哈爾濱工業大學

实验报告

实 验（三）

题　　目 Binary Bomb

二进制炸弹

专　　业 计算机类

学　　号 1190201215

班　　级 1903007

学　　生 冯开来

指 导 教 师 吴锐

实 验 地 点 G709

实 验 日 期 2021.4.19

计算机科学与技术学院

目 录

第 1 章 实验基本信息 ..... - 3 -

1.1 实验目的 ..... - 3 -
1.2 实验环境与工具 ..... - 3 -
1.2.1 硬件环境 ..... - 3 -
1.2.2 软件环境 ..... - 3 -
1.2.3 开发工具 ..... - 3 -
1.3 实验预习 ..... - 3 -

第 2 章 实验环境建立 ..... - 5 -

2.1 UBUNTU 下 CODEBLOCKS 反汇编（10 分） ..... - 5 -
2.2 UBUNTU 下 EDB 运行环境建立（10 分） ..... - 6 -

第 3 章 各阶段炸弹破解与分析 ..... - 7 -

3.1 阶段 1 的破解与分析 ..... - 7 -
3.2 阶段 2 的破解与分析 ..... - 8 -
3.3 阶段 3 的破解与分析 ..... - 10 -
3.4 阶段 4 的破解与分析 ..... - 13 -
3.5 阶段 5 的破解与分析 ..... - 17 -
3.6 阶段 6 的破解与分析 ..... - 20 -
3.7 阶段 7 的破解与分析(隐藏阶段) ..... - 23 -

第 4 章 总结 ..... - 27 -

4.1 请总结本次实验的收获 ..... - 27 -
4.2 请给出对本次实验内容的建议 ..... - 27 -

参考文献 ..... - 28 -

第 1 章 实验基本信息

1.1 实验目的

熟练掌握计算机系统的 ISA 指令系统与寻址方式
熟练掌握 Linux 下调试器的反汇编调试跟踪分析机器语言的方法
增强对程序机器级表示、汇编语言、调试器和逆向工程等的理解

1.2 实验环境与工具

1.2.1 硬件环境

X64 CPU；2GHz；2G RAM；256GHD Disk 以上

1.2.2 软件环境

Windows7 64 位以上；VirtualBox/Vmware 11 以上；Ubuntu 16.04

1.2.3 开发工具

GDB/OBJDUMP；EDB；KDD 等

1.3 实验预习

- ✓ 上实验课前，必须认真预习实验指导书（PPT 或 PDF）
- ✓ 了解实验的目的、实验环境与软硬件工具、实验操作步骤，复习与实验有关的理论知识。
- ✓ 请写出 C 语言下包含字符串比较、循环、分支（含 switch）、函数调用、递归、指针、结构、链表等的例子程序 sample.c。
- ✓ 生成执行程序 sample.out。
- ✓ 用 gcc –S 或 CodeBlocks 或 GDB 或 OBJDUMP 等，反汇编，比较。
- ✓ 列出每一部分的 C 语言对应的汇编语言。
- ✓ 修改编译选项-O (缺省 2)、O0、O1、O2、O3，-m32/m64。再次查看生成的

汇编语言与原来的区别。

- ✓ 注意 O1 之后无栈帧，EBP 做别的用途。-fno-omit-frame-pointer 加上栈指针。
- ✓ GDB 命令详解 –tui 模式 ^XA 切换 layout 改变等等
- ✓ 有目的地学习: 看 VS 的功能 GDB 命令用什么？

