

c) 必须采用模块化和层次化设计。整个设计文件目录结构应类似于 Figure2。

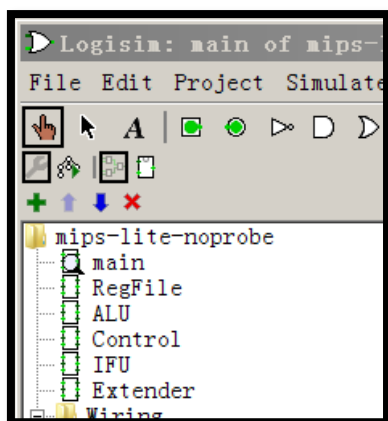


Figure2 设计层次(仅供参考)

4. IFU: 内部包括 PC、IM(指令存储器)及相关逻辑。
 - a) PC: 用寄存器实现, 宽度为 30 位。PC 应具有复位功能。
 - b) IM: 容量为 32bit×32 字, 用 ROM 实现。
 - c) 说明: 由于 IM 地址仅为 5 位, 因此请用 2 个对接的 Splitter 实现将 PC 低位地址与 IM 地址连接。
5. GPR: 以 32 个 32 位具有写使能的寄存器为基础, 辅以多路选择器。
6. ALU: 实现加法及减法时, 不允许使用 logisim 内置的 Adder 及 Subtractor! 加法、减法实现必须以门电路为基础。
7. EXT: 可以使用 logisim 内置的 Bit Extender。
8. DM: 容量为 32bit×32 字, 用 RAM 实现。
 - a) DM 应采用双端口模式, 即设置 RAM 的“Data Interface”属性为“Separate load and store ports”。
9. 必须有时钟源, 即如 Figure1 中绿圈所示。
 - a) 只有设置了时钟源, 系统才能自动运行, 从而让程序连续运行。

三、 模块定义【WORD】

10. 仿照下面给出的 IFU 模块定义, 给出所有功能部件的模块定义。
 - a) IFU、GPR、ALU、EXT、DM、Controller。
11. IFU 模块定义(参考样例)

(1) 基本描述

IFU 主要功能是完成取指令功能。IFU 内部包括 PC、IM(指令存储器)以及其他相关逻辑。IFU 除了能执行顺序取值指令外, 还能根据 BEQ 指令的执行情况决

定顺序取值令还是转移取值令。

(2) 模块接口

信号名	方向	描述
IfBeq	I	当前指令是否为 beq 指令标志。 1: 当前指令为 beq 0: 当前指令非 beq
Zero	I	ALU 计算结果为 0 标志。 1: 计算结果为 0 0: 计算结果非 0
clk	I	时钟信号
Reset	I	复位信号。 1: 复位 0: 无效
Instr[31:0]	O	32 位 MIPS 指令

(3) 功能定义

序号	功能名称	功能描述
1	复位	当复位信号有效时，PC 被设置为 0x00000000。
2	取指令	根据 PC 从 IM 中取出指令。
3	计算下一条指令地址	如果当前指令不是 beq 指令，则 $PC \leftarrow PC+1$ 如果当前指令是 beq 指令，并且 zero 为 0，则 $PC \leftarrow PC+1$ 如果当前指令是 beq 指令，并且 zero 为 1，则 $PC \leftarrow PC+sign_ext(当前指令\ 15..0)$ [注]PC 取地址为 4 字节，固低 2 位地址可以去除。

四、 控制器设计

12. 请仿照下图给出 MIPS-Lite2 指令集的单周期控制器真值表。【WORD】

See MIPS Green Sheet → **func**
→ **op**

	10 0000	10 0010	n/a			
	00 0000	00 0000	00 1101	10 0011	10 1011	00 0100
	add	sub	ori	lw	sw	beq
RegDst	1	1	0	0	X	X
ALUSrc	0	0	1	1	1	0
MemtoReg	0	0	0	1	X	X
RegWrite	1	1	1	1	0	0
MemWrite	0	0	0	0	1	0
nPC_sel	0	0	0	0	0	1
ExtOp	X	X	0	1	1	X
ALUctr<2:0>	Add	Subtract	Or	Add	Add	Subtract

