

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Peter Wägemann, Heiko Janker, Moritz Strübe, Rainer Müller
(Lehrstuhl Informatik 4)



Wintersemester 2014/2015



Prozesse

System-Schnittstelle

Funktionsweise einer Shell

Einlesen von der Standard-Eingabe

Stringmanipulation mit strtok(3)

Testprogramme zur tbsh

Signale

Allgemein

Signale zustellen

Signale maskieren

Signale behandeln

Auf Signale warten

Signale vs. Interrupts



Prozesse

System-Schnittstelle

Funktionsweise einer Shell

Einlesen von der Standard-Eingabe

Stringmanipulation mit strtok(3)

Testprogramme zur tbsh

Signale

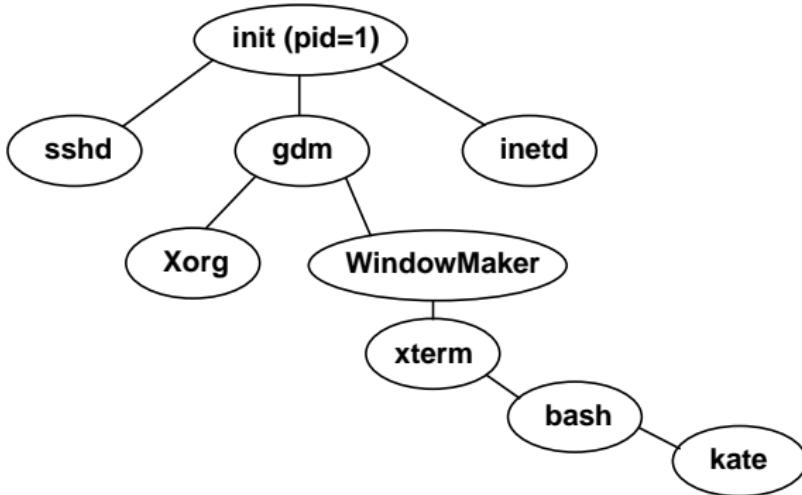


- Prozesse sind eine Ausführumgebung für Programme
 - haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
 - führen ein Programm aus
 - Schema-Instanz-Relation
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft, z.B.
 - Speicher
 - Adressraum
 - offene Dateien



Prozesshierarchie

- Zwischen Prozessen bestehen Vater-Kind-Beziehungen
 - der erste Prozess wird direkt vom Systemkern gestartet (z.B. *init*)
 - es entsteht ein Baum von Prozessen bzw. eine Prozesshierarchie



- Beispiel: **kate** ist Kind von **bash**, **bash** wiederum Kinder von **xterm**
- Prozesshierarchie visualisieren: `pstree`



Kindprozess erzeugen – fork(2)

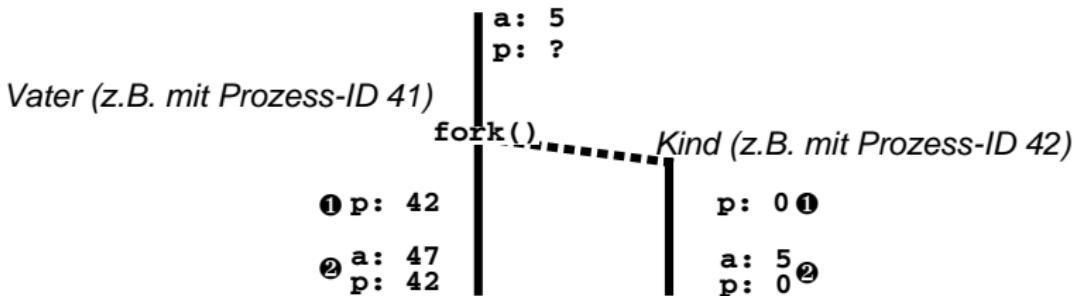
```
1 pid_t fork(void);
```

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- Exakte Kopie des Vaters:
 - Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
 - Filedeskriptoren (geöffnete Dateien)
 - **Ausnahme: Prozess-ID**
- Kind startet Ausführung hinter dem `fork()` mit geerbten Zustand
 - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von `fork(2)`) entscheiden, ob es sich um Vater- oder Kindprozess handelt
 - Rückgabewerte von `fork()`:
 - PID = 0: Kind
 - PID > 0: Vater
 - PID < 0: Fehler beim Forken



