8. Funktionen Teil I

Prof. Dr. Markus Gross

Informatik I für D-ITET (WS 03/04)

- Grundlagen
- Funktionsprototypen
- Pass by Value
- Pointer Argumente
- Pointer auf Funktionen
- Rekursion

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Definition und Deklaration

- Die Verwendung einer Funktion in C++ erfordert folgende Komponenten
  - Funktionsprototyp
  - Funktionsdefinition
  - Funktionsaufruf
- Unterscheidung zwischen Deklaration und Definition
- Prototypen sind oft in Header Files deklariert
- Prototyp kann auch zu Beginn des Quellfiles und ausserhalb anderer Funktionen stehen
- Wir unterscheiden zwischen
  - Funktionen ohne Rückgabewert - Typ **`void`**
  - Funktionen mit Rückgabewert

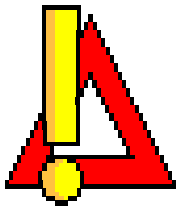
ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Definition

- Allgemeine Form der C++ Funktionsdefinition

```
typeName functionName (argumentList)
{
   statements;
   return value;
}
```

- Rückgabewert muss korrekten Typ besitzen oder umwandelbar sein
- Arrays können nicht direkt übergeben werden
- Structs können direkt übergeben werden
- Bei Uebergabe des Wertes wird eine *temporäre Kopie* der Argumente angelegt
- Im Allgemeinen ineffizient



Beispiel_1: Prototypen

```
// protos.cpp -- use prototypes and function calls
#include <iostream>
using namespace std;

void cheers(int);      // prototype: no return value
double cube(double x);  // prototype: returns a double

int main(void)
{
    cheers(5);           // function call
    cout << "Give me a number: ";
    double side;
    cin >> side;
    double volume = cube(side);  // function call
    cout << "A " << side <<"-foot cube has a volume of ";
    cout << volume << " cubic feet.\n";
    cheers(cube(2));    // prototype protection at work
    return 0;
}

void cheers(int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        cout << "Cheers! ";
    cout << "\n";
}

double cube(double x)
{
    return x * x * x;
}
```

Prototypen

Zuweisung mit Funktion

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Prototypen

- Prototypen beschreiben die Funktionsschnittstelle
- Compiler benötigt diese Information für diverse Ueberprüfungen
  - Rückgabetyp
  - Anzahl Argumente
  - Typ der Argumente
  - *Statische Typenprüfung* zur Compilezeit
- Eine Funktion ohne Prototyp muss VOR dem ersten Aufruf in der Quelldatei definiert sein
- Ein Prototyp ist eine Anweisung (endet mit Semikolon)
- Argumentnamen werden nicht benötigt
  - `double cube(double x);`
  - `double cube(double);`
- Programmierpraxis: Kopiere den Header als Prototyp

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionsargumente

- Argumente können einer Funktion auf zwei Arten übergeben werden
  - Die Werte der übergebenen Variablen werden kopiert (*call by value*)
  - Die Adressen der Variablen werden kopiert (*call by reference*)
- Beim Aufruf

  ```
  double volume = cube(side);
  ```

  wird der Inhalt von **`side`** in das Argument von **`cube`** kopiert
  - Der Inhalt der Variablen der aufrufenden Funktion bleibt erhalten
- Funktions-Argumente werden wie *lokale Variablen* innerhalb der Funktion benutzt
- Ihr Gültigkeitsbereich ist auf die Funktion beschränkt
- Nach Rücksprung erlöschen diese Variablen

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

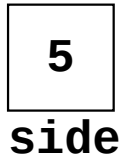
Call (Pass) by Value

```
...
double cube(double x);

int main()
{
    ...
    double side = 5;
    double volume = cube(side);
    ...
}

double cube(double x)
{
    return x*x*x;
}
```

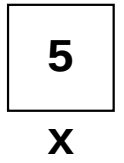
erstellt eine neue Variabel **side** mit dem Wert **5**



Original-wert

übergibt den Wert **5** der **cube()** Funktion

erstellt eine neue Variabel **x** mit dem Wert **5**



kopierter Wert

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionen und Arrays

- Arrays können *nicht by value* übergeben werden
- Ein Array-Argument wird wie folgt definiert

```
int sum_arr(int arr[], int n);
```

  - Arrayname **`arr`** ist Pointer auf Anfangsadresse (**`&arr[0]`**)
  - **`[]`** bedeuten, dass die Arraygrösse zunächst beliebig sein kann
- Im Funktionskörper kann **`arr`** wie ein gewöhnliches Array verwendet werden
- Alternativ ist auch die Verwendung eines Pointers als Argument korrekt

