实验一：拆炸弹实验

山东大学网络空间安全学院

计算机组成与设计 实验报告

21 级 唐诗 202100460120

21 级 于洁 202100460119

21 级 李昕 202100460065

2022 年 10 月 12 日

1.实验任务：

调试环境并完成linux虚拟机QEMU环境下的经典实验“拆炸弹”。程序共计5个关卡，每一关需要用户在终端上输入特定的字符或者数字才能通关，否则会引爆炸弹。每一关的答案藏在对应关卡函数的汇编代码中，所以需要将二进制可执行文件 lab1 反汇编，生成汇编代码，通过分析汇编代码来找到每一关需要输入的正确内容

2.实验过程：

首先，我们分析反编译出的main函数，以第一关为例：

```
10176:   47f000ef           jal    ra,10df4 <printf>
1017a:   fe843503           ld     a0,-24(s0)
1017e:   0c0000ef           jal    ra,1023e <read_line>
10182:   fe843503           ld     a0,-24(s0)
10186:   140000ef           jal    ra,102c6 <phase_1>
1018a:   000247b7           lui    a5,0x24
1018e:   79078513           addi   a0,a5,1936 # 24790 <__clzdi2+0x6a>
10192:   463000ef           jal    ra,10df4 <printf>
```

通过分析该部分代码可以得出，每一关都是先输出指令，然后读取n个输入的字符串或数字，最后将输入的字符串或数字带入相应的关卡函数中（此处为phase_1）。下面我们将具体分析各关代码的具体作用。

第一关

```
00000000000102c6 <phase_1>:
   102c6:   7179                    addi   sp,sp,-48    //  开辟48的空间，sp-=48
   102c8:   f406                    sd     ra,40(sp)     //将ra存于sp（40）
   102ca:   f022                    sd     s0,32(sp)          //将s0存于sp（32）
   102cc:   1800                    addi   s0,sp,48        //s0的值=栈顶+48【栈尾】
   102ce:   fca43c23                sd     a0,-40(s0)      //把a0存在s0（-40）
   102d2:   fe840793                addi   a5,s0,-24       //a5=s0-24       存一个地址
   102d6:   863e                    mv     a2,a5          //把a5付给a2
   102d8:   000257b7                lui    a5,0x25     //把十六进制25付给a5
   102dc:   8a878593                addi   a1,a5,-1880 # 248a8 <__clzdi2+0x182>
   102e0:   fd843503                ld     a0,-40(s0) //把s0（-40）付给a0
   102e4:   483000ef                jal    ra,10f66 <sscanf>
//跳转到读取函数，此函数将读入的数字数量付给a0，此时是1（返回读入数字个数）
   102e8:   87aa                    mv     a5,a0                   //a5=a0=1
   102ea:   fef42623                sw     a5,-20(s0)
   102ee:   fec42783                lw     a5,-20(s0)
   102f2:   0007871b                sext.w      a4,a5       // a4=a5=1;
   102f6:   4785                    li     a5,1                //设a5=1
```

```
    102f8:  00f70463                beq   a4,a5,10300 <phase_1+0x3a> //判断a5==a4=1
    102fc:  f29ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>   //爆炸
    10300:  fe842783                lw    a5,-24(s0)
//取出是s0（-24）付给a5，这是读入数字本体；（a2）
    10304:  873e                    mv    a4,a5           //把a5付给a4
    10306:  3e400793                li    a5,996            //设a5=996
    1030a:  00f70463                beq   a4,a5,10312 <phase_1+0x4c>
//判断是否相等，相等则第一关过。
    1030e:  f17ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
    10312:  000257b7                lui   a5,0x25
    10316:  8b078513                addi  a0,a5,-1872 # 248b0 <__clzdi2+0x18a>
    1031e:  0001                    nop
    10322:  7402                    ld    s0,32(sp)
    10324:  6145                    addi  sp,sp,48
    10326:  8082                    ret
```

