Systemprogrammierung

Grundlagen von Betriebssystemen

Teil C – VIII. Zwischenbilanz

Wolfgang Schröder-Preikschat

18. Oktober 2019

Agenda

SP1
- Lehrziele
- C
- UNIX
- Einleitung
- Rechnerorganisation
- Betriebssystemkonzepte
- Betriebsarten

SP2
- Ausblick

Gliederung

SP1
- Lehrziele
- C
- UNIX
- Einleitung
- Rechnerorganisation
- Betriebssystemkonzepte
- Betriebsarten

SP2
- Ausblick

Lernziele

- Vorgänge innerhalb von Rechensystemen **ganzheitlich** verstehen

$$\textbf{Zusammenspiel}\left\{\begin{array}{rcl} \text{Hardware} & \leftrightarrow & \text{Software} \\ & \vdots & \\ \text{Anwendung} & \leftrightarrow & \text{Betriebssystem} \\ & \vdots & \\ \text{Treiber} & \leftrightarrow & \text{Gerät} \end{array}\right\}\textbf{begreifen}$$

- imperative Systemprogrammierung (in C) in Grundzügen kennenlernen
  - im Kleinen für **Dienstprogramme** praktizieren
  - im Großen durch **Betriebssysteme** erfahren
- Beziehungen zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Systemmerkmalen erfassen

Quelle: fotalia.com

Kurzeinführung

Schlüsselwörter

auto	break	case	char	const	continue	default	do
double	else	enum	extern	float	for	goto	if
int	long	register	return	short	signed	sizeof	static
struct	switch	typedef	union	unsigned	void	volatile	while

Operatoren, Selektoren, Klammerungen und andere „Satzzeichen“

!	"	%	&	’	(	)	*	+	,	-	.	/
:	;	<	=	>	?	[	]	^	{	}	~

- was macht dieses Programm?

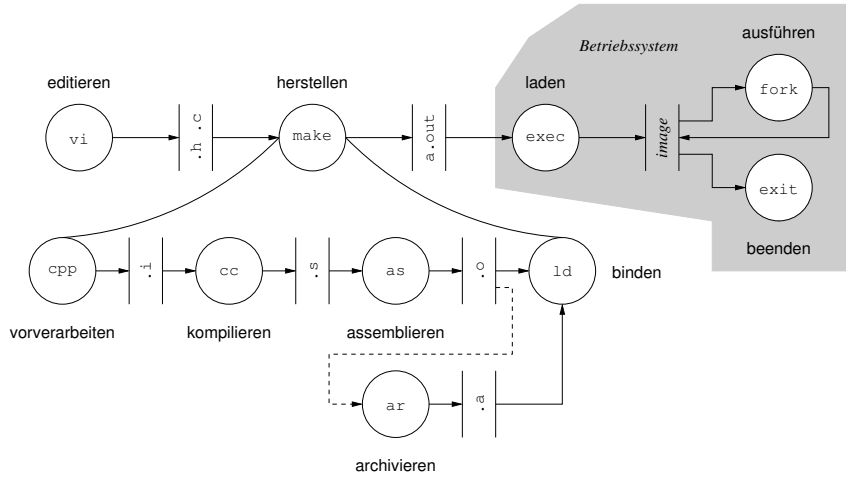
```
1  #include <unistd.h>
2
3  int main() {
4      printf("%d\n", getpid());
5  }
```

- was kann man daraus machen?
  - ***buffer overflow exploit***

- was geschieht nun?

```
6  #include <stdio.h>
7  #include <string.h>
8
9  int getpid() {
10     char buffer[20];
11     gets(buffer);
12     return strlen(buffer);
13 }
```


