

P4 设计文档

P4 设计文档

设计草稿

- 一、设计与测试说明
- 二、整体结构
 - 1.模块规格

思考题

- 数据通路设计
- 控制器设计
- 在线测试相关信息

设计草稿

一、设计与测试说明

- 处理器为 32 位单周期处理器
- 不考虑延迟槽
- 支持的指令集为{add（不支持溢出，事实上为addu），sub（不支持溢出，事实上为subu），ori, lw, sw, beq, lui, jal, jr, nop}
- 采用模块化和层次化设计，顶层文件为 mips.v，有效驱动信号仅包括**同步复位**信号 reset 和时钟信号 clk，接口定义如下：

```
module mips(  
    input clk,  
    input reset  
);
```

- 我个人实现的指令集为{add（不支持溢出，事实上为addu），sub（不支持溢出，事实上为subu），*addi, xor, ori, lw, lb, sw, beq, bgtz, lui, jal, jr, nop*}

Italic 部分为我新增的指令

二、整体结构

1.模块规格

- IFU
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	clk	I	时钟信号

序号	信号名	方向	描述
2	reset	I	同步复位信号 1'b1: 清零 1'b0: 保持
3	NPC[31:0]	I	32 位当前指令计数, 接收 NPC 的 NPC 信号
4	PC[31:0]	O	输出 NPC 信号
5	Instr[31:0]	O	32 位 MIPS 指令

- 功能定义

序号	功能	描述
1	同步复位	reset 信号为 1'b1 时, 置 PC 为 0x00003000
2	取指令	根据 PC 的值从 IM 中取出指令
3	输出 PC	输出当前指令计数

- NPC

- 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	NPCControl[2:0]	I	接收 Controller 的 NPCControl 信号
2	Zero	I	ALU 运算结果是否为 0
3	GreaterZero	I	SrcA 是否 > 0 的标志信号, 接收 ALU 的 GreaterZero 信号
4	LessZero	I	SrcA 是否 < 0 的标志信号, 接收 ALU 的 LessZero 信号
5	Beq	I	当前指令是否为 beq
6	Bgtz	I	当前指令是否为 bgtz
7	PC[31:0]	I	接收 IFU 的 PC 信号
8	Imm26[25:0]	I	接收 Splitter 的 Imm26 信号
9	EXTImm32[31:0]	I	接收 EXT 的 EXTImm32 信号
10	GRF[rs]	I	接收 GRF[rs] 的值
11	NPC[31:0]	O	Next PC, 下一条指令计数
12	PC4	O	PC + 4

- 功能定义

序号	功能	描述
1	计算 NPC	<p>根据NPCControl 计算 NPC</p> <p>$NPCControl = 3'b000$ 时: 递增, $NPC = PC + 4$</p> <p>$NPCControl = 3'b001$ 时: 计算 beq bgtz 指令地址: $NPC = PC + 4 + sign_extend(offset 0^2)$</p> <p>$NPCControl = 3'b010$ 时: 计算 j jal 指令地址: $NPC = PC[31:28] instr_index 0^2$</p> <p>$NPCControl = 3'b100$ 时: 计算 jr jalr 指令地址: $NPC = GRF[rs]$</p>
2	输出 PC + 4	-

- GRF
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	clk	I	时钟信号
2	reset	I	同步复位信号 1'b1: 清零 1'b0: 保持
3	RegWrite	I	写使能信号, 接受 RegWrite 1'b1: 可写入数据 1'b0: 不可写入数据
4	A1[4:0]	I	5 位地址位选信号, 接收 rs
5	A2[4:0]	I	5 位地址位选信号, 接收 rt
6	RegAddr[4:0]	I	5 位地址位选信号, 选择写入的寄存器
7	RegData[31:0]	I	32 位写入数据
8	RD1[31:0]	O	输出 GRF[rs]
9	RD2[31:0]	O	输出 GRF[rt]

- 功能定义

序号	功能	描述
1	同步复位	reset 信号为 1'b1 时, 将所有寄存器清空为 32'b0
2	读寄存器	将 A1 和 A2 对应的寄存器中的值输出到 RD1 和 RD2
3	写寄存器	RegWrite 为 1'b1 且 RegAddr 不为 5'b0 时, 在时钟上升沿将 RegData 的值写入到 RegAddr 对应的寄存器中

