

Algorithmen und Datenstrukturen in C/C++

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

24. März 2022

Vorab: Online-Werkzeuge

- **Mumble:** Seminarraum 2
Fragen: Mikrophon einschalten oder über den Chat
Umfragen: über den Chat
- **VNC:** Kanal 6, Passwort: `testcvh`
Eigenen Bildschirm freigeben: per VNC-Server oder Web-Interface
Kamerabild übertragen: Link zu Web-Interface auf Anfrage
- Allgemeine Informationen: <https://www.cvh-server.de/online-werkzeuge/>
- Notfall-Schnellzugang: <https://www.cvh-server.de/virtuelle-raeume/>
Seminarraum 2, VNC-Passwort: `testcvh`
- Bei Problemen: bitte notieren:
Art des Problems, genaue Uhrzeit, JavaScript-Fehlermeldungen (F12)
- GitLab: <https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/ad>
Links auf die Datei klicken, nicht mittig auf den Kommentar.

Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp.git>

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
- 5 Algorithmen**
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - 5.3 Aufwandsabschätzungen
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**
 - 7.1 Stack und FIFO
 - 7.2 Verkettete Listen
 - 7.3 Bäume

Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp.git>

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen**
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - 5.3 Aufwandsabschätzungen
- 6 Objektorientierte Programmierung
- 7 Datenstrukturen**
 - 7.1 Stack und FIFO
 - 7.2 Verkettete Listen
 - 7.3 Bäume

Algorithmen

Differentialgleichungen

- Pendel
- Basketball

Rekursion

- Türme von Hanoi

→ *Wie rechnet man das überhaupt aus?*

Aufwandsabschätzungen

- Selectionsort
- Bubblesort
- Quicksort

→ *Wie rechnet man das möglichst effizient aus?*

- ? möglichst schnell
- ? mit möglichst wenig Speicherplatzverbrauch
- ? unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen

Datenstrukturen

Stack und FIFO

- effizientes Anfügen und Entfernen vorne und hinten
- effizienter direkter Zugriff auf Elemente in der Mitte
- ineffizientes Einfügen und Entfernen in der Mitte

Verkettete Listen

- effizientes Einfügen und Entfernen in der Mitte
- ineffizienter direkter Zugriff auf Elemente in der Mitte

Bäume

- Kompromiß

→ *Wie speichert man das möglichst effizient?*

- ? möglichst schnell
- ? mit möglichst wenig Speicherplatzverbrauch
- ? unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen

Datenstrukturen

Structs und Objekte

- zusammengehörige Daten gemeinsam speichern

Stack und FIFO – Arrays

- effizientes Anfügen und Entfernen vorne und hinten
- effizienter direkter Zugriff auf Elemente in der Mitte
- ineffizientes Einfügen und Entfernen in der Mitte

Verkettete Listen – Structs mit Pointern

- effizientes Einfügen und Entfernen in der Mitte
- ineffizienter direkter Zugriff auf Elemente in der Mitte

Bäume – Structs mit Pointern

- Kompromiß

→ *Wie speichert man das möglichst effizient?*

- ? möglichst schnell
- ? mit möglichst wenig Speicherplatzverbrauch
- ? unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen

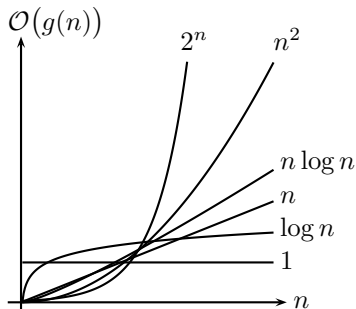
Aufwandsabschätzungen

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Für jede zusätzliche Scheibe
verdoppelt sich die Rechenzeit!

$$\rightarrow \frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$$

für 64 Scheiben



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

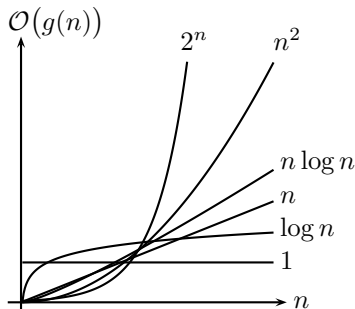
Aufwandsabschätzungen

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

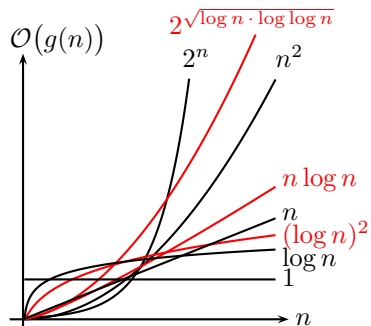


n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Aufwandsabschätzungen

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

RSA: Schlüsselerzeugung (Berechnung von d): $\mathcal{O}((\log n)^2)$,

Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

Verschlüsselung brechen (Primfaktorzerlegung): $\mathcal{O}(2^{\sqrt{\log n \cdot \log \log n}})$

