

Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

Ü5 – Prozesse

Jens Schedel, Christoph Erhardt, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2014 – 17. bis 21. November 2014

https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS14/V_SP1



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



Agenda

5.1 Adressraumstruktur

5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung

5.3 Prozesse

5.4 System-Schnittstelle

5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`

5.6 Make

5.7 gdb

5.8 Aufgabe 4: clash

5.9 Gelerntes anwenden



Aufteilung des Adressraums

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

■ Vgl. Vorlesung A/V, Seite 7f.

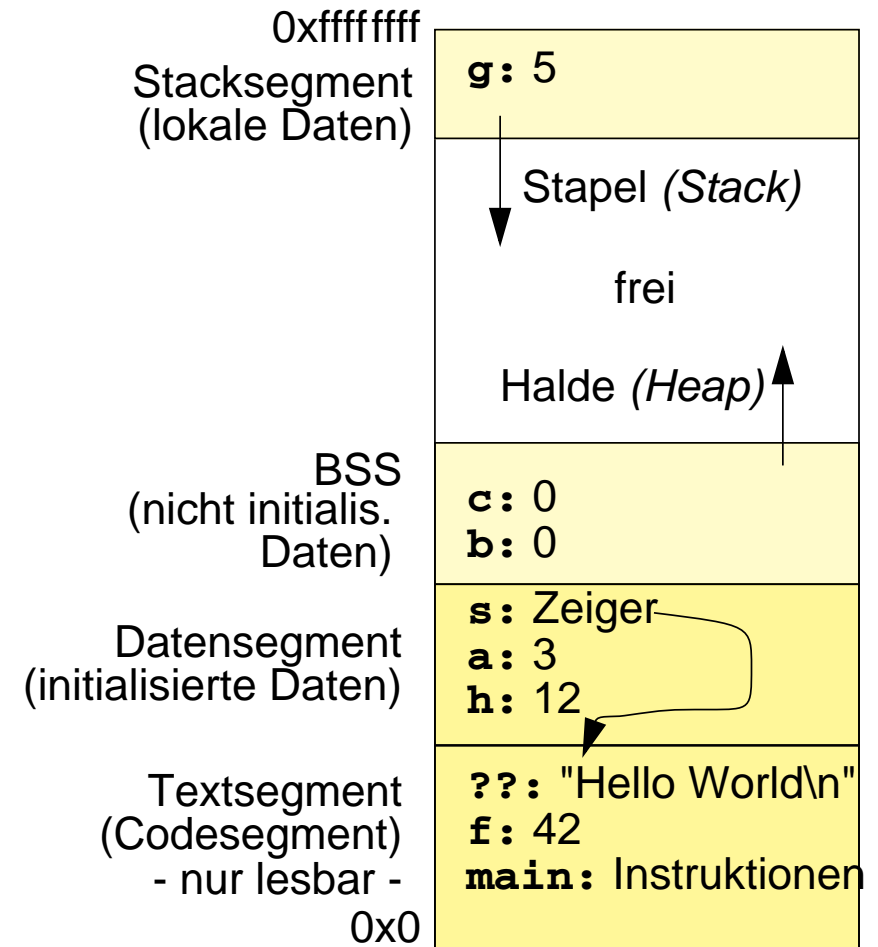
```
static int a = 3; static int b;  
static int c = 0; const int f = 42;  
const char *s = "Hello World\n";  
  
int main(void) {  
    int g = 5;  
    static int h = 12;  
}
```

