System-Programmierung 2: Funktionen

n|w

Ablauf heute

½ Vorlesung,

½ Hands-on,

Feedback.

Slides & Hands-on: tmb.gr/syspr-2

Funktionen in C

Definition einer Funktion:

```
return-type function-name(parameter-decl's) {
    declarations and statements
}
```

```
int max(int a, int b) {
    int m;
    if (a > b) { m = a; } else { m = b; }
    return m;
}
```

n|w

Deklaration einer Funktion:

```
return-type function-name(parameter-decl's);
```

```
int max(int a, int b);
```

Aufruf einer Funktion:

```
function-name(arguments);
```

```
m = max(5, 7);
n = max(max(6, PI), 7);
printf("%d", max(3, 4));
max(5, 7); // ignoriert Resultat
```

n|w

Argumentübergabe "by value" power.c

Parameter *base* und *n* sind Kopien der Argumente:

```
int power(int base, int n) {
    int result = 1;
    while (n > 0) {
        result *= base;
        n--;
    }
    return result;
}
```

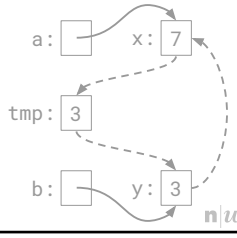
n|w

Argumentübergabe "by reference" swap.c

Parameter / Argumente zeigen auf dasselbe:

```
void swap(int *a, int *b) {
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}

int x = 3, y = 7;
swap(&x, &y);
```



n|w

Funktion in Datei auslagern — main.c, f.c

Deklaration der Funktion *f* in *main.c*:

```
void f(void); // nur f() hiesse ≥ 0 Argumente
```

C Dateien einzeln mit *gcc -c* kompilieren:

```
$ gcc -c f.c      erzeugt f.o
$ gcc -c main.c   erzeugt main.o
```

Ein Programm aus den Objektdateien linken:

```
$ gcc -o my_program main.o f.o
```

n|w

Basis-Typen zurückgeben

z.B. Return-Wert vom Typ *float*:

```
float parse_float(char s[]) { … return f; }
```

Deklaration mit *float* Return-Wert:

```
float parse_float(char s[]);
```

Aufruf ist ein Ausdruck vom Typ *float*:

```
int parse_int(char s[]) {
    return (int) parse_float(s);
}
```

n|w

Struct-Typen zurückgeben — struct.c

z.B. Return-Wert vom Typ *Point*:

```
typedef struct { int x; int y; } Point;
Point create_point(int x, int y) { … }
```

Deklaration mit *Point* Return-Wert:

```
Point create_point(int x, int y);
```

Aufruf ist ein Ausdruck vom Typ *Point*:

```
Point origin = create_point(0, 0);
```

n|w

Hands-on, 15': Heap Struct — struct_v2.!c

In struct.c wird ein Struct auf dem Stack alloziert, mit return zurückgegeben und dabei "by value" kopiert.

Schreiben Sie ein Programm *my_struct_v2.c*, das für *create_struct* Pointer und malloc verwendet:

```
Point *create_point(int x, int y);
```

Passen Sie den restlichen Code entsprechend an, der Compiler gibt Ihnen dabei nützliche Hinweise.

n|w

Globale Variablen — count.c

Globale, "externe" Variable bleibt erhalten:

```
int count; // global

void f() { count++; }

int main() {
    f(); f(); f();
    // count = 3
}
```

n|w

Scope Regeln — scope.c

Der Scope einer Variable beginnt mit der Deklaration:

```
int b = a; // error: a undeclared
int a = 0;
int b = a; // ok: a was declared
```

Dieselbe Regel gilt für die Sichtbarkeit in Funktionen:

```
void f() { int j = i; } // error: i undeclared
int i;
```

Ein lokaler Scope endet am Ende des *{ }* Blocks.

n|w

Funktionen sollten im Voraus deklariert werden:

```
void f() { g(); } // warning: implicit decl.
void g() { … }    // (error, falls gcc -Wall)
```

Deklaration von *g()* ohne *void* wäre nicht korrekt:

```
g(); // default return Typ ist int [K&R p.30]
```

Falls Reihenfolge fix, hilft Vorwärts-Deklaration:

```
void g(void); // forward declaration
void f() { g(); }
void g() { … }
```

n|w

Um Variablen in mehr als einer Datei zu benutzen, werden sie einmal definiert, und mehrfach deklariert:

```
int i; // Definition von i und (unten) Array a,
int a[32]; // Speicher wird auf Stack alloziert
```

Deklaration einer Variable, die extern definiert ist:

```
external int i; // Deklaration von i und a[],
external int a[]; // kein Speicher alloziert

external int i = 0; // Fehler, nicht erlaubt
external int a[32]; // Dimension ist optional
```

n|w

Header Dateien /nest

Eine Header Datei erlaubt, Deklarationen zu teilen:

```
// nest.h
#define MIN_TEMP 5
void nest_up(void);
void nest_down(void);
int nest_temp(void);
```

```
// home.c
#include "nest.h"
void home_leave() {
    nest_down(); …
}
```

```
// nest.c
#include "nest.h"
int temp; …
```

n|w

Statische Variablen static.c

Variablen sind über Dateigrenzen hinweg sichtbar:

```
int temp; // in nest.c, sichtbar in home.c
```