第 2 章 实验环境建立

2.1 Ubuntu 下 CodeBlocks 反汇编（10 分）

CodeBlocks 运行 hellolinux.c。反汇编查看 printf 函数的实现。

要求：C、ASM、内存(显示 hello 等内容)、堆栈（call printf 前）、寄存器同时在一个窗口。

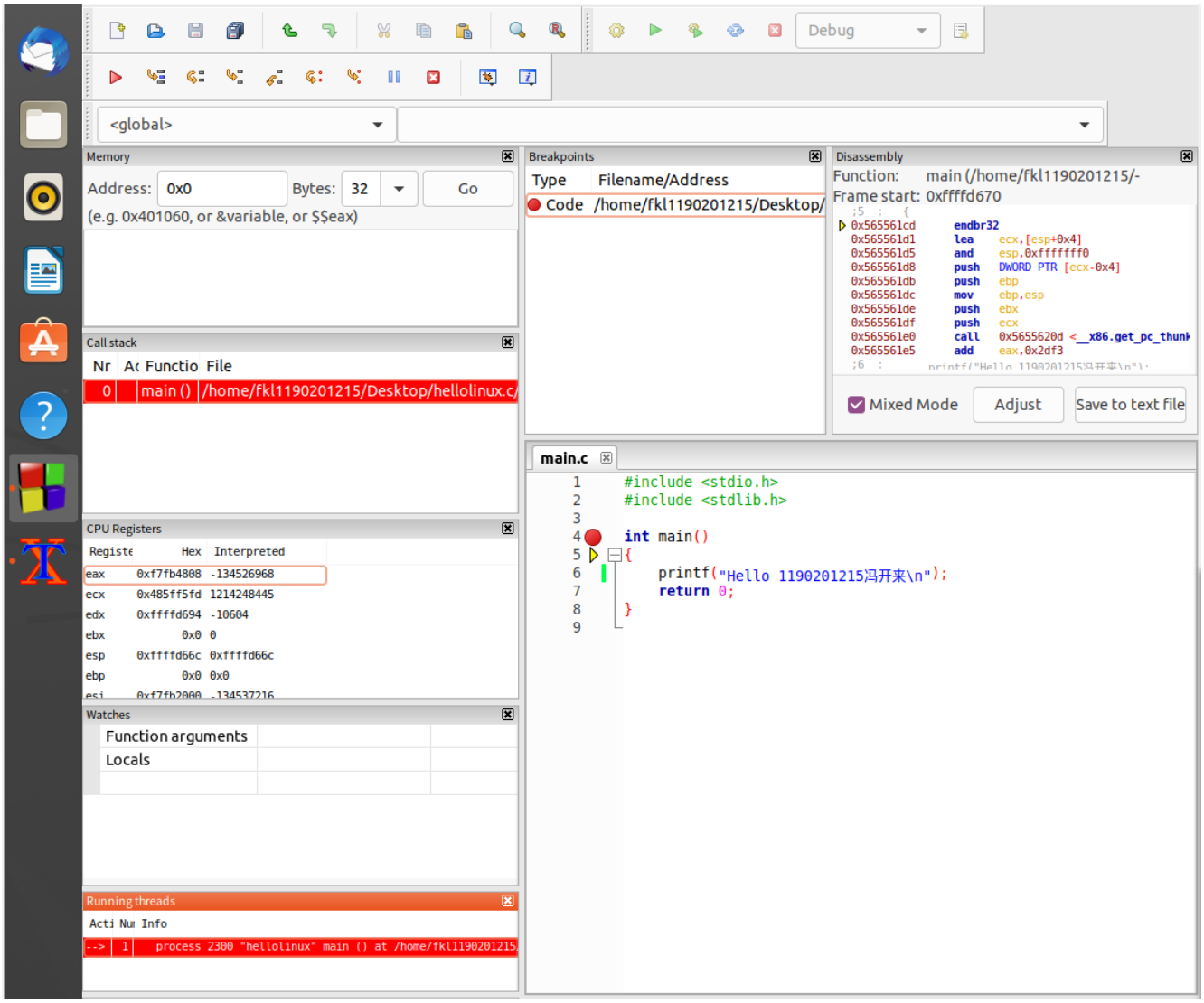


图 2-1 Ubuntu 下 CodeBlocks 反汇编截图

2.2 Ubuntu 下 EDB 运行环境建立（10 分）

用 EDB 调试 hellolinux.c 的执行文件，截图，要求同 2.1

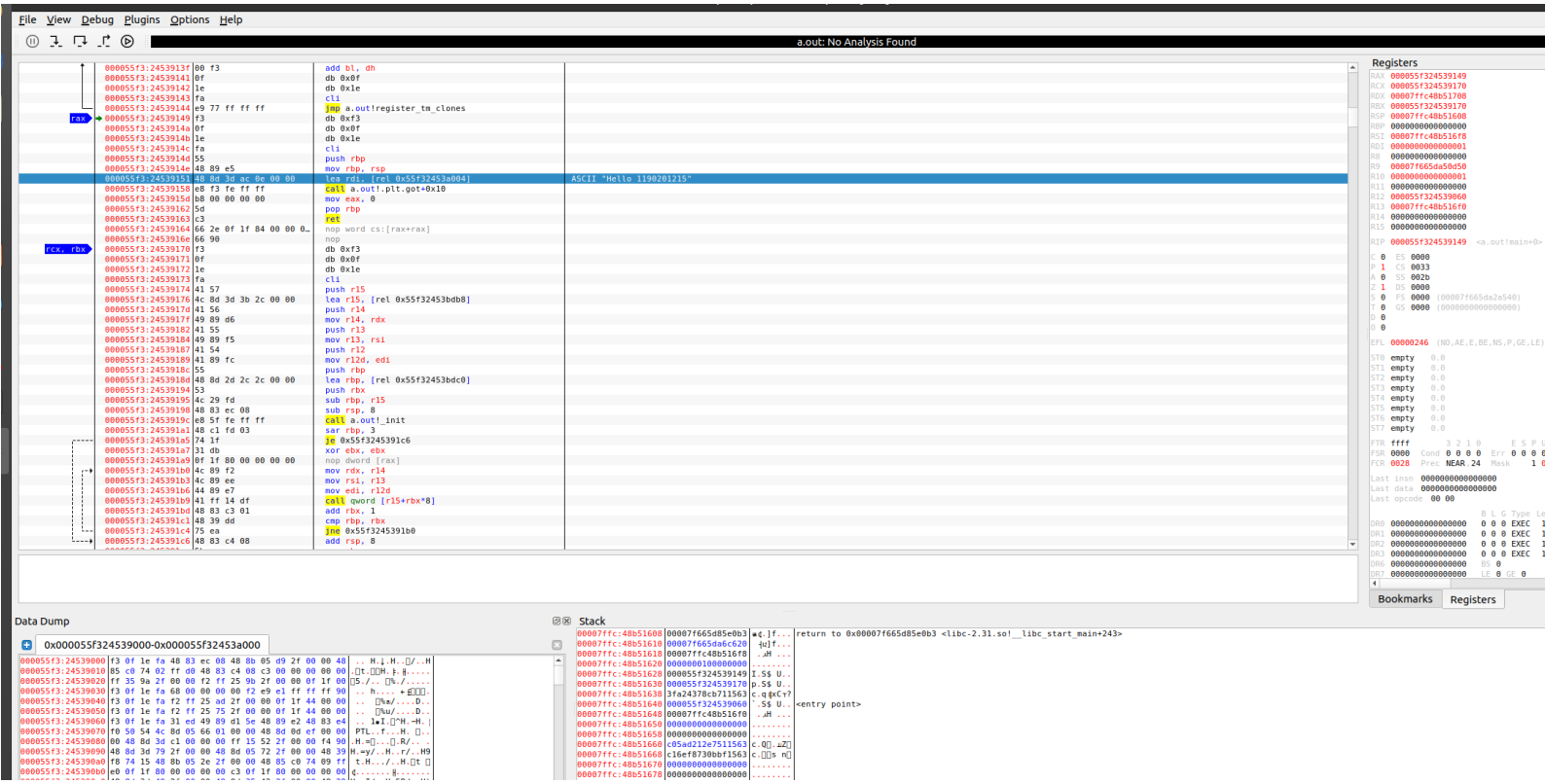


图 2-2　Ubuntu 下 EDB 截图

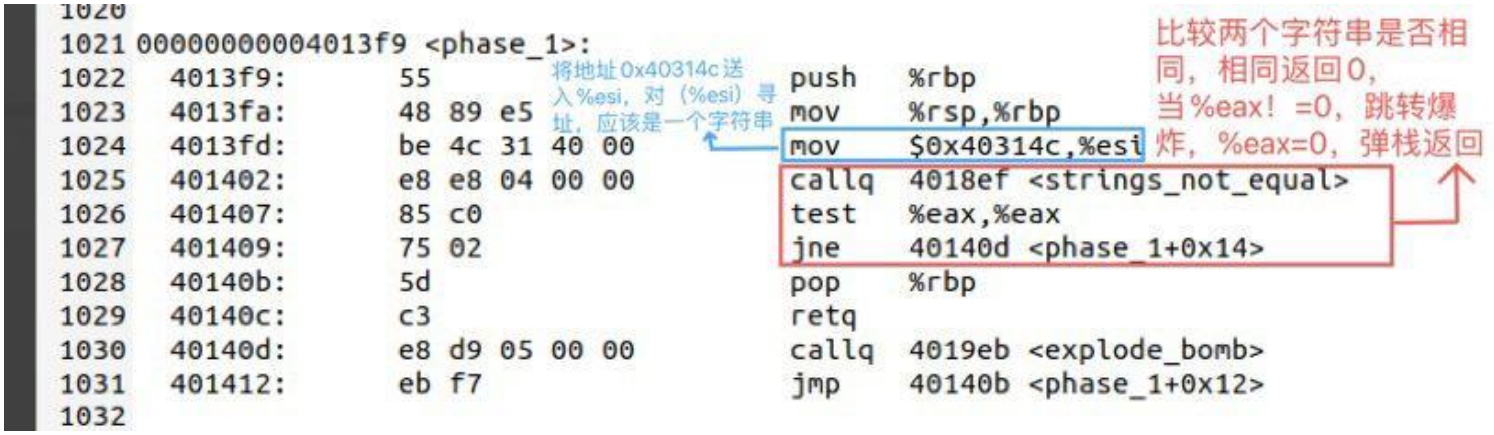
第 3 章 各阶段炸弹破解与分析

每阶段 15 分（密码 10 分，分析 5 分），总分不超过 80 分

3.1 阶段 1 的破解与分析

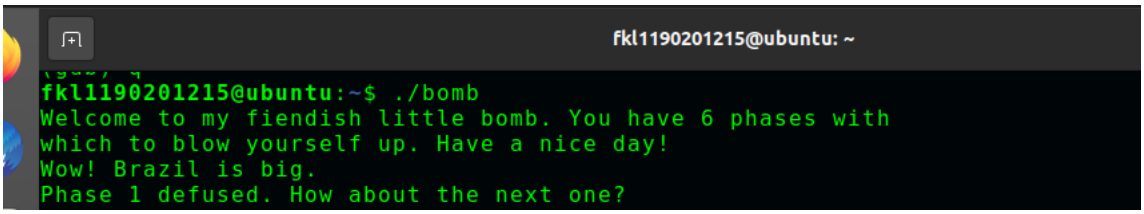
密码如下：Wow! Brazil is big.

破解过程：



通过反汇编代码可以看到，在压栈等基本操作之后，系统调用了一个 string_not_equal 的函数，根据名字和具体代码可以知道，这个函数的作用是比较两个字符串是否相等，若不相等，返回 1，若相等，返回 0，如果返回 0，通过 test 和 jne 这两个判断以及跳转条件实现弹栈并顺利通过该函数，否则爆炸。所以 phase_1 的主要目的就是判断两个字符串是否相等。这里 string_not_equal 比较的两个参数一个是%esi 一个是我们输入的，而%esi 中的字符串可以通过查找 0x40314c 处得知。

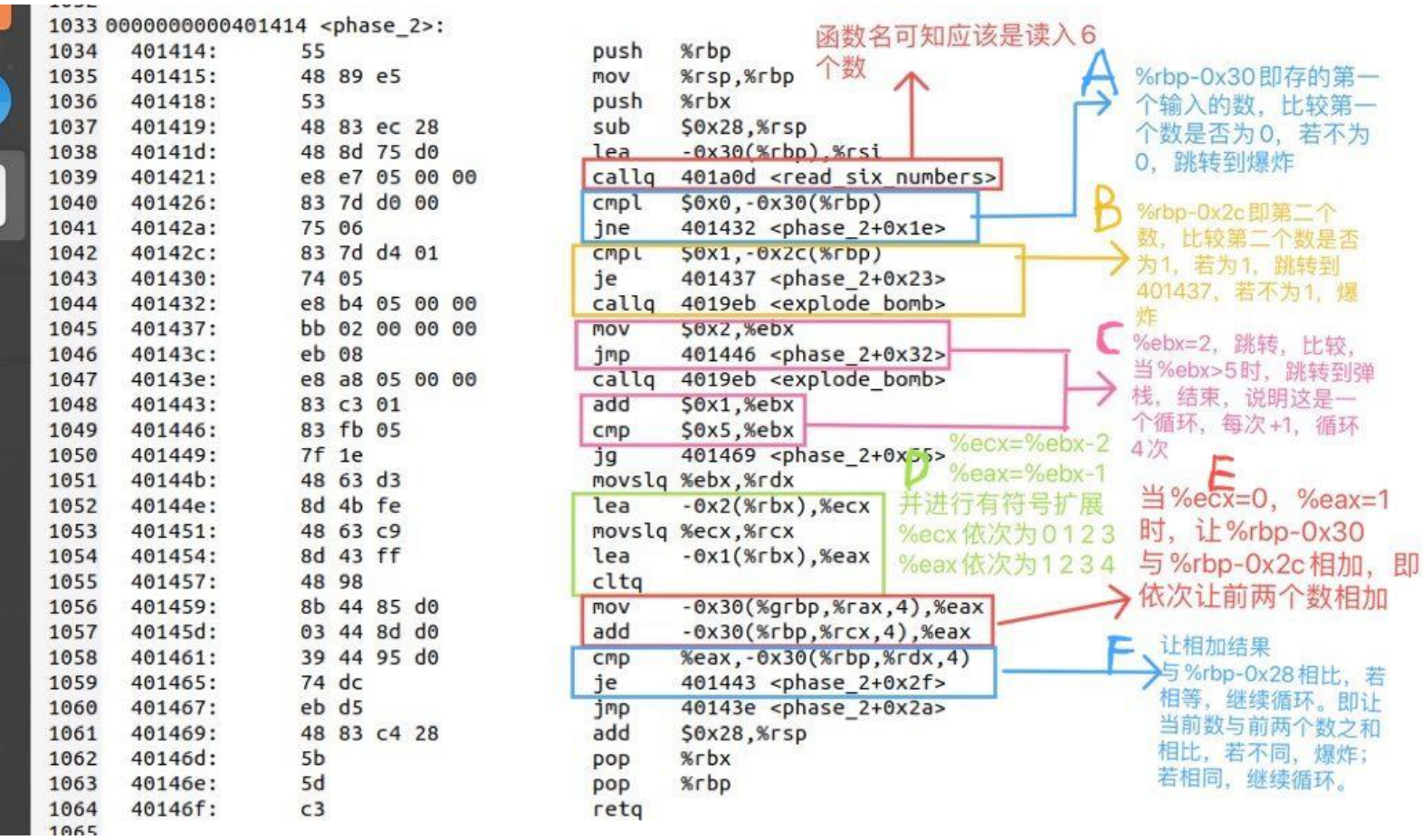
我们通过在 0x40314c 处设置断点，可以并用 gdb 调试以及使用 x/s 查看可以得到字符串，即我们需要的答案。



3.2 阶段 2 的破解与分析

密码如下：0 1 1 2 3 5

破解过程：



通过反汇编代码，先调用了一个 read_six_numbers 的函数，根据名字我们知道这应该是读入 6 个整型数，但是输入格式我们不知道，稍后我们会查看 read_six_numbers 这个函数得到输入格式。继续阅读反汇编代码，在输入之后，

先进行了两个比较，分别是-0x30(%rbp)和 0 比较、-0x2c(%rbp)和 1 比较。其实后续通过阅读 read_six_numbers 可以知道我们输入的是 6 个 int 型，每个占 4 个字节，所以-0x30 和-0x2c 正好差了 4 个字节，所以我们可以判定这两个数就是我们输入的第一个和第二个数，如果不等于 0、1，那么会跳转到爆炸，所以我们输入的第一个第二个数就是 0、1。继续阅读反汇编代码，他让%ebx=2，并且让%ebx 与 5 比较，在比较上面还有一个%ebx++，所以可以初步判定这是一个循环，当%ebx≤5 的时候，进入循环主体，如图片中所写，循环的主体就是判断前两个数相加是否等于下一个数，其中的索引就是通过循环变量%ebx，%ecx（%ebx-2），%eax（%ebx-1）来找到相应的数。因为第一第二个数是 0，1，我们很容易得到第三个数为 1，依次为 2，3，5。