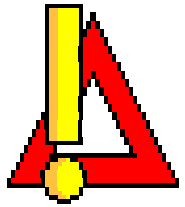
```
int sum_arr(int *arr, int n);
```

- Es wird also nur die Anfangsadresse des Arrays übergeben (*call by reference*)

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionen und Arrays

- Bei einem *call by reference* arbeitet die Funktion mit den Originaldaten
  - Vorteil: Geschwindigkeit
  - Nachteil: Datenkonsistenz



- Anfangsadresse und Grösse können beliebig frei gewählt werden
- Müssen nicht mit Kenngrössen der Originaldaten übereinstimmen
- Es gilt nach wie vor:

```
arr[i] == *(arr+i);
&arr[i] == arr+i;
```

Beispiel_2: Arrays

```
// arrfun2.cpp -- functions with an array argument
#include <iostream>
using namespace std;
const int ArSize = 8;
int sum_arr(int arr[], int n);
int main()
{
    int cookies[ArSize] = {1,2,4,8,16,32,64,128};

    cout << cookies << " = array address, ";

    cout << sizeof cookies << " = sizeof cookies\n";
    int sum = sum_arr(cookies, ArSize);
    cout << "Total cookies eaten: " << sum <<  "\n";
    sum = sum_arr(cookies, 3);       // a lie
    cout << "First three eaters ate " << sum << " cookies.\n";
    sum = sum_arr(cookies + 4, 4);   // another lie
    cout << "Last four eaters ate " << sum << " cookies.\n";
    return 0;
}

// return the sum of an integer array
int sum_arr(int arr[], int n)
{
    int total = 0;
    cout << arr << " = arr, ";
// some systems require a type cast: unsigned (arr)

    cout << sizeof arr << " = sizeof arr\n";
    for (int i = 0; i < n; i++)
        total = total + arr[i];
    return total;
}
```

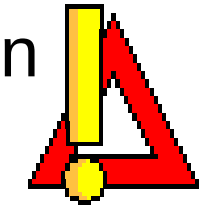
Anfangsadresse übergeben

Andere Anfangsadresse

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Ueberschreibschutz

- *Call by reference* Argumente müssen vor unabsichtlichem Ueberschreiben geschützt werden
- Kann duch **`const`** Argument erreicht werden



```
void array_show(const double arr[],
                int n);
```

- Funktion kann dann nur lesend auf das Array zugreifen
- Originaldaten müssen nicht **`const`** sein, d.h.:
  - Ist ein Funktionsargument **`const`**, kann die Funktion sowohl konstante, als auch nichtkonstante Daten verarbeiten
  - Ist ein Funktionsargument nicht **`const`**, kann die Funktion nur nichtkonstante Daten verarbeiten

`const` Pointers

Kann im Kontext von Pointern auf zwei Arten verwendet werden:

I. Zeiger auf konstante Variable

```
int age = 39;
const int *pt = &age;
```

- Der Wert wird vom Zeiger als konstant angenommen und kann nicht über den Zeiger verändert werden:

  ```
  *pt+=1; // invalid
  ```

- Der Wert kann jedoch über die Variable **`age`** verändert werden
- Ist die Originalvariable **`const`**, dann muss es der Zeiger ebenfalls sein

  ```
  const int age = 39;
  const int *cpt = &age;
  int *pt = &age; // invalid
  ```

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

`const` Pointers

II. Konstanter Zeiger auf Variable

- Hierbei soll die Adresse konstant bleiben

```
int age = 39;
int * const pt = &age;
```

- Der Zeiger wird als konstant angenommen und kann nicht mehr verändert werden `pt=&newage; // invalid`

III. Kombination von beiden

- Konstanter Zeiger auf konstante Variable möglich

```
const int age = 39;
const int * const pt = &age;
```

- Sowohl `pt` als auch `*pt` sind `const`

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionen und Strings

- Strings können in C++ auf 3 Arten repräsentiert werden
  - Als Array of char
  - Als String Konstante "C++course";
  - Als Pointer auf Anfangsadresse des String
- Strings können als Argumente an Funktionen übergeben werden

```
char ghost[15] = "galloping";
char * str = "galloping";
int n1 = strlen(ghost);
int n2 = strlen(str);
int n3 = strlen("galloping");
```

