流水线

- 拆分指令
- 利用不同部分可同时运行，可进行流水线优化

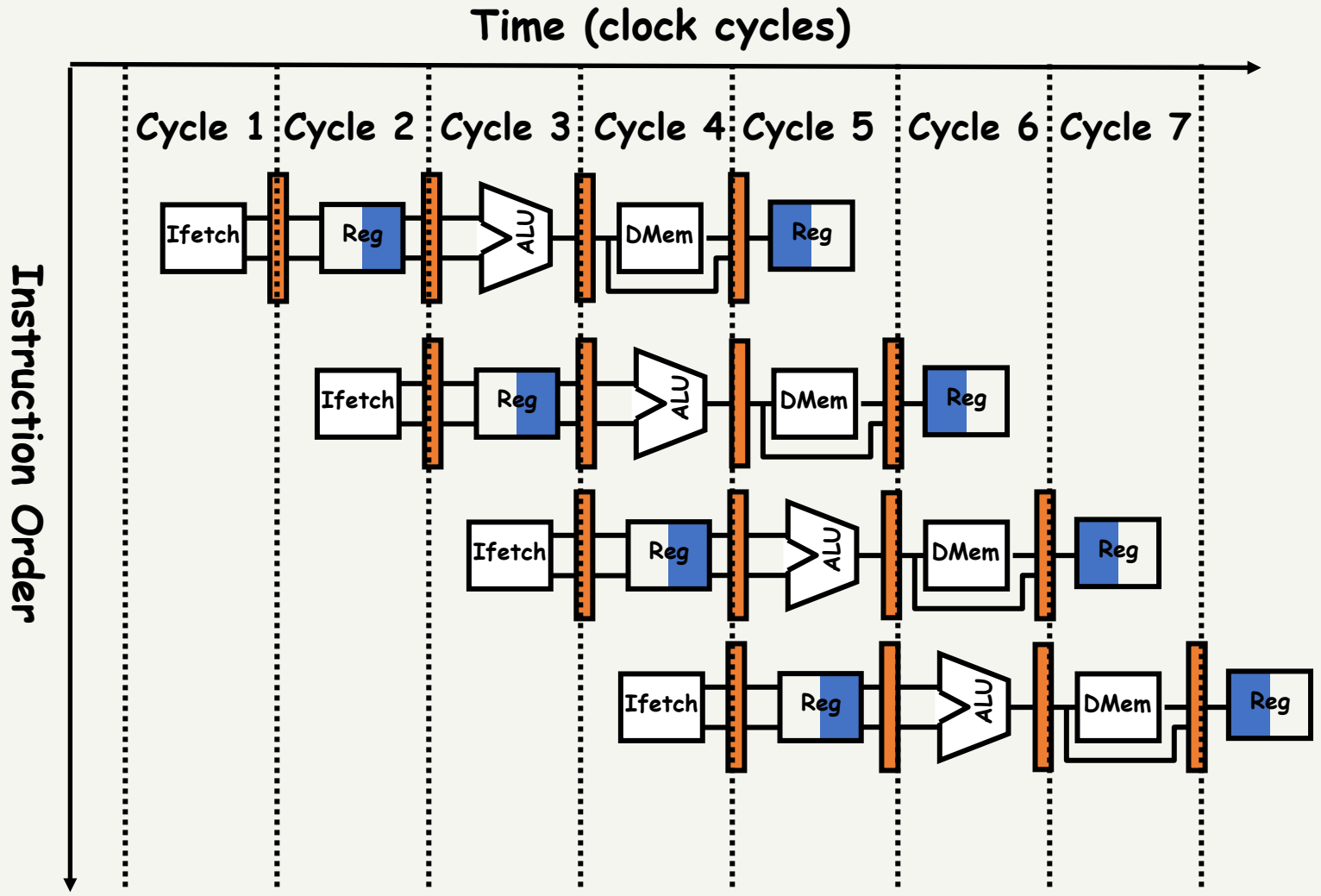




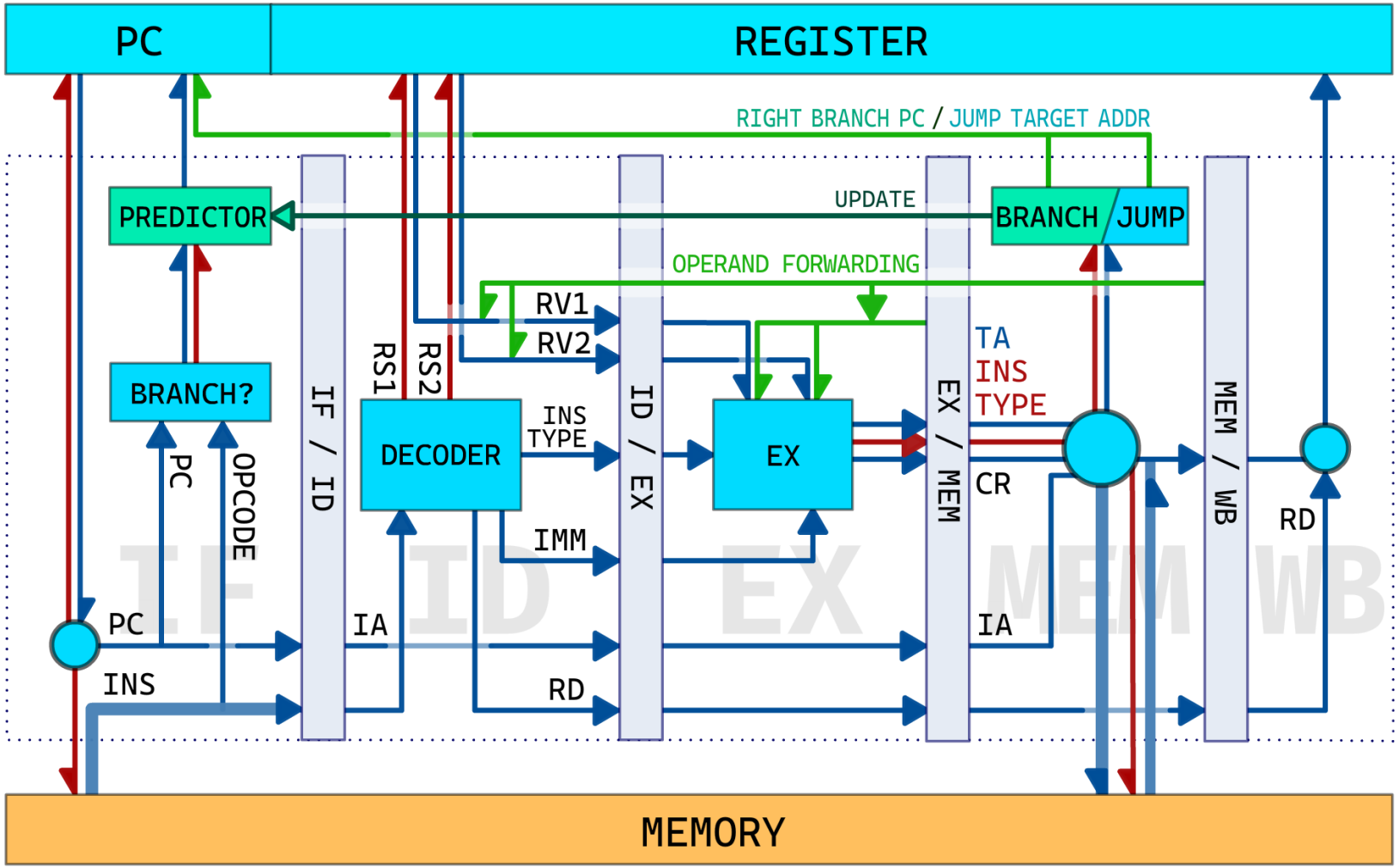
流水线 – 5 个阶段

1. IF (Instruction Fetch): 读取指令
2. ID (Instruction Decode): 解析指令
   - 读取寄存器
   - 处理立即数
3. EX (Execution): 运算 (使用 Arithmetic Logic Unit, ALU)
4. MEM: 访存
5. WB (Write Back): 写回寄存器

流水线－5 个阶段


Time (clock cycles)
Cycle 1
Cycle 2
Cycle 3
Cycle 4
Cycle 5
Cycle 6
Cycle 7
Instruction Order
Ifetch
Reg
ALU
DMem
Reg

流水线 - 5 个阶段


PC
REGISTER
RIGHT BRANCH PC / JUMP TARGET ADDR
UPDATE
PREDICTOR
BRANCH
JUMP
OPERAND FORWARDING
RV1
RV2
RS1
RS2
TA
INS
TYPE
BRANCH?
IF / ID
DECODER
INS
TYPE
ID / EX
EX
EX / MEM
MEM / WB
CR
RD
PC
OPCODE
IMM
IA
IA
PC
INS
RD
IF
ID
EX
MEM
WB
MEMORY

潜在问题 (Hazard)