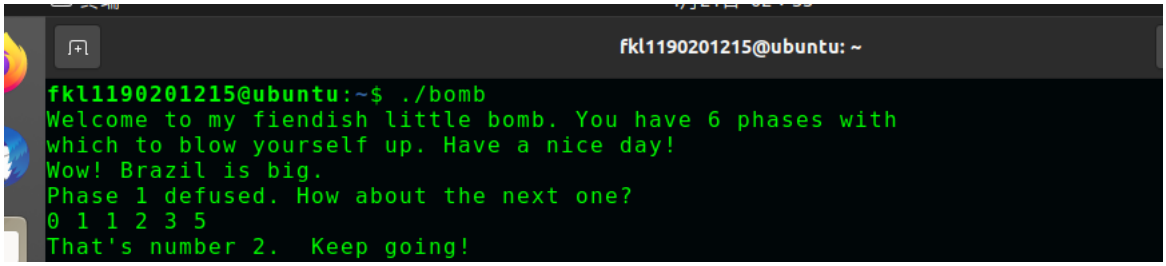
然后我们来看一下 read_six_numbers 这个函数：

```
0000000000401a0d <read_six_numbers>:
  401a0d: 55                    push   %rbp
  401a0e: 48 89 e5              mov    %rsp,%rbp
  401a11: 48 89 f2              mov    %rsi,%rdx
  401a14: 48 8d 4e 04           lea    0x4(%rsi),%rcx
  401a18: 48 8d 46 14           lea    0x14(%rsi),%rax
  401a1c: 50                    push   %rax
  401a1d: 48 8d 46 10           lea    0x10(%rsi),%rax
  401a21: 50                    push   %rax
  401a22: 4c 8d 4e 0c           lea    0xc(%rsi),%r9
  401a26: 4c 8d 46 08           lea    0x8(%rsi),%r8
  401a2a: be eb 32 40 00        mov    $0x4032eb,%esi
  401a2f:  b8 00 00 00 00       mov    $0x0,%eax
  401a34: e8 d7 f6 ff ff        callq  401110 <__isoc99_sscanf@plt>
  401a39: 48 83 c4 10           add    $0x10,%rsp
  401a3d: 83 f8 05              cmp    $0x5,%eax
  401a40: 7e 02                 jle    401a44 <read_six_numbers+0x37>
  401a42: c9                    leaveq
  401a43: c3                    retq
  401a44: e8 a2 ff ff ff        callq  4019eb <explode_bomb>
```

将地址0x4032eb传入%esi，根据下面scanf，可以猜测这是输入格式

可以看到，我们 6 个数据的输入格式为%d 并且以空格隔开。所以我们的答案为

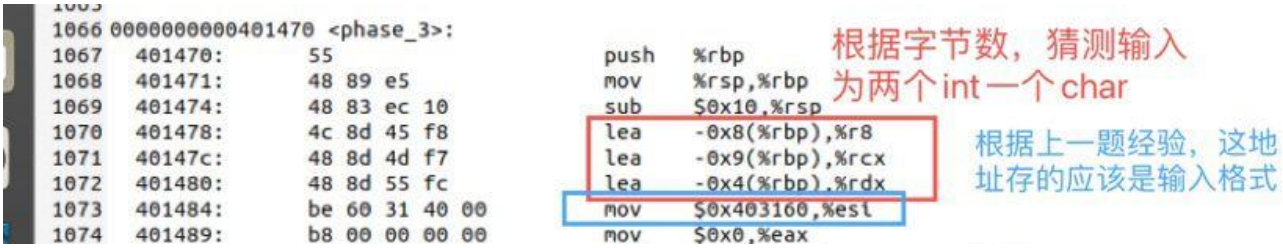
0 1 1 2 3 5



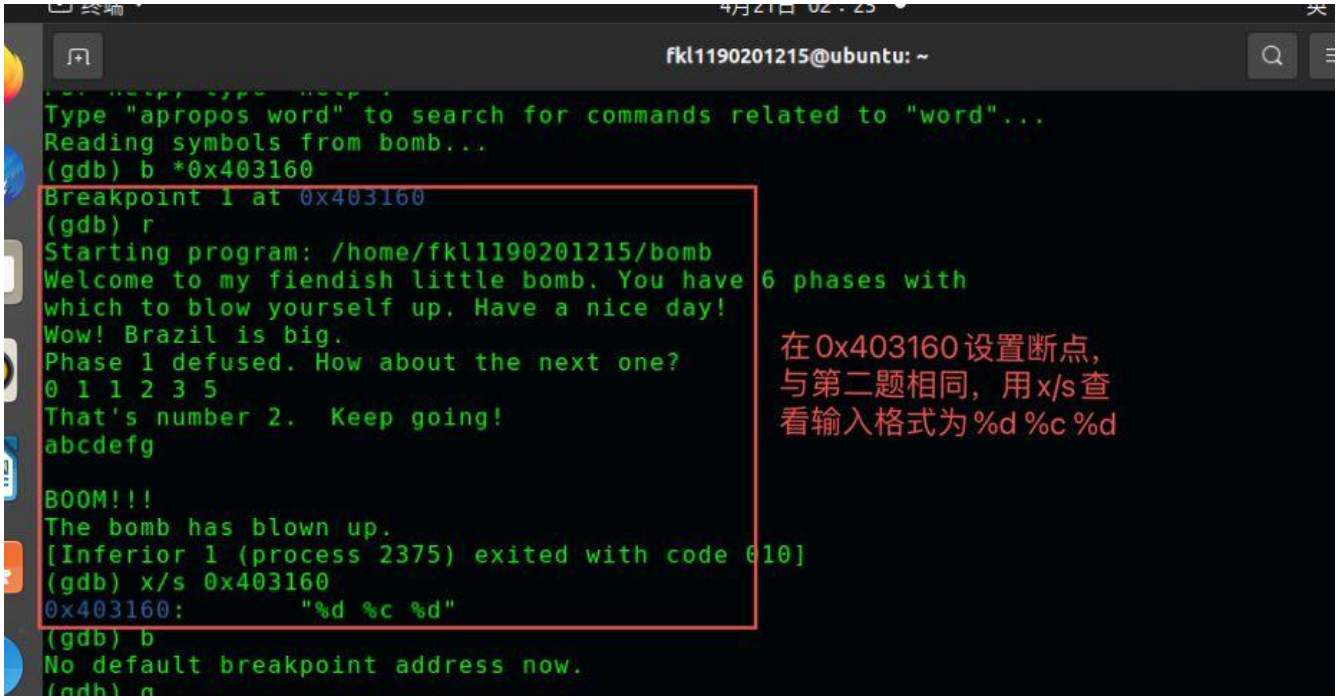
3.3 阶段 3 的破解与分析

密码如下：0 f 556

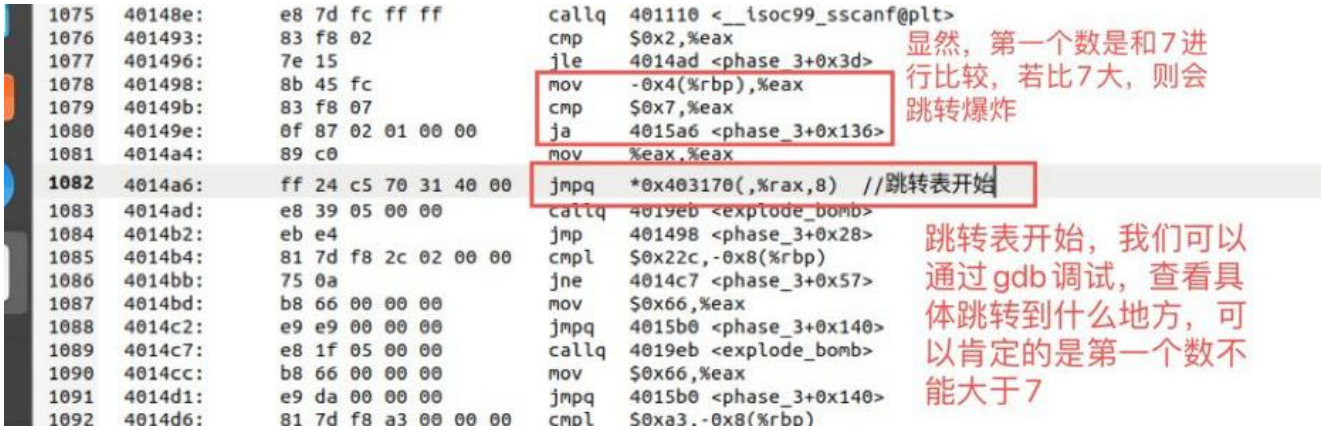
破解过程：



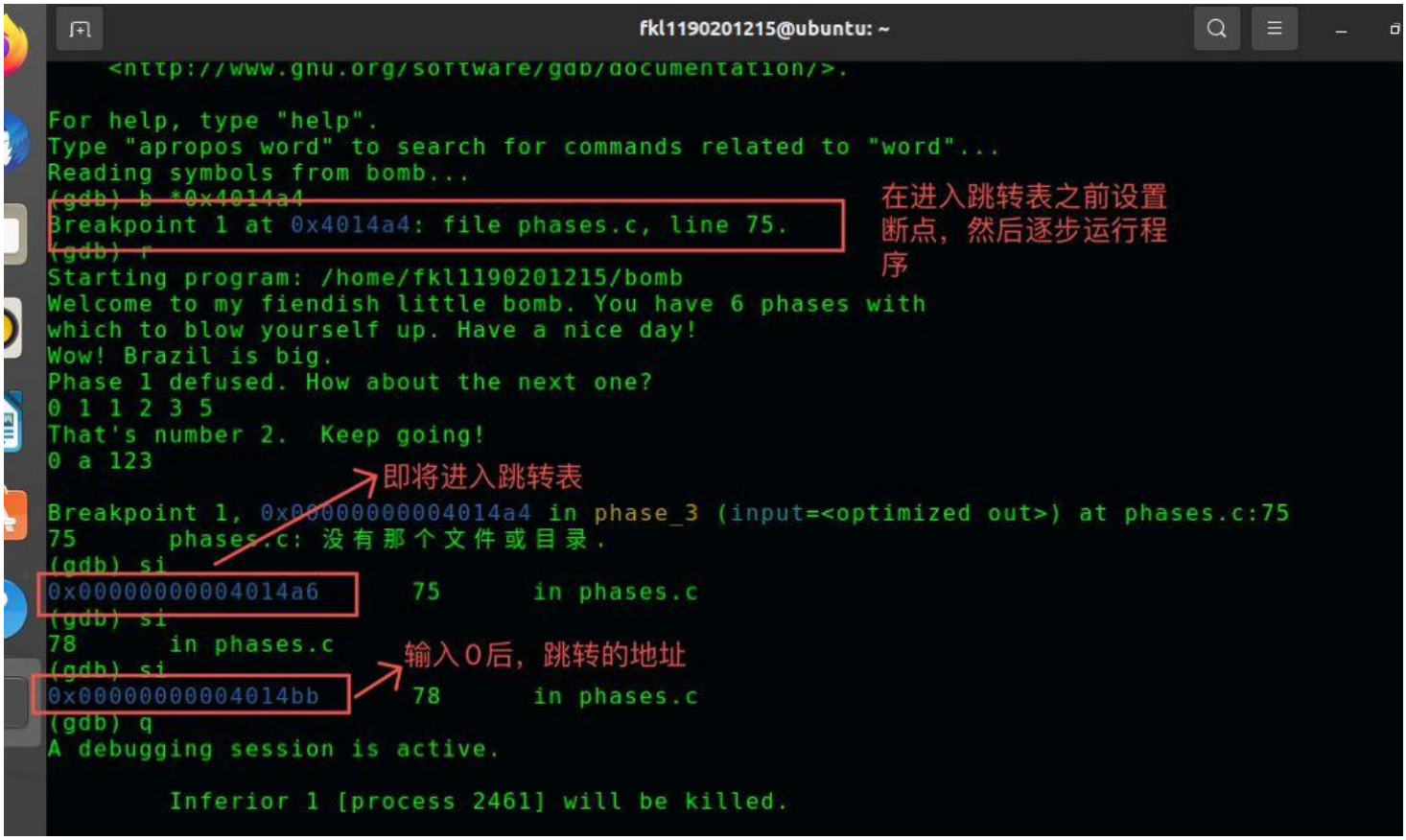
首先可以看到三个加载有效地址，这应该是准备输入三个变量，根据前面几题经验，0x4030160 中应该是输入格式。通过设置断点并且 x/s 查看可以知道输入格式为%d %c %d。即 int char int。



