

## G 5. Übung

G 5. Übung

### G.1 Überblick

- Besprechung 3. Aufgabe
- Rechenzeiterfassung
- POSIX-Signale

Übungen zu Systemprogrammierung I

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

G-Uebung5.fm 2003-11-26 09:32

G.1

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

SP1-U

## G.2 Rechenzeiterfassung

G.2 Rechenzeiterfassung

- Betriebssystem erfasst die Rechenzeit der Prozesse
  - user time: Rechenzeit im Benutzermodus
  - system time: Rechenzeit im Systemkern (priv. Modus)
- für jeden Prozess wird außerdem die Rechenzeit aller Kind-Prozesse aufsummiert
  - nach Terminieren eines Kind-Prozesses bleiben die Daten in Datenstruktur des ZOMBIE-Prozesses gespeichert
  - bei `wait()/waitpid()` werden die Daten in den Vaterprozess übernommen
- Rechenzeiten werden in clock ticks angegeben (meist 10 ms)
  - clock ticks/Sekunde kann durch das Makro `CLK_TCK` abgefragt werden

Übungen zu Systemprogrammierung I

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

G-Uebung5.fm 2003-11-26 09:32

G.2

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

SP1-U

## G.2 Rechenzeiterfassung (2)

G.2 Rechenzeiterfassung

### ■ Prototyp

```
#include <sys/times.h>

clock_t times(struct tms *buf);
```

### ■ tms Datenstruktur

```
struct tms {
    clock_t tms_utime; /* user time */
    clock_t tms_stime; /* system time */
    clock_t tms_cutime; /* user time of children */
    clock_t tms_cstime; /* system time of children */
}
```

Übungen zu Systemprogrammierung I

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

G-Uebung5.fm 2003-11-26 09:32

G.3

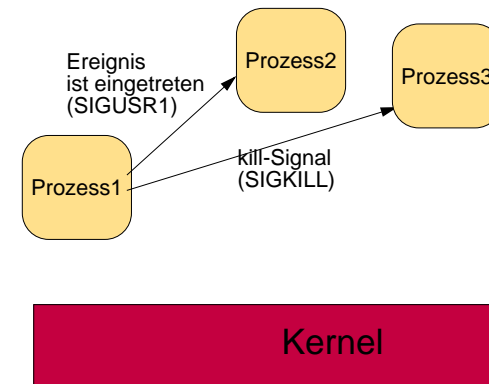
Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

SP1-U

## G.3 Signale

G.3 Signale

### 1 Kommunikation zwischen Prozessen



Übungen zu Systemprogrammierung I

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

G-Uebung5.fm 2003-11-26 09:32

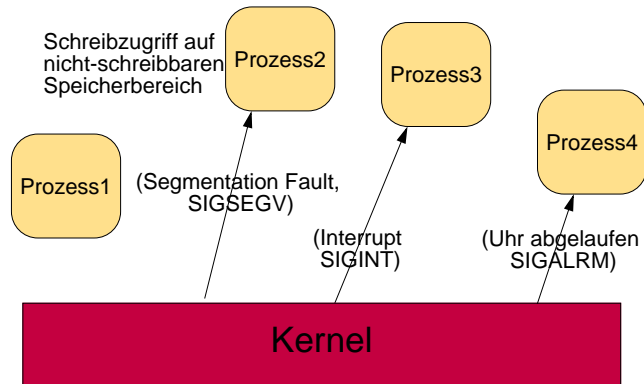
G.4

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

SP1-U

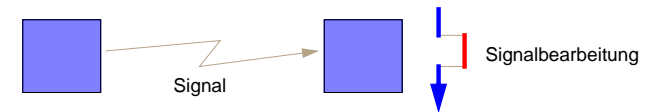
## 2 Signalisierung des Systemkerns

- synchrone Signale: werden durch Aktivität des Prozesses ausgelöst
- asynchrone Signale: werden "von außen" ausgelöst



