Interrupts (2/2)

Interrupt Handler (2)

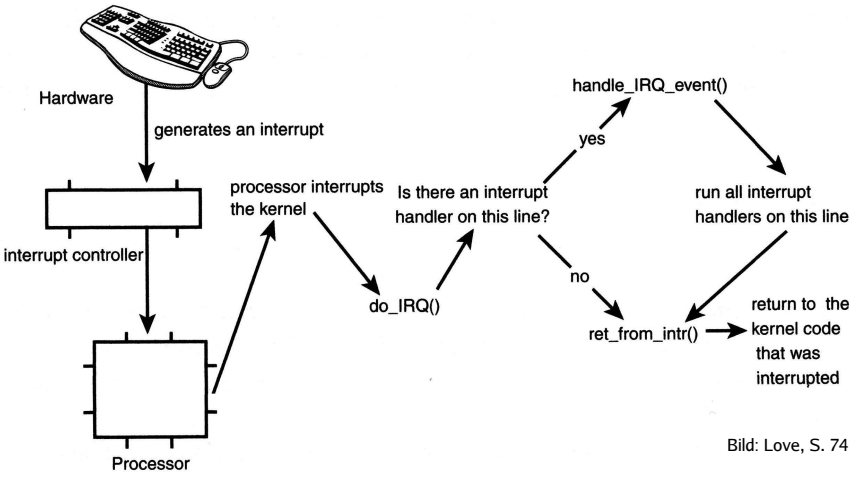


Bild: Love, S. 74

Interrupt Handler (1)

Treiber registrieren mit Interrupt handler:

```
int request_irq(
  unsigned int irq,              /* Welche IRQ-Nummer?      */
  irqreturn_t (*handler)(int, void *, struct pt_regs *),
  unsigned long irqflags,
  const char * devname,          /* Gerätename->/proc/int..*/
  void *dev_id);
```

- Interrupt mit IRQ `irq` wird ausgelöst
- BS ruft Interrupt handler `handler()` auf
- Flags:

  SA_SHIRQ: Interrupt für mehrere Treiber
  SA_INTERRUPT: Lokale Interrupts werden gesperrt
  SA_SAMPLE_RANDOM: Interrupts treten „zufällig“ auf, nutzen: Entropie-Vergrößerung, Zufallszahlen

Interrupt Handler (3)

Beispiel: Timer, RTC-Chip auf dem Mainboard

`drivers/char/rtc.c`, `rtc_init()`

```
if (request_irq(
      RTC_IRQ,              /* RTC Interrupt: 8          */
      rtc_interrupt,        /* Interrupt handler         */
      SA_INTERRUPT,         /* Flag: lokale Int. sperren */
      "rtc",                /* Gerätename "rtc"          */
      (void *)&rtc_port))   /* ID                        */
{
   printk(KERN_ERR "rtc: cannot
   register IRQ %d\n", RTC_IRQ);
   return -EIO;             /* EIO: I/O Error            */
}
```

Interrupt Handler (4)

```
irqreturn_t rtc_interrupt(int irq, void *dev_id, struct pt_regs *regs) {
        spin_lock (&rtc_lock);
        rtc_irq_data += 0x100;          /* globale Variable! */
        rtc_irq_data &= ~0xff;
        rtc_irq_data |= (CMOS_READ(RTC_INTR_FLAGS) & 0xF0);

        if (rtc_status & RTC_TIMER_ON)
            mod_timer(&rtc_irq_timer, jiffies + HZ/rtc_freq + 2*HZ/100);

        spin_unlock (&rtc_lock);

        /* Now do the rest of the actions */
        spin_lock(&rtc_task_lock);
        if (rtc_callback)
                rtc_callback->func(rtc_callback->private_data);
        spin_unlock(&rtc_task_lock);
        wake_up_interruptible(&rtc_wait);

        kill_fasync (&rtc_async_queue, SIGIO, POLL_IN);

        return IRQ_HANDLED;
}
```


Interrupt Handler (5)

RTC: I/O-Adressen
- 0x70 (lesen)
- 0x71 (schreiben)

```
/usr/include/linux/mc146818rtc.h:
extern spinlock_t rtc_lock;   /* serialize CMOS RAM access */



#define RTC_PORT(x)     (0x70 + (x))

#define CMOS_READ(addr) ( {
  outb_p((addr),RTC_PORT(0));
  inb_p(RTC_PORT(1));
} )
```


