计算机系统结构

第六讲流水线冲突（1）

冯丹

武汉光电国家研究中心

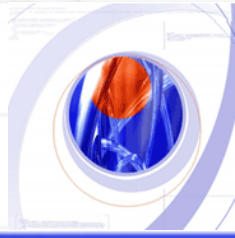
华中科技大学
HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

1. 流水线冲突

- 流水线冲突
  - 流水线冲突是指对于具体的流水线来说，由于相关等原因的存在使得指令流中的下一条指令不能在指定的时钟周期执行。
- 流水线冲突分类
  - 结构冲突：因硬件资源满足不了指令重叠执行的要求而发生的冲突。
  - 数据冲突：当指令在流水线中重叠执行时，因需要用到前面指令的执行结果而发生的冲突。
  - 控制冲突：流水线遇到分支指令和其它会改变PC值的指令所引起的冲突。

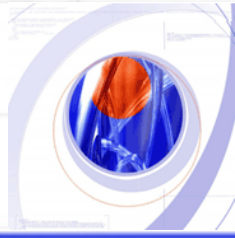
2. 问题与基本解决方法

- 问题
  - 导致错误的执行结果。
  - 流水线可能会出现停顿，从而降低流水线的效率和实际的加速比。
- 基本解决方法
  - 暂停部分指令执行：当一条指令被暂停时，在该暂停指令之后流出的所有指令都要被暂停，而在该暂停指令之前流出的指令则继续进行（否则就永远无法消除冲突）。