关键点：

102ce：把a0存在s0（-40）

102e4、102e8、102f2：a4表示输入的数字数目

102f6：a5赋值为1

102f8：判断a4和a5是否相等

1030a:将输入的数字与996相比较，若相等则拆弹成功，若不相等，则炸弹爆炸

流程分析：

102c6--102e4：开辟栈空间并且读入数字

102e8--102f8:判断读入的数字个数是否等于1

102fc--10326:判断数字是否相等,若相等则拆弹成功，若不相等，则炸弹爆炸

第二关

```
0000000000010328 <phase_2>:
    10328:  7179                    addi  sp,sp,-48       //  开辟48的空间，sp-=48
    1032a:  f406                    sd    ra,40(sp)       //将ra存于sp（40）
    1032c:  f022                    sd    s0,32(sp)      //将s0存于sp（32）
    1032e:  1800                    addi  s0,sp,48        //s0的值=栈顶+48
    10330:  fca43c23                sd    a0,-40(s0)    //把a0存在s0（-40）
    10334:  fe440713                addi  a4,s0,-28     //a4=s0-28,存一个地址
    10338:  fe840793                addi  a5,s0,-24     //a5=s0-24,存一个地址
    1033c:  86ba                    mv    a3,a4           //把a4付给a3
    1033e:  863e                    mv    a2,a5           //把a5付给a2
    10340:  000257b7                lui   a5,0x25       //把十六进制25付给a5
    10344:  8d878593                addi  a1,a5,-1832 # 248d8 <__clzdi2+0x1b2>
    10348:  fd843503                ld    a0,-40(s0)    //把a0存在s0（-40）
    1034c:  41b000ef                jal   ra,10f66 <sscanf>     //跳转到读取函数，此函
数将读入的数字数量付给a0，此时是2（返回读入数字个数）
    10350:  87aa                    mv    a5,a0         //a5=a0=2
    10352:  fef42623                sw    a5,-20(s0)
```

```
10356:  fec42783                lw    a5,-20(s0)
1035a:  0007871b                sext.w      a4,a5       //a4=a5=2
1035e:  4789                    li    a5,2          //设a5=2
10360:  00f70463                beq   a4,a5,10368 <phase_2+0x40>
 // 与第一关同理，判断a4和a5是否相等
10364:  ec1ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
10368:  fe842703                lw    a4,-24(s0)    //与第一关同理，取出存下数字
1036c:  fe442783                lw    a5,-28(s0)  //与第一关同理，取出存下的数字
10370:  9fb9                    addw  a5,a5,a4
10372:  2781                    sext.w        a5,a5
10374:  873e                    mv    a4,a5
10376:  3e400793                li    a5,996        //进过操作，a4为输入两数字之和
1037a:  00f70463                beq   a4,a5,10382 <phase_2+0x5a>
//判断输入两数字是否和为996,若是，则第二关通过
1037e:  ea7ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>  //爆炸
10382:  000257b7                lui   a5,0x25           //把十六进制付给a5
10386:  8e078513                addi  a0,a5,-1824 # 248e0 <__clzdi2+0x1ba>
1038a:  317000ef                jal   ra,10ea0 <puts>
1038e:  0001                    nop
10390:  70a2                    ld    ra,40(sp)
10392:  7402                    ld    s0,32(sp)
10394:  6145                    addi  sp,sp,48
10396:  8082                    ret
```

