ubsan, kasan, syzkaller und co

Florian Westphal

Mai 2016

4096R/AD5FF600 fw@strlen.de
1C81 1AD5 EA8F 3047 7555
E8EE 5E2F DA6C F260 502D

syn

1. kernel debug optionen
2. Tests via compiler-Erweiterungen: ubsan, kasan, ...
3. kernel-fuzzing

SLUB Debugging

- Standard-Allokator seit 2.6.23 (Oktober 2007)
- viele Debug-Optionen, aktivieren mit `slub_debug` boot-parameter
  - Z: Redzoning
  - P: Poisoning
- `/proc/slabinfo`, `linux/tools/vm/slabinfo.c`
- Einige Optionen auch zur Laufzeit:
  `echo 1 > /sys/kernel/slab/$name/trace`
- Nur bedingt fuer Produktivsysteme geeignet (dmesg spew)

Fault-Injection Framework

`CONFIG_FAULT_INJECT=y`

- `FAILSLAB`, `FAIL_MAKE_REQUEST`, ...
- Konfiguration via debugfs:

```
ls /sys/kernel/debug/fail*
/sys/kernel/debug/failslab:
cache-filter ignore-gfp-wait interval probability
space task-filter times verbose
```

- Auf einzelne Prozesse beschränkt:
  `echo 1 > /proc/pid/make-it-fail`
- Boot-Option

Notifier Error Injection

`CONFIG_NOTIFIER_ERROR_INJECT=y`

- Notifier: In-Kernel Benachrichtigungen über Ereignisse
- Kernel-Module können callbacks für bestimmte Events registrieren
  - CPU x geht offline
  - neues Netzwerk-Interface wird hinzugefügt/entfernt
  - MTU-Änderung, Änderung von Features (`ethtool -K`)
- Notifier-Vetos möglich – "`return NOTIFY_BAD`"

Sonstige compile-time Kernel Debug-Optionen

- atomic-sleep
- lockdep
- soft/hard lockup Erkennung (nmi watchdog)
- linked-list debugging

AddressSanitizer

- Erkennt Fehler bei Behandlung von Speicher(addressen)
- seit gcc 4.8

```
int main(void) {
   char xx[100];
   xx[100] = 0;
   return 0;
}
gcc -fsanitize=address x.c && ./a.out
ERROR: AddressSanitizer: stack-buffer-overflow
WRITE of size 1 at ...
    #0 0x40090d in main (/tmp/a.out+0x40090d)
    #1 0x7fc6c0db162f in __libc_start_main
Address 0x7ffcd7a08d24 is located in stack of thread ...
```

Mit neuerem gcc: `ASAN_OPTIONS='help=1' ./a.out`

KernelAddressSanitizer

- `CONFIG_KASAN=y`
  - use-after-free
  - out-of-bounds Zugriffe
- $\frac{1}{8}$ Kernel RAM für Shadowing nötig
- Shadowbyte 0 $\rightarrow$ Zugeordnetes Wort allokiert
- Shadowbyte 1 $\rightarrow$ nur 1 Byte (n: nur n bytes)
- Shadowbyte < 0: gesperrt (Free'd, Redzone, etc)
- Compiler fügt `__asan_load/_store` calls bei ALLEN Speicherzugriffen ein

KernelAddressSanitizer (cont.)

- performanter als kmemcheck
- kein erkennen v. uninitialisierten reads
- langsamer als SLUB debugging, findet aber mehr Fehler
  - OOB-reads
  - OOB-write: sofort, nicht erst bei freeing

Undefined Behaviour Sanitizer (UbSan)

gcc: `-fsanitize=undefined`, u.a.:

- signed-integer-overflow
- enum (Laufzeitfehler, wenn in einem enum ein ungültiger Wert auftaucht)
- shifts ('1<<32'), etc.

```
int main(void) { return INT_MIN / -1; }
gcc -fsanitize=undefined x.c && ./a.out
x.c:9:17: runtime error: division of -2147483648 by -1
cannot be represented in type 'int'
```

Fuzzer: Trinity, syzkaller

Allg+Primitiv: Ein Programm bekommt zufällige Daten vorgeworfen

- Kernel hat mehrere Stellen an denen Daten verarbeitet werden
  - Syscalls
  - Syscall-Daten: ioctl, setsockopt
  - Inhalte von buffern (netlink, raw sockets ...)
  - Netzwerktraffic, Speichermedien, ...

```
syscall(random(), random(), random(), random());
```

... funktioniert eher nicht

Trinity

syscall-Fuzzer, zufällige syscalls mit zufälligen argumenten, aber ...

- nicht alles ist zufällig
- erstellt diverse File-Deskriptoren (files, popes, sockets, etc)
- Liste mit syscalls und den erwarteten Argumenten (z.B. `accept(fd, ..)`)
- Liste mit flags für syscalls (z.B. `send, sendto, ...`)
- permutieren der Argumente, Abfolge, ...

