Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü2 – IPC mit Sockets, Signale

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 13 – 02. bis 08. Mai 2013

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS13/V_SP2

Agenda

22-ServerSockets_handout

Agenda

IPC-Schnittstelle: Server

- **Ausgangssituation:** Socket wurde bereits erstellt (`socket(2)`) und an einen Namen gebunden (`bind(2)`)
- Verbindungsannahme vorbereiten mit `listen(2)`:

```
int listen(int sockfd, int backlog);
```

  - `backlog`: Unverbindliche Größe der Warteschlange, in der alle eingehenden Verbindungswünsche zwischengepuffert werden
    - Bei voller Warteschlange werden Verbindungsanfragen zurückgewiesen
    - Maximal mögliche Größe: `SOMAXCONN`

IPC-Schnittstelle: Server

- Verbindung annehmen mit `accept(2)`:

```
int accept(int sockfd, struct sockaddr *addr, socklen_t *addrlen);
```

  - `addr`, `addrlen`: Ausgabeparameter zum Ermitteln der Adresse des Clients
    - Bei Desinteresse zweimal `NULL` übergeben
- Entnimmt die vorderste Verbindungsanfrage aus der Warteschlange
  - Blockiert bei leerer Warteschlange
- Erzeugt einen neuen Socket und liefert ihn als Rückgabewert
  - Kommunikation mit dem Client über diesen neuen Socket
  - Annahme weiterer Verbindungen über den ursprünglichen Socket

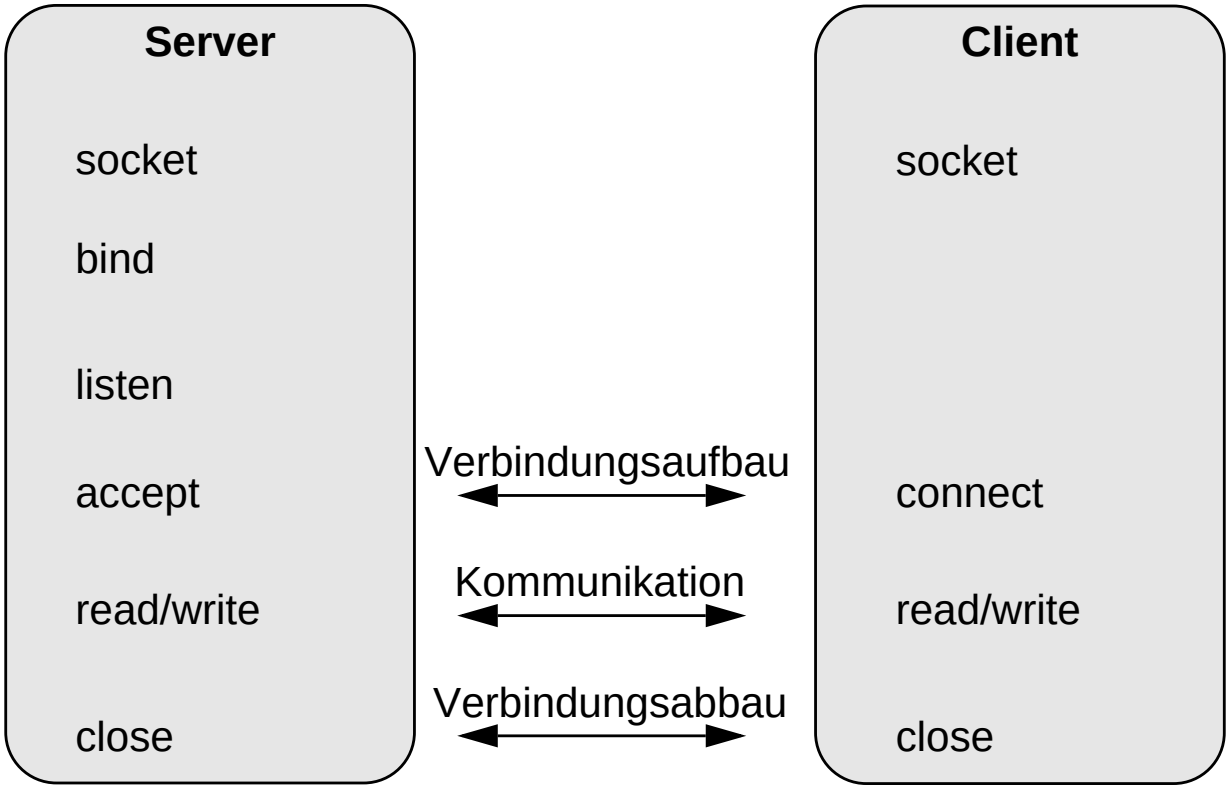
IPC-Schnittstelle: Server

- Nach Beendigung des Server-Prozesses erlaubt das Betriebssystem kein sofortiges `bind(2)` an den selben Port
  - Erst nach Timeout erneut möglich
  - Grund: es könnten sich noch Datenpakete für den alten Prozess auf der Leitung befinden
- Testen und Debuggen eines Server-Programms dadurch stark erschwert
- Lösungsmöglichkeiten:

1. Bei jedem Start einen anderen Port verwenden
2. Sofortige Wiederverwendung des Ports forcieren:

```
int sock = socket(...);
...
int flag = 1;
setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, &flag, sizeof(flag));
...
bind(sock, ...);
```

TCP/IP-Sockets: Zusammenfassung



Beispiel: einfacher Echo-Server

! Fehlerabfragen nicht vergessen

```
int listenSock = socket(PF_INET6, SOCK_STREAM, 0);

struct sockaddr_in6 name = {
    .sin6_family = AF_INET6,
    .sin6_port   = htons(1112),
    .sin6_addr   = in6addr_any
};
bind(listenSock, (struct sockaddr *) &name, sizeof(name));

listen(listenSock, SOMAXCONN);

for (;;) {
    int clientSock = accept(listenSock, NULL, NULL);
    char buf[1024];
    ssize_t n;
    while ((n = read(clientSock, buf, sizeof(buf))) > 0) {
        write(clientSock, buf, n);
    }
    close(clientSock);
}
```

Beispiel: einfacher Echo-Server

```
int clientSock;
while ((clientSock = accept(listenSock, NULL, NULL)) != -1) {
    char buf[1024];
    ssize_t n;
    while ((n = read(clientSock, buf, sizeof(buf))) > 0) {
        write(clientSock, buf, n);
    }
    close(clientSock);
}
```

- Limitierungen:
  - Neue eingehende Verbindung kann erst nach vollständiger Abarbeitung der vorherigen Anfrage angenommen werden
  - Monopolisierung des Dienstes möglich (*Denial of Service*)!
- Mögliche Ansätze zur Abhilfe:
  1. Mehrere Prozesse
     - Anfrage wird durch Kindprozess bearbeitet
  2. Mehrere Threads
     - Anfrage wird durch einen Thread im gleichen Prozess bearbeitet

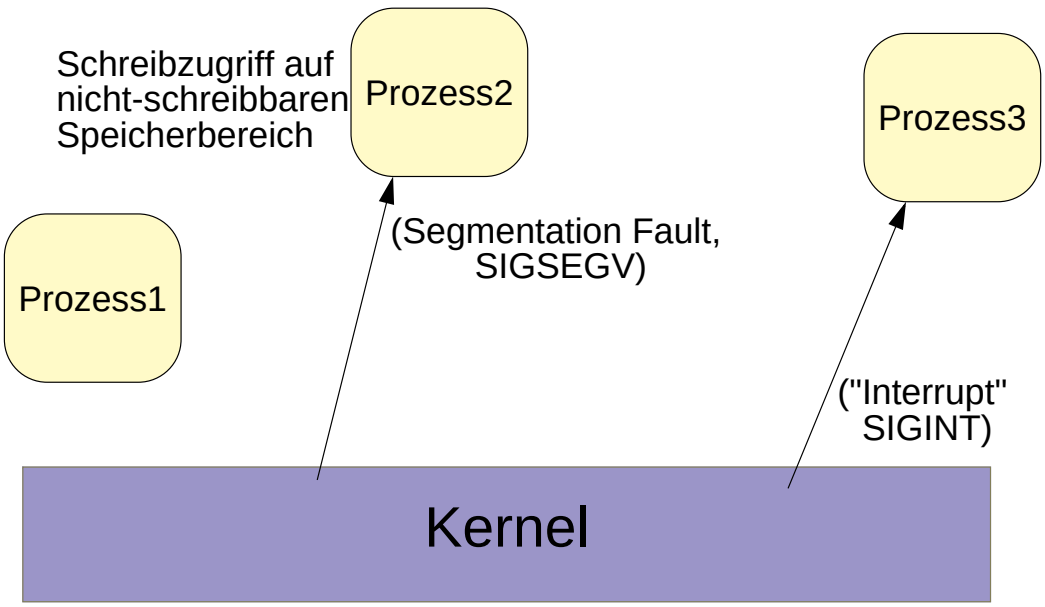
Agenda

UNIX-Signale

- Essenzielles Betriebssystemkonzept: synchrone/asynchrone Programmunterbrechungen (*Traps* bzw. *Interrupts*)
  - Zur Signalisierung von Ereignissen
  - Abwicklung zwischen Hardware und Betriebssystem
  - Transparent für die Anwendung
- **UNIX-Signale**: Nachbildung des Konzepts auf Anwendungsebene
  - Abwicklung zwischen Betriebssystem und Anwendung
  - Unabhängig von der Hardware

