

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü 3 – UNIX-Signale

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2012/13 – 19. bis 23. November 2012

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS12/V_SP2

23-Signals_handout



Agenda

- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren

23-Signals_handout



Agenda

- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren

23-Signals_handout

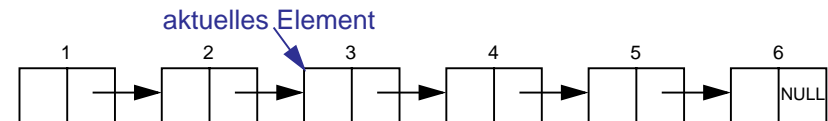


Nebenläufigkeit durch Signale

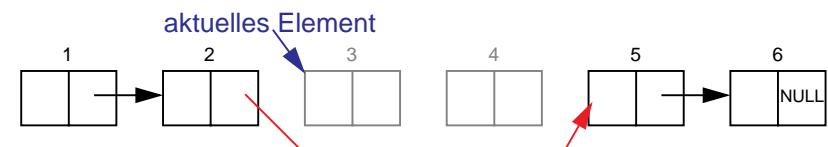
- Signale erzeugen Nebenläufigkeit innerhalb des Prozesses (vgl. Nebenläufigkeit durch Interrupts, Vorlesung B | V-4, Seite 26 ff.)

- Beispiel:

- Programm durchläuft gerade eine verkettete Liste



- Prozess erhält Signal; Signalbehandlung entfernt Elemente 3 und 4 aus der Liste und gibt den Speicher dieser Elemente frei



23-Signals_handout



? Welche Art von Nebenläufigkeit liegt vor?

- Asymmetrische, nicht-gleichberechtigte Kontrollflüsse:
 - Hauptprogramm (jederzeit unterbrechbar)
 - Signalbehandlung (nicht unterbrechbar, *Run-to-Completion*-Semantik)

? Welche Art der Synchronisation sollte verwendet werden?

- Meistens einseitige Synchronisation:
 - Signal während der Ausführung des kritischen Abschnitts blockieren
 - Nur kritische Signale blockieren
 - Kritische Abschnitte so kurz wie möglich halten (Risiko: Verlust von Signalen)



- Während der Ausführung einer Bibliotheksfunktion kann der dazugehörige interne Zustand inkonsistent sein
 - Beispiel `halde`: `fsp->next` wird auf `0xbaadf00d` gesetzt, danach wird `fsp` auf die neue Verwaltungsstruktur umgesetzt
- Eine Unterbrechung durch eine Signalbehandlungsfunktion ist unproblematisch, solange diese nicht auf den selben Zustand zugreift
- Andernfalls müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden:
 - In Signal-Handlern keine Funktionen aufrufen, die in SuSv3 als *non-reentrant* gekennzeichnet sind
 - Oder Signal während Ausführung der Funktion im Hauptprogramm blockieren
- **Vorsicht:** Auf den selben Zustand können u. U. auch verschiedene Funktionen zugreifen, z. B. `malloc()` und `free()`



Weitere Fallstricke

- Die meisten Bibliotheksfunktionen teilen sich als gemeinsamen Zustand die `errno`-Variable
 - Änderungen der `errno` im Signal-Handler können die Fehlerbehandlung im Hauptprogramm durcheinander bringen
 - Lösung: Kontext-Sicherung
 - Beim Betreten der Signalhandler-Funktion die `errno` sichern und vor dem Verlassen wieder restaurieren
- Ein-/Ausgabeoperationen auf `FILE *` schützen möglicherweise den Stream mit Hilfe eines Locks vor mehrfädigem Zugriff
 - Deadlock, falls eine E/A-Operation unterbrochen wird und im Signal-Handler auf den selben Stream zugegriffen wird
 - Lösung: keine Ein-/Ausgabe in Signal-Handlern betreiben



