Computergrundlagen
Programmieren in C

Frank Uhlig and Jens Smiatek and Maria Fyta and Axel Arnold

Institut für Computerphysik
Universität Stuttgart

Wintersemester 2017/2018

Die Programmiersprache C

Geschichte

- 1969-1973: entwickelt in Bell Labs von D.M. Ritchie für Systemprogrammierung des Unix
- 1978: C-Buch ('K&R-C') von Kernighan and Ritchie
- 1989: Standard ANSI C89 = ISO C90
- 1999: Standard ISO C99
- 2011: Standard C11

Die Programmiersprache C

Eigenschaften

- 'general-purpose'
- imperative und strukturierte Programmiersprache
- Die meisten physikalische Software sind in C, bzw. Fortran geschrieben
- C-Code oft deutlich schneller als z.B. Python-Code
- Besonders bei numerischen Problemen
- Intensiver Einsatz von Zeigern
- Kein Schutz gegen Speicherüberläufe
- syntaktisch klein, aber semantisch groß
- statische Typen

Die Programmiersprache C

C-Compiler

- übersetzt C-Quellcode in Maschinencode
- GNU gcc, Intel icc, IBM XL C, Portland Group Compiler, ...
- Für praktisch alle Prozessoren gibt es C-Compiler
- Compiler optimieren den Maschinencode
- Compiler übersetzt nur Schleifen, Funktionsaufrufe usw.
- Bibliotheken für Ein-/Ausgabe, Speicherverwaltung usw.

Anwendungen

- System- und Anwendungsprogrammierung
- Grundlegende Programme aller Unix-Systeme
- Systemkernel vieler Betriebsysteme, größtenteils GNOME, KDE
- Zahlreiche 'höhere' Programmiersprachen (Perl, Java, C++, C#, Objective-C, usw.) orientieren sich an Syntax von C
- Python-Interpreter ist in C geschrieben (CPython)

Hello, World!

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hallo Welt\n");
  return 0;
}
```

```c
#include <stdio.h>
    int main(){printf(
"Hallo Welt\n");return 0;}
```

- C-**Quellcode** muss als Textdatei vorliegen (z.B. `helloworld.c`)
- Formatierung: viele Freiheiten bei der Formatierung des C-Quelltexts (aber falsche Einrückung erschwert Fehlersuche)
- Anweisungen mit Semikolon beendet (Zeilenumbruch irrelevant)
- Kommentare mittels
  - `/* */` - beliegig viele Zeilen (nicht verschachteln!)
  - `//` - ab dem Kommentarzeichen für den Rest der Zeile

Compilieren

- Vor der Ausführung mit dem GNU-Compiler **compilieren**:
  `gcc –Wall –O3 –std=c99 –o helloworld helloworld.c`

- Erzeugt ein *Binär*programm `helloworld`,
  d.h. das Programm ist betriebssystem- und architekturspezifisch
  (unter Linux-System mit `ldd` überprüfen welche Bibliotheken eingebunden)

- „-Wall -O3 -std=c99“ schaltet alle Warnungen und die Optimierung an, und wählt den ISO C99-Standard anstatt C90

Standard Bibliothek

- **`#include`** ist **Präprozessor-Anweisung**
- Bindet den Code eine **Headerdatei** ein
- Die Standard-Bibliothek ist kein Teil der Programmiersprache C selbst, aber eine Umgebung die Standard-C realisiert
- Stellt Funktionen, Typen und Makros der Bibliothek zur Verfügung
- Headerdateien beschreiben Funktionen anderer Module
  z.B. `stdio.h` Ein-/Ausgabefunktionen wie `printf`
- `stdio.h` ist Systemheaderdatei, Bestandteil der C-Umgebung
- Systemheaderdateien liegen meist unter `/usr/include`

Präprozessor

- “simpler” Textersetzer
- vor dem (und i.d.R. von dem) Compiler aufgerufen
- gibt bearbeiteten Text an Compiler weiter
  - . . . von da an wie vorher beschrieben
- Präprozessordirektiven starten mit #
  - *kein* Kommentar
  - *kein* Teil der Sprache C
  - *keine* Überprüfung auf korrekte Syntax
- PP ersetzt Kommentare mit Leerzeichen

Präprozessor - include

