bomb_lab

- PB17111568
- 郭雨轩

准备工作

- 在我的电脑上面，因为没有安装虚拟机，于是使用wsl子系统完成实验。实验环境Ubuntu18.04。（后来装上了虚拟机）
- 首先从网上获取到bomb的实验程序，使用`tar -zvf bomb.tar`将其解压，随后使用`objdump -d ./bomb > bomb.s`将反汇编得到的汇编代码重定向到`bomb.s`中，~~虽然我全程是用gdb进行的调试，但是反汇编出来的代码让我对炸弹的整体情况有了一些了解，在查看参数传递时候也有一些~~帮助。同时，通过阅读c语言的代码，对其结构更清晰 ，c代码如下：

```
/***************************************************************************
 * Dr. Evil's Insidious Bomb, Version 1.1
 * Copyright 2011, Dr. Evil Incorporated. All rights reserved.
 *
 * LICENSE:
 *
 * Dr. Evil Incorporated (the PERPETRATOR) hereby grants you (the
 * VICTIM) explicit permission to use this bomb (the BOMB).  This is a
 * time limited license, which expires on the death of the VICTIM.
 * The PERPETRATOR takes no responsibility for damage, frustration,
 * insanity, bug-eyes, carpal-tunnel syndrome, loss of sleep, or other
 * harm to the VICTIM.  Unless the PERPETRATOR wants to take credit,
 * that is.  The VICTIM may not distribute this bomb source code to
 * any enemies of the PERPETRATOR.  No VICTIM may debug,
 * reverse-engineer, run "strings" on, decompile, decrypt, or use any
 * other technique to gain knowledge of and defuse the BOMB.  BOMB
 * proof clothing may not be worn when handling this program.  The
 * PERPETRATOR will not apologize for the PERPETRATOR's poor sense of
 * humor.  This license is null and void where the BOMB is prohibited
 * by law.
 ***************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "support.h"
```

```c
#include "phases.h"

/*
 * Note to self: Remember to erase this file so my victims will have no
 * idea what is going on, and so they will all blow up in a
 * spectaculary fiendish explosion. -- Dr. Evil
 */

FILE *infile;

int main(int argc, char *argv[])
{
    char *input;

    /* Note to self: remember to port this bomb to Windows and put a
     * fantastic GUI on it. */

    /* When run with no arguments, the bomb reads its input lines
     * from standard input. */
    if (argc == 1) {
        infile = stdin;
    }

    /* When run with one argument <file>, the bomb reads from <file>
     * until EOF, and then switches to standard input. Thus, as you
     * defuse each phase, you can add its defusing string to <file> and
     * avoid having to retype it. */
    else if (argc == 2) {
        if (!(infile = fopen(argv[1], "r"))) {
            printf("%s: Error: Couldn't open %s\n", argv[0], argv[1]);
            exit(8);
        }
    }

    /* You can't call the bomb with more than 1 command line argument. */
    else {
        printf("Usage: %s [<input_file>]\n", argv[0]);
        exit(8);
    }

    /* Do all sorts of secret stuff that makes the bomb harder to defuse. */
    initialize_bomb();

    printf("Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with\n");
    printf("which to blow yourself up. Have a nice day!\n");

    /* Hmm...  Six phases must be more secure than one phase! */
    input = read_line();             /* Get input                   */
    phase_1(input);                  /* Run the phase               */
    phase_defused();                 /* Drat!  They figured it out!
                                      * Let me know how they did it. */
    printf("Phase 1 defused. How about the next one?\n");

    /* The second phase is harder.  No one will ever figure out
     * how to defuse this... */
    input = read_line();
    phase_2(input);
    phase_defused();
    printf("That's number 2.  Keep going!\n");

    /* I guess this is too easy so far.  Some more complex code will
     * confuse people. */
    input = read_line();
    phase_3(input);
    phase_defused();
    printf("Halfway there!\n");

    /* Oh yeah?  Well, how good is your math?  Try on this saucy problem! */
    input = read_line();
    phase_4(input);
    phase_defused();
    printf("So you got that one.  Try this one.\n");

    /* Round and 'round in memory we go, where we stop, the bomb blows! */
    input = read_line();
    phase_5(input);
    phase_defused();
    printf("Good work!  On to the next...\n");

    /* This phase will never be used, since no one will get past the
     * earlier ones.  But just in case, make this one extra hard. */
    input = read_line();
    phase_6(input);
    phase_defused();

    /* Wow, they got it!  But isn't something... missing?  Perhaps
```

```
     * something they overlooked?  Mua ha ha ha ha! */

    return 0;
}
```

