



# Lab 5 Dynamically Scheduled Pipelines using Scoreboarding

2024-2025 春夏学期 计算机体系结构  
课程实验报告

姓名 王浩雄

学号 3230106032

年级 2023 级

专业 混合班 (计算机科学与技术)

班级 混合 2303 班

2025 年 4 月 24 日

# Lab 5 Report

## 1 实验目的

本实验要求在前期实现的流水线 CPU 基础上，使用 IF/ID/FU/WB 四阶段重新对流水线进行设计，使得流水线支持乘法、除法、内存访问等多周期操作。具体要求如下：

1. 理解 CPU 支持多周期操作的基本原理；
2. 为多周期流水线 CPU 的 FU 阶段各模块进行设计，包括 ALU 模块、乘法运算模块、除法运算模块等；
3. 为多周期流水线 CPU 设计控制器 CtrlUnit。

## 2 多周期流水线 CPU 的结构

多周期流水线 CPU 采用 IF（取指）、ID（译码）、FU（功能单元执行）、WB（写回）四阶段结构，使得流水线支持乘法、除法、内存访问等多周期操作。其整体架构如图所示：

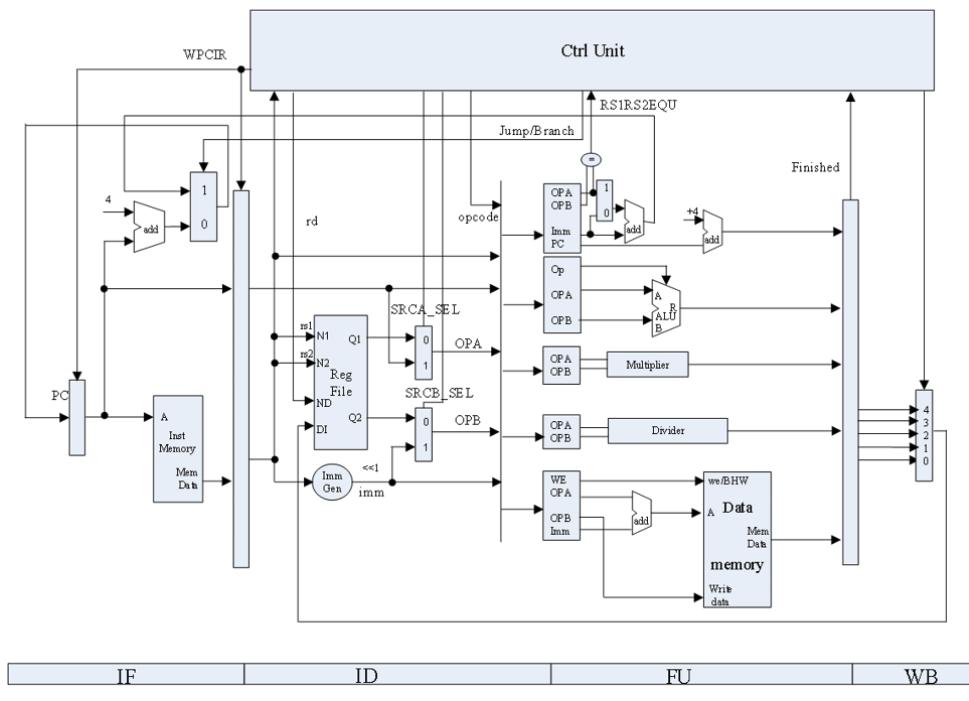


图 1：多周期流水线 CPU 的结构

- **IF 阶段：**负责从指令存储器 (ROM) 中取指令，并更新 PC 寄存器。该阶段的器件包括 PC 寄存器、加法器 (PC+4)、多路选择器 (选择下一条指令地址) 和指令存储器。

- **ID 阶段:** 译码指令，读取寄存器堆数据，生成立即数，并通过控制单元生成控制信号。
- **FU 阶段:** 功能单元执行阶段，支持多周期操作，包括 ALU、乘法、除法、内存访问和跳转地址计算等模块。
- **WB 阶段:** 将 FU 阶段的计算结果（内存读取结果）写回寄存器堆。

