Lab 3 汇编程序设计

姓名:傅申 学号: PB20000051 实验日期: 2022-4-6

1 实验题目

汇编程序设计

2 实验目的

- 熟悉 RISC-V 汇编指令的格式
- 熟悉 CPU 仿真软件 Ripes, 理解汇编指令执行的基本原理 (数据通路和控制器的协调工作过程)
- 熟悉汇编程序的基本结构, 掌握简单汇编程序的设计
- 掌握汇编仿真软件 RARS (RISC-V Assembler & Runtime Simulator) 的使用方法, 会用该软件进行汇编程序的仿真, 调试以及生成 CPU 测试需要的指令和数据文件 (COE)
- 理解 CPU 调试模块 PDU 的使用方法

3 实验平台

- Windows 11 PC + OpenJDK 17.0.2
- Ripes: RISC-V graphical processor simulator, v2.2.4
- RARS: RISC-V Assembler and Runtime Simulator, v1.5

4 实验内容

4.1 理解并仿真 Ripes 示例汇编程序

`consolePrinting.s` 的输出结果为

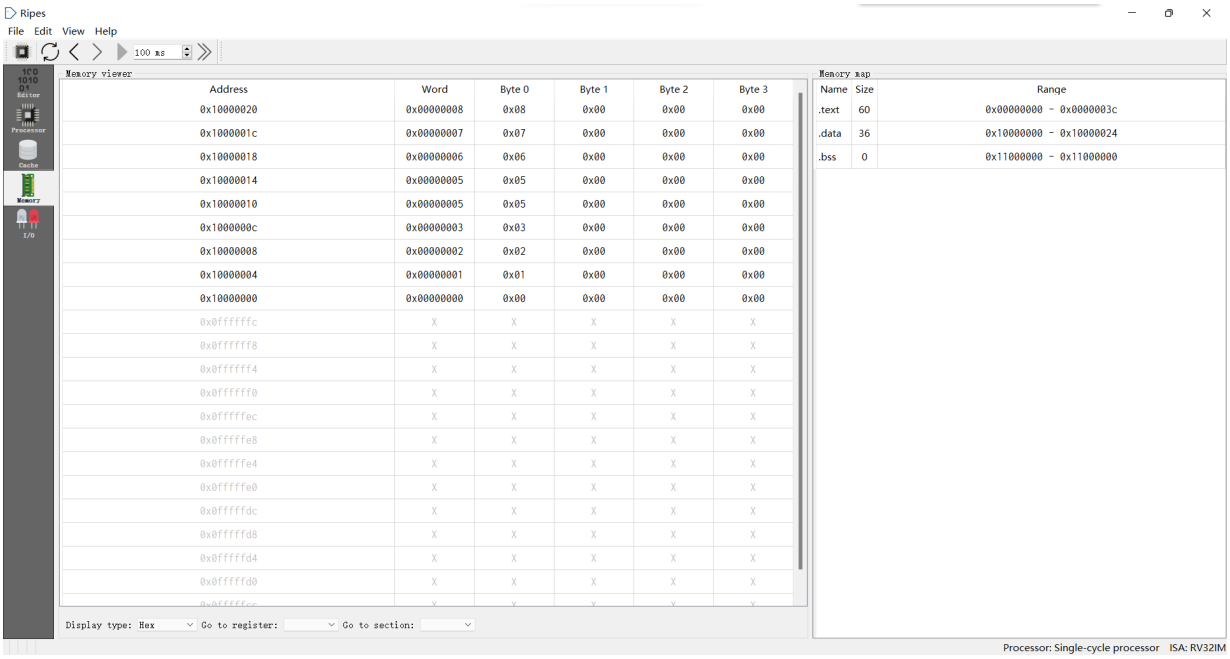
```
A string
-10, -9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
3.14159
!, ", #, $, %, &, ', (, ), *, +, ,, -, ., /, 0, 1, 2, 3, 4, 5,
Program exited with code: 0
```

4.2 设计汇编程序, 验证 6 条指令功能

设计的汇编程序如下:

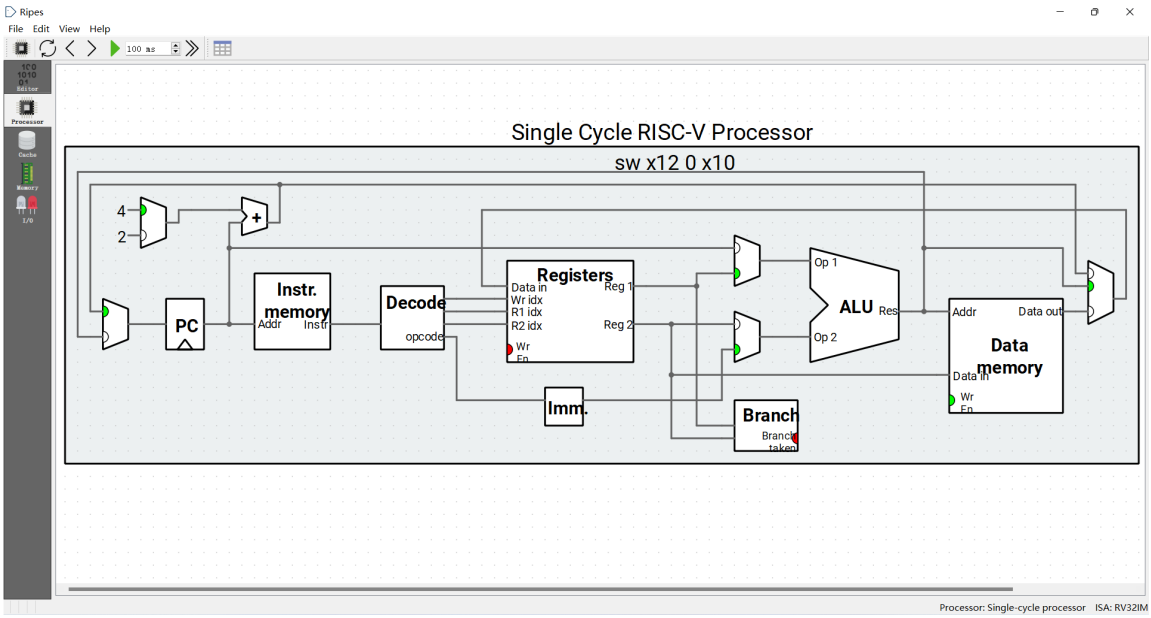
```
.data
array:  .word   0x00 0x01 0x02 0x03 0x04 0x05 0x06 0x07 0x08

.text
    la      a0, array
    lw      a1, 4(a0)
    addi    a0, a0, 16
    lw      a2, 0(a0)
    add     a2, a2, a1
    sw      a2, 0(a0)
    addi    a0, a0, -16
    lw      a1, 0(a0)
branch:
    beq     a1, x0, case1
    jal     case2
case1:
    addi    a1, a1, 1
    jal     x0, branch
case2:
    addi    a7, x0, 10
    ecall
```

执行完成后的内存情况:



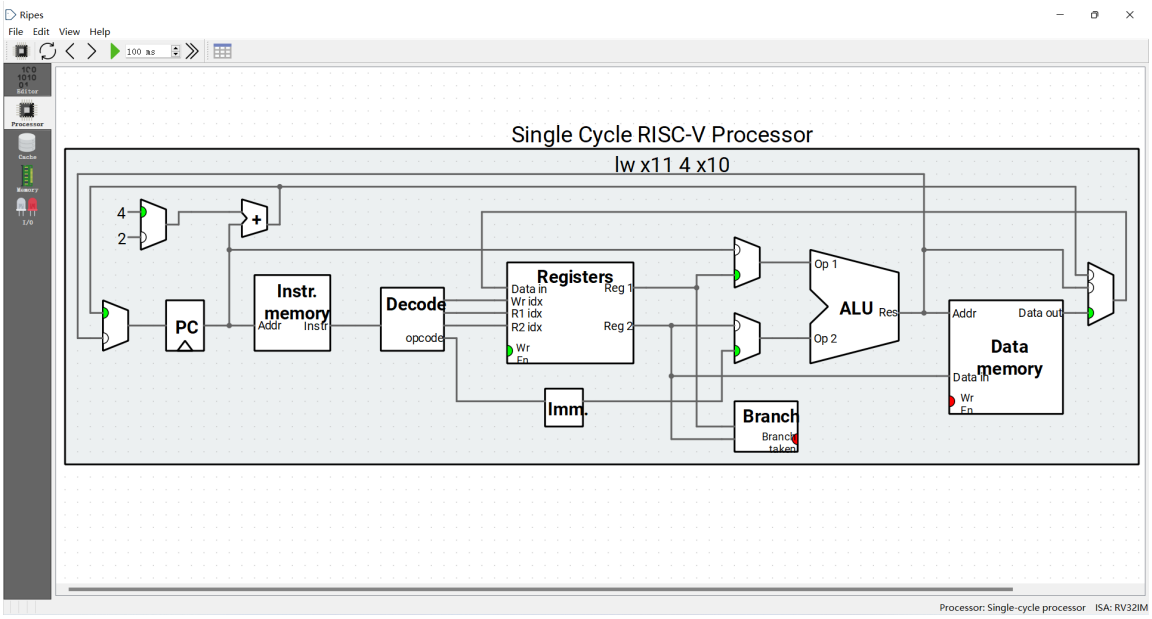
下面简要说明 `sw`, `lw`, `add`, `addi`, `beq`, `jal` 的执行过程.

- `sw rs2, offset(rs1)`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rs1` 和 `rs2` 的下标, 分别传入寄存器堆的 `R1 idx` 和 `R2 idx`的端口, 输出两个寄存器中的值.
2. 指令中的 `offset` 由译码器传入的信号通过立即数生成单元生成.
3. ALU 前的两个 Mux 分别选择 `rs1` 和 `offset` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到地址.
4. 数据存储器的写使能打开, `rs2` 的值被写入到地址所指向的内存位置.
5. 寄存器堆的写使能关闭. PC 前的 Mux 选择 PC + 4 的值.

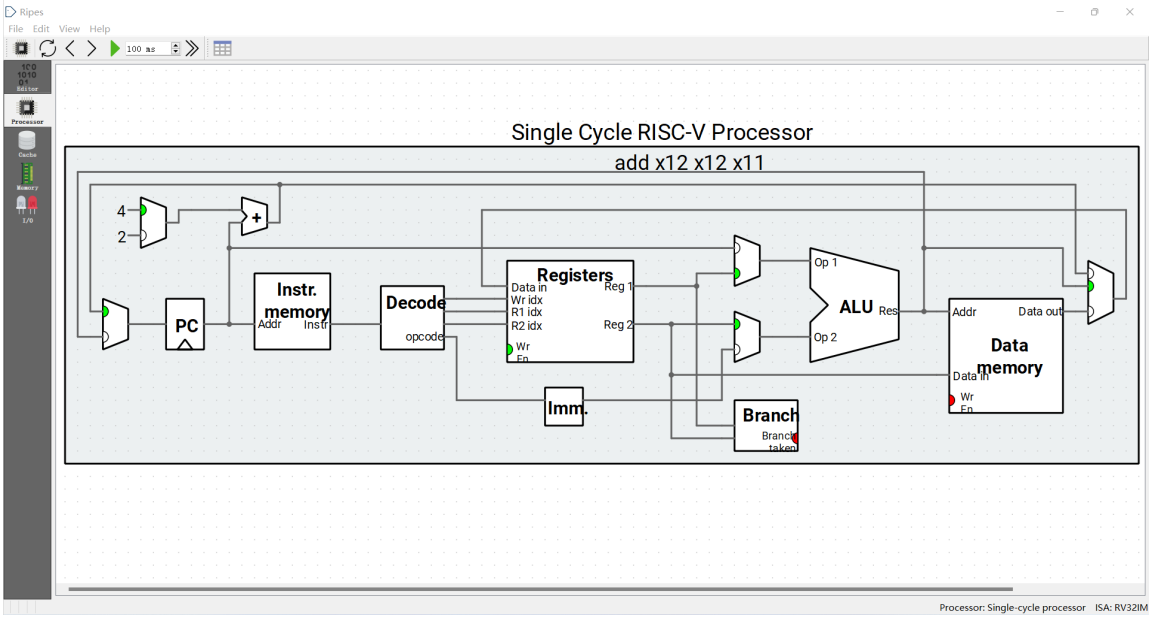
- `lw rd, offset(rs1)`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rs1` 和 `rd` 的下标, 分别传入寄存器堆的 `R1 idx` 和 `Wr idx` 端口. 寄存器堆输出 `rs1` 的值.
2. 指令中的 `offset` 由译码器传出的信号通过立即数生成单元生成.
3. ALU 前的两个 Mux 分别选择 `rs1` 和 `offset` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到地址.