## 4 Posix Signalbehandlung

- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion



- ◆ nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter

- Systemschnittstelle

- ◆ sigaction
- ◆ sigprocmask
- ◆ sigsuspend
- ◆ sigpending
- ◆ kill

## 3 Reaktion auf Signale

- abort
  - ◆ erzeugt Core-Dump (Segmente + Registercontext) und beendet Prozess
- exit
  - ◆ beendet Prozess, ohne einen Core-Dump zu erzeugen
- ignore
  - ◆ ignoriert Signal
- stop
  - ◆ stoppt Prozess
- continue
  - ◆ setzt gestoppten Prozess fort
- signal handler
  - ◆ Aufruf einer Signalbehandlungsfunktion, danach Fortsetzung des Prozesses

## 5 Signalhandler installieren: sigaction

- Prototyp

```
#include <signal.h>

int sigaction(int sig, /* Signal */
              const struct sigaction *act, /* Handler */
              struct sigaction *oact /* Alter Handler */);
```

- Handler bleibt solange installiert, bis neuer Handler mit `sigaction` installiert wird

- sigaction Struktur

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int);
    sigset_t sa_mask;
    int sa_flags;
};
```

## 5 Signalhandler installieren: sigaction Handler (sa\_handler)

G.3 Signale

- Signalbehandlung kann über `sa_handler` eingestellt werden:
  - `SIG_IGN` Signal ignorieren
  - `SIG_DFL` Default Signalbehandlung einstellen
  - *Funktionsadresse* Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen und ausgeführt

## 5 Signalhandler installieren: sigaction Flags (sa\_flags)

G.3 Signale

- Durch `sa_flags` lässt sich das Verhalten beim Signalempfang beeinflussen.
  - kann für jedes Signal gesondert gesetzt werden.
- `SA_NOCLDSTOP`: `SIGCHLD` wird nur erzeugt, wenn Kind terminiert, nicht wenn es gestoppt wird (POSIX, SVID, BSD)
- `SA_RESTART`: durch das Signal unterbrochene Systemaufrufe werden automatisch neu aufgesetzt (kein `errno=EINTR`) (nur SVID und BSD)
- `SA_SIGINFO`: Signalhandler bekommt zusätzliche Informationen übergeben (nur SVID)  
`void func(int signo, siginfo_t *info, void *context);`
- `SA_NODEFER`: Signal wird während der Signalbehandlung nicht blockiert (nur SVID)

## 5 Signalhandler installieren: sigaction Maske (sa\_mask)

G.3 Signale

- verzögerte Signale
  - ◆ während der Ausführung der Signalhandler-Prozedur wird das auslösende Signal blockiert
  - ◆ bei Verlassen der Signalbehandlungsroutine wird das Signal deblockiert
  - ◆ es wird maximal ein Signal zwischengespeichert
- mit `sa_mask` in der `struct sigaction` kann man zusätzliche Signale blockieren
- Auslesen und Modifikation der Signal-Maske vom Typ `sigset_t` mit:
  - ◆ `sigaddset()`: Signal zur Maske hinzufügen
  - ◆ `sigdelset()`: Signal aus Maske entfernen
  - ◆ `sigemptyset()`: Alle Signale aus Maske entfernen
  - ◆ `sigfillset()`: Alle Signale in Maske aufnehmen
  - ◆ `sigismember()`: Abfrage, ob Signal in Maske enthalten ist

## 5 Signalhandler installieren: Beispiel

G.3 Signale

- Beispiel:

```
#include <signal.h>
void my_handler(int sig) { ... }
...
struct sigaction action;
sigemptyset(&action.sa_mask);
action.sa_flags = 0;
action.sa_handler = my_handler;
sigaction(SIGUSR1, &action, NULL); /* return abfragen ! */
```

## 6 Signal zustellen

- Systemaufruf

```
int kill(pid_t pid, int signo);
```

- Kommando `kill` aus der Shell (z. B. `kill -USR1 <pid>`)

## 7 Ändern der prozessweiten Signal-Maske

```
int sigprocmask(int how, /* Verknüpfung der Masken */
               const sigset_t *set, /* neue Maske */
               sigset_t *oset /* Speicher für alte Maske */);
```

- how:
  - ◆ **SIG\_BLOCK**: Vereinigungsmenge zwischen übergebener und alter Maske
  - ◆ **SIG\_SETMASK**: Setzen der Maske ohne Beachtung der alten Maske
  - ◆ **SIG\_UNBLOCK**: Schnittmenge zwischen inverser übergebener Maske und alter Maske

- Beispiel

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

- Anwendung: kritische Abschnitte, die nicht durch ein Signal unterbrochen werden dürfen

## 9 Abfrage blockierter Signale

- Prototyp