为支持多周期操作，流水线通过计分板技术动态调度指令，解决数据冒险（包括 RAW、WAR、WAW 三种类型）和控制冒险。此部分将在下一次实验中实现。

### 3 FU 阶段各模块设计

FU 阶段包含多个功能单元模块，通过状态机控制多周期执行。以下是模块的详细设计：

#### 3.1 ALU 模块：FU\_ALU

ALU 模块负责执行一般的算术和逻辑运算，其为单周期运算。当 EN 信号为 1 且状态为 0 时，表示需要启动 ALU 操作。此时，ALU 模块的控制信号被设置为输入的 ALUControl，操作数被设置为传入的 ALU\_A 和 ALU\_B，并将状态置为 1 表示 ALU 模块正在执行。操作完成后，结果将被送出，且将状态恢复为 0。

```

1 always @ (posedge clk) begin
2     if (EN & state) begin
3         Control <= ALUControl;
4         A <= ALUA;
5         B <= ALUB;
6         state <= 1;
7     end
8     else state <= 0;
9 end

```

#### 3.2 除法运算模块：FU\_DIV

除法模块为多周期运算，但不进行流水化实现。当 EN 信号为 1 且状态为 0 时，表示需要启动除法操作。此时，除法模块的操作数被设置为传入的 A 和 B，并将状态置为 1 表示除法模块正在执行。操作完成后，结果将被送出，且将状态恢复为 0。

```

1 always@ (posedge clk) begin
2     if (EN & ~state) begin

```

```

3      A_reg <= A;
4      B_reg <= B;
5      A_valid <= 1;
6      B_valid <= 1;
7      state <= 1;
8
9      end
10     else if(res_valid) begin
11         A_valid <= 0;
12         B_valid <= 0;
13         state <= 0;
14     end

```

### 3.3 乘法运算模块: FU\_MUL

乘法模块为多周期运算，且通过流水化分为 8 个阶段。当 EN 信号为 1 且状态为 0 时，表示需要启动乘法操作。此时，乘法模块的操作数被设置为传入的 A 和 B，并将状态置为非 0 表示乘法模块正在执行。操作完成后，结果将被送出，且将状态恢复为 0。

注意:这里的状态使用独热码进行分配,状态切换顺序为:0000000->1000000->0100000->0010000->0001000->0000100->0000010->0000001->0000000

```

1 always@(posedge clk) begin
2     if(EN & ~|state) begin
3         A_reg <= A;
4         B_reg <= B;
5         state <= 7'b100_0000;
6     end
7     else state <= {1'b0, state[6:1]};
8 end

```

### 3.4 内存读写模块: FU\_MEM

内存读写模块为多周期运算，且通过流水化分为 3 个阶段。当 EN 信号为 1 且状态为 0 时，表示需要启动内存读或写操作。此时，为内存控制器输入读写类型、数据长度、读写地址、立即数等信息，并将状态置为非 0 表示内存读写模块正在执行。操作完成后，结果将被送出，且将状态恢复为 0。

注意：状态切换顺序为： 00->10->01->00

```

1 always@(posedge clk) begin
2     if(EN & ~|state) begin

```

```

3      mem_w_reg <= mem_w;
4      bhw_reg <= bhw;
5      rs1_data_reg <= rs1_data;
6      rs2_data_reg <= rs2_data;
7      imm_reg <= imm;
8      state <= 2'b10;
9
10     end
11    else state <= {1'b0, state[1]};
12 end

```

### 3.5 分支跳转地址计算模块：FU\_JUMP

分支跳转地址计算模块负责为跳转指令计算目标地址，其为单周期运算。当 EN 信号为 1 且状态为 0 时，表示需要启动该模块。此时，该模块将两个操作数按照指定的规则进行比较，结合输入的立即数得出跳转地址，并将状态置为 1 表示模块正在执行。操作完成后，比较结果、目标地址将被送出，且将状态恢复为 0。

```

1 always@(posedge clk) begin
2     if(EN & ~state) begin
3         JALR_reg <= JALR;
4         cmp_ctrl_reg <= cmp_ctrl;
5         rs1_data_reg <= rs1_data;
6         rs2_data_reg <= rs2_data;
7         imm_reg <= imm;
8         PC_reg <= PC;
9         state <= 1;
10    end
11    else state <= 0;
12 end
13
14 cmp_32 cmp(.a(rs1_data_reg), .b(rs2_data_reg), .ctrl(cmp_ctrl_reg), .c(
15     cmp_res));
16 add_32 a(.a(JALR_reg ? rs1_data_reg : PC_reg), .b(imm_reg), .c(PC_jump));
17 add_32 b(.a(PC_reg), .b(32'd4), .c(PC_wb));

