实验一：汇编语言与监控程序 实验报告

(邢竞择 2020012890)

1 上机操作

代码中使用的伪指令如下：

- `li`，被编译为 `lui` 与 `addi`
- `jr`，被翻译成 `jalr`

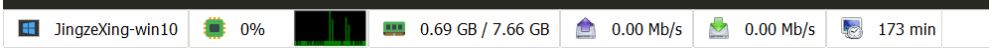
本质上均在 19 条基本指令中。在实验中，依次使用 `F`，`D` 指令从源文件中读取汇编语句并执行，接着使用 `D` 指令查看内存上的数据。以下为汇编代码以及命令行截图。

1.1 Fib 数列的前 10 项

```
.section .text
.globl _start
_start:
        li t0,1
        li t1,1
        li t2,0
        li t3,0x80400000
        li t5,10
loop:
        sw t0,(t3)
        add t4,t0,t1
        mv t0,t1
        mv t1,t4
        addi t2,t2,1
        addi t3,t3,4
        bne t2,t5,loop
        jr ra
```

```
>> f
>>file name: /home/xing/rvtests/fib.s
>>addr: 0x80100000
reading from file /home/xing/rvtests/fib.s
[0x80100000] .section .text
[0x80100000] .globl _start
[0x80100000] _start:
[0x80100000] li t0,1
[0x80100004] li t1,1
[0x80100008] li t2,0
[0x8010000c] li t3,0x80400000
[0x80100010] li t5,10
[0x80100014] loop:
[0x80100014] sw t0,(t3)
[0x80100018] add t4,t0,t1
[0x8010001c] mv t0,t1
[0x80100020] mv t1,t4
[0x80100024] addi t2,t2,1
[0x80100028] addi t3,t3,4
[0x8010002c] bne t2,t5,loop
[0x80100030] jr ra
>> g
addr: 0x80100000

elapsed time: 0.000s
>> d
addr: 0x80400000
num: 40
0x80400000: 0x00000001
0x80400004: 0x00000001
0x80400008: 0x00000002
0x8040000c: 0x00000003
0x80400010: 0x00000005
0x80400014: 0x00000008
0x80400018: 0x0000000d
0x8040001c: 0x00000015
0x80400020: 0x00000022
0x80400024: 0x00000037
>>
```