之后我们继续回到反汇编代码：



图中已经表述，将-0x4(%rbp)送至%eax，并与 0x7 比较，如果%eax＞7，则跳转到爆炸，这里面根据上面加载有效地址可以知道-0x4(%rbp)是我们输入的第一个数，所以我们输入的第一个数≤7。随后将%eax 送至%eax，其实就是做一个扩展。然后是无条件跳转 jmpq，根据后面这个*0x403170（, %rax, 8），猜测这应该是 switch 的跳转表。因为我们输入的第一个 int 不会＞7，所以我们可以先尝试一下第一个输入为 0，然后通过 gdb 的逐步调试查看当输入 0 的时候，我们会跳转到什么地方。我们将断点设置在跳转表之前（即将跳转）。



我们先随便输入 0 a 123，随后逐步调试，查看会跳转到哪个地址，根据上图即注释，我们发现输入 0 的结果是跳转到 0x4014bb。我们继续在反汇编代码中找到 0x4014bb，根据前后上下文判断另外输入的两个数。

可以看到，在 0x4014bb 前面的语句中，先比较了-0x8(%rbp)与 0x22c 的大小，若不相同则跳转到 0x4014c7 即爆炸，-0x8(%rbp)是我们输入的第二个 int，所以当我们输入第一个 int 为 0 时，第二个 int 应该为 0x22c 即 556。

然后汇编代码中将 0x66 送至%eax，并跳转到 0x4015b0。

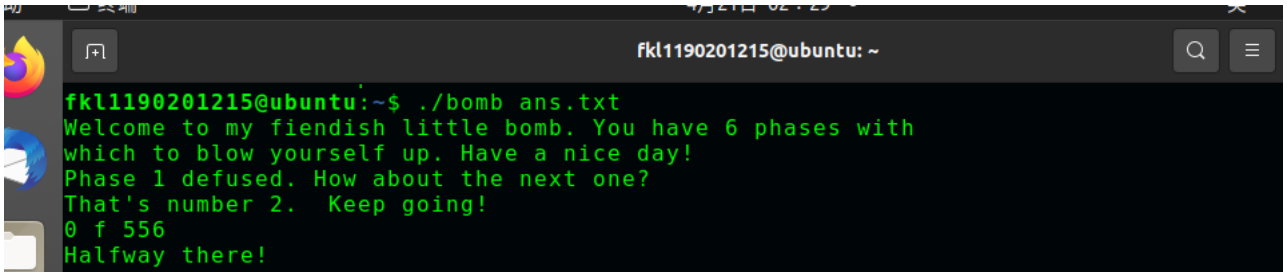
```
1142  4015ab:   b8 79 00 00 00    mov    $0x79,%eax
1143  4015b0:   38 45 f7          cmp    %al,-0x9(%rbp)
1144  4015b3:   75 02             jne    4015b7 <phase_3+0x147>
1145  4015b5:   c9                leaveq
1146  4015b6:   c3                retq
1147  4015b7:   e8 2f 04 00 00    callq  4019eb <explode_bomb>
1148  4015bc:   eb f7             jmp    4015b5 <phase_3+0x145>
1149
```

跳转后，将%al与-0x9(%rbp)比较，即我们输入的char与0x66比较，若不相同则爆炸，ascii码0x66对应的是f，所以我们输入的char为f

跳转后，将%eax 与-0x9(%rbp)比较，即我们输入的 char 与 0x66 比较，如果不相等则跳转到爆炸。那么应该可以知道这里 0x66 时 ascii 码，即对应的 f。所以我们输入的 char 为 f。

当然，我们第一个输入不止可以为 0，这个阶段的答案不唯一。

所以根据我们输入格式可以知道我们 phase_3 答案为 0 f 556.



3.4 阶段 4 的破解与分析

密码如下：7 7 （隐藏阶段输入需要输入 7 7 DrEvil）

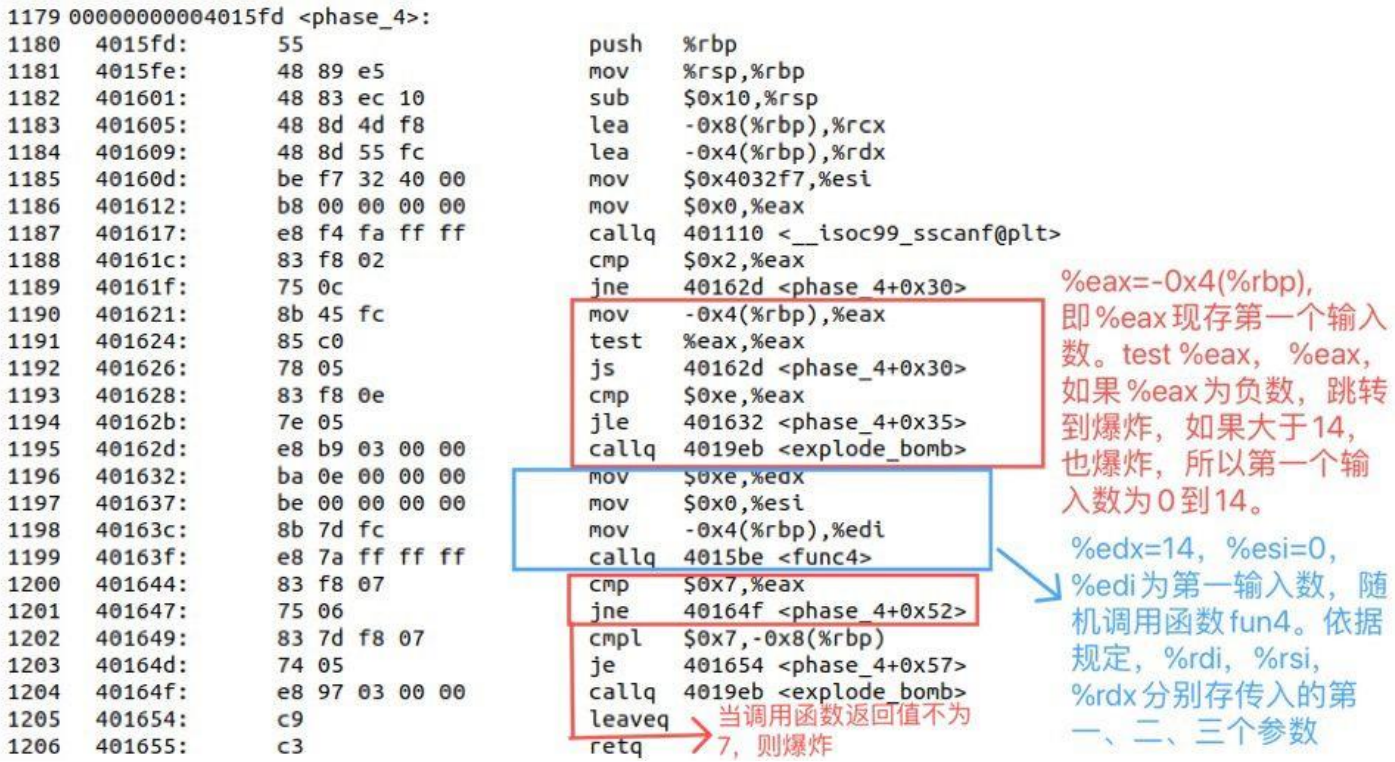
破解过程：

```
1179 00000000004015fd <phase_4>:
1180   4015fd:   55                   push   %rbp
1181   4015fe:   48 89 e5             mov    %rsp,%rbp
1182   401601:   48 83 ec 10          sub    $0x10,%rsp
1183   401605:   48 8d 4d f8          lea    -0x8(%rbp),%rcx
1184   401609:   48 8d 55 fc          lea    -0x4(%rbp),%rdx
1185   40160d:   be f7 32 40 00       mov    $0x4032f7,%esi
1186   401612:   b8 00 00 00 00       mov    $0x0,%eax
1187   401617:   e8 f4 fa ff ff       callq  401110 <__isoc99_sscanf@plt>
1188   40161c:   83 f8 02             cmp    $0x2,%eax
```