```

## 4 控制器 CtrlUnit 设计：RV32Core

控制器位于 ID 阶段进行工作。我对控制器代码进行了如下完善：

## 4.1 立即数生成器 (ImmGen)

```
1 ImmGen imm_gen(.ImmSel(ImmSel_ctrl), .inst_field(inst_ID), .Imm_out(
    Imm_out_ID));
```

根据控制信号 ImmSel\_ctrl 从指令 inst\_ID 中提取立即数字段，生成 32 位立即数 Imm\_out\_ID，用于后续计算。

## 4.2 ALU 第一个操作数选择 (mux\_imm\_ALU\_ID\_A)

```
1 MUX2T1_32 mux_imm_ALU_ID_A(.I0(rs1_data_ID), .I1(PC_ID), .s(
    ALUSrcA_ctrl), .o(ALUA_ID));
```

根据 ALUSrcA\_ctrl 选择 ALU 第一个操作数 ALUA\_ID。具体地，当 ALUSrcA\_ctrl=0 时选择来自寄存器的数据 rs1\_data\_ID，当 ALUSrcA\_ctrl=1 时选择 PC\_ID。

## 4.3 ALU 第二个操作数选择 (mux\_imm\_ALU\_ID\_B)

```
1 MUX2T1_32 mux_imm_ALU_ID_B(.I0(rs2_data_ID), .I1(Imm_out_ID), .s(
    ALUSrcB_ctrl), .o(ALUB_ID));
```

根据 ALUSrcB\_ctrl 选择 ALU 第二个操作数 ALUB\_ID。具体地，当 ALUSrcB\_ctrl=0 时选择来自寄存器的数据 rs2\_data\_ID，当 ALUSrcB\_ctrl=1 时选择立即数 Imm\_out\_ID。

## 4.4 写回数据选择器 (mux\_DtR)

```
1 MUX8T1_32 mux_DtR(.s(DatatoReg_ctrl), .I0(32'd0), .I1(ALUout_WB), .I2(
    mem_data_WB), .I3(mulres_WB), .I4(divres_WB), .I5(PC_wb_WB), .I6(32'd0),
    .I7(32'd0), .o(wt_data_WB));
```

根据 DatatoReg\_ctrl 选择写回寄存器堆的数据 wt\_data\_WB，支持以下来源：

- ALUout\_WB: ALU 运算结果。
- mem\_data\_WB: 内存读取数据。
- mulres\_WB: 乘法运算结果。
- divres\_WB: 除法运算结果。
- PC\_wb\_WB: 跳转返回地址。
- 32'd0: 占位输入，无特定含义。

## 5 实验结果

ROM 初始化内容如下：

NO.	Instruction	Addr.	Label	ASM
0	00000013	0	__start:	addi x0, x0, 0
1	00402103	4		lw x2, 4(x0)
2	00802203	8		lw x4, 8(x0)
3	004100b3	C		add x1, x2, x4
4	fff08093	10		addi x1, x1, -1
5	00c02283	14		lw x5, 12(x0)
6	01002303	18		lw x6, 16(x0)
7	01402383	1C		lw x7, 20(x0)
8	402200b3	20		sub x1,x4,x2
9	ffd50093	24		addi x1,x10,-3
10	00520c63	28		beq x4,x5,label0
11	00420a63	2C		beq x4,x4,label0
12	00000013	30		addi x0,x0,0
13	00000013	34		addi x0,x0,0
14	00000013	38		addi x0,x0,0
15	00000013	3C		addi x0,x0,0
16	000040b7	40	label0:	lui x1,4
17	00c000ef	44		jal x1,12
18	00000013	48		addi x0,x0,0
19	00000013	4C		addi x0,x0,0
20	00000013	50		addi x0,x0,0
21	00000013	54		addi x0,x0,0
22	fffff0097	58		auipc x1, 0xfffff0
23	0223c433	5C		div x8, x7, x2
24	025204b3	60		mul x9, x4, x5
25	022404b3	64		mul x9, x8, x2
26	00400113	68		addi x2, x0, 4
27	000000e7	6C		jalr x1,0(x0)