Agenda

- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren



Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void waitForEvent(void) {
    while (event == 0);
}
```

- Testen des Programms ohne (-O0) und mit (-O3) Compiler-Optimierungen
- Welches Verhalten lässt sich beobachten?

23-Signals_handout



Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void waitForEvent(void) {
    while (event == 0);
}
```

```
; Ohne Optimierungen
waitForEvent:
    nop
.L3:
    movl event, %eax
    testl %eax, %eax
    je .L3
    ret
```

```
; Mit Optimierungen
waitForEvent:
    movl event, %eax
    testl %eax, %eax
    jne .L2
.L5:
    jmp .L5
.L2:
    rep
    ret
```

23-Signals_handout



Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

- event wird nebenläufig verändert
- Der Compiler hat hiervon keine Kenntnis:
 - Innerhalb der Schleife wird event nicht verändert
 - Die Schleifenbedingung ist also beim erstmaligen Prüfen wahr oder falsch
 - Bedingung ändert sich aus Sicht des Compilers innerhalb der Schleife nicht
 - Endlosschleife, wenn Bedingung nicht von vornherein falsch
- Abhilfe: **volatile** zur Kennzeichnung von Variablen, die extern verändert werden
 - durch andere Kontrollflüsse
 - durch die Hardware (z. B. in den Adressraum eingebundene Geräteregister)
- Zugriffe auf **volatile**-Variablen werden vom Compiler nicht optimiert

23-Signals_handout



Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void waitForEvent(void) {
    while (event == 0);
}
```

- Deklaration als **volatile** erzwingt erneutes Laden von event in jedem Schleifendurchlauf

23-Signals_handout



Agenda

- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren



Passives Warten auf ein Signal

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void waitForEvent(void) {
    BLOCK_SIGNAL();
    while (event == 0) {
        UNBLOCK_SIGNAL();
        SUSPEND(); // Blockieren, bis ein Signal eintrifft
        BLOCK_SIGNAL();
    }
    UNBLOCK_SIGNAL();
}
```

- Nebenläufigkeitsproblem?: Prüfen der Wartebedingung + Schlafenlegen ist ein kritischer Abschnitt!
- Nebenläufigkeitsproblem (*Lost Wakeup*) jetzt gelöst?



Passives Warten auf ein Signal

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void waitForEvent(void) {
    BLOCK_SIGNAL();
    while (event == 0) {
        UNBLOCK_SIGNAL();
        SUSPEND(); // Blockieren, bis ein Signal eintrifft
        BLOCK_SIGNAL();
    }
    UNBLOCK_SIGNAL();
}
```

- Prüfen der Wartebedingung + Schlafenlegen ist ein kritischer Abschnitt!
- Deblockieren des Signals und Schlafenlegen müssen atomar erfolgen
- Betriebssystemschnittstelle muss entsprechende Operation anbieten



Agenda

- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren



- Die prozessweite Signalmaske enthält die aktuell blockierten Signale
- Ändern der Maske mittels `sigprocmask(2)`:

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *set, sigset_t *oldset);
```

- `how`: Verknüpfungsmodus
 - `SIG_BLOCK`: setzt Vereinigungsmenge aus alter Maske und `set`
 - `SIG_UNBLOCK`: setzt Schnittmenge aus alter Maske und invertiertem `set`
 - `SIG_SETMASK`: setzt `set` als neue prozessweite Maske
- `oldset`: bisherige prozessweite Signalmaske (Ausgabeparameter); bei Desinteresse `NULL` übergeben

- **Beispiel:** Blockieren von `SIGUSR1` zusätzlich zu bereits blockierten Signalen

```
sigset_t set;  
sigemptyset(&set);  
sigaddset(&set, SIGUSR1);  
sigprocmask(SIG_BLOCK, &set, NULL);
```

23-Signals_handout



- Prototyp:

```
int sigsuspend(const sigset_t *mask);
```

- `sigsuspend()` merkt sich die aktuelle prozessweite Signalmaske, setzt `mask` als neue Signalmaske und blockiert den Prozess
- Ein Signal, das nicht in `mask` enthalten ist, führt zur Ausführung der vorher festgelegten Signalbehandlung
- `sigsuspend()` kehrt nach Ende der Signalbehandlung mit `errno = EINTR` zurück und restauriert gleichzeitig die ursprüngliche Signalmaske
- Es ist garantiert, dass das Setzen der Maske und das Schlafenlegen atomar abfolgen