关键点：

1032a：把a0存在s0（-40）

1034c、10350、1035a：a4表示输入的数字数目

1035e：a5赋值为2

102f8：判断a4和a5是否相等

10360:判断a4和a5是否相等

10376:进过操作，a4为输入两数字之和

1037a:判断输入两数字是否和为996

1037a:判断输入两数字是否和为996,若是，则第二关通过，若不相等，则炸弹爆炸

流程分析：

10328--1034c：开辟栈空间并且读入数字

10350--1037a:判断读入的数字个数是否等于2

1037e--10396:判断输入两数字是否和为996,若是，则第二关通过，若不相等，则炸弹爆炸

第三关

下面分析第三关的内容：

输入两个数，第一个数为第二个数的二倍。

```
0000000000010398 <phase_3>:
10398:  7179                    addi  sp,sp,-48//sp=sp-48指针开辟空间
1039a:  f406                    sd    ra,40(sp)
1039c:  f022                    sd    s0,32(sp)
1039e:  1800                    addi  s0,sp,48//s0可以表示原来指针sp的位置
```

```
103a0:   fca43c23                sd     a0,-40(s0)
103a4:   fe440713                addi   a4,s0,-28//第一个输入存储在s0-28
103a8:   fe840793                addi   a5,s0,-24//第二个输入存储在s0-24
103ac:   86ba                    mv     a3,a4//存储输入数字的地址
103ae:   863e                    mv     a2,a5//存储输入数字的地址
103b0:   000257b7                lui    a5,0x25
103b4:   8d878593                addi   a1,a5,-1832 # 248d8 <__clzdi2+0x1b2>
103b8:   fd843503                ld     a0,-40(s0)//输入数字的个数
103bc:   3ab000ef                jal    ra,10f66 <sscanf>//sscanf函数
103c0:   87aa                    mv     a5,a0
103c2:   fef42623                sw     a5,-20(s0)
103c6:   fec42783                lw     a5,-20(s0)
103ca:   0007871b                sext.w       a4,a5//a4=a5
103ce:   4789                    li     a5,2//a5=2
103d0:   00f70463                beq    a4,a5,103d8 <phase_3+0x40>//判断输入是否是
两个数字
103d4:   e51ff0ef                jal    ra,10224 <explode_bomb>
103d8:   fe842783                lw     a5,-24(s0)//存储第一个输入的数字
103dc:   0027979b                slliw a5,a5,0x2//执行a5乘4操作
103e0:   0007871b                sext.w       a4,a5
103e4:   fe442783                lw     a5,-28(s0)//存储第二个输入的数字
103e8:   00f70463                beq    a4,a5,103f0 <phase_3+0x58>//判断第二个数字
是否是第一个数字的四倍
103ec:   e39ff0ef                jal    ra,10224 <explode_bomb>
103f0:   000257b7                lui    a5,0x25
103f4:   90878513                addi   a0,a5,-1784 # 24908 <__clzdi2+0x1e2>
103f8:   2a9000ef                jal    ra,10ea0 <puts>
103fc:   0001                    nop
103fe:   70a2                    ld     ra,40(sp)
10400:   7402                    ld     s0,32(sp)
10402:   6145                    addi   sp,sp,48
10404:   8082                    ret
```

关键点：

103e8可知：比较a4和a5是否相等

103e4可知：a5取自-28(s0)

103e0和103dc和103d8可知：a4是二倍的存储在-24(s0)的数值

103d0可知：比较a4和a5是否相等

103ce可知：a5赋值为2

103b8和103c0和103ca结合scanf可知：a4表示为输入的数字数目

解题流程：

10398-103bc：开辟栈空间并且读入数字

103c0-103d0：判断读入的数字个数是否等于2

103d8-103e8：执行第一个数字四倍操作并且进行判断数字是否相等

第四关

主要内容为输入六个数，它们是一个公比为2的等比数列，以下是结合代码分析。

```
0000000000010406 <phase_4>:
10406:  715d                    addi  sp,sp,-80//开辟一个80的空间
10408:  e486                    sd    ra,72(sp)
1040a:  e0a2                    sd    s0,64(sp)
1040c:  0880                    addi  s0,sp,80
1040e:  faa43c23                sd    a0,-72(s0)
10412:  fc040793                addi  a5,s0,-64
10416:  85be                    mv    a1,a5//a1=s0-64,为接下来的read_six_numbers做准备
10418:  fb843503                ld    a0,-72(s0)
1041c:  0e0000ef                jal   ra,104fc <read_six_numbers>//读入六个数字，s0-64到s0-44之间
10420:  fc040793                addi  a5,s0,-64
10424:  fef43423                sd    a5,-24(s0)
10428:  fc040793                addi  a5,s0,-64
1042c:  07d1                    addi  a5,a5,20
1042e:  fef43023                sd    a5,-32(s0)
10432:  a805                    j     10462 <phase_4+0x5c>//执行循环
10434:  fe843783                ld    a5,-24(s0)
10438:  439c                    lw    a5,0(a5)//获得输入的第i个数字
1043a:  0017979b                slliw a5,a5,0x1//执行乘二的操作
1043e:  fcf42e23                sw    a5,-36(s0)
10442:  fe843783                ld    a5,-24(s0)
10446:  0791                    addi  a5,a5,4
10448:  4398                    lw    a4,0(a5)//获得第i+1个数字
1044a:  fdc42783                lw    a5,-36(s0)
1044e:  2781                    sext.w      a5,a5
10450:  00e78463                beq   a5,a4,10458 <phase_4+0x52>
//判断第i+1个数字是不是第i个数字的两倍
10454:  dd1ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
10458:  fe843783                ld    a5,-24(s0)
1045c:  0791                    addi  a5,a5,4
1045e:  fef43423                sd    a5,-24(s0)
10462:  fe843703                ld    a4,-24(s0)
10466:  fe043783                ld    a5,-32(s0)
1046a:  fcf765e3                bltu  a4,a5,10434 <phase_4+0x2e>
//判断循环是否完成，未完成则执行下一次循环
1046e:  000257b7                lui   a5,0x25
10472:  93078513                addi  a0,a5,-1744 # 24930 <__clzdi2+0x20a>
10476:  22b000ef                jal   ra,10ea0 <puts>
1047a:  0001                    nop
1047c:  60a6                    ld    ra,72(sp)
```

```
1047e:  6406                    ld    s0,64(sp)
10480:  6161                    addi  sp,sp,80
10482:  8082                    ret
```