```
#include <stdio.h>
#include "myheader.h"
```

- Einbinden sogenannter “Header”-Dateien (kommen am Kopf des Quellcodes)
- Deklaration von Funktionen, die zu anderen Modulen gehören
- Deklaration von Datentypen, Makros, Konstanten
- <> aus Standardinstallationsverzeichnissen
  - andere Verzeichnisse können durchsucht/hinzugefügt werden mittels:
    `export C_INCLUDE_PATH=mydir:${C_INCLUDE_PATH}$`
    `gcc -I mydir`
- "" Dateien relativ zum Projektverzeichnis

Präprozessor - define

Präprozessorkonstanten

```
#define PI 3.14159265359
#define GREETING "Hello world!"
```

- sogenannte Präprozessorkonstanten
- alle Vorkommnisse von PI/GREETING ersetzt durch entsprechende Werte
- Konvention: alles in Großbuchstaben

Makros

```
#define RAD2DEG(x) ((x)/PI*180)
#define IS_ODD( num ) ((num) & 1)
```

- *funktionsartige* Ausdrücke, die durch Präprozessor eingesetzt werden
- kein Leerzeichen zwischen Name der Makro und zugehörigen Argumenten

Präprozessor - if, else, endif, ifdef, ifndef

```
#define DEBUG 1
#if DEBUG
// do something uberly verbose here
#else
// do regular stuff
#endif

#ifdef DEBUG
// do something always when DEBUG is defined
#endif
```

- Konditionale für Präprozessor
- z.Bsp. zum aktivieren von Codeteilen
- if/else überprüfen Wert der Konstanten (0/1 - falsch/wahr)
- ifdef/ifndef überprüfen Vorhandensein/Definition der Konstanten
  - auch über Kommandozeile steuerbar:
    `gcc -DDEBUG`

Funktionen

- Jedes C-Programm besteht aus Funktionen (z.B. `printf` und `main`)
- Die Funktionen müssen nicht unbedingt einen Rückgabewert geben
- Das Hauptprogramm (sowie auch die Funktionen) werden durch geschweifte Klammern in Blöcke eingeteilt.
- Innerhalb des Blocks stehen dann die Anweisungen des C-Programms
- Anweisungen werden in C durch ein Semikolon ';' abgeschlossen.

```
main
```

- `main`: Hauptroutine, hier startet das Programm
- Der Rückgabewert von `main` geht an die Shell (`$> echo $?`)

Hello, World!

```
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hello, World\n");
  return 0;
}
```

- `printf`: formatierte Textausgabe
- Rückgabewert vom **Datentyp** **`int`**, keine Parameter („`()`“)
- **`return`** beendet die Funktion `main`
- Argument von **`return`** ist der Rückgabewert der Funktion (hier 0)

Datentypen in C

- **Grunddatentypen**

`char`	8-Bit-Ganzzahl, für Zeichen	'1','a','A',...
`int`	32- oder 64-Bit-Ganzzahl	1234, -56789
`float`	32-Bit-Fließkommazahl	3.1415, -6.023e23
`double`	64-Bit-Fließkommazahl	-3.1415, +6.023e23

- **Arrays** (Felder): ganzzahlig indizierter Vektor
- **Pointer** (Zeiger): Verweise auf Speicherstellen
- **Structs und Unions**: zusammengesetzte Datentypen, Datenverbünde
- **`void`** (nichts): Datentyp, der nichts speichert
  - Rückgabewert von Funktionen, die nichts zurückgeben
  - Zeiger auf Speicherstellen unspezifierten Inhalts

Variablen

```
int a,b,c,summe;
a=1; b=2; c=3;
summe=a+b+c;
printf("Die Summe ist %d\n",sum);
return 0;
```

Hier: a, b, c, summe sind Ganzzahlen.

- Alle Variablen in C müssen (nur einmal) vor Benutzung deklariert werden
- können bei der Deklaration mit Startwert **initialisiert** werden
- Variablenamen beliebig lang (A-Z, a-z, 0-9, _)
- Es gibt lokale und globale Variablen
- Globale Variablen werden außerhalb von Funktionen deklariert und sind von allen Funktionen les- und schreibbar
- Initialisieren wichtig!, ansonsten nicht definiert welcher Wert in Variablen

Variablen

```
int global;
int main() {
  int i = 0, j, k;
  global = 2;
  int i;  // Fehler! i doppelt deklariert
}
void funktion() {
  int i = 2; // Ok, da anderer Gueltigkeitsbereich
  i = global;
}
```

Hier:

- Ganzzahl `global` : globale Variable
- Ganzzahl `i` : lokale Variable
  - Gültigkeitsbereich ist der innerste offene Block
  - daher kann `i` in `main` und `funktion` deklariert werden

Typumwandlung

