Systemprogrammierung

Grundlagen von Betriebssystemen

Teil B – IV. Einleitung

Wolfgang Schröder-Preikschat

19. Mai 2022

Agenda

Gliederung

Systemprogrammierung $\rightsquigarrow$ Betriebssysteme

- Infrastruktursoftware für Rechensysteme
  - was Betriebssysteme sind, hat schon „Glaubenskriege“ hervorgerufen
    - das Spektrum reicht von „Winzlingen“ bis hin zu „Riesen“
    - simple Prozeduren $\Leftrightarrow$ komplexe Programmsysteme
  - entscheidend ist, dass Betriebssysteme nie dem Selbstzweck dienen
- jedes Rechensystem wird durch ein Betriebssystem betrieben
  - Ausnahmen bestätigen die Regel...

„Sein oder Nichtsein, das ist hier die Frage“

- Betriebssysteme sind unerlässliches **Handwerkszeug** der Informatik
  - mit dem umzugehen ist zur Benutzung eines Rechensystems
  - das gelegentlich zu beherrschen, anzupassen und auch anzufertigen ist

- IBM: z/VM (vormals VM/CMS), z/OS

- DEC: VAX/VMS

- DOS (16-/32-Bit)-, NT- und CE-Linie

-     

[1] Shakespeare zur Unabänderlichkeit oder Beeinflussbarkeit des Schicksals.

Variantenvielfalt

„Kleinvieh macht Mist“

- 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
  - Rechensysteme für die gängigsten Aufgaben einer Anwendungsdomäne
  - *die* Domäne der umseitig (S. 5) genannten Vertreter
- Systeme für den Spezialzweck
  - Rechensysteme zur Steuerung oder Regelung „externer“ Prozesse
  - für gewöhnlich mit vorhersagbarem Laufzeitverhalten (**Echtzeitsysteme**)

  ↪ **eingebettete Systeme** (vgl. [11])
    - das „Klugfon“ nicht mitgerechnet

Gliederung

Untersuchung eines Phänomens

Ganzheitsmethode[2]

Die Funktionsweise (auch) von Betriebssystemen zu verstehen, hilft bemerkenswerte Erscheinungen innerhalb eines Rechensystems zu begreifen und in ihrer Bedeutung besser einzuschätzen.

- **Eigenschaften** (*features*) von Betriebssystemen erkennen:
  - funktionale
    - Verwaltung der Betriebsmittel (Prozessor, Speicher, Peripherie) für eine Anwendungsdomäne
  - nichtfunktionale
    - dabei anfallender Zeit-, Speicher-, Energieverbrauch
    - d.h., **Gütemerkmale** einer Implementierung
- aus den funktionalen Eigenschaften resultierendes **Systemverhalten** unterscheiden von Fehlern (*bugs*) des Systems
  - um Fehler kann ggf. „herum programmiert“ werden
  - um zum Anwendungsfall unpassende Eigenschaften oft jedoch nicht

[2] Analytische Lernmethode, die die Vermittlung eines Stoffes als Gesamtheit in den Mittelpunkt stellt, um dann konstituierende Elemente weiter zu untersuchen.

Vorbelegung einer $N \times N$ Matrix

Offenes Feld[3]

- **zeilenweises Vorgehen**: Spaltenelemente `j` von Zeile `i` aufzählen

```
1  void by_row (int mx[], unsigned int n, int v) {
2      unsigned int i, j;
3      for (i = 0; i < n; i++)
4          for (j = 0; j < n; j++)
5              mx[i * n + j] = v;          /* "mx[i][j]" = v */
6  }
```

- **spaltenweises Vorgehen**: Zeilenelemente `i` von Spalte `j` aufzählen

```
7  void by_column (int mx[], unsigned int n, int v) {
8      unsigned int i, j;
9      for (j = 0; j < n; j++)
10         for (i = 0; i < n; i++)
11             mx[i * n + j] = v;          /* "mx[i][j]" = v */
12 }
```

Gemeinsamkeit und Unterschied (von vertauschten Zeilen abgesehen)

funktional erfüllen beide Varianten denselben Zweck

nichtfunktional unterscheiden sie sich ggf. im Laufzeitverhalten

[3] Erst zur Laufzeit bekannte Feldgrenzen (vgl. S. 34). Beachte: `mx[]` ≡ `*mx`.

