理解栈缓冲区溢出

使用

本文档以通关方式撰写，完成一关进入下一关，请将需要填写的内容写在空白处。

概述

这个练习用来帮助大家理解栈溢出原理。这需要启动 Linux 操作系统，32 位。

GATE 1

用编辑器（vim 或其他）输入如下代码，命名为 stack_overflow.c 。
建议用虚拟机的同学将该程序在 Windows 平台下保存为 stack_overflow.c，拷贝到虚拟机中。

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

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

  int value = 5;
  char buffer_one[8], buffer_two[8];

  strcpy(buffer_one, "one");
  strcpy(buffer_two, "two");

  printf("[BEFORE] buffer_two is at %p and contains \'%s\'\n",
buffer_two, buffer_two);
  printf("[BEFORE] buffer_one is at %p and contains \'%s\'\n",
buffer_one, buffer_one);
  printf("[BEFORE] value is at %p and is %d (0x%08x)\n\n", &value,
value, value);

  printf("[STRCPY] copying %d bytes into buffer_two\n\n",
strlen(argv[1]));
  strcpy(buffer_two, argv[1]);

  printf("[AFTER] buffer_two is at %p and contains \'%s\'\n",
buffer_two, buffer_two);
  printf("[AFTER] buffer_one is at %p and contains \'%s\'\n",
buffer_one, buffer_one);
  printf("[AFTER] value is at %p and is %d (0x%08x)\n", &value, value,
value);

}
```

理解代码，在空白处简要介绍上述代码功能。

整体功能概述：定义两个连续的 buffer 与一个单独的变量，在对 buffer 进行缓冲区溢出操作后观察所有 buffer 与单独变量的变化，以此了解缓冲区溢出的方法与影响效果。
具体功能见注释进行说明。
//定义一个变量，两个大小为 8 的 char 型缓冲区

```
  int value = 5;
  char buffer_one[8], buffer_two[8];

// 复制简单内容到两个 buffer 内
  strcpy(buffer_one, "one");
  strcpy(buffer_two, "two");

// 输出完成初始化之后的两个 buffer 的内存位置与内容，还有 value 的内存位置与内容
  printf("[BEFORE] buffer_two is at %p and contains \'%s\'\n", buffer_two, buffer_two);
  printf("[BEFORE] buffer_one is at %p and contains \'%s\'\n", buffer_one, buffer_one);
  printf("[BEFORE] value is at %p and is %d (0x%08x)\n\n", &value, value, value);

// 将输入参数 argv[1]中内容拷贝到 buffer2 中
  printf("[STRCPY] copying %d bytes into buffer_two\n\n", strlen(argv[1]));
  strcpy(buffer_two, argv[1]);

// 输出完成拷贝操作之后，两个 buffer 与 value 在内存中的位置与内容
  printf("[AFTER] buffer_two is at %p and contains \'%s\'\n", buffer_two, buffer_two);
  printf("[AFTER] buffer_one is at %p and contains \'%s\'\n", buffer_one, buffer_one);
  printf("[AFTER] value is at %p and is %d (0x%08x)\n", &value, value, value);

}
```

使用 debug 选项编译代码：

gcc -g -o so stack_overflow.c

按照下面命令执行程序，多执行几次该程序，比较输出结果，将某一次输出拷贝在空白处。

（本文中需要拷贝输出的地方可以直接将输出粘贴在空白处，也可以截取屏幕中输出部分的图片粘贴到空白处。注意：如果采用截屏方式，请仅把输出部分截取出来，不要粘贴整个屏幕。）

./so hi

正常执行（未溢出）：

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./so hi
[BEFORE] buffer_two is at 0x7fff86cb7f10 and contains 'two'
[BEFORE] buffer_one is at 0x7fff86cb7f20 and contains 'one'
[BEFORE] value is at 0x7fff86cb7f2c and is 5 (0x00000005)

[STRCPY] copying 2 bytes into buffer_two

[AFTER] buffer_two is at 0x7fff86cb7f10 and contains 'hi'
[AFTER] buffer_one is at 0x7fff86cb7f20 and contains 'one'
[AFTER] value is at 0x7fff86cb7f2c and is 5 (0x00000005)
```

溢出（较短字符串）：

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./so hello_world_abcdefg
[BEFORE] buffer_two is at 0x7ffe253164f0 and contains 'two'
[BEFORE] buffer_one is at 0x7ffe25316500 and contains 'one'
[BEFORE] value is at 0x7ffe2531650c and is 5 (0x00000005)

