Teil III

Vom C-Programm zum laufenden Prozess

Übersetzen - Objektmodule

- 1. Schritt: Präprozessor
  - ◆ entfernt Kommentare, wertet Präprozessoranweisungen aus
    - ➤ fügt include-Dateien ein
    - ➤ expandiert Makros
    - ➤ entfernt Makro-abhängige Code-Abschnitte (*conditional code*) Beispiel:

```
#define DEBUG
...
#ifdef DEBUG
    printf("Zwischenergebnis = %d\n", wert);
#endif DEBUG
```

  - ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -P datei.c` als `datei.i` erzeugt werden oder mit `cc -E datei.c` ausgegeben werden

Übersetzen - Objektmodule (2)

- 2. Schritt: Compilieren
  - ◆ übersetzt C-Code in Assembler
  - ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -S datei.c` als `datei.s` erzeugt werden
- 3. Schritt: Assemblieren
  - ◆ assembliert Assembler-Code, erzeugt Maschinencode (Objekt-Datei)
  - ◆ standardisiertes Objekt-Dateifomat: ELF (Executable and Linking Format) (vereinfachte Darstellung) - in nicht-UNIX-Systemen andere Formate
    - ➤ Maschinencode
    - ➤ Informationen über Variablen mit Lebensdauer static (ggf. Initialisierungswerte)
    - ➤ Symboltabelle: wo stehen welche globale Variablen und Funktionen
    - ➤ Relokierungsinformation: wo werden welche "nicht gefundenen" globalen Variablen bzw. Funktionen referenziert
  - ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -c datei.c` als `datei.o` erzeugt werden

Binden und Bibliotheken

- 4. Schritt: Binden
  - ◆ Programm **ld** : (*linker*), erzeugt ausführbare Datei (*executable file*)
    - ➤ ebenfalls ELF-Format (früher a.out-Format oder COFF)
  - ◆ Objekt-Dateien (.o-Dateien) werden zusammengebunden
    - ➤ noch nicht abgesättigte Referenzen auf globale Variablen und Funktionen in anderen Objekt-Dateien werden gebunden (Relokation)
  - ◆ nach fehlenden Funktionen wird in Bibliotheken gesucht
- statisch binden
  - ◆ alle fehlenden Funktionen werden aus Bibliotheken genommen und in die ausführbare Datei einkopiert
    - ➤ ausführbare Datei ggf. sehr groß
    - ➤ Funktionen die in vielen Programmen benötigt werden (z. B. printf) werden überall einkopiert

Binden und Bibliotheken (2)

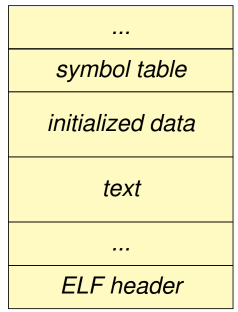
- dynamisch binden
  - Funktionen in gemeinsam nutzbare Bibliotheken (*shared libraries*) werden nicht in die ausführbare Datei einkopiert
    - ➤ ausführbare Datei enthält weiterhin nicht-relokierte Referenzen
    - ➤ ausführbare Dateien sind kleiner, mehrfach genutzte Funktionen sind nur einmal in der shared library abgelegt
    - ➤ Relokation erfolgt beim Laden

Programme und Prozesse

- **Programm:** Folge von Anweisungen
  (hinterlegt beispielsweise als ausführbare Datei auf dem Hintergrundspeicher)
- **Prozess:** Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten
  (Beachte: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)
  - ➤ ein Prozess ist damit ein **abstraktes Gebilde**
- **Prozessinkarnation**:
  eine physische Instanz des abstrakten Gebildes "Prozess"
  - ➤ eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm (Speicher, Rechte, Verwaltungsinformation)
- Sprachgebrauch in der Praxis etwas schlampig:
  mit "Prozess" wird meistens eine Prozessinkarnation gemeint