Modifier *static* begrenzt Sichtbarkeit auf die Datei:

```
static int temp; // nur sichtbar in nest.c
```

In Funktionen beschränkt *static* den Scope auf diese. Der Zustand bleibt über Funktionsaufrufe hinweg da:

```
void f() { static int count = 0; count++; }
```

n|w

Block Struktur scope.c

Jeder Block *{ }* spannt einen eigenen Scope auf:

```
int i = 0; // "extern", globaler Scope
void f() { // nicht geschachtelt
    int i = 1;
    { // freistehender Block
        int i = 2;
    }
    if (…) { int i = 3; … } else { … };
}
```

n|w

Initialisierung garbage.c

Globale, "externe" und *static* Variablen sind Null:

```
int i; // per Default mit 0 initialisiert
char c = '0' + 3; // konstante Expression
```

Lokale, "automatische" Variablen sind undefiniert:

```
void f() {
    int i; // = Garbage(!)
}
```

Compiler Flags können hier helfen, siehe makefile. n|w

Rekursion

fib.c

Eine Funktion kann sich selbst aufrufen:

```
int f(int n) {
    if (n < 2) { // "Abbruchbedingung"
        return n;
    } else {
        return (f(n-1) + f(n-2)); // Rekursion
    }
}
```

n|w

Pointers auf Funktionen

map.c

Funktion *map*, die Funktionen auf Arrays anwendet:

```
void map(int a[], int len, int (*f)(int));
int inc(int i); // Beispiel-Funktion
```

Implementierung wendet *f* auf die Elemente von *a* an:

```
for (int i=0; i<len; i++) { a[i] = f(a[i]); }
```

Aufruf mit *f* = *inc* Funktion, die ein *int* inkrementiert:

```
map({0, 0, 7}, 3, inc); // => {1, 1, 8}
```

n|w

Präprozessor

Jedes *#include* wird mit dem Datei-Inhalt ersetzt:

```
#include "file-name" // sucht im Source Dir.
#include <file-name> // folgt Such-Heuristik
```

Jedes Auftreten des Tokens wird textuell ersetzt:

```
#define token-name replacement-text
#define PI 3.14159
#define max(A, B) ((A) > (B) ? (A) : (B))
```

Der Scope eines Makros reicht bis zum Dateiende.

n|w

Hands-on, 5': Makros (auf Papier)

max.!c

Gegeben ein Makro:

```
#define max(A, B) ((A) > (B) ? (A) : (B))
```

Und (separat) die Funktion:

```
int max(int a, int b) { return a > b ? a : b; }
```

Was passiert beim folgenden Aufruf?

```
int i = 1, j = 0;
int m = max(++i, j); // m_Makro = ?, m_Funktion = ?
```

n|w

Präprozessor #if:

```
#if int-expression
#elif int-expression
#else
#endif
(z.B. $ cat /usr/include/assert.h)
```

Bedingte #defines:

```
#ifndef token-name (oder #ifdef token-name)
#define token-name
#endif
```

n|w

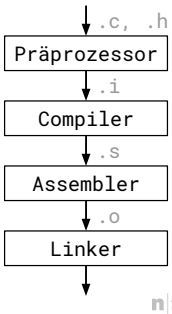
Kompilationsprozess

Schritt für Schritt:

```
$ echo "int main() {}" > my.c
$ cpp my.c > my.i      => my.i
$ gcc -S my.i          => my.s
$ as -o my.o my.s      => my.o
$ ld -o my my.o …      => my
```

Was *gcc* wirklich macht:

```
$ gcc -v -o my my.c
```



n|w

Libraries

Eine Library (Programmbibliothek) besteht aus vorkompilierten Objektdateien die mit einem Linker in ein Programm gelinkt werden können.

Statische Libraries *.a* werden ins Programm kopiert.

Dynamische Libraries *.so* werden zur Laufzeit in das Programm gelinkt, mit "dynamic linking". Der Code kann von mehreren Programmen genutzt werden.

n|w

System-Programmierung

Neben der Programmiersprache C brauchen wir für System-Programmierung ein Verständnis des UNIX/Linux Betriebssystems, das in den Modulen *bsys* und *sysad* ausführlich behandelt wurde.

n|w

Betriebssystem-Kern

Betriebssystem kann auch Tools bedeuten, hier eher Core OS, *Kernel*; verwaltet Linux System-Resourcen.

Prozess-Scheduling; Memory-Management; Datei-System; Prozesse starten / beenden; Device-Zugang verwalten (USB etc.); Networking; *System Call API*.

n|w

Kernel- und User-Mode

Die CPU läuft im *Kernel-Mode* oder im *User-Mode*.

Teile des virtuellen Speichers können als User- bzw. Kernel-Space markiert werden; User dürfen weniger.