■ Compiler-Fehler

```
s[1] = 'a';  
f = 2;
```

■ Segmentation Fault

```
((char *) s)[1] = 'a';  
*((int *) &f) = 2;
```



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung

- Je nach Segment haben Daten unterschiedliche Lebensdauer
 - Stack (lokal nicht-`static`): bis Verlassen des umgebenden Blocks
 - Daten (global / lokal `static`): „unsterblich“ – bis zum Prozessende
 - Heap (dynamisch alloziert mit `malloc(3)`):
 - Bis zur expliziten Freigabe mit `free(3)`
 - Nachträgliche Größenänderung mit `realloc(3)` möglich
- `malloc(3)` ist am flexibelsten – aber nicht immer die beste Lösung!
 - Allokation kostet Zeit
 - Aufwändiger Code, Fehlerbehandlung nötig
 - Freigabe darf nicht vergessen werden
- Oft die bessere Wahl: lokales Array auf dem Stack
 - Voraussetzung 1: beschränkte Lebensdauer okay
 - Voraussetzung 2: keine nachträgliche Größenänderung
 - d. h. obere Schranke für Größe muss vorab ermittelbar sein
 - Voraussetzung 3: Array passt ins Stack-Segment (übliche Stack-Größe z. B. 8 MiB, `ulimit -a`)



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse**
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden

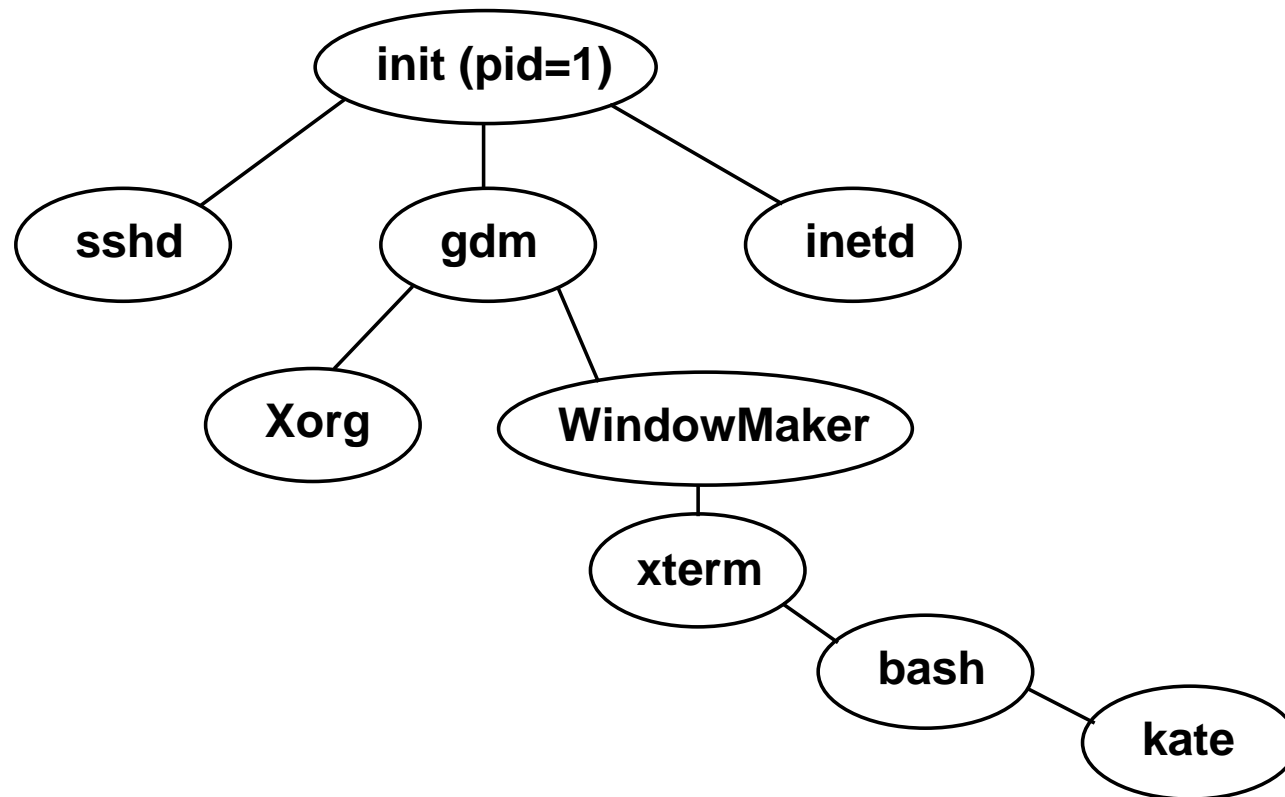


- Prozesse sind eine Ausführungsumgebung für Programme (vgl. Vorlesung A | III-3)
 - haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
 - führen ein Programm aus
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft, z. B.
 - Speicher
 - Adressraum
 - offene Dateien



Prozeshierarchie

- 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 ein Kind von **bash**, **bash** wiederum ein Kind von **xterm**



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle**
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



Kindprozess erzeugen – fork(2)

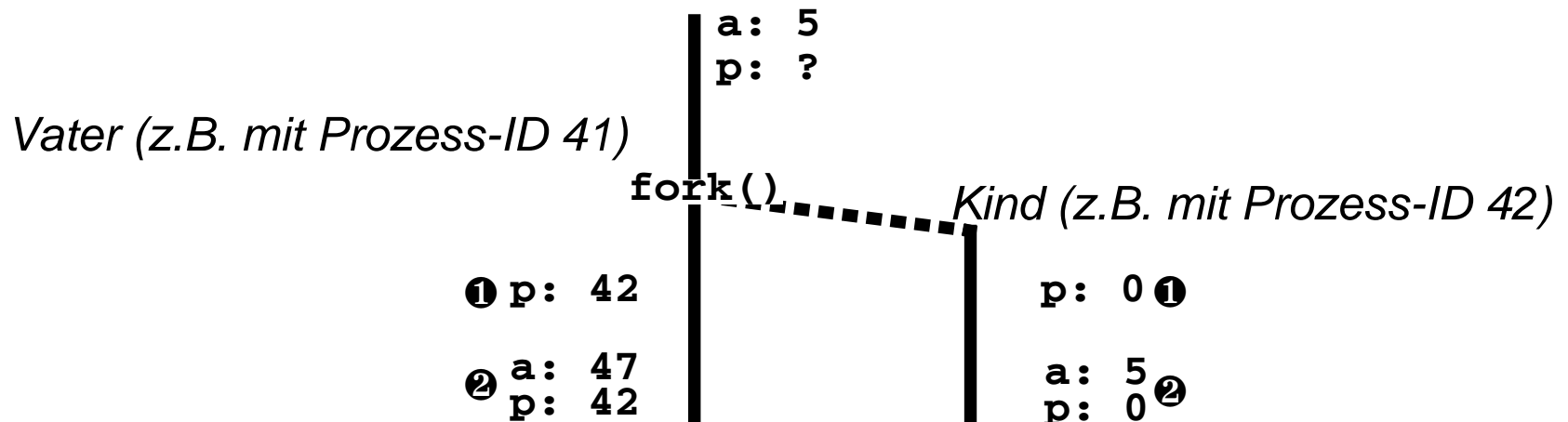
```
pid_t fork(void);
```

- Erzeugt einen neuen Kindprozess (Vorlesung A | III-5)
- Exakte Kopie des Vaters ...
 - Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
 - Dateideskriptoren (geöffnete Dateien)
 - ... mit Ausnahme der Prozess-ID
- Kind startet Ausführung hinter dem `fork()` mit dem geerbten Zustand
 - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von `fork(2)`) entscheiden, ob es sich um den Vater- oder den Kindprozess handelt



Kindprozess erzeugen – fork(2)

```
int a = 5;
pid_t p = fork(); // (1)
a += p; // (2)
if ( p == -1 ) {
    // fork-Fehler, es wurde kein Kind erzeugt
    ...
} else if ( p == 0 ) {
    // Hier befinden wir uns im Kind
    ...
} else {
    // Hier befinden wir uns im Vater
    // p ist die PID des neu erzeugten Kindprozesses
    ...
}
```