- ALU
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	SrcA[31:0]	I	第一个运算数
2	SrcB[31:0]	I	第二个运算数
3	ALUControl[2:0]	I	ALU 控制信号，对应的操作为： 3'b000: + 3'b001: - 3'b010: ^ (按位异或) 3'b011: (按位) 3'b100: << (左移)
4	shamt[4:0]	I	-
5	Zero	O	SrcA 与 SrcB是否相等的标志信号： 1'b1: 相等 1'b0: 不相等
6	GreaterZero	O	SrcA 是否 > 0的标志信号
7	LessZero	O	SrcA 是否 < 0的标志信号
8	ALUResult[31:0]	O	SrcA 与 SrcB 运算结果

- 功能定义

序号	功能	描述
1	加法	输出 SrcA + SrcB 到 ALUResult
2	减法	输出 SrcA - SrcB 到 ALUResult
3	按位与	输出 SrcA & SrcB 到 ALUResult
4	按位或	输出 SrcA SrcB 到 ALUResult
5	左移	输出 SrcA << shamt 到 ALUResult
6	判断相等	输出 Zero 信号到 Zero
7	判断 SrcA 与 0 大小关系	大于置 GreaterZero 为 1，反之置 LessZero 为1

- Controller
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
----	-----	----	----

序号	信号名	方向	描述
1	opcode[5:0]	I	32 位 MIPS 指令中的 opcode 字段
2	funct[5:0]	I	32 位 MIPS 指令中的 funct 字段
3	ALUControl[2:0]	O	ALU 控制信号，确定 ALU 执行的功能，端口说明见 ALU
4	MemRead	O	DM 读信号
5	MemWrite	O	DM 写信号
6	RegWrite	O	GRF 写信号
7	Mem2Reg[2:0]	O	GRF 写入数据的选择信号 3'b0: ALU 运算结果 3'b1: Memory[Addr] 3'b10: EXT 运算结果 3'b11: PC + 4
8	EXTControl[1:0]	O	EXT 扩展方式选择信号 2'b00: 零扩展 2'b01: 符号扩展 2'b10: 低 16 位零扩展
9	ALUSrc	O	ALU 的第二个操作数选择信号 1'b0: RD2 1'b1: EXT 扩展的立即数
10	RegDst[1:0]	O	寄存器写地址控制 2'b00: rt 2'b01: rd 2'b10: 31
11	NPCControl[2:0]	O	NPC 计算方式选择信号 3'b000: 递增 3'b001: beq 指令跳转 3'b010: j 指令跳转 3'b011: GRF[rs]
12	Beq	O	当前指令是否为 beq
13	Bgtz	O	当前指令是否为 bgtz

o 功能定义

序号	功能	描述
1	产生 ALU 控制信号	-
2	产生 GRF 控制信号	-
3	产生 DM 控制信号	-

序号	功能	描述
4	产生 EXT 控制信号	-
5	产生 IFU 控制信号	-
6	输出当前指令是否为特定指令（对于 beq 与 bgtz）	-

- EXT
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	Imm16[15:0]	I	16 位需要扩展的立即数
2	EXTControl[1:0]	I	符号扩展的标志信号 接收 Controller 产生的 EXTControl 信号 2'b00：零扩展 2'b01：符号扩展 2'b10：低位零扩展
3	EXTResult[31:0]	O	32 位扩展结果

- 功能定义

序号	功能	描述
1	高位符号扩展	-
2	高位零扩展	-
3	低位零扩展	-

- DM
 - 端口说明

序号	信号名	方向	描述
1	clk	I	时钟信号
2	reset	I	同步复位信号 1'b1：清零 1'b0：保持
3	MemWrite	I	写控制信号 1'b1：可写 1'b0：不可写
4	MemRead	I	读控制信号 1'b1：可读 1'b0：不可读

序号	信号名	方向	描述
5		PC[31:0]	I
6	MemAddr[31:0]	I	32 位地址位选信号
7	MemData[31:0]	I	写入内存的 32 位数据
8	MemReadData[31:0]	O	从内存读出的 32 位数据
9	ReadByteData	O	lb 指令得到的运算结果