```
int nenner = 1;
int zaehler = 1000;
printf("Ganzzahl: %f\n",
  (float)(nenner/zaehler)); // → 0.000000
printf("Fliesskomma: %f\n",
  ((float) nenner)/zaehler); //→ Fliesskomma: 0.001000
```

- C wandelt Typen nach Möglichkeit automatisch um
- Explizite Umwandlung: geklammerter Typname vor Ausdruck
  Beispiel: `(int)( ((float) a) / b)`
- Umwandlung in **`void`** verwirft den Ausdruck
- nicht jeder Typ kann in jeden anderen Typ *verlustfrei* umgewandelt werden (**`float`** vs **`double`**, **`short int`** vs **`long int`**)
- **`sizeof`**`(Objekt)` gibt Länge in Bytes zurück

Ausdrücke

```
3 + 4 * 10; // ergibt 43
(3 + 4) * 10; // ergibt 70
```

- Befehle/Anweisungen in Form von Variable, Konstaten, Funktionen. . . kombiniert/verbunden durch Operatoren
- abgetrennt durch Semikolon
- Auswertung eines Ausdrucks entsprechend der Prioritäten der Operatoren

  bei gleicher Priorität entscheidet Assoziativität
- mehrere Ausdrücke zusammengefasst durch geschweifte Klammern $\rightarrow$ Block

Operatoren und Präferenzen

nach absteigender Priorität

Operator	Regel
Elementselektion	Objekt . Element
Zeigerselektion	Objekt -> Element
Indizierung	Zeiger [Ausdruck]
Funktionsaufruf	Ausdruck (Ausdrucksliste)
Postinkrement	Lvalue ++
Postdekrement	Lvalue –
Objektgröße	sizeof Objekt
Typgröße	sizeof Typ
Präinkrement	++ Lvalue
Prädekrement	– Lvalue
Komplement	Ausdruck
Nicht	! Ausdruck
Unäres Minus	- Ausdruck
Unäres Plus	+ Ausdruck
Adresse	& Lvalue
Dereferenzierung	* Ausdruck
Cast (Typumwandlung)	(Typ) Ausdruck
Multiplikation	Ausdruck * Ausdruck
Division	Ausdruck / Ausdruck
Modulo	Ausdruck % Ausdruck
Addition	Ausdruck + Ausdruck
Subtraktion	Ausdruck - Ausdruck
Linksschieben	Ausdruck « Ausdruck
Rechtsschieben	Ausdruck » Ausdruck

Operatoren und Präferenzen - Fortsetzung

Operatoren	Regel
Kleiner	Ausdruck < Ausdruck
Kleiner gleich	Ausdruck <= Ausdruck
Größer	Ausdruck > Ausdruck
Größer gleich	Ausdruck >= Ausdruck
Gleichheit	Ausdruck == Ausdruck
Ungleich	Ausdruck != Ausdruck
Bitweises Und	Ausdruck & Ausdruck
Bitweises Exklusiv-Oder	Ausdruck ^ Ausdruck
Bitweises Oder	Ausdruck | Ausdruck
Logisches Und	Ausdruck && Ausdruck
Logisches Oder	Ausdruck || Ausdruck
Einfache Zuweisung	Lvalue = Ausdruck
Multiplikation und Zuweisung	Lvalue *= Ausdruck
Division und Zuweisung	Lvalue /= Ausdruck
Modulo und Zuweisung	Lvalue %= Ausdruck
Addition und Zuweisung	Lvalue += Ausdruck
Subtraktion und Zuweisung	Lvalue -= Ausdruck
Linksschieben und Zuweisung	Lvalue «= Ausdruck
Rechtsschieben und Zuweisung	Lvalue »= Ausdruck
Bitweises Und und Zuweisung	Lvalue &= Ausdruck
Bitweises Oder und Zuweisung	Lvalue |= Ausdruck
Bitweises Exklusiv-Oder und Zuweisu	Lvalue ^ = Ausdruck
Bedingte Zuweisung	Ausdruck ? Ausdruck : Ausdruck
Komma	Ausdruck , Ausdruck

- *LValue* - “Links-Wert” (existiert über Ausdruck hinaus)
  ++1 ist kein gültiger Ausdruck!

Operatoren

