

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 立即数+0，另外注意到 auipc 指令的结果是 立即数+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（如计算和写回）等同于 I 类型指令。不再赘述。

注意此处为 auipc 指令做了预留。

允许配置 A，使得 A 可以在以下四种输入之间进行 MUX：

- 0
- PC
- PC+4
- RS1

允许配置 B，使得 B 可以在以下两种输入之间进行 MUX：

- 立即数
- RS2

在 decode 阶段，根据指令类型，配置 A 和 B。

```
assign ia=moduleIn.srcA==2'b00 ? 64'b0:
        moduleIn.srcA==2'b01 ? moduleIn.rs1:
        moduleIn.srcA==2'b10 ? moduleIn.pc;
```

```

        moduleIn.srcA==2'b11 ? moduleIn.pcPlus4:
        0;

    assign ib=moduleIn.srcB==2'b00 ? moduleIn.rs2:
        moduleIn.srcB==2'b01 ? moduleIn.imm:
        0;

```

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。

同理，在返回时移动回低位。

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。

```

    assign data = (memMode == 4'b0000) ? (// 1b
        addressReq[2:0] == 3'b000 ? {{56{dataIn[7]}}}, dataIn[7:0]}:
        addressReq[2:0] == 3'b001 ? {{56{dataIn[15]}}}, dataIn[15:8]}:
        addressReq[2:0] == 3'b010 ? {{56{dataIn[23]}}}, dataIn[23:16]}:
        addressReq[2:0] == 3'b011 ? {{56{dataIn[31]}}}, dataIn[31:24]}:
        addressReq[2:0] == 3'b100 ? {{56{dataIn[39]}}}, dataIn[39:32]}:
        addressReq[2:0] == 3'b101 ? {{56{dataIn[47]}}}, dataIn[47:40]}:
        addressReq[2:0] == 3'b110 ? {{56{dataIn[55]}}}, dataIn[55:48]}:
        addressReq[2:0] == 3'b111 ? {{56{dataIn[63]}}}, dataIn[63:56]}:
        64'b0
    ) ...

```

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。

```
assign strobe = (memMode == 4'b1000) ? (// sb
    addressReq[2:0] == 3'b000 ? 8'b00000001:
    addressReq[2:0] == 3'b001 ? 8'b00000010:
    addressReq[2:0] == 3'b010 ? 8'b00000100:
    addressReq[2:0] == 3'b011 ? 8'b00001000:
    addressReq[2:0] == 3'b100 ? 8'b00010000:
    addressReq[2:0] == 3'b101 ? 8'b00100000:
    addressReq[2:0] == 3'b110 ? 8'b01000000:
    addressReq[2:0] == 3'b111 ? 8'b10000000:
    8'b0
):
(memMode == 4'b1001) ? (// sh
    addressReq[2:0] == 3'b000 ? 8'b00000011:
    addressReq[2:0] == 3'b010 ? 8'b00001100:
    addressReq[2:0] == 3'b100 ? 8'b00110000:
    addressReq[2:0] == 3'b110 ? 8'b11000000:
    8'b0
):
(memMode == 4'b1010) ? ( // sw
    addressReq[2:0] == 3'b000 ? 8'b00001111:
    addressReq[2:0] == 3'b100 ? 8'b11110000:
    8'b0
):
(memMode == 4'b1011) ? 8'b11111111: // sd
0;
```

模块

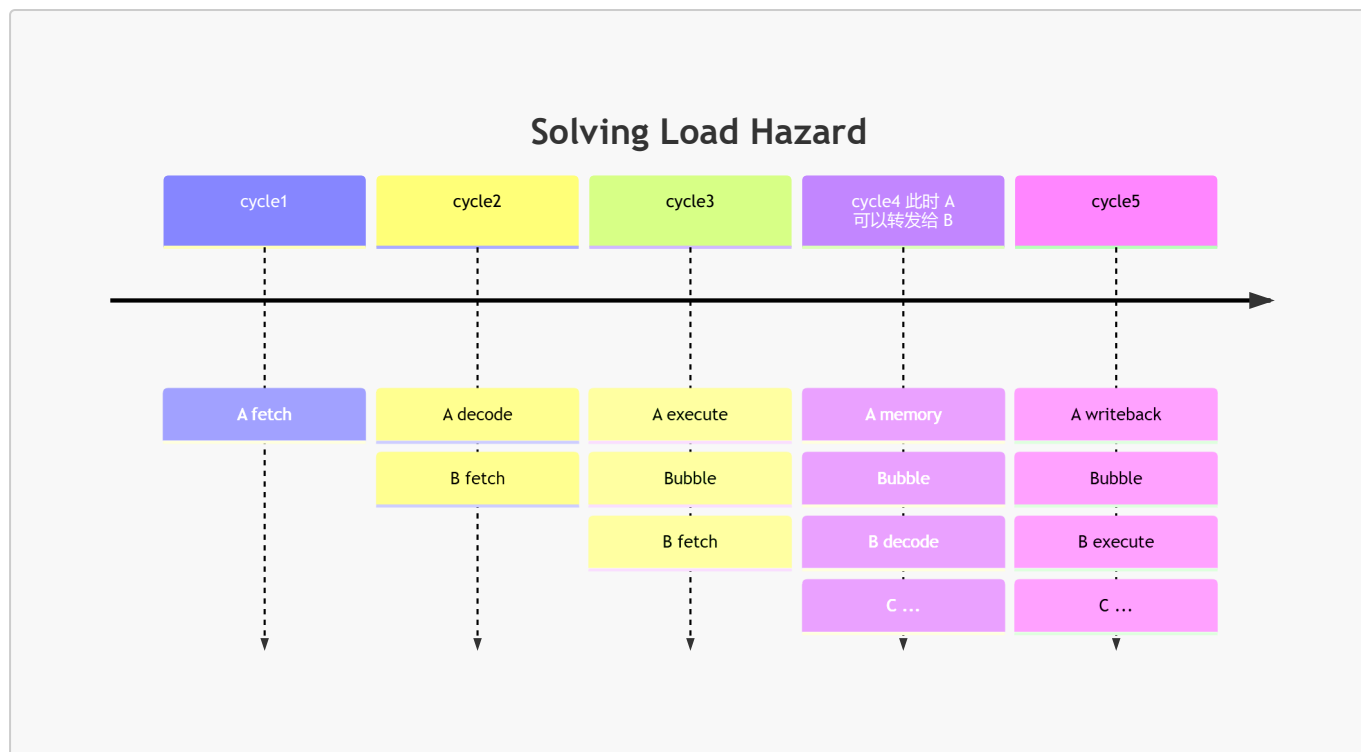
memory_helper: 根据指令，处理即将发送给 dbus 的请求。

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（其不涉及写回，故不涉及寄存器操作，不影响转发的进行）。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。

另一个问题是：load 指令的 ALU 输出实际上是一个地址而不是写回寄存器的值，这会导致转发出错吗？

答案是不会。因为当 A（一个 Load）执行到 Execute 时，Decode 阶段是一个 Bubble，因此不需要在意。

遇到的问题

由于做的比较早，被内存对齐问题坑了一下。

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 字节颠倒（这显然不可能是大小端导致的）。

将访问内存的地址的低 2 位和低 3 位分别置 0，发现效果完全一致，注意到这对于一些低位为 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）。

（以下假设是一个 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。

好在此次数据没有这样的情况。

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. Dffftest enabled.
[WARNING] dffftest 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
```