[STRCPY] copying 19 bytes into buffer_two

[AFTER] buffer_two is at 0x7ffe253164f0 and contains 'hello_worl
d_abcdefg'
[AFTER] buffer_one is at 0x7ffe25316500 and contains 'efg'
[AFTER] value is at 0x7ffe2531650c and is 5 (0x00000005)
```

溢出（较长字符串）

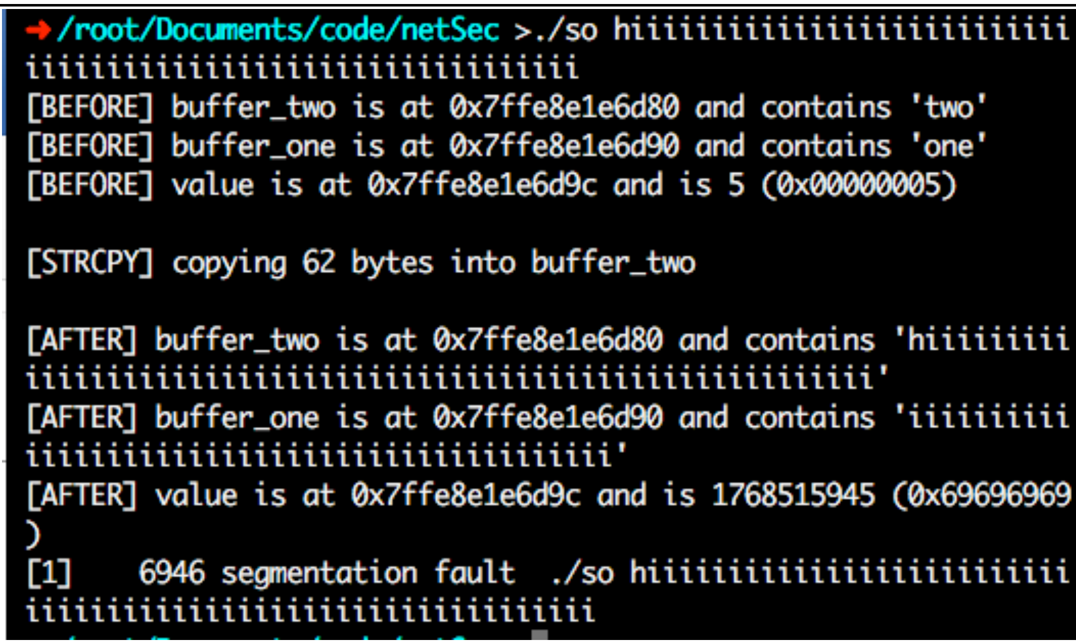
```
➜ /root/Documents/code/netSec >./so hello_world_abcdefg_23333333
33333
[BEFORE] buffer_two is at 0x7ffc8da76e40 and contains 'two'
[BEFORE] buffer_one is at 0x7ffc8da76e50 and contains 'one'
[BEFORE] value is at 0x7ffc8da76e5c and is 5 (0x00000005)

[STRCPY] copying 33 bytes into buffer_two

[AFTER] buffer_two is at 0x7ffc8da76e40 and contains 'hello_worl
d_abcdefg_2333333333333'
[AFTER] buffer_one is at 0x7ffc8da76e50 and contains 'efg_233333
3333333'
[AFTER] value is at 0x7ffc8da76e5c and is 858993459 (0x33333333)
```

执行如下命令，将输出拷贝到空白处。

```
./so hiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
```



某些操作系统提供栈溢出保护，gcc 在编译时默认对缓冲区边界进行检查，如果你遇到了相关输出，请输入下面指令将源代码编译成不检查边界的模式。如果系统没有提示栈溢出保护，忽略这部分。

```
gcc -fno-stack-protector -g -o so stack_overflow.c
```

通过这个程序，将你得到的结论写在空白处。

1、c/c++栈区中定义的变量是自底向上的（从内存低地址向高地址增长）
2、栈区中的所有变量空间连续，且可以通过偏移访问
3、当栈区中某个变量溢出时会向上存储，占用之后的存储单元，即发生缓冲区溢出
4、strcpy 函数是没有对溢出的监测与防护，只会按从低地址到高地址依次赋值
5、栈区中较为容易使用缓冲区溢出方式进行攻击

GATE 2

用编辑器（vim 或其他）输入如下代码，命名为 ans_check.c 。

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int check_answer(char *ans) {

  int ans_flag = 0;
  char ans_buf[16];

  strcpy(ans_buf, ans);

  if (strcmp(ans_buf, "forty-two") == 0)
    ans_flag = 1;

  return ans_flag;

}

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

  if (argc < 2) {
    printf("Usage: %s <answer>\n", argv[0]);
    exit(0);
  }
  if (check_answer(argv[1])) {
    printf("Right answer!\n");
  } else {
    printf("Wrong answer!\n");
  }

}
```