可以看到，所有的密码是否正确都在对应的phase_{*}中进行检查。

开始拆弹

phase_1

这个炸弹比较简单，在gdb中使用`disassemble phase_1`反汇编得到代码

```
# Dump of assembler code for function phase_1:
   0x0000000000400ee0 <+0>:     sub    $0x8,%rsp
   0x0000000000400ee4 <+4>:     mov    $0x402400,%esi
   0x0000000000400ee9 <+9>:     callq  0x401338 <strings_not_equal>
   0x0000000000400eee <+14>:    test   %eax,%eax
   0x0000000000400ef0 <+16>:    je     0x400ef7 <phase_1+23>
   0x0000000000400ef2 <+18>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
   0x0000000000400ef7 <+23>:    add    $0x8,%rsp
   0x0000000000400efb <+27>:    retq
```

其中，在进入phase_1之前，已经将用户输入的字符串的起始地址放入rdi中，第二个参数在`phase_1`中被置为`0x402400`，接下来调用了一个`strings_not_equal`的函数，可以推断，这是一个字符串比较的函数，将用户输入的字符串和内存中的一个字符串进行比较，若相等则通过。在gdb中使用`x /s 0x402400`得到phase_1为`Border relations with Canada have never been better.`

---

phase_2

这个炸弹也比较简单，执行`disassemble phase_2`得到汇编代码如下：

```
# Dump of assembler code for function phase_2:
   0x0000000000400efc <+0>:     push   %rbp
   0x0000000000400efd <+1>:     push   %rbx
   0x0000000000400efe <+2>:     sub    $0x28,%rsp
   0x0000000000400f02 <+6>:     mov    %rsp,%rsi
   0x0000000000400f05 <+9>:     callq  0x40145c <read_six_numbers>
   0x0000000000400f0a <+14>:    cmpl   $0x1,(%rsp)
   0x0000000000400f0e <+18>:    je     0x400f30 <phase_2+52>
   0x0000000000400f10 <+20>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
   0x0000000000400f15 <+25>:    jmp    0x400f30 <phase_2+52>
   0x0000000000400f17 <+27>:    mov    -0x4(%rbx),%eax
   0x0000000000400f1a <+30>:    add    %eax,%eax
   0x0000000000400f1c <+32>:    cmp    %eax,(%rbx)
   0x0000000000400f1e <+34>:    je     0x400f25 <phase_2+41>
```

```
0x0000000000400f20 <+36>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
0x0000000000400f25 <+41>:    add    $0x4,%rbx
0x0000000000400f29 <+45>:    cmp    %rbp,%rbx
0x0000000000400f2c <+48>:    jne    0x400f17 <phase_2+27>
0x0000000000400f2e <+50>:    jmp    0x400f3c <phase_2+64>
0x0000000000400f30 <+52>:    lea    0x4(%rsp),%rbx
0x0000000000400f35 <+57>:    lea    0x18(%rsp),%rbp
0x0000000000400f3a <+62>:    jmp    0x400f17 <phase_2+27>
0x0000000000400f3c <+64>:    add    $0x28,%rsp
0x0000000000400f40 <+68>:    pop    %rbx
0x0000000000400f41 <+69>:    pop    %rbp
0x0000000000400f42 <+70>:    retq
```

进入`phase_2`可以看到，调用了一个`<read_six_numbers>`的函数，字面上理解是读如六个数字。第一个数字在`%rsp`指向的位置，先检查它是否为1，

> 0x0000000000400f0e <+18>:   je   0x400f30 <phase_2+52>

若为1则跳转过炸弹爆炸的函数，否则引爆炸弹。之后进入一个循环，循环的大致意思如下：

```
#比较内存中地址为rsp的位置的值是否为1
0x0000000000400f0a <+14>:    cmpl   $0x1,(%rsp)
#是1就跳转，不是1就顺序执行，调用爆炸函数
0x0000000000400f0e <+18>:    je     0x400f30 <phase_2+52>
0x0000000000400f10 <+20>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
0x0000000000400f15 <+25>:    jmp    0x400f30 <phase_2+52>
# %eax <- *(%rbx-4) (在第一次循环中，这个值为1)
0x0000000000400f17 <+27>:    mov    -0x4(%rbx),%eax
# %eax <- 2*eax
0x0000000000400f1a <+30>:    add    %eax,%eax
# 若 (%rbx == %eax)，就跳过炸弹爆炸的函数，否则没事。
0x0000000000400f1c <+32>:    cmp    %eax,(%rbx)
0x0000000000400f1e <+34>:    je     0x400f25 <phase_2+41>
0x0000000000400f20 <+36>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
# 否则就递增 %rbx，向栈底移动，再检查是否是最后一个数字（与%rbp比较）
0x0000000000400f25 <+41>:    add    $0x4,%rbx
0x0000000000400f29 <+45>:    cmp    %rbp,%rbx
0x0000000000400f2c <+48>:    jne    0x400f17 <phase_2+27>
0x0000000000400f2e <+50>:    jmp    0x400f3c <phase_2+64>
# %rbx <- %rsp + 4
0x0000000000400f30 <+52>:    lea    0x4(%rsp),%rbx
# %rbp <- %rsp +24 (联想到有6个数字，一个数字是4个字节，所以这个地址是第六个数字的地址)
0x0000000000400f35 <+57>:    lea    0x18(%rsp),%rbp
# 无条件跳转
0x0000000000400f3a <+62>:    jmp    0x400f17 <phase_2+27>
```