Problem: Kein "Einblick" über die Code-Abdeckung

afl

american fuzzy lop - compile-time instrumentation fuzzer

- `afl-{clang,gcc,g++}`
- Valide Eingabe(n) nötig (nach `afl/in`)
- `afl-fuzz -i afl/in -o afl/out programm [args]`
- Annahme: liest von stdin, wenn nicht: "-f bla"

syzkaller

Neuer syscall-Fuzzer, Prinzip ähnlich afl
`https://github.com/google/syzkaller`

- verteilt, fuzzing läuft in Qemu-VMs
- syscalls und Argumente werden beschrieben
- (per)mutation von generierten Programmen

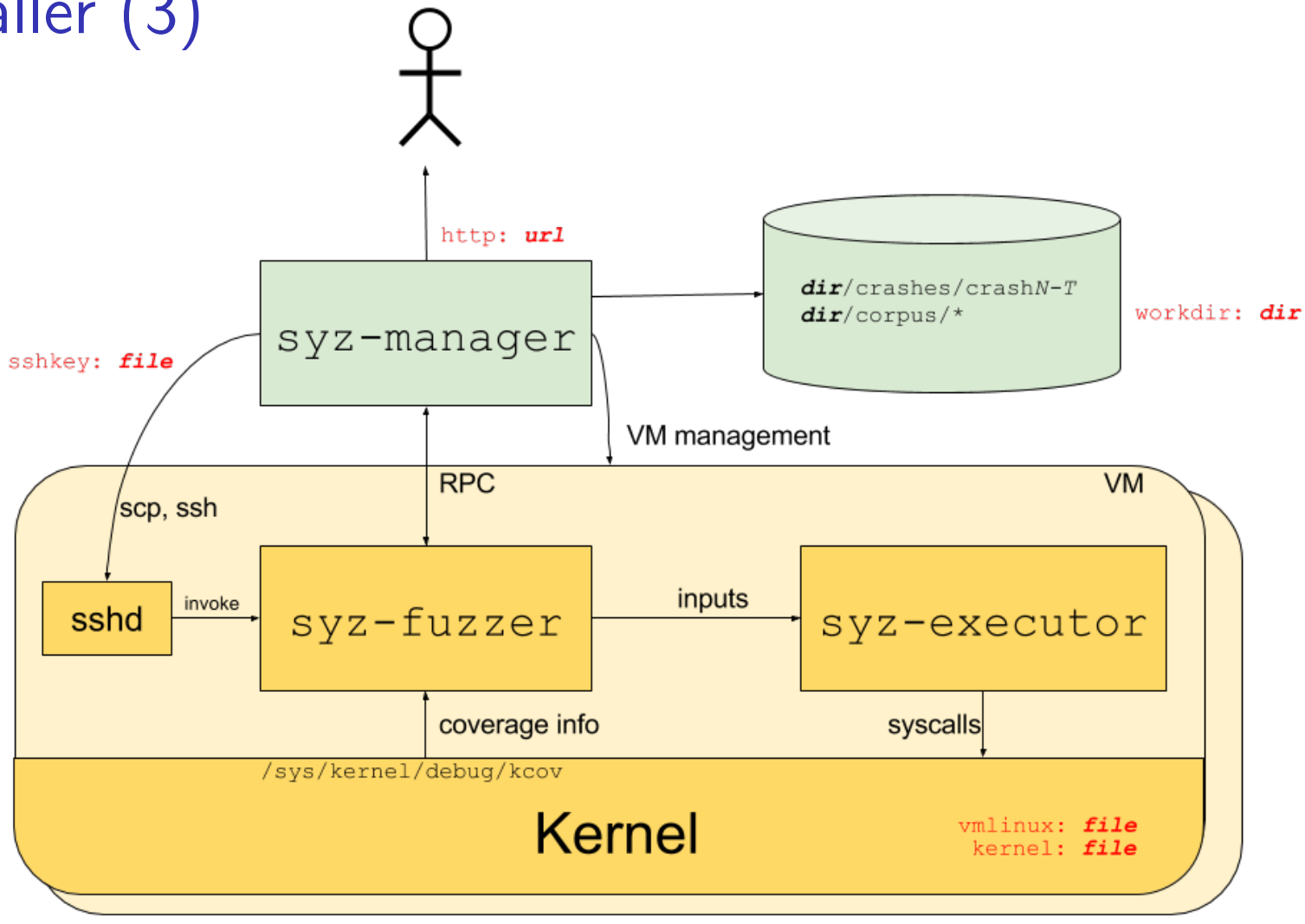
```
open(filename, f flags[open_flags], m flags[open_mode])
close(fd fd)
writev(fd fd, vec ptr[in, array[iovec_in]], vlen len[vec])
open_flags = O_RDONLY, O_WRONLY,
iovec_in {
    addr    buffer[in]
    len     len[addr, intptr]
}
```

syzkaller (2)