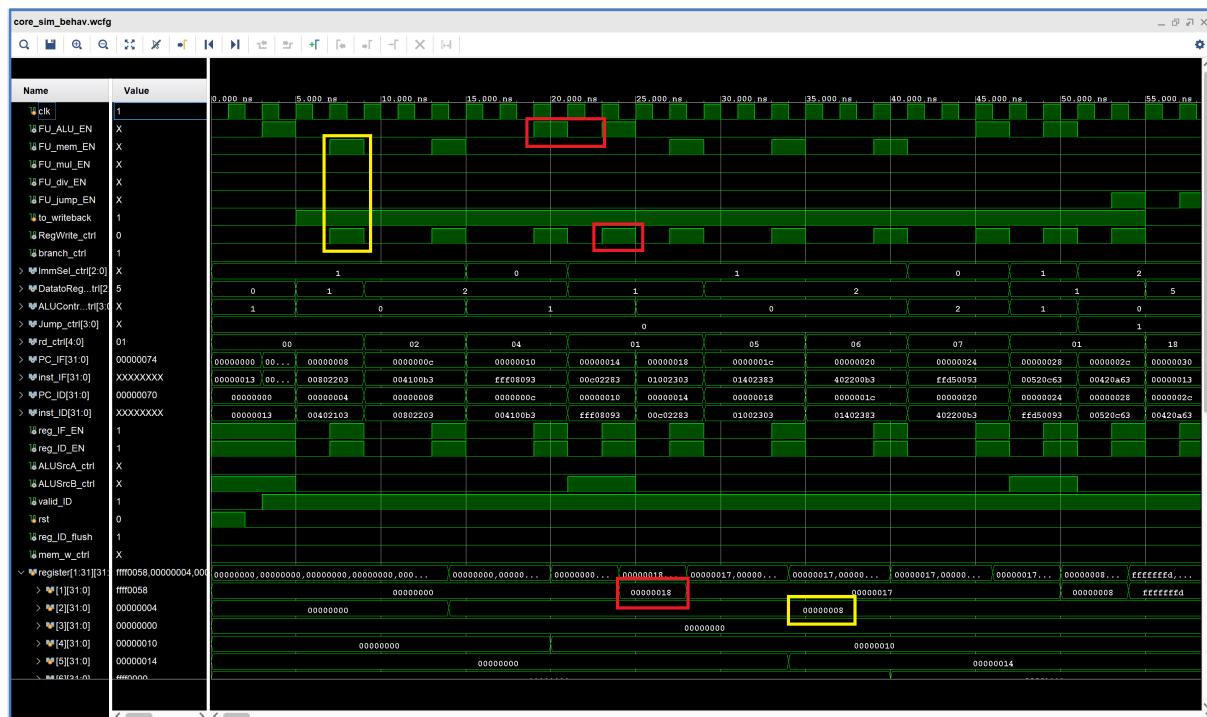
RAM 初始化内容如下：

No.	Data	Addr.
0	000080BF	0
1	00000008	4
2	00000010	8
3	00000014	C
4	FFFF0000	10
5	0FFF0000	14
6	FF000F0F	18
7	F0F0F0F0	1C
8	00000000	20
9	00000000	24
10	00000000	28
11	00000000	2C
12	00000000	30
13	00000000	34
14	00000000	38
15	00000000	3C