Quellprogramm ↦ Prozess



Handwerkszeug der Informatik

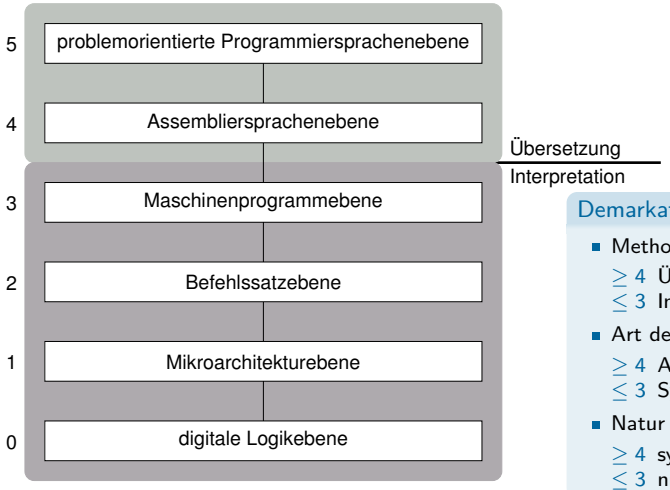
domänenspezifisch

- funktionale und nichtfunktionale Eigenschaften von Betriebssystemen werden durch die **Anwendungsdomäne** vorgegeben
  - gelegentlich passen bestehende „unspezifische“ Lösungen (z.B. Linux)
  - viel häufiger sind jedoch **anwendungsspezifische Lösungen** erforderlich
- Systeme für den Allgemeinzweck
  - *die* Domäne der Flach-, Klapp-, Abeitsplatz-, Grossrechner
  - nur ein vergleichsweise kleiner Anteil an Installationen weltweit (vgl. [1])
- Systeme für den Spezialzweck
  - Rechensysteme zur Steuerung oder Regelung „externer“ Prozesse

↪ **Echtzeitsysteme**
  - mit vorhersagbarem Laufzeitverhalten

↪ **eingebettete Systeme**
  - Mobiltelefon nicht mitgerechnet

Schichtenfolge in Rechensystemen I

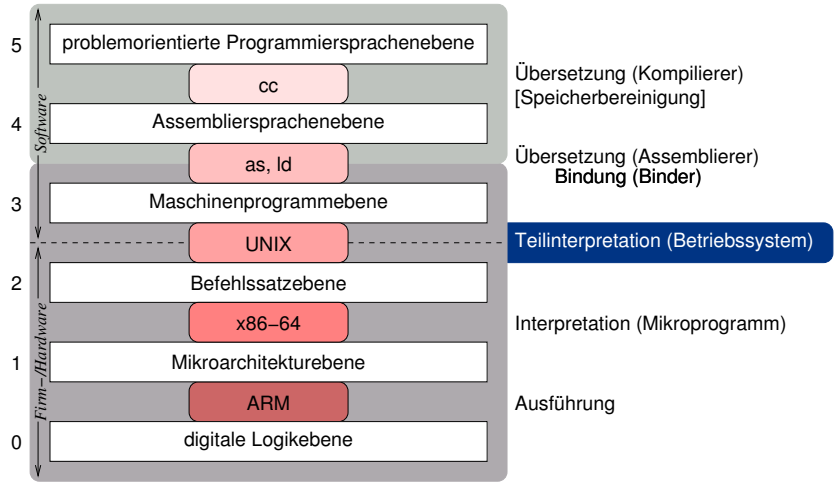


Demarkationslinie

- Methode der Abbildung
  - ≥ 4 Übersetzung vs.
  - ≤ 3 Interpretation
- Art der Programmierung
  - ≥ 4 Anwendung vs.
  - ≤ 3 System
- Natur der Sprache
  - ≥ 4 symbolisch vs.
  - ≤ 3 numerisch

- Schichten der Ebene$_{[4,5]}$ sind nicht wirklich existent
  - sie werden durch Übersetzung aufgelöst und auf tiefere Ebenen abgebildet
  - so dass am Ende nur ein Maschinenprogramm (Ebene$_3$) übrigbleibt

Schichtenfolge in Rechensystemen II



- RISC auf Ebene$_1$ und gegebenenfalls (hier) CISC auf Ebene$_2$
  - nach außen „*complex*“, innen aber „*reduced instruction set computer*“
  - Intel *Core* oder *Haswell* ↔ AMD *Bulldozer* oder *Zen* (ARM)