根据前一题经验，这里输入格式应该是两个int，并且可以查看地址0x4032f7判断输入格式

根据前面几题经验以及这里两个压栈，可以知道这里输入格式是两个 int，并且可以通过查看 0x4032f7 确定输入格式。

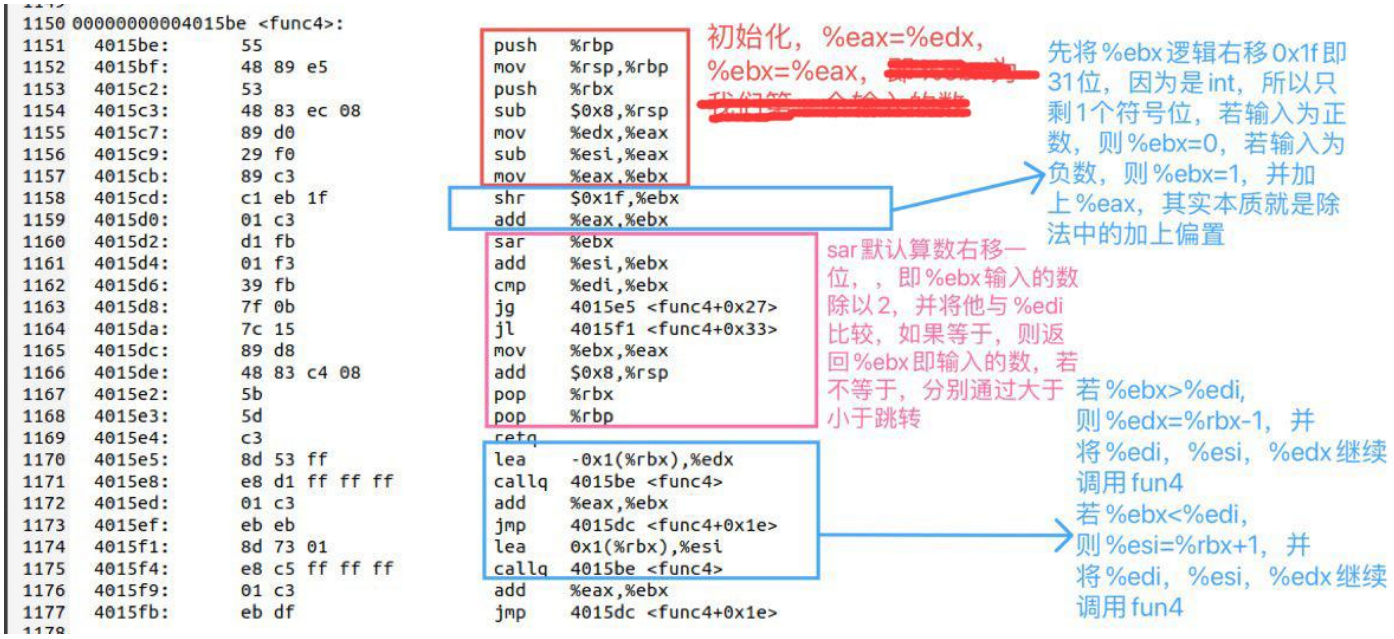
得到了输入格式，我们继续看反汇编代码。



第一个指令是将-0x4(%rbp)送至%eax，并检验%eax 是否为负数，如果%eax 即-0x4(%rbp)为负数，那么则会条件跳转到 0x40162d，炸弹爆炸，再将%eax 与 0xe 比较，如果%eax＞0xe，则会爆炸， 所以我们输入的第一个 int 范围是 0 到 14。

第二段是将立即数 0xe 送至%edx，0x0 送至%esi，-0x4(%rbp)送至%edi，我们知道在计算机中%edi，%esi，%edx 分别存调用函数的第一、二、三个参数，在下面很快调用了 func4 函数，且第一、二、三个参数分别是-0x4(%rbp)，0，14。

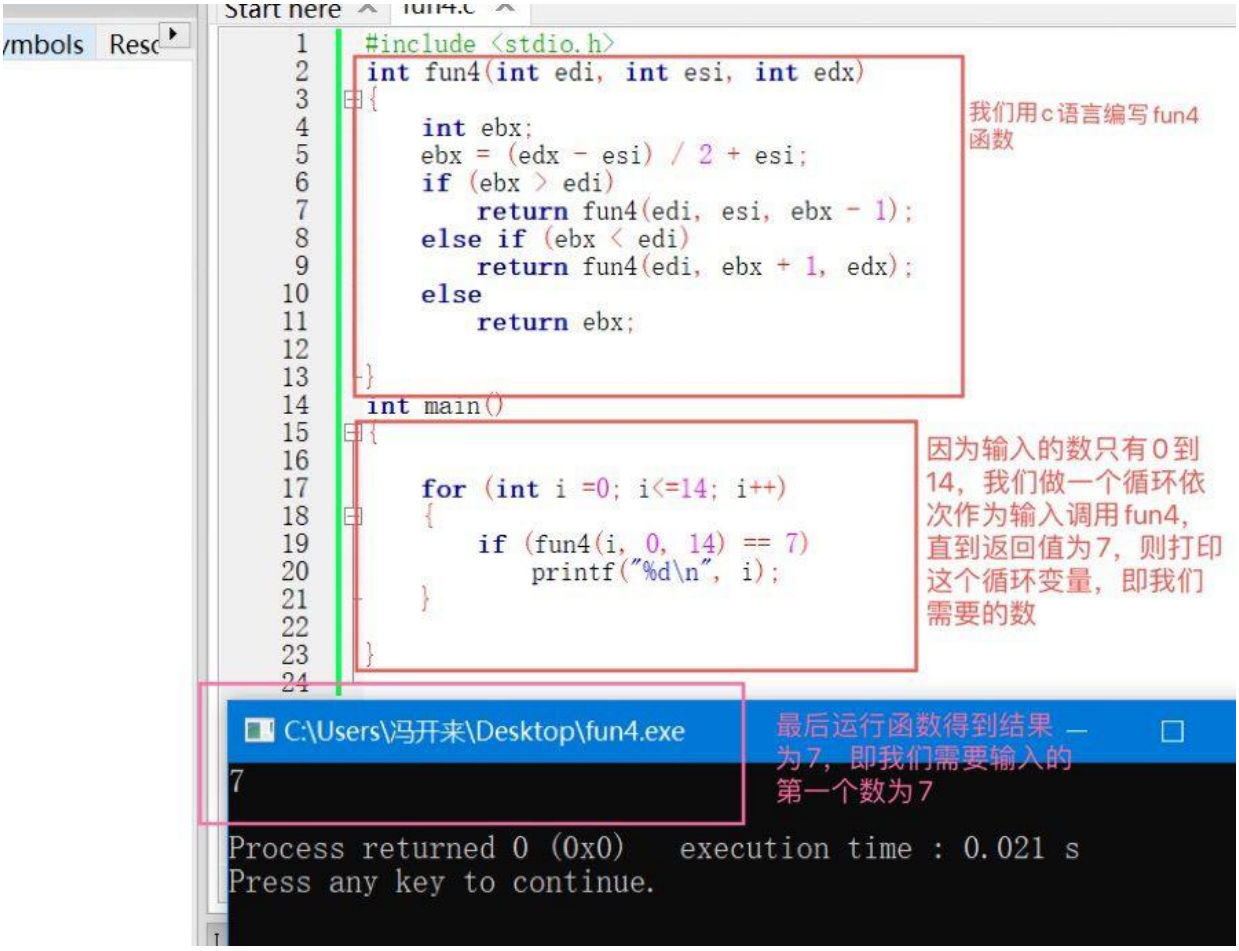
调用函数之后，是将返回值与 7 进行比较，如果不相同，则跳转到爆炸，相同则继续下面指令。我们先看函数 func4。



func4 函数如上图所示。

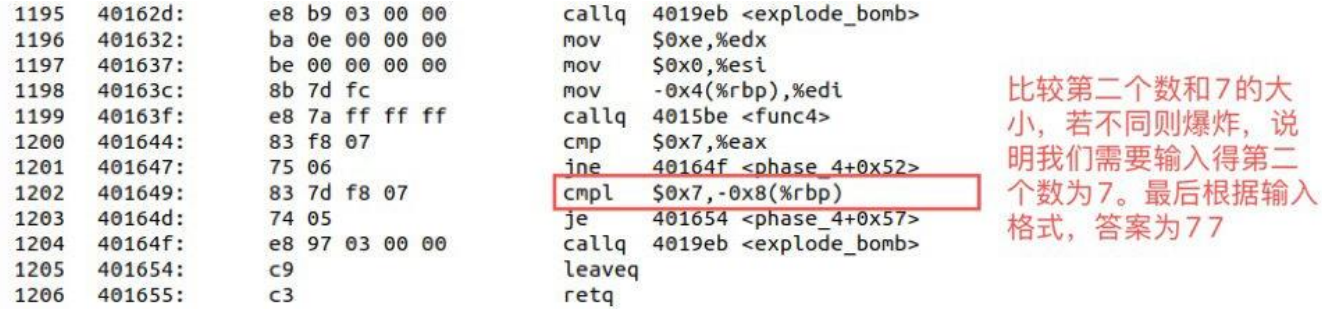
一开始还是初始化的压栈和赋值操作。然后是 shr $0x1f %ebx。即将%ebx 逻辑右移 31 为，因为这里面 int 是 32 位，所以移位后也只剩下一个符号位，随后将%eax 加上这个移位的结果，如果%eax＜0，则加一，若%eax≥0，则不变，然后是将最新的结果算数右移 1 位。整体来看，之前的加 1 或者加 0 实质上是加上一个偏置然后再除以 2，因为简单的移位操作会使负数的结果向负无穷舍入，所以需要加偏置向 0 舍入。所以本段汇编代码的意思就是(%edx-%esi)/2，送至%edx，然后再将结果与%edi（我们输入的数）进行比较。如果相等，则返回%ebx，如果%ebx＞%edi，返回 func4（%edi，%esi，%ebx-1），

如果%ebx＜%edi，返回 func4（%edi，%ebx-1，%edx），这是一个递归函数，我们可以编写一个 c 语言程序，输入为 0 到 14 的整形数，模拟调用 func4 这



个函数，并且当返回值为 7 时，说明我们输入的数正确。

运行程序，我们得到结果为 7，说明当我们输入 7 的时候，func4 函数的返回值是 7，所以我们需要输入的第一个 int 为 7。



继续看反汇编代码，下一个指令是将-0x8(%rbp)与立即数 0x7 比较，如果相等就跳转到 0x401654，弹栈结束该 phase。所以我们第二个输入的 int 应该为 7。

所以 phase_4 答案是 7 7

```
fkl1190201215@ubuntu:~$ ./bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2.  Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7
So you got that one.  Try this one.
```

3.5 阶段 5 的破解与分析

密码如下：71=657

破解过程：

```
0000000000401656 <phase_5>:
 401656: 55                   push   %rbp
 401657: 48 89 e5             mov    %rsp,%rbp
 40165a: 53                   push   %rbx
 40165b: 48 83 ec 18          sub    $0x18,%rsp
 40165f:  48 89 fb            mov    %rdi,%rbx
 401662: e8 74 02 00 00       callq  4018db <string_length>
 401667: 83 f8 06             cmp    $0x6,%eax
 40166a: 75 24                jne    401690 <phase_5+0x3a>
```

根据 string_length,可以判断出这是读入字符串，并且应该是 6 个字符

根据前面，以及 string_length，我们可以知道这里是读入一个字符串，并且应该是 6 个字符。

首先是%eax=0，将%eax 与 5 比较，大于 5 跳出循环，所以这是一个 6 次的循环。在每次循环中，让%rcx=%rax 即为循环变量，%edx 为%rbx+%rcx，因为%rbx

```
401667: 83 f8 06             cmp    $0x6,%eax
40166a: 75 24                jne    401690 <phase_5+0x3a>
40166c: b8 00 00 00 00       mov    $0x0,%eax
401671: 83 f8 05             cmp    $0x5,%eax
401674: 7f 21                jg     401697 <phase_5+0x41>
401676: 48 63 c8             movslq %eax,%rcx
401679: 0f b6 14 0b          movzbl (%rbx,%rcx,1),%edx
40167d: 83 e2 0f             and    $0xf,%edx
401680: 0f b6 92 b0 31 40 00       movzbl 0x4031b0(%rdx),%edx
401687: 88 54 0d e9          mov    %dl,-0x17(%rbp,%rcx,1)
40168b: 83 c0 01             add    $0x1,%eax
40168e: eb e1                jmp    401671 <phase_5+0x1b>
401690: e8 56 03 00 00       callq  4019eb <explode_bomb>
401695: eb d5                jmp    40166c <phase_5+0x16>
401697: c6 45 ef 00          movb   $0x0,-0x11(%rbp)
40169b: be 69 31 40 00       mov    $0x403169,%esi
4016a0: 48 8d 7d e9          lea    -0x17(%rbp),%rdi
4016a4: e8 46 02 00 00       callq  4018ef <strings_not_equal>
4016a9: 85 c0                test   %eax,%eax
4016ab: 75 07                jne    4016b4 <phase_5+0x5e>
4016ad: 48 83 c4 18          add    $0x18,%rsp
4016b1: 5b                   pop    %rbx
4016b2: 5d                   pop    %rbp
4016b3: c3                   retq
4016b4: e8 32 03 00 00       callq  4019eb <explode_bomb>
4016b9: eb f2                jmp    4016ad <phase_5+0x57>
```

