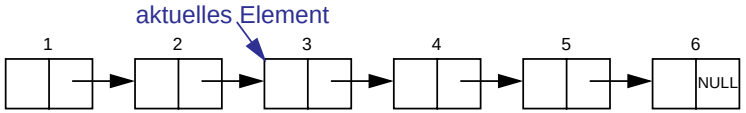
U3 UNIX-Signale

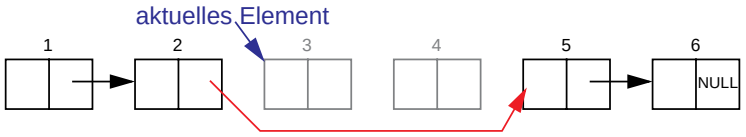
- Besprechung der Aufgabe 2: sister
- Nebenläufigkeit durch Signale
- Nebenläufiger Zugriff auf Variablen
- Passives Warten auf ein Signal
- Nachtrag zur Signalbehandlungsschnittstelle
- Duplizieren von Filedeskriptoren
- Nachtrag zu wait/waitpid
- waitpid und SIGCHLD
- Ziele der Aufgabe 3: josh

U3-1 Nebenläufigkeit durch Signale

- Signale erzeugen Nebenläufigkeit innerhalb des Prozesses (vgl. Nebenläufigkeit durch Interrupts, Vorlesung *B | V-4,* Seite 26 ff. und *B | VI-2*, Seite 18 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



1 Grundsätzliche Fragestellung

- Welche Art von Nebenläufigkeit liegt vor?
- Welche Art der Synchronisation sollte verwendet werden?

U3-1 Nebenläufigkeit durch Signale

1 Grundsätzliche Fragestellung

- Welche Art von Nebenläufigkeit liegt vor?
- Welche Art der Synchronisation sollte verwendet werden?

2 Lösung

- Asymmetrische, nicht-gleichberechtigte Kontrollflüsse:
  - Hauptprogramm (jederzeit unterbrechbar)
  - Signalbehandlung (nicht unterbrechbar, *Run-to-Completion*-Semantik)
- Meist Verwendung einseitiger Synchronisation:
  - Signal während der Ausführung des kritischen Abschnitts blockieren
    - nur kritische Signale blockieren
    - kritische Abschnitte so kurz wie möglich halten (Risiko: Verlust von Signalen)

3 Bibliotheksfunktionen

- 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
- Wird auf den selben Zustand zugegriffen, 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()`**

4 errno - gemeinsamer Zustand

- Die meisten Bibliotheksfunktionen teilen sich als gemeinsamen Zustand die **`errno`**-Variable
  - Änderungen der **`errno`** im Signalhandler können die Fehlerbehandlung im Hauptprogramm durcheinander bringen
  - Lösung: Kontext-Sicherung
    - Beim Betreten der Signalhandler-Funktion die **`errno`** sichern und vor dem Verlassen wieder restaurieren

U3-2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {
    while (event == 0);
}
```

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

U3-2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

U3-2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {
    while (event == 0);
}
```

```
; Ohne Optimierungen
wait4event:
.L4:
    movl event, %eax
    testl %eax, %eax
    je .L4
    ret
```

```
; Mit Optimierungen
wait4event:
    movl event, %eax
    testl %eax, %eax
    je .L7
    rep
    ret
.L7:
    jmp .L7
```

U3-2 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. Geräteregister)
- Zugriffe auf volatile-Variablen werden vom Compiler nicht optimiert

U3-2 Nebenläufiger Zugriff auf Variablen

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {
    while (event == 0);
}
```

- Erzwingt erneutes Laden von `event` in jedem Schleifendurchlauf

U3-3 Passives Warten auf ein Signal

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {

    while (event == 0) {

        SUSPEND();

    }

}
```

- Nebenläufigkeitsproblem?