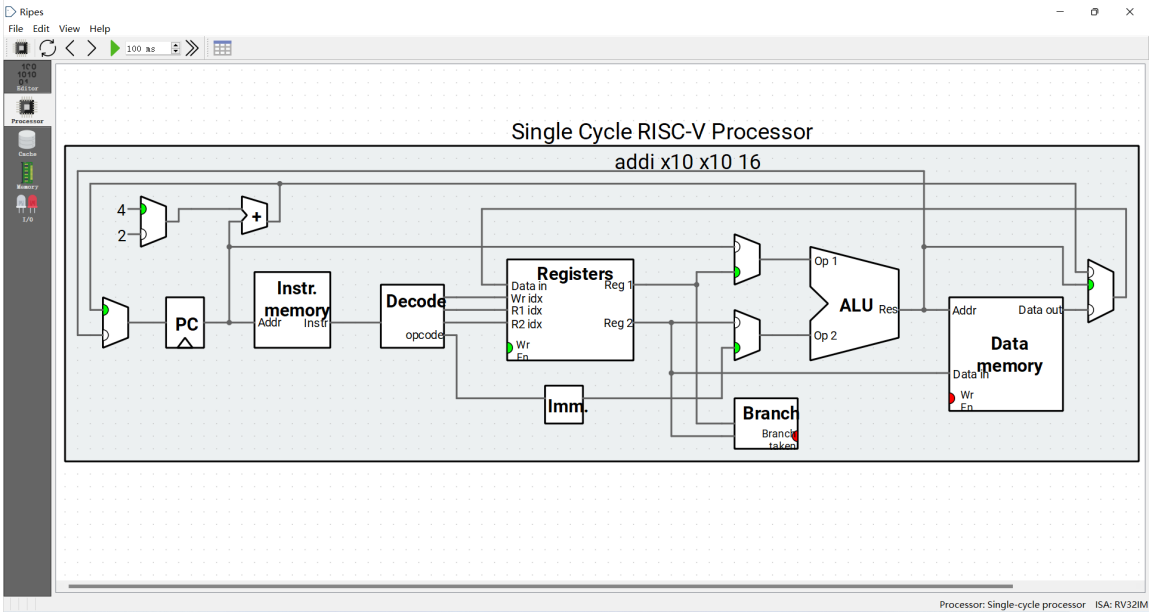
4. 数据存储器的写使能关闭, 取出地址所指向的内存位置的值, 由后面的 Mux 选择并传入到寄存器堆的 `Data in` 端口.
5. 寄存器堆的写使能打开, 数据被存到 `rd` 中.
6. PC 前的 Mux 选择 PC + 4 的值.

- `add rd, rs1, rs2`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rs1`, `rs2` 和 `rd` 的下标, 分别传入寄存器堆的 `R1 idx`, `R2 idx` 和 `Wr idx` 端口, 寄存器堆输出 `rs1` 和 `rs2` 的值.
2. ALU 前的两个 Mux 分别选择 `rs1` 和 `rs2` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到结果并被后面的 Mux 选择.
3. 寄存器堆的写使能打开, 结果被存到 `rd` 中.
4. 数据存储器的写使能关闭. PC 前的 Mux 选择 PC + 4 的值.