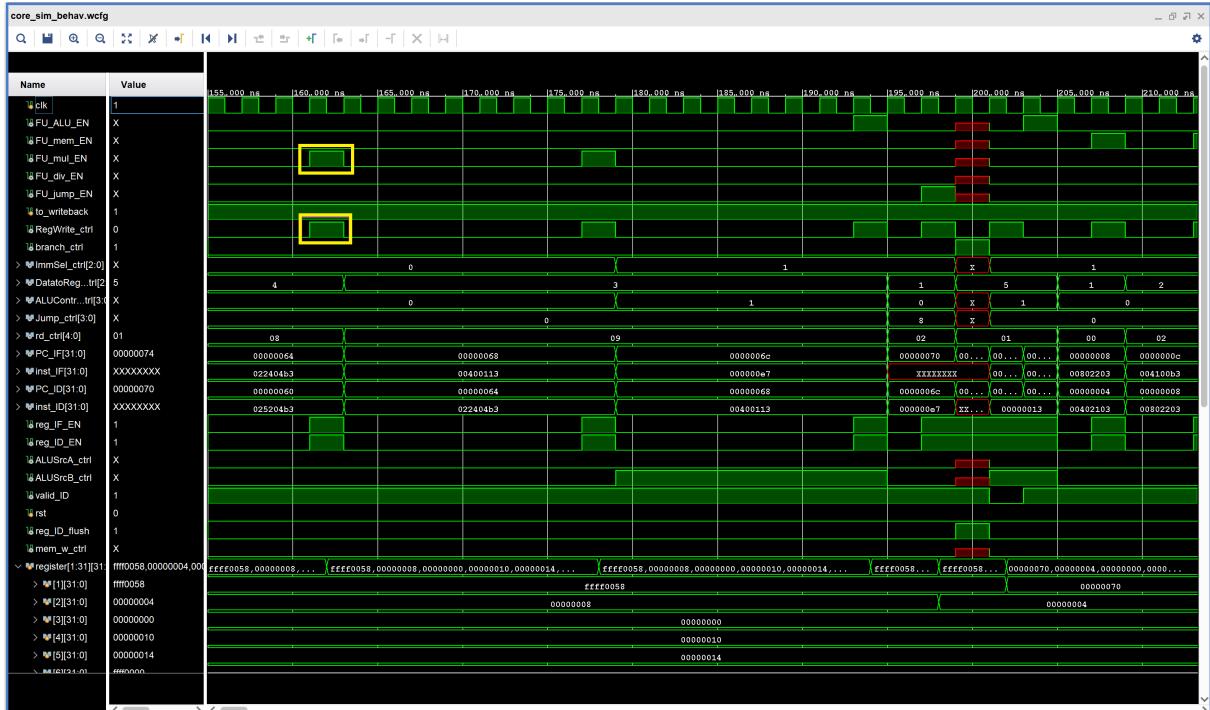
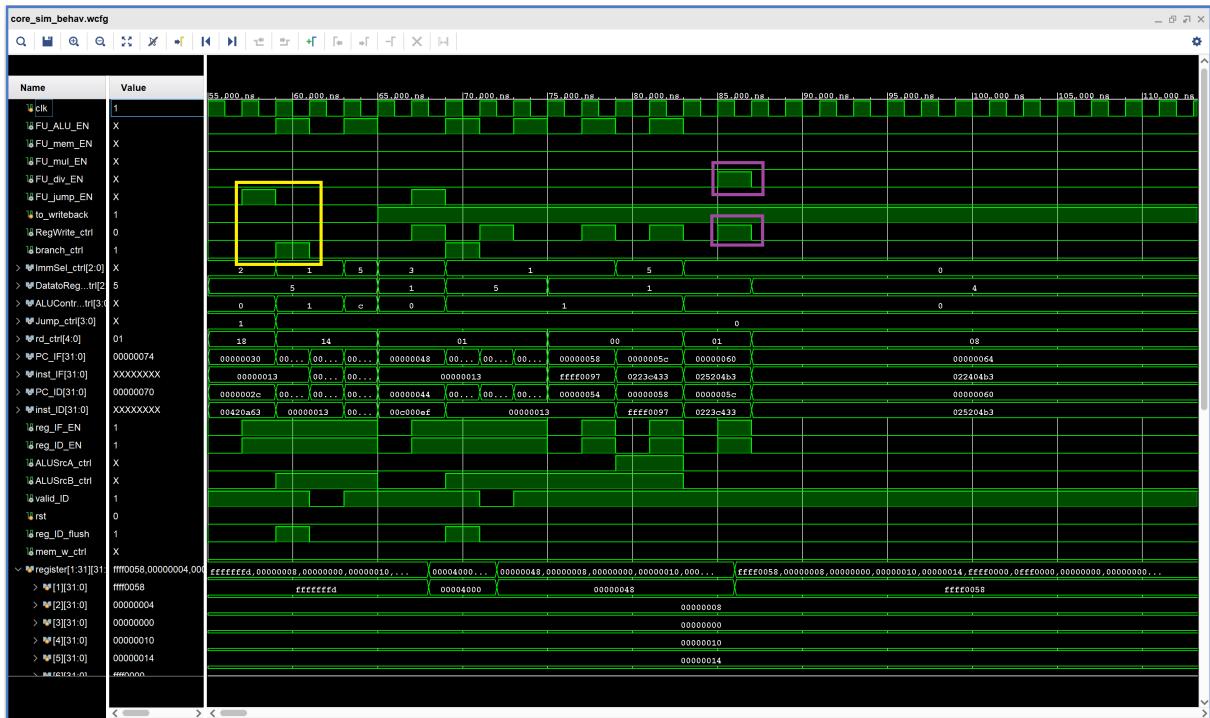
No.	Instruction	Addr.
16	00000000	40
17	00000000	44
18	00000000	48
19	00000000	4C
20	A3000000	50
21	27000000	54
22	79000000	58
23	15100000	5C
24	00000000	60
25	00000000	64
26	00000000	68
27	00000000	6C
28	00000000	70
29	00000000	74
30	00000000	78
31	00000000	7C