Kindprozess erzeugen – fork(2)

```
1 int a=5;
2 pid_t p = fork(); // (1)
3 a += p;           // (2)
4 switch(p) {
5     case -1: // Fehler - kein Kind
6         ...
7     case 0: // Kind
8         ...
9     default: // Vater
10        ...
11 }
```



Programm ausführen – exec(3)

- Mit Angabe des vollen Pfads der Programm-Datei in path

```
1 int execl(const char *path, const char *arg0, ... /*, NULL */);
2 int execv(const char *path, char *const argv[]);
```

- Zum Suchen von file wird die Umgebungsvariable PATH verwendet

```
1 int execlp (const char *file, const char *arg0, ... /*, NULL */);
2 int execvp (const char *file, char *const argv[]);
```

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess
 - aktuell ausgeführtes Programm wird ersetzt (Text-, Daten-, Stacksegment)
 - erhalten bleiben: Filedeskriptoren (geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...
- Aufrufparameter für exec(3)
 - Pfad bzw. Dateiname des neuen Programms
 - Argumente für die main-Funktion



Beispiele zu exec(3)

- Mit absolutem Pfad und einer statischen Liste

```
1 execl("/bin/cp", "/bin/cp", "x.txt", "y.txt", NULL);
```

- Mit Suche in PATH und einer statischen Liste

```
1 execlp("cp", "cp", "x.txt", "y.txt", NULL);
```

- Mit Suche in PATH und einer veränderbar großen Liste

```
1 char *args[4];
2 args[0] = "cp";
3 args[1] = "x.txt";
4 args[2] = "y.txt";
5 args[3] = NULL;
6 execvp(args[0], args);
```

- Anmerkungen:

- alle Varianten von exec(3) erwarten als letzten Eintrag in der Argumentenliste einen NULL-Zeiger
- alle Varianten von exec(3) kehren **nur im Fehlerfall** zurück



PATH Umgebungsvariable

- Enthält Pfade zu ausführbaren Programmen
- Ausführen von `echo`:

```
1 $ echo "Foo"  
2 Foo
```

- Aber Ausführen von `cworld`:

```
1 $ ./cworld  
2 Der Inhalt von pH lautet: "Hello World". pH zeigt auf 0x400820; ↴  
   ↴ pCH zeigt auf 0x611010;
```

```
1 $ echo $PATH  
2 /proj/i4/bin:/bin:/usr/bin:/usr/bin/X11:/usr/sbin:/usr/local/bin ↴  
   ↴ :/sbin:/local/bin  
3 $ which -a echo  
4 /bin/echo  
5 /local/bin/echo
```

- PATH Variable verändern:

```
1 export PATH=/path/to/executables:$PATH
```



Prozess beenden – exit(3)

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

- Beendet aktuellen Prozess mit angegebenem Exitstatus
- Gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess belegt hat, z.B.
 - Speicher
 - Filedeskriptoren (schließt alle offenen Dateien)
 - Kerndaten, die für die Prozessverwaltung verwendet wurden
- Prozess geht in den *Zombie*-Zustand über
 - ermöglicht es dem Vater auf den Tod des Kindes zu reagieren
 - Zombie-Prozesse belegen Ressourcen und sollten zeitnah beseitigt werden!
 - ist der Vater schon vor dem Kind terminiert, so wird der Zombie an den Prozess mit PID 1 (z.B. init) weitergereicht, welcher diesen sofort beseitigt



Auf Kindprozess warten – wait(2)

- Warten auf die Beendigung von Kind-Prozessen (Rückgabe: PID)

```
1 pid_t wait(int *statusbits);
```

