

50 条指令流水线 CPU 设计

目标

设计并实现五级流水线 MIPS CPU，支持以下 MIPS 指令：

- ALU 指令：ADD / ADDU / SUB / SUBU / SLL / SRL / SRA / SLLV / SRLV / SRAV / AND / OR / XOR / NOR / SLT / SLTU
- 加载立即数到高位：LUI
- 带有立即数的 ALU 指令：ADDI / ADDIU / ANDI / ORI / XORI / SLTI / SLTIU
- 乘除法器指令：MULT / MULTU / DIV / DIVU / MFHI / MTHI / MFLO / MTLO
- 分支指令：BEQ / BNE / BLEZ / BGTZ / BGEZ / BLTZ
- 无条件跳转指令：JR / JALR / J / JAL
- 访存指令：LB / LBU / LH / LHU / LW / SB / SH / SW
- 附加 syscall：执行到 syscall 指令时使用 \$finish 终止仿真

说明

乘除法

乘除法的计算较慢，我们假设乘除法需要多个周期完成。

MIPS 中乘除法的运算独立于 ALU，由乘除法器（MDU）完成。乘除法器位于 EX 级，MULT/DIV 等乘除法运算指令不会等待计算结果，而是由乘除法器在内部继续进行运算，并输出一个信号表示其正忙（busy）。待 busy 状态结束后将能够通过 MFHI/MFLO 指令读取其内部寄存器 HI/LO 的值。

处于 busy 状态的乘除法器无法接受任何操作，此时任何需要用到乘除法器的指令都应当阻塞在 EX 级。

我们给出了 MultiplicationDivisionUnit.sv 作为乘除法器的实现。其用法为：

- 传入全局的 reset 与 clock 信号
- 传入两个输入 operand1 与 operand2，分别为左右操作数
 - 当进行写入 HI/LO 操作（即 MTHI/MTLO）时，被写入的值为 operand1
- 传入枚举值 operation，为要进行的操作
 - MDU_READ_HI
 - MDU_READ_LO
 - MDU_WRITE_HI
 - MDU_WRITE_LO
 - MDU_START_SIGNED_MUL
 - MDU_START_UNSIGNED_MUL
 - MDU_START_SIGNED_DIV
 - MDU_START_UNSIGNED_DIV
- 传入开始运算信号 start
 - 请在有乘除法指令进入 EX 阶段，并且 busy 信号为 0 时设置该信号
 - 设置该信号时 operation 需要传入 MDU_START_ 开头的枚举值
- 输出忙信号 busy
 - 该信号被设置时，任何使用乘除法器的指令需要阻塞在 EX 级
- 输出读取的值 dataRead
 - 当 operation 传入 MDU_READ_ 开头的枚举值时有效

为了和 Mars 的行为一致，该乘除法器实现在除数为 0 时会保留 HI/LO 的旧值，你不需要考虑这个行为。

非对齐内存访问

非对齐读：请在 MEM 级完成对非对齐读的处理，以便将 MEM/WB 中的结果通过旁路转发出去，而不是在 WB 级进行处理。

非对齐写：为了和 Mars 的行为一致，在输入写内存操作时，请将该操作视为对所在的字进行了一次写入。

如，位于 `0x00003004` 的指令对地址 `0x00001231` 写入了 `0x11`，且 `0x00001230` 处原本的内容为 `0xaabbccdd`，你应当输出：

```
@0x00003004: *0x00001230 ≤ 0xaabb11dd
```

测试

我们将在服务器的统一环境上进行自动化测试，将提供 Vivado 2019.1 和 VCS 两种仿真工具。具体服务器与测试方法将在之后给出。

除调试目的外，你不应对 `mips_tb.v` 和 `MultiplicationDivisionUnit.sv` 做任何修改，最终测试时将使用这两个文件的下发版本。

提交

请提交所有自己编写的代码文件与实验报告。

测试文件将在之后下发。