U3-3 Passives Warten auf ein Signal

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {
    BLOCK_SIGNAL();
    while (event == 0) {
        UNBLOCK_SIGNAL();
        SUSPEND();
        BLOCK_SIGNAL();
    }
    UNBLOCK_SIGNAL();
}
```

- ◆ Prüfen der Wartebedingung + Schlafenlegen ist ein kritischer Abschnitt!

- Nebenläufigkeitsproblem (Lost-Wakeup-Problem) gelöst?

U3-3 Passives Warten auf ein Signal

```
static volatile int event = 0;

static void sigHandler() {
    event = 1;
}

void wait4event(void) {
    BLOCK_SIGNAL();
    while (event == 0) {
        UNBLOCK_SIGNAL();
        SUSPEND();
        BLOCK_SIGNAL();
    }
    UNBLOCK_SIGNAL();
}
```

- Deblockieren und Schlafenlegen müssen atomar erfolgen

- `sigsuspend(2)` gewährleistet dies

U3-4 Nachtrag zur Signalbehandlungsschnittstelle

1 Ändern der prozessweiten Signal-Maske

- Prozessweite Signal-Maske enthält die aktuell blockierten Signale

```
int sigprocmask(int how,              // Verknuepfung der Masken
                const sigset_t *set,  // Neue Maske
                sigset_t *oset);      // Alte Maske (Ausgabe)
```

- Modus (**how**):
  - **SIG_BLOCK**: setzt Vereinigungsmenge übergebener und alter Maske
  - **SIG_SETMASK**: setzt übergebene Maske
  - **SIG_UNBLOCK**: setzt Schnittmenge inverser übergebener und alter Maske

- Beispiel: Blockieren von SIGUSR1 zusätzlich zu bereits blockierten Signalen

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

2 Passiv auf Signale warten

- 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 den Prozess
  - Ein Signal, das nicht in der Maske enthalten ist, führt zur Ausführung der vorher festgelegten Signalbehandlung
  - **`sigsuspend`** kehrt nach Ende der Signalbehandlung mit Fehler **`EINTR`** zurück und restauriert gleichzeitig die ursprüngliche Signal-Maske

U3-5 Duplizieren von Filedeskriptoren

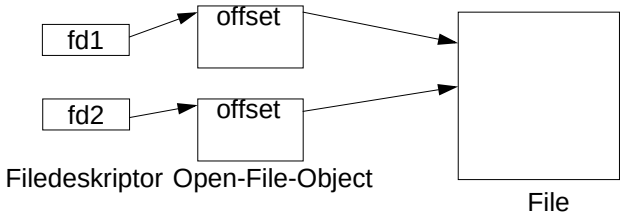
- Ziel: geöffnete Datei soll als stdout/stdin verwendet werden
- **`newfd = dup(fd)`**: Dupliziert Filedeskriptor **`fd`**, d. h. Lesen/Schreiben auf **`newfd`** ist wie Lesen/Schreiben auf **`fd`**
- **`dup2(fd, newfd)`**: Dupliziert Filedeskriptor **`fd`** in anderen Filedeskriptor (**`newfd`**), falls **`newfd`** schon geöffnet ist, wird **`newfd`** erst geschlossen
- 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
```

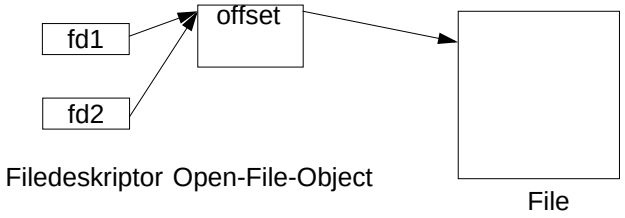
- Erinnerung: offene Filedeskriptoren werden bei **`fork(2)`** und **`exec(2)`** vererbt

U3-5 Duplizieren von Filedeskriptoren

- erneutes Öffnen einer Datei



- bei dup werden FD dupliziert, aber Files werden nicht neu geöffnet!



U3-6 Nachtrag zu wait/waitpid

- **`pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options)`**
  - kehrt optional auch zurück, wenn ein Kind ...
    - ... 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

U3-7 wait/waitpid und SIGCHLD

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

U3-8 Ziele der Aufgabe 3: josh

- Signale unter UNIX bilden die Konzepte *Trap* und *Interrupt* für die Interaktion zwischen Betriebssystem und Prozessen nach
  - praktischer Umgang mit diesen Konzepten
- Erkennen von Nebenläufigkeitsproblemen
- Beheben der Nebenläufigkeitsprobleme durch geeignete Koordinierungsmaßnahmen