- Beispiel

```
1 int main(int argc, char *argv[]) {
2     pid_t pid;
3     pid = fork();
4     if (pid > 0) {           /* Vater */
5         int stbits;
6         wait(&stbits);      /* Fehlerbehandlung nicht vergessen! */
7         printf("Kindstatus: %x", stbits); /* nackte Status-Bits */
8     } else if (pid == 0) { /* Kind */
9         execl("/bin/cp", "/bin/cp", "x.txt", "y.txt", NULL);
10        /* diese Stelle wird nur im Fehlerfall erreicht */
11        perror("exec /bin/cp"); exit(EXIT_FAILURE);
12    } else {
13        /* pid == -1 --> Fehler bei fork */
14    }
15 }
```



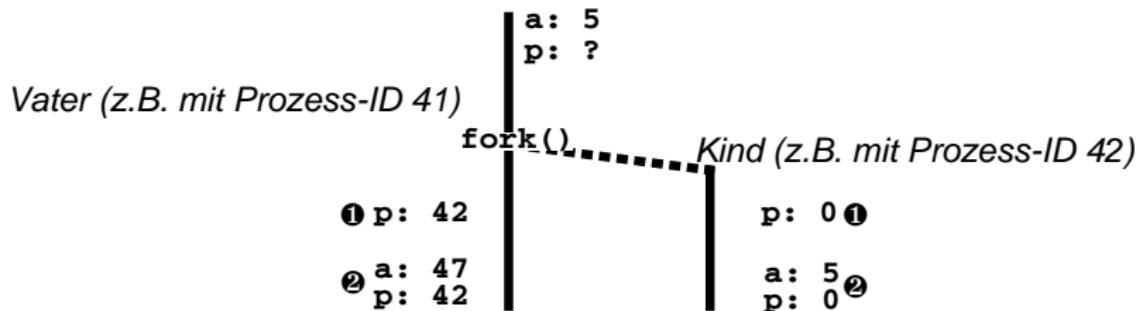
Auf Kindprozess warten – wait(2)

- `wait(2)` blockiert, bis ein Kind-Prozess terminiert wird
- PID dieses Kind-Prozesses wird als Rückgabewert geliefert
- Als Parameter kann ein Zeiger auf einen `int`-Wert mitgegeben werden, in dem unter anderem der Exitstatus des Kind-Prozesses abgelegt wird
- In den Status-Bits wird eingetragen: „was ist Kind zugestoßen“
- Details können über Makros abgefragt werden:
 - ⇒ Prozess mit `exit(3)` terminiert: `WIFEXITED(stbits)`
 - Exitstatus: `WEXITSTATUS(stbits)`
 - ⇒ Prozess durch Signal abgebrochen: `WIFSIGNALED(stbits)`
 - Nummer des Signals: `WTERMSIG(stbits)`
- Weitere Makros siehe: `man 2 wait`



Funktionsweise einer Shell

- Auf Eingaben vom Benutzer warten
- Neuen Prozess erzeugen
- Kind: Startet Programm
- Vater: Wartet auf die Beendigung des Kindes
- Ausgabe der Kindzustands



Einlesen von der Standard-Eingabe mit fgets(3)

```
1 char *fgets(char *s, int size, FILE *stream);
```

- `fgets(3)` liest eine Zeile vom übergebenen Eingabe-Kanal und schreibt diese in einen vorher angelegten Speicherbereich
- Es werden maximal `size-1` Zeichen gelesen und mit '`\0`' abgeschlossen
- Das '`\n`' am Ende der Zeile wird auch gespeichert
- Rückgabewert ist der Zeiger auf den übergebenen Speicherbereich; oder `NULL` am Ende der Eingabe oder im Fehlerfall
 - Unterscheidung zwischen End-Of-File und Fehler muss mittels `feof(3)` oder `ferror(3)` erfolgen
- Beispiel

```
1 char buf[23];
2 while (fgets(buf, 23, stdin) != NULL) { /* Fehlerüberprüfung! */
3     /* buf enthält die eingelesene Zeile */
4 }
```