下面分析第四关中的<read_six_numbers>函数，分析该函数可知道，该函数是读入六个字符串，每个字符串地址相差四个，读写完成后判断是否读入六个数字。

```
104fc:  7179                    addi  sp,sp,-48
104fe:  f406                    sd    ra,40(sp)
10500:  f022                    sd    s0,32(sp)
10502:  1800                    addi  s0,sp,48
10504:  fca43c23                sd    a0,-40(s0)
10508:  fcb43823                sd    a1,-48(s0)
1050c:  fd043783                ld    a5,-48(s0)
10510:  00478693                addi  a3,a5,4
10514:  fd043783                ld    a5,-48(s0)
10518:  00878713                addi  a4,a5,8
1051c:  fd043783                ld    a5,-48(s0)
10520:  00c78613                addi  a2,a5,12
10524:  fd043783                ld    a5,-48(s0)
10528:  01078593                addi  a1,a5,16
1052c:  fd043783                ld    a5,-48(s0)
10530:  07d1                    addi  a5,a5,20
10532:  88be                    mv    a7,a5
10534:  882e                    mv    a6,a1
10536:  87b2                    mv    a5,a2
10538:  fd043603                ld    a2,-48(s0)
1053c:  000255b7                lui   a1,0x25
10540:  98058593                addi  a1,a1,-1664 # 24980 <__clzdi2+0x25a>
10544:  fd843503                ld    a0,-40(s0)
10548:  21f000ef                jal   ra,10f66 <sscanf>
1054c:  87aa                    mv    a5,a0
1054e:  fef42623                sw    a5,-20(s0)
10552:  fec42783                lw    a5,-20(s0)
10556:  0007871b                sext.w      a4,a5
1055a:  4799                    li    a5,6
1055c:  00f70463                beq   a4,a5,10564 <read_six_numbers+0x68>
10560:  cc5ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
10564:  0001                    nop
10566:  70a2                    ld    ra,40(sp)
10568:  7402                    ld    s0,32(sp)
1056a:  6145                    addi  sp,sp,48
1056c:  8082                    ret
```

关键点：

10416可知：将读入的六个数字存入开辟的栈中

10438和1043a和10448和10450可知：判断第i+1个数字是否是第i个数字的两倍

10432和1046a可知：进行循环，不断读取输入的数字。

解题流程：

10406-1041c：开辟空间并完成读入六个数字操作

10434-10450：判断读入的前后两个数字是否是二倍关系

10458-1046a：判断循环是否结束，如果未结束进行下一次循环

第五关

下面我们将分析第五关的解题流程，特别的，我们还需分析递归函数func4。下面是结合代码的分析。

```
0000000000010484 <phase_5>:
   10484:   7179                    addi  sp,sp,-48
   10486:   f406                    sd    ra,40(sp)
   10488:   f022                    sd    s0,32(sp)
   1048a:   1800                    addi  s0,sp,48
   1048c:   fca43c23                sd    a0,-40(s0)
   10490:   fe440713                addi  a4,s0,-28
   10494:   fe840793                addi  a5,s0,-24
   10498:   86ba                    mv    a3,a4
   1049a:   863e                    mv    a2,a5
   1049c:   000257b7                lui   a5,0x25
   104a0:   8d878593                addi  a1,a5,-1832 # 248d8 <__clzdi2+0x1b2>
   104a4:   fd843503                ld    a0,-40(s0)
   104a8:   2bf000ef                jal   ra,10f66 <sscanf>
   104ac:   87aa                    mv    a5,a0
   104ae:   fef42623                sw    a5,-20(s0)
   104b2:   fec42783                lw    a5,-20(s0)
   104b6:   0007871b                sext.w      a4,a5
   104ba:   4789                    li    a5,2   //与上面前三关相同，判断读取两个数字
   104bc:   00f70463                beq   a4,a5,104c4 <phase_5+0x40>
   104c0:   d65ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
   104c4:   fe842783                lw    a5,-24(s0)        //a5取出s0（-24）
   104c8:   853e                    mv    a0,a5               //a0=a5
   104ca:   0a4000ef                jal   ra,1056e <func4>  //运行函数4，获得阶乘
   104ce:   87aa                    mv    a5,a0
   104d0:   fef42623                sw    a5,-20(s0)        //把a5存在s0（-20）
   104d4:   fe442703                lw    a4,-28(s0)          //把a4取出s0（-28）
   104d8:   fec42783                lw    a5,-20(s0)
//把a5取出s0（-20）
   104dc:   2781                    sext.w        a5,a5
   104de:   00e78463                beq   a5,a4,104e6 <phase_5+0x62>   //判断函数4得到的阶乘，与自行输入的阶乘比较
   104e2:   d43ff0ef                jal   ra,10224 <explode_bomb>
   104e6:   000257b7                lui   a5,0x25
```

```
   104ea:   95078513                addi  a0,a5,-1712 # 24950 <__clzdi2+0x22a>
   104ee:   1b3000ef                jal   ra,10ea0 <puts>
   104f2:   0001                    nop
   104f4:   70a2                    ld    ra,40(sp)
   104f6:   7402                    ld    s0,32(sp)
   104f8:   6145                    addi  sp,sp,48
   104fa:   8082                    ret
```