Interrupt Handler (6)

Eigener Handler wird aufgerufen in

```
kernel/irq/handle.c, handle_IRQ_event():

int handle_IRQ_event(unsigned int irq, struct pt_regs *regs,
                     struct irqaction *action) {
        int ret, retval = 0, status = 0;

        if (!(action->flags & SA_INTERRUPT))
                local_irq_enable();

        do {
                ret = action->handler(irq, action->dev_id, regs);
                if (ret == IRQ_HANDLED)
                        status |= action->flags;
                retval |= ret;
                action = action->next;
        } while (action);

        if (status & SA_SAMPLE_RANDOM)
                add_interrupt_randomness(irq);
        local_irq_disable();

        return retval;
}
```


Interrupt Handler (7)

Zugriff auf Treiber-Daten aus Programmen

```
ssize_t rtc_read(struct file file, char *buf, size_t count, loff_t *ppos) {
        DECLARE_WAITQUEUE(wait, current);
        unsigned long data; ssize_t retval;

        add_wait_queue(&rtc_wait, &wait);
        current->state = TASK_INTERRUPTIBLE;
        do {
                spin_lock_irq(&rtc_lock);
                data = rtc_irq_data;          /* globale Variable; auch  */
                rtc_irq_data = 0;             /* in der Service-Routine! */
                spin_unlock_irq(&rtc_lock);

                if (data != 0)  break;
                [.....]
                schedule();                   /* schlafen legen */
        } while(1);
        retval = put_user(data, (unsigned long *)buf);
        [.....]

        current->state = TASK_RUNNING;
        remove_wait_queue(&rtc_wait, &wait);
        return retval;
}
```

Interrupt Handler (8)

Wichtig: In welchem Context läuft was?

- **User Context:** unterbrechbar (HW oder SW interrupts), kann system calls aufrufen,
- **Process Context:** nach Software Interrupt aus User Context, läuft im Kernel, Daten zwischen Kernel- und Prozessspeicher übertragen, nur durch HW-Interrupt unterbrechbar
- **Kernel Context:** Funktionen des Kernels, kein Datenaustausch zwischen Kernel- und User-Space, nur durch HW-Interrupt unterbrechbar
- **Interrupt Context:** Software- und Hardware-Interrupts

Interrupt Handler (9)

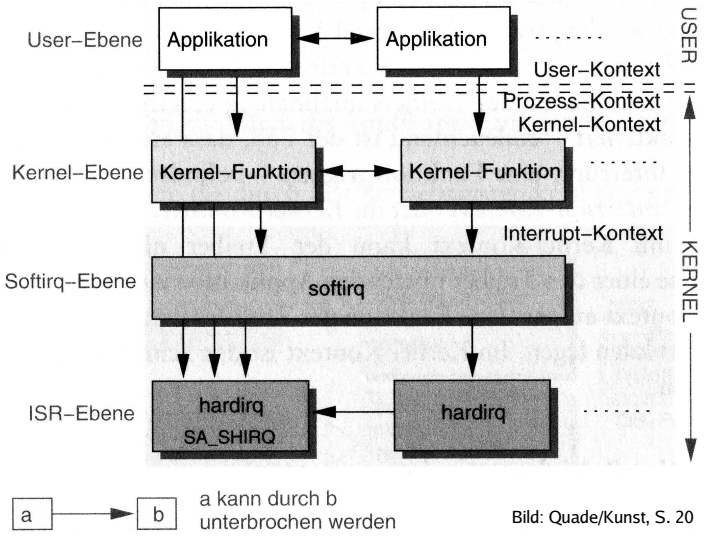


Bild: Quade/Kunst, S. 20

Interrupt Handler (10)

Top und bottom half / Tasklet

Bottom half heißt im Linux-Kernel
(seit Version 2.6) **Tasklet**

- Interrupt Service Routine (top half) erledigt das Wichtigste (zeitkritische Dinge), erzeugt Tasklet und beendet sich – dabei sind Interrupts gesperrt
- Tasklets führen längere Berechnungen durch, die zur Interrupt-Verarbeitung gehören – dabei sind Interrupts zugelassen

Interrupt Handler (10)