Stringmanipulation mit strtok(3)

```
1 char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- `strtok(3)` teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinander folgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
 - `str` ist im ersten Aufruf ein Zeiger auf den zu teilenden String, in allen Folgeaufrufen `NULL`
 - `delim` ist ein String, der alle Trennzeichen enthält, z.B. " \t\n"
- Bei jedem Aufruf wird das einem Token folgende Trennzeichen durch '\0' ersetzt
- Ist das Ende des Strings erreicht, gibt `strtok(3)` `NULL` zurück



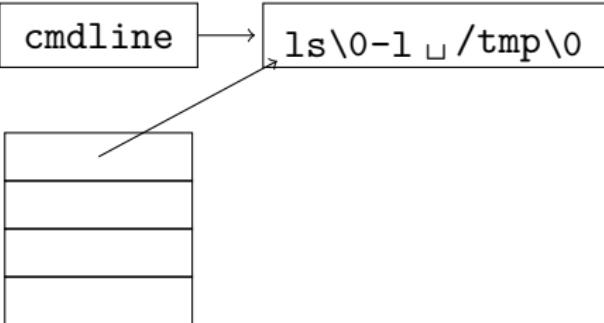
Stringmanipulation mit strtok(3)

cmdline → ls -l /tmp\0

```
1 a[0] = strtok(cmdline, " ");
2 a[1] = strtok(NULL, " ");
3 a[2] = strtok(NULL, " ");
4 a[3] = strtok(NULL, " ");
```



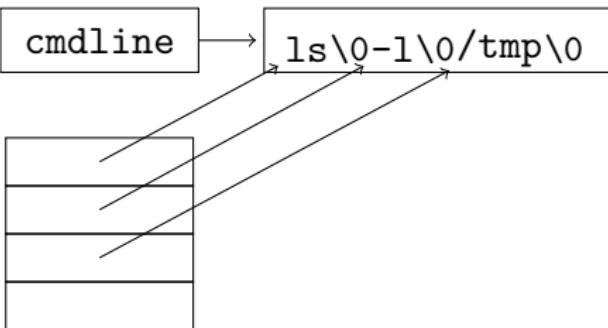
Stringmanipulation mit strtok(3)



```
1 a[0] = strtok(cmdline, " ");
2 a[1] = strtok(NULL, " ");
3 a[2] = strtok(NULL, " ");
4 a[3] = strtok(NULL, " ");
```



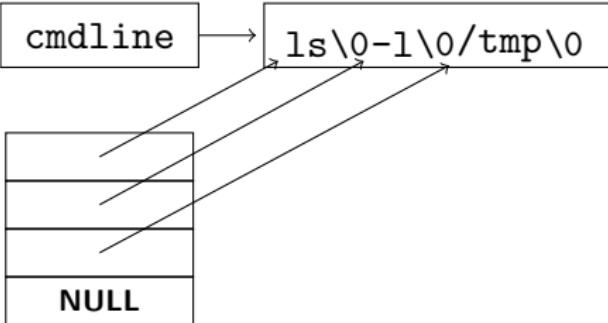
Stringmanipulation mit strtok(3)



```
1 a[0] = strtok(cmdline, " ");
2 a[1] = strtok(NULL, " ");
3 a[2] = strtok(NULL, " ");
4 a[3] = strtok(NULL, " ");
```



Stringmanipulation mit strtok(3)



```
1 a[0] = strtok(cmdline, " ");
2 a[1] = strtok(NULL, " ");
3 a[2] = strtok(NULL, " ");
4 a[3] = strtok(NULL, " ");
```



Testprogramme

- Unter /proj/i4spic/pub/aufgabe7

- spic-wait

```
1 /proj/i4spic/pub/aufgabe7/spic-wait
2 My PID: 20746
3 Try
4   kill 20746
5     to terminate without core dump (SIGTERM)
6   kill -QUIT 20746
7     to terminate with core dump (SIGQUIT)
```

- spic-exit