## 5.1 仿真测试点分析

仿真波形如下：



## Lab 5 Dynamically Scheduled Pipelines using Scoreboarding



下面选取部分关键测试点进行详细说明：

### 5.1.1 Load 操作

```
1 // PC = 0x4  
2 lw x2, 4(x0)
```

解释：

1. 执行 Load 操作时，处理器暂停 2 个时钟周期以完成对内存的读取，并在第 3 个时钟周期恢复流水线，同时将读取数据写回寄存器。
2. 在仿真波形中，观察到 FU\_mem、RegWrite\_Ctrl 均为 1，x2 寄存器的值更新为 0x8，表示 Load 操作执行正确。相关位置在第一张波形图中使用黄色矩形标注。

### 5.1.2 ALU 操作

```
1 // PC = 0xC  
2 add x1, x2, x4
```

解释：

1. 执行 ALU 操作时，处理器先将 FU\_ALU\_EN 置为 1。
2. FU\_ALU\_EN 置为 0，一个周期后，ALU 操作执行完成，RegWrite\_Ctrl 置为 1，表示将计算结果写回寄存器。
3. 在仿真波形中，观察到 x1 寄存器的值更新为 0x18 ( $x1=x2+x4=0x4+0x10=0x18$ )，表示 ALU 操作执行正确。相关位置在第一张波形图中使用红色矩形标注。

### 5.1.3 DIV 操作

```
1 // PC = 0x5C  
2 div x8, x7, x2
```

解释：

1. 执行 DIV 操作时，处理器先将 FU\_DIV\_EN 置为 1。
2. FU\_DIV\_EN 置为 0，若干周期后，DIV 操作执行完成，RegWrite\_Ctrl 置为 1，表示将计算结果写回寄存器。
3. 在仿真波形中，观察到 x8 寄存器的值更新为 0x ( $x8=x7/x2=0x0FFF0000/0x8=0x01FFE000$ )，表示 DIV 操作执行正确。相关位置在第二张波形图中使用紫色矩形标注。

#### 5.1.4 MUL 操作

```
1 // PC = 0x64  
2 mul x9, x8, x2
```

解释：

1. 执行 MUL 操作时，处理器先将 FU\_MUL\_EN 置为 1。
2. FU\_MUL\_EN 置为 0，若干周期后，MUL 操作执行完成，RegWrite\_Ctrl 置为 1，表示将计算结果写回寄存器。
3. 在仿真波形中，观察到 x9 寄存器的值更新为 0x18 ( $x1=x8*x2=0x01FFE000*0x8=0x0FFF0000$ )，表示 MUL 操作执行正确。相关位置在第三张波形图中使用黄色矩形标注。

#### 5.1.5 Branch 指令

```
1 // PC = 0x2C  
2 beq x4, x4, label0
```

解释：

1. 执行 Branch 指令时，处理器先将 FU\_Jump\_EN 置为 1，以对操作数进行比较，决定是否跳转。
2. 若比较结果为需要跳转，则将 branch\_ctrl 置为 1。
3. 在仿真波形中，观察到上述信号变化，表示 Branch 指令执行正确。相关位置在第二张波形图中使用黄色矩形标注。

## 5.2 上板测试结果分析

上板测试结果如下，均与预期相符：

测试点 1：x2, x4, x5, x6, x7 数据载入正确

(PC: 0x0-0x1C)