一个 6 次循环，当%eax 大于 5 时，跳出循环

%rcx=%rax 为循环变量，即%edx 依次为输入字符串的字符，并取低 4 位，即一个 0 到 16 的数，在后续作为索引

将%rcx 作为索引，寻找地址 0x4031b0 后相应的内容，并存入%edx，再存入首地址为 -0x17（%rbp）的数组。最后循环变量+1

循环结束，将 0 送至 -0x11（%rbp），即 6 次循环得到由 6 个字符构成的数组的终止符，将地址 0x403169 内容送至%esi，将我们得到新数组送至%rdi，然后将%rdi 和%esi 送入 strings_not_equal 函数

是我们输入字符串的首地址，所以每次加一个循环变量即是字符串中依次的字符，并将每个字符取低四位，后续我们知道，这个第四位构成一个数值为 0 到 16 的索引。

得到的%rdx 作为索引，通过间接寻址 0x4031b0(%rdx)，可以猜测到 0x4031b0 处应该存了一个字符串，当%rdx 为 1 时，即字符串第二个字符，依次类推。每次循环中，得到一个间接寻址的字符，存入心得寄存器，首地址为 -0x17(%rbp)，因为是 6 次循环，所以我们得到的新的字符串应该也是长度为 6。

```
Reading symbols from bomb...
(gdb) b *0x4031b0
Breakpoint 1 at 0x4031b0
(gdb) r
Starting program: /home/fkl1190201215/bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2.  Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7
So you got that one.  Try this one.
7031=37

BOOM!!!
The bomb has blown up.
[Inferior 1 (process 2208) exited with code 010]
(gdb) x/s 0x4031b0
0x4031b0 <array.3404>:  "maduiersnfotvbylWow! You've defused the secret stage!"
(gdb)
```

我们通过设置断点可以查看 0x4031b0 的字符串为 maduiersnfotvbyl，我们输入的 6 个字符分别取低四位可以得到索引，通过索引找到上述这个字符串对应的字符。所以我们现在的工作就是确定这几个索引的值。

继续看反汇编代码。

```
40167d: 83 e2 0f          and   $0xf,%edx
401680: 0f b6 92 b0 31 40 00    movzbl 0x4031b0(%rdx),%edx
401687: 88 54 0d e9       mov   %dl,-0x17(%rbp,%rcx,1)
40168b: 83 c0 01          add   $0x1,%eax
40168e: eb e1             jmp   401671 <phase_5+0x1b>
401690: e8 56 03 00 00    callq 4019eb <explode_bomb>
401695: eb d5             jmp   40166c <phase_5+0x16>
401697: c6 45 ef 00       movb  $0x0,-0x11(%rbp)
40169b: be 69 31 40 00    mov   $0x403169,%esi
4016a0: 48 8d 7d e9       lea   -0x17(%rbp),%rdi
4016a4: e8 46 02 00 00    callq 4018ef <strings_not_equal>
4016a9: 85 c0             test  %eax,%eax
4016ab: 75 07             jne   4016b4 <phase_5+0x5e>
4016ad: 48 83 c4 18       add   $0x18,%rsp
4016b1: 5b                pop   %rbx
4016b2: 5d                pop   %rbp
4016b3: c3                retq
4016b4: e8 32 03 00 00    callq 4019eb <explode_bomb>
4016b9: eb f2             jmp   4016ad <phase_5+0x57>
```

0x4031b0 存的是我们需要寻找索引的字符串
0x403169 存的是我们需要比较的字符串

最后比较字符串，若两个不想等，则%eax=0，并条件跳转到爆炸，相等则弹栈结束

在跳出循环之后，将 0x403169 送入%esi，-0x17(%rbp)送入%rdi，再调用 strings_not_equal 这个函数，显然这里是要我们将得到的新字符串与 0x403169 的字符串相比较，如果相同，则弹栈结束该 phase，我们可以通过 gdb 查看 0x403169 地址处的字符串，这个字符串即是我们得到的新的字符串，然后通过字符一一比对原来那个比较长的字符串，得到索引值，然后我们输入的 6 个字符的低四位即是这个索引值。

```
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from bomb...
(gdb) b *0x403169
Breakpoint 1 at 0x403169
(gdb) r
Starting program: /home/fkl1190201215/bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2.  Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7
So you got that one.  Try this one.
ald;jg

BOOM!!!
The bomb has blown up.
[Inferior 1 (process 2040) exited with code 010]
(gdb) x/s 0x403169
0x403169:       "sabres"
(gdb)
```

这个字符串为 sabres，原来的字符串为 maduiersnfotvbyl，一一比对后，我们得到对应的索引值依次为，7 1 13 6 5 7，对应的 16 进制数为，0x0111，0x0001，0x1101，0x0110，0x0101，0x0111。这就要求我们输入的 6 个字符的 ascii 码值的低 4 位就是上述 6 个数，通过查阅 ascii 表，6 个字符依次可以为 7 1 = 6 5 7，通过字符串输入为 71=657。

```
fkl1190201215@ubuntu:~$ ./bommb
bash: ./bommb: 没有那个文件或目录
fkl1190201215@ubuntu:~$ ./bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2.  Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7 DrEvil
So you got that one.  Try this one.
71=657
Good work!  On to the next...
```

3.6 阶段 6 的破解与分析

密码如下：1 5 2 6 4 3

破解过程：

```
1242 00000000004016bb <phase_6>:
1243   4016bb:       55                      push   %rbp
1244   4016bc:       48 89 e5                mov    %rsp,%rbp
1245   4016bf:       41 55                   push   %r13
1246   4016c1:       41 54                   push   %r12
1247   4016c3:       53                      push   %rbx
1248   4016c4:       48 83 ec 58             sub    $0x58,%rsp
1249   4016c8:       48 8d 75 c0             lea    -0x40(%rbp),%rsi
1250   4016cc:       e8 3c 03 00 00          callq  401a0d <read_six_numbers>
1251   4016d1:       41 bc 00 00 00 00       mov    $0x0,%r12d
1252   4016d7:       eb 29                   jmp    401702 <phase_6+0x47>
1253   4016d9:       e8 0d 03 00 00          callq  4019eb <explode_bomb>
1254   4016de:       eb 37                   jmp    401717 <phase_6+0x5c>
1255   4016e0:       e8 06 03 00 00          callq  4019eb <explode_bomb>
1256   4016e5:       83 c3 01                add    $0x1,%ebx
1257   4016e8:       83 fb 05                cmp    $0x5,%ebx
1258   4016eb:       7f 12                   jg     4016ff <phase_6+0x44>
1259   4016ed:       49 63 c4                movslq %r12d,%rax
1260   4016f0:       48 63 d3                movslq %ebx,%rdx
1261   4016f3:       8b 7c 95 c0             mov    -0x40(%rbp,%rdx,4),%edi
1262   4016f7:       39 7c 85 c0             cmp    %edi,-0x40(%rbp,%rax,4)
1263   4016fb:       75 e8                   jne    4016e5 <phase_6+0x2a>
1264   4016fd:       eb e1                   jmp    4016e0 <phase_6+0x25>
1265   4016ff:       45 89 ec                mov    %r13d,%r12d
1266   401702:       41 83 fc 05             cmp    $0x5,%r12d
1267   401706:       7f 19                   jg     401721 <phase_6+0x66>
1268   401708:       49 63 c4                movslq %r12d,%rax
1269   40170b:       8b 44 85 c0             mov    -0x40(%rbp,%rax,4),%eax
1270   40170f:       83 e8 01                sub    $0x1,%eax
1271   401712:       83 f8 05                cmp    $0x5,%eax
1272   401715:       77 c2                   ja     4016d9 <phase_6+0x1e>
1273   401717:       45 8d 6c 24 01          lea    0x1(%r12),%r13d
1274   40171c:       44 89 eb                mov    %r13d,%ebx
1275   40171f:       eb c7                   jmp    4016e8 <phase_6+0x2d>
1276   401721:       b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
1277   401726:       eb 13                   jmp    40173b <phase_6+0x80>
1278   401728:       48 63 c8                movslq %eax,%rcx
1279   40172b:       ba 07 00 00 00          mov    $0x7,%edx
```

前面很常规的压栈，初始化，读入 6 个整型数，用空格隔开。

将%r12d = 0，跳转到 0x401702，与 5 比较，当%r12d＞5，跳出循环。

循环主体是让%rax=%r12d, %eax=-0x40(%rbp, %rax, 4)，即依次为我们输入的 6 个数，并让%eax-1 与 5 比较，大于的时候跳转到爆炸，并让%r13d = %r12d+1，%ebx=%r13d，且与 5 比较（循环 5 次），

让-0x40（%rbp，%r12d，4）与-0x40（%rbp， %r13d，4）比较，两者要不相等，否则爆炸。

所以第一个大循环的目的是让每个数小于等于 6，且相邻两个数不能相等。

```
1274   40171c:      44 89 ed              mov    %r13d,%edx
1275   40171f:      eb c7                 jmp    4016e8 <phase_6+0x2d>
1276   401721:      b8 00 00 00 00        mov    $0x0,%eax
1277   401726:      eb 13                 jmp    40173b <phase_6+0x80>
1278   401728:      48 63 c8              movslq %eax,%rcx
1279   40172b:      ba 07 00 00 00        mov    $0x7,%edx
1280   401730:      2b 54 8d c0           sub    -0x40(%rbp,%rcx,4),%edx
1281   401734:      89 54 8d c0           mov    %edx,-0x40(%rbp,%rcx,4)
1282   401738:      83 c0 01              add    $0x1,%eax
1283   40173b:      83 f8 05              cmp    $0x5,%eax
1284   40173e:      7e e8                 jle    401728 <phase_6+0x6d>
1285   401740:      be 00 00 00 00        mov    $0x0,%esi
```