UNIX-Signale

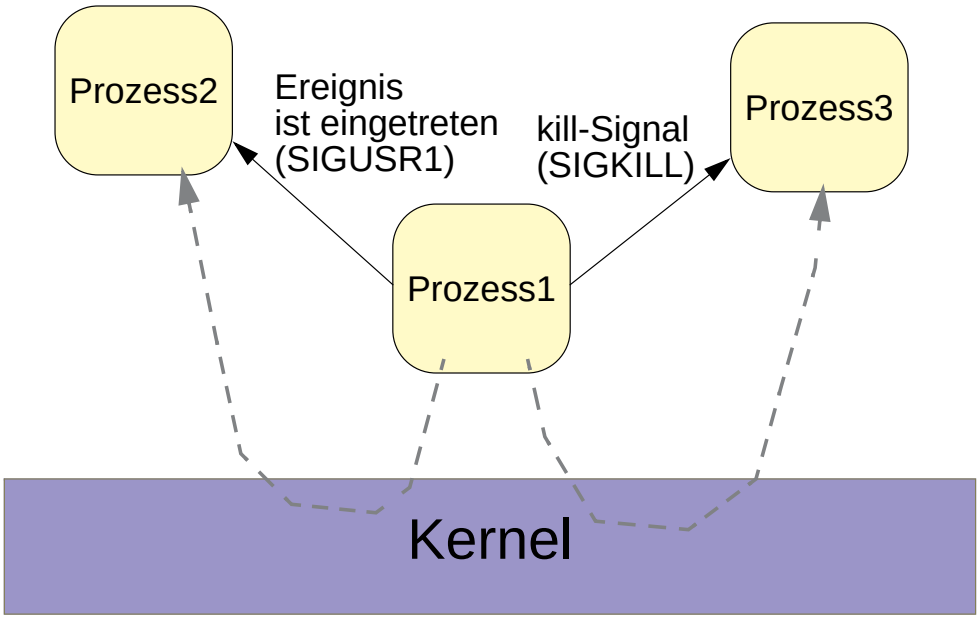
- **Anwendungsfall 1:** Signalisierungen durch den Betriebssystemkern



- Synchrone Signale: unmittelbar durch Aktivität des Prozesses ausgelöst
- Asynchrone Signale: „von außen“ ausgelöst

UNIX-Signale

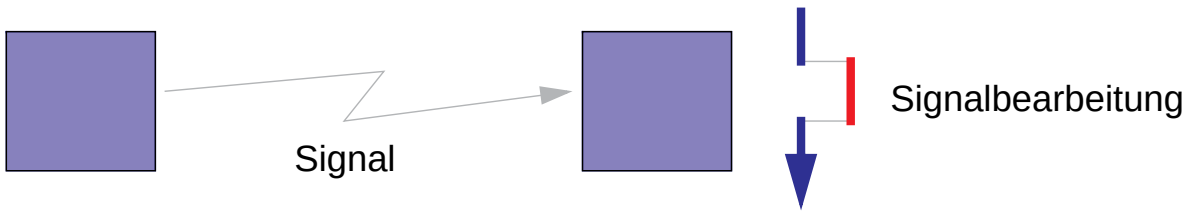
- **Anwendungsfall 2:** primitive „Kommunikation“ zwischen Prozessen



  - Asynchron zum eigentlichen Programmablauf

Reaktion des Prozesses

- *Ign*
  - Ignorieren des Signals
- *Core*
  - Erzeugen eines Core-Dumps (Speicherabbild + Registerkontext) und Beenden des Prozesses
- *Term*
  - Beenden des Prozesses, ohne einen Core-Dump zu erzeugen
  - Standardreaktion für die meisten Signale
- Signal-Behandlungsfunktion
  - Aufruf einer vorher festgelegten Funktion, danach Fortsetzen des Prozesses



Gängige Signalnummern (mit Standardverhalten)