理解代码，在空白处简要介绍上述代码功能。

输入一个字符串，仅当其为”forty-two”时输出”Right answer”，否则为”Wrong ansser”
其中 check_ans 函数，先对传入的 ans 进行复制，然后再进行判断返回结果。

编译代码：

```
gcc -g -fno-stack-protector -o ans_check ans_check.c
```

按如下方式执行该程序，将控制台信息（含输入和输出）复制在空白处。

```
./ans_check
./ans_check yes
./ans_check forty-two
./ans_check 1111111111              #注:10 个 1   (32 位计算机)
./ans_check 1111111111111111        #注:16 个 1   (32 位计算机)
./ans_check 11111111111111111       #注:17 个 1   (32 位计算机)
```

./ans_check

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check
Usage: ./ans_check <answer>
```

./ans_check yes

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check yes
Wrong answer!
```

./ans_check forty-two

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check forty-two
Right answer!
```

./ans_check 1111111111

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check 1111111111

Wrong answer!
```

./ans_check 1111111111111111

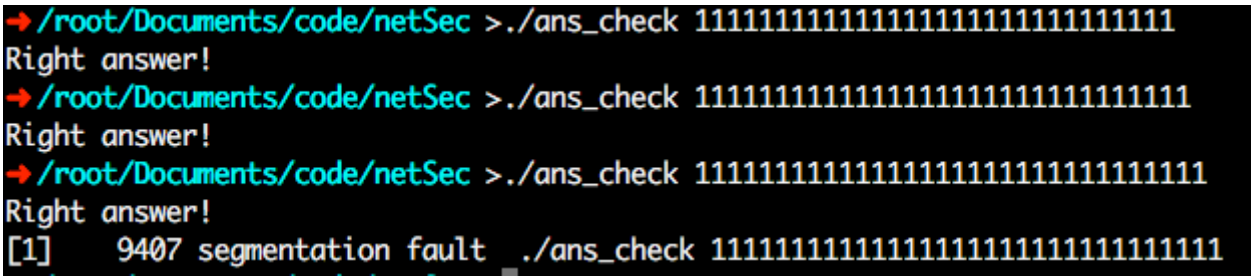
```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check 1111111111
111111
Wrong answer!
```

./ans_check 11111111111111111

```
➜ /root/Documents/code/netSec >./ans_check 1111111111
1111111
Wrong answer!
```

.....

./ans_check 11111111111111111111111111111111（30 个 1，64 位系统）



在 30 个 1 之后，出现 Right answer，在 33 个 1 时，出现段错误。

静静地思考 2 分钟，**简要**解释一下最后一个命令的结果，填写在空白处。

在 check_ans 函数内，首先对传入的 ans 进行拷贝，拷贝结果存于 ans_buf[16]内，当字符串长度小于等于 16（32 位系统）时，strcpy 函数仍可以进行比较判断，修改 ans_flag 的值。但当 ans 的长度超过 16 时，产生了缓冲区溢出，strcpy 在栈区内向上赋值，修改了 ans_flag 的值，使 ans_flag 的值不为 0，故在返回时出现错误的结果。