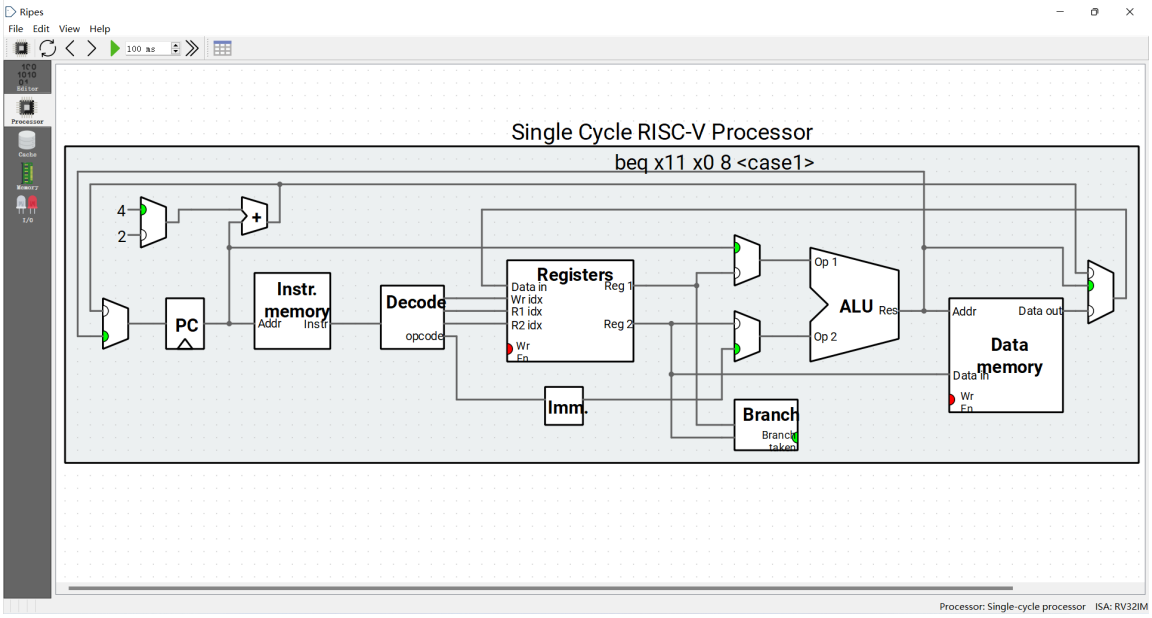
- `addi rd, rs1, imm`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rs1` 和 `rd` 的下标, 分别传入寄存器堆的 `R1 idx` 和 `Wr idx` 端口. 寄存器堆输出 `rs1` 的值.