```
#include <signal.h>
int sigpending(sigset_t *set);
```

- **sigpending** speichert alle Signale, die blockiert sind, aber empfangen wurden, in **set** ab

## 8 Warten auf Signale

- Problem: Prozess befindet sich in kritischem Abschnitt und will auf ein Signal warten
  - Signal muss deblockiert werden
  - Prozess wartet auf Signal
  - Signal muss wieder blockiert werden
- Operationen müssen atomar am Stück ausgeführt werden!
- Prototyp

```
#include <signal.h>
int sigsuspend(const sigset_t *mask);
```

- ◆ **sigsuspend(mask)** merkt sich die aktuelle Signal-Maske, setzt **mask** als neue Signal-Maske und blockiert Prozess
- ◆ Signal führt zu Aufruf des Signalhandlers (muss vorher installiert werden)
- ◆ **sigsuspend** kehrt nach Bearbeitung des Signalhandlers mit Fehler **EINTR** zurück und restauriert gleichzeitig die ursprüngliche Signal-Maske

## 10 POSIX Signale

Das Defaultverhalten bei den meisten Signalen ist die Terminierung des Prozesses, bei einigen Signalen mit Anlegen eines Core-Dumps.

- **SIGABRT (core)**: Abort Signal; entsteht z.B. durch Aufruf von **abort()**
- **SIGALRM**: Timer abgelaufen (**alarm()**, **setitimer()**)
- **SIGFPE (core)**: Floating Point Exception; z.B. Division durch 0 oder Overflow
- **SIGHUP**: Terminalverbindung wird beendet (Hangup)
- **SIGILL (core)**: Illegal Instruction; z.B. privilegierte Operation, privilegiertes Register
- **SIGINT**: Interrupt; (Shell: CTRL-C)
- **SIGKILL (nicht abfangbar)**: beendet den Prozess

## 10 POSIX Signale (2)

- SIGPIPE: Schreiben auf Pipe oder Socket nachdem der lesende terminiert ist
- SIGQUIT (core): Quit; (Shell: CTRL-\)
- SIGSEGV (core): Segmentation violation; inkorrektter Zugriff auf Segment, z.B. Schreiben auf Textsegment
- SIGTERM: Termination; Default-Signal für `kill(1)`
- SIGUSR1, SIGUSR2: Benutzerdefinierte Signale

## 12 Jobcontrol und wait

- `wait(int *stat)` kehrt auch zurück, wenn Kind gestoppt wird
- erkennbar an Wert von `*stat`
- Auswertung mit Macros
  - ◆ `WIFEXITED(*stat)`: Kind normal terminiert
  - ◆ `WIFSIGNALED(*stat)`: Kind durch Signal terminiert
  - ◆ `WIFSTOPPED(*stat)`: Kind gestoppt
  - ◆ `WIFCONTINUED(*stat)`: gestopptes Kind fortgesetzt

## 11 Jobcontrol-Signale

Diese Signale existieren in einem POSIX-konformen System nur, wenn das System Jobkontrolle unterstützt (`_POSIX_JOB_CONTROL` ist definiert).

- SIGCHLD (Defaultaktion = ignorieren): Status eines Kindprozesses hat sich geändert
- SIGCONT: setzt den gestoppten Prozess fort
- SIGSTOP (nicht abfangbar): stoppt den Prozess
- SIGTSTP: stoppt den Prozess (Shell: CTRL-Z)