Programm ausführen – exec(3)

```
int execlp(const char *file, const char *arg, ...);  
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess (vgl. Vorlesung A | III-5.3)
 - aktuell ausgeführtes Programm wird ersetzt (Text-, Daten- und Stacksegment)
 - erhalten bleiben: Dateideskriptoren (= geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...
- Aufrufparameter für `exec(3)`
 - Dateiname des neuen Programmes
 - Argumente, die der `main`-Funktion des neuen Programms übergeben werden
- `exec` kehrt nur im Fehlerfall zurück



Programm ausführen – exec(3)

- Varianten:

```
// Argumentliste variabler Laenge  
int execlp(const char *file, const char *arg0, ... /*, NULL */);  
  
// Argumente als Array  
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

- Zum Suchen von `file` wird die Umgebungsvariable `PATH` verwendet
- Name der Programmdatei muss **doppelt** übergeben werden – als `file` und als `arg0` bzw. `argv[0]`!
- Alle Varianten von `exec(3)` erwarten als letzten Eintrag in der Argumentenliste bzw. im `argv`-Array einen `NULL`-Zeiger



Prozess beenden – exit(3)

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

- beendet aktuellen Prozess mit angegebenem Exitstatus
 - 0 = EXIT_SUCCESS
 - 1 = EXIT_FAILURE
- gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess belegt hat, z. B.
 - Speicher
 - Dateideskriptoren (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 (mit `wait(2)` bzw. `waitpid(2)`)!
 - 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)

```
pid_t wait(int *status);
```

- `wait(2)` liefert Informationen über einen terminierten Kindprozess (*Zombie*):
 - PID dieses Kindprozesses wird als Rückgabewert geliefert
 - als Parameter kann ein Zeiger auf einen `int`-Wert mitgegeben werden, in dem unter anderem der Exitstatus des Kindprozesses abgelegt wird
 - in den Status-Bits wird eingetragen, „was dem Kindprozess zugestoßen ist“, Details können über Makros abgefragt werden:
 - Prozess mit `exit(3)` terminiert: `WIFEXITED(status)`
 - Exitstatus: `WEXITSTATUS(status) = Argument`, das an `exit(3)` übergeben wurde
 - weitere siehe `wait(2)`
- Verbleibende Ressourcen des Zombies werden aufgeräumt
- Falls aktuell kein Kindprozess im Zombie-Zustand ist, wartet `wait(2)` bis zum Terminieren des nächsten Kindprozesses und räumt diesen dann ab



Auf speziellen Kindprozess warten – waitpid(2)

```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *stat_loc, int options);
```

- Mächtigere Variante von `wait(2)`
- Wartet auf Statusänderung eines
 - bestimmten Prozesses: `pid > 0`
 - beliebigen Kindprozesses: `pid == -1`
- Verhalten mit Optionen (Parameter `options`) anpassbar
 - **WNOHANG**: `waitpid(2)` kehrt sofort zurück, wenn kein passender Zombie verfügbar ist
 - eignet sich zum periodischen Abfragen (*Polling*) nach Zombieprozessen



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)**
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



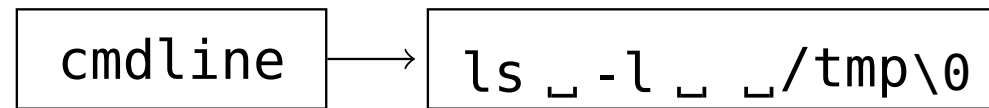
String-Manipulation mit strtok(3)

```
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 aufeinanderfolgende 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



String-Manipulation mit strtok(3)



```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

```
a[1] = strtok(NULL, " ");
```