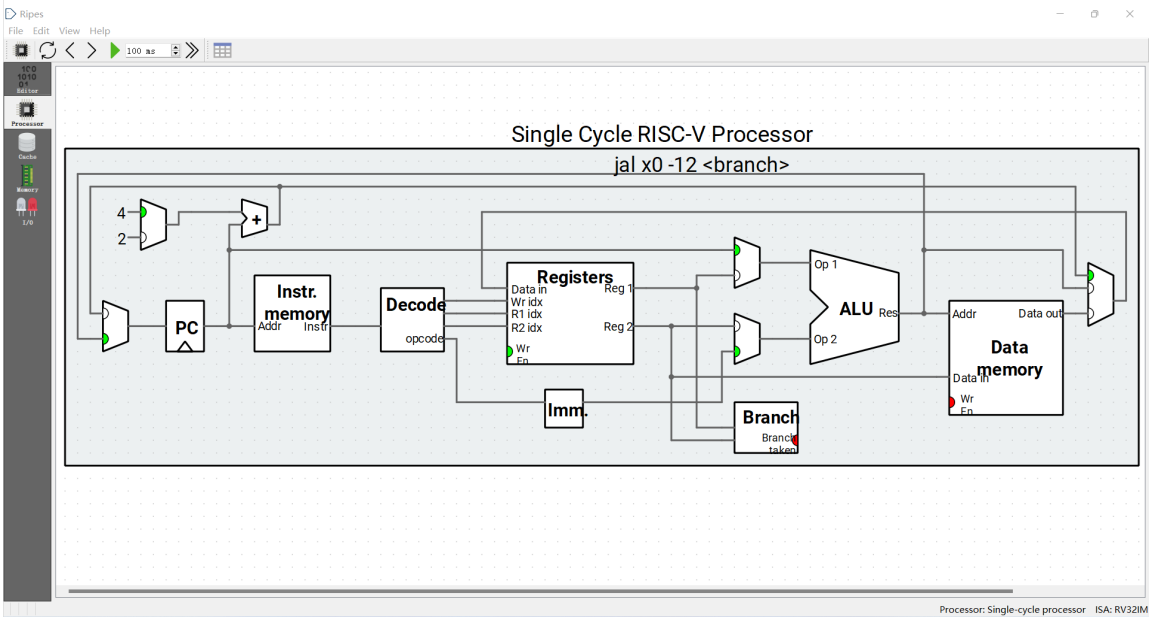
2. 指令中的 `imm` 由译码器传出的信号通过立即数生成单元生成.
3. ALU 前的两个 Mux 分别选择 `rs1` 和 `imm` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到结果并被后面的 Mux 选择.
4. 寄存器堆的写使能打开, 结果被存到 `rd` 中.
5. 数据存储器的写使能关闭. PC 前的 Mux 选择 PC + 4 的值.

- `beq rs1, rs2, offset`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rs1` 和 `rs2` 的下标, 分别传入寄存器堆的 `R1 idx` 和 `R2 idx` 端口. 寄存器堆输出 `rs1` 和 `rs2` 的值.
2. 指令中的 `offset` 由译码器传出的信号通过立即数生成单元生成.
3. ALU 前的两个 Mux 分别选择 PC 和 `offset` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到下一条指令 (可能) 的地址, 它可能被 PC 前的 Mux 选择.
4. Branch 单元比较 `rs1` 和 `rs2` 的值, 如果相等, 则 PC 前的 Mux 选择计算出的地址, 否则选择 PC + 4.
5. 寄存器堆和数据存储器的写使能关闭.

- `jal rd, offset`



1. 指令从指令存储器取出后经译码器得到 `rd` 的下标, 传入寄存器堆的 `Wr idx` 端口.
2. 数据存储器后面的 Mux 选择当前的 PC 值, 传入寄存器堆的 `Data in` 端口. 寄存器堆的写使能打开, 当前 PC 被存到 `rd` 中.
3. 指令中的 `offset` 由译码器传出的信号通过立即数生成单元生成.
4. ALU 前的两个 Mux 分别选择 PC 和 `offset` 的值, 传入 ALU 后做加法运算得到下一条指令的地址.
5. PC 前的 Mux 选择计算出的地址.
6. 数据存储器的写使能关闭.

4.3 设计汇编程序, 计算 FLS

设计的汇编程序如下:

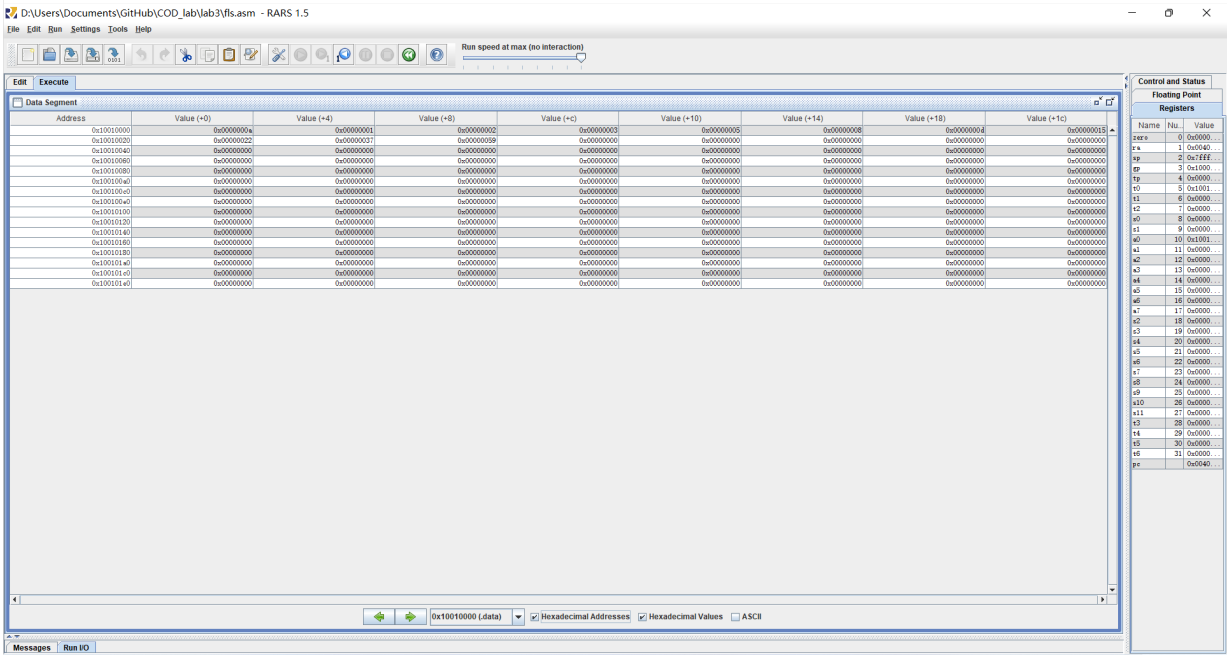
```
.data
newline:
    .string "\n"
array:
    .word   0x0001 0x0002

.text
load: # load the arguments
    la      a0, array   # a0 <- pointer to array
    addi    a1, x0, 10  # a1 <- number of elements
    lw      a2, 0(a0)
    lw      a3, 4(a0)
    addi    a0, a0, 8
    addi    a1, a1, -2

    # print first two elements
    addi    a4, a2, 0
    jal     x1, print
    addi    a4, a3, 0
    jal     x1, print

```

```
22  loop: # generate, store and print the array
23      bge     x0, a1, exit
24      add     a4, a2, a3
25      sw      a4, 0(a0)
26      jal     x1, print
27      addi    a0, a0, 4
28      addi    a2, a3, 0
29      addi    a3, a4, 0
30      addi    a1, a1, -1
31      jal     x0, loop
32
33  print:
34      addi    t0, a0, 0
35      addi    a0, a4, 0
36      addi    a7, x0, 1
37      ecall
38      la      a0, newline
39      addi    a7, x0, 4
40      ecall
41      addi    a0, t0, 0
42      jalr    x1
43
44  exit: # quit program
45      addi    a7, x0, 10
46      ecall
```

其中第 11 行的 `addi` 指令决定了程序会计算多少项.
程序的输出为

```
1
2
3
5
8
13
21
34
55
89
```

内存中部分值为



即下表

Address	Value (+0)	Value (+4)	Value (+8)	Value (+c)	Value (+10)	Value (+14)	Value (+18)	Value (+1c)
0x10010000	0x0000000a	0x00000001	0x00000002	0x00000003	0x00000005	0x00000008	0x0000000d	0x00000015
0x10010020	0x00000022	0x00000037	0x00000059	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000	0x00000000

.text 段生成的 coe 文件如下

```
0fc10517
00450513
00a00593
00052603
00452683
00850513
ffe58593
00060713
030000ef
00068713
028000ef
04b05663
00d60733
00e52023
018000ef
00450513
00068613
00070693
fff58593
fe1ff06f
00050293
00070513
00100893
00000073
0fc10517
fa050513
00400893
00000073
```

```
00028513
000080e7
00a00893
00000073
```

5 心得体会

本次实验比较简单.