23-Signals_handout



- Kindprozess erzeugen mit `fork()`:
 - Kindprozess erbt Signalbehandlung und Signalmaske vom Vaterprozess
- Anderes Programm laden mit `exec()`:
 - Signalmaske wird beibehalten
 - Signalbehandlung wird beibehalten, falls `SIG_DFL` oder `SIG_IGN`
 - Benutzerdefinierte Signalbehandlung wird auf `SIG_DFL` zurückgesetzt (→ warum? nach dem Laden des neuen Programms existiert die alte Signalbehandlungsfunktion nicht mehr)

23-Signals_handout



```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);
```

- Kehrt optional auch zurück, wenn ein Kindprozess
 - ... gestoppt wird (Option `WUNTRACED`)
 - ... fortgesetzt wird (Option `WCONTINUED`)
- Auswertung von `status` mit Makros:
 - `WIFEXITED(status)`: Kind hat sich normal beendet
 - Ermitteln des Exitstatus mit `WEXITSTATUS(status)`
 - `WIFSIGNALED(status)`: Kind wurde durch ein Signal terminiert
 - Ermitteln des Signals mit `WTERMSIG(status)`
 - `WIFSTOPPED(status)`: Kind wurde gestoppt
 - Ermitteln des Signals mit `WSTOPSIG(status)`
 - `WIFCONTINUED(status)`: gestopptes Kind wurde fortgesetzt

23-Signals_handout



- Szenario: `waitpid()`-Aufruf sowohl im Hauptprogramm als auch im Signal-Handler für `SIGCHLD`
 - Welcher der beiden `waitpid()`-Aufrufe räumt den Zombie ab und erhält dessen Status?
 - Das Verhalten in diesem Fall ist betriebssystemspezifisch – es existiert keine portable Lösung!
 - Daher darf `waitpid()` nur im Signal-Handler aufgerufen werden
 - Das Warten auf Vordergrundprozesse muss mit Hilfe von `sigsuspend()` realisiert werden



- 3.1 Nebenläufigkeit durch Signale
- 3.2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- 3.3 Passives Warten auf ein Signal
- 3.4 Signalbehandlungsschnittstelle
- 3.5 Duplizieren von Dateideskriptoren



Duplizieren von Dateideskriptoren

- Ziel: geöffnete Datei soll als `stdout/stdin` verwendet werden
- `newfd = dup(fd)`: Dupliziert Dateideskriptor `fd`, d. h. Lesen/Schreiben auf `newfd` ist wie Lesen/Schreiben auf `fd`
 - Die Nummer von `newfd` wird vom System gewählt
- `dup2(fd, newfd)`: Dupliziert Dateideskriptor `fd` in anderen Dateideskriptor (`newfd`); falls `newfd` schon geöffnet ist, wird `newfd` erst geschlossen
 - Die Nummer von `newfd` wird vom Benutzer vorgegeben
- Verwenden von `dup2()`, um `stdout` umzuleiten:

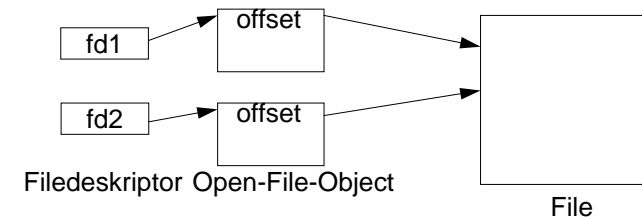
```
int fd = open("/dev/null", O_WRONLY);
dup2(fd, STDOUT_FILENO);
printf("Hallo\n"); // Wird nach /dev/null geschrieben
```

- Erinnerung: offene Dateideskriptoren werden bei `fork(2)` und `exec(2)` vererbt



Duplizieren von Dateideskriptoren

- Erneutes Öffnen einer Datei:



- Bei `dup()` wird der FD dupliziert, aber die Datei wird nicht neu geöffnet:

