Università degli Studi di Milano
Facoltà di Scienze e Tecnologie
Dipartimento di Informatica

Reverse engineering: *debugging*

Andrea Lanzi <andrew@security.di.unimi.it>

A.A. 2016–2017

Tecniche dinamiche

- esecuzione (monitorata) dell'applicazione
  - interazioni con l'ambiente (e.g., file system, rete, registro)
  - interazioni con il sistema operativo (system call)
  - **debugging**

Interazione con l'ambiente

Linux

- `lsof` – **l**ist **o**pen **f**iles

```
$ lsof -p 10220
COMMAND    PID USER       FD     TYPE    DEVICE    SIZE    NODE NAME
emacs    10220 sicurezza  cwd    DIR        8,8    4096   48193 /home/sicurezza
emacs    10220 sicurezza  rtd    DIR        8,3    4096       2 /
emacs    10220 sicurezza  txt    REG        8,3 5051492 131642 /usr/bin/emacs22-nox
emacs    10220 sicurezza  mem    REG        8,3   38444 785329 /lib/i686/cmov/libnss_nis-2.7.so
emacs    10220 sicurezza  mem    REG        8,3   87800 785313 /lib/i686/cmov/libnsl-2.7.so
emacs    10220 sicurezza  mem    REG        8,3   30436 785314 /lib/i686/cmov/libnss_compat-2.7.so
emacs    10220 sicurezza  mem    REG        8,3   42504 785326 /lib/i686/cmov/libnss_files-2.7.so
...
```

- `netstat`, `/proc/<pid>/*`, `tcpdump`, `wireshark`, ...

Windows

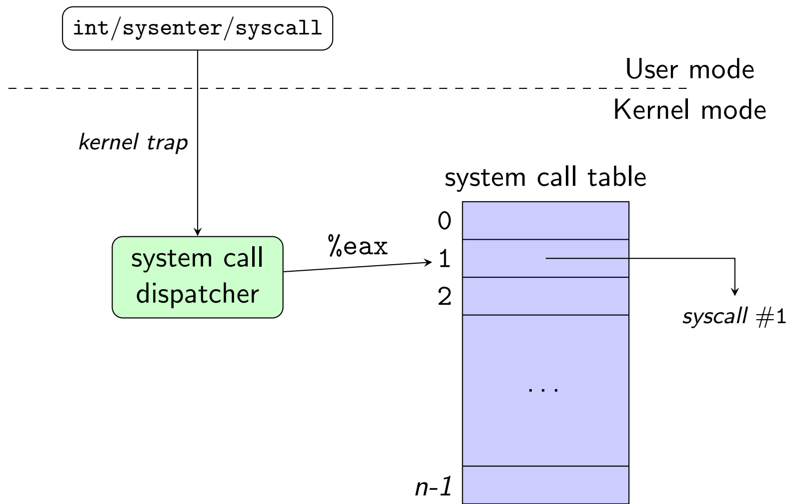
- utility SysInternals (`www.sysinternals.com`)
- FileMon, RegMon, TcpView, ...

System call

- interfaccia tra sistema operativo e applicazioni utente
- per compiere operazioni "al di fuori" dell'address space del processo
- rivelano informazioni utili sul comportamento di un processo

Metodi per invocazione *system call*

- `int` (Linux: `int 0x80`, Windows: `int 0x2e`)
- `sysenter`/`sysexit` ($\geq$ Intel Pentium II)
  `syscall`/`sysret` ($\geq$ AMD K6)
- numero syscall in `%eax`
- parametri nei registri *general purpose*


int/sysenter/syscall
User mode
Kernel mode
kernel trap
system call table
0
1
2
. . .
n-1
%eax
system call dispatcher
syscall #1

strace

- visualizza chiamate a sistema, parametri, segnali, ...
- possibilità di seguire i processi figlio
- attach a processi in esecuzione
- basato su `ptrace`

Esempio

```
$ strace /bin/ls 2>&1 | head -n 10
execve(/bin/ls, [/bin/ls], [/* 34 vars */]) = 0
brk(0)                                  = 0x8e93000
access(/etc/ld.so.nohwcap, F_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
mmap2(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) =
0xb7f74000
access(/etc/ld.so.preload, R_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
open(/etc/ld.so.cache, O_RDONLY)      = 3
fstat64(3, st_mode=S_IFREG|0644, st_size=58489, ...) = 0
mmap2(NULL, 58489, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0xb7f65000
close(3)                                = 0
access(/etc/ld.so.nohwcap, F_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
...
```

strace

- visualizza chiamate a sistema, parametri, segnali, ...
- possibilità di seguire i processi figlio
- attach a processi in esecuzione
- basato su `ptrace`

