

Systemprogrammierung

Einleitung

10. Mai 2010

Betriebssysteme. . .

- ... bilden das **Rückgrat** jedes Rechensystems, ob groß oder klein
 - ▶ was Betriebssysteme sind, kann „Glaubenskriege“ hervorrufen
 - ▶ das Spektrum reicht von „Winzlingen“ bis hin zu „Riesen“
 - ▶ simple Prozeduren ⇔ komplexe Programmsysteme
 - ▶ entscheidend ist, dass Betriebssysteme nie dem Selbstzweck dienen
- ... sind unerlässliches **Handwerkszeug** der Informatik
 - ▶ das zu beherrschen und gelegentlich auch noch anzufertigen ist
- ... verstehen, hilft, **Phänomene** zu begreifen und besser einzuschätzen
 - ▶ d.h., Eigenschaften (*features*) von Fehlern (*bugs*) zu unterscheiden
 - ▶ um Fehler kann ggf. „herum programmiert“ werden
 - ▶ um zum Anwendungsfall unpassende Eigenschaften oft jedoch nicht
 - ▶ **Systemverhalten** kann sich positiv/negativ „nach oben“ auswirken

Überblick

Einleitung

- Motivation
- Begriffsdeutung
- Weiterer Vorlesungsverlauf
- Zusammenfassung
- Bibliographie

Fallstudie: Phänomen Speicherverwaltung

Vorbelegung einer Matrix

Fall A: j wächst schneller als i

```
void by_row (int *mx, unsigned int n, int v) {
    unsigned int i, j;
    for (i = 0; i < n; i++)
        for (j = 0; j < n; j++)
            mx[i * n + j] = v;
}
```

mx Zeiger auf ein Feld $m[n][n]$ von $n \times n$ Elementen (n Reihen, n Spalten)

$mx[i * n + j]$
Selektion des j -ten Spaltenelements der i -ten Reihe;
entspricht $m[i][j]$
— sollte C eine solche Operation erlauben

Fall B: i wächst schneller als j

```
void by_column (int *mx, unsigned int n, int v) {
    unsigned int i, j;
    for (j = 0; j < n; j++)
        for (i = 0; i < n; i++)
            mx[i * n + j] = v;
}
```

Wirkt sich der Unterschied auf das Laufzeitverhalten aus?

Fallstudie (Forts.)

Instanzenbildung und Initialisierung der Matrix

```
#include <stdlib.h>

extern void by_row (int*, unsigned int, int);
extern void by_column (int*, unsigned int, int);

main (int argc, char *argv[]) {
    if (argc == 3) {
        unsigned int n;
        if ((n = atol(argv[2])) {
            int *mx;
            if ((mx = (int*)calloc(n*n, sizeof(int)))) {
                if (*argv[1] == 'R') by_row(mx, n, 42);
                else by_column(mx, n, 42);
                free(mx);
            }
        }
    }
}
```

In Abhängigkeit von der Initialisierungsvariante (argv[1]) wird das dynamisch angelegte zweidimensionale Feld (mx) in verschiedener Weise mit demselben Wert (42) vorbelegt. Die Ausdehnung des Felds ist ein weiterer Programmparameter (argv[2]).

Fallstudie (Forts.)

Analyse des Laufzeitverhaltens

- (a)–(g) Linearisierung
 - ▶ zweidimensionales Feld \mapsto eindimensionaler Arbeitsspeicher
- (a)–(g) Zwischenspeicher (engl. *cache*)
 - ▶ Zugriffsfehler (engl. *cache miss*), Referenzfolgen
- (d) Kompilierer
 - ▶ semantische Analyse, Erkennung gleicher Zugriffsmuster
- (d)–(f) virtueller Speicher
 - ▶ Seitenfehler (engl. *page fault*), Referenzfolgen
- (e)–(g) Betriebssystemarchitektur
 - ▶ Verortung der Funktion zur Seitenfehlerbehandlung

Sir Isaac Newton

Was wir wissen, ist ein Tropfen, was wir nicht wissen, ist ein Ozean.

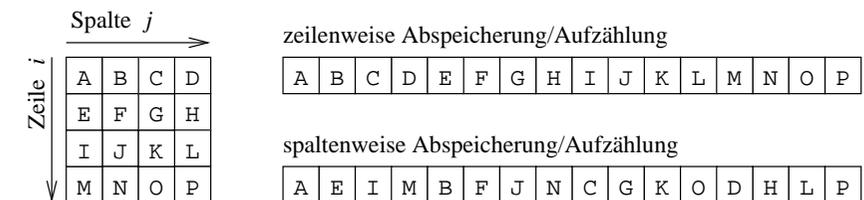
Fallstudie (Forts.)

Laufzeitverhalten für $N \times N$ Matrix, mit $N = 11\,174 \approx 500$ MB Speicherplatzbedarf

Betriebssystem	Zentraleinheit	Speicher	by_row()	by_column()	
Solaris	2×1 GHz UltraSPARC IIIi	8 GB	3.64r	27.07r	(a)
			2.09u	24.68u	
			1.11s	1.10s	
Windows XP (Cygwin)	2×3 GHz Pentium 4 XEON	4 GB	0.87r	11.94r	(b)
			0.65u	11.62u	
			0.21s	0.21s	
Linux 2.6.20	2×3 GHz Pentium 4 XEON	4 GB	0.89r	14.73r	(c)
			0.48u	14.34u	
			0.40s	0.39s	
	2×2.8 GHz Pentium 4	512 MB	51.23r	39.84r	(d)
			0.47u	14.34u	
			2.17s	2.09s	
Mac OS X 10.4	1.25 GHz PowerPC G4	512 MB	10.24r	106.72r	(e)
			0.69u	23.15u	
			2.12s	17.08s	
	1.5 GHz PowerPC G4	512 MB	10.11r	93.68r	(f)
			0.46u	23.71u	
			2.08s	6.85s	
	1.25 GB		2.17r	27.95r	(g)
			0.43u	22.35u	
			1.50s	4.22s	

Linearisierung

Abspeicherung und Aufzählung



- abstrakte Repräsentation zweidimensional
- wirkliche Repräsentation eindimensional
 - ▶ zeilen- oder spaltenweise Abspeicherung des Feldes
 - ▶ zeilen- oder spaltenweise Aufzählung der Feldelemente

Fallstudie, (a)–(g)

- ▶ Abspeicherung zeilenweise (C bzw. main())
- ▶ Aufzählung zeilen- (by_row()) und spaltenweise (by_column())

Linearisierung (Forts.)

Referenzfolgen

Entwicklung der Adresswerte A beim Zugriff auf die Elemente einer zeilenweise abgespeicherten Matrix mit Anfangsadresse γ :

$i \setminus j$	0	1	2	...	$N-1$
0	0	1	2	...	$N-1$
1	$N+0$	$N+1$	$N+2$...	$N+N-1$
2	$2N+0$	$2N+1$	$2N+2$...	$2N+N-1$
...
$N-1$	$(N-1)N+0$	$(N-1)N+1$	$(N-1)N+2$...	$(N-1)N+N-1$

- ▶ $A = \gamma + (i * N + j) * \text{sizeof}(\text{int})$, für $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$

Fallstudie, (a)–(g)

- ▶ linear im homogenen Fall (`by_row()`) \leadsto **starke Lokalität**
 - ▶ Abspeicherung und Aufzählung sind gleichförmig
- ▶ sprunghaft, sonst (`by_column()`) \leadsto **schwache Lokalität**

Kompilierer

Semantische Analyse

funktionale Eigenschaft \mapsto „was“ etwas tut

- ▶ beide Varianten tun das gleiche — nur in verschiedener Weise

nicht-funktionale Eigenschaft \mapsto „wie“ sich etwas ausprägt

- ▶ `by_row()` zählt Feldelemente entsprechend Feldabspeicherung auf
- ▶ `by_row()` zeigt für gegebene Hardware günstigere Zugriffsmuster
- ▶ ...
- ▶ `by_row()` wird schneller als `by_column()` ablaufen können

Fallstudie, (d): Beispiel eines wahren Mysteriums...

- ▶ `gcc -O6 -S` zeigt identischen Assemblersprachencode
 - ▶ `by_column()` ist Kopie von `by_row()`
 - ▶ statische Analyse sagt gleiches Verhalten beider Varianten voraus
- ▶ Experiment brachte Messreihen mit extremen Ausschlägen hervor
 - ▶ „dynamische Umgebung“ verhält sich zugunsten von `by_column()`

Zwischenspeicher

Abpufferung langsamerer Zugriffe auf den Hauptspeicher

Normalfall Datum befindet sich im Zwischenspeicher

- ▶ Zugriffszeit \approx Zykluszeit der CPU, Wartezeit = 0

Ausnahmefall Datum befindet sich *nicht* im Zwischenspeicher

- ▶ Zugriffsfehler \leadsto Einlagerung (Zwischenspeicherzeile, *cache line*)
- ▶ Zugriffszeit \geq Zykluszeit des RAM, Wartezeit > 0

GAU Zwischenspeicher voll im Ausnahmefall

- ▶ Zugriffsfehler \leadsto Ein- und ggf. Auslagerung (Zwischenspeicherzeile)
- ▶ Zugriffszeit $\geq 2 \times$ Zykluszeit des RAM, Wartezeit $\gg 0$

Problem: Lokalität bzw. Linearität der Zugriffe

- ▶ starke Lokalität erhöht die **Trefferwahrscheinlichkeit** erheblich!!!

Fallstudie, (a)–(g)

- ▶ beide Varianten verursachen bei Ausführung den GAU
- ▶ `by_column()` \leadsto schwache Lokalität: schlechte Trefferquote

Virtueller Speicher

Überbelegung des Hauptspeichers

wenn z.B. gilt: `sizeof(Arbeitsspeicher) > sizeof(Hauptspeicher)`

- ▶ Hauptspeicher ist Zwischenspeicher \mapsto **Vordergrundspeicher**
 - ▶ von Teilen eines oder mehrerer voranschreitender Programme
- ▶ ungenutzte Bestände im Massenspeicher \mapsto **Hintergrundspeicher**
 - ▶ z.B. Plattenspeicher, SSD oder gar Hauptspeicher anderer Rechner

Problem: vgl. Zwischenspeicher, S. 4-9

- ▶ Ein-/Auslagerung löst zeitaufwändige Ein-/Ausgabevorgänge aus
- ▶ Zugriffszeit verlangsamt sich um einige Größenordnungen: $\text{ns} \leadsto \text{ms}$

Fallstudie, (a)–(g): Zwickmühle wegen Hauptspeicherkapazität...

(d)–(f) beide Varianten verursachen bei Ausführung den **GAU** (S. 4-9)

- ▶ kontraproduktiver **Seitenvorabruf** (engl. *pre-paging*)
- sonst fallen „nur“ Einlagerungsvorgänge an: Münchhausen gleich...
- ▶ Programm zieht sich selbst komplett in den Hauptspeicher

Betriebssystemarchitektur

Repräsentation und Ausprägung von Systemfunktionen

Schönheit, Stabilität, Nützlichkeit — *Venustas, Firmitas, Utilitas*: Die drei Prinzipien von Architektur [1]:

- ▶ je nach Bedarf sind Systemfunktionen verschieden ausgelegt [2]
 - ▶ sie teilen sich dieselben **Domänen** oder eben auch nicht
 - ▶ bzgl. Adressraum, Ausführungsstrang, Prozessor oder Rechnersystem
- ▶ Funktionsauslegung und **funktionale Eigenschaft** sind zu trennen
 - ▶ beide rufen jedoch gewisse **nicht-funktionale Eigenschaften** hervor
 - ▶ z.B. verursachen domänenübergreifende Aktionen ggf. **Mehraufwand**

