

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2009/10

Prof. Dr. Günter Rudolph
Lehrstuhl für Algorithm Engineering
Fakultät für Informatik
TU Dortmund

Kapitel 14: Schablonen

Inhalt

- Motivation: Hashen von beliebigen Objekten
- Einführung von Schablonen / Templates
- ADT Liste (... schon wieder: jetzt aber wirklich als ADT)
- ADT HashTable mit Schablonen

Schablonen

Kapitel 14

Beispiel

Aufgabe:

- Hashen von komplexen Zahlen

Was ist zu tun?

- | | | |
|-------------------------|------------|--|
| 1. ADT Complex | → OK | } Immer die gleichen Operationen, nur mit anderen Typen/Klassen! |
| 2. ADT ComplexList | → Gähn ... | |
| 3. ADT ComplexHashTable | → Gähn ... | |

⇒ Wie beim „richtigen“ abstrakten Datentyp müsste der Typ / die Klasse der Anwendungsdaten ein **Parameter** der Klasse sein!



Schablonen

Kapitel 14

Auf die Schnelle ... → ADT Complex

```
class Complex {
protected:
    int fRe, fIm;
public:
    Complex() : fRe(0), fIm(0) { }
    Complex(int aRe) : fRe(aRe), fIm(0) { }
    Complex(int aRe, int aIm) : fRe(aRe), fIm(aIm) { }

    int Re() { return fRe; }
    int Im() { return fIm; }

    void Print() { std::cout << fRe << "+" << fIm << "i"; }

    bool operator==(const Complex& c) {
        return fRe == c.fRe && fIm == c.fIm;
    }
}
```

← überladener Operator

Fortsetzung nächste Folie

Auf die Schnelle ... → ADT Complex

Fortsetzung ...

```
Complex operator+ (const Complex& c) {
    return Complex(fRe + c.fRe, fIm + c.fIm);
}
Complex operator- (const Complex& c) {
    return Complex(fRe - c.fRe, fIm - c.fIm);
}
Complex operator- () {
    return Complex(-fRe, -fIm);
}
Complex operator* (const Complex& c) {
    int re = fRe * c.fRe - fIm * c.fIm;
    int im = fIm * c.fRe + fRe * c.fIm;
    return Complex(re, im);
};
```

überladene Operatoren

```
class IntList {
public:
    IntList();
    IntList(const IntList& list);
    void append(const int& x);
    void prepend(const int& x);
    bool empty();
    bool is_elem(const int& x);
    void clear();
    void remove(const int& x);
    void print();
    ~List();
private:
    struct Objekt {
        int data;
        Objekt *next;
    } *sz, *ez;
    void clear(Objekt *obj);
    Objekt* remove(Objekt *obj, const int& x);
    void print(Objekt *obj);
};
```

ADT ComplexList?

→ Wir analysieren erst einmal class IntList

int : Typ / Klasse der Nutzinformation

↓
ersetzen durch **Complex**↓
ersetzen durch generischen Typ **T**

Wie drückt man so etwas in C++ sprachlich aus?

```
template <class T>
class List {
protected:
    struct Objekt {
        T data;
        Objekt *next;
    } *sz, *ez;
    void clear(Objekt *obj);
    Objekt* remove(Objekt *obj, const T& x);
    void print(Objekt *obj);
public:
    /* und so weiter; siehe nächste Folie */
};
```

→ **Bedeutung:**
Nachfolgende Konstruktion hat Klasse **T** als Parameter!

Nachfolgende Konstruktion ist **keine Klasse**, sondern Muster / Schablone einer Klasse.

Schablonen bzgl. Vererbung wie Klassen.

→ Echte Klassen werden **bei Bedarf** vom Compiler aus der Schablone erzeugt!

Wie drückt man so etwas in C++ sprachlich aus?

```
template <class T>
class List {
protected:
    /* siehe vorherige Folie */
public:
    List();
    List(const List<T> & list);
    void append(const T& x);
    void prepend(const T& x);
    void remove(const T& x);
    bool empty();
    bool is_elem(const T& x);
    void print();
    void clear();
    ~List();
};
```

→ **Bedeutung:**
Nachfolgende Konstruktion hat Klasse **T** als Parameter!

Nachfolgende Konstruktion ist **keine Klasse**, sondern Muster / Schablone einer Klasse.

Schablonen bzgl. Vererbung wie Klassen.

→ Echte Klassen werden **bei Bedarf** vom Compiler aus der Schablone erzeugt!