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-V)							
x0:zero 00000000	x01: ra 00000017	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000				
x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000				
x08:fps0 00000000	x09: s1 00000000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000				
x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000				
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000				
x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000				
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26:s10 00000000	x27:s11 00000000				
x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000				
PC---IF 00000024	INST-IF FFD50093	PC---IS 00000028	INST-IS 40220003				
rs1addr 00000004	rsidata 00000010	rs2data 00000002	rs2addr 00000008				
Imm-Sel 00000000	Imm--FU 00000000	ALUout- 00000017	PC---EM 00000001				
ALUE/Fi 00010000	ALUCtrl 00000002	ALUA-RD 00000010	ALUB-RD 00000008				
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000				
mulE/Fi 00000000	mulres- 00000000	divE/Fi 00000000	divres- 00000000				
jmpE/Fi 00000000	jmpCtrl 00000000	PC-jump FFFFF000	PC-wrtb 00000004				
RegWrit 00000001	rd-addr 00000007	DaToReg 00000002	wt-data 0FFF0000				
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000				
CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000				
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000				
CODE-2C 00000000	CODE-2D 00000000	CODE-2E 00000000	CODE-2F 00000000				
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000				
CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000				
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000				
CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000				
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000				
CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000				

测试点 2：SUB 指令执行正确

(PC: 0x20, x1=x4-x2=0x10-0x8=0x8 )

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-V)							
x0:zero 00000000	x01: ra 00000008	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000				
x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000				
x08:fps0 00000000	x09: s1 00000000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000				
x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000				
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000				
x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000				
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26:s10 00000000	x27:s11 00000000				
x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000				
PC---IF 00000028	INST-IF 00520C63	PC---IS 00000024	INST-IS FFD50093				
rs1addr 0000000A	rsidata 00000000	rs2data 00000010	rs2addr 00000000				
Imm-Sel 00000001	Imm--FU FFFFFFFD	ALUout- 00000008	PC---EM 00000001				
ALUE/Fi 00010000	ALUCtrl 00000001	ALUA-RD 00000000	ALUB-RD FFFFFFFD				
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000				
mulE/Fi 00000000	mulres- 00000000	divE/Fi 00000000	divres- 00000000				
jmpE/Fi 00000000	jmpCtrl 00000000	PC-jump FFFFF000	PC-wrtb 00000004				
RegWrit 00000001	rd-addr 00000001	DaToReg 00000001	wt-data 00000000				
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000				
CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000				
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000				
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000				
CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000				
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000				
CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000				
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000				
CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000				

## 测试点 3: ADDI 指令执行正确

(PC: 0x24, x1=x10-3=0x0-3=0xFFFFFFF)D

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-V)							
x0:zero 00000000	x01: ra FFFFFFFD	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000	x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000
x8:fps0 00000000	x09: s1 00000000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000	x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000	x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26: s10 00000000	x27: s11 00000000	x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000
PC---IF 0000002C	INST-IF 00420A63	PC---IS 00000028	INST-IS 00520C63	rs1addr 00000001	rs1data 00000010	rs2data 00000005	rs2addr 00000014
Imm-Sel 00000002	Imm-FU 00000018	ALUout- FFFFFFFD	PC---EN 00000001	ALUE/Fi 00000008	ALUCtrl 00000000	ALUA-RO 00000010	ALUB-RO 00000014
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000	mulE/Fi 00000000	mulres- 00000000	divE/Fi 00000000	divres- 00000000
jmpE/Fi 00010000	jmpCtrl 00000001	PC-jump FFFFFFF000	PC-wrtb 00000004	RegWrit 00000001	rd-addr 00000001	DaToReg 00000001	wt-data FFFFFFFD
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000	CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000	CODE-2C 00000000	CODE-2D 00000000	CODE-2E 00000000	CODE-2F 00000000
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000	CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000	CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000	CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000

## 测试点 4: BEQ 指令跳转正确

(PC: 0x2C, 跳转至 0x40)

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-V)							
x0:zero 00000000	x01: ra FFFFFFFD	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000	x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000
x8:fps0 00000000	x09: s1 00000000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000	x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000	x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26: s10 00000000	x27: s11 00000000	x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000
PC---IF 00000040	INST-IF 00000007	PC---IS 00000034	INST-IS 00000013	rs1addr 00000000	rs1data 00000000	rs2data 00000000	rs2addr 00000000
Imm-Sel 00000001	Imm-FU 00000000	ALUout- 00000000	PC---EN 00000001	ALUE/Fi 00000001	ALUCtrl 00000001	ALUA-RO 00000000	ALUB-RO 00000000
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000	mulE/Fi 00000000	mulres- 00000000	divE/Fi 00000000	divres- 00000000
jmpE/Fi 00000000	jmpCtrl 00000000	PC-jump 00000040	PC-wrtb 00000030	RegWrit 00000000	rd-addr 00000014	DaToReg 00000005	wt-data 00000030
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000	CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000	CODE-2C 00000000	CODE-2D 00000000	CODE-2E 00000000	CODE-2F 00000000
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000	CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000	CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000	CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000

