数字逻辑与处理器基础
MIPS汇编编程实验

实验指导书

2023年 春季学期

陈佳煜 杜禧瑞

目录

安装JRE

- 运行JAVA程序包需要运行环境：Java Runtime Environment (JRE)
- Windows系统运行 JavaSetup8u241.exe按提示进行安装。
- 如果安装中又遇到问题，或者其他操作系统可以访问JAVA官网：https://www.java.com/zh_CN/，下载完成后按提示进行安装。

负责助教联系方式

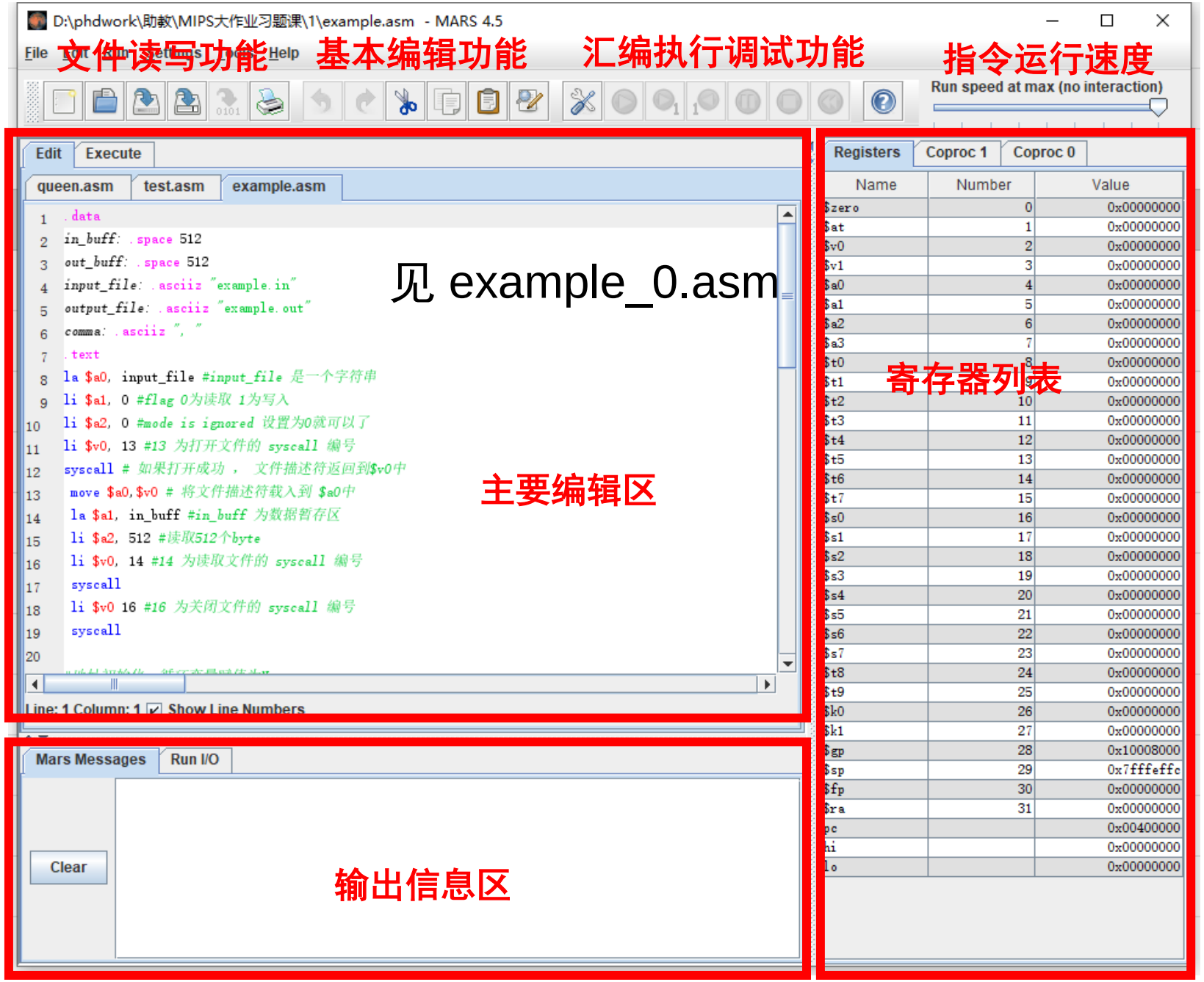
- 陈佳煜： **jiayu-ch19@mails.tsinghua.edu.cn**
- 杜禧瑞：**dxr22@mails.tsinghua.edu.cn**