1 Speicherorganisation eines Programms

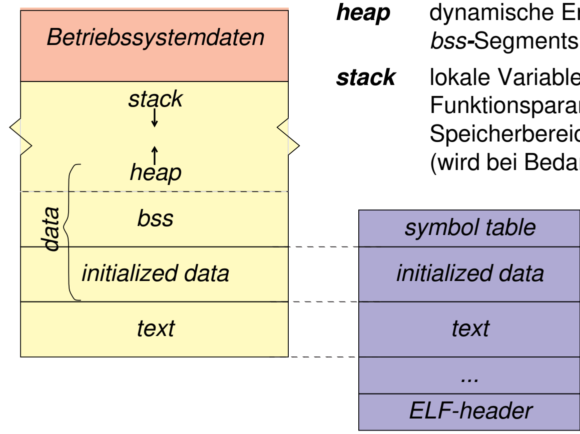
- definiert durch das ELF-Format
- wichtigste Elemente (stark vereinfach dargestellt)



ELF header	Identifikator und Verwaltungsinformationen (z. B. verschiedene *executable* Formate möglich)
text	Programmkode
initialized data	initialisierte globale und *static* Variablen
symbol table	Zuordnung der im Programm verwendeten symbolischen Namen von Funktionen und globalen Variablen zu Adressen (z. B. für Debugger)

2 Speicherorganisation eines Prozesses

bss	nicht initialisierte globale und *static* Variablen (wird vor der Vergabe an den Prozess mit 0 vorbelegt)
heap	dynamische Erweiterungen des *bss*-Segments (***sbrk(2)***, ***malloc(3)***)
stack	lokale Variablen, Funktionsparameter, Speicherbereiche für Registerinhalte, (wird bei Bedarf dynamisch erweitert)



Laden eines Programms

- in eine konkrete Ausführungsumgebung ("Prozessinkarnation") kann ein Programm geladen werden
  - ➤ Loader
- Laden statisch gebundener Programme
  - ◆ Segmente der ausführbaren Datei werden in den Speicher geladen
    - ➤ abhängig von der jeweiligen Speicherorganisation des Betriebssystems
  - ◆ Speicher für nicht-initialisierte globale und static Variablen (bss) wird bereitgestellt
  - ◆ Speicher für lokale Variablen (stack) wird bereitgestellt
  - ◆ Aufrufparameter werden in Stack- oder Datensegment kopiert, argc und argv-Zeiger werden entsprechend initilalisiert
  - ◆ main-Funktion wird angesprungen

Laden eines Programms (2)

- Laden dynamisch gebundener Programme
  - ◆ Spezielles Lade-Programm wird gestartet: `ld.so` (*dynamic linker/loader*) ld.so erledigt die weiteren Aufgaben
    - ➤ Segmente der ausführbaren Datei werden in den Speicher geladen und Speicher für nicht-initialisierte globale und static Variablen (bss) wird angelegt
    - ➤ fehlende Funktionen werden aus shared libraries geladen (ggf. rekursiv)
    - ➤ noch offene Referenzen werden abgesättigt (Relokation)
    - ➤ wenn notwendig werden Initialisierungsfunktionen der shared libraries aufgerufen (z. B. Klasseninitialisierungen bei C++)
    - ➤ Parameter für main werden bereigestellt
    - ➤ main-Funktion wird angesprungen
    - ➤ bei Bedarf können auch während der Laufzeit des Programms auf Anforderung desd Programms weitere Funktionen nachgeladen werden (z. B. für plugins)