Opzioni *più* utili

```
-f                traccia anche i figli
-i                stampa l'indirizzo dell'istruzione che invoca la syscall
-e read=x,y,...   stampa tutti i dati delle read su fd x,y,...
-e write=x,y,...  stampa tutti i dati delle write su fd x,y,...
-ff -o filename   salva su file
-s n              stampa n caratteri di ogni stringa (default 32)
```

System call tracer
Windows

- NTAPI (*native* Win32 API)
- BindView `strace`
  - simile a `strace` Linux
- WUSSTrace - by ex LaSER
  (`https://code.google.com/p/wusstrace/`)
  - user-space
  - analisi precisa degli argomenti
  - interfaccia XML, binding Python

- NTAPI (*native* Win32 API)
- BindView `strace`
  - simile a `strace` Linux
- WUSSTrace - by ex LaSER
  (https://code.google.com/p/wusstrace/)
  - user-space
  - analisi precisa degli argomenti
  - interfaccia XML, binding Python

Come funzionano?

- **kernel-mode**: hijack System Service Descriptor Table (SSDT)
- **user-mode**: hijack `KiFastSystemCall` & `KiIntSystemCall` (`ntdll.dll`)

Tracer per funzioni di libreria

Esempio

```
$ ltrace /bin/ls
__libc_start_main(0x804e5f0, 1, ... <unfinished...>
setlocale(6, ‘‘)                                   = it_IT.ISO-8859-15@euro
bindtextdomain(coreutils, /usr/share/locale) = /usr/share/locale
textdomain(coreutils)                          = coreutils
__cxa_atexit(0x8051860, 0, 0, 0xb7f01ff4, 0xbf95cf98) = 0
isatty(1)                                        = 0
getenv(QUOTING_STYLE)                          = NULL
...
getenv(BLOCK_SIZE)                             = NULL
getenv(COLUMNS)                                = NULL
ioctl(1, 21523, 0xbf95cf6c)                      = -1
...
```

`ltrace`: come funziona?

- basata su `ptrace()`
- breakpoint in corrispondenza dei simboli importati

```
$ cat test.c
int main()
{
  printf("*printf: \\x%.2x\n", *(unsigned char*) printf);
  return 0;
}
$ ./test
*printf: \xff
$ ltrace ./test 2> /dev/null
*printf: \xcc
```

`ltrace`: come funziona?

- basata su `ptrace()`
- breakpoint in corrispondenza dei simboli importati

```
$ cat test.c
int main()
{
  printf("*printf: \\x%.2x\n", *(unsigned char*) printf);
  return 0;
}
$ ./test
*printf: \xff
$ ltrace ./test 2> /dev/null
*printf: \xcc
```

Domanda

- funziona con static linking?

Debugging

- esecuzione "controllata" di un processo
- granularità a livello della *singola* istruzione
- possibilità di interrompere l'esecuzione (**breakpoint**/watchpoint)
- possibilità di esaminare lo stato di CPU/memoria

Debugger

- *Linux*: **gdb**
- *Windows*: OllyDbg, SoftIce, WinDbg

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
EIP →
mov   (%edx),%eax
mov   %eax,0xc(%ebp)
mov   (%ecx),%eax
mov   %eax,0x8(%ebp)
mov   (%esp),%ebx
mov   0x4(%esp),%esi
mov   0x8(%esp),%edi
```

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
EIP → mov   (%edx),%eax
      mov   %eax,0xc(%ebp)
      mov   (%ecx),%eax
      int3
      mov   (%esp),%ebx
      mov   0x4(%esp),%esi
      mov   0x8(%esp),%edi
```

1. set `int3`

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
EIP → mov   (%edx),%eax
      mov   %eax,0xc(%ebp)
      mov   (%ecx),%eax
      int3
      mov   (%esp),%ebx
      mov   0x4(%esp),%esi
      mov   0x8(%esp),%edi
```

1. set `int3`
2. continue

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
      mov   (%edx),%eax
      mov   [illegible]p)
      mov   (%ecx),%eax
EIP → int3
      mov   (%esp),%ebx
      mov   0x4(%esp),%esi
      mov   0x8(%esp),%edi
```

SIGTRAP

1. set `int3`
2. continue
3. `SIGTRAP`

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
      mov   (%edx),%eax
      mov   %eax,0xc(%ebp)
      mov   (%ecx),%eax
EIP → mov   %eax,0x8(%ebp)
      mov   (%esp),%ebx
      mov   0x4(%esp),%esi
      mov   0x8(%esp),%edi
```

1. set `int3`
2. continue
3. `SIGTRAP`
4. restore original

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
        mov   (%edx),%eax
        mov   %eax,0xc(%ebp)
        mov   (%ecx),%eax
        mov   %eax,0x8(%ebp)
EIP --> mov   (%esp),%ebx
        mov   0x4(%esp),%esi
        mov   0x8(%esp),%edi
```

1. set `int3`
2. continue
3. `SIGTRAP`
4. restore original
5. single step

Come funzionano?

- istruzione target sovrascritta con `int3`
- segnale `SIGTRAP`

```
      mov   (%edx),%eax
      mov   %eax,0xc(%ebp)
      mov   (%ecx),%eax
      int3
EIP → mov   (%esp),%ebx
      mov   0x4(%esp),%esi
      mov   0x8(%esp),%edi
```

1. set `int3`
2. continue
3. `SIGTRAP`
4. restore original
5. single step
6. set `int3`

Problemi

- “invasivi”
- modificano l’address space del processo
- facili da rilevare
- software watchpoint sono molto lenti. . .

Problemi

- "invasivi"
- modificano l'address space del processo
- facili da rilevare
- software watchpoint sono molto lenti...

Soluzione

- **hardware** breakpoint

- maggior trasparenza
- registri dedicati (`DR0` $\rightarrow$ `DR7` su x86)
- efficienti

- maggior trasparenza
- registri dedicati (`DR0` → `DR7` su x86)
- efficienti

Registri di debug x86

- `DR0` → `DR3`: VA breakpoint
- `DR4`, `DR5`: *riservati*
- `DR6`: status register
- `DR7`: control register

- maggior trasparenza
- registri dedicati (DR0 → DR7 su x86)
- efficienti

Registri di debug x86

- DR0 → DR3: VA breakpoint
- DR4, DR5: *riservati*
- DR6: status register
- DR7: control register

Problemi

- richiedono supporto hardware
- disponibili in numero limitato

ptrace – process trace

- system call Linux
- un processo padre può osservare, controllare e manipolare l'esecuzione di un processo figlio

ptrace – process trace

- system call Linux
- un processo padre può osservare, controllare e manipolare l'esecuzione di un processo figlio

Processo figlio

- ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, NULL, NULL); (+ exec())
- parent notificato via wait() per segnali e chiamate a execve()

ptrace – process trace

- system call Linux
- un processo padre può osservare, controllare e manipolare l'esecuzione di un processo figlio

Processo figlio

- ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, NULL, NULL); (+ exec())
- parent notificato via wait() per segnali e chiamate a execve()

Processo padre

- lettura VA (PTRACE_PEEKTEXT) e registri (PTRACE_PEEKUSER)
- modifica VA (PTRACE_POKETEXT) e registri (PTRACE_POKEUSER)
- resume esecuzione (PTRACE_CONTINUE)
- single step a livello di istruzione (PTRACE_SINGLESTEP) o di entry/exit system call (PTRACE_SYSCALL)
- ...

```
$ wget http://security.di.unimi.it/sicurezza1314/antidbg.tar.gz
```

```
$ wget http://security.di.unimi.it/sicurezza1314/gdbinit73.txt
$ mv gdbinit73.txt ~/.gdbinit
```

int3 & SIGTRAP {ex1}

```
void handler(int x)
{
  printf(''Intercettato int 3!\n'');
}

void main(int argc, char **argv)
{
  signal(SIGTRAP, handler);
  asm(''int3\n'');
}
```

```
(gdb) run
Program received signal SIGTRAP, Trace/breakpoint trap.
0x0804847b in main ()
(gdb) signal SIGTRAP
Continuing with signal SIGTRAP.
Intercettato int 3!
```

Code checksumming {ex2}

```
void check(void *f, int checksum)
{
   // ... calc a generic checksum c of function f
   if(c != checksum)
     printf(''Debugger present\n'');
}
void main()
{
  check(main, 12345);
  // ....
}
```

Trappare su controllo checksum e patchare dinamicamente il risultato

Limiti di ptrace {ex3}

- un processo può essere tracciato da **un solo** altro processo
- in caso contrario `ptrace()` fallisce

```
#include <stdio.h>
#include <sys/ptrace.h>

int main(int argc, char **argv)
{
  if(ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, 1, 0) < 0) {
    printf(''Debugger present!\n'');
    return 1;
  }

  printf(''Hello world!\n'');
  return 0;
}
```