Algorithmen und Datenstrukturen in C/C++

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/ad.git>

1 Einführung

2 ...

$\mathcal{O}(n \log n)$ Rasterung array
struct Wegfindung CORDIC
B-Baum FFT
verkettete Liste Verschlüsseln pointer
Datenbanken Datenkompression
digitale Signatur Hash-Tabelle
kryptographische Hash-Funktion Prüfsumme

Algorithmen und Datenstrukturen in C/C++

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/ad.git>

1 Einführung

2 ...

$O(n \log n)$

Rasterung

array

struct

Wegfindung

CORRIG

FFT

B-Baum

Verschlüsseln

pointer

verkettete Liste

Datenbanken

Datenkompression

digitale Signatur

Hash-Tabelle

Prüfsumme

kryptographische Hash-Funktion

Online-Werkzeuge für Home Office, Lehre
und Kommunikation mit Unterdrückten

Algorithmen und Datenstrukturen in C/C++

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/ad.git>

1 Einführung

i Online-Werkzeuge für Home Office, Lehre
und Kommunikation mit Unterdrückten

2 Datenorganisation

3 Optimierung

4 Hardwarenahe Algorithmen

5 Datenkodierung

6 Numerik



Änderungen
vorbehalten

Übungsaufgabe: Verkettete Listen

- (a) Schreiben Sie eine Funktion, die eine verkettete Liste in die umgekehrte Reihenfolge bringt.
- (b) Schreiben Sie eine Funktion, die eine verkettete Liste in eine doppelt verkettete Liste umwandelt.
- (c) Wieviel Rechenzeit (Landau-Symbol) benötigen Ihre Funktionen?
- (d) Wieviel Speicherplatz (Landau-Symbol) benötigen Ihre Funktionen?

Algorithmen und Datenstrukturen in C/C++

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/ad.git>

- 1 Einführung
 - i Gesellschaftliche Auswirkungen von Algorithmen und Datenstrukturen
- 2 Datenorganisation
- 3 Optimierung
- 4 Hardwarenahe Algorithmen
- 5 Datenkodierung
- 6 Numerik



Änderungen
vorbehalten

1 Einführung in C++

1.0 Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen



Hardware und/oder Betriebssystem

- Hardware direkt ansprechen und effizient einsetzen
- ... bis hin zu komplexen Software-Projekten

→ Man kann Computer vollständig beherrschen.

1 Einführung in C++

1.0 Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- Hardware direkt ansprechen und effizient einsetzen
- ... bis hin zu komplexen Software-Projekten
- leistungsfähig, aber gefährlich

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

C makes it easy to shoot yourself in the foot.

Bjarne Stroustrup, ca. 1986

http://www.stroustrup.com/bs_faq.html#really-say-that

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln
- kein „Fallschirm“

1 Einführung in C++

1.1 Was ist C++?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kompatibel zu C

C++ is a better C.

C++ unterstützt

- *objektorientierte Programmierung*
- *Datenabstraktion*
- *generische Programmierung*

Bjarne Stroustrup, Autor von C++
<http://www.stroustrup.com/C++.html>

*C makes it easy to shoot yourself in the foot;
C++ makes it harder, but when you do
it blows your whole leg off.*

Bjarne Stroustrup, Autor von C++, ca. 1986
http://www.stroustrup.com/bs_faq.html
[#really-say-that](#)

Motivation:

Vermeidung unsicherer Techniken,
insbesondere von Präprozessor-Konstruktionen und Zeigern,
unter Beibehaltung der Effizienz

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

Array:

```
char a[] = "Test";
```

Zeiger:

```
char *p = "Test";
```

- In beiden Fällen wird ein Array von ganzen Zahlen (5 **char**-Variable mit den Werten 84, 101, 115, 116 und 0) im Speicher angelegt.
- Links heißt das Array **a**; rechts ist es „anonym“.
- Rechts wird zusätzlich ein Zeiger **p** im Speicher angelegt, der auf das (anonyme) Array zeigt.
- **&a** ist dasselbe wie **a**, nämlich die Adresse des Arrays.
- **&p** ist die Adresse des Zeigers.
- **p** ist der Wert des Zeigers, momentan also die Adresse des (anonymen) Arrays.