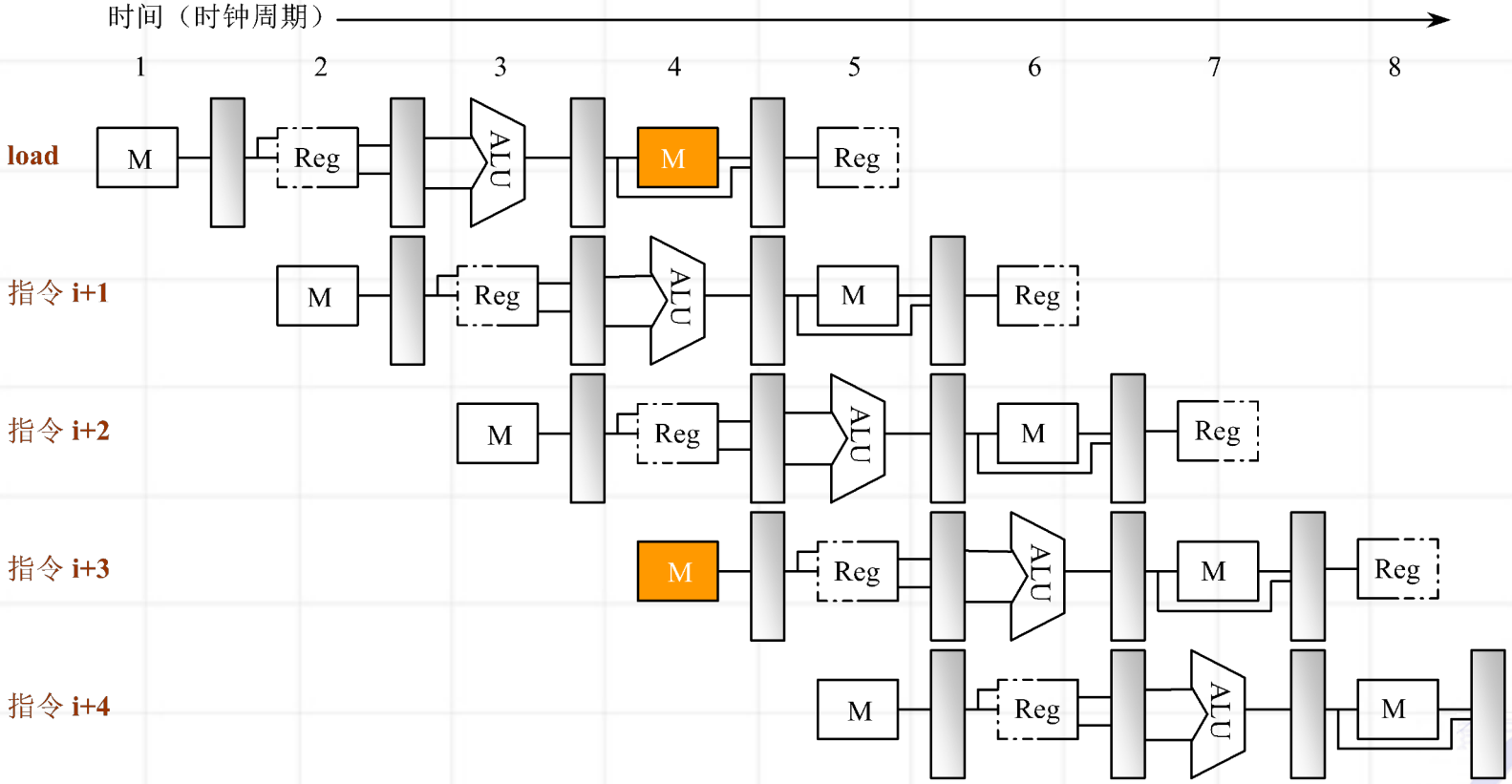


3.结构冲突

- 结构冲突
  - 在流水线处理机中，为了能够使各种组合的指令都能顺利地重叠执行，需要对功能部件进行流水或重复设置资源。
  - 如果某种指令组合因为资源冲突而不能正常执行，则称该处理机有结构冲突。
- 常见的导致结构冲突的原因：
  - 功能部件不是完全流水
  - 资源份数不够

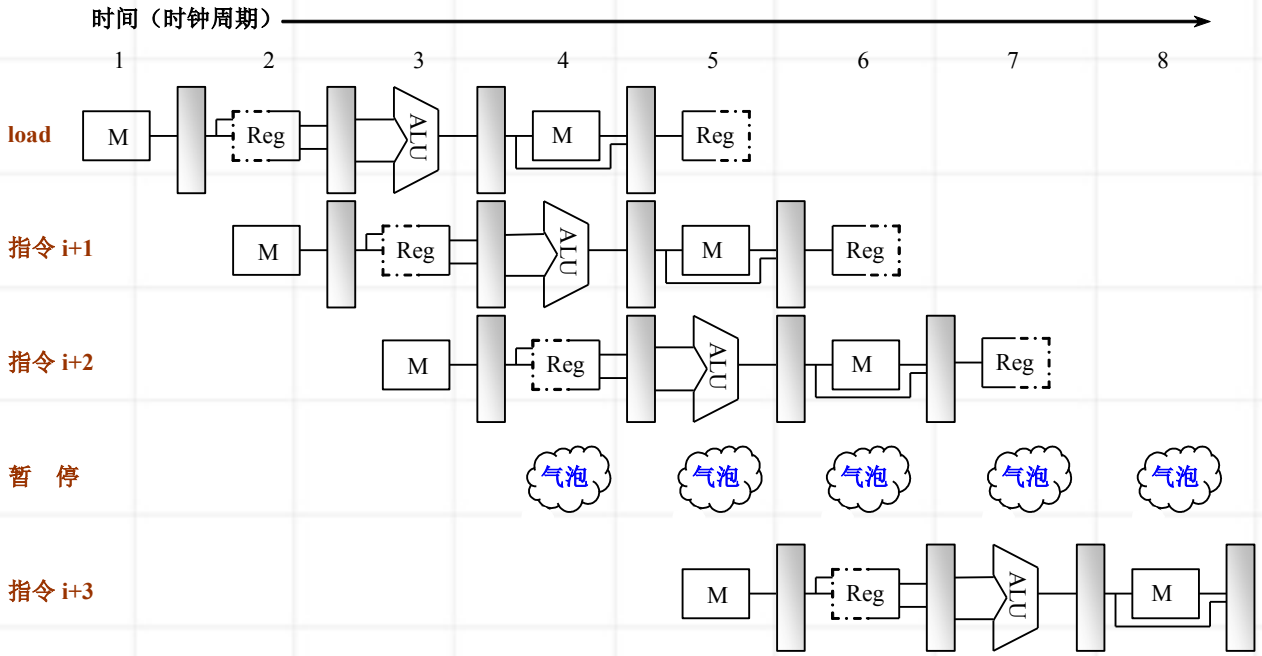


4.结构冲突举例——取指与取数据



由于访问同一个存储器而引起的结构冲突

5-1.结构冲突举例——解决方法1



- **插入暂停周期**
  - 为消除结构冲突而插入的流水线气泡

5-2.结构冲突举例——解决方法2

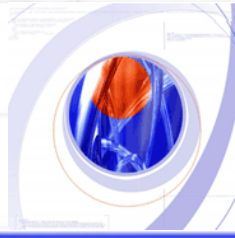
- 设置相互独立的存储器，使之分别存储指令与数据

6.结构冲突其它

- 有时流水线设计者允许结构冲突的存在
  - 主要原因：减少硬件成本
  - 如果把流水线中的所有功能单元完全流水化，或者重复设置足够份数，那么所花费的成本将相当高。