Soluzione

- `ptrace()` è anche una funzione di libreria
- ⇒ ridefinire `ptrace()` in modo che ritorni sempre 0

```
int ptrace(int a, int b, int c, int d)
{
  return 0;
}

$ gcc -shared ptrace.c -o ptrace.so
```

```
$ LD_PRELOAD=./ptrace.so ./antidebug
(gdb) set environment LD_PRELOAD=./ptrace.so
...
$ strace -fi -E LD_PRELOAD=./ptrace.so ./ex3
```

Checking for extra file descriptors {ex4} (gdb only)

```
void main()
{
  int fd = open(''/dev/shm/test'', O_CREAT|O_RDONLY, S_IRWXU);
  if(fd > 3) {
    printf(''Debugger present %d!\n'', fd);
    return 1;
  }
  printf(''Hello world!\n'');
  return 0;
}
```

```
$ gdb ./ex4
(gdb) run
Starting program: /home/sicurezza/antidbg/ex4
Debugger present 7!
```

- *molti* metodi
- spesso utilizzati dal malware

Alcuni esempi

- `kernel32!IsDebuggerPresent`
- `PEB!NtGlobalFlags` → flag particolari se creato in un debugger
- `ntdll!NtQueryInformationProcess`, con `ProcessInformationClass = ProcessDebugPort`
- ...
- ...

VM introspection

- applicazione eseguita in ambiente emulato/virtualizzato
- informazioni registrate "dall'esterno" della VM
- utile per malware analysis
- *vantaggi*: trasparenza
- *svantaggi*: OS-dependent, anti-emulation/anti-VM

Strumenti

- Anubis
- CWSandbox
- Norman SandBox
- ...

Anti-emulazione e anti-virtualizzazione

Emulazione e virtualizzazione

- *emulazione*: **tutte** le istruzioni del programma sono emulate (e.g., QEMU, BOCHS)
- *virtualizzazione*: emulazione delle sole istruzioni (e.g., VMWare, VirtualBox) **privilegiate**

Anti-emulazione e anti-virtualizzazione

Emulazione e virtualizzazione

- *emulazione*: **tutte** le istruzioni del programma sono emulate (e.g., QEMU, BOCHS)
- *virtualizzazione*: emulazione delle sole istruzioni (e.g., VMWare, VirtualBox) **privilegiate**

Anti-virtualizzazione

```
Y:\>type test.c
typedef struct __attribute__((__packed__)) {
  uint16_t Limit;
  uint32_t Descriptors;
} IDT, *PIDT;

int main()
{
  IDT idtr;
  asm("sidt %0;" : "=m" (idtr));
  printf("addr: %.8x\n", idtr.Descriptors);
  return 0;
}

Y:\>test.exe        (macchina fisica)
addr: 8003f400

Y:\>test.exe        (macchina virtuale)
addr: f7406390
```

Anti-emulazione e anti-virtualizzazione

Emulazione e virtualizzazione

- *emulazione*: **tutte** le istruzioni del programma sono emulate (e.g., QEMU, BOCHS)
- *virtualizzazione*: emulazione delle sole istruzioni (e.g., VMWare, VirtualBox) **privilegiate**

Anti-emulazione

- sfruttare errori nell'implementazione dell'emulatore
- *A fistful of red-pills: How to automatically generate procedures to detect CPU emulators*

Esercizio

1) Reversare il programma che e' sul sito homework4. Comprendere il comportamento del programma, la chiave individuata al suo interno, i dettagli di ogni funzionalità di obfuscation e anti debugging riscontrata e come avete fatto a bypassarla.
2) Scrivere un programma C che, utlizzando la libreria `PTRACE`, effettui tracing delle system call di un programma (specificato da linea di comando). Per ogni syscall intercettata, il programma deve stampare a video: il numero della system call, il valore dei registri general purpose (`%ebx,%ecx,%edx,%esi,%edi`) e il valore di ritorno, secondo questo esempio:

```
syscall_#100(0xcafebabe, 0xdeadbabe, 0xbadbadoo, 0x0, 0x0) = 0x0
```

Inoltre, estrarre e stampare gli argomenti delle seguenti syscall:

`exit, open, read, write, execve`

esempio:

```
syscall_write(1, ‘‘Hello world!’’, 0xc)
```