关键点：

104ba：判断是否读入了两个数字

104ca：进入递归函数，获得阶乘

104de：判断第二个数是否为第一个数的阶乘

解题过程：

结合对func4的分析（具体分析在第五关分析之后），第六关的关卡函数分为判断输入和判断阶乘两步：

首先，验证输入的内容是否为六个数字，若是则进入第二步，若不是则炸弹爆炸。

其次，将输入的第一个数字的阶乘与输入的第二个数字相比较，若相等则拆弹成功，若出现不相等则炸弹爆炸

所以推得第5关的密码为：输入整数n和n！。

下面单独分析递归函数func4的过程：

```
   000000000001056e <func4>:
   1056e:   1101                    addi  sp,sp,-32
   10570:   ec06                    sd    ra,24(sp)
   10572:   e822                    sd    s0,16(sp)
   10574:   1000                    addi  s0,sp,32
   10576:   87aa                    mv    a5,a0              //把n付给a5
   10578:   fef42623                sw    a5,-20(s0)
//把n存储在-20这个位置
   1057c:   fec42783                lw    a5,-20(s0)
   10580:   2781                    sext.w          a5,a5
   10582:   e399                    bnez  a5,10588 <func4+0x1a> //如果a5>0，调转到
10588    ，否则向下
   10584:   4785                    li    a5,1
//当a5=0，把它附1.
   10586:   a839                    j     105a4 <func4+0x36>   //上一句完成后转到
105a4
   10588:   fec42783                lw    a5,-20(s0)
   1058c:   37fd                    addiw    a5,a5,-1             //a5--并存储
   1058e:   2781                    sext.w       a5,a5
   10590:   853e                    mv    a0,a5
   10592:   fddff0ef                jal   ra,1056e <func4>    //a5--后继续调用自身
（继续--）
   10596:   87aa                    mv    a5,a0              //这里是ret回溯的开始点
   10598:   873e                    mv    a4,a5
```

```
1059a:    fec42783                lw     a5,-20(s0)
1059e:    02e787bb                mulw   a5,a5,a4            //累乘
105a2:    2781                    sext.w       a5,a5
105a4:    853e                    mv     a0,a5              //以下是存储操作
105a6:    60e2                    ld     ra,24(sp)
105a8:    6442                    ld     s0,16(sp)
105aa:    6105                    addi   sp,sp,32
105ac:    8082                    ret          //递归回溯
```