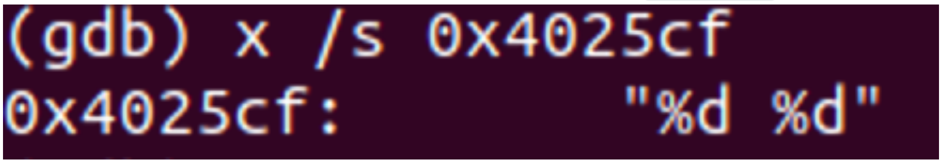
从上面分析不难得出，输入6个数字，首项为1，公比为2。所以密码就是这个等比数列的前六项，也就是`1 2 4 8 16 32`（注意空格，盲猜是用`sscanf`读入的）。

phase_3

用GDB反汇编得到的第一部分代码如下：

```
 1  Dump of assembler code for function phase_3:
 2     0x0000000000400f43 <+0>:     sub    $0x18,%rsp
 3     0x0000000000400f47 <+4>:     lea    0xc(%rsp),%rcx
 4     0x0000000000400f4c <+9>:     lea    0x8(%rsp),%rdx
 5     0x0000000000400f51 <+14>:    mov    $0x4025cf,%esi
 6     0x0000000000400f56 <+19>:    mov    $0x0,%eax
 7     0x0000000000400f5b <+24>:    callq  0x400bf0 <__isoc99_sscanf@plt>
 8     0x0000000000400f60 <+29>:    cmp    $0x1,%eax
 9     0x0000000000400f63 <+32>:    jg     0x400f6a <phase_3+39>
10     0x0000000000400f65 <+34>:    callq  0x40143a <explode_bomb>
11     0x0000000000400f6a <+39>:    cmpl   $0x7,0x8(%rsp)
```

首先比较醒目的可以看到，汇编代码的第7行调用了`sscanf()`函数，需要先知道这个函数调用总共读取了什么信息，其中这个函数的第一个参数被放在了`0x4025cf`中，查看得：



```
(gdb) x /s 0x4025cf
0x4025cf:        "%d %d"
```

可见要输入两个数字，`sscanf()`函数的返回值在eax中，代表读取成功的项数，而在第8行将其与1比较，若读取小于两个数字就爆炸。

```
   # 若第一个数字大于7，跳向爆炸
   0x0000000000400f6a <+39>:   cmpl   $0x7,0x8(%rsp)
   0x0000000000400f6f <+44>:   ja     0x400fad <phase_3+106>
   # 将第一个数字放到%eax中
   0x0000000000400f71 <+46>:   mov    0x8(%rsp),%eax
   # 这条语句的意思是跳向*(0x402470+%rax*8)的地方，使用gdb查看0x402470，得到0x7c，按照偏移挨个查看，就可以得到第一个数字在取值范围内的跳转地址，既然所有的情况都可以，所以我就选择第一个数字为0，得到跳向0x400f7c这个地址，对应的第二个数字是0xcf，十进制就是207，输入即可解除炸弹，当然，对于不同的第一个数字，第二个数字也相应的不同。
   0x0000000000400f75 <+50>:   jmpq   *0x402470(,%rax,8)
   0x0000000000400f7c <+57>:   mov    $0xcf,%eax
   0x0000000000400f81 <+62>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400f83 <+64>:   mov    $0x2c3,%eax
   0x0000000000400f88 <+69>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400f8a <+71>:   mov    $0x100,%eax
   0x0000000000400f8f <+76>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400f91 <+78>:   mov    $0x185,%eax
   0x0000000000400f96 <+83>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400f98 <+85>:   mov    $0xce,%eax
   0x0000000000400f9d <+90>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400f9f <+92>:   mov    $0x2aa,%eax
   0x0000000000400fa4 <+97>:   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400fa6 <+99>:  mov    $0x147,%eax
   0x0000000000400fab <+104>: jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400fad <+106>: callq  0x40143a <explode_bomb>
   0x0000000000400fb2 <+111>: mov    $0x0,%eax
   0x0000000000400fb7 <+116>: jmp    0x400fbe <phase_3+123>
   0x0000000000400fb9 <+118>: mov    $0x137,%eax
   0x0000000000400fbe <+123>: cmp    0xc(%rsp),%eax
   0x0000000000400fc2 <+127>: je     0x400fc9 <phase_3+134>
   0x0000000000400fc4 <+129>: callq  0x40143a <explode_bomb>
   0x0000000000400fc9 <+134>: add    $0x18,%rsp
   0x0000000000400fcd <+138>: retq
```