**测试点 5: LUI 指令执行正确**  
 (PC: 0x40, x1=0x00004000)

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-U)							
x0:zero 00000000	x01: ra 00004000	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000	x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000
x8:fps0 00000000	x09: s1 00000000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000	x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000	x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26: s10 00000000	x27: s11 00000000	x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000
PC---IF 00000040	INST-IF 00000013	PC---IS 00000044	INST-IS 00C0000F	rs1addr 00000000	rs1data 00000000	rs2data 0000000C	rs2addr 00000000
Imm-Sel 00000003	Imm--FU 0000000C	ALUout- 00000000	PC---EN 00000001	ALUE/Fi 00000000	ALUCtrl 00000000	ALUA-RD 00000000	ALUB-RD 00000000
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000	mulE/Fi 00000000	mulres- 00000000	divE/Fi 00000000	divres- 00000000
jmpE/Fi 00010000	jmpCtrl 00000000	PC-jump 00000040	PC-wrtb 00000030	RegWrit 00000001	rd-addr 00000001	DaToReg 00000001	wt-data 00004000
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000	CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000	CODE-2C 00000000	CODE-2D 00000000	CODE-2E 00000000	CODE-2F 00000000
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000	CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000	CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000	CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000

**测试点 6: MUL、DIV 指令执行正确**  
 (PC: 0x5C-0x64, x8=0x01FFE000, x9=0x0FFF0000)

Zhejiang University Computer Organization Experimental SOC Test Environment (With RISC-U)							
x0:zero 00000000	x01: ra FFFF0058	x02: sp 00000008	x03: gp 00000000	x04: tp 00000010	x05: t0 00000014	x06: t1 FFFF0000	x07: t2 0FFF0000
x8:fps0 01FFE000	x09: s1 0FFE0000	x10: a0 00000000	x11: a1 00000000	x12: a2 00000000	x13: a3 00000000	x14: a4 00000000	x15: a5 00000000
x16: a6 00000000	x17: a7 00000000	x18: s2 00000000	x19: s3 00000000	x20: s4 00000000	x21: s5 00000000	x22: s6 00000000	x23: s7 00000000
x24: s8 00000000	x25: s9 00000000	x26: s10 00000000	x27: s11 00000000	x28: t3 00000000	x29: t4 00000000	x30: t5 00000000	x31: t6 00000000
PC---IF 00000070	INST-IF 025204B3	PC---IS 0000006C	INST-IS 000000E7	rs1addr 00000000	rs1data 00000000	rs2data 00000000	rs2addr 00000000
Imm-Sel 00000001	Imm--FU 00000000	ALUout- 00000004	PC---EN 00000000	ALUE/Fi 00000001	ALUCtrl 00000000	ALUA-RD 00000000	ALUB-RD 00000000
memE/Fi 00000000	mem-wri 00000000	u-b-h-w 00000000	memdata 0FFF0000	mulE/Fi 00000000	mulres- 0FFF0000	divE/Fi 00000000	divres- 01FFE000
jmpE/Fi 00000000	jmpCtrl 00000000	PC-jump 00000050	PC-wrtb 00000048	RegWrit 00000000	rd-addr 00000002	DaToReg 00000001	wt-data FFFF0058
CODE-20 00000000	CODE-21 00000000	CODE-22 00000000	CODE-23 00000000	CODE-24 00000000	CODE-25 00000000	CODE-26 00000000	CODE-27 00000000
CODE-28 00000000	CODE-29 00000000	CODE-2A 00000000	CODE-2B 00000000	CODE-2C 00000000	CODE-2D 00000000	CODE-2E 00000000	CODE-2F 00000000
CODE-30 00000000	CODE-31 00000000	CODE-32 00000000	CODE-33 00000000	CODE-34 00000000	CODE-35 00000000	CODE-36 00000000	CODE-37 00000000
CODE-38 00000000	CODE-39 00000000	CODE-3A 00000000	CODE-3B 00000000	CODE-3C 00000000	CODE-3D 00000000	CODE-3E 00000000	CODE-3F 00000000
CODE-40 00000000	CODE-41 00000000	CODE-42 00000000	CODE-43 00000000	CODE-44 00000000	CODE-45 00000000	CODE-46 00000000	CODE-47 00000000