```
1 /proj/i4spic/pub/aufgabe7/spic-exit 12
2 Exiting with status 12
```



Prozesse

Signale

Allgemein

Signale zustellen

Signale maskieren

Signale behandeln

Auf Signale warten

Signale vs. Interrupts



- Vergleichbar mit Interrupts beim AVR
- Verwendung von Signalen
 - Ereignissignalisierung des Betriebssystemkerns an einen Prozess
 - Ereignissignalisierung zwischen Prozessen
- Zwei Arten von Signalen
 - synchrone Signale: durch Prozessaktivität ausgelöst (Trap / Falle)
⇒ Zugriff auf ungültigen Speicher, ungültiger Befehl
 - asynchrone Signale: “von außen“ ausgelöst (Interrupts / Unterbrechung)
⇒ Timer, Tastatureingabe



Reaktion auf Signale

- Ign
⇒ ignoriert Signal
- Term
⇒ beendet Prozess
- Core
⇒ erzeugt Core-Dump (Speicherabbild) und beendet Prozess
- Stop
⇒ hält Prozess an
- Cont
⇒ setzt einen angehaltenen Prozess fort
- Signal Handler
⇒ Aufruf einer Signalbehandlungsfunktion, danach Fortsetzung des Prozesses



Ausgewählte POSIX-Signale

- Das Standardverhalten bei den meisten Signalen ist die Terminierung des Prozesses, bei einigen Signalen mit Anlegen eines Core-Dumps
 - SIGALRM (Term): Timer abgelaufen (`alarm(2)`, `setitimer(2)`)
 - SIGCHLD (Ign): Statusänderung eines Kindprozesses
 - SIGINT (Term): Interrupt (Shell: `CTRL-C`)
 - SIGQUIT (Core): Quit (Shell: `CTRL-@`)
 - SIGKILL (nicht behandelbar): beendet den Prozess
 - SIGTERM (Term): Terminierung; Standardsignal für `kill(1)`
 - SIGSEGV (Core): Speicherschutzverletzung
 - SIGUSR1, SIGUSR2 (Term): Benutzerdefinierte Signale
- Siehe auch `signal(7)`



Signal zustellen

- Kommando kill(1) aus der Shell

```
1 kill -USR1 <pid>
```

- Parameter: Signalnummer oder Signal ohne "SIG"

- Systemaufruf kill(2)

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



Setzen der prozessweiten Signal-Maske

- Konfiguration mit Hilfe einer Variablen vom Typ `sigset_t`
- Der Aufbau dieser Variablen ist nicht festgeschrieben. Daher muss sie mit Hilfsfunktionen konfiguriert werden:
 - `sigemptyset(3)`: Alle Signale aus Maske entfernen
 - `sigfillset(3)`: Alle Signale in Maske aufnehmen
 - `sigaddset(3)`: Signal zur Maske hinzufügen
 - `sigdelset(3)`: Signal aus Maske entfernen
 - `sigismember(3)`: Abfrage, ob Signal in Maske enthalten ist



Setzen der prozessweiten Signal-Maske

■ Setzen einer Maske mit

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

- how: Operation
 - SIG_SETMASK: setzt set
 - SIG_BLOCK: blockiert zusätzlich die in set gesetzten Signale
 - SIG_UNBLOCK: deblockiert die in set gesetzten Signale
- set: Parameter für die Operation
- oset: Speicher für aktuell installierte Maske

■ Beispiel

```
1 sigset_t set;
2 sigemptyset(&set);
3 sigaddset(&set, SIGUSR1);
4 sigprocmask(SIG_BLOCK, &set, NULL); /* Blockiert SIGUSR1 */
```

■ Anwendung: z.B. kritische Abschnitte (vgl. cli(), sei())

!! Die prozessweite Signal-Maske wird über exec(3) vererbt !!



sigaction - Signalhandler

- Konfiguration mit Hilfe der Struktur sigaction