Systemaufrufschnittstelle (*system call interface*)[1]

```
1  read:
2    push %ebx
3    movl 16(%esp),%edx
4    movl 12(%esp),%ecx
5    movl 8(%esp),%ebx
6    mov  $3,%eax
7    int  $0x80
8    pop  %ebx
9    cmp  $-4095,%eax
10   jae  __syscall_error
11   ret
```

- „Grenzübergangsstelle“ **Aufrufstumpf**
  - einerseits erscheint ein Systemaufruf als normaler Prozeduraufruf
  - andererseits bewirkt der Systemaufruf eine (synchrone) Ausnahme
- sorgt für **Ortstransparenz** (funktional)
  - die Lokalität der aufgerufenen Funktion muss nicht bekannt sein

- Systemaufrufe sind **Prozedurfernaufrufe**, um **Prozessdomänen** in kontrollierter Weise zu überwinden
  - 3–5 ▪ tatsächliche Parameter (Argumente) in Registern übergeben
  - 6 ▪ Systemaufrufnummer (Operationskode) in Register übergeben
  - 7 ▪ Domänenwechsel (Ebene$_3$ ↦ Ebene$_2$) auslösen
  - ▪ Aufruf abfangen (*trap*) und dem Betriebssystem zustellen
  - 9–10 ▪ Status überprüfen und ggf. Fehlerbehandlung durchführen

[1] UNIX Programmers Manual (UPM), Lektion 2 — `man(2)`

Teilinterpretation

- Befehle der Maschinenprogrammbene, also Ebene$_3$-Befehle sind...
  - „normale“ Befehle der Ebene$_2$, die die CPU direkt ausführen kann
    - **unprivilegierte Befehle**, die in jedem Arbeitsmodus ausführbar sind
  - „unnormale“ Befehle der Ebene$_2$, die das Betriebssystem ausführt
    - **privilegierte Befehle**, die nur im privilegierten Arbeitsmodus ausführbar sind
- die „aus der Reihe fallenden“ Befehle stellen Adressräume, Prozesse, Speicher, Dateien und Wege zur Ein-Ausgabe bereit
  - Interpreter dieser Befehle ist das Betriebssystem
  - der dadurch definierte Prozessor ist die **Betriebssystemmaschine**
- demzufolge ist ein Betriebssystem immer nur ausnahmsweise aktiv
  - es muss von außerhalb aktiviert werden
    - programmiert im Falle eines Systemaufrufs (`CD80`: Linux/x86) oder einer sonstigen synchronen Programmunterbrechung (*trap*)
    - nicht programmiert, also nicht vorhergesehen, im Falle einer asynchronen Programmunterbrechung (*interrupt*)
  - es deaktiviert sich immer selbst, in beiden Fällen programmiert (`CF`: x86)

Prozess

Programmablauf, Programm in Ausführung

Betriebssysteme bringen Programme zur Ausführung, in dem dazu Prozesse erzeugt, bereitgestellt und begleitet werden

- im Informatikkontext ist ein Prozess ohne Programm nicht möglich
  - die als Programm kodierte Berechnungsvorschrift definiert den Prozess
  - das Programm legt damit den Prozess fest, gibt ihn vor
  - gegebenenfalls bewirkt, steuert, terminiert es gar andere Prozesse
- ein Programm beschreibt (auch) die Art des Ablaufs eines Prozesses
  - sequentiell ▪ eine Folge von zeitlich nicht überlappenden Aktionen
    - ▪ verläuft deterministisch, das Ergebnis ist determiniert
  - parallel ▪ nicht sequentiell
- in beiden Arten besteht ein Programmablauf aus **Aktionen**

Beachte: Programmablauf und Abstraktionsebene

Ein und derselbe Programmablauf kann auf einer Abstraktionsebene sequentiell, auf einer anderen parallel sein.