Hazards

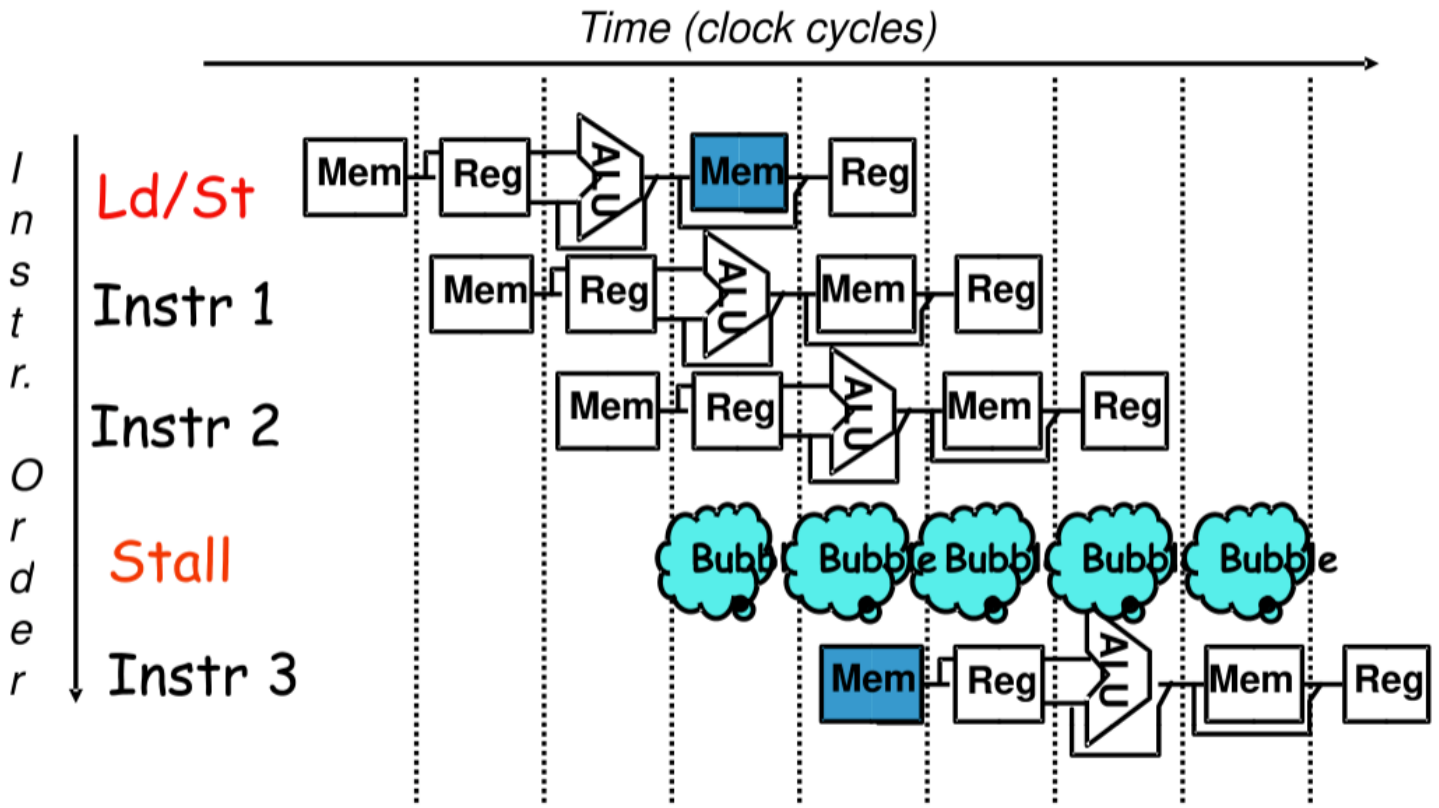
- Structural Hazards
- Data Hazards
- Control Hazards

Structural Hazards

- 受到物理特性的影响，有些操作会产生问题
- 核心问题：每个处理模块并不完全流水线化
  - 比如寄存器不能同时被两个值赋值
- 解决思路：避免冲突
  - 可以让后面的指令先不要执行 – 使用 bubble

