System-Programmierung 5: Prozess-Lebenszyklus

CC BY-SA, Thomas Amberg, FHNW
(Soweit nicht anders vermerkt)
Slides: tmb.gr/syspr-5

Überblick

Diese Lektion behandelt den *Prozess Lebenszyklus*.

Wie ein Child-Prozess aus einem Parent entsteht.

Ausführen von, und warten auf neue Programme.

Was im Speicher und mit offenen Files geschieht.

Prozess-Lebenszyklus

Mit *fork()* erstellt ein Prozess einen Child-Prozess:

```
pid_t fork(void); // PID bzw. 0, od. -1, errno
```

Mit *exit()* beendet sich ein (Child-)Prozess selbst:

```
void exit(int status); // status & 0377
```

Mit *wait()* wartet ein Parent auf Child-Prozesse:

```
pid_t wait(int *status); // PID od. -1, errno
```

execve() führt ein Programm aus: `int execve(…);`

Prozess kreieren mit *fork()*

Der *fork()* System Call erlaubt einem Prozess (*Parent*) einen neuen Prozess (*Child*) zu erzeugen. Dazu wird eine fast exakte Kopie des Parent-Prozesses gemacht:

```
pid_t fork(void); // Child PID bzw. 0, oder -1
```

Der Child-Prozess bekommt Kopien der Text-, Daten-, Heap- und Stack-Segmente des Parent-Prozesses.

Ein *fork()* führt zu einer Gabelung, Verzweigung.

Prozess beenden mit *exit()*

Die Library Funktion *exit()* beendet einen Prozess und gibt dessen Ressourcen — Speicher, File Deskriptoren, … — frei. Der Status kann mit *wait()* gelesen werden.

```
void exit(int status); // Child terminiert sich
```

Der C Standard definiert Konstanten für *status* Werte:

```
#define EXIT_SUCCESS 0 // siehe stdlib.h
#define EXIT_FAILURE -1 // bzw. != 0
```


Auf Child-Prozess warten mit *wait()*

Der *wait()* System Call suspendiert den Prozess, bis einer seiner Child-Prozesse *exit()* aufruft, und gibt die Child-Prozess PID sowie den Status von *exit()* zurück:

```
pid_t wait(int *status); // PID oder -1, errno
```

Auf Child-Prozesse warten, bis keiner mehr übrig ist:

```
while(wait(NULL) != -1) {} // -1 und ECHILD
if (errno != ECHILD) { … } // andere Fehler
```

Ablauf aus Prozess Sicht

```
A0: …
A1: int pid = fork();
A2: if (pid == 0) {
A3:   …
A4:   exit(0);
A5: } else {
A6:   … // parent
A7:   wait(&status);
A8: } // status = 0
```

```
A1: int pid = fork();
A2: if (pid == 0) {
A3:   … // child
A4:   exit(0);
```


Hands-on, 15': *fork()* fork.!c

Schreiben Sie ein Programm *my_fork.c*, das "forkt". Nutzen Sie die System Calls *fork()*, *exit()* und *wait()*.

Das Programm soll den folgenden Output ausgeben, mit konkreten Prozess IDs für *pid*, *pid_c* und *pid_p*:

```
I'm parent pid of child pid_c
I'm child pid of parent pid_p
```


Programm ausführen mit *exec()*

Der *exec()* System Call* lädt ein neues Programm in den Speicher des Prozesses. Dieser Call kommt nicht zurück. Der vorherige Programmtext wird verworfen. Daten-, Heap- & Stack-Segmente werden neu erstellt:

```
int execve(const char *filepath, // -1, errno
  char *const argv[], // letztes Element = NULL
  char *const envp[]); // letztes Elem. = NULL
```

*Es gibt Varianten von *exec()*, z.B. *execve()*, *execlp()*.