```
1 struct sigaction {  
2     void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */  
3     sigset_t sa_mask;      /* Signalmaske während der Behandlung ↴  
4     ↳ */  
5     int sa_flags;          /* Diverse Einstellungen */  
}
```

- Signalbehandlung kann über `sa_handler` konfiguriert werden:
 - `SIG_IGN`: Signal ignorieren
 - `SIG_DFL`: Default-Signalbehandlung einstellen
 - Funktionsadresse: Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen
Als Parameter wird die Signalnummer übergeben
- `SIG_IGN` und `SIG_DFL` werden über `exec(3)` vererbt, nicht aber eine Behandlungsfunktion (nicht möglich, warum?)



sigaction - Maske

- Konfiguration mit Hilfe der Struktur sigaction

```
1 struct sigaction {  
2     void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */  
3     sigset_t sa_mask;      /* Signalmaske während der Behandlung ↴  
4     ↵ */  
5     int sa_flags;          /* Diverse Einstellungen */  
}
```

- sa_mask wird während der Ausführung des Signalhandlers gesetzt
⇒ sigprocmask()



sigaction - Flags

- Konfiguration mit Hilfe der Struktur sigaction

```
1 struct sigaction {  
2     void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */  
3     sigset_t sa_mask;      /* Signalmaske während der Behandlung ↴  
4     ↴ */  
4     int sa_flags;          /* Diverse Einstellungen */  
5 }
```

- Mit sa_flags lässt sich das Verhalten beim Signalempfang beeinflussen
- bei uns gilt: sa_flags=SA_RESTART



Setzen der Signalbehandlung

■ Konfiguration mit Hilfe der Struktur sigaction

```
1 struct sigaction {
2     void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */
3     sigset_t sa_mask;        /* Signalmaske während der Behandlung ↴
4     ↴ */
5     int sa_flags;            /* Diverse Einstellungen */ }
```

■ Konfiguration Setzen

```
1 #include <signal.h>
2
3 int sigaction(int sig, const struct sigaction *act,
4               struct sigaction *oact);
```

- sig: Signalnummer
- act: Zu installierende Konfiguration
- oact: Speicher für die aktuell installierte Konfiguration



sigaction - Beispiel

■ sigaction

```
1 struct sigaction {  
2     void (*sa_handler)(int); /* Behandlungsfunktion */  
3     sigset_t sa_mask;      /* Signalmaske während der Behandlung ↴  
4     int sa_flags;          /* Diverse Einstellungen */  
5 }
```

■ Installieren eines Handlers für SIGUSR1

```
1 #include <signal.h>  
2  
3 void my_handler(int sig) {  
4     ...  
5 }  
6  
7 int main(int argc, char * argv[]){  
8     struct sigaction action;  
9     action.sa_handler = my_handler;  
10    sigemptyset(&action.sa_mask);  
11    action.sa_flags = SA_RESTART;  
12    sigaction(SIGUSR1, &action, NULL);  
13    ....
```



Warten auf Signale

- Problem: In einem kritischen Abschnitt auf ein Signal warten
 1. Signal deblockieren
 2. Passiv auf Signal warten (*schlafen legen*)
 3. Signal blockieren
 4. Kritischen Abschnitt bearbeiten
- Operationen müssen atomar am Stück ausgeführt werden!
⇒ gleiche Problematik wie bei den Stromsparmodi des AVR-Prozessors
- Sigsuspend

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

1. `sigsuspend(mask)` setzt `mask` als Signal-Maske
2. Der Prozess blockiert bis zum Eintreffen eines Signals
3. Der Signalhandler wird ausgeführt
4. `sigsuspend()` setzt die ursprüngliche Signal-Maske und kehrt zurück



POSIX-Signale vs. AVR Interrupts

■ Vergleich

	Interrupts	Signale
Behandlung installieren	ISR()-Makro	<code>sigaction(2)</code>
Auslösung	Hardware	Prozesse mit <code>kill()</code> Betriebssystem
Synchronisation	<code>cli()</code> , <code>sei()</code>	<code>sigprocmask(2)</code>
Warten auf Signale	<code>sei(); sleep_cpu()</code>	<code>sigsuspend(2)</code>

- Signale und Interrupts sind sehr ähnliche Konzepte auf unterschiedlichen Ebenen
- Viele Probleme treten in beiden Fällen auf und sind konzeptionell identisch zu lösen