Tasklets

- Tasklet ist kein Prozess (struct tasklet_struct), läuft direkt im Kernel; im Interrupt-Context
- Zwei Prioritäten:
  – *tasklet_hi_schedule*: startet direkt nach ISR
  – *tasklet_schedule*: startet erst, wenn kein anderer Soft IRQ mehr anliegt

Interrupt Handler (11)

Mehr Informationen:

[1] Linux Kernel 2.4 Internals, Kapitel 2,
http://www.faqs.org/docs/kernel_2_4/lki-2.html

[2] J. Quade, E.-K. Kunst: „Linux-Treiber entwickeln“, dpunkt-Verlag,
http://ezs.kr.hsnr.de/TreiberBuch/html/

System Calls (1)

asm/unistd.h: Über 300 System Calls

```
/*
 * This file contains the system call
 * numbers.
 */

#define __NR_restart_syscall      0
#define __NR_exit                 1
#define __NR_fork                 2
#define __NR_read                 3
#define __NR_write                4
#define __NR_open                 5
#define __NR_close                6
#define __NR_waitpid              7
#define __NR_creat                8
#define __NR_link                 9
#define __NR_unlink              10
#define __NR_execve              11
#define __NR_chdir               12
#define __NR_time                13
#define __NR_mknod               14
#define __NR_chmod               15
#define __NR_lchown              16
#define __NR_break               17
#define __NR_oldstat             18
#define __NR_lseek               19
#define __NR_getpid              20
#define __NR_mount               21
#define __NR_umount              22
#define __NR_setuid              23
#define __NR_getuid              24
#define __NR_stime               25
#define __NR_ptrace              26
#define __NR_alarm               27
#define __NR_oldfstat            28
#define __NR_pause               29
#define __NR_utime               30
#define __NR_stty                31
#define __NR_gtty                32
#define __NR_access              33
#define __NR_nice                34
#define __NR_ftime               35
#define __NR_sync                36
#define __NR_kill                37
...
```


System Calls (2)

Software Interrupts

- Argumente über Register übergeben
- Maschinenbefehl **`int 0x80`** ausführen
  ➞ Trap (Software Interrupt), Wechsel in Kernel Mode
- Funktion `system_call` in *arch/i386/kernel/entry.S* ausführen
- Dort: call sys_call_table+4*(syscall_number from %eax)
  ➞ Sprung in C-Routinen, `sys_*` (`sys_open`, `sys_exit` etc.)
- Syscall-Tabelle definiert in *arch/i386/kernel/syscall_table.S*

System Calls (3)

In *fs/open.c*:

```
long do_sys_open(int dfd, const char __user *filename, int flags, int mode)
{
        char *tmp = getname(filename);
        int fd = PTR_ERR(tmp);

        if (!IS_ERR(tmp)) {
                fd = get_unused_fd();
                if (fd >= 0) {
                        struct file *f = do_filp_open(dfd, tmp, flags, mode);
                        if (IS_ERR(f)) {
                                put_unused_fd(fd);
                                fd = PTR_ERR(f);
                        } else {
                                fsnotify_open(f->f_dentry);
                                fd_install(fd, f);
                        }
                }
                putname(tmp);
        }
        return fd;
}

asmlinkage long sys_open(const char __user *filename, int flags, int mode)
{
        long ret;

        if (force_o_largefile())
                flags |= O_LARGEFILE;

        ret = do_sys_open(AT_FDCWD, filename, flags, mode);
        /* avoid REGPARM breakage on x86: */
        prevent_tail_call(ret);
        return ret;
}
```

System Calls (4)

Beispiel für einen System Call:

Library-Funktion *fread( )*

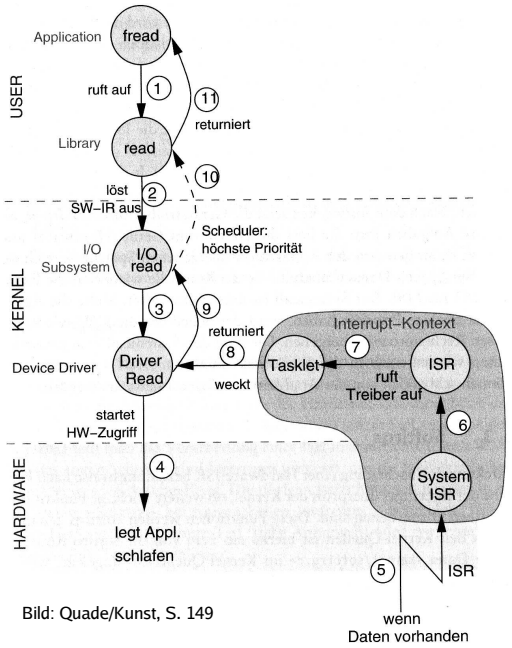


Bild: Quade/Kunst, S. 149

Bibliotheksfunktionen

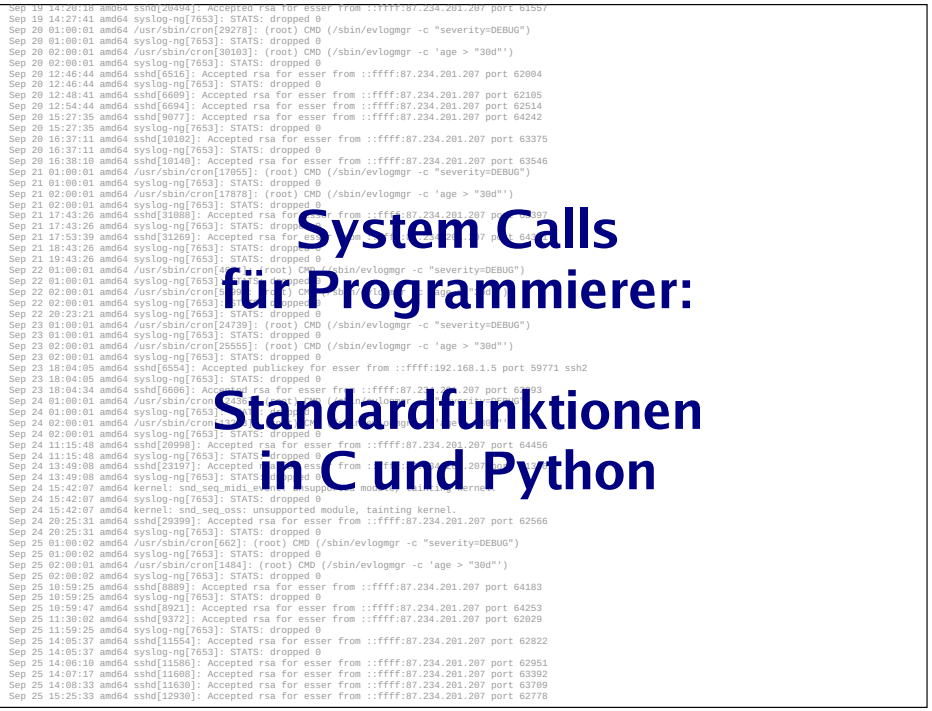
open(): Datei zum Lesen/Schreiben öffnen

```
int open(const char *pathname, int flags);
int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);
int creat(const char *pathname, mode_t mode);
```

Rückgabewert: File Descriptor

```
man 2 open
```

Beispiel:
```
fd = open("/tmp/datei.txt",O_RDONLY);
```



System Calls für Programmierer: Standardfunktionen in C und Python

Bibliotheksfunktionen

fopen(): Datei zum Lesen/Schreiben öffnen

```
FILE *fopen(const char *path, const char *mode);
```

mode: r = read, w = write (truncate), a = write (append), r+ = read/write

Rückgabewert: File Pointer (nicht Descriptor!)

```
man fopen
```

Beispiel:
```
fp = fopen("/tmp/datei.txt","r");
```

Bibliotheksfunktionen

read(): Daten aus Datei (File Descriptor) lesen

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

Rückgabewert: Anzahl gelesene Bytes

```
man 2 read
```

Beispiel:

```
int bufsiz=128;
char line[bufsiz];
int fd = open( "/etc/fstab", O_RDONLY );
int len;
while ( len = read ( fd, line, bufsiz ) > 0 ) {
  printf ( line );
}
close(fd);
exit(0);
}
```


Bibliotheksfunktionen

fread(): Daten aus Datei (File Pointer) lesen

```
size_t fread(void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);
```

Rückgabewert: Anzahl gelesene Blöcke (nicht Bytes)

```
man fread
```

Beispiel:

```
int bufsiz=128; int len;
char line[bufsiz]; FILE *fp;
fp = fopen( "/etc/fstab", "r" );
while ( !feof(fp) ) {
  if (fread ( line, bufsiz, 1, fp ) > 0) {
    printf ( line );
  }
}
close(fp);
printf("\n");
```