Ablauf aus Prozess Sicht

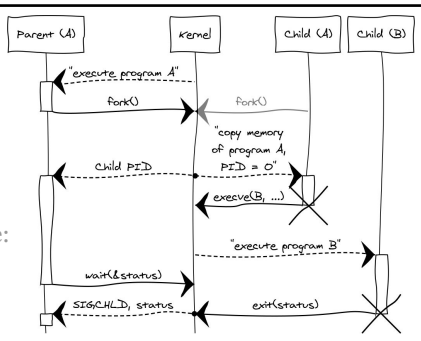
```
A0: … // program A
A1: int pid = fork();
A2: if (pid == 0) {
A3:   …
A4:   execve("./B",…);
A5: } else {
A6:   … // parent
A7:   wait(&status);
A8: } // status = 0
```

```
A1: int pid = fork();
A2: if (pid == 0) {
A3:   … // child
A4:   execve("./B",…);
B0: … // child, prog. B
B1: exit(0);
```


Ablauf

fork(),
exec(),
wait(),
exit().

Alternative:
$Child_A$ ruft
exit() auf.



Shell Kommando ausführen mit *system()*

Die *system()* Funktion kreiert einen Child-Prozess der Shell Kommandos einfach und bequem ausführt:

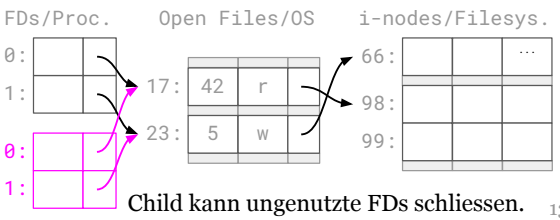
```
int system(const char *cmd); // z.B. "ls | wc"
```

Versteckt Details von *fork()*, *exec()*, *wait()* und *exit()*.

Fehler- und Signal-Handling werden übernommen.

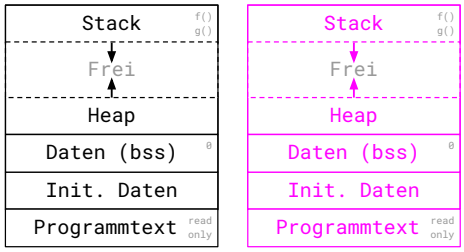
File Deskriptoren fork_file_sharing.c[TLPI]

File Deskriptoren werden bei *fork()* mit *dup()* kopiert:



Child kann ungenutzte FDs schliessen.

Speicher Layout nach *fork()*



Speicher Semantik von *fork()*

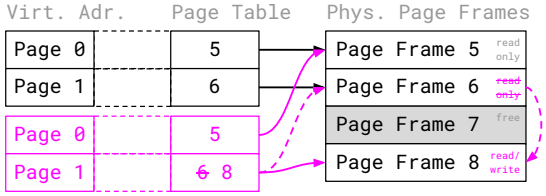
Virtuellen Speicher kopieren wäre verschwenderisch, denn auf einen *fork()* System Call folgt oft ein *exec()*.

Die Programmtext-Segmente von Parent und Child zeigen auf eine physische Page, die *read-only* ist.

Für Daten-, Heap- und Stack-Segmente des Parents verwendet der Kernel *copy-on-write* Semantik: Erst sind Pages *read-only*, ein Trap bei *write* kopiert sie.

Prozess Page Table *copy-on-write*

Bei *copy-on-write* wird erst beim *write()* kopiert, die physischen Page Frames werden dann schreibbar:



Funktion in *fork()* wrappen footprint.c[TLPI]

Wenn *f()* Speicher verliert, oder Heap fragmentiert:

```
int pid = fork(); // Child Start, Heap kopiert
if (pid == 0) {
  int status = f(); // problematische Funktion
  exit(status);
} // Child Ende, Ressourcen werden freigegeben
wait(&status); // Wartet auf exit() des Childs
if (status == -1) { … } // Resultat von f()
```


Race Conditions fork_whos_on_first.c[TLPI]

Nach *fork()* können Parent oder Child zuerst laufen* und auf Mehrprozessorsystemen auch beide parallel:

```
$ ./fork_whos_on_first 10000 > fork.txt
$ ./fork_whos_on_first.count.awk fork.txt
```

Robuster Code muss mit jeder Reihenfolge zurecht kommen, um Race Conditions auszuschliessen.