Fallstudie, (e)–(g)

- ▶ Mac OS X = NeXTStep \cup Mach 2.5 \leadsto **mikrokernbasiertes System**
 - ▶ Systemfunktionen laufen als *Tasks* in eigenen Adressräumen ab
 - ▶ Tasks bieten Betriebsmittel für ggf. mehrere Ausführungsstränge
 - ▶ Ausführungsstränge sind die Zuteilungseinheiten für Prozessoren
- ▶ Ein-/Auslagerungstask als „externes Rufgerät“: *external pager*
 - ▶ außerhalb des klassischen Kerns \leadsto domänenübergreifende Aktionen

Phänomen hin oder her... ?

Was macht ein Betriebssystem [aus] ?

Zwischenzusammenfassung

Es wird noch nicht erwartet, das alles zu verstehen... [3]

- (a)–(g) Linearisierung
 - ▶ Algorithmen und Datenstrukturen ✓
- (a)–(g) Zwischenspeicher
 - ▶ Grundlagen der Technischen Informatik ✓
 - ▶ Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation ✓
- (d) Kompilierer
 - ▶ Grundlagen des Übersetzerbaus ✂
- (d)–(f) virtueller Speicher
 - ▶ Systemprogrammierung ✕
- (e)–(g) Betriebssystemarchitektur
 - ▶ Systemprogrammierung ✕
 - ▶ Betriebssysteme ✂

Glossar

Be'triebs-sys-tem <n.; -s, -e; EDV> *Programm***bündel**, das die Bedienung eines Computers ermöglicht. [4]

Summe derjenigen Programme, die als *residenter Teil* einer EDV-Anlage für den Betrieb der Anlage und für die Ausführung der Anwenderprogramme erforderlich ist. [5]

Eine *Softwareschicht*, die alle Teile des Systems verwaltet und dem Benutzer eine Schnittstelle oder eine *virtuelle Maschine* anbietet, die einfacher zu verstehen und zu programmieren ist [als die nackte Hardware]. [6]

Glossar (Forts.)

Ein Programm, das als *Vermittler* zwischen Rechnernutzer und Rechnerhardware fungiert. Der Sinn des Betriebssystems ist eine Umgebung bereitzustellen, in der Benutzer bequem und effizient Programme ausführen können. [7]

Ein Betriebssystem kennt auf jeden Fall keinen Prozessor mehr, sondern ist neutral gegen ihn, und das war es vorher noch nie. Und auf diese Weise kann man eben *jeden beliebigen Prozessor auf jedem beliebigen anderen emulieren*, wie das schöne Wort lautet. [8]

Glossar (Forts.)

Der Zweck eines Betriebssystems [besteht] in der *Verteilung von Betriebsmitteln* auf sich bewerbende Benutzer. [11]

Eine Menge von Programmen, die die Ausführung von Benutzerprogrammen und die *Benutzung von Betriebsmitteln steuern*. [12]

Die Programme eines digitalen Rechensystems, die zusammen mit den Eigenschaften der Rechanlage die Grundlage der möglichen Betriebsarten des digitalen Rechensystems bilden und insbesondere die *Abwicklung von Programmen steuern* und überwachen. [13] ☺

Glossar (Forts.)

The operating system is itself a programm which has the functions of *shielding the bare machine* from access by users (thus protecting the system), and also of *insulating the programmer* from the many extremely intricate and messy problems of reading the program, calling a translator, running the translated program, directing the output to the proper channels at the proper time, and passing control to the next user. [9]

Es ist das Betriebssystem, das die Kontrolle über das Plastik und Metall (Hardware) übernimmt und anderen Softwareprogrammen (Excel, Word, ...) eine *standardisierte Arbeitsplattform* (Windows, Unix, OS/2) schafft. [10]

Abriss des Vorlesungsstoffes

Wir werden...