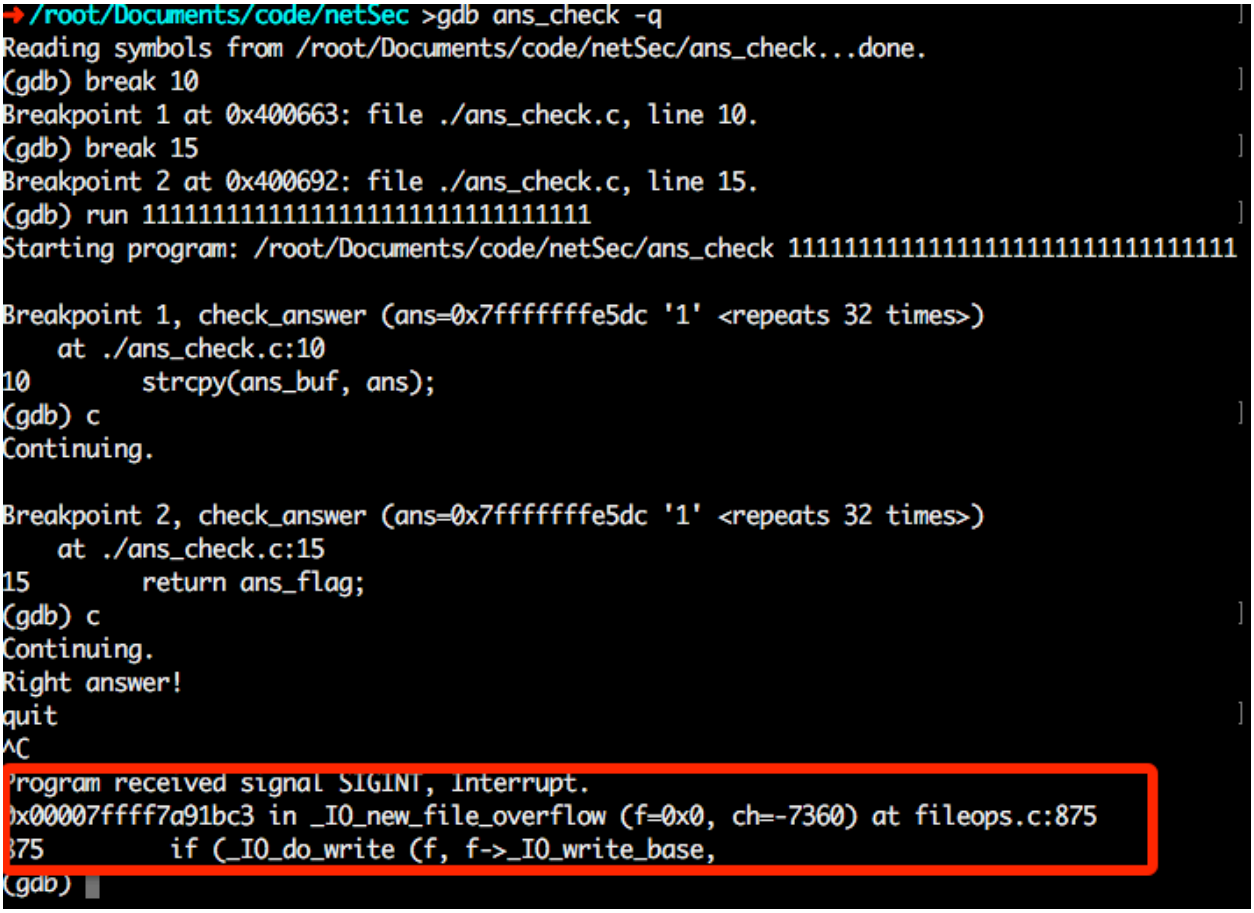
GATE 3

为了具体分析发生结果的细节，使用 gdb 进行检查，输入如下命令：

```
gdb ans_check -q
list 1
list
list
break 10   #注：断点放在 strcpy 所在行，根据程序行号调整
break 15   #注：断点放在该函数 return 语句所在行，根据程序行号调整
run 1111111111111111 #注:17 个 1
```

将最后一行命令的结果填写到空白处。

在 64 位操作系统下，在小于等于 31 个“1”时，可以正常结束程序且“1”的个数在 30、31 时可以显示为“Right answer”，但“1”的个数大于等于 32 个时，程序会出错。截图如下：



大家熟知，断点位置是程序尚未执行的位置。因此，程序当前在 strcpy 所在行，但并未执行该行指令。检查下面两个变量的值，将结果粘贴到空白处。

```
x/s ans_buf
x/x &ans_flag
```

```
The program is not being run.
(gdb) run 11111111111111111111111111111111
Starting program: /root/Documents/code/netSec/ans_check 11111111111111111111111111111111

Breakpoint 1, check_answer (
    ans=0x7fffffffe5dc '1' <repeats 32 times>)
    at ./ans_check.c:10
10          strcpy(ans_buf, ans);
(gdb) x/s ans_buf
0x7fffffffe220: "\001"
(gdb) x/x &ans_flag
0x7fffffffe23c: 0x00
(gdb)
```

在 gdb 中输入命令 `c <enter>`，继续执行程序。

在这个断点，strcpy 已经执行完毕，再次检查变量并将输出结果拷贝在空白处。

```
x/s ans_buf
x/x &ans_flag
```

```
(gdb) x/s ans_buf
0x7fffffffe220: '1' <repeats 32 times>
(gdb) x/x &ans_flag
0x7fffffffe23c: 0x31
```