Speicherverwaltung I

Politiken

- zentrale Aufgabe ist es, über die **Speicherzuteilung** an einen Prozess Buch zu führen und seine Adressraumgröße dazu passend auszulegen
  Platzierungsstrategie (*placement policy*)
  - wo im Hauptspeicher ist noch Platz?
- zusätzliche Aufgabe kann die **Speichervirtualisierung** sein, um trotz knappem Hauptspeicher Mehrprogrammbetrieb zu maximieren
  Ladestrategie (*fetch policy*)
  - wann muss ein Datum im Hauptspeicher liegen?
  Ersetzungsstrategie (*replacement policy*)
  - welches Datum im Hauptspeicher ist ersetzbar?
- die zur Durchführung dieser Aufgaben typischerweise zu verfolgenden Strategien profitieren voneinander — oder bedingen einander
  - ein Datum kann ggf. erst platziert werden, wenn Platz freigemacht wurde
  - etwa indem das Datum den Inhalt eines belegten Speicherplatzes ersetzt
  - ggf. aber ist das so ersetzte Datum später erneut zu laden
  - bevor ein Datum geladen werden kann, ist Platz dafür bereitzustellen

Speicherverwaltung II

- normalerweise sind die **Verantwortlichkeiten** auf mehrere Ebenen innerhalb eines Rechensystems verteilt
  Speicherzuteilung
  - Maschinenprogramm und Betriebssystem
  - Haldenspeicher, Hauptspeicher
  Speichervirtualisierung
  - ist allein Aufgabe des Betriebssystems
  - Haupt-/Arbeitsspeicher, Ablagespeicher
- das Maschinenprogramm verwaltet den seinem Prozess (-adressraum) jeweils zugeteilten Speicher **lokal** eigenständig
  - nämlich den Haldenspeicher ⇝ `malloc/free`
  - stellt dabei **sprachenorientierte Kriterien** in den Vordergrund
- das Betriebssystem verwaltet den gesamten Haupt-/Arbeitsspeicher **global** für alle Prozesse bzw. Prozessadressräume
  - stellt dabei **systemorientierte Kriterien** in den Vordergrund
  - hilft, einen Haldenspeicher zu verwalten ⇝ z.B. `sbrk/mmap`
- Maschinenprogramm und Betriebssystem gehen somit eine **Symbiose** ein, sie nehmen eine **Arbeitsteilung** vor
  - genauer gesagt: das Laufzeitsystem (`libc`) im Maschinenprogramm

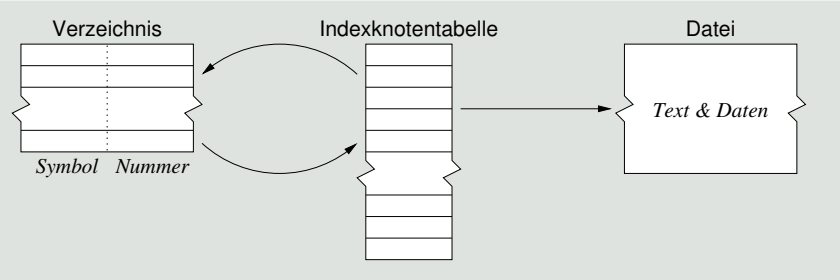
Prozessadressraum

Organisation des Namensraums

- **Seitennummerierung** (*paging*)
  - jede Adresse wird interpretiert als Tupel $A_p = (p, o)$, wobei
    Oktettnummer $o = [0, 2^i - 1]$, mit $9 \leq i \leq 30$
    Seitennummer $p = [0, 2^{n-i} - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
  - übliche Einkomponentenadresse ⇝ **eindimensionaler Adressraum**
    - d.h., Oktetts oder Worte in einer Dimension aufgereiht
- **Segmentierung** (*segmentation*)
  - jede Adresse ist repräsentiert als Paar $A_s = (s, a)$, wobei
    Segmentname $s = [0, 2^m - 1]$, mit $12 \leq m \leq 18$
    Adresse $a = [0, 2^n - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$
  - Zweikomponentenadresse ⇝ **zweidimensionaler Adressraum**
    - d.h., Segmente in der ersten und Segmentinhalte in der zweiten Dimension
- **seitennummerierte Segmentiertung** (*paged segmentation*)
  - jedes Segment ist seitennummeriert ausgelegt, d.h., a in A_s entspricht A_p

Organisation des Ablagespeichers[2]

Dateisystem (*file system*)



- die **Indexknotentabelle** (*inode table*) ist ein statisches Feld (*array*) von Indexknoten und die zentrale Datenstruktur
  - ein Indexknoten ist **Deskriptor** insb. eines Verzeichnisses oder einer Datei
- das **Verzeichnis** (*directory*) ist eine **Abbildungstabelle**, es übersetzt symbolisch repräsentierte Namen in Indexknotennummern
  - eine von der Namensverwaltung des Betriebssystems definierte Datei
- die **Datei** (*file*) ist eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten beliebiger Repräsentation, Struktur und Bedeutung

[2] Als Einheit auf demselben Medium (z.B. Ablagespeicher) abgelegt.