最后得到密钥，`0 207`

---

phase_4

先用gdb反汇编一段代码：

```
   0x000000000040100c <+0>: sub    $0x18,%rsp
   0x0000000000401010 <+4>: lea    0xc(%rsp),%rcx
   0x0000000000401015 <+9>: lea    0x8(%rsp),%rdx
   0x000000000040101a <+14>:  mov    $0x4025cf,%esi
   0x000000000040101f <+19>:  mov    $0x0,%eax
   0x0000000000401024 <+24>:  callq  0x400bf0 <__isoc99_sscanf@plt>
   0x0000000000401029 <+29>:  cmp    $0x2,%eax
   0x000000000040102c <+32>:  jne    0x401035 <phase_4+41>

```

与phase_3的套路类似，先查看`0x4025cf`，还是`"%d %d"`，接下来是对实际输入的参数个数的检查，若不等于2就爆炸。接下来是下一段汇编：

```
   # 先比较第一个数字是不是小于等于0xe，否则就爆炸。
   0x000000000040102e <+34>:  cmpl   $0xe,0x8(%rsp)
   0x0000000000401033 <+39>:  jbe    0x40103a <phase_4+46>
   0x0000000000401035 <+41>:  callq  0x40143a <explode_bomb>
   # 接下来是为func4调用准备参数，其中%edx为0xe，%esi为0，%edi为实际输入的第一个数字，然后调用func4
   0x000000000040103a <+46>:  mov    $0xe,%edx
   0x000000000040103f <+51>:  mov    $0x0,%esi
   0x0000000000401044 <+56>:  mov    0x8(%rsp),%edi
   0x0000000000401048 <+60>:  callq  0x400fce <func4>
```

然后是调用func4，这是一个递归函数，只有当返回值为0的时候才不会爆炸。

```
   # 以a代指%edx，b代指%esi，c代指输入的第一个数字
   0x0000000000400fce <+0>: sub    $0x8,%rsp
   0x0000000000400fd2 <+4>: mov    %edx,%eax # %eax=a;
```

```
    0x0000000000400fd4 <+6>: sub    %esi,%eax # %eax=a-b;
    0x0000000000400fd6 <+8>: mov    %eax,%ecx # %ecx=a-b;
    0x0000000000400fd8 <+10>:  shr    $0x1f,%ecx # %ecx=%ecx>>5;
    0x0000000000400fdb <+13>:  add    %ecx,%eax  # %eax=(a-b)>>5
    0x0000000000400fdd <+15>:  sar    %eax # %eax=(a-b)>>5+(a-b)>>1;
    # 因为(a-b)>>5==0,所以一顿计算最后就是(a-b)/2
    0x0000000000400fdf <+17>:  lea    (%rax,%rsi,1),%ecx # %ecx=(a-b)/2+b
    0x0000000000400fe2 <+20>:  cmp    %edi,%ecx
    # 若输入的数字小于%ecx，就对a-1递归，return 2*func4(a-1,b,c);
    0x0000000000400fe4 <+22>:  jle    0x400ff2 <func4+36>
    0x0000000000400fe6 <+24>:  lea    -0x1(%rcx),%edx
    0x0000000000400fe9 <+27>:  callq  0x400fce <func4>
    0x0000000000400fee <+32>:  add    %eax,%eax
    0x0000000000400ff0 <+34>:  jmp    0x401007 <func4+57>
    # 否则先把返回值置为0，若c大于0，就对b+1递归，return 2*func4(a,b+1,c)+1;
    0x0000000000400ff2 <+36>:  mov    $0x0,%eax
    0x0000000000400ff7 <+41>:  cmp    %edi,%ecx
    0x0000000000400ff9 <+43>:  jge    0x401007 <func4+57>
    0x0000000000400ffb <+45>:  lea    0x1(%rcx),%esi
    0x0000000000400ffe <+48>:  callq  0x400fce <func4>
    0x0000000000401003 <+53>:  lea    0x1(%rax,%rax,1),%eax
    0x0000000000401007 <+57>:  add    $0x8,%rsp
    0x000000000040100b <+61>:  retq
```