由此可见，栈中的缓冲区溢出改变了条件变量的值。C 语言中，任何非零值都是 true，因此，覆盖后的字符'1'（0x31）表示 true。

（输入 quit 退出 gdb）

GATE 4

简单修改代码，将 ans_flag 和 ans_buf 两个变量声明交换位置，编译后运行：

```
./ans_check 11111111111111111      #注:17 个 1
```

将输出结果和解释写到空白处。

此处为好更好的契合实验，使用 32 位 ubuntu 系统以完成实验

```
joker@joker-virtual-machine:~/Desktop$ ./ans_check $(python -c "print '1'*17")
d 1
1 100
Right answer!
```

结果不变，但据理论分析，缓冲区溢出但是不会修改 flag 的结果。

这里经查找发现是编译器对这个进行了优化，故无法显示正确结果。

这类溢出与程序设计部分相关，但这**不是**一个通用的方法：

在栈区连续的情况下是一个通用的方法，但不同的编译器有不同的优化，无法保证所有的栈区都是这样连续分布，故不是一个通用的方法。

这类栈溢出属于“**溢出**(后覆盖其他)**变量**”类型。

思考 1 分钟：这类栈溢是否与程序设计有关？这类栈溢出的利用是否是通用方法？

GATE 5

下面，我们将介绍一种普遍存在于所有程序中的栈溢出问题和利用，这种方法通过**修改函数返回地址**实现漏洞的利用。（“溢出地址”类型）

重新启动 gdb：

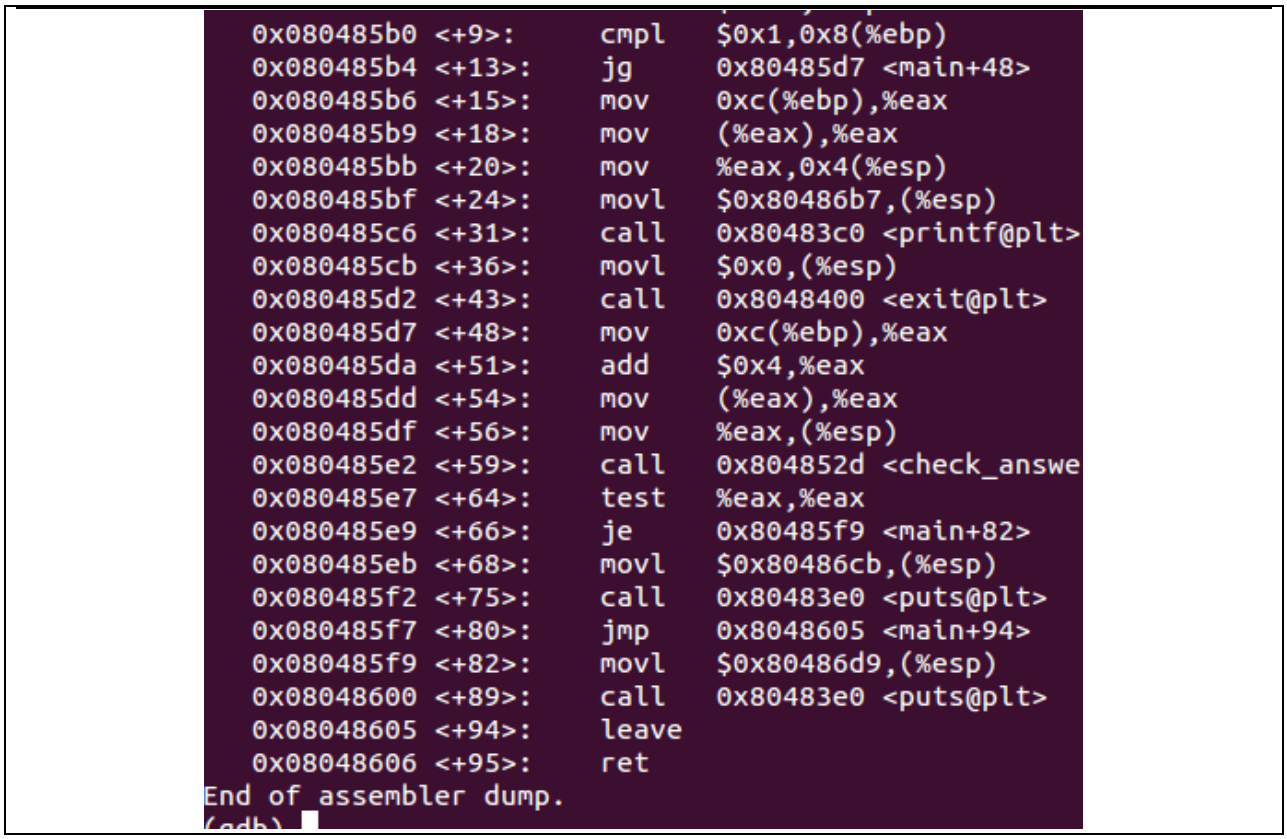
```
gdb ans_check -q
```

在第 25 行（调用 check_answer()函数的地方）设断点。

反编译 main 函数。

```
disass main
```

在 main 函数的反编译代码中，找到断点所在位置。将断点所在指令到 main 函数结尾的汇编代码复制在下面。



再将第 10 行和 15 行设为断点（strcpy 所在行和所在函数 return）。这样，该程序共有 3 个断点： 25 行 (pre-call), 10 行 (pre-strcpy)和 15 行 (pre-return).

在 gdb 中执行如下命令

run 1111111111111111　　#注:17 个 1

用以下指令检查栈寄存器和栈内容：

i r esp
x/32xw $esp

将输出粘贴在空白处 A。

(空白处 A)

第 25 行断点信息

```
Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0xbffff094) at ans_check.c:25
warning: Source file is more recent than executable.
25        if (check_answer(argv[1])) {
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefe0       0xbfffefe0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefe0:     0xb7fc33c4      0xb7fff000      0x0804861b      0xb7fc3000
0xbfffeff0:     0x08048610      0x00000000      0x00000000      0xb7e31a83
0xbffff000:     0x00000002      0xbffff094      0xbffff0a0      0xb7feccea
0xbffff010:     0x00000002      0xbffff094      0xbffff034      0x0804a024
0xbffff020:     0x0804826c      0xb7fc3000      0x00000000      0x00000000
0xbffff030:     0x00000000      0x71c9ac78      0x481d2868      0x00000000
0xbffff040:     0x00000000      0x00000000      0x00000002      0x08048430
