



一个支持推测执行的多发射处理器的基本架构如图所示。在这种情况下，架构可以允许浮点乘法、浮点加法、整数操作和加载/存储同时发射（假设每个功能单元每个时钟周期只能发射一条指令）。我们假设几个数据通路已经被加宽以支持多发射：CDB、操作数总线。假设有**单独的整数功能单元**用于有效地址计算、算术逻辑单元（ALU）操作和分支条件评估。假设每个时钟周期最多可以提交**两条任意类型的指令**。

任务1：单发射处理器的模拟

考虑在一个**单发射处理器**上执行指令片段，请分别在**不支持推测执行**和**支持推测执行**的情况下实现Tomasulo算法。假设功能单元有延迟：浮点数加法为2个时钟周期，浮点数乘法为6个时钟周期，浮点数除法为12个时钟周期。

```
1 fld f6,32(x2)
2 fld f2,44(x3)
3 fmul.d f0,f2,f4
4 fsub.d f8,f2,f6
5 fdiv.d f0,f0,f6
6 fadd.d f6,f8,f2
```

任务2：双发射处理器的模拟

考虑在一个**双发射处理器**上执行指令片段，请分别在**不支持推测执行**和**支持推测执行**的情况下实现Tomasulo算法。假设有推测执行情况下的分支预测完全正确。

该循环对整数数组的每个元素进行递增操作：

```
1 Loop:    ld x2,0(x1)      //x2 = 数组元素
2          addi x2,x2,1     //递增 x2
3          sd x2,0(x1)     //存储结果
4          addi x1,x1,8     //递增指针
5          bne x2,x3,Loop   //如果不是最后一个元素，则跳转
```

提示：在不支持推测执行的情况下，跟在bne指令后面的ld指令不能提前开始执行，必须等待分支结果的判断。在支持推测执行的情况下，跟在bne指令后面的ld指令可以提前开始执行。

三、项目要求及提交说明

请将以下三个文件整理成一个压缩包：

1. 实现Tomasulo算法的源代码文件

建议优化代码的可读性，提供必要的注释。

2. 结果输出文件

请将**每个时钟周期**的**保留站**状态、**寄存器组**状态、**Reorder Buffer**状态（如有）输出到

`output1.txt`（单发射不支持推测）、`output1_rob.txt`（单发射支持推测）、
`output2.txt`（双发射不支持推测）、`output2_rob.txt`（双发射支持推测）文件中。

3. 实验结果分析报告

- 【30分】结合你的代码，说明**支持推测执行的双发射**模拟器中各个部件的数据结构和指令处理**关键逻辑**的设计。
- 基于任务1和任务2各自的两组实验结果，分别创建表格以显示指令的执行情况。表头要求如下：

迭代数	指令	发射指令的时钟周期	执行指令的时钟周期	访问存储器的时钟周期	写CDB的时钟周期
-----	----	-----------	-----------	------------	-----------

- 【10分】结合你的实验结果，说明**推测执行**改进Tomasulo算法的原理和实际效果。
- 【20分】分别计算4组实验的IPC，并结合你的实验结果说明**多发射超标量**的优势和挑战。
- 注意：报告中应声明上文未提及但在实际设计中引入的一些假设。
- 实验结果分析报告需要命名为：`Areport-[学号]-[姓名].pdf`，例如 `Areport-223xxxxx-张三.pdf`

四、评分标准

本项目将从两个方面进行评分：

- 实验结果合理性：40分（每组实验10分，综合考虑结果输出文件和分析报告中的表格）
- 分析报告的内容：60分

注意：代码、输出文件和报告均不能抄袭！

如有疑问请通过课程群或邮件（liyang258@mail2.sysu.edu.cn）咨询课程助教李洋。