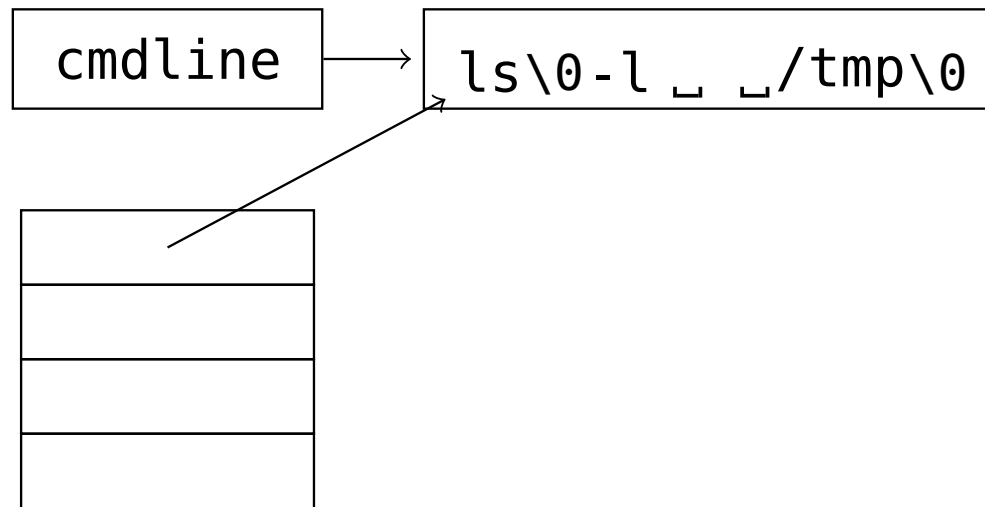
```
a[2] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '\0'-terminierter String im Speicher



String-Manipulation mit strtok(3)



```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

```
a[1] = strtok(NULL, " ");
```

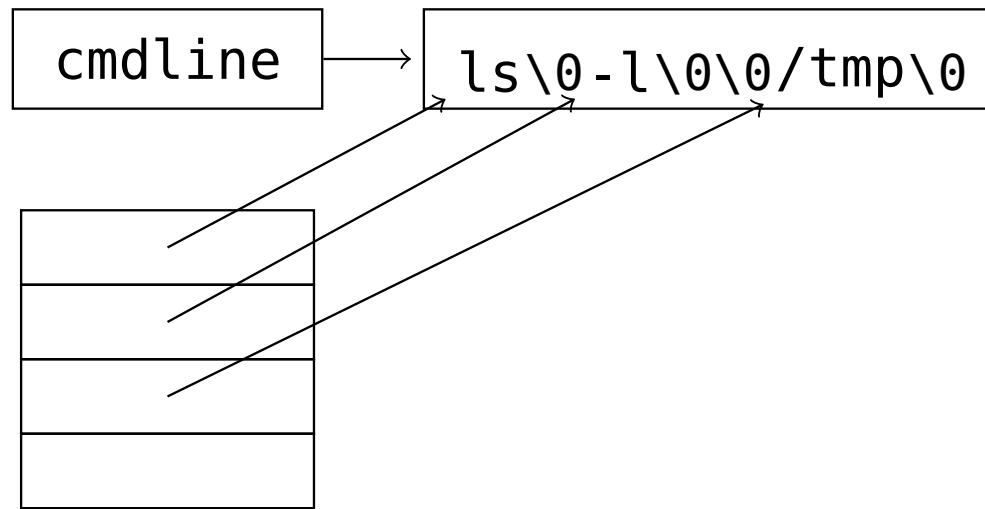
```
a[2] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '\0'-terminierter String im Speicher
- Erster strtok(3)-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token ls und ersetzt den Folgetrenner mit '\0'



String-Manipulation mit strtok(3)



```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

```
a[1] = strtok(NULL, " ");
```