若func4的返回值部位0，就爆炸，若c大于0，则一定进入递归的第二个判断，返回值一定大于0，所以c<=0，若c小于0，第一个递归算到最后一定不为0，所以c=0。

```
    0x000000000040104d <+65>:  test   %eax,%eax
    0x000000000040104f <+67>:  jne    0x401058 <phase_4+76>
    0x0000000000401051 <+69>:  cmpl   $0x0,0xc(%rsp)
    0x0000000000401056 <+74>:  je     0x40105d <phase_4+81>
    0x0000000000401058 <+76>:  callq  0x40143a <explode_bomb>
    0x000000000040105d <+81>:  add    $0x18,%rsp
    0x0000000000401061 <+85>:  retq
```

从上面代码可以看出，第二个数字也为0，所以密码为`0 0`。

---

phase_5

还是先用gdb反汇编一段代码：

```
Dump of assembler code for function phase_5:
   0x0000000000401062 <+0>: push   %rbx
   0x0000000000401063 <+1>: sub    $0x20,%rsp
   0x0000000000401067 <+5>: mov    %rdi,%rbx
   0x000000000040106a <+8>: mov    %fs:0x28,%rax
   0x0000000000401073 <+17>:  mov    %rax,0x18(%rsp)
   0x0000000000401078 <+22>:  xor    %eax,%eax
   0x000000000040107a <+24>:  callq  0x40131b <string_length>
   0x000000000040107f <+29>:  cmp    $0x6,%eax
   0x0000000000401082 <+32>:  je     0x4010d2 <phase_5+112>
   0x0000000000401084 <+34>:  callq  0x40143a <explode_bomb>
```

由于phase_5函数的参数是input，通过反汇编所有的代码可以看到，input被放在了%rdi中，然后清零%eax后调用strlen函数，这个函数的返回值在%eax中，若输入的字符串长度不为6，则触发炸弹。

接下来是另外一段代码：

```
0x00000000004010d2 <+112>:  mov    $0x0,%eax
0x00000000004010d7 <+117>:  jmp    0x40108b <phase_5+41>
```

其实就是清零了%eax，然后跳向正题。

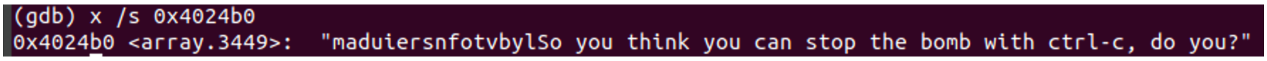
然后是：

```
   # 此时%rax已经被清零了，所以就是将输入的字符串中第一个字符赋值给%ecx
   0x000000000040108b <+41>:  movzbl (%rbx,%rax,1),%ecx
   # 将%ecx的低8位压入栈，因为只取了低8位，所以可以推断输入的6个字符都是ascii码字中可包含的
   0x000000000040108f <+45>:  mov    %cl,(%rsp)
   # 转了个手赋值给了%rdx
   0x0000000000401092 <+48>:  mov    (%rsp),%rdx
   # 使用按位与取出了这个字符的低4位
   0x0000000000401096 <+52>:  and    $0xf,%edx
   # 把 *(0x4024b0，偏移字符低4位)放到%edx中
   0x0000000000401099 <+55>:  movzbl 0x4024b0(%rdx),%edx
   # 再把%edx的低8位放到栈中
   0x00000000004010a0 <+62>:  mov    %dl,0x10(%rsp,%rax,1)
   # 循环6次
   0x00000000004010a4 <+66>:  add    $0x1,%rax
   0x00000000004010a8 <+70>:  cmp    $0x6,%rax
   0x00000000004010ac <+74>:  jne    0x40108b <phase_5+41>
   # 在字符串结尾加个'\0'
   0x00000000004010ae <+76>:  movb   $0x0,0x16(%rsp)
   # 把这个内存地址中的字符串放到%esi中，用gdb看一下，是"flyers"
   # 检查一下，若两个串不等就爆炸
   0x00000000004010b3 <+81>:  mov    $0x40245e,%esi
   0x00000000004010b8 <+86>:  lea    0x10(%rsp),%rdi
   0x00000000004010bd <+91>:  callq  0x401338 <strings_not_equal>
   0x00000000004010c2 <+96>:  test   %eax,%eax
```

```
0x00000000004010c4 <+98>:  je     0x4010d9 <phase_5+119>
0x00000000004010c6 <+100>: callq  0x40143a <explode_bomb>
0x00000000004010cb <+105>: nopl   0x0(%rax,%rax,1)
0x00000000004010d0 <+110>: jmp    0x4010d9 <phase_5+119>

