

多周期流水线 CPU 实验报告

MIPS 50 条指令

邹沛余 2020201648

1. 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

2. 五级流水线设计(Pipeline)

- IF(Instruction Fetch)阶段：从 Instruction Memory 中取出指令，将指令保存在 IF/ID 寄存器中。
- ID(Instruction Decode)阶段：从 IF/ID 寄存器中取出指令和信号，进行解码，将解码容保存在 ID/EX 寄存器中。
- EX(Execution)阶段：从 ID/EX 寄存器中取出解码后的指令和信号，根据指令信息选择 ALU 或者 MDU 模块进行运算得到结果，并将结果信息保存在 EX/MEM 寄存器中。
- MEM(Memory)阶段：从 EX/MEM 寄存器中取出需要的地址执行内存的访问，并将访存结果保存在 MEM/WB 寄存器中。
- WB(Write Back)阶段：从 MEM/WB 寄存器中取出之前的所有计算结果和信号，根据信号将结果保存到对应的寄存器中

3. 控制信号设计(Control Signal)

- RegWriteDst：写入的寄存器。
Enum 类型：rd, rt, other register。
- RegWriteSrc：写入数据的数据来源。
Enum 类型：ALU 计算结果、从 Mem 读取的结果、PC 的 next 等。
- ALUSrc：ALU 的操作数来源。
Enum 类型：寄存器、立即数 imm 扩展、立即数 imm 的移位结果等。
- PCSrc：PC 的数据来源。
Enum 类型：寄存器地址、函数跳转、PC 自增。
- ALUOp：ALU 所支持的非立即数指令集合。
Enum 类型：add、addu、sub、subu、sll、srl、sra、sllv、srlv、srav、and、or、xor、nor、slt、sltu。
- RegWriteEnabled：标志执行寄存器写操作。
Bool 类型：

- 0: 失效;
- 1: 进行写操作。
- **MemReadEnabled:** 标志执行内存读操作
 - Bool 类型:
 - 0: 失效;
 - 1: 进行读操作。
- **MemWriteEnabled:** 标志执行内存写操作。
 - Bool 类型:
 - 0: 失效;
 - 1: 进行写操作。
- **Branch:** 标志修改 PC 值操作。
 - Bool 类型:
 - 0: 失效;
 - 1: 修改 PC 的值。

4. 全旁路转发(Forwarding)

设计旁路转发控制单元，该单元具有两个功能。

- 一是针对数据冒险所需要的旁路转发操作：需要进行转发的数据来自于 ID/EX、EX/MEM、MEM/WB 三个寄存器，需要对转发数据进行接受的阶段仅有 ID 和 EX。ID 阶段需要 ID/EX、EX/MEM、MEM/WB 三个寄存器的数据，EX 阶段需要 EX/MEM、MEM/WB 两个寄存器的数据。

```

if(EX_MEM_Result.signal.regWriteEnabled
    && EX_MEM_Result.regWrite == ID_EX_Result.regReadA
    && EX_MEM_Result.regWrite != 0)
    ForwardA = Forwarding_EX_MEM;
else if(MEM_WB_Result.signal.regWriteEnabled
    && MEM_WB_Result.regWrite == ID_EX_Result.regReadA
    && MEM_WB_Result.regWrite != 0)
    ForwardA = Forwarding_MEM_WB;
else
    ForwardA = Forwarding_GPR;
• 二是针对分支冒险进行必要的判断，给出阻塞信号。
if(ID_EX_Result.signal.regWriteEnabled
    && IF_ID_Result.instruction.rs == ID_EX_Result.regWrite
    && IF_ID_Result.instruction.rs != 0)
    ForwardBranchA = Forwarding_ID_EX;
else if(EX_MEM_Result.signal.regWriteEnabled
    && IF_ID_Result.instruction.rs == EX_MEM_Result.regWrite
    && IF_ID_Result.instruction.rs != 0)
    ForwardBranchA = Forwarding_EX_MEM;
else if(MEM_WB_Result.signal.regWriteEnabled
    && IF_ID_Result.instruction.rs == MEM_WB_Result.regWrite
    && IF_ID_Result.instruction.rs != 0)
    ForwardBranchA = Forwarding_MEM_WB;

```

else

ForwardBranchA = Forwarding_GPR;

5. 阻塞(Block)

根据课程学习，对于一个阻塞信号，我们需要执行一下操作：

- 冻结 IF/ID，保存阻塞发生时的指令
- 清除 ID/EX，阻塞前的指令保持正常运行
- 禁止 PC，防止 PC 继续计数，PC 应保持为 PC+4

阻塞控制单元使流水线产生阻塞分为多种情况。一是数据冒险中存在的阻塞，比如 lw 指令需要装载寄存器的值，该种情形下，我们可以根据 IF/ID 和 ID/EX 寄存器中的值判断是否需要阻塞；二是控制冒险中存在的阻塞，该阻塞信号由针对分支冒险的旁路控制单元给出；三是由 MDU 产生的结构冒险，乘除法器位于 EX 阶段，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。而处于 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。同时如果刚发起一次乘除法运算之后立刻取值，也需要进行阻塞等待。

6. 测试结果

```
C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\0dE.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\0dE.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\0dE.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\ODE.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\0eC.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\0eC.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\0eC.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\OEC.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\0eL.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\0eL.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\0eL.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\OEL.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\0hJ.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\0hJ.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\0hJ.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\OHJ.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\0vM.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\0vM.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\0vM.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\0VM.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\02H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\02H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\02H.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\02H.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\08H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\08H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\08H.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\08H.ASM.TXT
FC: 找不到差异

C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\22H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\22H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\22H.asm.txt 和 D:\CSI\PIPELINE\ANS\22H.ASM.TXT
FC: 找不到差异
```

```
C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\28H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\28H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\28H.asm.txt 和
D:\CSI\PIPELINE\ANS\28H.ASM.TXT
FC: 找不到差异
```

```
C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\82H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\82H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\82H.asm.txt 和
D:\CSI\PIPELINE\ANS\82H.ASM.TXT
FC: 找不到差异
```

```
C:\Users\lenovo>fc C:\Users\lenovo\Desktop\计算机系统实现I\Pipeline\Mips50TestCodeAns\Mips50TestCodeAns\TestAns\88H.asm.txt D:\CSI\pipeline\ans\88H.asm.txt
正在比较文件 C:\USERS\LENOVO\DESKTOP\计算机系统实现I\PIPELINE\MIPS50TESTCODEANS\MIPS50TESTCODEANS\TESTANS\88H.asm.txt 和
D:\CSI\PIPELINE\ANS\88H.ASM.TXT
FC: 找不到差异
```