运行MARS

- 如果JRE正确安装，双击Mars4_5.jar即可打开MARS仿真器。
- 如果打不开，先检查JRE是否安装正确，可以考虑重新安装。
- 如果是软件包的问题可以进入MARS官网下载。https://courses.missouristate.edu/KenVollmar/mars/download.htm
- 接下来将用example_0.asm作为例子演示MARS的用法。

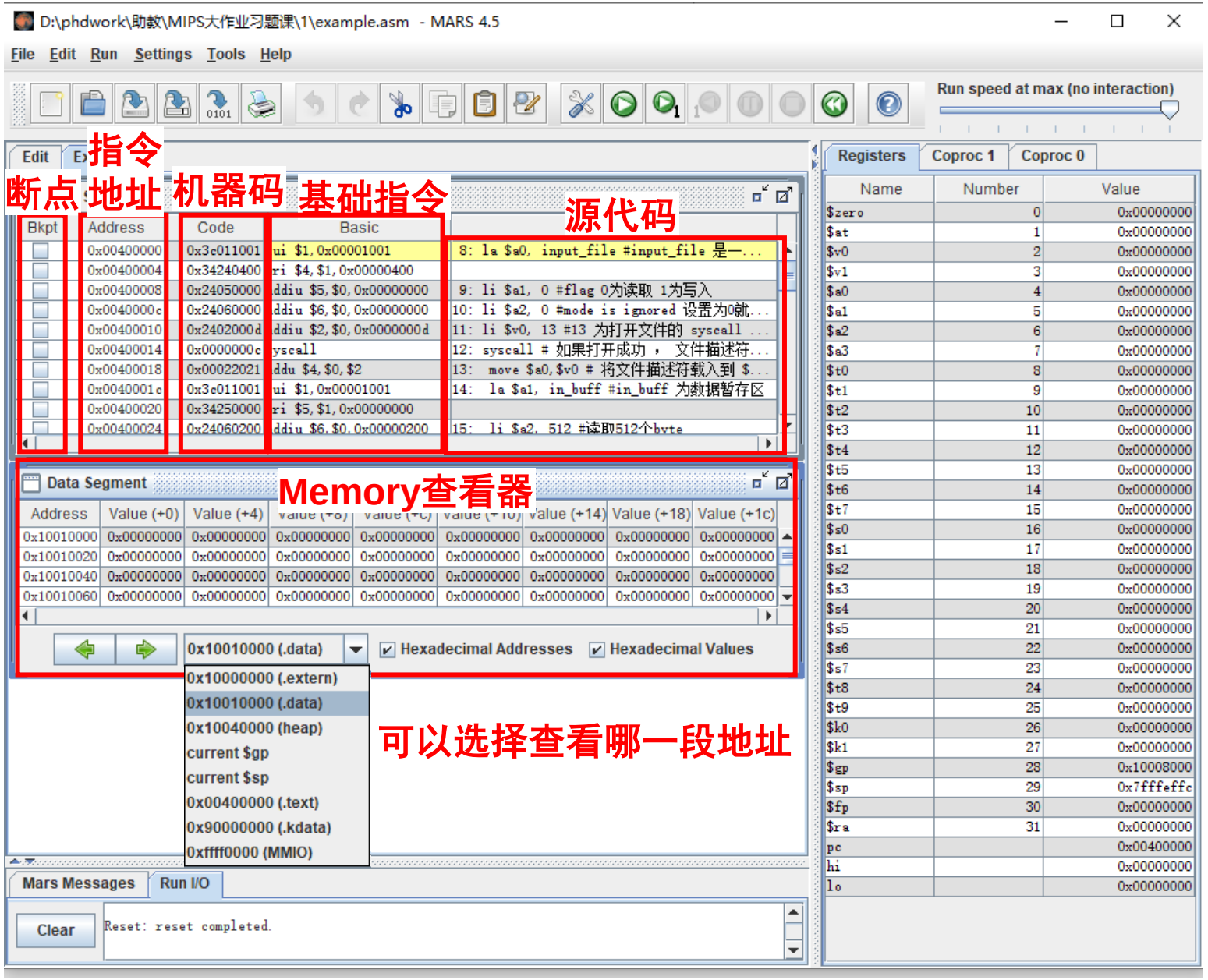
运行MARS

- 运行MARS后的主要界面如图所示。
- 主要编辑区用于编写汇编指令。
- 输出信息区可以查看程序运行过程中的输出和系统报错等。
- 寄存器列表实时显示当前运行状态下各个寄存器存储的值。