```

现在看完了所有的逻辑，使用gdb看一下选择字符的内存中都是什么牛鬼蛇神。



```
(gdb) x /s 0x4024b0
0x4024b0 <array.3449>:  "maduiersnfotvbylSo you think you can stop the bomb with ctrl-c, do you?"
```

应该是没加'\0'，所以把嘲讽的话也带出来了？取前16个字符，得到：

> "maduiersnfotvbyl"

要想拼出"flyers"，得到输入的ascii字符的低四位应该是

> 9 f e 5 6 7

查一下ascii码表，找几个字符满足这个条件，最后得到密码是 `9?>567`。

---

phase_6

啊，终于到最后一个了。。。

先反汇编一下：

```
0x00000000004010f4 <+0>: push   %r14
0x00000000004010f6 <+2>: push   %r13
0x00000000004010f8 <+4>: push   %r12
0x00000000004010fa <+6>: push   %rbp
0x00000000004010fb <+7>: push   %rbx
0x00000000004010fc <+8>: sub    $0x50,%rsp
0x0000000000401100 <+12>:  mov    %rsp,%r13
0x0000000000401103 <+15>:  mov    %rsp,%rsi
0x0000000000401106 <+18>:  callq  0x40145c <read_six_numbers>
0x000000000040110b <+23>:  mov    %rsp,%r14
0x000000000040110e <+26>:  mov    $0x0,%r12d
0x0000000000401114 <+32>:  mov    %r13,%rbp
0x0000000000401117 <+35>:  mov    0x0(%r13),%eax
0x000000000040111b <+39>:  sub    $0x1,%eax
0x000000000040111e <+42>:  cmp    $0x5,%eax
0x0000000000401121 <+45>:  jbe    0x401128 <phase_6+52>
0x0000000000401123 <+47>:  callq  0x40143a <explode_bomb>

```

这段代码显示把一堆寄存器入栈，然后调用第二个phase见过的读入六个数字的函数，然后把栈指针放到了%r14中，之后将%r12置为0，然后用%r13来放到栈指针中，在调用读入六个数字的函数之前先保存了栈底到%r13中，所以这段代码把栈指针切换到了栈底。

之后是另外一段汇编代码：

```
0x0000000000401114 <+32>:  mov    %r13,%rbp
0x0000000000401117 <+35>:  mov    0x0(%r13),%eax
0x000000000040111b <+39>:  sub    $0x1,%eax
0x000000000040111e <+42>:  cmp    $0x5,%eax
0x0000000000401121 <+45>:  jbe    0x401128 <phase_6+52>
0x0000000000401123 <+47>:  callq  0x40143a <explode_bomb>
0x0000000000401128 <+52>:  add    $0x1,%r12d
0x000000000040112c <+56>:  cmp    $0x6,%r12d
0x0000000000401130 <+60>:  je     0x401153 <phase_6+95>
0x0000000000401132 <+62>:  mov    %r12d,%ebx
0x0000000000401135 <+65>:  movslq %ebx,%rax
0x0000000000401138 <+68>:  mov    (%rsp,%rax,4),%eax
0x000000000040113b <+71>:  cmp    %eax,0x0(%rbp)
0x000000000040113e <+74>:  jne    0x401145 <phase_6+81>
0x0000000000401140 <+76>:  callq  0x40143a <explode_bomb>
0x0000000000401145 <+81>:  add    $0x1,%ebx
0x0000000000401148 <+84>:  cmp    $0x5,%ebx
0x000000000040114b <+87>:  jle    0x401135 <phase_6+65>
0x000000000040114d <+89>:  add    $0x4,%r13
0x0000000000401151 <+93>:  jmp    0x401114 <phase_6+32>

