

# C++ Templates - eine kleine Einführung

Peter Ulbrich, Martin Hoffmann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)  
`www4.informatik.uni-erlangen.de`

15. Oktober 2010

Allgemein

Funktionstemplates

Klassentemplates

Template-Instantiierung

Template-Spezialisierung

Template Metaprogramming

# Allgemein

- ▶ Templates ermöglichen generische Programmierung in C++

## Generische Programmierung

- ▶ möglichst allgemeine Algorithmen und Datenstrukturen
  - ▶ verzichte auf die Festlegung von Typen
  - ▶ Anforderungen an Typen sind erlaubt
  - ▶ structural vs. nominative type system
- ▶ zwei Ausprägungen
    - ▶ Funktionstemplates
    - ▶ Klassentemplates

# Funktionstemplates

- ▶ generische Beschreibung von Algorithmen
- ▶ Deklaration/Definition
- ▶ Verwendung

# Definition/Deklaration

## ▶ Deklaration

```
template <class class_name> void myfunc();  
template <type type_name> void myfunc();
```

## ▶ Definition

```
template <class class_name> void myfunc() {  
    // ...  
}
```

## ▶ es sind auch **mehrere Parameter** erlaubt

```
template <class A, class B> void myfunc();
```

## ▶ gültige Parameterarten: **Typen** (auch **Zeiger**) und **Ganzzahlen**

# Verwendung

- ▶ Beispiel: generische max()-Funktion

```
template < type T > T max(T a, T b) {  
    return a > b ? a : b;  
}
```

- ▶ Verwendung

```
int a = 5, b = 7, c;  
c = max< int >(a, b);
```

- ▶ manchmal kann der Übersetzer den Typ *erraten*

```
int a = 5, b = 7, c;  
c = max(a, b);
```

# Klassentemplates

- ▶ generische Beschreibung von
  - ▶ Datenstrukturen und
  - ▶ zugehöriger Algorithmen
- ▶ Deklaration/Definition
- ▶ Definition von Methoden
- ▶ Verwendung

# Deklaration/Definition

- ▶ Deklaration

```
template < type T, int l > class Tuple;
```

- ▶ Definition

```
template < type T, int l > class Tuple {  
public:  
    void put(T item, int pos);  
    T    get(int pos);  
    void sort();  
};
```

- ▶ Parameterlisten: siehe [Funktionstemplates](#)



# Definition von Methoden

- ▶ im Klassenrumpf

```
template < type T, int I > class Tuple {  
public:  
    void put(T item, int pos) { /* ... */ }  
    // ...  
};
```

- ▶ außerhalb des Klassenrumpfs

```
template < type T, int I >  
void Tuple< T, I >::put(T item, int pos) {  
    // ...  
}
```

- ▶ **Achtung:** Trennung in Header (.h) und Implementierungseinheit (.cc) existiert für Templates in gängigen Toolchains noch nicht

# Verwendung

## ▶ Beispiel

```
int a = 1, b = 2, c;  
Tuple< int, 5 > my_tuple;  
  
my_tuple.put(a, 0);  
my_tuple.put(b, 1);  
my_tuple.put(4, 2);  
  
c = my_tuple.get(2);
```

## ▶ Templates ermöglichen **typsichere** Programmierung

```
float d = 0;  
my_tuple.put(d, 3); // compile time error
```

# Template-Instanziierung

- ▶ Templates beschreiben noch keinen ausführbaren Code
- ▶ Übersetzer muss erst noch Lücken (Parameter) füllen
- ▶ diesen Vorgang bezeichnet man als *Instanziierung*
- ▶ Beispiel: generische max()-Funktion

## Template

```
template < type T >
T max(T a, T b) {
    return a > b ? a : b;
}
```

## Instanziierung (T == int)

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

- ▶ Wann findet die Instanziierung statt? - Bei der Verwendung!

```
c = max< int >(a, b);
```

# Template-Spezialisierung

- ▶ Unterschiedliche Behandlung bestimmter Template-Parameter
  - ▶ Behandlung von Sonderfälle
- ▶ Beispiel: Sortieren
  - ▶ Tupel der Länge 1 sind trivialerweise sortiert
- ▶ Lösung: man *spezialisiert* das Template

```
template< type T, int L > struct Sorter {  
    void sort(T* array) { ... }  
};
```

```
template< type T > struct Sorter< T,1 > {  
    void sort(T* array) {}  
}
```

# vollständige vs. partielle Spezialisierung

- ▶ vollständige Spezialisierung legt alle Parameter fest

```
template<> struct Sorter< int,1 > {  
    void sort(int* array) {}  
}
```

- ▶ partielle Spezialisierung schränkt den Parameterraum ein

```
template< type T > struct Sorter< T,1 > {  
    void sort(T* array) {}  
}
```

- ▶ Funktionstemplates sind **nicht** partiell spezialisierbar!

# Template Metaprogramming

- ▶ ... C++ Templates sind noch viel mehr als das ...
- ▶ C++ Templates sind eine funktionale Programmiersprache
  - ▶ eingebettet in C++
  - ▶ wird vom Übersetzer *ausgeführt*
  - ▶ geeignet zum schreiben von Metaprogrammen
  - ▶ geeignet für generative Programmierung

## Metaprogramme

Ein *Metaprogramm* verarbeitet, modifiziert oder erzeugt ein oder mehrere andere Programme.

## Generative Programmierung

*Generative Programmierung* ist ein Paradigma, dessen charakteristische Eigenschaft es ist, dass Quelltext durch einen Generator erzeugt wird.

# Fakultät als Template Metaprogramm

```
volatile int c;  
  
template< int I > struct Faculty {  
    enum { result = I * Faculty< I - 1 >::result };  
};  
  
template<> struct Faculty< 1 > {  
    enum { result = 1 };  
};  
  
int main(void) {  
    c = Faculty< 5 >::result;  
    return 0;  
}
```

# Fakultät als Template Metaprogramm

- ▶ die Fakultätsfunktion wird komplett im Übersetzer berechnet

## Assembler-Dump der Funktion `main()`

<main >:

```
lea    0x4(%esp),%ecx
and    $0xffffffff0,%esp
push   0xffffffffc(%ecx)
push   %ebp
mov    %esp,%ebp
push   %ecx
mov    $0x78,0x8049640
mov    $0x0,%eax
pop    %ecx
pop    %ebp
lea    0xffffffffc(%ecx),%esp
ret
```



# Hier gibt es noch viel mehr ...