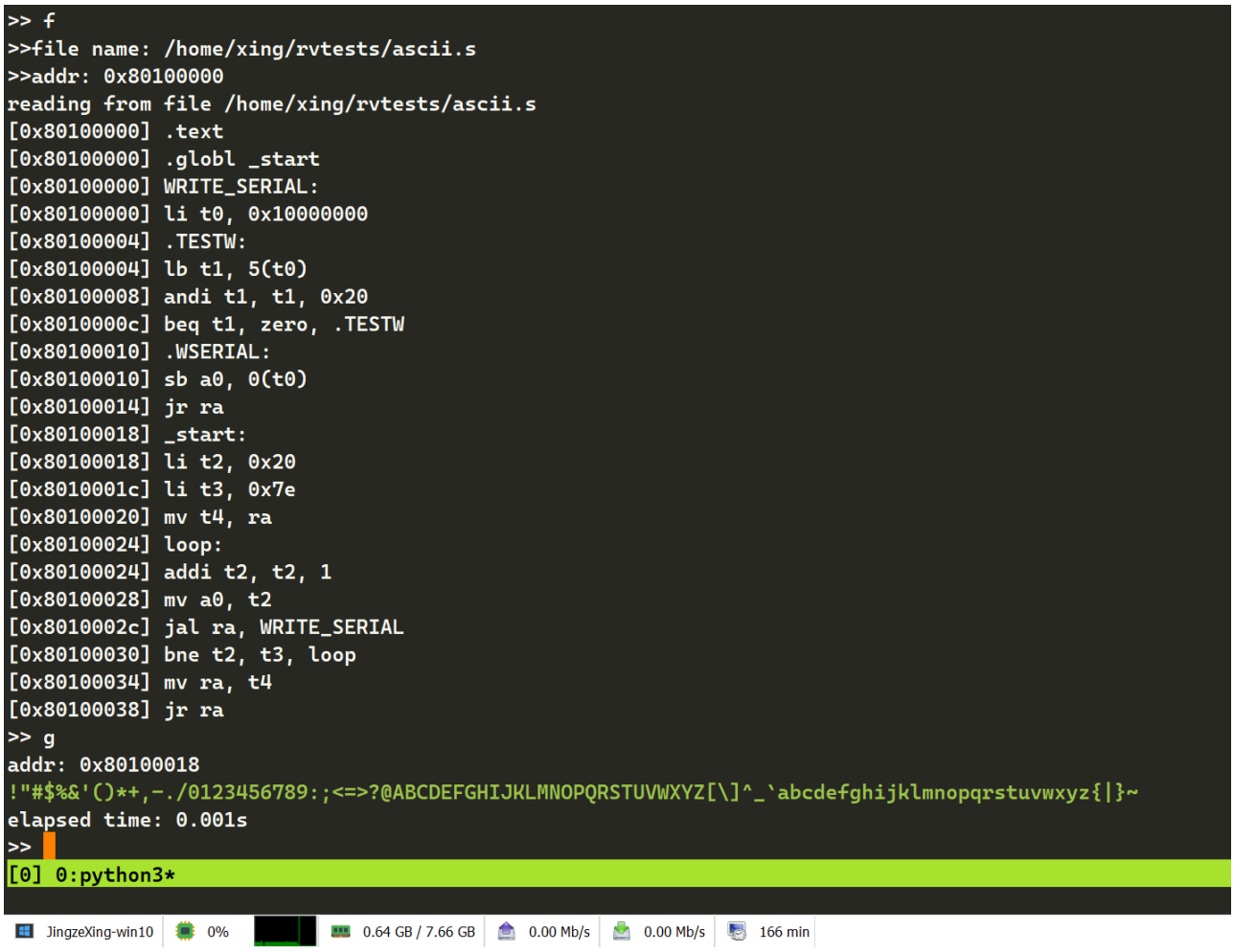


1.2 ASCII 可见字符（0x21~0x7E）输出

```
        .text
        .globl _start
WRITE_SERIAL:
        li t0, 0x10000000
.TESTW:
        lb t1, 5(t0)
        andi t1, t1, 0x20
        beq t1, zero, .TESTW
.WSERIAL:
        sb a0, 0(t0)
        jr ra
_start:
        li t2, 0x20
        li t3, 0x7e
        mv t4, ra
```

```
loop:
        addi t2, t2, 1
        mv a0, t2
        jal ra, WRITE_SERIAL
        bne t2, t3, loop
        mv ra, t4
        jr ra

```



1.3 斐波那契数列的第 60 项

```
        .section .text
        .globl _start
_start:
        li s2, 1
        li s3, 60
        li t2, 1
        li t3, 0
        li t4, 1
        li t5, 0
loop:
        add t0, t2, t4
        sltu t6, t0, t2
        add t1, t3, t5
        add t1, t1, t6
        mv t4, t2
```

```
16          mv t5, t3
17          mv t2, t0
18          mv t3, t1
19          addi s2, s2, 1
20          bne s2, s3, loop
21          li s4, 0x80400000
22          sw t4, (s4)
23          addi s4, s4, 4
24          sw t5, (s4)
25          jr ra
```

```
>>file name: /home/xing/rvtests/fib60.s
>>addr: 0x80100000
reading from file /home/xing/rvtests/fib60.s
[0x80100000] .section .text
[0x80100000] .globl _start
[0x80100000] _start:
[0x80100000] li s2, 1
[0x80100004] li s3, 60
[0x80100008] li t2, 1
[0x8010000c] li t3, 0
[0x80100010] li t4, 1
[0x80100014] li t5, 0
[0x80100018] loop:
[0x80100018] add t0, t2, t4
[0x8010001c] sltu t6, t0, t2
[0x80100020] add t1, t3, t5
[0x80100024] add t1, t1, t6
[0x80100028] mv t4, t2
[0x8010002c] mv t5, t3
[0x80100030] mv t2, t0
[0x80100034] mv t3, t1
[0x80100038] addi s2, s2, 1
[0x8010003c] bne s2, s3, loop
[0x80100040] li s4, 0x80400000
[0x80100044] sw t4, (s4)
[0x80100048] addi s4, s4, 4
[0x8010004c] sw t5, (s4)
[0x80100050] jr ra
>> g
addr: 0x80100000

elapsed time: 0.001s
>> d
addr: 0x80400000
num: 8
0x80400000: 0x6c8312d0
0x80400004: 0x00000168
>>
[0] 0:python3*M
```