```

然后把读入的数字挨个检查，看下是不是全都小于等于6，还检查是不是里面有数字0。

再之后是程序代码：

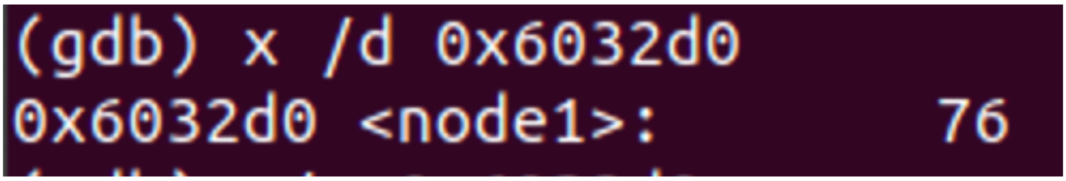
```
0x0000000000401153 <+95>:  lea    0x18(%rsp),%rsi
0x0000000000401158 <+100>: mov    %r14,%rax
0x000000000040115b <+103>: mov    $0x7,%ecx
# 这个循环实现了将输入的6个数字全部替换成：7-输入
0x0000000000401160 <+108>: mov    %ecx,%edx
0x0000000000401162 <+110>: sub    (%rax),%edx
0x0000000000401164 <+112>: mov    %edx,(%rax)
0x0000000000401166 <+114>: add    $0x4,%rax
0x000000000040116a <+118>: cmp    %rsi,%rax
0x000000000040116d <+121>: jne    0x401160 <phase_6+108>
```

然后将%esi清零，跳向163处

```
0x0000000000401176 <+130>: mov    0x8(%rdx),%rdx
0x000000000040117a <+134>: add    $0x1,%eax
0x000000000040117d <+137>: cmp    %ecx,%eax
0x000000000040117f <+139>: jne    0x401176 <phase_6+130>
0x0000000000401181 <+141>: jmp    0x401188 <phase_6+148>
0x0000000000401183 <+143>: mov    $0x6032d0,%edx
0x0000000000401188 <+148>: mov    %rdx,0x20(%rsp,%rsi,2)
0x000000000040118d <+153>: add    $0x4,%rsi
0x0000000000401191 <+157>: cmp    $0x18,%rsi
```

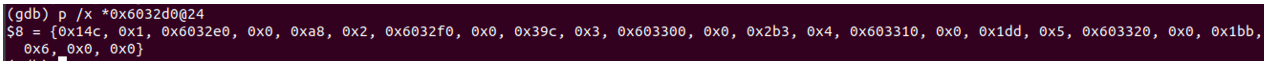
```
    0x0000000000401195 <+161>: je      0x4011ab <phase_6+183>
    0x0000000000401197 <+163>: mov     (%rsp,%rsi,1),%ecx
    0x000000000040119a <+166>: cmp     $0x1,%ecx
    0x000000000040119d <+169>: jle     0x401183 <phase_6+143>
    0x000000000040119f <+171>: mov     $0x1,%eax
    0x00000000004011a4 <+176>: mov     $0x6032d0,%edx
    0x00000000004011a9 <+181>: jmp     0x401176 <phase_6+130>
```

先看一下`0x6032d0`：



```
(gdb) x /d 0x6032d0
0x6032d0 <node1>:       76
```

可以发现这是个链表，进一步看到所有的节点：



```
(gdb) p /x *0x6032d0@24
$8 = {0x14c, 0x1, 0x6032e0, 0x0, 0xa8, 0x2, 0x6032f0, 0x0, 0x39c, 0x3, 0x603300, 0x0, 0x2b3, 0x4, 0x603310, 0x0, 0x1dd, 0x5, 0x603320, 0x0, 0x1bb,
  0x6, 0x0, 0x0}
```

对照上面那一堆汇编代码，可以看到，这其实是根据输入的六个数字的顺序来将数字对应的节点排序。

```
    0x00000000004011ab <+183>: mov     0x20(%rsp),%rbx
    0x00000000004011b0 <+188>: lea     0x28(%rsp),%rax
    0x00000000004011b5 <+193>: lea     0x50(%rsp),%rsi
    0x00000000004011ba <+198>: mov     %rbx,%rcx
    0x00000000004011bd <+201>: mov     (%rax),%rdx
    0x00000000004011c0 <+204>: mov     %rdx,0x8(%rcx) # p->next赋值
    0x00000000004011c4 <+208>: add     $0x8,%rax
    0x00000000004011c8 <+212>: cmp     %rsi,%rax
    0x00000000004011cb <+215>: je      0x4011d2 <phase_6+222>
    0x00000000004011cd <+217>: mov     %rdx,%rcx
    0x00000000004011d0 <+220>: jmp     0x4011bd <phase_6+201>
    0x00000000004011d2 <+222>: movq    $0x0,0x8(%rdx)
```