```
3 - (5 + 2); // -4
(3 - 5) + 2; // 0
value = 3 - 5 + 2; //  0
newvalue = ++value;
```

- alle Operatoren haben Rückgabewert
- Rückgabewert mittels Zuweisung (=) in Variablen gespeichert
- binäre Operatoren (+/-/*...) sind *linksbindend*

  bei vernküpften Operationen werden diese von links nach rechts ausgeführt
- unäre Operatoren (++/!...) sind *rechtsbindend* $\rightarrow$ Operand kommt nach Operator

Ein-/Ausgabe Funktionen

`putchar(c)`	Ausgabe eines Zeichens auf der Standart-ausgabe (Bildschirm)
`puts(str)`	Ausgabe einer Zeichenfolge
`printf ("%d + %d ergibt %d.", x, y, ergebnis)`	formatierte Ausgabe (von Variablen unterschiedlichen Typs)
`getchar()`	Einlesen eines Zeichens von der Standard-eingabe (Tastatur)
`gets(str)`	Einlesen einer Zeichenfolge
`scanf ("%d %f %d", &i, &x, &j)`	Einlesen von Variablen verschiedenen Typs

Einfaches I/O (getchar, putchar)

```
char c;
c=getchar();
putchar(c);
```

- getchar(), putchar(): die einfachsten Funktionen in der Standard-Bibliothek die **einzelne** Zeichen lesen/schreiben können

Ausgabe – printf

```
int n=511;
printf("Welche ist die Oktalzahl fuer %d?",n);
printf("%s! %d dezimal ist %o oktal\n","Richtig", n,n);
```

- '%d' für eine Zahl im Dezimalsystem
- '%s' gibt einzelne Zeichen aus
- '%s' gibt eine ganze Zeichenkette (string) aus
- '%o' gibt eine Oktalzahl statt eine Dezimalzahl aus (ohne führende Null)
- '%xh' gibt eine Hexadezimalzahl statt eine Dezimalzahl aus
- '\n' Zeilenendezeichen (newline)
- '\t' horizontaler Tabulator (Tab)
- '\v' vertikaler Tabulator

Eingabe – scanf

```
int num1 = 0, num2 = 0;

 printf ("Geben Sie die erste Zahl ein: ");
 scanf ("%3d", &num1);

 printf ("Geben Sie nun die zweite Zahl ein: ");
 scanf ("%d", &num2);

 printf ("\nDie eingegebenen Zahlen waren:\n");
 printf ("num1: %d\nnum2: %d\n", num1, num2);

 return 0;
```

2 Ganzzahlen werden eingelesen. Die erste muss max. 3 Stelle haben ('%3d').
längere Eingabe: Rest bleibt im Eingabepuffer und wird von scanf weitergelesen.

Bedingte Ausführung – if

if (Ausdruck) Anweisung

```
c=getchar();
if ( c=="?") // schlecht, benutze: strcmp aus string.h
printf("warum hasst du ein Fragezeichen gegeben?\n");
```

Vergleiche und logische Verknüpfungen

- == gleich
- != : nicht gleich
- > (<) : größer (kleiner)
- >= (<=): größer(kleiner) oder gleich
- „&&“: logisches „und“
- „||“ : logisches „oder“
- „!“ : logisches „nicht“

```
if (a<b) {
  t=a;
  a=b;
  b=t;
}
```

else Anweisung

if (Ausdruck) Anweisung1 else Anweisung2

```
if(a<b)
      x=a;
else
      x=b;
```

oder

Ausdruck1 ? Ausdruck2 : Ausdruck3:

Ausdruck1 wird ausgewertet; when nicht Null ist der Wert gleich dem Ausdruck2, sonst ist der Wert gleich Ausdruck3. z.B. der Wert von

```
a<b ? a : b;
```

ist a when a kleiner als b und b sonst.

if, else

- Es gibt kein 'elseif', aber Blocks von if's und else's if(...)
  {...}
  else if(...)
  {...}
  else
  {...}

```
if( c==’’ || c==’\t’ || c==’\n’)...
```

Überprüft ob das Zeichen c leer, ein Tabulator oder ein Zeilenendezeichen ist.

```
int i=1, j=5, m;
if (i>j)
   m=i;
else
   m=j;
```

i,j vergleichen um den Wert von m auszuwerten

while – Schleife

while (Ausdruck) Anweisung

Die Anweisung wird ausgeführt, wenn der Kontrollausddruck einen Wert ungleich 0 ergeben hatte.

```
int i=0;
  while(i!= 10)
  {
    printf(" i is %d\n", i);
    i++;
  }
```

Inkrement von i, bis i nicht 10 wird

```
int c;
  c=getchar();
  while (c!=EOF))
  {
   putchar(c);
   c=getchar();
  }
```

Dateien kopieren

do while – Schleife

do Anweisung while (Ausdruck);

Die Ausführung der Anweisung wird solange wiederholt, bis der Kontrollausdruck den Wert 0 ergibt. (Im Unterschied zur while-Anweisung wertet die do-Anweisung den Kontrollausdruck erst nach der Ausführung einer zugehörigen Anweisung aus.)