Instanzenbildung und Initialisierung der Matrix

```
13 #include <stdlib.h>
14
15 main (int argc, char *argv[]) {
16     if (argc == 3) {
17         unsigned int n = atol(argv[2]);
18         if (n != 0) {
19             int *mx = (int*)calloc(n*n, sizeof(int));
20             if (mx != 0) {
21                 if (*argv[1] == 'R') by_row(mx, n, 42);
22                 else by_column(mx, n, 42);
23                 free(mx);
24             }
25         }
26     }
27 }
```

16 Verwendung: *<name> <way> <count>*

17 Größe einer Zeile bzw. Spalte einlesen

19 Matrixspeicher anfordern und löschen

21–22 zeilen-/spaltenweise Initialisierung mit 42

23 Matrixspeicher der Halde zurückgeben

Laufzeitverhalten[4]

$N \times N$ Matrix, mit $N = 11\,174 \approx 500\,\text{MB}$

Betriebssystem	Zentraleinheit	Speicher	`by_row()`	`by_column()`	

Solaris	2 × 1 GHz UltraSPARC IIIi	8 GB	`3.64r`
			`2.09u`
			`1.11s`
				`27.07r`
				`24.68u`
				`1.10s`
					(a)

Windows XP (Cygwin)	2 × 3 GHz Pentium 4 XEON	4 GB	`0.87r`
			`0.65u`
			`0.21s`
				`11.94r`
				`11.62u`
				`0.21s`
					(b)

Linux 2.6.20	2 × 3 GHz Pentium 4 XEON	4 GB	`0.89r`
			`0.48u`
			`0.40s`
				`14.73r`
				`14.34u`
				`0.39s`
					(c)

	2 × 2.8 GHz Pentium 4	512 MB	`51.23r`
			`0.47u`
			`2.17s`
				`39.84r`
				`14.34u`
				`2.09s`
					(d)

Mac OS X 10.4	1.25 GHz PowerPC G4	512 MB	`10.24r`
			`0.69u`
			`2.12s`
				`106.72r`
				`23.15u`
				`17.08s`
					(e)

	1.5 GHz PowerPC G4	512 MB	`10.11r`
			`0.46u`
			`2.08s`
				`93.68r`
				`23.71u`
				`6.85s`
					(f)

		1.25 GB	`2.17r`
			`0.43u`
			`1.50s`
				`27.95r`
				`22.35u`
				`4.22s`
					(g)

[4] `time ./main` x `11174`, mit $x \in$ (`R`, `C`)

Wo uns der Schuh drückt. . .

(a)–(g) **Linearisierung** AuD, GRA
- zweidimensionales Feld ↦ eindimensionaler Arbeitsspeicher

(a)–(g) **Zwischenspeicher** (*cache*) GRA
- Zugriffsfehler (*cache miss*), Referenzfolgen

(d) **Kompilierer & Magie** UEB
- semantische Analyse, Erkennung gleicher Zugriffsmuster

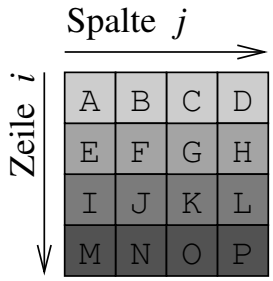
(d)–(f) **virtueller Speicher** SP
- Seitenfehler (*pagefault*), Referenzfolgen

(e)–(g) **Betriebssystemarchitektur** SP
- Verortung der Funktion zur Seitenfehlerbehandlung

Sir Isaac Newton

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

Linearisierung I



zeilenweise Abspeicherung/Aufzählung

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P

spaltenweise Abspeicherung/Aufzählung

A	E	I	M	B	F	J	N	C	G	K	O	D	H	L	P

- im Abstrakten könnte uns diese **Abbildung** egal sein
- im Konkreten jedoch nicht

Abspeicherung	Aufzählung	
	zeilenweise	spaltenweise
zeilenweise	☺	☹
spaltenweise	☹	☺

Fälle (a)–(g)

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

Linearisierung II

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

$i \setminus j$	0	1	2	$\cdots$	$N-1$
0	0	1	2	$\cdots$	$N-1$
1	$N+0$	$N+1$	$N+2$	$\cdots$	$N+N-1$
2	$2N+0$	$2N+1$	$2N+2$	$\cdots$	$2N+N-1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$N-1$	$(N-1)N+0$	$(N-1)N+1$	$(N-1)N+2$	$\cdots$	$(N-1)N+N-1$

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

Fälle (a)–(g)

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

Zwischenspeicher (*cache*)

- **Normalfall**: Datum befindet sich im Zwischenspeicher
  - Zugriffszeit $\approx$ Zykluszeit der CPU, Wartezeit $= 0$
- **Ausnahmefall**: Datum befindet sich *nicht* im Zwischenspeicher

  $\hookrightarrow$ Zugriffsfehler $\rightsquigarrow$ Einlagerung (Zwischenspeicherzeile, *cache line*)
  - Zugriffszeit $\geq$ Zykluszeit des RAM, Wartezeit > 0
  - **schlimmster Fall** (*worst case*): Zwischenspeicher ist voll $\mapsto$ **GAU**

    $\hookrightarrow$ Zugriffsfehler $\rightsquigarrow$ Ein- und ggf. Auslagerung (Zwischenspeicherzeile)
    - Zugriffszeit $\geq 2\times$Zykluszeit des RAM, Wartezeit $\gg 0$
- die Effektivität steht und fällt mit der **Lokalität** der Einzelzugriffe
  - starke Lokalität erhöht die **Trefferwahrscheinlichkeit** erheblich

Fälle (a)–(g)

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

Kompilierer

- **funktionale Eigenschaft** $\mapsto$ „was“ etwas tut
  - beide Varianten tun das gleiche — nur in verschiedener Weise
- **nichtfunktionale 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

Fall (d): Beispiel eines wahren Mysteriums. . .

- die Übersetzung[a] zeigte identischen Assembliersprachenkode
  - `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()`

[a] „`gcc -O -m32 -fomit-frame-pointer -fno-pic -static -S`“ hier und im weiteren Vorlesungsverlauf, soweit nicht anders angegeben.

Virtueller Speicher

Arbeitsspeicher hat mehr Kapazität als der Hauptspeicher[a]

[a] Begrifflich sind Arbeits- und Hauptspeicher verschiedene Dinge!

- Hauptspeicher ist Zwischenspeicher ↦ **Vordergrundspeicher**
  - von Programm- bzw. Adressraumteilen eines oder mehrerer Prozesse
- ungenutzte Bestände im Massenspeicher ↦ **Hintergrundspeicher**
  - z.B. Plattenspeicher, SSD oder gar Hauptspeicher anderer Rechner
- gleiches Problem wie beim Zwischenspeicher (vgl. S. 15)
  - **Seitenumlagerung** (*paging*) ⇝ zeitaufwendige Ein-/Ausgabevorgänge
  - Zugriffszeit verlangsamt sich um einige Größenordnungen: ns ⇝ ms

Fälle (a)–(g): Zwickmühle wegen Hauptspeicherkapazität...

(d)–(f) beide Varianten verursachen den GAU (S. 15)
- kontraproduktiver Seitenvorabruf (*prepaging*) SP2

sonst fallen „nur“ Einlagerungsvorgänge an
- Prozess zieht sein Programm selbst in den Hauptspeicher