7.数据冲突

- 数据冲突
  - 当相关的指令靠得足够近时，它们在流水线中的重叠执行或者重新排序会改变指令读/写操作数的顺序，使之不同于它们串行执行时的顺序，则发生了数据冲突。
- 分类
  - 写后读冲突（RAW）
  - 写后写冲突（WAW）
  - 读后写冲突（WAR）



8.写后读冲突（RAW）

- 对应的相关
  - 最常见的一种数据冲突，对应于真数据相关。
- 发生条件
  - 有两条指令i和j，i在j之前进入流水线
  - 在 i 写入之前，j 先去读
- 结果
  - j 读出的内容是错误的

i指令： ADD R4, R2, R3
j指令： SUB R5, R4, R6

9.写后写冲突（WAW）

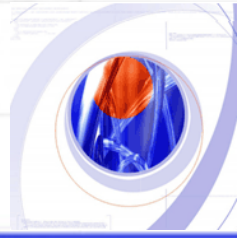
- 对应相关
  - 对应于输出相关。
- 发生条件：
  - 流水线中不只一个段可以进行写操作，且指令被重新排序了
  - 有两条指令i和j，i在j之前进入流水线
  - 在 i 写入之前，j 先写。
- 结果
  - 最后写入的结果是 i 的。错误！

i指令： ADD R4, R2, R3
j指令： SUB R4, R5, R6

10.读后写冲突（WAR）

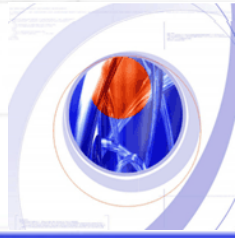
- 对应相关
  - 反相关
- 发生条件
  - 有些指令的写结果操作提前了，而且有些指令的读操作滞后了；或是指令被重新排序了。
  - 有两条指令i和j，i在j之前进入流水线。在 i 读取之前，j 先写入。
- 结果
  - i读到的结果是错误的。