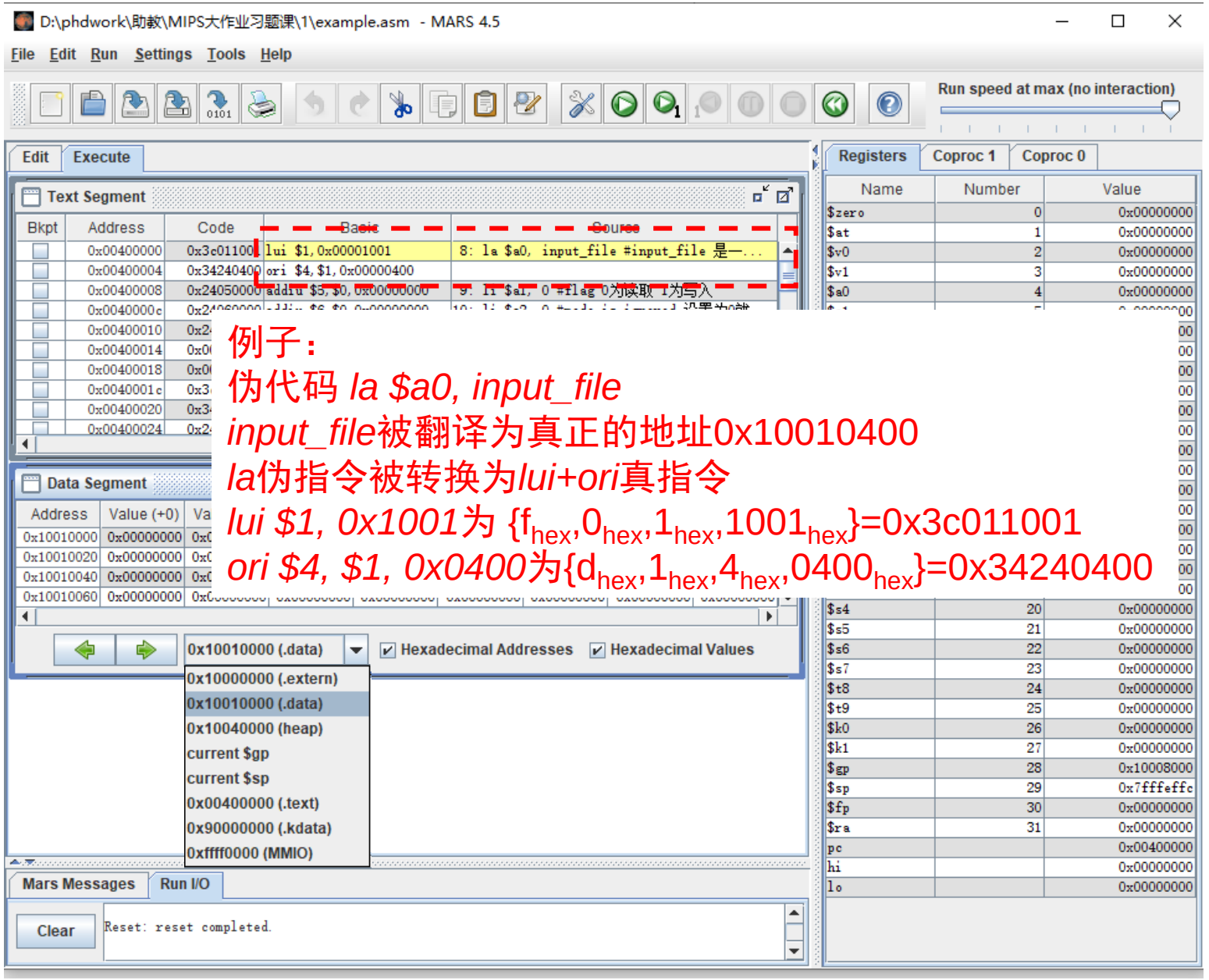
汇编运行

- 首先打开汇编文件example_0.asm
- 点击汇编按钮即可切换到执行页面，源代码汇编成基础指令和机器码，PC置为0x00400000，并等待执行。
- 执行页面内可以看到汇编后的基础指令和对应的机器码，每条指令的指令地址。