Betriebssystemarchitektur

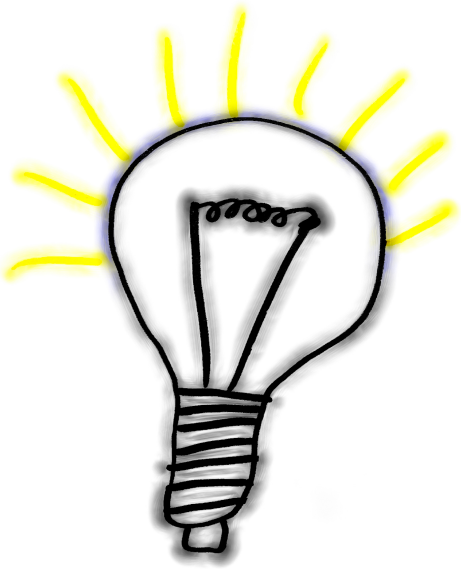
Schönheit, Stabilität, Nützlichkeit — Venustas, Firmitas, Utilitas: Die drei Prinzipien von Architektur [7]

- Systemfunktionen sind architektonisch verschieden ausgeprägt
  - sie teilen sich dieselben Domänen oder eben auch nicht
  - bzgl. Adressraum, Ausführungsstrang, Prozessor oder Rechnersystem
- architektonische und funktionale Merkmale widersprechen sich nicht
  - beide Arten bewirken jedoch gewisse **nichtfunktionale Eigenschaften**
    - z.B. verursachen domänenübergreifende Aktionen ggf. Mehraufwand

Fälle (e)–(g)

- Mac OS X = NeXTStep ∪ Mach 2.5 ⇝ **mikrokernbasiert**
  - Systemfunktionen laufen als *Tasks* in eigenen Adressräumen ab
  - Tasks bieten Betriebsmittel für ggf. mehrere Ausführungsstränge
  - Ausführungsstränge sind die Zuteilungseinheiten für Prozessoren
- **externer Seitenabrufer** (*external pager*) zur Seitenumlagerung
  - außerhalb des klassischen Kerns ⇝ domänenübergreifende Aktionen

„. . . und denen [. . .] ist ein Licht aufgegangen“ [5]



[5] Matthäus 4.16

Gliederung

Phänomen hin oder her...

Was macht ein Betriebssystem [aus] ?

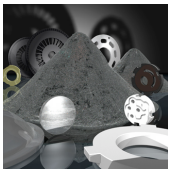
Nachschlagewerke

Summe derjenigen Programme, die als residenter Teil einer EDV-Anlage für den Betrieb der Anlage und für die Ausführung der Anwenderprogramme erforderlich ist. [8]

Be'triebs·sys·tem *<n.; -s, -e; EDV> Programmbündel, das die Bedienung eines Computers ermöglicht. [12]*

Lehrbücher I

Der Zweck eines Betriebssystems [besteht] in der Verteilung von Betriebsmitteln auf sich bewerbende Benutzer. [4]

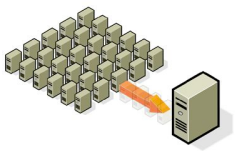




Eine Menge von Programmen, die die Ausführung von Benutzerprogrammen und die Benutzung von Betriebsmitteln steuern. [3]

Lehrbücher II

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]. [10]






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. [9]

Philosophische Lektüre

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. [5]

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. [6]

Sachbücher und Normen

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. [2]

Die Programme eines digitalen Rechensystems, die zusammen mit den Eigenschaften der Rechenanlage die Grundlage der möglichen Betriebsarten des digitalen Rechensystems bilden und insbesondere die Abwicklung von Programmen steuern und überwachen. [1] ☺

Gliederung

Resümee

Be'triebs·sys·tem <n.; -s, -e; EDV> (*operating system*)

- 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
- verwaltet die Betriebsmittel eines Rechensystems
  - kontrolliert die Vergabe der (Software/Hardware) Ressourcen
  - verteilt diese ggf. gerecht an die mitbenutzenden Rechenprozesse
- definiert sich nicht über die Architektur, sondern über Funktionen

Ausblick

- wir werden...

SP1
1. einen „Hauch“ von Rechnerorganisation „einatmen“
2. Betriebssysteme in ihrer Grobfunktion „von aussen“ betrachten
3. Rechnerbetriebsarten kennen- und unterscheiden lernen

SP2
4. eine kurze Zwischenbilanz von SP1 ziehen
5. Funktionen von Betriebssystemen im Detail untersuchen
6. den Stoff rekapitulieren

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

Nachwort

- Typen von Betriebssystemen dürfen nicht dogmatisiert werden
  - etwa: ★❄■◆| „ist besser als“ ✷❄■❄❑◗▲ — umgekehrt dito
  - oder: ★❁❋★✳ „schlägt beide um Längen“...