这是第二个大循环，从%eax=0 到%eax≤5，循环 6 次，循环主体是%edx 减去-0x40（%rbp，%rcx，4），%rcx 是循环变量的值，%edx=7，所以这一段代码的意识是依次用 7 减去我们输入的 6 个数。假设我们输入 a0, a1, a2, a3, a4, a5。那么这一段之后得到 b0, b1, b2, b3, b4, b5。bi=7-ai。

```
1283   40173b:      83 f8 05              cmp    $0x5,%eax
1284   40173e:      7e e8                 jle    401728 <phase_6+0x6d>
1285   401740:      be 00 00 00 00        mov    $0x0,%esi
1286   401745:      eb 18                 jmp    40175f <phase_6+0xa4>
1287   401747:      48 8b 52 08           mov    0x8(%rdx),%rdx
1288   40174b:      83 c0 01              add    $0x1,%eax
1289   40174e:      48 63 ce              movslq %esi,%rcx
1290   401751:      39 44 8d c0           cmp    %eax,-0x40(%rbp,%rcx,4)
1291   401755:      7f f0                 jg     401747 <phase_6+0x8c>
1292   401757:      48 89 54 cd 90         mov    %rdx,-0x70(%rbp,%rcx,8)
1293   40175c:      83 c6 01              add    $0x1,%esi
1294   40175f:      83 fe 05              cmp    $0x5,%esi
1295   401762:      7f 0c                 jg     401770 <phase_6+0xb5>
1296   401764:      b8 01 00 00 00        mov    $0x1,%eax
1297   401769:      ba d0 52 40 00        mov    $0x4052d0,%edx
1298   40176e:      eb de                 jmp    40174e <phase_6+0x93>
1299   401770:      48 8b 5d 90           mov    -0x70(%rbp),%rbx
```

第二个循环结束后跳转到 0x401740，开始第三个循环，%esi=0，当%esi≤5，循环 6 次。这里是整个 phase 最关键的地方，这里将 1 送至%eax，0x4052d0 送至%edx，让%eax 和-0x40（%rbp，%rcx，4）进行比较 [直到%eax 等于-0x40（%rbp，%rcx，4）]，每次循环一次将%rdx 的地址加 8 并存入%rdx，所以这里可以判断%rdx 是一个链表，每次%eax 的循环会让%rdx 进入下一个节点，然后这个节点的数存入-0x70（%rbp，%rcx，8）我们可以理解为这里是一个新的数组，首地址是-0x70（%rbp），每次间隔 8 个地址，我们暂且命名为 c0, c1, c2, c3, c4, c5。c[i]的得到方式是通过 1 与 b[i]的差值，ci 等于内存为 8*（bi）+0x4052d0 的值。所以我们需要直到 0x4052d0 存的链表的值和地址。

```
1298   40176e:      eb de                   jmp    40174e <phase_6+0x93>
1299   401770:      48 8b 5d 90             mov    -0x70(%rbp),%rbx
1300   401774:      48 89 d9                mov    %rbx,%rcx
1301   401777:      b8 01 00 00 00          mov    $0x1,%eax
1302   40177c:      eb 12                   jmp    401790 <phase_6+0xd5>
1303   40177e:      48 63 d0                movslq %eax,%rdx
1304   401781:      48 8b 54 d5 90          mov    -0x70(%rbp,%rdx,8),%rdx
1305   401786:      48 89 51 08             mov    %rdx,0x8(%rcx)
1306   40178a:      83 c0 01                add    $0x1,%eax
1307   40178d:      48 89 d1                mov    %rdx,%rcx
1308   401790:      83 f8 05                cmp    $0x5,%eax
1309   401793:      7e e9                   jle    40177e <phase_6+0xc3>
1310   401795:      48 c7 41 08 00 00 00    movq   $0x0,0x8(%rcx)
1311   40179c:      00
```

得到新的数组 ci 后，跳出循环，我们进入第四个循环。说实话看完这一个循环我实在不知道这里的意义在何处。这里的意思是将 c[i+1]的值覆盖 c[i]，所以从数值上来说我们得到了 c1, c2, c3, c4, c5, c5, 0（因为最后将 0 送至了数组的末尾）。

```
1311   40179c:      00
1312   40179d:      41 bc 00 00 00 00       mov    $0x0,%r12d
1313   4017a3:      eb 08                   jmp    4017ad <phase_6+0xf2>
1314   4017a5:      48 8b 5b 08             mov    0x8(%rbx),%rbx
1315   4017a9:      41 83 c4 01             add    $0x1,%r12d
1316   4017ad:      41 83 fc 04             cmp    $0x4,%r12d
1317   4017b1:      7f 11                   jg     4017c4 <phase_6+0x109>
1318   4017b3:      48 8b 43 08             mov    0x8(%rbx),%rax
1319   4017b7:      8b 00                   mov    (%rax),%eax
1320   4017b9:      39 03                   cmp    %eax,(%rbx)
1321   4017bb:      7d e8                   jge    4017a5 <phase_6+0xea>
1322   4017bd:      e8 29 02 00 00          callq  4019eb <explode_bomb>
1323   4017c2:      eb e1                   jmp    4017a5 <phase_6+0xea>
1324   4017c4:      48 83 c4 58             add    $0x58,%rsp
1325   4017c8:      5b                      pop    %rbx
1326   4017c9:      41 5c                   pop    %r12
1327   4017cb:      41 5d                   pop    %r13
1328   4017cd:      5d                      pop    %rbp
1329   4017ce:      c3                      retq
1330
```

最后一个循环开始之前是将 0 送至%r12d，然后将%r12d 与 4 比较，这里循环其实就 5 次，循环的主体是将 c[i]与 c[i+1]比较，只有当 c[i]≥c[i+1]时，成立，否则爆炸，所以我们干脆规定 c0≥c1≥c2≥c3≥c4≥c5，而 ci 的值是通过对链表寻址得到的，所以我们需要知道所有链表的数。

```
[Inferior 1 (process 12770) exited with code 010]
(gdb) x/24xw 0x4052d0
0x4052d0 <node1>:       0x00000154      0x00000001      0x004052e0      0x00000000
0x4052e0 <node2>:       0x000002a4      0x00000002      0x004052f0      0x00000000
0x4052f0 <node3>:       0x000000ab      0x00000003      0x00405300      0x00000000
0x405300 <node4>:       0x0000004d      0x00000004      0x00405310      0x00000000
0x405310 <node5>:       0x00000223      0x00000005      0x00405320      0x00000000
0x405320 <node6>:       0x000003e0      0x00000006      0x00000000      0x00000000
(gdb) q
fkl1190201215@ubuntu:~$ ./bomb ans.txt
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
```

根据数值比较，我们得到 node6≥node2≥node5≥node1≥node3≥node4。然后我们可以根据更高 ci 和 bi 的公式得到 bi 的值依次为 6 2 5 1 3 4，然后根据 ai 和 bi

的转换公式得到 1 5 2 6 4 3。即我们需要输入的 6 个数，以空格隔开就是答案。

```
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2.  Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7 DrEvil
So you got that one.  Try this one.
71=657
Good work!  On to the next...
1 5 2 6 4 3
Curses, you've found the secret phase!
But finding it and solving it are quite different...
```

3.7 阶段 7 的破解与分析(隐藏阶段)

密码如下：7

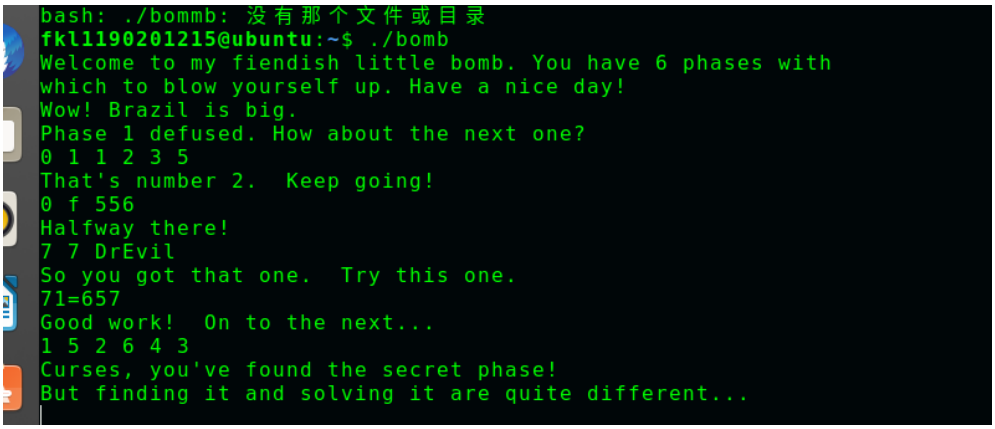
破解过程：

最后一个隐藏关先是找到入口，在 phase_dufused 里面

```
0000000000401b74 <phase_defused>:
  401b74:       83 3d f1 3b 00 00 06    cmpl   $0x6,0x3bf1(%rip)        # 40576c <num_input_strings>
  401b7b:       74 01                   je     401b7e <phase_defused+0xa>
  401b7d:       c3                      retq
  401b7e:       55                      push   %rbp
  401b7f:       48 89 e5                mov    %rsp,%rbp
  401b82:       48 83 ec 60             sub    $0x60,%rsp
  401b86:       4c 8d 45 b0             lea    -0x50(%rbp),%r8
  401b8a:       48 8d 4d a8             lea    -0x58(%rbp),%rcx
  401b8e:       48 8d 55 ac             lea    -0x54(%rbp),%rdx
  401b92:       be 41 33 40 00          mov    $0x403341,%esi
  401b97:       bf 70 58 40 00          mov    $0x405870,%edi
  401b9c:       b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
  401ba1:       e8 6a f5 ff ff          callq  401110 <__isoc99_sscanf@plt>
  401ba6:       83 f8 03                cmp    $0x3,%eax
  401ba9:       74 0c                   je     401bb7 <phase_defused+0x43>
  401bab:       bf 80 32 40 00          mov    $0x403280,%edi
  401bb0:       e8 ab f4 ff ff          callq  401060 <puts@plt>
  401bb5:       c9                      leaveq
  401bb6:       c3                      retq
  401bb7:       be 4a 33 40 00          mov    $0x40334a,%esi
  401bbc:       48 8d 7d b0             lea    -0x50(%rbp),%rdi
  401bc0:       e8 2a fd ff ff          callq  4018ef <strings_not_equal>
  401bc5:       85 c0                   test   %eax,%eax
  401bc7:       75 e2                   jne    401bab <phase_defused+0x37>
  401bc9:       bf 20 32 40 00          mov    $0x403220,%edi
  401bce:       e8 8d f4 ff ff          callq  401060 <puts@plt>
  401bd3:       bf 48 32 40 00          mov    $0x403248,%edi
  401bd8:       e8 83 f4 ff ff          callq  401060 <puts@plt>
  401bdd:       b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
  401be2:       e8 22 fc ff ff          callq  401809 <secret_phase>
  401be7:       eb c2                   jmp    401bab <phase_defused+0x37>
```

