

3.9 数据冲突: RAW: ①②、①③、④⑤、③⑥、⑦⑪、⑪⑫
WAW: (不考虑①③和④⑤)

WAR: ②③、①⑨、⑦⑨、④⑩、⑧⑩

1) 执行流程为: 周期1发射①, 周期5发射②, 周期16发射③, 周期17发射④,

$\hookrightarrow 5$ $\hookrightarrow 16$ $\hookrightarrow 21$ $\hookrightarrow 21$

周期21发射⑤, 周期22发射⑥, 周期25发射⑦, 周期26发射⑧

$\hookrightarrow 24$ $\hookrightarrow 25$ $\hookrightarrow 27$ $\hookrightarrow 28$

周期27发射⑨, 周期28发射⑩, 周期29发射⑪, 周期30发射⑫

$\hookrightarrow 28$ $\hookrightarrow 29$ $\hookrightarrow 30$ $\hookrightarrow 31$ $\hookrightarrow 32$

主第33周期发射下一次循环指令①, 则迭代一次需要31个周期

2) 流水线1: 周期1发射①, 周期5发射③, 周期14发射⑤, 周期19发射⑦

$\hookrightarrow 5 \rightarrow 16 \rightarrow 10 \rightarrow 14 \rightarrow 17 \rightarrow 19 \rightarrow 21 \rightarrow 21$

流水线2: 周期5发射②, 周期10发射④, 周期16发射⑥, 周期19发射⑧

$\left. \begin{array}{l} \text{周期20发射⑨, 周期21发射⑪} \\ \hookrightarrow 21 \rightarrow 21 \end{array} \right\}$ 迭代一次需要23个周期

$\left. \begin{array}{l} \text{周期20发射⑩, 周期22发射⑫} \\ \hookrightarrow 21 \end{array} \right\}$

3) fild f2, 0(a0) ① addi a1, a1, 8 ⑦
 fild f4, 0(a1) ② fmul.d f10, f8, f2 ⑧
 fdivd f8, f0, f2 ③ fsd f10, 0(a0) ⑨
 fadd.d f4, f0, f4 ④ addi a0, a0, 8 ⑩
 fmul.d f2, f6, f2 ⑤ sub x20, x4, a0 ⑪
 fsd f4, 0(a1) ⑥ bnz x20, Loop ⑫

周期 1 发射 ①, 周期 5 发射 ③, 周期 6 发射 ⑤, 周期 10 发射 ⑦, 周期 11 发射 ⑨
 L → 5 → 5 L → 16 → 8 L → 11 → 10 L → 11 → 19 L → 21 → 20

周期 1 发射 ②, 周期 5 发射 ④, 周期 8 发射 ⑥, 周期 16 发射 ⑧, 周期 19 发射 ⑩

周期 20 发射 ⑪

L → 21 → 23 可将一次迭代需要的周期数减少至 22

周期 21 发射 ⑫

3.10 fild f4, 0(a0) fild T9, 0(a0)
 fmul.d f2, f0, f2 fmul.d T10, f0, f2
 fdiv.d f8, f4, f2 fdiv.d T11, T9, T10
 fild f4, 0(a1) ⇒ fild T12, 0(a1)
 fadd.d f6, f0, f4 fadd.d T13, f0, T12
 fsub.d f8, f8, f6 fsub.d T14, T11, T13
 fsd f8, 0(a1) fsd T14, 0(a1)

3.11 显式重命名时物理上的寄存器数多于汇编代码中使用的寄存器数，并通过映射表将两种寄存器的对应关系保存起来；隐式重命名使用的物理寄存器个数与逻辑寄存器相同，每个操作数既保存在 ROB（重排序缓冲），又保存在 ISA 寄存器中。

映射表记录操作数在 ROB 的位置，以及 ROB 与 ISA 寄存器的值何为最新

优缺点：显式重命名优点是可以完全解决 WAWs WAR 依赖，提高了乱序执行的灵活性，缺点是需要大量物理寄存器，提高硬件成本

隐式重命名优点是映射表次简单，利用 ROB 记录结果或中间值，缺点是每个数据在两个位置中保存，读取数据的复杂度和功耗更高

实现方式：显式重命名使用 RAM、CAM 等结构作为映射表，表项数等于物理/逻辑寄存器数目，用 free_list 记录寄存器状态

隐式重命名使用 ROB 和 ISA 寄存器同时保存数据，使用数据总线实现 ROB 与映射表通信，映射表除记录对应关系外，还要记录 ROB 和 ISA 寄存器中的最新数据