- 3 Formen der Uebergabe sind gleichwertig
- Es wird jeweils die *Anfangsadresse des String* übergeben (call by reference)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_3: String als Argument

```
// strgfun.cpp -- functions with a string argument
#include <iostream>
using namespace std;
int c_in_str(const char * str, char ch);
int main()
{
    char mmm[15] = "minimum";    // string in an array


    char *wail = "ululate";     // wail points to string

    int ms = c_in_str(mmm, 'm');
    int us = c_in_str(wail, 'u');
    cout << ms << " m characters in " << mmm << "\n";
    cout << us << " u characters in " << wail << "\n";
    return 0;
}

// this function counts the number of ch characters

int c_in_str(const char * str, char ch)
{
    int count = 0;

    while (*str)         // quit when *str is '\0'
    {
        if (*str == ch)
            count++;
        str++;         // move pointer to next char
    }
    return count;
}
```

Arrayname = Anfangsadresse

Pointer=Anfangsadresse

Beispiel_4: String als Rückgabewert

```
// strgback.cpp -- a function returning a pointer to char
#include <iostream>
using namespace std;
char * buildstr(char c, int n);     // prototype
int main()
{
    int times;
    char ch;

    cout << "Enter a character: ";
    cin >> ch;
    cout << "Enter an integer: ";
    cin >> times;
    char *ps = buildstr(ch, times);
    cout << ps << "\n";
    delete [] ps;                   // free memory
    ps = buildstr('+', 20);         // reuse pointer
    cout << ps << "-DONE-" << ps << "\n";
    delete [] ps;                   // free memory
    return 0;
}

// builds string made of n c characters
char * buildstr(char c, int n)
{
    char * pstr = new char[n + 1];
    pstr[n] = '\0';             // terminate string
    while (n-- > 0)
        pstr[n] = c;            // fill rest of string
    return pstr;
}
```

Anfangsadresse

Speicherfreigabe

Speicherallokation

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionen und Structs

- Structs können in C++ auf 3 Arten übergeben werden
  - Als Kopie der Originalstruktur (call by value)
  - Als Pointer auf Originalstruktur (call by reference)
  - Als *Referenz* auf Originalstruktur (call by reference) - später
- Call by value ist mit Kopieraufwand verbunden
- Programmierregel:
  - Kleine Strukturen: call by value
  - Grosse Strukturen: call by reference
- Rückgabetypen können ebenfalls Strukturen sein
- Seien **`polar`** und **`rect`** Stukturen

```
polar rect_to_polar(rect xy);
```

- Argumenttyp und Rückgabetyp sind Strukturen

Beispiel_5: Struct - by Value

```
// strctfun.cpp -- exerpt
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

// structure templates

struct Polar
{
    double distance;// distance from origin
    double angle;   // direction from origin
};
struct rect
{
    double x;       // horizontal distance from origin
    double y;       // vertical distance from origin
};

// prototypes

Polar rect_to_polar(rect xypos);
void show_polar(Polar dapos);

// convert rectangular to polar coordinates
Polar rect_to_polar(rect xypos)
{
    Polar answer;

    answer.distance =
        sqrt( xypos.x * xypos.x + xypos.y * xypos.y);
    answer.angle = atan2(xypos.y, xypos.x);
    return answer;      // returns a Polar structure
}
```

Strukturdeklarationen

Prototypen

Funktionsdefinition

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionen und Structs

- Call by reference kann über Pointer erfolgen
- Hierbei wird die Adresse der Struktur übergeben
- Gleiche Probleme der Datenkonsistenz wie bei Arrays
- Verwendung des **`const`** Qualifiers, wo immer möglich
- Rückgabetyp sollte dabei ebenfalls Pointer auf Stuktur sein
  - Effizienz
- Grosse Strukturen: call by reference
- Argumenttypen müssen dabei Pointer auf Strukturen sein
- Parameterübergabe erfolgt durch **`&`**-Operator

Beispiel_6: Struct - by Reference

```
// strctptr.cpp -- wie Beispiel 5

// prototypes
void rect_to_polar(const rect * pxy, Polar * pda);
void show_polar (const Polar * pda);

int main()
{
    rect rplace;
    Polar pplace;

    cout << "Enter the x and y values: ";
    while (cin >> rplace.x >> rplace.y)
    {
        rect_to_polar(&rplace, &pplace);    // pass addresses
        show_polar(&pplace);                // pass address
        cout << "Next two numbers (q to quit): ";
    }
    return 0;
}

// convert rectangular to polar coordinates


void rect_to_polar(const rect * pxy, Polar * pda)
{
    pda->distance =
        sqrt(pxy->x * pxy->x + pxy->y * pxy->y);
    pda->angle = atan2(pxy->y, pxy->x);
}
```