汇编运行

- 源代码：用户编写的汇编代码，包括标记，伪代码等。
- 基础指令：汇编后的指令，伪代码被转换，标记被翻译。
- 地址&机器码：与基础指令一一对应，32bit一条指令，地址依次加四。
- 断点：调试用，当执行到这一句时暂停。



例子：

伪代码 *la $a0, input_file*

*input_file*被翻译为真正的地址0x10010400

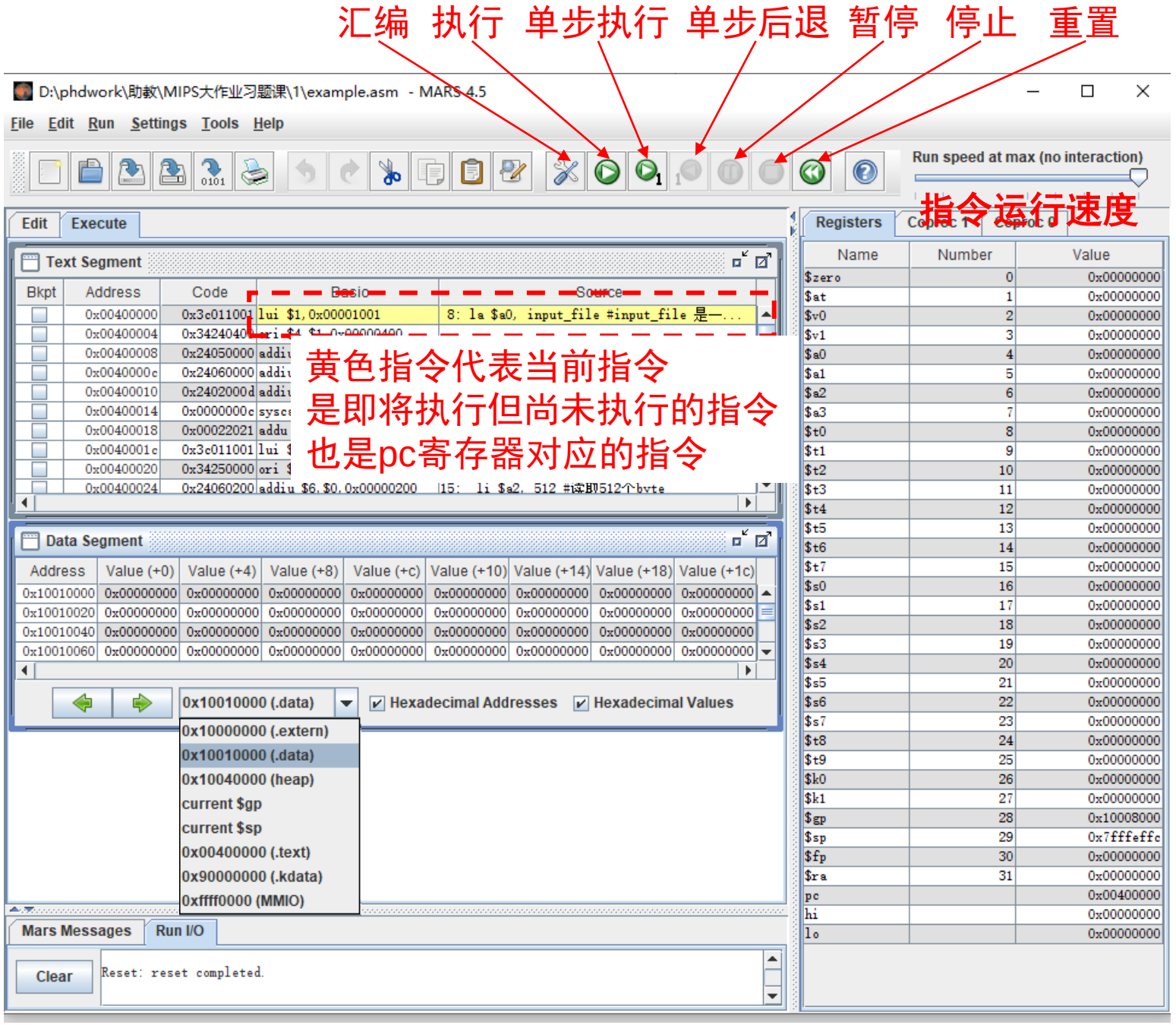
*la*伪指令被转换为*lui+ori*真指令

*lui $1, 0x1001*为 $\{f_{hex},0_{hex},1_{hex},1001_{hex}\}$=0x3c011001