1. einen „Hauch“ Rechnerorganisation und Softwaretechnik „einatmen“
2. Rechnerbetriebsarten kennen- und unterscheiden lernen
3. Betriebssysteme in ihrer Grobfunktion „von aussen“ betrachten
4. Funktionen von Betriebssystemen im Detail untersuchen
5. den Stoff rekapitulieren

Grundzüge der Lehrveranstaltung

Zusammenhänge stehen im Vordergrund, Spezialitäten im Hintergrund

- ▶ Leitfaden ist die ganzheitliche Betrachtung von Systemfunktionen
- ▶ skizziert wird eine logische Struktur ggf. vieler Ausprägungsformen
- ▶ klassischer Lehrbuchstoff wird ergänzt, weniger repetiert oder vertieft

Ausprägungen von Betriebssystemen dürfen nicht dogmatisiert werden

- ▶ etwa: ☆❄️❏❖❗ „ist besser als“ ❄️❏❖❗❏❖❗ — umgekehrt dito
- ▶ oder: ☆❄️❏❖❗ „schlägt beide um Längen“ ...

Betriebssysteme sind immer im **Anwendungskontext** zu sehen/beurteilen

Literaturverzeichnis

- [1] Vitruv Marcus Vitruvius Pollio.
De Architectura Libris Decem.
27 v.Chr. (Primus Verlag, 1996).
- [2] Hugh C. Lauer and Roger M. Needham.
On the duality of operating system structures.
ACM Operating Systems Review, 13(2):3–19, April 1979.
- [3] Dennis MacAlistair Ritchie.
/* You are not expected to understand this */.
<http://cm.bell-labs.com/cm/cs/who/dmr/odd.html>, 1975.
- [4] Renate Wahrig-Burfeind.
Universalwörterbuch Rechtschreibung.
Deutscher Taschenbuch Verlag, September 2002.

Ein Betriebssystem (engl. *operating system*)...

... ist eine **Menge von Programmen**, die

- ▶ Programme, Anwendungen oder BenutzerInnen assistieren sollen
- ▶ die Ausführung von Programmen überwachen und steuern
- ▶ den Rechner für eine Anwendungsklasse betreiben
- ▶ eine **abstrakte Maschine** implementieren

... hat die Aufgabe, die **Betriebsmittel** des Rechners zu verwalten

- ▶ d.h., Ressourcen zu kontrollieren und ggf. gerecht zu verteilen

... definiert sich nicht über die Architektur, sondern über Funktionen

Literaturverzeichnis (Forts.)

- [5] Hans-Jochen Schneider, editor.
Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung.
Oldenbourg-Verlag, München, Wien, fourth edition, 1997.
- [6] Andrew Stuart Tanenbaum.
Operating Systems: Design and Implementation.
Prentice-Hall, Inc., second edition, 1997.
- [7] Abraham Silberschatz, Peter Baer Galvin, and Greg Gagne.
Operating System Concepts.
John Wiley & Sons, Inc., sixth edition, 2001.
- [8] Friedrich Kittler.
Interview.
<http://www.hydra.umn.edu/kittler/interview.html>, 1993.

Literaturverzeichnis (Forts.)

- [9] Douglas Richard Hostadter.
Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid — A Metaphorical Fugue on Minds and Machines in the Spirit of Lewis Carrol.
Penguin Books, 1979.
- [10] Birgit Ewert, Kerstin Christoffer, Uwe Christoffer, and Saban Ünlü.
FreeHand 10.
Galileo Design, 2001.
- [11] Peer Brinch Hansen.
Betriebssysteme.
Carl Hanser Verlag, erste edition, 1977.
- [12] Arie Nicolaas Habermann.
Introduction to Operating System Design.
Science Research Associates, 1976.

Literaturverzeichnis (Forts.)

- [13] Deutsches Institut für Normung.
Informationsverarbeitung — Begriffe.
DIN 44300. Beuth-Verlag, Berlin, Köln, 1985.