- Betriebssysteme sind immer im **Anwendungskontext** zu beurteilen
  - „Universalbetriebssysteme“ gibt es nicht wirklich, wird es nie geben
  - allen Anwendungsfällen wird nie gleich gut Genüge getragen

„Universalbetriebssystem“

„Spezialbetriebssystem“

Literaturverzeichnis I

[1] Deutsches Institut für Normung:
Informationsverarbeitung — Begriffe.
Berlin, Köln, 1985 (DIN 44300)

[2] Ewert, B. ; Christoffer, K. ; Christoffer, U. ; Ünlü, S. :
FreeHand 10.
Galileo Design, 2001. –
ISBN 3–898–42177–5

[3] Habermann, A. N.:
Introduction to Operating System Design.
Science Research Associates, 1976. –
ISBN 0–574–21075–X

[4] Hansen, P. B.:
Betriebssysteme.
Carl Hanser Verlag, 1977. –
ISBN 3–446–12105–6

Literaturverzeichnis II

[5] Hofstadter, D. R.:
Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid — A Metaphorical Fugue on Minds and Machines in the Spirit of Lewis Carrol.
Penguin Books, 1979. –
ISBN 0–140–05579–7

[6] Kittler, F. :
Interview.
`http://www.hydra.umn.edu/kittler/interview.html`, 1993

[7] Pollio, V. M. V.:
De Architectura Libris Decem.
Primus Verlag, 1996 (Original 27 v. Chr.)

[8] Schneider, H.-J. :
Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung.
München, Wien : Oldenbourg-Verlag, 1997. –
ISBN 3–486–22875–7

[9] Silberschatz, A. ; Galvin, P. B. ; Gagne, G. :
Operating System Concepts.
John Wiley & Sons, Inc., 2001. –
ISBN 0–471–41743–2

Literaturverzeichnis III

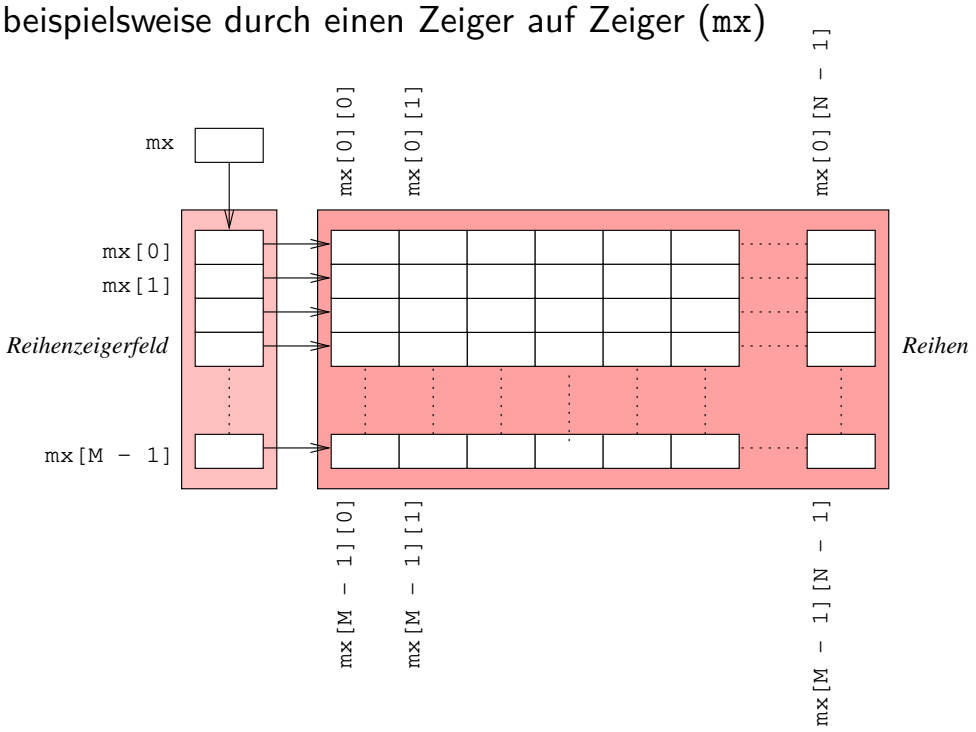
[10] Tanenbaum, A. S.:
Operating Systems: Design and Implementation.
Prentice-Hall, Inc., 1997. –
ISBN 0–136–38677–6