这段代码根据排序的顺序将链表的每个节点之间建立顺序。

```
    0x00000000004011da <+230>: mov     $0x5,%ebp
    0x00000000004011df <+235>: mov     0x8(%rbx),%rax
    0x00000000004011e3 <+239>: mov     (%rax),%eax
    0x00000000004011e5 <+241>: cmp     %eax,(%rbx)
    0x00000000004011e7 <+243>: jge     0x4011ee <phase_6+250> # 若前面大于等于后面，跳过爆炸
    0x00000000004011e9 <+245>: callq   0x40143a <explode_bomb>
    0x00000000004011ee <+250>: mov     0x8(%rbx),%rbx
    0x00000000004011f2 <+254>: sub     $0x1,%ebp
    0x00000000004011f5 <+257>: jne     0x4011df <phase_6+235>
```

这段代码只有当链表排好序后是递减的才不会爆炸。

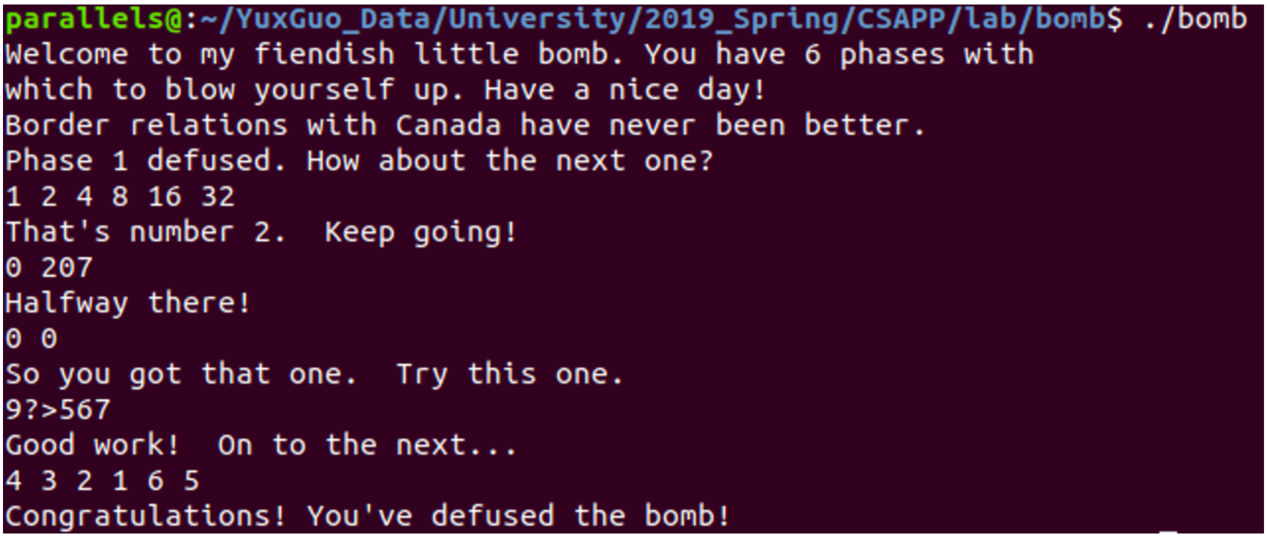
所以根据链表节点中的值：

> 1: 332
>
> 2: 168
>
> 3: 924
>
> 4: 691
>
> 5: 477
>
> 6: 443

得出每个节点的放置位置：`3 4 5 6 1 2`，由于这个结果是被7-原结果转换过的，所以还需要再转换回去，得到原数字序列：`4 3 2 1 6 5`，这也就是最后的密钥。

实验截图

最后附上一张拆弹成功的截图：



```
parallels@:~/YuxGuo_Data/University/2019_Spring/CSAPP/lab/bomb$ ./bomb
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Border relations with Canada have never been better.
Phase 1 defused. How about the next one?
1 2 4 8 16 32
That's number 2.  Keep going!
0 207
Halfway there!
0 0
So you got that one.  Try this one.
9?>567
Good work!  On to the next...
4 3 2 1 6 5
Congratulations! You've defused the bomb!
```

实验收获

- 本次实验挺有意思的，让我对x86的汇编有了比较深刻的理解，尤其是关于函数调用的规范以及参数传递的规范方面，我还学会使用GDB作为调试工具。同时，在阅读汇编的过程中，可以看到，对于同样结果的过程，在汇编级别有很多种表示方式，以及一些关于栈的操作其实是对解题没有什么影响的。这个实验我最开始是在3月份做的，一开始觉得困难重重，等到6月份重新开始这个实验的时候，我又读了一遍csapp的书，这个时候再看这个实验中繁多的汇编就能一下子抓住本质了，对于一些约定俗成的汇编也能快速理解，总的来说收获很大。