0xbffff050:     0x00000000      0xb7ff2500      0xb7e31999      0xb7fff000
```

上述输出是栈在调用 check_answer 之前的内容和位置

输入 c <enter> 到下一个断点

使用下面指令再次检查栈信息，并粘贴输出到空白处 B。

```
i r esp
x/32xw $esp
```

(空白处 B)

第 10 行断点信息

```
Breakpoint 2, check_answer (ans=0xbffff2aa '1' <repeats 17 times>) at ans_check.c:10
10        strcpy(ans_buf, ans);
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefa0       0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefa0:     0xffffffff      0xbfffefce      0xb7e24bf8      0xb7e4b493
0xbfffefb0:     0x00000000      0x00c30000      0x00000001      0x0804833d
0xbfffefc0:     0xbffff28c      0x0000002f      0x0804a000      0x00000000
0xbfffefd0:     0x00000002      0xbffff094      0xbfffeff8      0x0804855f
0xbfffefe0:     0xbffff2aa      0xb7fff000      0x0804858b      0xb7fc3000
0xbfffeff0:     0x08048580      0x00000000      0x00000000      0xb7e31a83
0xbffff000:     0x00000002      0xbffff094      0xbffff0a0      0xb7feccea
0xbffff010:     0x00000002      0xbffff094      0xbffff034      0x0804a024
(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc:     0x0804833d
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc:     0x00000000
```

Breakpoint 2, check_answer (ans=0xbffff2aa '1' <repeats 17 times>) at ans_check.c:10
10 strcpy(ans_buf, ans);
(gdb) i r esp
esp 0xbfffefa0 0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp

0xbfffefa0:	0xffffffff	0xbfffefce	0xb7e24bf8	0xb7e4b493
0xbfffefb0:	0x00000000	0x00c30000	0x00000001	0x0804833d
0xbfffefc0:	**0xbffff28c**	**0x0000002f**	**0x0804a000**	**0x00000000**
0xbfffefd0:	0x00000002	0xbffff094	0xbfffeff8	0x0804855f
0xbfffefe0:	0xbffff2aa	0xb7fff000	0x0804858b	0xb7fc3000
0xbfffeff0:	0x08048580	0x00000000	0x00000000	0xb7e31a83
0xbffff000:	0x00000002	0xbffff094	0xbffff0a0	0xb7feccea
0xbffff010:	0x00000002	0xbffff094	0xbffff034	0x0804a024

(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc: 0x0804833d
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc: 0x00000000