Structural Hazards

Insert Stall—simplest way



Data Hazards

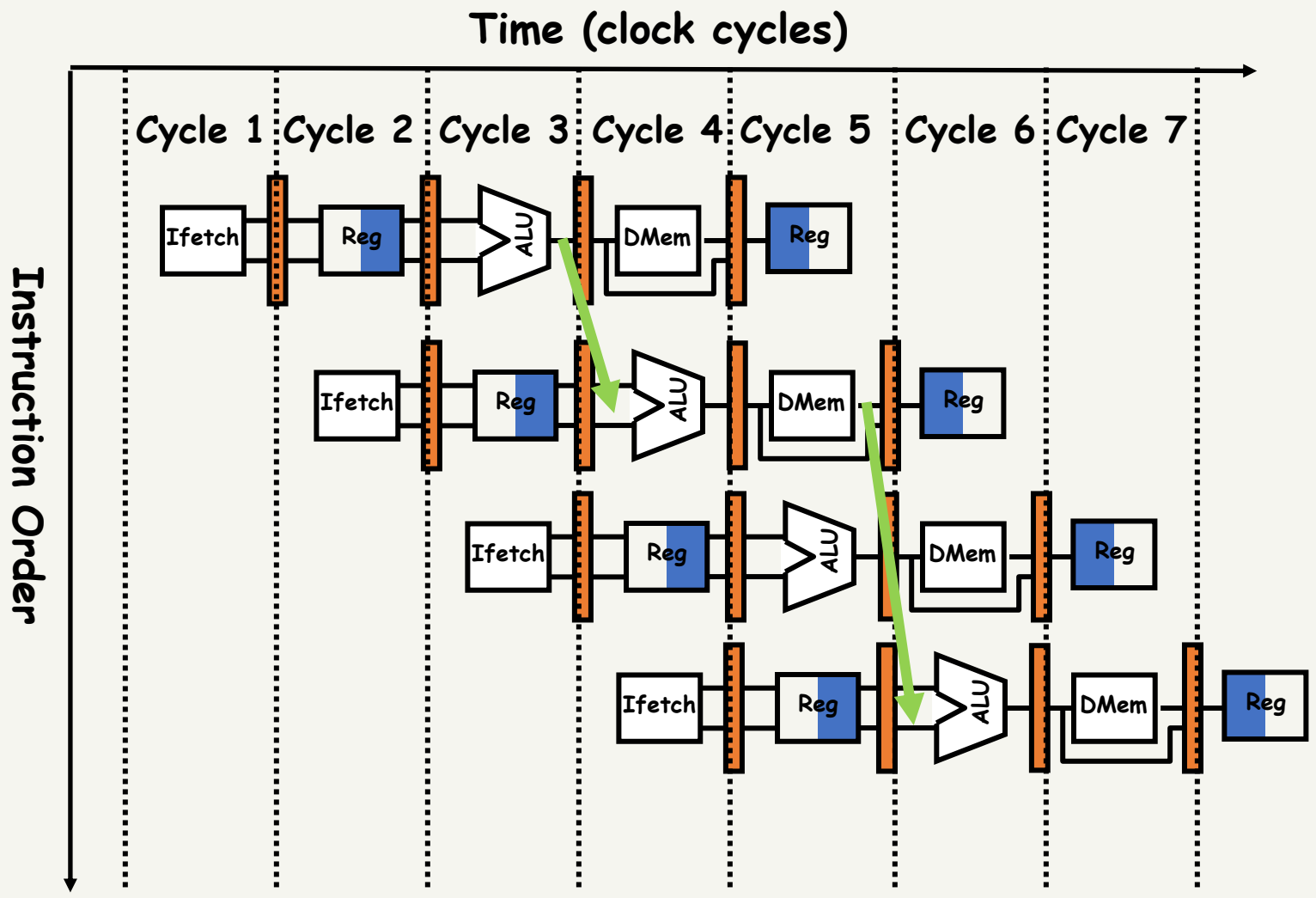
- 写入/读取寄存器的顺序
  - Read after Write
  - Write after Read – 五级流水不存在此问题
  - Write after Write – 五级流水不存在此问题

Data Hazards – Read after Write

- Write 阶段在 Read 之后三个周期
- 三个周期内读取到的寄存器的值都是旧的数据
- Write 指令的后三个指令一旦需要读取 Write 指令的结果，就必须等到 Write 指令将结果写回寄存器
  - 添加 bubble
  - **Forward**

Forward

- 计算到需要的结果之后即可直接传输到需要的单元
- ~~硬件里，如果要快，就多加 forward 线~~



Control Hazards

- 分支指令后面执行的指令无法立刻确定
- 需要等分支指令执行完成后才可确定
- 方案1：执行到分支之后需要 stall，直到分支指令计算完成
- 方案2：分支预测
  - 预测正确，继续执行
  - 预测错误，清空 pipeline

分支预测

- 2 位饱和计数器
  - 四个状态: 00, 01, 10, 11
  - 第一位表示下次预测是否跳转
  - 每次跳转状态数字 +1 (11 不加)
  - 每次不跳转状态数字 -1 (00 不减)
- Local/Global
- 作业中要求至少实现 2 位分支预测，且统计预测准确率

谢谢