

扩展指令集

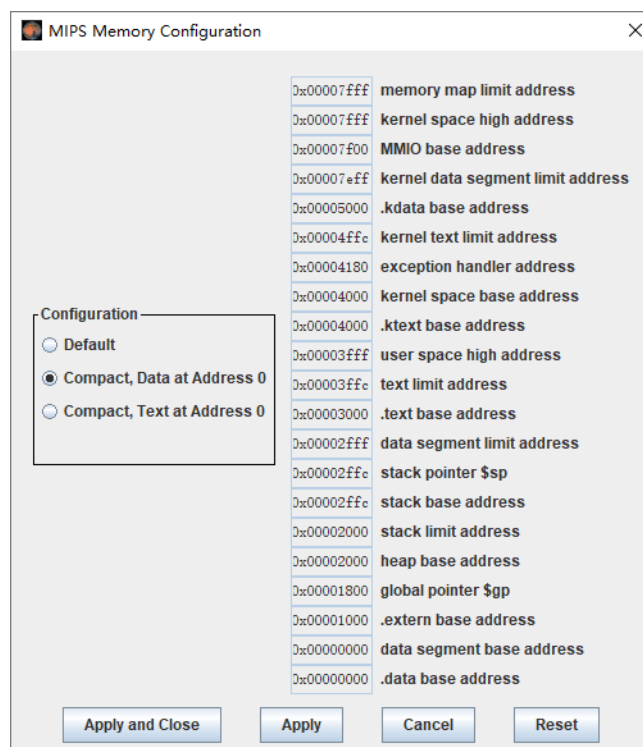
#	MIPS 指令	RTL 功能描述
C1	sllv \$rd,\$rt,\$rs	$R[\$rd] \leftarrow R[\$rt] \ll R[\$rs]$ 可变左移
C2	srlv \$rd,\$rt,\$rs	$R[\$rd] \leftarrow R[\$rt] \gg R[\$rs]$ 逻辑可变右移
C3	srav \$rd,\$rt,\$rs	$R[\$rd] \leftarrow R[\$rt] \ggg R[\$rs]$ 算术可变右移
C4	subu \$rd,\$rs,\$rt	$R[\$rd] \leftarrow R[\$rs] - R[\$rt]$ 无符号减
C5	xor \$rd,\$rs,\$rt	$R[\$rd] \leftarrow R[\$rs] \wedge R[\$rt]$ 异或
C6	xori \$rt,\$rs,imm	$R[\$rt] \leftarrow R[\$rs] \wedge \{0 \times 16, imm\}$
C7	lui \$rt,imm	$R[\$rt] \leftarrow \{(imm)[15:0], 0 \times 16\}$
C8	sltiu \$rt,\$rs,imm	$R[\$rt] \leftarrow R[\$rs] < \text{SignExt}_{16b}(imm)$ 无符号比较
C9	multu \$rs,\$rt	$\{HI, LO\} \leftarrow R[\$rs] * R[\$rt]$ 无符号乘
CA	divu \$rs,\$rt	$LO \leftarrow R[\$rs] / R[\$rt]$ $HI \leftarrow R[\$rs] \% R[\$rt]$ 无符号除法
CB	mflo \$rd	$R[\$rd] \leftarrow LO$ 取 LO 寄存器的值
M1	lb \$rt,imm(\$rs)	$R[\$rt] \leftarrow \text{SignExt}_{8b}(\text{Mem}_{1B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm)))$
M2	lh \$rt,imm(\$rs)	$R[\$rt] \leftarrow \text{SignExt}_{16b}(\text{Mem}_{2B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm)))$
M3	lbu \$rt,imm(\$rs)	$R[\$rt] \leftarrow \{0 \times 24, \text{Mem}_{1B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm))\}$
M4	lhu \$rt,imm(\$rs)	$R[\$rt] \leftarrow \{0 \times 16, \text{Mem}_{2B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm))\}$
M5	sb \$rt,imm(\$rs)	$\text{Mem}_{1B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm)) \leftarrow (R[\$rt])[7:0]$
M6	sh \$rt,imm(\$rs)	$\text{Mem}_{2B}(R[\$rs] + \text{SignExt}_{16b}(imm)) \leftarrow (R[\$rt])[15:0]$
B1	blez \$rs,imm	$\text{if}(R[\$rs] \leq 0) PC \leftarrow PC + \text{SignExt}_{18b}(\{imm, 00\})$ 有符号比较
B2	bgtz \$rs,imm	$\text{if}(R[\$rs] > 0) PC \leftarrow PC + \text{SignExt}_{18b}(\{imm, 00\})$ 有符号比较
B3	bltz \$rs,imm	$\text{if}(R[\$rs] < 0) PC \leftarrow PC + \text{SignExt}_{18b}(\{imm, 00\})$ 有符号比较
B4	bgez \$rs,imm	$\text{if}(R[\$rs] \geq 0) PC \leftarrow PC + \text{SignExt}_{18b}(\{imm, 00\})$ 有符号比较

每位同学应额外扩展 4 条指令，包括 2 条 C 类指令、1 条 M 类指令、1 条 B 类指令，简称 CCMB 系列指令。具体每位同学的指令要求见任务分配，最终实现的 MIPS 处理器能正确运行标准测试程序 benchmark.asm，要求修改 syscall 系统调用的功能，当系统调用号不等于 34 时，一律是暂停当前程序的执行，而不是停机，暂停后等待用户按下电路中的 Go 按钮才能继续运行。实验包中已经包括了所有 CCMB 系列指令的测试程序，请将对应的测试程序放置在 benchmark.asm 尾部以方便教师检查。

### 1.1.1 注意事项

#### 1) MIPS 虚存模式设置

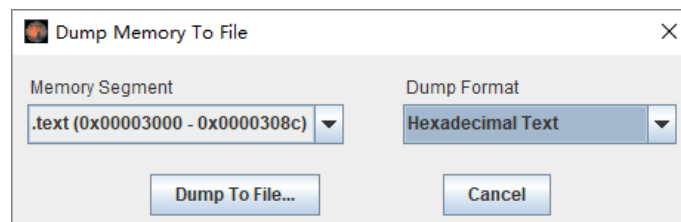
由于实验中设计的单周期 MIPS 处理器并不包括内存管理单元 MMU 部件，所以程序运行时的访存地址均是物理地址，设计时采用指令存储器和数据存储器分离的哈佛架构。访问数据时应该访问数据存储器，数据存储器的地址起始地址是 0，实验包中的测试程序均直接使用了 0 号地址开始的数据单元，为了使测试程序在 MARS 和实验设计的处理器中的运行结果保持一致，必须配置 MARS 模拟器中的 MIPS 虚存模式，具体可以选择菜单 Setting 的 Memory Configuration 选项，该选项可以设置 MIPS 虚拟地址空间的地址模式，这里应将虚存模式设置为 Compact 模式，这样数据段起始位置 0 开始的位置，如图错误!文档中没有指定样式的文字。1 所示。注意，如果采用 Default 模式在 MARS 中运行 sort.asm 排序程序时访存指令会越界访问代码段或内核段，引起保护错。



图错误!文档中没有指定样式的文字。 .1 MIPS 虚存模式配置

## 2) MIPS 机器指令导出

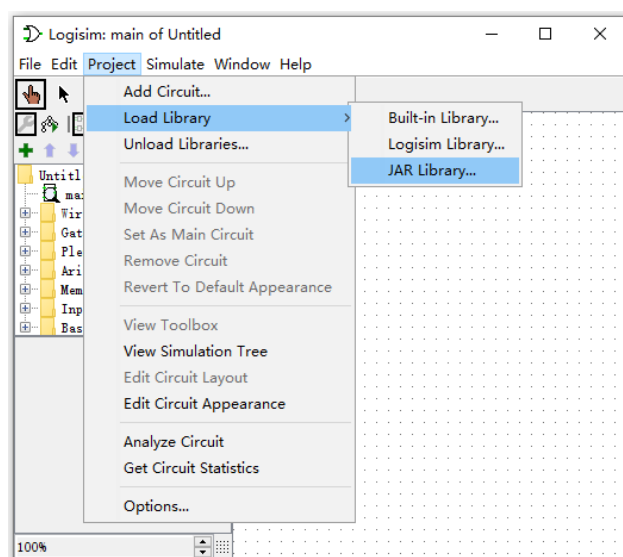
在 MARS 中可以利用 File 菜单中的 Dump Memory 功能将汇编程序的代码段的机器指令和数据段的数据导出，为了能直接在 Logisim 的 RAM 和 ROM 组件中宋使用，推荐采用十六进制文本的方式导出到某个文本文件，然后在文本文件第一行加入“v2.0 raw”，这样导出的文件即可直接加载到 Logisim 平台的 ROM 和 RAM 组件中，如图错误!文档中没有指定样式的文字。 .2 所示。