◦ 功能定义

序号	功能	描述
1	同步复位	reset 信号为 1'b1 时，清空所有 RAM
2	读内存	MemRead 为 1'b1 时，将 MemAddr 对应地址中的值读出到 MemReadData
3	写内存	MemWrite 为 1'b1 时，将 MemData 的值写入到 MemAddr 对应的内存中

思考题

数据通路设计

思考题

阅读下面给出的 DM 的输入示例中（示例 DM 容量为 4KB，即 32bit × 1024 字），根据你的理解回答，这个 addr 信号又是从哪里来的？地址信号 addr 位数为什么是 [11:2] 而不是 [9:0]？

文件	模块接口定义
dm.v	<pre>dm(clk, reset, MemWrite, addr, din, dout); input clk; //clock input reset; //reset input MemWrite; //memory write enable input [11:2] addr; //memory's address for write input [31:0] din; //write data output [31:0] dout; //read data</pre>

lw 和 sw 的地址计算结果由 ALU 得到，以字节为单位，而 addr 信号以字为单位，需要除 4，即右移两位

DM 需要 10 位位选信号，所以需要取低 10 位，考虑右移应该取 [11:2]

控制器设计

思考题

思考上述两种控制器设计的译码方式，给出代码示例，并尝试对比各方式的优劣。

代码示例如下：

```
wire add, sw, lui;
assign add = (opcode == 6'b000000) & (funct == 6'b100000);
assign sw  = (opcode == 6'b101011);
assign lui = (opcode == 6'b001111);

assign EXTControl = {lui, sw};
assign MemWrite = sw;
assign RegWrite = add | lui;
assign ALUSrc = sw | lui;
assign RegDst = add;
```

```
`define R    6'b000000
`define ADD  6'b100000
`define SUB  6'b100010
`define SW   6'b101011
`define LUI  6'b001111

case(opcode)
  `R: begin
    case(funct)
      `ADD: begin
        RegDst = 1;
        RegWrite = 1;
      end
      `SUB: begin
        RegDst = 1;
        RegWrite = 1;
      end
      // other R type instructions
      default: //...
    endcase
  end
  `SW: begin
    ALUSrc = 1;
    MemWrite = 1;
    EXTControl = 2'b01;
  end
  `LUI: begin
    ALUSrc = 1;
    MemWrite = 1;
    EXTControl = 2'b10;
  end
endcase
```

两种方式的优劣：

第一种方式优点是代码量更小；缺点是耦合度较高，每次添加新指令时都需要改变控制信号的计算方式

第二种方式优点是对于每种指令的行为更为明确，耦合度低，可扩展性好；缺点是代码量较大，case 语句中每个分支所需的控制信号赋值语句较为复杂

在线测试相关信息

思考题

在相应的部件中，复位信号的设计都是**同步复位**，这与 P3 中的设计要求不同。请对比**同步复位**与**异步复位**这两种方式的 reset 信号与 clk 信号优先级的关系。

同步复位中，reset 信号的优先级与 clk 信号相同，都作为 always 块的敏感信号

异步复位中，reset 信号优先级高于 clk 信号，在 reset 信号高电平时，不需要在时钟上升沿便会触发复位

C 语言是一种弱类型程序设计语言。C 语言中不对计算结果溢出进行处理，这意味着 C 语言要求程序员必须很清楚计算结果是否会导致溢出。因此，如果仅仅支持 C 语言，MIPS 指令的所有计算指令均可以忽略溢出。请说明为什么在忽略溢出的前提下，addi 与 addiu 是等价的，add 与 addu 是等价的。提示：阅读《MIPS32® Architecture For Programmers Volume II: The MIPS32® Instruction Set》中相关指令的 Operation 部分。

对于 add 与 addu 这一组指令：

add:

Operation:

```
temp ← (GPR[rs]31 || GPR[rs]31..0) + (GPR[rt]31 || GPR[rt]31..0)
if temp32 ≠ temp31 then
    SignalException(IntegerOverflow)
else
    GPR[rd] ← temp
endif
```

addu:

Operation:

```
temp ← GPR[rs] + GPR[rt]
GPR[rd] ← temp
```

因为在指令为 add 时，GPR[rd] 只能保存 temp 的低 32 位，其结果数值上与 addu 计算得到的 temp 相同

对于 addi 与 addiu 同理