Stapelbetrieb

- abgesetzter Betrieb: Satellitenrechner, Hauptrechner
  - Entlastung durch Spezialrechner
- überlappte Ein-/Ausgabe: DMA, *Interrupts*
  - nebenläufige Programmausführung
- überlappte Auftragsverarbeitung: Einplanung, Vorgriff
  - Verarbeitungsstrom von Aufträgen
- abgesetzte Ein-/Ausgabe: *Spooling*
  - Entkopplung durch Pufferbereiche
- Mehrprogrammbetrieb: *Multiprogramming*
  - Multiplexen der CPU
- dynamisches Laden: Überlagerung (*overlay*)
  - programmiertes Nachladen von Programmbestandteilen

Mehrzugangsbetrieb

- Dialogbetrieb: Dialogstationen
  - mehrere Benutzer gleichzeitig bedienen können
- Hintergrundbetrieb: Mischbetrieb
  - Programme im Vordergrund starten
- Teilnehmerbetrieb: Zeitscheibe, *Timesharing*
  - eigene Dialogprozesse absetzen können
- Teilhaberbetrieb: residente Dialogprozesse
  - sich gemeinsame Dialogprozesse teilen können
- Multiprozessorbetrieb: Parallelrechner, SMP
  - Parallelverarbeitung von Programmen
- Speicheraustausch: *Swapping*, *Paging*
  - von ganzen Prozessadressräumen oder einzelnen Bestandteilen

Echtzeitbetrieb

- externe (physikalische) Prozesse definieren, was genau bei einer nicht termingerecht geleisteten Berechnung zu geschehen hat:

  weich (*soft*) auch „schwach“
  - das Ergebnis ist weiterhin von Nutzen, verliert jedoch mit jedem weiteren Zeitverzug des internen Prozesses zunehmend an Wert
  - die Terminverletzung ist tolerierbar

  fest (*firm*) auch „stark“
  - das Ergebnis ist wertlos, wird verworfen, der interne Prozess wird abgebrochen und erneut bereitgestellt
  - die Terminverletzung ist tolerierbar

  hart (*hard*) auch „strikt“
  - Verspätung der Ergebnislieferung kann zur „Katastrophe“ führen, dem internen Prozess wird eine **Ausnahmesituation** zugestellt
  - Terminverletzung ist keinesfalls tolerierbar — aber möglich...
- ggf. zusätzlich geforderte Randbedingung ist die Termineinhaltung unter allen Last- und Fehlerbedingungen

Gliederung

SP1
- Lehrziele
- C
- UNIX
- Einleitung
- Rechnerorganisation
- Betriebssystemkonzepte
- Betriebsarten

SP2
- Ausblick

Vertiefung

Ausgewählte Kapitel der Systemprogrammierung

- Prozessverwaltung
  - Einplanung (klassisch, Fallstudien)
  - Koroutinen, Programmfäden, Einlastung
- Synchronisation
  - ein-/mehrseitig, blockierend/nicht-blockierend
  - Verklemmungen (Gegenmaßnahmen, Auflösung)
- Speicherverwaltung
  - Adressräume, MMU (Pentium)
  - Disziplinen, virtueller Speicher, Arbeitsmenge
- Dateiverwaltung
  - Organisation des Hintergrundspeichers
  - Datenverfügbarkeit (RAID)

Literaturverzeichnis I

[1] Tennenhouse, D. :
Proactive Computing.
In: *Communications of the ACM* 43 (2000), Mai, Nr. 5, S. 43–50