```
int i=1;
do
  {
    printf("%d\n", i++);
  } while (i<=10);
```

Im Beispiel, werden die Zahlen von 1 bis 10 gegeben.

Arithmetik

Die übliche Rechenzeichen werden verwendet: '+', '-', '*','/' und Modulo '%'.
x=a%b → a mod b: x ist der Rest der Division a geteilt durch b.

char Variablen können wie int Variablen behandelt werden.

z.B. c=c+'A'-'a': wandelt einen kleingeschriebenen ascii Buchstaben der in c gespeichert ist in einen großgeschriebenen Buchstaben um (Voraussetzung: fester Abstand aller ascii Zeichen)

```
char c;
while((c=getchar())!='0')
    if('A'<=c && c<='Z')
        putchar(c+'a'-'A');
    else
        putchar(c);
```

wandelt Groß- in Kleinschreibung um.

Inkrement und Dekrement

Kurzschreibweisen zum Ändern von Variablen:

- `i += v, i -= v; i *= v; i /= v`
  - Addiert *sofort* v zu i (zieht v von `i` ab, usw.)
  - Wert im Ausdruck ist der *neue* Wert von `i`

```
int k, i = 0;
k = (i += 5);
printf("k=%d i=%d\n", k, i); →i=5 k=5
```

- `++i` und `--i` sind Kurzformen für `i+=1` und `i-=1`
- `i++` und `i--`
  - Erhöhen / erniedrigen i um 1 *nach* der Auswertung des Ausdrucks
  - Wert im Ausdruck ist also der *alte* Wert von `i`

```
int k, i = 0;
k = i++;
printf("k=%d i=%d\n", k, i); →i=1 k=0
```

for – Schleife

for (Ausdruck-1$_{opt}$; Ausdruck-2$_{opt}$; Ausdruck-3$_{opt}$) Anweisung
for (Deklaration Ausdruck-2$_{opt}$; Ausdruck-3$_{opt}$) Anweisung

```
for (int i = 1; i < 100; ++i) {
  printf("%d\n", i);
}
```

for-Schleifen bestehen aus

- Initialisierung der Schleifenvariablen
  - Eine hier deklarierte Variable ist nur in der Schleife gültig
  - Hier kann eine beliebige Anweisung stehen (z.B. auch nur `i = 1`)
  - Dann muss die Schleifenvariable bereits deklariert sein
- Wiederholungsbedingung:
  die Schleife wird abgebrochen, wenn die Bedingung unwahr ist (hier, bis i bzw. k = 100)
- Erhöhen der Schleifenvariablen

for – Schleife

```
int i, j;
for (i = 1; i < 100; ++i) {
  if (i == 2) continue;
  printf("%d\n", i);
  if (i >= 80) break;
}
for (j = 1; j < 100; ++j) printf("%d\n", i);
```

- **break** verlässt die Schleife vorzeitig
- **continue** überspringt Rest der Schleife („forever“)
- Deklaration in der **for**-Anweisung erst seit C99 möglich
- Vorteil: Verhindert unbeabsichtigte Wiederverwendung von Schleifenvariablen

Bedingte Ausführung – switch

```
switch (Ausdruck)
{
case Wert1: Anweisung1;
            Anweisung2;
            ...
            break;
  case Wert2: Anweisung1;
            Anweisung2;
            ...
            break;
            ...

      default : Anweisungen;
}
```

- Das Argument von `switch (Wert)` muss ganzzahlig sein
- Die Ausführung geht bei `case konst:` weiter, wenn `wert=konst`
- **`default:`** wird angesprungen, wenn kein Wert passt
- Der **`switch`**-Block wird ganz abgearbeitet
- Kann explizit durch **`break`** verlassen werden

switch – Beispiel

```
int eingabe;
 printf ("Geben Sie einen Wert ein: ");
 scanf ("%d",&eingabe);
 switch (eingabe)
 {
   case 1:  printf ("Eine eins wurde eingegeben.");
            break;
   case 2:  printf ("Die Eingabe war zwei.");
            break;
   case 3:  printf ("Drei wurde eingegeben.");
            break;
   default: printf ("Es wurde etwas anderes angegeben.");
 }
 return 0;
```

- Mehrfache Unterscheidungen: Der Eingabenwert muss sich auf drei (hier:1, 2 oder 3) verschiedene Werte überprüft werden.
- Mit switch lassen sich Verzweigungen bilden.