- SIGTTIN, SIGTTOU: Hintergrundprozess wollte vom Terminal lesen bzw. darauf schreiben

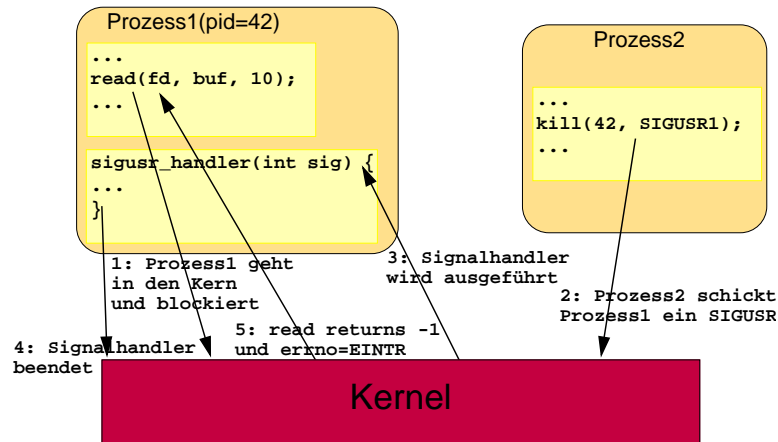
## 13 signal()-Funktion

- ANSI-C definiert die `signal()`-Funktion zum Installieren von Signalhandlern
  - ◆ Problem: sehr ungenaue Spezifikation, da Prozesskonzept in ANSI-C nicht definiert
- BSD- und SystemV-Unix Systeme enthalten die `signal()`-Funktion
  - ◆ Problem: Prozesskonzept jetzt definiert, aber `signal()`-Semantik ist von Unix Version 7 abgeleitet und unzuverlässig (*unreliable signals*) (Signalhandler bleibt nicht installiert, Signale können nicht blockiert werden)
- **`signal()` ist deshalb in POSIX.1 nicht enthalten und sollte auch nicht mehr benutzt werden**

## 14 Unterbrechen von Systemcalls

G.3 Signale

- Signale können die Ausführung von Systemaufrufen unterbrechen



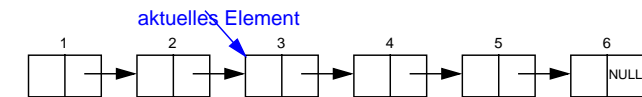
## G.4 Signale und Race Conditions

G.4 Signale und Race Conditions

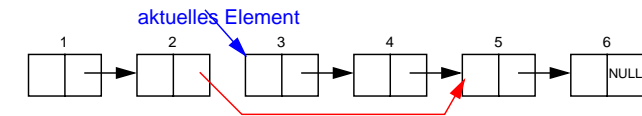
- Signale erzeugen Nebenläufigkeit innerhalb des Prozesses
- diese Nebenläufigkeit kann zu Race-Conditions führen

- Beispiel:

- ◆ main-Funktion läuft durch eine verkettete Liste



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



SP1-U

## 14 Unterbrechen von Systemcalls (2)

G.3 Signale

- dies betrifft nur "langsame Systemcalls" (welche sich über einen längeren Zeitraum blockieren können, z.B. `wait()`, `waitpid()` oder `read()` von einem Socket oder einer Pipe)
- der Systemcall setzt dann `errno` auf `EINTR`
- in einigen UNIXen (z.B. 4.2BSD) werden unterbrochene Systemcalls automatisch neu aufgesetzt
- bei einigen UNIXen (SVR4, 4.3BSD), kann man für jedes Signal einstellen (`SA_RESTART`), ob ein Systemcall automatisch neu aufgesetzt werden soll
- POSIX.1 läßt dies un spezifiziert

SP1-U

## G.4 Signale und Race Conditions

G.4 Signale und Race Conditions

- Lösung: Signal während Ausführung des kritischen Abschnitts blockieren!

- weiteres Problem:

- ◆ Aufruf von Bibliotheksfunktionen, z.B. `getpwuid()`, wird durch Signal unterbrochen und nach Ausführung des Signalhandlers fortgesetzt
- ◆ Signalhandler ruft auch `getpwuid()` auf -> Race Condition!

- Lösung:

- ◆ in Signalhandlern nur Funktionen aufrufen, die in POSIX.1 als reentrant gekennzeichnet sind (`getpwuid` und `malloc/free` sind z.B. nicht reentrant, `wait` und `waitpid` sind reentrant)
  - Achtung: wenn in einem Signalhandler Funktionen verwendet werden, die `errno` verändern, muß der Wert von `errno` vorher gesichert und vor Beendigung des Signalhandlers wieder zurückgesetzt werden
- ◆ oder Signal während Ausführung der Funktion blockieren

SP1-U