当输入 0x40334a 处存的字符串可以调出 secret_phase，通过 gdb 可以查到 0x40334a 处的字符串为 DrEvil，所以我们在第三关结束的时候输入 7 7 DrEvil（即在原本的第四关答案后面加上 DrEvil 就可以进入隐藏关）。在 6 个炸弹拆

除后，我们可以进入隐藏关



然后我们来看隐藏关的反汇编代码。

```
1354 0000000000401809 <secret_phase>:
1355   401809:       55                      push   %rbp
1356   40180a:       48 89 e5                mov    %rsp,%rbp
1357   40180d:       53                      push   %rbx
1358   40180e:       48 83 ec 08             sub    $0x8,%rsp
1359   401812:       e8 32 02 00 00          callq  401a49 <read_line>
1360   401817:       48 89 c7                mov    %rax,%rdi
1361   40181a:       e8 21 f9 ff ff          callq  401140 <atoi@plt>
1362   40181f:       89 c3                   mov    %eax,%ebx
1363   401821:       8d 40 ff                lea    -0x1(%rax),%eax
1364   401824:       3d e8 03 00 00          cmp    $0x3e8,%eax
1365   401829:       77 27                   ja     401852 <secret_phase+0x49>
1366   40182b:       89 de                   mov    %ebx,%esi
1367   40182d:       bf f0 50 40 00          mov    $0x4050f0,%edi
1368   401832:       e8 98 ff ff ff          callq  4017cf <fun7>
1369   401837:       83 f8 04                cmp    $0x4,%eax
1370   40183a:       75 1d                   jne    401859 <secret_phase+0x50>
1371   40183c:       bf c0 31 40 00          mov    $0x4031c0,%edi
1372   401841:       e8 1a f8 ff ff          callq  401060 <puts@plt>
1373   401846:       e8 29 03 00 00          callq  401b74 <phase_defused>
1374   40184b:       48 83 c4 08             add    $0x8,%rsp
1375   40184f:       5b                      pop    %rbx
1376   401850:       5d                      pop    %rbp
1377   401851:       c3                      retq
1378   401852:       e8 94 01 00 00          callq  4019eb <explode_bomb>
1379   401857:       eb d2                   jmp    40182b <secret_phase+0x22>
1380   401859:       e8 8d 01 00 00          callq  4019eb <explode_bomb>
1381   40185e:       eb dc                   jmp    40183c <secret_phase+0x33>
```

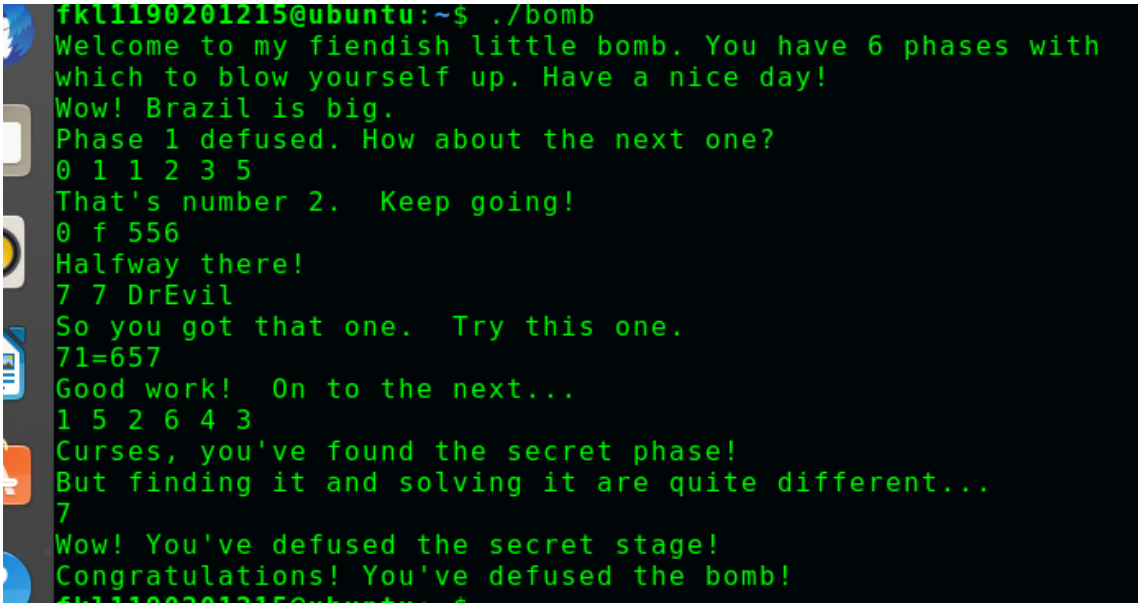
和第六关很像，关键就是 0x4050f0 处存的一个链表，这个链表作为参数传入 fun7 这个函数，在函数中又用到了这个链表。其实我们通过查看这个地址以及后面的 100 字节，我们可以发现这是一个特殊的链表——二叉树。

```
(gdb) x/200xw 0x4050f0
0x4050f0 <n1>:  0x00000024      0x00000000      0x00405110      0x00000000
0x405100 <n1+16>:       0x00405130      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405110 <n21>: 0x00000008      0x00000000      0x00405190      0x00000000
0x405120 <n21+16>:      0x00405150      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405130 <n22>: 0x00000032      0x00000000      0x00405170      0x00000000
0x405140 <n22+16>:      0x004051b0      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405150 <n32>: 0x00000016      0x00000000      0x00405270      0x00000000
0x405160 <n32+16>:      0x00405230      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405170 <n33>: 0x0000002d      0x00000000      0x004051d0      0x00000000
0x405180 <n33+16>:      0x00405290      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405190 <n31>: 0x00000006      0x00000000      0x004051f0      0x00000000
0x4051a0 <n31+16>:      0x00405250      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4051b0 <n34>: 0x0000006b      0x00000000      0x00405210      0x00000000
0x4051c0 <n34+16>:      0x004052b0      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4051d0 <n45>: 0x00000028      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4051e0 <n45+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4051f0 <n41>: 0x00000001      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405200 <n41+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405210 <n47>: 0x00000063      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405220 <n47+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405230 <n44>: 0x00000023      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405240 <n44+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405250 <n42>: 0x00000007      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405260 <n42+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405270 <n43>: 0x00000014      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405280 <n43+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x405290 <n46>: 0x0000002f      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4052a0 <n46+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4052b0 <n48>: 0x000003e9      0x00000000      0x00000000      0x00000000
0x4052c0 <n48+16>:      0x00000000      0x00000000      0x00000000      0x00000000
```

然后查看 fun7 这个函数

```
1331 0000000004017cf <fun7>:
1332   4017cf:       48 85 ff                test   %rdi,%rdi
1333   4017d2:       74 2f                   je     401803 <fun7+0x34>
1334   4017d4:       55                      push   %rbp
1335   4017d5:       48 89 e5                mov    %rsp,%rbp
1336   4017d8:       8b 07                   mov    (%rdi),%eax
1337   4017da:       39 f0                   cmp    %esi,%eax
1338   4017dc:       7f 09                   jg     4017e7 <fun7+0x18>
1339   4017de:       75 14                   jne    4017f4 <fun7+0x25>
1340   4017e0:       b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
1341   4017e5:       5d                      pop    %rbp
1342   4017e6:       c3                      retq
1343   4017e7:       48 8b 7f 08             mov    0x8(%rdi),%rdi
1344   4017eb:       e8 df ff ff ff          callq  4017cf <fun7>
1345   4017f0:       01 c0                   add    %eax,%eax
1346   4017f2:       eb f1                   jmp    4017e5 <fun7+0x16>
1347   4017f4:       48 8b 7f 10             mov    0x10(%rdi),%rdi
1348   4017f8:       e8 d2 ff ff ff          callq  4017cf <fun7>
1349   4017fd:       8d 44 00 01             lea    0x1(%rax,%rax,1),%eax
1350   401801:       eb e2                   jmp    4017e5 <fun7+0x16>
1351   401803:       b8 ff ff ff ff          mov    $0xffffffff,%eax
1352   401808:       c3                      retq
```

相等返回 0，大于跳到左子树，返回 2*左子树的值，小于跳到右子树，返回 2*右子树+1，最后的返回值是 4 的时候则成功。4 = 2 * 2*（2*0+1），所以可以知道路径是先左子树再左子树再左子树，找到节点为 7，所以输入结果为 7。


fkl1190201215@ubuntu:~$ ./bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Wow! Brazil is big.
Phase 1 defused. How about the next one?
0 1 1 2 3 5
That's number 2. Keep going!
0 f 556
Halfway there!
7 7 DrEvil
So you got that one. Try this one.
71=657
Good work! On to the next...
1 5 2 6 4 3
Curses, you've found the secret phase!
But finding it and solving it are quite different...
7
Wow! You've defused the secret stage!
Congratulations! You've defused the bomb!

第 4 章 总结

4.1 请总结本次实验的收获

- ✓ 说实话课上听反汇编的内容听的不是很懂，但是通过这次实验，真正让我看懂了反汇编代码，虽然之后的日子里可能除了考试我也很少有机会会接触反汇编代码，但是这段时光——一个人一杯热水一段代码看一天的日子，我永远会记得。实验很有趣，因为需要像闯关一样破解密码，期间持续性的成就感和满足感不停激励我，让我一直坚持下去，感谢老师，感谢自己。
- ✓ 更加熟悉了 gdb 调试工具和 edb 的使用方法，对计算机运作的原理可能更深了一点点吧。

4.2 请给出对本次实验内容的建议

本次实验还是可以的，趣味性极强，难度有阶梯型，适合从入手小白开始慢慢上手。

注：本章为酌情加分项。

参考文献

为完成本次实验你翻阅的书籍与网站等

[1] 林来兴. 空间控制技术[M]. 北京：中国宇航出版社，1992：25-42.

[2] 辛希孟. 信息技术与信息服务国际研讨会论文集：A 集[C]. 北京：中国科学出版社，1999.

[3] 赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北：天下文化出版社，1998 [1998-09-26]. http://www.ie.nthu.edu.tw/info/ie.newie.htm（Big5）.

[4] 谌颖. 空间交会控制理论与方法研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，1992：8-13.

[5] KANAMORI H. Shaking Without Quaking[J]. Science，1998，279（5359）：2063-2064.

[6] CHRISTINE M. Plant Physiology: Plant Biology in the Genome Era[J/OL]. Science，1998，281：331-332[1998-09-23]. http://www.sciencemag.org/cgi/collection/anatmorp.