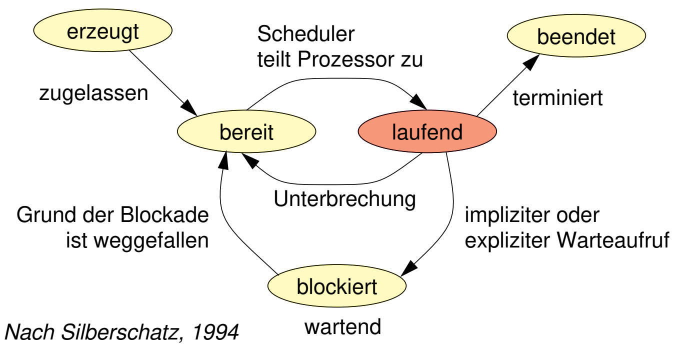
Prozesse

1 Prozesszustände

- Ein Prozess befindet sich in einem der folgenden Zustände:
  - ◆ **Erzeugt** *(New)*
    Prozess wurde erzeugt, besitzt aber noch nicht alle nötigen Betriebsmittel
  - ◆ **Bereit** *(Ready)*
    Prozess besitzt alle nötigen Betriebsmittel und ist bereit zum Laufen
  - ◆ **Laufend** *(Running)*
    Prozess wird vom realen Prozessor ausgeführt
  - ◆ **Blockiert** *(Blocked/Waiting)*
    Prozess wartet auf ein Ereignis (z.B. Fertigstellung einer Ein- oder Ausgabeoperation, Zuteilung eines Betriebsmittels, Empfang einer Nachricht); zum Warten wird er blockiert
  - ◆ **Beendet** *(Terminated)*
    Prozess ist beendet; einige Betriebsmittel sind aber noch nicht freigegeben oder Prozess muss aus anderen Gründen im System verbleiben

1 Prozesszustände (2)

- Zustandsdiagramm



Nach Silberschatz, 1994

  - ◆ Scheduler ist der Teil des Betriebssystems, der die Zuteilung des realen Prozessors vornimmt.

2 Prozesserzeugung (UNIX)

- Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses
  - ◆ Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

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

Vater

```
pid_t p;
...
p= fork();
if( p == (pid_t)0 ) {
    /* child */
    ...
} else if( p!=(pid_t)-1 ) {
    /* parent */
    ...
} else {
    /* error */
    ...
}
```


2 Prozesserzeugung (UNIX)

- Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses
  - ◆ Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

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

Vater

```
pid_t p;
...
p= fork();
if( p == (pid_t)0 ) {
    /* child */
    ...
} else if( p!=(pid_t)-1 ) {
    /* parent */
    ...
} else {
    /* error */
    ...
}
```

Kind

```
pid_t p;
...
p= fork();
if( p == (pid_t)0 ) {
    /* child */
    ...
} else if( p!=(pid_t)-1 ) {
    /* parent */
    ...
} else {
    /* error */
    ...
}
```


2 Prozesserzeugung (2)

- ◆ Der Kind-Prozess ist eine perfekte Kopie des Vaters
  - ➤ Gleiches Programm
  - ➤ Gleiche Daten (gleiche Werte in Variablen)
  - ➤ Gleicher Programmzähler (nach der Kopie)
  - ➤ Gleicher Eigentümer
  - ➤ Gleiches aktuelles Verzeichnis
  - ➤ Gleiche Dateien geöffnet (selbst Schreib-, Lesezeiger ist gemeinsam)
  - ➤ ...
- ◆ Unterschiede:
  - ➤ Verschiedene PIDs
  - ➤ **fork()** liefert verschiedene Werte als Ergebnis für Vater und Kind

3 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

```
int execve( const char *path, char *const argv[],
                char *const envp[] );
```

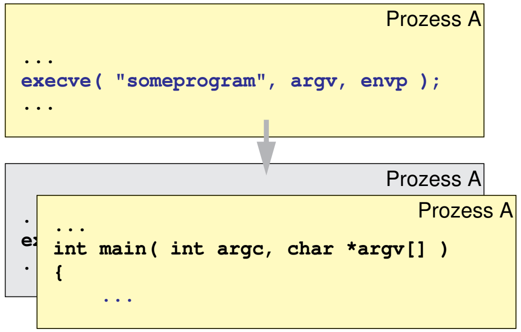
Prozess A

```
...
execve( "someprogram", argv, envp );
...
```

3 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

```
int execve( const char *path, char *const argv[],
                 char *const envp[] );
```



das vorher ausgeführte Programm ist dadurch endgültig beendet

➤ execve kehrt im Erfolgsfall nie zurück

4 Operationen auf Prozessen (UNIX)

- Prozess beenden

```
void _exit( int status );
[ void exit( int status ); ]
```

➤ Prozess terminiert - exit kehrt nicht zurück

- Prozessidentifikator

```
pid_t getpid( void );          /* eigene PID */
pid_t getppid( void );         /* PID des Vaterprozesses */
```

- Warten auf Beendigung eines Kindprozesses

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

➤ Prozess wird so lange blockiert bis Kindprozess terminiert

➤ über den Parameter werden Informationen über den exit-Status des Kindprozesses zurückgeliefert