图错误!文档中没有指定样式的文字。 .2 MIPS 代码导出

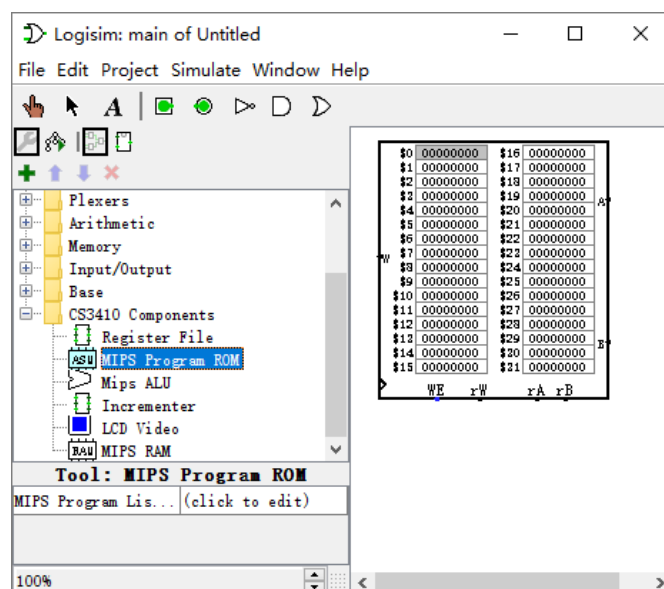
## 4、MIPS 寄存器文件库

存储系统实验中我们仅仅设计了包含 4 个寄存器的寄存器文件，为满足 MIPS 单周期处理器设计的需要，这里我们提供了一个包含 32 个寄存器的 MIPS 寄存器文件的库 CS3410.jar，该库由美国康奈尔大学开发，在 Logisim 平台中可以通过加载 JAR 库的方式加载第三方 JAVA 库，如图错误!文档中没有指定样式的文字。 .3 所示。



图错误!文档中没有指定样式的文字。 .3 JAR 库加载

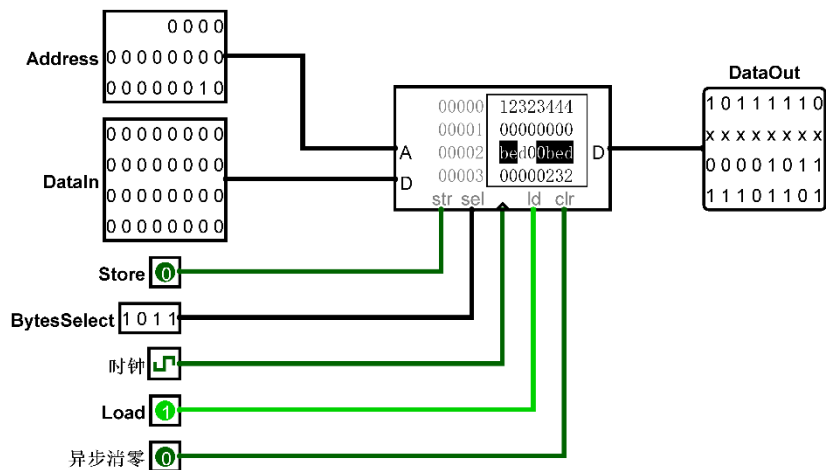
选择实验包中的 CS3410.jar 库，加载成功后 logisim 左下角的组件库会增加 CS3410 组件的选项，其中第一个组件就是寄存器文件，添加该组件到画布中，如图错误!文档中没有指定样式的文字。 .4 所示，这个寄存器文件的引脚 rA, rB 为读寄存器编号，rW 为写入寄存器编号，WE 为写使能，W 为写入数据，A、B 为 rA, rB 寄存器的输出值，该组件直接提供了 32 个寄存器观察窗口，非常直观，用户还可以使用手型的戳工具直接修改寄存器的值。需要注意的该组件缩小显示时组建上数字的显示可能不正常。



图错误!文档中没有指定样式的文字。 .4 MIPS 寄存器文件库

#### 4、MIPS RAM 库

在存储系统实验中我们设计过 MIPS RAM 电路，CS3410 库中也提供了一个标准的 MIPS RAM 组件抽象，在实现 LB、SB、LH、SH 等字节访问或半字访问指令时非常有用。该组件的访问接口如图错误!文档中没有指定样式的文字。 .5 所示，各引脚功能说明如下：



图错误!文档中没有指定样式的文字。 .5 MIPS RAM 组件

- A 是 20 位地址输入，MIPS RAM 组件中的每一行代表内存中的 4 个字节，图中 A 端地址为 0x000002，MIPS RAM 中第二行用黑底白字显示，0xbcd00bcd 为 2 号字单元的值，如果需要访问当前地址中具体某个字节或半字，需要设置 MIPS RAM 组件底部的 Sel 输入端口。缺省地址为 20 位，可以访问 1MWord=4MB。
- 左侧 D 为数据输入端，位宽 32 位，包含即将写入 RAM 的数据，具体写入时会根据 sel 端的设置决定数据输入端的哪些字节被写入。
- str 是存储控制位，类似于写使能，当 str=1 时，RAM 会根据 sel 的值写入 D 中的某些字节。
- sel 是选择控制字段，线宽 4 位，当 sel=0001 时，D 端口的 0~7 位被选中，当 sel = 0010, D 端口的 8~15 位被选中,当 sel = 0100 时, D 端口 16~23 位被选中,当 Sel=1000 时，D 端口 24~31 位被选中。另外 SEL=0011，表示 0~15 位被选中，SEL=1100，表示 16~31 位被选中，SEL=1111 时，4 个字节同时被选中。
- ld 是载入位，ld 为 1 时组件右侧的数据输出端口 D 输出当前字中被选择的字节，如果 ld=0，输出为高阻态。
- clr 为 1 时会清空 RAM 组件的所有内容。