*Hier eine Email von Linus Torvalds zum Thema.

Synchronisation fork_sig_sync.c[TLPI]

Signale helfen, Race Conditions zu verhindern, wenn einer der Prozesse auf den anderen warten muss, z.B. wird hier *SIGUSR1* verschickt, vom Child zum Parent.

Der *sigaction()* Call setzt einen *handler*, wie *signal()*, weil *SIGUSR1* geblockt wurde, bleibt es *pending*.

Mit *sigsuspend()* wird das Signal *SIGUSR1* entblockt und atomar auf Signale gewartet, wie bei *pause()*.

Prozess beenden mit *_exit()*

Ein Prozess terminiert *abnormal*, durch ein Signal, oder *normal*, durch Aufruf des *_exit()* System Calls:
`void _exit(int status);`

Das *status* Argument kann via *wait()* gelesen werden, wobei nur die unteren 8 Bits des *int* verfügbar sind.

Ein *status* Wert `!= 0` bedeutet, es gab einen Fehler. Meistens wird der *exit()* Library Call verwendet.

Prozess beenden mit *exit()*

Der *exit()* Library Call macht mehr, als nur *_exit()*:
`void exit(int status);`

Exit Handler, registriert mit *atexit()* und *on_exit()*, werden in umgekehrter Reihenfolge aufgerufen.

Die *stdio* Stream Buffer werden mit *fflush()* geleert.

Der *_exit()* System Call wird mit *status* aufgerufen.

Prozess beenden in *main()*

Ein Prozess kann auch am Ende von *main()* enden:

Explizit, durch *return n* was äquivalent ist zu *exit(n)*, weil die run-time Funktion den Wert in *exit()* steckt.

Oder implizit, indem das Programm unten rausfällt. Das Resultat ist in C89 undefiniert, in C99 *exit(0)*.

Prozess Lebensdauer

Parent- und Child-Prozess leben oft verschieden lang:

"Verwaiste" Child-Prozesse bekommen *init* als Parent.

Oder ein Parent ruft *wait()* auf, um den Terminations-Status zu lesen, obwohl der Child-Prozess zu Ende ist.

Der Kernel bewahrt solche, bereits terminierten, aber noch nicht mit *wait()* erwarteten *Zombie*-Prozesse auf.

Zombie-Prozesse

Der Kernel führt für Zombie-Prozesse eine Liste mit PID, Terminations-Status, und Ressourcen-Statistik. Zombies können mit keinem Signal beendet werden.

Wenn der Parent *wait()* noch aufruft, gibt der Kernel den Status zurück und entfernt den Zombie-Prozess.

Falls der Parent-Prozess *wait()* nicht aufruft, verwaist der Zombie, und der *init*-Prozess ruft *wait()* auf.

Hands-on, 15': Zombie-Prozesse zombie.c

Schreiben Sie Code, der für 1 Sekunde einen Zombie-Prozess erzeugt, mit exit(), fork(), sleep() und wait().

```
$ ./my_zombie &
[1] 1001
$ ps aux | grep my_zombie
... 1001 ... ./my_zombie
... 1002 ... [my_zombie] <defunct>
```

Hinweis: <*defunct*> bedeutet Zombie-Prozess.

Das *SIGCHLD* Signal

Immer wenn ein Child-Prozess terminiert, wird das *SIGCHLD* Signal wird zum Parent-Prozess gesendet.

Ein Handler kann dann *wait()* rechtzeitig aufrufen:

```
int result = signal(SIGCHLD, handle);
void handle(int sig) { int pid = wait(NULL); }
// für > 1 Child, wait() in Loop bis -1, ECHILD
```

Explizites Ignorieren des Signals verhindert Zombies:

```
int result = signal(SIGCHLD, SIG_IGN);
```


Selbststudium: Threads

Als Vorbereitung auf die nächste Lektion, lesen Sie https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/ bis *Pthread Exercice 1*.

Feedback oder Fragen?

Gerne im Slack https://fhnw-syspr.slack.com/

Oder per Email an thomas.amberg@fhnw.ch

Danke für Ihre Zeit.