Control Signals

All Supported Instructions

Figure3 控制信号真值表

- 结合真值表，请给出数据通路每个功能部件的每个控制信号的布尔表达式。
 - 表达式中只能使用“与、或、非”3 种基本逻辑运算。
 - 每个控制信号的表达式应该是指令 opcode 域与 funct 域的函数。
 - 对于多位的控制信号(如 ALUctr)，应诸位给出其逻辑表达式。
13. 请在 logisim 中完成控制器设计。
- 控制器整体结构需要仿照 Figure 4 实现。

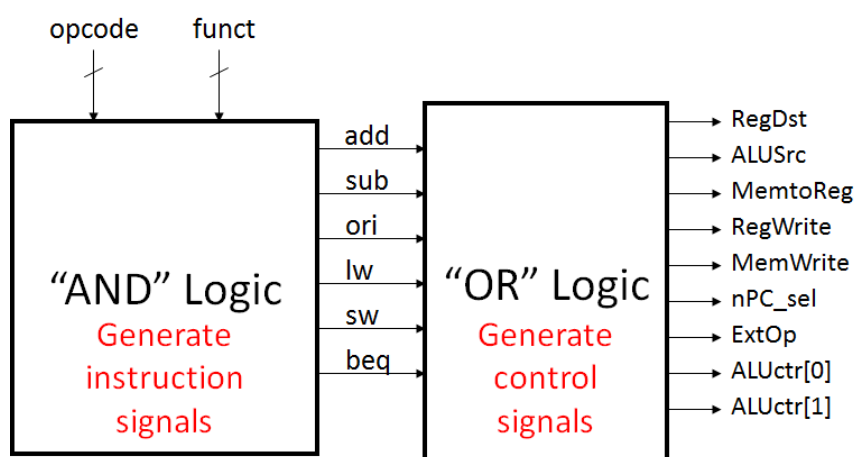


Figure 4 控制器基本结构

- 控制信号必须仿照下图方式实现。

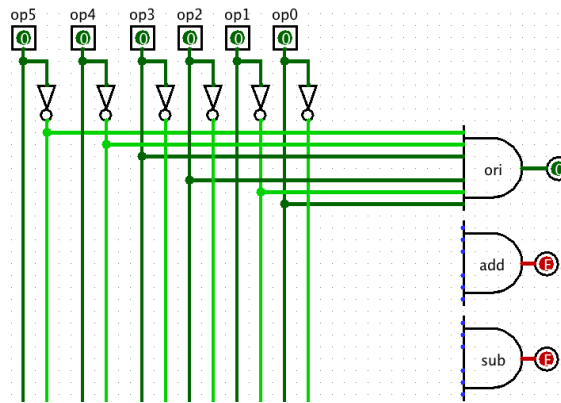


Figure5 与阵列：译码产生指令标识

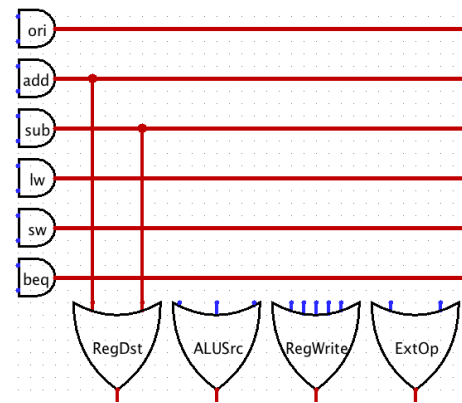


Figure6 或阵列：产生最终的控制信号

五、 测设要求

14. 所有指令都应被测试充分。
15. 构造 1 个至少 20 条以上指令的测试程序，并加载至 IFU 中运行通过。
 - a) MIPS-Lite2 定义的每条指令至少出现 1 次以上。
 - b) 演示时，测试程序必须已经通过 IFU 中的 IM 的“Load Image”加载完毕。
16. 详细说明你的测试程序原理。**【WORD】**
 - a) 应明确说明测试程序的测试期望，即应该得到怎样的运行结果。
 - b) 每条汇编指令都应该有注释。

