Systemprogrammierung

Foliensatz A
– Einleitung
– Grundlagen C / Bash

Prof. Dr. Hans-Georg Eßer

Wintersemester 2023/24
v1.0 – 11.10.2023

Zur Vorlesung (1)

Hilfreiche Vorkenntnisse:

- C – Grundlagen der Programmierung in C (oder C++, C#, Java)
- Betriebssysteme 1 (Theorie) und
- Betriebssysteme 2 (Shell-Programmierung)

Zur Vorlesung (2)

Prüfung:

- keine Vorleistung nötig
- Prüfung besteht aus
  – Implementierungsarbeit mit
  – Dokumentation

1. Einführung / Motivation

Warum Systemprogrammierung?

- verstehen, wie Programme, Bibliotheken und Betriebssystem zusammen arbeiten
- Hauptspeicher effizient nutzen
- systemnahe Programmierung z. B. für Embedded-Systeme wichtig
- interessante Vertiefung zur Vorlesung *Betriebssysteme 1*
- Hier: BS = Linux / Unix, Programmiersprache C mit langer Tradition (Unix: 1969; C: 1972)

Gliederung

Gliederung (1)

1. Einleitung
2. Wiederholung: Grundlagen C und Linux-Shell Bash
3. Software und Betriebssystem; System Calls
4. Prozesse: fork, exec, wait
5. Dateien: open, read, write, close
6. Fortgeschrittene I/O
7. Speicherverwaltung: malloc, free, memcpy
8. Nebenläufigkeit mit POSIX-Threads
9. Netzwerk-Programmierung: TCP/IP, Sockets, HTTP
10. Einführung ins Projekt

Gliederung (2)

- Zu einigen Themen erst Grundlagen (Theorie der Betriebssysteme)
- Vorstellung der Features, die Linux hier bietet
- Programmieraufgaben dazu

Gegen Ende des Semesters:
größeres Programmierprojekt

2. Wiederholung C und Bash

- *nicht* objektorientierte Programmierung
- Variablen, C-Structs
- Funktionen
- Pointer und Arrays
- Linux-Shell Bash (→ *Betriebssysteme 2*)

3. Software / BS / System Calls

Gliederung

- System Calls (Syscalls), Beispiele
- Syscalls in Assembler und C aufrufen
- Bibliotheksfunktionen
- Beispiel: Dateizugriff mit fread()
- Syscall-Tracer: strace

4. Prozesse

Gliederung

- Prozesskonzept unter Unix / Linux
  - Prozesskontrollblock
  - PID, Vater/Sohn, Baumstruktur
- Prozessverwaltung in der Shell
- Neue Prozesse erzeugen, fork()
- Programm in Prozess laden, exec*()
- Warten auf Prozess, wait()
- Signalisierung, kill(); Signal-Handler, signal()
- Priorisierung, setpriority(), nice()

5. Dateien

Gliederung

- Dateisysteme unter Unix/Linux
  - Datei, Inode, Verzeichnis
  - Link, Symlink, Named Pipe
- Datei öffnen und schließen, file descriptor
- lesen, schreiben, Position
- fork und offene Dateien
- Low-Level- und Bibliotheksfunktionen: open(), read(), ... vs. fopen(), fread(), …
- Verzeichnisse

6. Fortgeschrittene I/O

Gliederung

- Standard-Eingabe, -Ausgabe und -Fehlerausgabe, inkl. file descriptors
- Bibliotheksfunktionen printf() und scanf()
- Pipes, dup()
- I/O-Multiplexing mit select()
- Memory-mapped files
- Locking
- Sparse Files

7. Speicher

Gliederung

- Speicherverwaltung in C
- Organisation des Prozess-Speichers (Code, Daten, Stack, Heap)
- Speicher reservieren, sbrk(), malloc()
- Speicher freigeben, free()
- Eigene malloc-Version

8. Threads

Gliederung

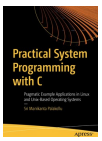
- Nebenläufigkeit innerhalb einer Anwendung
- Speichermodell Threads
- POSIX-Threads
  - erzeugen, pthread_create()
  - warten, pthread_join()
- Vergleich Threads / Prozesse

9. Netzwerk

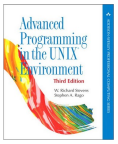
Gliederung

- Grundlagen TCP/IP
- Sockets
- einfache Client-/Server-Programmierung
- HTTP

Literatur



Practical System Programming with C
Sri Manikanta Palakollu; 2020
→ KAI, PDF



Advanced Programming in the UNIX Environment
W. Richard Stevens, Stephen A. Rago; 2013 (3rd edition)

Linux/Unix Systemprogrammierung
Helmut Herold; 2004 (3. Auflage)

A Tutorial on Pointers and Arrays in C
Ted Jensen, 50 S., 2003
https://github.com/jflaherty/ptrtut13/tree/master/pdf

2. Wiederholung C und Bash

C-Grundlagen (1)

- Vorab das wichtigste:
  - keine Klassen / Objekte
    → statt Objekten: „structs“ (zusammengesetzte Datentypen)
    → statt Methoden nur Funktionen
    → zu bearbeitende Variablen immer als Argument übergeben
  - kein String-Datentyp (sondern Zeichen-Arrays)
  - häufiger Einsatz von Zeigern
  - `int main () {}` ist immer Hauptprogramm

C-Grundlagen (2)

- Ausführlichere Informationen fürs Selbststudium:
  http://www.c-howto.de/
  → auf der Webseite: ausführlichere Version mit erklärenden Kommentaren (Download: Zip-Archiv)
- auch als Buch für ca. 20 € erhältlich

C-Grundlagen (3)