Manche Operationen sind nur dem Kernel erlaubt: z.B. der Zugang zur Speicherverwaltungs-Hardware, die Instruktion *halt* und Operationen für Geräte-I/O.

n|w

Kernel- und Prozess-Sicht

Für ein Prozess passieren Dinge asynchron, er weiss nicht, wann und wie lange er die CPU für sich hat, ob er im RAM oder ausgelagert ist, und wo auf der Disk Dateien physisch abgelegt sind; wie Device I/O geht.

Der Kernel macht das alles transparent für Prozesse.

Ein Prozess "kreiert einen Prozess" heisst eigentlich er "bittet den Kernel einen Prozess zu kreieren".

n|w

System Calls

Ein *System Call* ist ein kontrollierter Eintrittspunkt in den Kernel, der seine Dienste via *API* bereitstellt.

Bei System Calls geht die CPU in den Kernel-Mode.

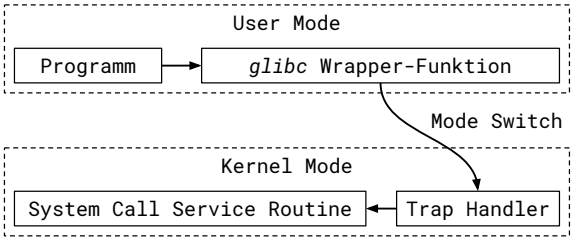
Argumente werden kopiert v. User- zu Kernel-Space.

Jeder System Call hat einen Namen und eine Nr./ID.

Siehe syscalls.h in Linux, syscallent.h in *strace*.

n|w

System Call



n|w

Standard / GNU C Library

version.c

Standard C Bibliothek auf Linux Systemen ist glibc:

```
$ ldd file | grep libc => /libc.so.6
$ /lib/arm-linux-gnueabihf/libc.so.6 => v2.24
```

Version kann auch per Programm bestimmt werden:

```
printf("%d, %d", __GLIBC__, __GLIBC_MINOR__);
```

```
#include <gnu/libc-version.h>
const char *gnu_get_libc_version(void);
printf("%s", gnu_get_libc_version());
```

n|w

Error Handling

error.c

Fail fast! System Call Fehlercodes immer behandeln.

Viele System Calls geben im Fehlerfall -1 zurück, und der Fehlercode steht in der globalen Variable *errno*:

```
#include <errno.h>
fd = open(pathname, flags, mode);
if (fd == -1) { // Fehlerbehandlung
    if (errno == EINTR) { … } else { … }
}
```

Achtung: Erfolgreiche Calls setzen errno nicht auf Null.

n|w

Fehlermeldung ausgeben mit *perror()*:

errno.c

```
#include <stdio.h>
perror("open"); // liest errno
```

Oder Meldung mit *strerror()*:

```
#include <string.h>
char *msg = strerror(errno);
```

Manche System Calls geben im *Erfolgs*fall -1 zurück; dort setzt man *errno* vor dem Aufruf auf `0`.

n|w

System-Datentypen

sys_t.c

Die Grösse von *int*, *long*, etc. ist Hardware-, und die Grösse von System-Datentypen Versions-abhängig, deshalb werden Standard C Typen verwendet, z.B.:

```
#include <sys/types.h> // Definiert pid_t, …
typedef int pid_t; // Typ für Prozess IDs
pid_t pid = …; // Code wird portabler
```

Durch *typedef* wird die "Implementierung" der PID Grösse von der Verwendung im Code entkoppelt.

n|w

Standard C Typ *pid_t* ist auf ARM Linux so definiert:

```
$ cat /usr/include/arm-linux-gnueabihf\
/sys/types.h | grep pid_t
typedef __pid_t pid_t;
$ cat /usr/includ…/bits/types.h | grep __pid_t
__STD_TYPE __PID_T_TYPE __pid_t;
$ cat /u…/bits/typesizes.h | grep __PID_T_TYPE
#define __PID_T_TYPE __S32_TYPE
$ cat /usr/inc…/bits/types.h | grep __S32_TYPE
#define __S32_TYPE int
```

n|w

Hands-on, 15': Kilo.c

Analysieren Sie den Source Code dieses Programms:
https://github.com/antirez/kilo/blob/master/kilo.c

Kompilieren Sie das Programm und benutzen Sie es.

Was macht das Programm? Gibt es extra Features?

Was fällt Ihnen im Source Code besonders auf?

(@antirez ist auch der Autor von Redis.)

n|w

Selbststudium, 3h: File In-/Output

Als Vorbereitung auf die nächste Lektion, lesen Sie [TLPI] *Chapter 4: File I/O, The Universal I/O Model.*

Das PDF des Kapitels 4 ist verfügbar als Teil der offiziellen "Downloadable samples from the book".

Die nächste Lektion fasst den Lesestoff zusammen, ohne Selbststudium wird das Tempo eher hoch sein.

n|w

Feedback?

Gerne im Slack oder an thomas.amberg@fhnw.ch

Programmierfragen am besten schriftlich.

Sprechstunde auf Voranmeldung.

Slides, Code & Hands-on: tmb.gr/syspr-2