六、 问答**【WORD】**

17. 请充分利用 Figure3 中的 X 可以将控制信号化简为最简单的表达式。
18. 对于 Figure5、Figure6 中的与或阵列来说，1 个 3 输入与门最终转化为 2 个 2 输入与门，1 个 4 输入与门最终转化为 3 个 2 输入与门，依次类推。或阵列也类似计算。那么
 - a) 请给出采用 Figure5、Figure6 中的方法设计的每个控制信号所对应的 2 输入与门、2 输入或门、非门的数量。
 - b) 请与第 17 项对比，你更喜欢哪种设计方法。为什么

七、 其他要求

19. 打包文件：Logisim 工程文件、测试程序二进制文件、项目报告。
20. 时间要求：各班实验指导教师指定。
21. 本实验要求文档中凡是出现了**【WORD】**字样，就意味着该条目需要在实验

报告中清晰表达。

22. 实验报告请按照《计算机组成原理实验报告撰写规则.doc》要求排版。

八、 实验测试要求

23. 实验成绩由下列部分组成：回答问题、MIPS-Lite2 处理器正确性、增加新指令后的处理器正确性等。
24. 实验测试时，你需要展示你的设计并证明其正确性。
25. 实验指导教师会临时增加 1~2 条指令，你需要在规定的时间内完成对原有设计的修改，并通过实验指导教师提供的测试程序。

九、 开发与调试技巧

26. 对于每条指令，请认真阅读《MIPS32® Architecture For Programmers Volume II: The MIPS32® Instruction Set》！
- a) 如果测试时，你无法清楚的解释所要求的指令，测试成绩将减一档！
27. <http://mooc.buaa.edu.cn> 上的《M_G06B2830: 数字系统设计工具集》中有关于 logisim 使用的课程，请学习之。
28. Figure1 中 Tunnel 的用途是将具有相同 name 的 tunnel 连接在一起。Tunnel 可以避免将图画得很乱。
29. Figure1 中 Probe 的用途是显示被 probed 信号的值，便于调试。
30. Figure1 中 Splitter 的用途是从某组信号中提取其中部分信号。例如，IFU 输出 32 位指令，需要提取高 6 位(OpCode)和低 6 位(Funct)分别输入 controller。
- a) splitter 是有位序的！但字号太小，需要放大设计图(界面左下有比例设置)。
- b) 建议高位永远在上，低位永远在下
31. 如果你对于 logisim 内置的某个部件的端口不明白，请：
- a) 仔细阅读 **Help→Library Refrence** 关于该部件的描述。
- b) 放大 logisim 显示比例直至能清晰看到代表部件的各个端口的圆点，然后将鼠标停留相应的圆点上，就可以读取端口具体信息。
32. 建议先在 MARS 中编写测试程序并调试通过。
- a) 注意 MARS 中的“Settings→Memory Configuration”只能配置指令存储器起始地址为 0 地址，而不能将指令存储器和数据存储器的起始地址均配

置为 0 地址！

- b) 由于 logisim 设计中的 DM 起始地址为 0, 因此请仔细观察所用到的指令, 在把 MARS 中调试通过的二进制码导出后, 你可能需要手工修改指令码中的数据偏移。
 - c) 提示: 事实上, 在现代主流计算机中, 数据存储器 and 指令存储器的起始地址不应该重叠。但在本设计中, 由于采用分离存储器设计方案, 因此可以暂时忽略这一点。
33. 当然, 如果你能再自学一点点存储器译码的知识, 那么只需再增加一个 DM 片选信号, 一切都搞定了(就不需要再考虑 32.b)了)。
- a) 片选信号就是对指令发出的数据存储器地址的高位分析。
 - b) 假设 DM 有 256MB 容量, 并且映射在 0x3000_0000~0x3FFF_FFFF 区间。那么只需要把高 4 位地址与 0x3 进行比较, 比较结果就是 DM 的片选信号。
 - c) Logisim 内置的 RAM 有片选信号！
34. 提示: 你可以考虑增加 7 段数码管等输入输出来让你的测试结果更加直观。
- a) 本条非必做要求。
 - b) 7 段数码管也需要类似片选等信号, 其工作原理与第 33 项类似。