Bibliotheksfunktionen

write(): Daten in Datei (File Descriptor) schreiben

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

Rückgabewert: Anzahl geschriebene Bytes

```
man 2 write
```

Beispiel:

```
main() {
  char message[] = "Hello world\n";
  int fd = open( "/tmp/datei.txt",
                 O_CREAT | O_WRONLY, S_IRUSR | S_IWUSR );
  write ( fd, message, sizeof(message) );
  perror();
  close(fd);
  exit(0);
}
```


Bibliotheksfunktionen

fwrite(): Daten in Datei (File Pointer) schreiben

```
size_t fread(void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);
```

Rückgabewert: Anzahl geschreibene Blöcke (nicht Bytes)

```
man fwrite
```

Beispiel:

```
main () {
  char message[] = "Hello world!\n";
  FILE *fp;

  fp = fopen( "/tmp/datei.txt", "w" );
  fwrite ( message, sizeof(message), 1, fp );
  close(fp);
  exit(0);
}
```

Bibliotheksfunktionen

close(): Datei (File Descriptor) schließen

```
int close(int fd);
```

Rückgabewert: 0 bei Erfolg, sonst -1 (`errno` enthält dann Grund)

```
man 2 close
```

Beispiel:
```
close(fd);
```


Bibliotheksfunktionen

fclose(): Datei (File Pointer) schließen

```
int fclose(FILE *fp);
```

Rückgabewert: 0 im Erfolgsfoll, sonst EOF (und `errno` enthält den Fehlergrund)

```
man fclose
```

Beispiel:
```
close(fp);
```


Bibliotheksfunktionen

Python: open, readlines, write, close

Beispiel: Datei zeilenweise kopieren

```
#!/usr/bin/python
fd = open("/etc/fstab","r")
lines = fd.readlines()
fd.close()

fd = open("/tmp/datei.txt","w")
for l in lines:
  fd.write(l)
fd.close()
```


Bibliotheksfunktionen

exit(): Programm beenden

```
void exit(int status);
```

Kein Rückgabewert, aber status wird an aufrufenden Prozess weitergegeben.

```
man 3 exit
```

Beispiel:
```
exit(0);
```

Bibliotheksfunktionen

fork(): Neuen Prozess starten

```
pid_t fork(void);
```

Rückgabewert: Child-PID (im Vaterprozess); 0 (im Sohnprozess); -1 (im Fehlerfall)

```
man fork
```

Beispiel:
```
pid=fork()
```


Bibliotheksfunktionen

exec(): Anderes Programm in Prozess laden

```
int execl(const char *path, const char *arg, ...);
int execlp(const char *file, const char *arg, ...);
int execle(const char *path, const char *arg , ..., char * const envp[]);
int execv(const char *path, char *const argv[]);
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

Rückgabewert: keiner (Funktion kehrt nicht zurück)
Parameter arg0 (Name), arg1, ...; letztes Argument: NULL-Zeiger

```
man 3 exec
```

Beispiele:
```
execl ("/usr/bin/vi", "", "/etc/fstab", (char *) NULL);
execlp ("vi", "", "/etc/fstab", (char *) NULL);
```


Bibliotheksfunktionen

Python: Programm starten wie in C

Vorsicht: Beendet den Python-Interpreter!

```
import os
os.execl("/usr/bin/vi","","/etc/fstab")
```


Bibliotheksfunktionen

Python: Programm starten und danach Python-Skript fortsetzen

```
import os
os.system("vi /etc/fstab")
```

Programmausgabe weiter verarbeiten (Pipe)

```
output=os.popen("cat /etc/fstab").read()
print output
```

Bibliotheksfunktionen

Python: fork() und wait() wie in C-Programmen

fork() startet 2. Python-Prozess und führt darin das gleiche Programm aus

```
#!/usr/bin/python
import os
import time
pid=os.fork()
if pid==0:
  time.sleep(5)
  print ">> Ich bin der Sohn."
else:
  print "Ich bin der Vater. Mein Sohn hat die PID ",pid
  print "Ich warte jetzt auf den Sohn..."
  os.wait()
  print "Er ist fertig."
```