*ori $4, $1, 0x0400*为$\{d_{hex},1_{hex},4_{hex},0400_{hex}\}$=0x34240400

汇编运行

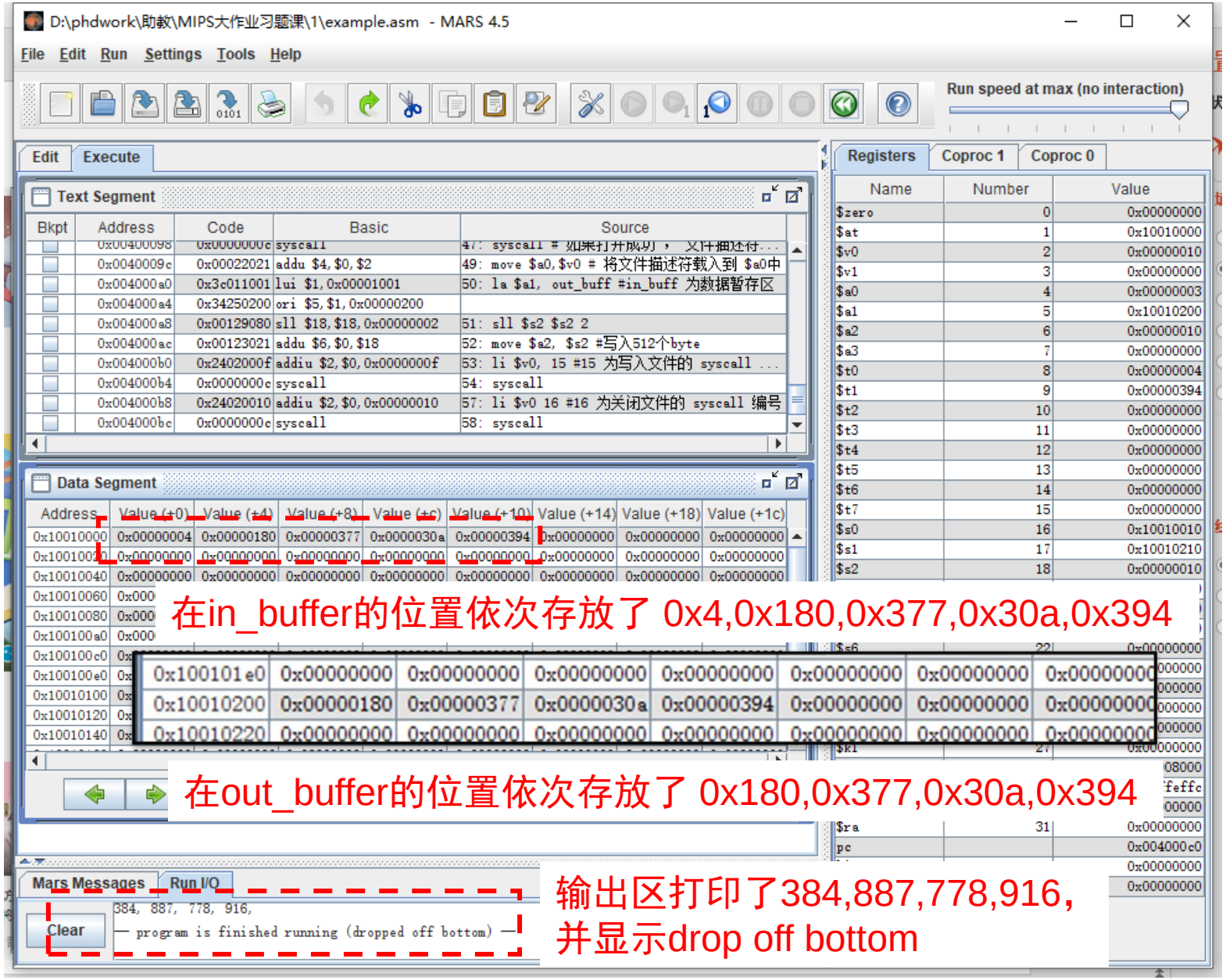
- 执行：从第一条指令开始连续执行直到结束。
- 单步执行：执行当前指令并跳转到下一条。
- 单步后退：后退到最后一条指令执行前的状态（包括寄存器和memory）
- 暂停&停止：在连续执行的时候可以停下来，一般配合较慢的指令运行速度，不用于调试。调试最好使用断点功能。
- 重置：重置所有寄存器和memory。