`SIGINT`	*Term*	„Interrupt“; (Shell: Ctrl-C)
`SIGABRT`	*Core*	Abort-Signal; entsteht z. B. durch Aufruf von `abort(3)`
`SIGFPE`	*Core*	Floating-Point Exception (Division durch 0, Überlauf, ...)
`SIGKILL`	*Term*	Beendet den Prozess; nicht abfangbar
`SIGSEGV`	*Core*	Segmentation Violation; illegaler Speicherzugriff
`SIGPIPE`	*Term*	Schreiben auf Pipe oder Socket, nachdem die Gegenseite geschlossen wurde
`SIGTERM`	*Term*	Standardsignal von `kill(1)`
`SIGCHLD`	*Ign*	Status eines Kindprozesses hat sich geändert

Agenda

Signalbehandlung einrichten

- Prototyp:

```
#include <signal.h>

int sigaction(int signum, const struct sigaction *act,
              struct sigaction *oldact);
```

  - `signum`: Signalnummer
  - `act`: Neue Behandlung für dieses Signal
  - `oldact`: Bisherige Behandlung dieses Signals (Ausgabeparameter)

- Die eingerichtete Behandlung bleibt so lange aktiv, bis eine neue mit `sigaction()` installiert wird

- `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void     (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t   sa_mask;          // Blockierte Signale
    int        sa_flags;         // Optionen
};
```

Signalbehandlung einrichten: `sa_handler`

- `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void     (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t   sa_mask;          // Blockierte Signale
    int        sa_flags;         // Optionen
};
```

- Über `sa_handler` kann die Signalbehandlung eingestellt werden:
  - `SIG_IGN`: Signal ignorieren
  - `SIG_DFL`: Standard-Signalbehandlung einstellen
  - *Funktionsadresse*: Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen

Signalbehandlung einrichten: `sa_mask`

- `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void     (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t   sa_mask;          // Blockierte Signale
    int        sa_flags;         // Optionen
};
```

- Während einer Signalbehandlung ist das auslösende Signal automatisch blockiert
  - Pro Signalnummer wird maximal ein Ereignis zwischengespeichert
  - Mit `sa_mask` kann man **weitere** Signale blockieren
- Hilfsfunktionen zum Auslesen und Modifizieren einer Signal-Maske:
  - `sigaddset(3)`: Bestimmtes Signal zur Maske hinzufügen
  - `sigdelset(3)`: Bestimmtes Signal aus Maske entfernen
  - `sigemptyset(3)`: Alle Signale aus Maske entfernen
  - `sigfillset(3)`: Alle Signale in Maske aufnehmen
  - `sigismember(3)`: Abfrage, ob bestimmtes Signal in Maske enthalten ist

Signalbehandlung einrichten: `sa_flags`

- `sigaction`-Struktur:

```
struct sigaction {
    void     (*sa_handler)(int); // Behandlungsfunktion
    sigset_t   sa_mask;          // Blockierte Signale
    int        sa_flags;         // Optionen
};
```

- Beeinflussung des Verhaltens bei Signalempfang durch `sa_flags`:
  - `SA_NOCLDSTOP`: `SIGCHLD` wird nur zugestellt, wenn ein Kindprozess terminiert, nicht wenn er gestoppt wird
  - `SA_RESTART`: durch das Signal unterbrochene Systemaufrufe werden automatisch neu aufgesetzt (siehe nächste Folie)
- Weitere Flags siehe `sigaction(2)`

Unterbrechen von Systemaufrufen

- Signalbehandlung muss im Benutzerkontext durchgeführt werden

? Was geschieht, wenn ein Prozess ein Signal erhält, während er sich in einem Systemaufruf befindet?

- Nicht-blockierender Systemaufruf:
  - Signalbehandlung wird durchgeführt, sobald der Kontrollfluss aus dem Kern zurückkehrt
- Blockierender Systemaufruf:
  - **Problem:** Die Blockade kann beliebig lang dauern, z. B. beim Warten auf eingehende Verbindungen mit `accept()`
    - Die Signalbehandlung indefinit hinauszuzögern, ist keine gute Idee
  - **Lösung:** Systemaufruf wird abgebrochen und kehrt mit `errno = EINTR` zurück, Signal wird sofort behandelt
  - **Vereinfachung:** Setzt man das Flag `SA_RESTART`, kehrt der Systemaufruf nicht mit Fehler zurück, sondern wird nach der Signalbehandlung automatisch wiederholt

Signalbehandlung einrichten: Beispiel

```c
#include <signal.h>
#include <stdio.h>

static void handleSIGPIPE(int sig) {
    ...
}

int main(void) {

    struct sigaction action;
    action.sa_handler = handleSIGPIPE;
    sigemptyset(&action.sa_mask);
    action.sa_flags = SA_RESTART;
    sigaction(SIGPIPE, &action, NULL);