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

[12] Wahrig-Burfeind, R. :
Universalwörterbuch Rechtschreibung.
Deutscher Taschenbuch Verlag, 2002. –
ISBN 3–423–32524–0

Matrix als zweidimensionales offenes Feld

- **offene** (dynamische) **Felder** als Datentypen kennt C nicht, sie sind bei Bedarf durch das **Zeigerkonzept** zu implementieren
  - hier beispielsweise durch einen Zeiger auf Zeiger (`mx`)



Instanzenbildung einer $N \times N$ Matrix

```c
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
    if (argc == 3) {
        unsigned int n = atol(argv[2]);
        if (n != 0) {                          /* allocate row pointer field */
            int **mx = (int**)calloc(n, sizeof(int*));
            if (mx != 0) {                     /* succeeded, setup 2nd dimension */
                bool goon = true;
                for (int i = 0; i < n; i++) {  /* allocate integer rows */
                    mx[i] = (int*)calloc(n, sizeof(int));
                    if (mx[i] == 0) {          /* rows incomplete, skip */
                        goon = false;
                        break;
                    }
                }

                if (goon) {                    /* all complete, initialize...*/
                    if (*argv[1] == 'R') by_row(mx, n, 42);
                    else by_column(mx, n, 42);
                }

                for (int i = 0; i < n; i++) {  /* deallocate integer rows */
                    if (mx[i] == 0) break;
                    free(mx[i]);
                }
                free(mx);                      /* deallocate row pointer field */
            }
        }
    }
}
```

Initialisierung der Matrix

`*mx[]` ≡ `**mx`

- **zeilenweises Vorgehen**: Spaltenelemente `j` von Zeile `i` aufzählen

```c
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][j] = v;
}
```

- **spaltenweises Vorgehen**: Zeilenelemente `i` von Spalte `j` aufzählen

```c
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][j] = v;
}
```

Gemeinsamkeit und Unterschied (vgl. S. 9)

funktional nutzen beide ein zweidimensionales dynamisches Feld

nichtfunktional unterscheiden sie sich im Laufzeitverhalten

Hinter den Kullissen

- kritischer Lastpunkt (*hotspot*) ist die Zuweisung der inneren Schleife[6]
  - dynamisch angelegtes Feld festen Ausmaßes (S. 9)
    - by_row

```
1   LBB0_3:
2       movl %ecx, (%edx,%ebx,4)
3       incl %ebx
4       cmpl %ebx, %eax
5       jne  LBB0_3
```

    - by_column

```
6   LBB1_3:
7       movl %ecx, (%ebx)
8       addl %esi, %ebx
9       decl %eax
10      jne  LBB1_3
```

  - dynamisch angelegtes Feld offenen Ausmaßes (S. 36)
    - by_row

```
11  LBB0_3:
12      movl %ecx, (%edi,%ebx,4)
13      incl %ebx
14      cmpl %ebx, %eax
15      jne  LBB0_3
```

    - by_column

```
16  LBB1_3:
17      movl (%edx,%edi,4), %ebx
18      movl %ecx, (%ebx,%esi,4)
19      incl %edi
20      cmpl %edi, %eax
21      jne  LBB1_3
```

  - zeilenweises Vorgehen ist in beiden Varianten im Zeitverhalten gleich, aber der offene Fall benötigt mehr Speicher (Reihenzeigerfeld)
  - spaltenweises Vorgehen benötigt bei der offenen Variante mehr Zeit, da komplexere und mehr Befehle benötigt werden

[6] `gcc -O -m32 -fomit-frame-pointer -fno-pic -static -S`