汇编运行

- 点击执行按钮后，所有指令执行完毕。
- 可以看到各个寄存器内的值发生了变化。
- Memory中in_buffer, out_buffer地址对应的数据发生变化。
- 输出区正确打印了对应的数据并提示，程序执行完地址最大的指令并且没有后续指令了（ drop off bottom ）

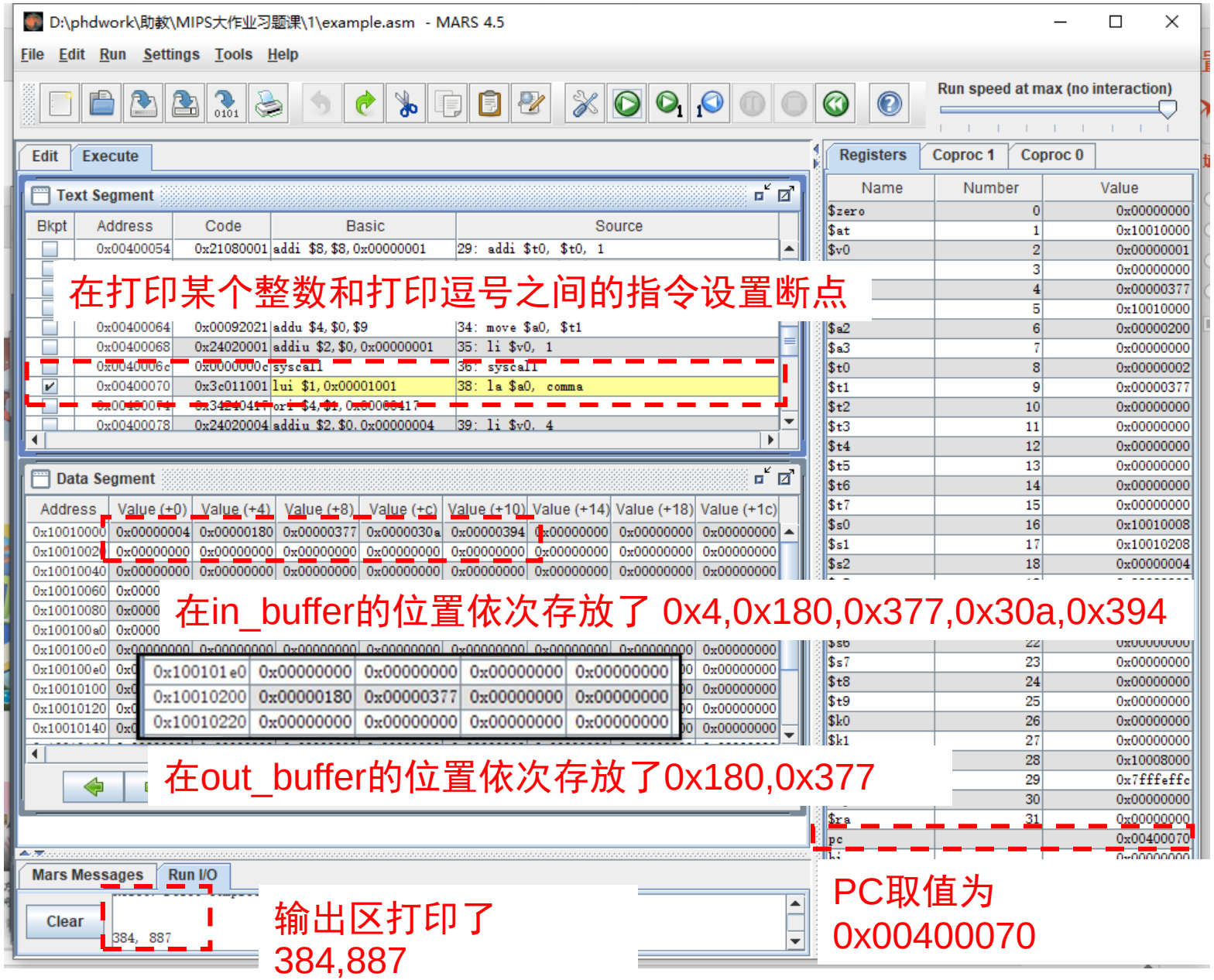
注：MARS中是小端存储的方式



汇编运行

38 la $a0, comma

- 在38行的指令处设置断点。并点击运行按钮两次，程序停在该位置。
- 可以看到程序向out_buffer中写入两个数，也向输出区打了两个数，各个寄存器也停留在对应状态。