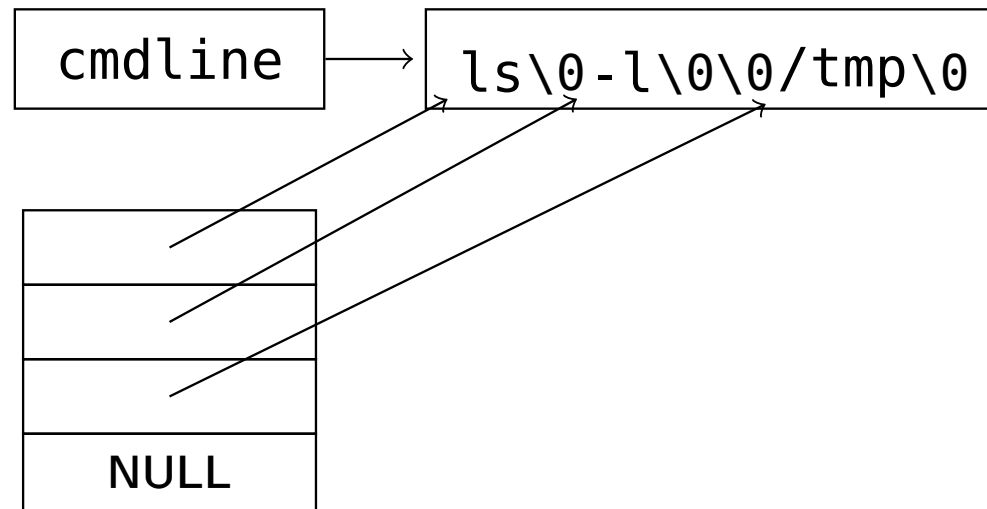
```
a[2] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als `'\0'`-terminierter String im Speicher
- Erster `strtok(3)`-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`
- Weitere Aufrufe von `strtok(3)` nun mit einem `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token



String-Manipulation mit strtok(3)



```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

```
a[1] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[2] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als `'\0'`-terminierter String im Speicher
- Erster `strtok(3)`-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`
- Weitere Aufrufe von `strtok(3)` nun mit einem `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token
- Am Ende liefert `strtok(3)` `NULL`



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make**
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



Pseudo-Targets

- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
 - so deklarierte Targets werden immer gebaut
 - Deklaration als Abhängigkeit des Spezial-Targets `.PHONY` nötig
- Beispiel: Installation einer ausführbaren Datei mit `make install`

```
.PHONY: install
```

```
install: clash  
    cp clash /usr/bin
```

- Konventionen
 - `all` ist immer erstes Target im Makefile und baut die komplette Anwendung
 - `clean` löscht alle durch `make` erzeugte Dateien



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb**
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



Debugger: gdb

- Ein Debugger dient zum Suchen und Finden von Fehlern in Programmen
- Im Debugger kann man u.a.
 - das Programm schrittweise abarbeiten
 - Variablen- und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
 - core dumps (Speicherabbilder beim Programmabsturz) analysieren
 - Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell): z. B. `limit coredumpsize 1024k` oder `limit coredumpsize unlimited`
- Programm sollte Debug-Symbole enthalten
 - mit GCC-Flag `-g` übersetzen
- Aufruf des Debuggers mit `gdb <Programmname>`



Beispiel

```
void initArray(long *array, unsigned int size) {
    int i;
    for ( i=0; i<=size; i++ ) {
        array[i] = 0;
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    long *array;
    long buf[7];
    array = buf;

    initArray(buf, sizeof(buf)/sizeof(long));

    while ( array != buf+sizeof(buf)/sizeof(long) ) {
        printf("%ld\n", *array);
        array++;
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```



- Programmausführung beeinflussen
 - Breakpoints setzen:
 - b [<Dateiname>:]<Funktionsname>
 - b <Dateiname>:<Zeilennummer>
 - Starten des Programms mit `run` (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
 - Fortsetzen der Ausführung bis zum nächsten Stop mit `c` (continue)
 - schrittweise Abarbeitung auf Ebene der Quellsprache mit
 - `s` (step: läuft in Funktionen hinein)
 - `n` (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
 - Breakpoints anzeigen: `info breakpoints`
 - Breakpoint löschen: `delete breakpoint#`



