

# Lab 2

---

佟铭洋

23300240009

## 思路与过程

首先，之前使用了异步的流水线策略，即后面的步骤不会理会前面的步骤如何，只要能执行下去就一直执行。这种策略在涉及到内存访问时仍然可以继续沿用，但控制信号线会变得比较复杂，因此决定在此次进行修改。将流水线的每个步骤引出一条线，表示当前步骤是否执行完毕，允许下一条指令进入。然后，在顶层（datapath）中，汇总所有模块的信号，当所有模块均执行完毕时，告知所有模块在下一上升沿统一传递寄存器值。

这样，就可以根据不同模块的实际情况决定在何时拉高 ready 信号。对于 fetch 和 memory，这应当发生在访存结束。对于 decode 和 alu，这应当取决于组合逻辑的关键路径长度。对于 writeback，这应当固定为 2 个周期。

然后才正式进入这次实验的内容。我本人将本次实验的内容分为 3 个部分：

- 完成 lui 指令
- 完成 load、store 指令的基本逻辑
- 完成 load 指令对流水线的适配

### 完成 lui 指令

注意到 lui 指令的结果实际上是 寄存器+0，另外注意到 auipc 指令的结果是 寄存器+pc，考虑到 ALU 的 B 接口已经可以接入立即数，因此重新配置 A，使得其可以接入数字 0、PC，RS1 的其中一个。其余部分等同于 I 类型指令。不再赘述。

注意此处为 auipc 指令做了预留。

### 完成 load、store 指令

实际上 load、store 指令的访存时序上，没有难度，这与 fetch 阶段获取指令的时序应当保持一致。取回的数据需要暂存，因为只会出现 1 个周期。

重点是处理传给 dbus 的数据以及如何解析返回的数据。

考虑我们对于一条指令，可以知道：

- 读还是写？
- 需要访问的地址？
- 需要访问的长度？
- 立即数扩展模式？

传给 dbus 的参数应当有：

- 写蒙版 strobe
- 地址（8字节对齐）

- 长度

实际上，由于 8 字节对齐的缘故，我们对于 dbus 的参数中的长度，直接固定为 MSIZE8 即可。

另外，需要修改寄存器，使得能够将 rs2 传入 memory 环节，

### 对于读操作

strobe 为 0。

在返回的数据中，将对应位置（根据地址的低 3 位确定）的数据（也就是实际上需要的数据）移动到输出的最低位。

### 对于写操作

将地址进行 8 字节对齐后，计算原始地址对应的数据应该存放到哪个位置，进行对应的移位。

strobe 在对应的位置设置为 1。

### 模块

memory\_helper：根据指令，处理即将发送给 dbus 的请求。

memory\_solver：根据 dbus 返回的数据，处理输出的数据。

### 完成 load 指令对流水线的适配

注意到 store 指令并不会破坏流水线的现有逻辑。只有 load 指令会出现问题：

假设我们的指令仍然是按顺序接续执行的，当 A 指令（load）运行到 memory 阶段时，B 指令运行到 execute 阶段。假设 B 指令依赖于 A 指令写回寄存器，那么无法操作，因为 A 指令要在 memory 才知道取回的数据，B 指令必须要在 decode 阶段知道这一数据，中间必须空出一个 execute（execute 空转）来。

采取一个非常简单粗暴的解决办法：当 decode 模块发现这是一条 load 指令时，直接通知 fetch 模块阻塞一个周期（bubble），相当于插入一个 nop。

需要注意，writeback 和转发时也需要根据指令类型（load）选择采用 ALU 输出还是选择内存输出。

## 遇到的问题

实际上内存访问是 8 字节对齐而非 4 字节。发现这一问题的过程：

波形图发现出现莫名其妙的不对齐问题，例如高低 4 位颠倒（这显然不可能是大小端导致的）。

将访问内存的地址的低 2 位置 0 和低 3 位置 0，发现效果完全一致，注意到一些低位为 10 的地址也完全一致，这基本可以确定访问内存是 8 字节对齐了。

先假设是 8 字节对齐，对代码进行修改，发现可以直接通过测试。

## 一些思考

其实本次实验有一个隐含的条件：访存指令的地址均保证 2、4、8 字节对齐（即确保不需要通过总线访问两次内存）。

(假设是一个32位处理器，64位地址太长了看着恶心)

考虑这样一个问题：假设需要访问一个 2 字节内存，从 0x80000003 到 0x80000004，由于内存是 4 字节对齐的，因此只能分别取出 0x80000000 到 0x80000003 和 0x80000004 到 0x80000007，然后再进行拼接。这是非常难以接受的，会导致这一条指令有一个超级长的周期才能完成。

## 实验结果

```
问题 输出 调试控制台 终端 端口 评论

[src/device/io/mmio.c:19,add_mmio_map] Add mmio map 'uartlite' at [0x40600000, 0x4060000c]
[src/device/io/mmio.c:19,add_mmio_map] Add mmio map 'uartlite1' at [0x23333000, 0x2333300f]
dump wave 0-999999 to /home/tmysam/arch-2025/build/1741134289.fst...
The first instruction of core 0 has committed. Difftest enabled.
[WARNING] difftest store queue overflow
[src/cpu/cpu-exec.c:393,cpu_exec] nemu: HIT GOOD TRAP at pc = 0x000000008001fffc
[src/cpu/cpu-exec.c:394,cpu_exec] trap code:0
[src/cpu/cpu-exec.c:74,monitor_statistic] host time spent = 5,844 us
[src/cpu/cpu-exec.c:76,monitor_statistic] total guest instructions = 32,767
[src/cpu/cpu-exec.c:77,monitor_statistic] simulation frequency = 5,606,947 instr/s
Program execution has ended. To restart the program, exit NEMU and run again.
Program execution has ended. To restart the program, exit NEMU and run again.
sh: 1: spike-dasm: not found

===== Commit Group Trace (Core 0) =====
commit group [0]: pc 0080020000 cmtcnt 1
commit group [1]: pc 0080020004 cmtcnt 1 <--
commit group [2]: pc 008001ffc8 cmtcnt 1
commit group [3]: pc 008001ffcc cmtcnt 1
commit group [4]: pc 008001ffd0 cmtcnt 1
commit group [5]: pc 008001ffd4 cmtcnt 1
```