example_0.asm 内包含一个从文件读取数据并写入另一个文件的例子

数据声明，此部分数据存在0x10010000

```
.data
in_buff: .space 512
out_buff: .space 512
input_file: .asciiz "example.in"
output_file: .asciiz "example.out"
comma: .asciiz ", "
```

```
.text
la $a0, input_file #input_file 是一个字符串
li $a1, 0 #flag 0为读取 1为写入
li $a2, 0 #mode is ignored 设置为0就可以了
li $v0, 13 #13 为打开文件的 syscall 编号
syscall # 如果打开成功 ， 文件描述符返回到$a0
 move $a0,$v0 # 将文件描述符载入到 $a0中
 la $a1, in_buff #in_buff 为数据暂存区
 li $a2, 512 #读取512个byte
 li $v0, 14 #14 为读取文件的 syscall 编号
 syscall
 li $v0 16 #16 为关闭文件的 syscall 编号
 syscall
```

打开读取文件，并将数据写入in_buff

初始化变量

```
la $s0, in_buff
la $s1, out_buff
lw $s2, 0($s0)
li $t0, 0
```

循环体

```
#地址加4 循环变量减1
for: addi $s0, $s0, 4
addi $t0, $t0, 1
lw $t1, 0($s0)
sw $t1, 0($s1)
addi $s1, $s1, 4
#打印整数
move $a0, $t1
li $v0, 1
syscall
#打印逗号
la $a0, comma
li $v0, 4
syscall
```

跳转条件

```
bne $t0 $s2 for
```

打开文件并将out_buff的数据写入

```
la $a0, output_file #output_file 是一个字
li $a1, 1 #flag 0为读取 1为写入
li $a2, 0 #mode is ignored 设置为0就可以
li $v0, 13 #13 为打开文件的 syscall 编号
syscall # 如果打开成功 ， 文件描述符返回

move $a0,$v0 # 将文件描述符载入到 $a0中
la $a1, out_buff #in_buff 为数据暂存区
sll $s2 $s2 2
move $a2, $s2 #写入512个byte
li $v0, 15 #15 为写入文件的 syscall 编号
syscall
#此时$a0 中的文件描述符没变
#直接调用 syscall 16 关闭它
li $v0 16 #16 为关闭文件的 syscall 编号
syscall
```

汇编基本结构

- 数据段
  - 以“.data”记号开头。
  - 包括常量数据和固定数组的声明。
- 代码段
  - 以“.text”记号开头。
  - 包括待执行的代码和行标记。
- 注释
  - “#”为注释标记。
  - 可以出现在任意位置。
  - “#”及其之后的所有内容均被忽略。

见 example_1.asm

```
.data
    string: .asciiz "Hello World!\n"

.text
main:
    la $a0 string #载入字符串地址
    li $v0 4      #4代表打印字符串
    syscall       #执行系统调用

    li $v0 17     #17代表exit
    syscall       #执行系统调用
```

汇编基本结构

.align x

将下一个数据项对齐到特定的byte边界。如果要读取的数据是以2byte，4byte，8byte为单位的，需要对齐到对应的边界上。x取值0表示1byte，1表示2byte，2表示4byte，3表示8byte。

.ascii, .asciiz

表示字符串，其中asciiz会自动在最后补上null字符。

.byte, .half, .word

表示数组常量按1byte，2byte，4byte存储

.space

表示一个以byte计长度的数组

见 example_2.asm

```
.data
    stringz: .asciiz "Hello World!\n"
    string: .ascii "Hello World!\n"
    #让array对齐到4byte边界
    .align 4  #没有这句话可能会出错
    array: .space  512
    #以下常数数组会自动对齐到对应边界
    barray: .byte  1,2,3,4
    harray: .half  1,2,3,4
    warray: .word  1,2,3,4
```

代码段基本结构

- 代码段一般由若干段顺序排列的指令序列构成
  - 从第一条指令开始执行
  - 按顺序执行，除非发生跳转
- label_name : add $0, $1, $2
  - 字符串+冒号代表标记，可以用在对应指令同一行开头或者对应指令上一行
  - 逗号可以省略
- 一个函数一般以函数名为第一条指令的label（函数入口）。程序内一般包括入栈，程序主体，设置返回值，出栈，返回上一级程序