关键点：

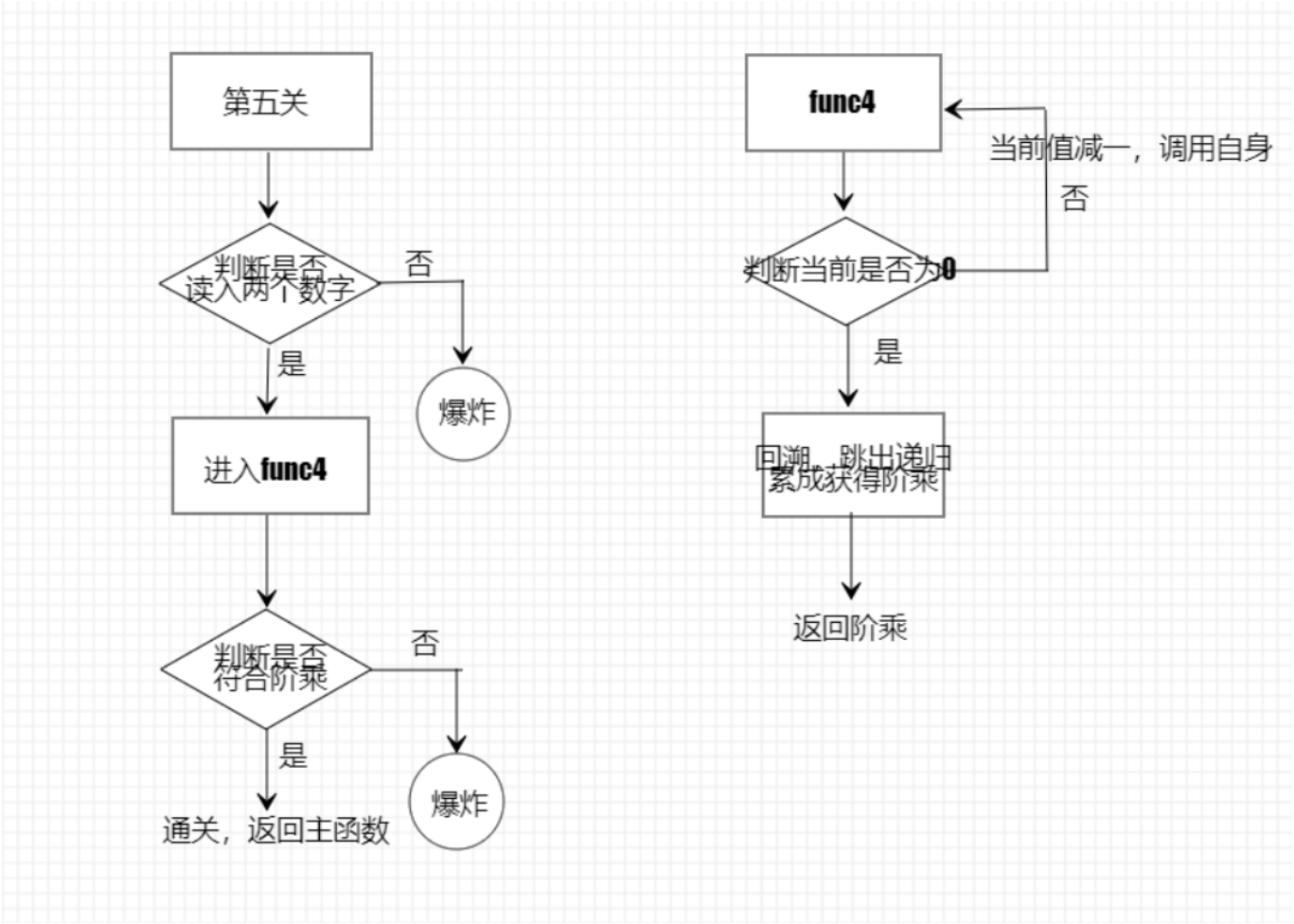
10592：调用func4自身实现递归

10582：判断回溯条件（a5=0）

解题过程：

通过分析可知，func4函数通过递归实现了对输入的值求阶乘的功能。

其中　10582处对a5的判0是循环的回溯条件，10592处调用自身获得f（n-1）的递归。通过构造的递归条件，func4计算了输入值的阶乘。具体流程为：



最后将各关答案带入实验中，成功拆除炸弹：

```
/ # ./lab1
Bomb start, let's defuse the bomb.
Please input the password for the 1st level: 996
Well done, you have defused a bomb!
Please input the password for the 2nd level: 3 993
You are right, how about next one?
Please input the password for the 3rd level: 6 24
Ok, you have defused three bombs!
Please input the password for the 4th level: 1 2 4 8 16 32
come on, baby! One bombs left!
Please input the password for the 5th level: 3 6
Excellent!!! You have defused all bombs!!!
/ #
```

3. 实验总结：

通过本次实验，我们了解和熟悉了Linux系统，学会了基础的命令行操作，并学会了如何生成反编汇代码，练习了risc-v语言的代码阅读。

同时，通过本次实验，我们学习了许多课上未涉及的risc-v指令，通过翻阅参考书和网络检索了解了它们的具体功能，从而加深了对rics-v的理解，也锻炼了小组合作的能力。

4. 小组分工：

唐诗：代码阅读分析；第3，4关代码解析和总结。

于洁：代码阅读分析；main函数与第1，2关代码解析和总结。

李昕：代码阅读分析；第5关及相关函数解析与总结；实验报告撰写。