2 思考题目

2.1 RISC-V 与 x86 寻址方式异同

x86 和 RISC-V 都支持：

- 立即数寻址：地址为常量
- 寄存器寻址：地址为寄存器值
- 基址寻址：地址为寄存器和常数之和
- PC 相对寻址：地址是 $pc 和指令中常量之和

仅 x86 支持：

- 基址+偏移寻址：

  例如 imm(r1,r2,s) 表示到 r1+r2*s+imm 这个地址上寻址

此外， x86 的 lea 指令能够仅计算地址而不寻址，这使得 x86 在简单加法乘法上可能比 RISC-V 指令更短。

2.2 19 条指令

ADD, ADDI, AND, ANDI, AUIPC, BEQ, BNE, JAL, JALR, LB, LUI, LW, OR, ORI, SB, SLLI, SRLI, SW, XOR

我将其进行如下分类：

- 运算指令：ADD, ADDI, AND, ANDI, OR, ORI, XOR, SLLI, SRLI (ADDIW)
- 逻辑运算指令：BEQ, BNE
- 跳转指令：JAL, JALR
- 访存指令：LB, SB, LW, SW (LD, SD)
- PC相关指令：AUIPC
- 高位立即数加载指令：LUI

2.3 term 如何实现用户程序计时

kernel 涉及用户程序运行的代码在 shell.S 的第 165 行 .OP_G 处。程序开始时， kernel 代码

```
        li a0, SIG_TIMERSET
        jal WRITE_SERIAL
```

向串口写入 SIG_TIMERSET 标记，以通知 term 用户程序开始，随后设置时钟、载入用户的寄存器数值，并跳转到 s10 指向的用户程序。而 term 则使从 tcp 套接字（由 QEMU 提供）接受消息，在 term.py 的第 356 行处

```
        ret = inp.read(1)
        if ret == b'\x80':
            trap()
        if ret != b'\x06':
            print("start mark should be 0x06")
        time_start = timer()
```

先从端口 read 一个字节，由于 read 是阻塞的，所以 read 返回时即可立刻开始计时。开始计时后，term 不断尝试从串口读取 kernel 发送的用户程序输出，并输出到屏幕上。如果在此过程中收到了约定的程序结束标记，则终止计时。

```
            ret = inp.read(1)
            if ret == b'\x07':
                break
```

终止信号由 kernel 在第 341 行处发出。

```
        li a0, SIG_TIMETOKEN
        jal WRITE_SERIAL
```

2.4 kernel 如何使用串口

在 serial.h 中包含了串口地址 COM1 的宏

```
// QEMU 虚拟的 RISC-V 机器的串口基地址在 0x10000000
// 如果使用了 AXI Uart16550, 请设置为它的基地址 + 0x10000
#define COM1 0x10000000
```

仅以 QEMU 为例，以下为 utils.S 中包含的串口读写的函数。

```
WRITE_SERIAL:                       // 写串口：将a0的低八位写入串口
    li t0, COM1
.TESTW:
    lb t1, %lo(COM_LSR_OFFSET)(t0)  // 查看串口状态
    andi t1, t1, COM_LSR_THRE       // 截取写状态位
    bne t1, zero, .WSERIAL          // 状态位非零可写进入写
    j .TESTW                        // 检测验证，忙等待
.WSERIAL:
    sb a0, %lo(COM_THR_OFFSET)(t0)  // 写入寄存器a0中的值
    jr ra
```

串口被抽象为一个内存地址，写串口时，内核通过不断检查状态位来等待串口空闲，在串口空闲时向其写入待发送的字节。

```
READ_SERIAL:                        // 读串口：将读到的数据写入a0低八位
    li t0, COM1
.TESTR:
    lb t1, %lo(COM_LSR_OFFSET)(t0)
    andi t1, t1, COM_LSR_DR         // 截取读状态位
    bne t1, zero, .RSERIAL          // 状态位非零可读进入读
    j .TESTR                        // 检测验证
.RSERIAL:
    lb a0, %lo(COM_RBR_OFFSET)(t0)
    jr ra
```

读串口时，内核通过不断检查状态位来等待串口准备好下一个字节，在串口就绪时读入一个字节。

2.5 term 如何检查 kernel 已经正确连入

在 term.py:LINE 449， term 向串口写入错误指令 W 。

```
    outp.write(b'W')
```

在 shell.S:LINE 37， kernel 对于错误指令，依照约定向串口写入 XLEN 。

```
        // 错误的操作符，输出 XLEN，用于区分 RV32 和 RV64
        li a0, XLEN
        // 把 XLEN 写给 term
        jal WRITE_SERIAL
        j .DONE
```

term 读取 kernel 的回应值，用于判断 kernel 状态是否正常，以及将 xlen 数值输出到屏幕。

```
        xlen = ord(inp.read(1))
```