见 example_3.asm

主过程

```
.text
main:
    li $v0 5        #5代表读入一个整数
    syscall         #执行系统调用
    move $a0 $v0    #将读入的整数作为第一个参数
    li $v0 5        #5代表读入一个整数
    syscall         #执行系统调用
    move $a1 $v0    #将读入的整数作为第二个参数

    jal product     #跳转到子过程product
    move $a0 $v0    #将返回值赋给$a0
    li $v0 1        #1代表打印一个整数
    syscall         #执行系统调用

    li $v0 17       #17代表exit
    syscall         #执行系统调用
```

代码段基本结构

- 代码段一般由若干段顺序排列的指令序列构成
  - 从第一条指令开始执行
  - 按顺序执行，除非发生跳转
- label_name : add $0, $1, $2
  - 字符串+冒号代表标记，可以用在对应指令同一行开头或者对应指令上一行
  - 逗号可以省略
- 一个函数一般以函数名为第一条指令的label（函数入口）。程序内一般包括入栈，程序主体，设置返回值，出栈，返回上一级程序

见 example_3.asm

子过程，接上页

```
product:
    move $t0 $a0   #将第一个参数赋给t0作为累加值
    move $t1 $a1   #将第二个参数赋给t1作为计数器
    move $t2 $zero#结果清零
    loop: add $t2 $t2 $t0   #结果累加t0
          addi $t1 $t1 -1   #计数器减一
          bnez $t1 loop     #如果计数器不为零循环继续
    move $v0 $t2   #将结果赋给返回值
    jr $ra         #跳转回上一级程序
```

如何用MIPS实现函数调用

- 主调过程A的流程为：

1. （临时寄存器和参数寄存器入栈，保护后续仍需要使用的临时变量和参数）
2. 设置参数寄存器$a0~$a3。
3. 使用jal跳转到被调函数B。
4. （从栈中恢复临时寄存器与参数寄存器）
5. 使用被调函数的返回值$v0~$v1执行接下来的程序

寄存器编号	助记符	用法
0	zero	永远为0
1	at	用做汇编器的临时变量
2-3	v0, v1	用于过程调用时返回结果
4-7	a0-a3	用于过程调用时传递参数
8-15	t0-t7	临时寄存器。在过程调用中被调用者不需要保存与恢复
24-25	t8-t9	
16-23	s0-s7	保存寄存器。在过程调用中被调用者一旦使用这些寄存器时，必须负责保存和恢复这些寄存器的原值
26,27	k0,k1	通常被中断或异常处理程序使用，用来保存一些系统参数
28	gp	全局指针。一些运行系统维护这个指针来更方便的存取static和extern变量
29	sp	堆栈指针
30	fp	帧指针
31	ra	返回地址

练习1-4：函数调用

- 被调过程B的流程为：

1. 分配栈空间（$sp-4*n）。
2. 将返回地址、保存寄存器入栈。
3. 使用输入参数$a0~$a3执行函数内容并将结果存入返回寄存器$v0~$v1。
4. 将被调过程B入栈的数据恢复到寄存器。
5. jr $ra 返回主调过程A。

寄存器编号	助记符	用法
0	zero	永远为0
1	at	用做汇编器的临时变量
2-3	v0, v1	用于过程调用时返回结果
4-7	a0-a3	用于过程调用时传递参数
8-15	t0-t7	临时寄存器。在过程调用中被调用者不需要保存与恢复
24-25	t8-t9	
16-23	s0-s7	保存寄存器。在过程调用中被调用者一旦使用这些寄存器时，必须负责保存和恢复这些寄存器的原值
26,27	k0,k1	通常被中断或异常处理程序使用，用来保存一些系统参数
28	gp	全局指针。一些运行系统维护这个指针来更方便的存取static和extern变量
29	sp	堆栈指针
30	fp	帧指针
31	ra	返回地址

参考资料

- MIPS32 官方网站资料 https://www.mips.com/products/architectures/mips32-2/
- 指令集架构简介 *Introduction to the MIPS32 Architecture.pdf*
- 指令集手册 *MIPS32 Instruction Set Manual.pdf*
- 课程教材第V章
- 指令集课件附录

附件

- JAVA环境安装包 JavaSetup8u241.exe
- MARS模拟器 Mars4_5.jar
- 二进制文件查看器 pxBinaryViewerSetup.exe
- 随机数生成