

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

30. November 2023

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

4 Hardwarenahe Programmierung

...

4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen

4.8 Speicherausrichtung – Alignment

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

5.2 Rekursion

5.3 Aufwandsabschätzungen

6 Objektorientierte Programmierung

7 Datenstrukturen

4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen

Beispiel für Gleitkommazahl: $2,351 \cdot 10^5$ (oder: 2.351×10^5)

Bezeichnungen: Mantisse $\cdot 10^{\text{Exponent}}$

C-Schreibweise: **2.351e5** (oder: **2.351E5**)

Wie speichert man Gleitkommazahlen?

m -Bit-Zahl, davon

- e Bits für den Exponenten (einschließlich Vorzeichen),
- 1 Bit für das Vorzeichen der Mantisse,
- $m - e - 1$ Bits für die Mantisse.

Trick: Mantisse als *normalisierte Zahl* abspeichern

Vorteil gegenüber ganzen Zahlen:

größerer Wertebereich bei vergleichbarem Speicherplatzbedarf

Nachteil gegenüber ganzen Zahlen: Rundungsfehler

→ **ungeeignet** für Anwendungen, bei denen es auf jedes Bit ankommt
(z. B. Verschlüsselung)

4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen

Problem beim Arbeiten mit Gleitkommazahlen: Auslöschung von Ziffern

- Zahlen aufsummieren:
vorher sortieren, mit der kleinsten Zahl beginnen
- Ableitungen bilden:
Beim Bilden von Differenzquotienten
verliert man notwendigerweise an Präzision!
→ Die Differenzen sehr sorgfältig auswählen.
→ Am besten gar nicht ableiten, sondern integrieren.
(Trick: Ableiten über Fourier-Transformationen)

4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;  
uint16_t b;  
uint8_t c;  
  
uint8_t a;  
uint8_t c;  
uint16_t b;
```

Fazit:

- **Adressen von Variablen sind systemabhängig**
- Bei Definition von Datenformaten Alignment beachten → effizienter

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t)$$

$$y'(t) = v_y(t)$$

$$v'_x(t) = 0$$

$$v'_y(t) = -g$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad y(t) = \int v_y(t) dt$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt = \int v_{0y} - g \cdot t dt$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \qquad x(t) = \int v_x(t) dt = \int v_{0x} dt = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

$$y'(t) = v_y(t) \qquad \Rightarrow \qquad y(t) = \int v_y(t) dt = \int v_{0y} - g \cdot t dt = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v'_x(t) = 0 \qquad v_x(t) = \int 0 dt = v_{0x}$$

$$v'_y(t) = -g \qquad v_y(t) = \int -g dt = v_{0y} - g \cdot t$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$x'(t) = v_x(t) \quad x += v_x * dt;$$

$$y'(t) = v_y(t) \quad y += v_y * dt;$$

\Rightarrow

$$v'_x(t) = 0 \quad v_x += 0 * dt;$$

$$v'_y(t) = -g \quad v_y += -g * dt;$$

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

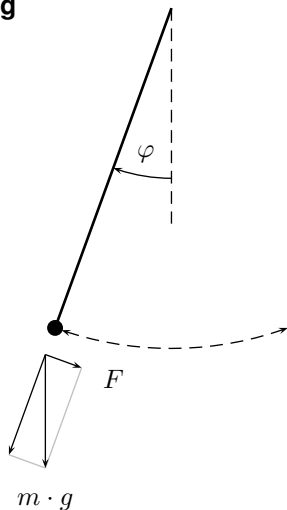
Beispiel 2: Mathematisches Pendel

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```



5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

Beispiel 1: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Beispiel 2: Mathematisches Pendel

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

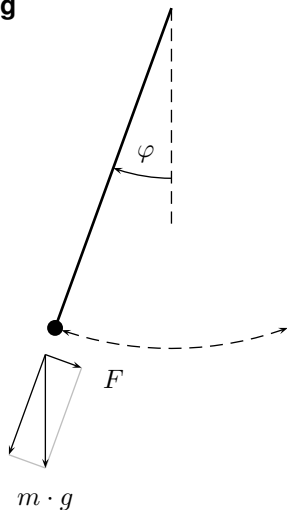
$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```

Beispiel 3: Weltraum-Simulation

Praktikumsaufgabe



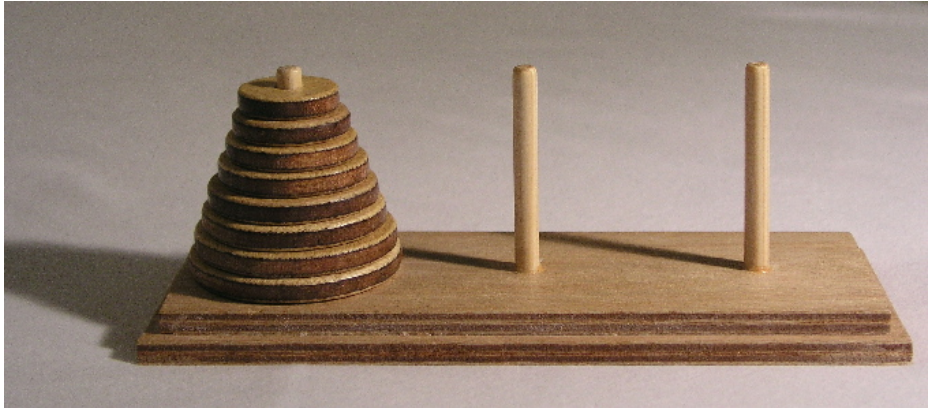
5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

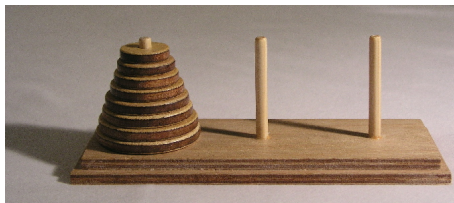


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.

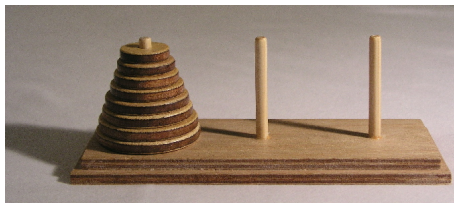


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar:
 schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz,
 verschiebe die darunterliegende,
 hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz



5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

```
void move (int from, int to, int disks)
{
    if (disks == 1)
        move_one_disk (from, to);
    else
    {
        int help = 0 + 1 + 2 - from - to;
        move (from, help, disks - 1);
        move (from, to, 1);
        move (help, to, disks - 1);
    }
}
```