i指令： ADD R2, R4, R3
j指令： SUB R4, R5, R6

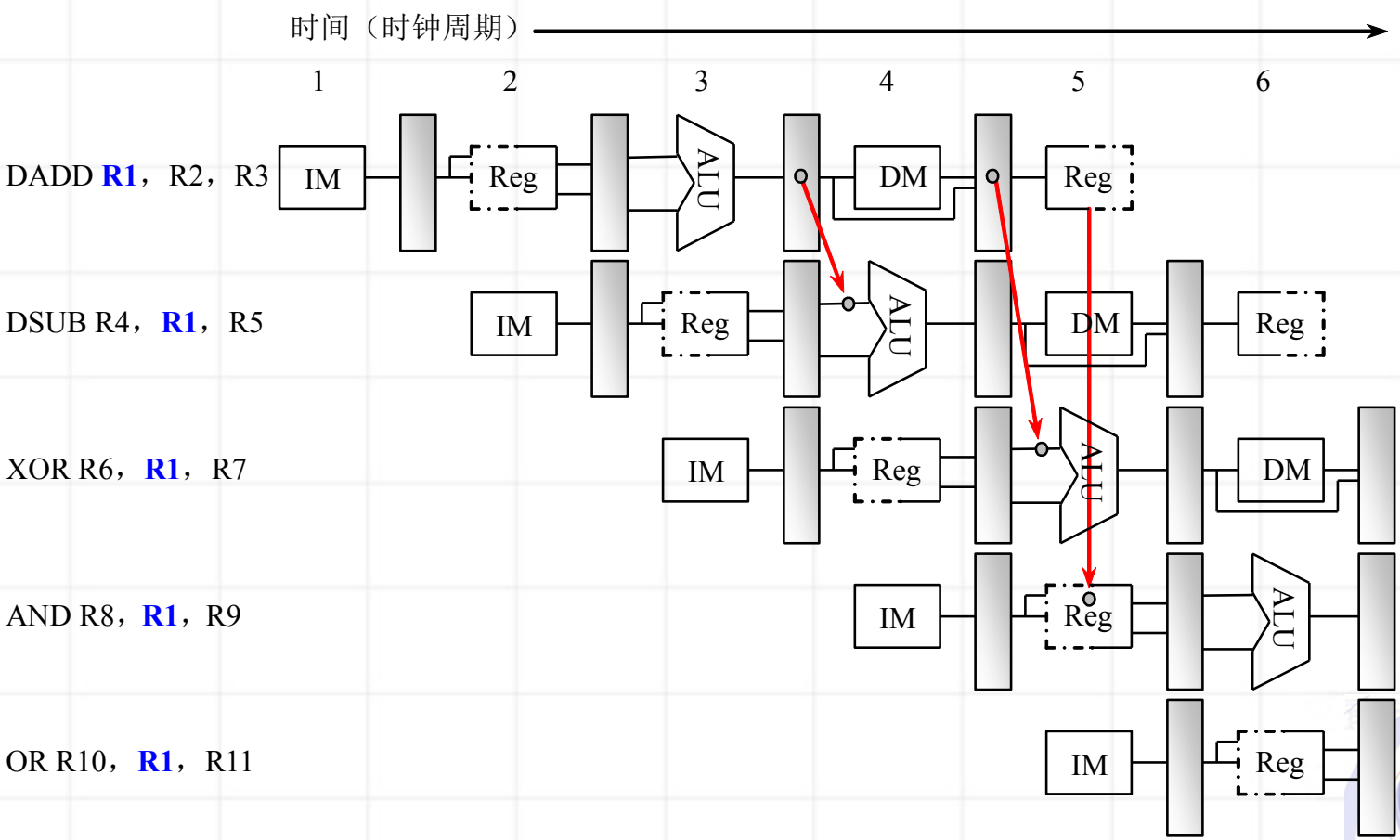


11-1.解决方案（1）——定向

- 通过定向（旁路、短路）技术减少数据冲突引起的停顿
- 关键思想：
  - 在计算结果尚未出来之前，后面等待使用该结果的指令并不真正立即需要该计算结果，如果能够将该计算结果从其产生的地方直接送到其它指令需要它的地方，那么就可以避免停顿。



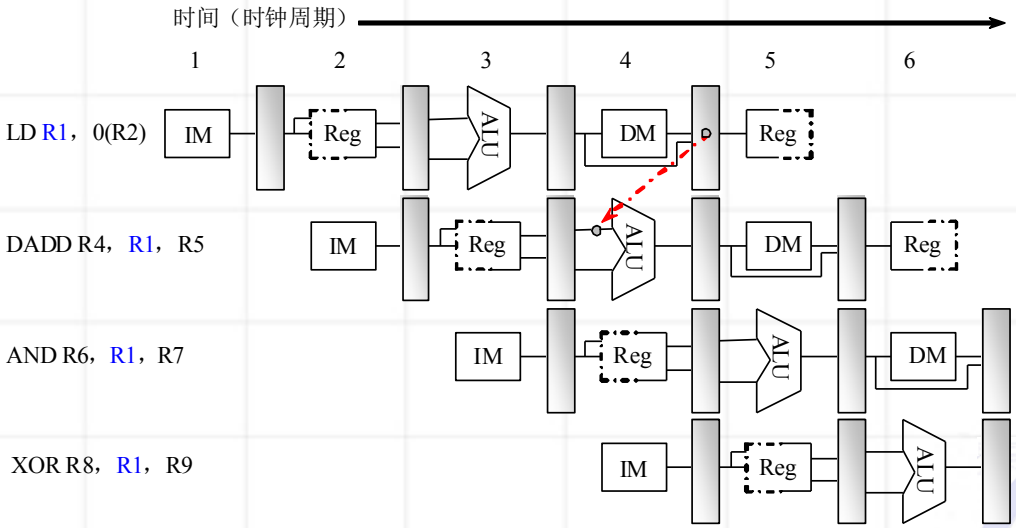
11-2.解决方案（1）——定向实例



11-3.解决方案（1）——定向的作用范围

- 并不能解决所有数据冲突
- 例子（代码，图）

```
LD    R1，0（R2）
DADD  R4，R1，R5
AND   R6，R1，R7
XOR   R8，R1，R9
```



12.解决方案（2）——指令调度

- 指令调度（又称流水线调度）
  - 让编译器重新组织指令顺序来消除冲突
- 实例

A＝B＋C；
D＝E－F；
假设载入延迟为1个时钟周期。

调度前的代码		调度后的代码	
LD	Rb，B	LD	Rb，B
LD	Rc，C	LD	Rc，C
None		LD	Re，E
DADD	Ra，Rb，Rc	DADD	Ra，Rb，Rc
SD	Ra，A	LD	Rf，F
LD	Re，E	SD	Ra，A
LD	Rf，F	DSUB	Rd，Re，Rf
None		SD	Rd，D
DSUB	Rd，Re，Rf		
SD	Rd，D		

谢谢大家