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

Array:

```
char a[] = "Test";
```

Zeiger:

```
char *p = "Test";
```

- In beiden Fällen wird ein Array von ganzen Zahlen (5 **char**-Variable mit den Werten 84, 101, 115, 116 und 0) im Speicher angelegt.
- Links heißt das Array **a**; rechts ist es „anonym“.
- Rechts wird zusätzlich ein Zeiger **p** im Speicher angelegt, der auf das (anonyme) Array zeigt.
- **&a** ist **fast** dasselbe wie **a**, nämlich die Adresse des Arrays **bzw. das Array selbst, das zuweisungskompatibel zu einem Zeiger auf Elemente des Arrays ist. & bewirkt hier eine (nicht explizite!) Typumwandlung.**
- **&p** ist die Adresse des Zeigers.
- **p** ist der Wert des Zeigers, momentan also die Adresse des (anonymen) Arrays.

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

Array:

```
char *a[] = { "Dies", "ist", "ein", "Test" };
```

Zeiger:

```
char **p = a;
```

- Array von Zeigern auf **char**-Variable
- Zeiger auf das Array = Zeiger auf Zeiger auf **char**-Variable
- Schleife durch äußeres Array mit **p++** möglich

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

Array:

```
char a[][5] = { "Dies", "ist", "ein", "Test" };
```

Zeiger:

```
char *p = a[0];
```

- zweidimensionales Array von **char**-Variablen
- Zeiger auf Array-Komponente
= Zeiger auf eindimensionales Array
= Zeiger auf **char**-Variable
- Schleife durch äußeres Array mit Zeiger-Arithmetik ~~nicht~~ möglich

nur mit Trick: `p += 5`

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

```
typedef char string5[5];  
string5 a[] = { "Dies", "ist", "ein", "Test" };  
string5 *p = a;
```

- Array von Array von **char**-Variablen
= zweidimensionales Array von **char**-Variablen
- Zeiger auf zweidimensionales Array
- Schleife durch äußeres Array mit **p++** möglich

→ Fazit:
Ein Hoch auf **typedef**!

1.2 C: Arrays und Zeiger für Fortgeschrittene

```
typedef char string5[5];  
string5 *p = { "Dies", "ist", "ein", "Test" };
```

- ~~anonymes Array von Array von **char**-Variablen
= anonymes zweidimensionales Array von **char**-Variablen~~
- ~~Zeiger auf zweidimensionales Array~~
- ~~Schleife durch äußeres Array mit **p++** möglich~~

Das Konstrukt { "Dies", "ist", "ein", "Test" }
steht für ein Array von 4 Zeigern auf **char**-Variable.

string5 *p hingegen erwartet einen Zeiger auf ein Array von 5 **char**-Variablen.
Es bekommt die Adresse von "Dies" zugewiesen.

Durch das Erhöhen von **p** (um 5) zeigt es danach *zufällig* auf das "ist".
Bei nochmaligem Erhöhen zeigt es auf das "in" von "ein".

(Auch ohne Optimierung werden die Strings "ist", "ein" und "Test"
u. U. wegoptimiert.)

1.3 Elementare Neuerungen in C++ gegenüber C

1.3 Elementare Neuerungen in C++ gegenüber C

- Kommentare mit //

1.3 Elementare Neuerungen in C++ gegenüber C

- Kommentare mit //
- Konstante:
const int n = 5;
int prime[n] = { 2, 3, 5, 7, 11 };

1.3 Elementare Neuerungen in C++ gegenüber C

- Kommentare mit //
- Konstante:
`const int n = 5;`
`int prime[n] = { 2, 3, 5, 7, 11 };`
- Ab C++11: `constexpr`-Funktionen
C++11: darf nur aus einem einzigen `return`-Statement bestehen
→ `?:` statt `if`, Rekursion statt Schleife
C++-14: auch Verzweigungen und Schleifen erlaubt