    ...
}
```

Zustellen von Signalen

- Systemaufruf `kill(2)`:

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

- Shell-Kommando `kill(1)`
  - z. B. `kill -USR1 <pid>`

Agenda

Zombies einsammeln mit Hilfe von Signalen

- Stirbt ein Kindprozess, so erhält der Vater das Signal `SIGCHLD` vom Kernel
  - Damit ist sofortiges Aufsammeln von Zombieprozessen möglich
- **Variante 1:** Aufruf von `waitpid(2)` im Signalhandler
  - Aufruf in Schleife notwendig – während der Signalbehandlung könnten weitere Kindprozesse sterben
- **Variante 2:** Signalhandler für `SIGCHLD` auf `SIG_DFL` setzen und in den `sa_flags` den Wert `SA_NOCLDWAIT` setzen
- **Variante 3:** Signalhandler für `SIGCHLD` auf `SIG_IGN` setzen

Agenda

Dynamische Makros

- `$@` Name des Targets (hier: `test`)

```
test: test.c
    $(CC) -o $@ test.c
```

- `$*` Basisname des Targets (ohne Dateiendung, hier `test`)

```
test.o: test.c test.h
    $(CC) -c $*.c
```

- `$<` Name der ersten Abhängigkeit

```
test.o: test.c test.h
    $(CC) -c $<
```

- `$^` Mit Leerzeichen getrennte Liste aller Abhängigkeiten

```
test: test.o func.o
    $(CC) -o $@ $^
```

Suffix-Regeln

- Allgemeine Regel zur Erzeugung einer Datei mit einer bestimmten Endung aus einer gleichnamigen Datei mit einer anderen Endung.
- Beispiel: Erzeugung von .o-Dateien aus .c-Dateien

```
%.o: %.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c $<
```

- Explizite Regeln überschreiben die Suffix-Regeln

```
test.o: test.c
    $(CC) $(CFLAGS) -DXYZ -c $<
```

- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben

```
test.o: test.c test.h func.h
```

  - die Suffix-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen

Agenda

Aufgabe 2: `sister`

- Einfacher HTTP-Webserver zum Ausliefern statischer HTML-Seiten innerhalb eines Verzeichnisbaums (*WWW-Pfad*)
- Abarbeitung der Anfragen erfolgt in eigenem Prozess (`fork(2)`)
- Modularer Aufbau (vgl. SP1#SS12 A/II 7)
  - Wiederverwendung einzelner Module in Aufgabe 5: `mother`

- **Wiederholung:** Ein Modul besteht aus ...
  - Öffentlicher Schnittstelle (Header-Datei)
  - Konkreter Implementierung dieser Schnittstelle (C-Datei)
- Durch diese Trennung ist es möglich die Implementierung auszutauschen, ohne die Schnittstelle zu verändern
  - Module, die die öffentliche Schnittstelle verwenden, müssen nicht angepasst werden, wenn deren konkrete Implementierung geändert wird

Aufgabe 2: `sister`

Hauptmodul (`sister.c`)

- Implementiert die `main()`-Funktion:
  - Initialisierung des Verbindungs- und `cmdline`-Moduls
  - Vorbereiten der Interprozesskommunikation
  - Annehmen von Verbindungen
  - Übergabe angenommener Verbindungen an das Verbindungsmodul

Verbindungsmodul (`connection-fork.c`)

- Implementiert die Schnittstelle aus dem Header `connection.h`:
  - Initialisierung des Anfragemoduls
  - Erstellen eines Kindprozesses zur Abarbeitung der Anfrage
    - Anmerkung: Entstandene Zombie-Prozesse müssen beseitigt werden!
  - Weitergabe der Verbindung an das Anfragemodul

Aufgabe 2: `sister`

Anfragemodul (`request-http.c`)

- Implementiert die Schnittstelle aus dem Header `request.h`:
  - Einlesen und Auswerten der Anfragezeile
  - Suchen der angeforderten Datei im WWW-Pfad
    - ! **Vorsicht**: Anfragen auf Dateien jenseits des WWW-Pfades stellen ein Sicherheitsrisiko dar. Sie müssen erkannt und abgelehnt werden!
  - Ausliefern der Datei

Hilfsmodule (`cmdline`, i4httools)

- `cmdline`: Schnittstelle zum Parsen der Befehlszeilenargumente
- `i4httools`: Hilfsfunktionen zum Implementieren eines HTTP-Servers

Agenda

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung“

- Programm schreiben, welches durch `Strg-c` nicht beendet werden kann