Befehlsübersicht

- Variableninhalte anzeigen/modifizieren
 - Anzeigen von Variablen mit: `p expr`
 - `expr` ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
 - Automatische Anzeige von Variablen bei jedem Programmstopp (Breakpoint, Step, ...): `display expr`
 - Setzen von Variablenwerten mit `set <variablenname>=<wert>`
- Ausgabe des Funktionsaufruf-Stacks (backtrace): `bt`
- Quellcode an aktueller Position anzeigen: `list`
- Watchpoints: Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
 - `watch expr`: Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks `expr` ändert
 - `rwatch expr`: Stoppt, wenn `expr` gelesen wird
 - `awatch expr`: Stopp bei jedem Zugriff (kombiniert `watch` und `rwatch`)
 - Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash**
- 5.9 Gelerntes anwenden



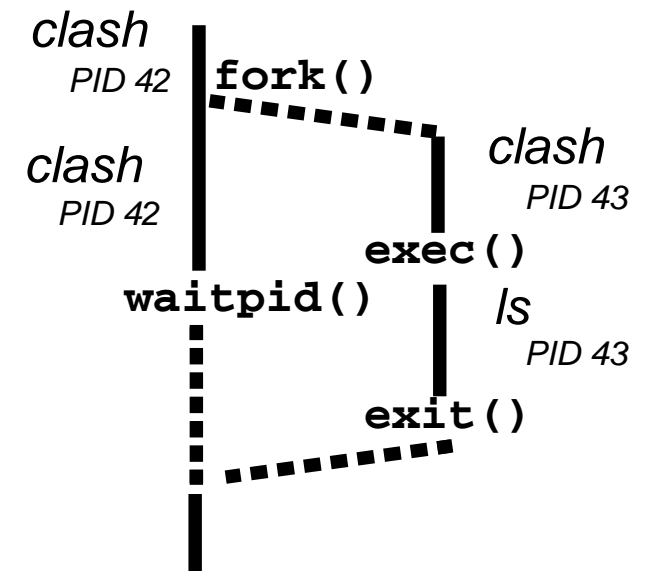
Ziele der Aufgabe

- Arbeiten mit dem UNIX-Prozesskonzept
- Verstehen von Quellcode anderer Personen (`plist.c`)
- Erstellen eines Makefiles mit Pseudo-Targets



Funktionsweise der clash

- Eingabezeile, aus der der Benutzer Programme starten kann
 - Länge der Eingabezeile und damit Anzahl der Argumente unbekannt
 - Abfrage von Konfigurationsoptionen des Betriebssystems mit `sysconf(3)`
 - Maximale Länge einer Zeichenkette, die auf einmal eingelesen werden kann (`stdin` oder Datei) (`_SC_LINE_MAX`)
- Erzeugt einen neuen Prozess und startet in diesem das Programm
 - Vordergrundprozess: Wartet auf die Beendigung des Prozesses und gibt anschließend dessen Exitstatus aus
 - Hintergrundprozess: Wartet nicht auf Beendigung des Prozesses. Exitstatus wird bei der Anzeige des Promptes ausgegeben



Agenda

- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit `strtok(3)`
- 5.6 Make
- 5.7 gdb
- 5.8 Aufgabe 4: clash
- 5.9 Gelerntes anwenden



„Aufgabenstellung“

- Programm schreiben, welches ein Kommando mit jedem der übergebenen Parameter einmal ausführt.
 - `./listRun <program> <arguments...>`
 - Beispiel:

```
$ ./listRun echo Das ist ein Test
Das
ist
ein
Test
```

- Optional: `arguments`-Array vor dem Ausführen sortieren