- Im Anschluss an diese Vorlesung:
  erstes Übungsblatt mit C-Aufgaben
- Vorbereitend ein paar Informationen zu
  - **Structs** (Strukturen, zusammengesetzte Typen)
  - **Pointern**
  - **Quellcode- und Header-Dateien** (Prototypen)

Strukturen und Pointer (1)

Structs

- Mehrere Möglichkeiten der Deklaration

```
struct {
  int i;
  char c;
  float f;
} variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```

```
struct mystruct {
  int i;
  char c;
  float f;
};

struct mystruct variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```

```
typedef struct {
  int i;
  char c;
  float f;
} mystruct;

mystruct variable;

variable.i = 9;
variable.c = 'a';
variable.f = 0.123;
```


Strukturen und Pointer (2)

Pointer

- Deklaration mit *: `char *ch_ptr;`
- verwalten Speicheradressen (an welchem Ort befindet sich die Variable?)
- Operatoren
  - & (Adresse von)
  - * (Dereferenzieren)

```
char ch, ch2;
char *ch_ptr;  char *ch_ptr2;

ch_ptr = &ch;  // Adresse von ch?
ch2 = *ch_ptr; // Inhalt

ch_ptr2 = ch_ptr;
   // kopiert nur Adresse
```


Strukturen und Pointer (3)

- Struct und Pointer kombiniert
- Oft bei verkettenen Listen

```
struct liste {
  struct liste *next;
  struct liste *prev;
  int inhalt;
};

struct liste *anfang;
struct liste *p;

for (p=anfang; p != NULL; p=p->next) {
  use (p->inhalt);
}
```

Strukturen und Pointer (4)

- Pointer-Typen
  - `typ *ptr;`
    → `ptr` ist ein Zeiger auf etwas vom Typ `typ`
  - `typ **pptr;`
    → `pptr` ist ein Zeiger auf einen Zeiger vom Typ `typ`
  - `ptr` bzw. `pptr` sind Speicheradressen
  - `*ptr` gibt den Wert zurück, der an der Speicherstelle abgelegt ist, auf die `ptr` zeigt
  - analog: `**pptr` ist ein Wert, aber `*pptr` ein Zeiger

Strukturen und Pointer (5)

- Pointer-Typen
  - &-Operator erzeugt zu Variable einen Pointer
  - Beispiele:

```
int i;
int *ip;
int **ipp;

i   = 42;
ip  = &i;       // ip = Adresse von i
ipp = &ip;      // ipp = Adresse von ip

print (*ip);    // -> 42
print (**ipp);  // -> auch 42
```


Strukturen und Pointer (6)

- Nicht-initialisierte Pointer: schlecht
  - Beispiel:

```
int *ip;
int **ipp;

print (ip);   // nicht-init. Adresse (0)
print (*ip);  // illegal -> Abbruch

*ip = 42;     // auch illegal, schreibt an
              // nicht def. Adresse
```

Strukturen und Pointer (7)

- Vorsicht bei `char* a,b,c;` etc.

```
$ cat t2.c
int main () {
  char* a,b;
  printf ("|a| = %d \n", sizeof(a));
  printf ("|b| = %d \n", sizeof(b));
}

$ gcc t2.c; ./a.out
|a| = 8
|b| = 1
```

- besser: `char *a, *b, *c;`

Prototypen (1)

- Programm- und Header-Dateien
  - Header-Dateien (*.h) enthalten Funktionsprototypen und Makrodefinitionen (aber keinen normalen Code)
  - Programmdateien (*.c) enthalten den Code, können aber ebenfalls Prototypen und Makros enthalten (kein Zwang, eine .h-Datei zu erzeugen)

Prototypen (2)

- Funktionsprotoypen (in Header-Dateien)
  - erlauben die Verwendung von Funktionen, deren Implementierung weiter unten im Programm (oder in einer anderen Datei) steht
  - Prototyp enthält nur Rückgabetyp, Name und Argumente, z. B.

```
int summe (int x, int y);
```

Prototypen (3)

- Wie findet der Compiler die Header-Dateien?
  → Zwei Varianten:
  - `#include "pfad/zu/datei.h"`

    Dateiname ist Pfad (relativ zu Verzeichnis mit der .c-Datei)
  - `#include <name.h>`

    name.h wird in den Standard-Include-Verzeichnissen gesucht.

    Welche sind das? Beim Bauen des gcc festgelegt...

Include-Verzeichnisse

- Standard-Include-Verzeichnisse

Ubuntu 22.04 →

```
ubu:~$ cpp -v
Using built-in specs.
Target: x86_64-linux-gnu
[...]
#include "..." search starts here:
#include <...> search starts here:
 /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/include
 /usr/local/include
 /usr/include/x86_64-linux-gnu
 /usr/include
End of search list.
```

Debian 6.0 ↓

```
deb:~$ cpp -v
Using built-in specs.
Target: i486-linux-gnu
[...]
#include "..." search starts here:
#include <...> search starts here:
 /usr/local/include
 /usr/lib/gcc/i486-linux-gnu/4.4.5/include
 /usr/lib/gcc/i486-linux-gnu/4.4.5/include-fixed
 /usr/include
End of search list.
```

… und deren Unterordner

Bash

- Vorkenntnisse aus BS2:

```
ls          rm
ls -l       rm -r
touch       rm -f
cp          cd
cp -r       mkdir
mv          rmdir
```

- Wildcards (*, ?)
- relative / absolute Pfade
- Kurz- und Langoptionen (– vs. ––)
- Manpages
- Shell-Variablen; `export`
- Filter: `cat`, `cut`, `head`, `sed`, `sort`, `split`, `tail`, `tr`, `uniq`, `wc`