Const pointer Argumente

Adresse übergeben

Zugriff auf Members

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Rekursion

- Funktionen können sich im Prinzip selbst aufrufen
- Diese Fähigkeit heisst *Rekursion*
- Rekursion ist ein mächtiger und tiefgründiger Ansatz zur Lösung vieler algorithmischer Probleme
  - Beispiel: Suchen oder Sortieren
  - Divide and Conquer Strategien (siehe Informatik II)
- *Rekursion* darf nicht mit *Iteration* verwechselt werden

```
void recurs(argumentList)
{
    statements1;
    if (test)
        recurs(arguments);
    else
        statements2;
}
```

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Rekursion

- Zur Begrenzung der Rekursionstiefe benötigt man eine Abbruchbedingung
- Ansonsten endlose Rekursion → Abbruch
- Jeder Funktionsaufruf benötigt einen eigenen *Stack Frame*
- Es wird jeweils ein neuer Satz lokaler Variablen angelegt
- Bei zu hoher Rekursionstiefe kann es zu einem *Stack Overflow* kommen

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_7: Rekursion

```
// recur.cpp -- use recursion
#include <iostream>
using namespace std;

void countdown(int n);

int main()
{
    countdown(4);          // call the recursive function
    return 0;
}

void countdown(int n)
{
    cout << "Counting down ... " << n << "\n";
    if (n > 0)
        countdown(n-1);    // function calls itself
    cout << n << ": Kaboom!\n";
}
```

Aufruf aus Hauptfunktion

Rekursiver Aufruf

Zeiger auf Funktionen

- Funktionen haben eine Anfangsadresse im Programmspeicher
- Funktionen können andere Funktionen sowohl als Argumente verwenden, als auch als Rückgabewerte
- Hierbei wird grundsätzlich mit Zeigern gearbeitet, welche die Funktionsadresse speichern
- *Function Pointers*
- Erlauben die dynamische Uebergaben von Funktionen zur Laufzeit
- Wir benötigen dazu
  - Funktionsadresse
  - Pointer auf Funktionsadresse
  - Aufruf der Funktion über Pointer

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionsadressen

- Die *Adresse* der Funktion ist durch den *Funktionsnamen* gegeben
- Es sei **`think(void)`** eine Funktion

```
process(think);   // Uebergabe der Adresse
thought(think()); // Uebergabe des Rueckgabewertes
```

- Pointer auf Funktion wird wie folgt deklariert

```
double (*pf)(int);
```

  - Pointer zeigt auf Funktion mit einem **`int`** Argument, welche Rückgabewert vom Typ **`double`** besitzt

- Nicht verwechseln mit

```
double *pf(int);
```

  - Prototyp einer Funktion mit einem **`int`** Argument, welche Rückgabewert vom Typ Pointer auf **`double`** besitzt

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionsadressen

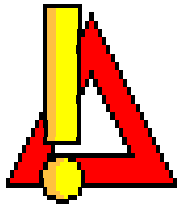
- Pointer kann nun mit Funktionsadresse initialisiert werden

```
double pam(int);
double(*pf)(int);
pf = pam;
```

  - Argumentanzahl, Typen und Rückgabetypen müssen übereinstimmen
- Funktionsaufruf über Pointer ist recht einfach

```
double d = pf(8);
```

  - Wird wie ein Funktionsname verwendet



- Allgmein: Prototypendeklaration ist recht schwierig

Beispiel_9: Funktionspointer

```
// fun_ptr.cpp -- pointers to functions-exerpt
#include <iostream>
using namespace std;
double betsy(int);
double pam(int);

// second argument is pointer to a type double function that
// takes a type int argument
void estimate(int lines, double (*pf)(int));

int main()
{
    int code;

    cout << "How many lines of code do you need? ";
    cin >> code;
    cout << "Here's Betsy's estimate:\n";
    estimate(code, betsy);
    cout << "Here's Pam's estimate:\n";
    estimate(code, pam);
    return 0;
}

double betsy(int lns)
{
    return 0.05 * lns;
}

void estimate(int lines, double (*pf)(int))
{
     cout << lines << " lines will take ";
     cout << (*pf)(lines) << " hour(s)\n";
}
```

Argument ist Function Pointer

Aufruf mit Funktionsnamen