Voraussetzungen

- go und C++ compiler
- C-Compiler mit coverage support (gcc 6.1)
- Linux Kernel ab 4.6
- QEMU + disk image einer Distribution (vgl. `create-image.sh`)
- syzkaller tools
  - `syz-manager`: start/stop/monitoring von VM instanzen
  - `syz-fuzzer`: generiert Tests, Mutation, schickt eingaben mit mehr Coverage zum manager
  - `syz-executor`: führt Eingaben aus (d.h. eine Folge von syscalls)

syzkaller (3)



(von https://github.com/google/syzkaller)

syzkaller (4)

config-file (Bsp):

```
"http": "localhost:56741",
"workdir": "/home/me/syzkaller/workdir",
"kernel": "/home/me/build/linux/arch/x86/boot/bzImage",
"vmlinux": "/home/me/build/linux/vmlinux",
"image": "/home/me/syzkaller/debian.img",
"sshkey": "/home/me/syzkaller/ssh/id_rsa",
"syzkaller": "/home/me/syzkaller",
"leak": false,
"cmdline": "root=/dev/sda ro console=ttyS0",
"count": 2,
"cpu": 2,
"mem": 2048,
"enable_syscalls": [ .. ]
```

syzkaller (5)

workdir

- wird automatisch erzeugt
- `corpus`:
  - Eingaben die neue Ausgaben erzeugt haben
  - bleibt erhalten (beschleunigt neue starts)
- `crashes`:
  - dmesg oopses/warnings
  - lockups

syzkaller (6)

`corpus/$sha`: autogenerierte Programme

```
mmap(&(0x7f0000000000)=nil, (0xc000), 0x3, 0x32, 0xffffffff
clock_gettime(0x7, &(0x7f0000003000-0x10)={0x0, 0x0})
mmap(&(0x7f0000002000)=nil, (0x1000), 0x3, 0x32, 0xffffffff
clock_gettime(0x7, &(0x7f0000003000)={0x0, 0x0})
setsockopt(0xffffffffffffffff, 0x0, 0x40, &(0x7f0000004000-
clock_gettime(0x5, &(0x7f0000005000)={0x0, 0x0})
clock_gettime(0x7, &(0x7f0000008000-0xd)={0x0, 0x0})
socket(0x2, 0x3, 0xff)
setsockopt(0xffffffffffffffff, 0x0, 0x81, &(0x7f000000c000-
```

Wenn man .c will: `syz-prog2c`

syskaller (7)

1. `bin/syz-manager -config ~/syzkaller/syzkaller.cfg`
2. warten – wichtige events auf stdout

```
2016/05/04 15:41:10 loaded 3225 programs
2016/05/04 15:41:10 serving http on http://localhost:56741
2016/05/04 15:41:10 serving rpc on tcp://127.0.0.1:41620
2016/05/04 15:44:40 qemu-1: saving crash 'UBSAN: Undefined
2016/05/04 15:49:18 qemu-2: saving crash 'UBSAN: Undefined
2016/05/04 15:50:56 qemu-1: saving crash 'WARNING: CPU: 3 P
2016/05/04 15:51:04 qemu-0: saving crash 'UBSAN: Undefined
2016/05/04 15:52:00 qemu-2: saving crash 'no output' to cra
```

Crashes/Traces unter workdir/crashes/

kcov: code coverage for fuzzing

`CONFIG_KCOV=y` (linux.git) gcc flag
`-fsanitize-coverage=trace-pc`

- wie auch schon bei Kasan/Ubsan: Compiler-basiert
- Kernel implementiert Funktion die dann pro block aufgerufen wird
- speichert PC in einer Art 'Log' ab
- Aufrufe aus Interrupt-Kontext werden ignoriert
- userspace muss Feature erst aktivieren $\rightarrow$ `ioctl`

kcov: code coverage for fuzzing (cont.)

```
fd = open("/sys/kernel/debug/kcov", O_RDWR);
ioctl(fd, KCOV_INIT_TRACE, COVER_SIZE);
cover = mmap(.., PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
ioctl(fd, KCOV_ENABLE, 0);
read(-1, NULL, 0); /* fuzz */
for (i = 1; i < cover[0]; i++)
    printf("0x%lx\n", cover[i]);
```

→ /sys/kernel/debug/kcov

→ addr2line

```
SyS_read
fs/read_write.c:562
__fdget_pos
...
```

fin

KernelThreadSanitizer (KTSan)

- `fsanitize=thread`:
  - Programmausführung == Abfolge von Ereignissen
  - Speicherzugriffe
  - Synchronisierung (Locks)
  - Zustandsautomat speichert auftretende Ereignisse