检查如下两个静态变量的地址和内容

```
x/s ans_buf
x/x &ans_flag
```

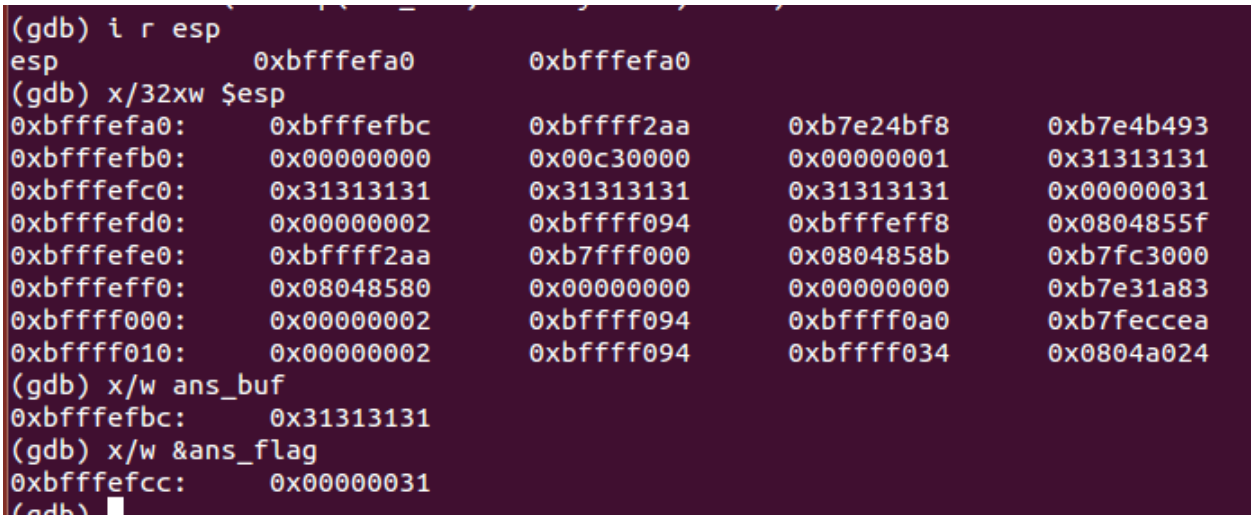
在空白处 B 记录的栈中找到上面两个变量内容，将对应地址的字体加粗。同时，将返回地址的字体加粗。

最后，继续执行程序到下一个断点 c <enter>，使用如下命令检查堆栈，将内容粘贴到空白处 C，将 ans_buf、ans_flag 和返回地址的字体加粗。

```
i r esp
x/32xw $esp
```

(空白处 C)

第 15 行断点信息



(gdb) i r esp
esp 0xbfffefa0 0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp

0xbfffefa0:	0xbfffefbc	0xbffff2aa	0xb7e24bf8	0xb7e4b493
0xbfffefb0:	0x00000000	0x00c30000	0x00000001	0x31313131
0xbfffefc0:	**0x31313131**	**0x31313131**	**0x31313131**	**0x00000031**
0xbfffefd0:	0x00000002	0xbffff094	0xbfffeff8	0x0804855f
0xbfffefe0:	0xbffff2aa	0xb7fff000	0x0804858b	0xb7fc3000
0xbfffeff0:	0x08048580	0x00000000	0x00000000	0xb7e31a83
0xbffff000:	0x00000002	0xbffff094	0xbffff0a0	0xb7feccea
0xbffff010:	0x00000002	0xbffff094	0xbffff034	0x0804a024

(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc: 0x31313131
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc: 0x00000031

这里可以看到， ans_flag 变量被改写了，但返回地址没有变化。

GATE 6

重复 Gate 5 步骤，但这次找到覆盖返回地址的最小字符串长度。在 gdb 中使用下面命令输出你覆盖后的堆栈，并用加粗你覆盖的返回地址。

```
i r esp
x/32xw $esp
```

通过“二分查找”的方式，得到发生段错误的字符串长度如下：（为 28）

```
joker@joker-virtual-machine:~/Desktop$ ./ans_check $(python -c "print '1'*27")
Right answer!
joker@joker-virtual-machine:~/Desktop$ ./ans_check $(python -c "print '1'*28")
Right answer!
Segmentation fault (core dumped)
```

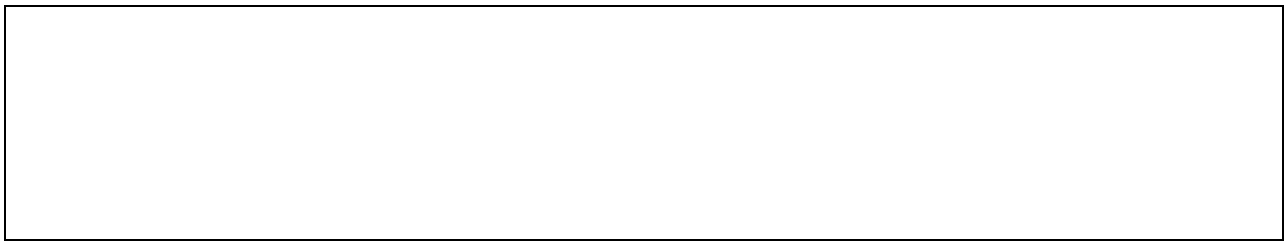
下为返回地址：

```
Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0xbffff094) at ans_check.c:25
25          if (check_answer(argv[1])) {
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefe0  0xbfffefe0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefe0:    0xb7fc33c4    0xb7fff000    0x0804858b    0xb7fc3000
0xbfffeff0:    0x08048580    0x00000000    0x00000000    0xb7e31a83
0xbffff000:    0x00000002    0xbffff094    0xbffff0a0    0xb7feccea
0xbffff010:    0x00000002    0xbffff094    0xbffff034    0x0804a024
0xbffff020:    0x0804825c    0xb7fc3000    0x00000000    0x00000000
0xbffff030:    0x00000000    0xdf464dfc    0xe692c9ec    0x00000000
0xbffff040:    0x00000000    0x00000000    0x00000002    0x080483e0
0xbffff050:    0x00000000    0xb7ff2500    0xb7e31999    0xb7fff000
(gdb) n

Breakpoint 2, check_answer (ans=0xbffff29f '1' <repeats 28 times>) at ans_check.c:10
10          strcpy(ans_buf, ans);
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefa0  0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefa0:    0xffffffff    0xbfffefce    0xb7e24bf8    0xb7e4b493
0xbfffefb0:    0x00000000    0x00c30000    0x00000001    0x0804833d
0xbfffefc0:    0xbffff281    0x0000002f    0x0804a000    0x00000000
0xbfffefd0:    0x00000002    0xbffff094    0xbfffeff8    0x0804855f
0xbfffefe0:    0xbffff29f    0xb7fff000    0x0804858b    0xb7fc3000
0xbfffeff0:    0x08048580    0x00000000    0x00000000    0xb7e31a83
```

```
0xbffff000:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff0a0     0xb7feccea
0xbffff010:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff034     0x0804a024
(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc:     0x0804833d
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc:     0x00000000
(gdb) n
12          if (strcmp(ans_buf, "forty-two") == 0)
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefa0  0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefa0:     0xbfffefbc   0xbffff29f     0xb7e24bf8     0xb7e4b493
0xbfffefb0:     0x00000000   0x00c30000     0x00000001     0x31313131
0xbfffefc0:     0x31313131   0x31313131     0x31313131     0x31313131
0xbfffefd0:     0x31313131   0x31313131     0xbfffef00     0x0804855f
0xbfffefe0:     0xbffff29f   0xb7fff000     0x0804858b     0xb7fc3000
0xbfffeff0:     0x08048580   0x00000000     0x00000000     0xb7e31a83
0xbffff000:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff0a0     0xb7feccea
0xbffff010:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff034     0x0804a024
(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc:     0x31313131
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc:     0x31313131
(gdb) n

Breakpoint 3, check_answer (ans=0xbffff29f '1' <repeats 28 times>) at ans_check.c:15
15          return ans_flag;
(gdb) i r esp
esp            0xbfffefa0  0xbfffefa0
(gdb) x/32xw $esp
0xbfffefa0:     0xbfffefbc   0x08048610     0xb7e24bf8     0xb7e4b493
0xbfffefb0:     0x00000000   0x00c30000     0x00000001     0x31313131
0xbfffefc0:     0x31313131   0x31313131     0x31313131     0x31313131
0xbfffefd0:     0x31313131   0x31313131     0xbfffef00     0x0804855f
0xbfffefe0:     0xbffff29f   0xb7fff000     0x0804858b     0xb7fc3000
0xbfffeff0:     0x08048580   0x00000000     0x00000000     0xb7e31a83
0xbffff000:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff0a0     0xb7feccea
0xbffff010:     0x00000002   0xbffff094     0xbffff034     0x0804a024
(gdb) x/w ans_buf
0xbfffefbc:     0x31313131
(gdb) x/w &ans_flag
0xbfffefcc:     0x31313131
(gdb) n
```



GATE 7

下课了！