Schablonen Kapitel 14

Was ändert sich bei der Implementierung?

Muss vor jeder
Definition stehen!

Wird Name
der Klasse.

```
template <class T> void List<T>::prepend(const T& x){
    Objekt *obj = new Objekt;
    obj->data = x;
    obj->next = sz;
    sz = obj;
}
```

⇒ auf diese Weise muss der gesamte Code von `IntList` verallgemeinert werden!

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 9

Schablonen Kapitel 14

Was ändert sich bei der Implementierung?

öffentliche Methode:

```
template <class T> void List<T>::print() {
    print(sz);
}
```

private überladene Methode:

```
template <class T> void List<T>::print(Objekt *obj) {
    static int cnt = 1; // counter
    if (obj != 0) {
        Print(obj->data); // war: cout << obj->data;
        cout << (cnt++ % 10 == 0) ? "\n" : "\t";
        print(obj->next);
    }
    else {
        cnt = 1;
        cout << "(end of list)" << endl;
    }
}
```

Print() ist überladene Hilfsfunktion → später

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 10

Schablonen Kapitel 14

Was ändert sich bei der Implementierung?

öffentliche Methode:

```
template <class T> bool List<T>::is_elem(const T& x) {
    Objekt *ptr = sz;
    while (ptr != NULL) {
        if (Equal(ptr->data, x)) return true;
        ptr = ptr->next;
    }
    return false;
}
```

`Equal(...)` ist überladene Hilfsfunktion! Alternative: Operator `==` überladen!

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 11

Schablonen Kapitel 14

Was ändert sich bei der Implementierung?

öffentliche Methode:

```
template <class T> void List<T>::remove(const T& x){
    sz = remove(sz, x);
}
```

private überladene Methode:

```
template <class T> typename List<T>::Objekt*
List<T>::remove(Objekt *obj, const T& x) {
    if (obj == NULL) return NULL;
    if (obj->data == x) {
        Objekt *tmp = obj->next; // Zeiger retten
        delete obj; // Objekt löschen
        return tmp;
    }
    obj->next = remove(obj->next, x);
    if (obj->next == NULL) ez = obj;
    return obj;
}
```

nötig wenn Rückgabetypp ein lokaler Typ der Klasse ist! (ISO Norm)

U.S.W.

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 12

Schablonen Kapitel 14

Anwendung

```
class IntList : public List<int> {
public:
    IntList() : List<int>() { }
};

class ComplexList : public List<Complex> {
public:
    ComplexList() : List<Complex>() { }
};

class StringList : public List<string> {
public:
    StringList() : List<string>() { }
};
```

Wie funktioniert das?
Der Compiler erzeugt aus obigen Angaben und zugehöriger Schablone **automatisch** die Klassendeklaration und -definition!

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 13

Schablonen Kapitel 14

Was fehlt noch? → Hilfsfunktionen Print und Equal

```
void Print(int x) { cout << x; }
void Print(float x) { cout << x; }
void Print(string x) { cout << x; }
void Print(Complex x) { x.Print(); }
```

Operator << ist überladen!
Ebenso ==

```
bool Equal(int x, int y) { return x == y; }
bool Equal(float x, float y) { return x == y; }
bool Equal(string x, string y) { return x == y; }
bool Equal(Complex x, Complex y) { return x.Equal(y); }
```

Man könnte auch Operator == für Complex überladen!
⇒ Dann bräuchte Code in Contains etc. nicht geändert zu werden!

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 14

Schablonen Kapitel 14

Erstes Fazit:

- + Code für Liste muss nur einmal formuliert werden: Wiederverwertbarkeit!
- + Mit dieser Technik kann man Listen für jeden Typ formulieren.
 - Man muss nur Konstruktor definieren und
 - ggf. die Hilfsfunktionen `Print` und `Equal` hinzufügen.
 - Anmerkung: copy-Konstruktor wäre auch sinnvoll. Warum?
- Verallgemeinerung des Codes kann mühsam werden.
- Operatoren müssen entweder überladen oder durch (überladene) Hilfsfunktionen ersetzt werden.

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 15

Schablonen Kapitel 14

ADT ComplexHashTable?

```
class AbstractHashTable {
private:
    IntList *table;
protected:
    int maxBucket;
public:
    AbstractHashTable(int aMaxBucket);
    virtual int Hash(int aElem) = 0;
    bool Contains(int aElem);
    void Delete(int aElem);
    void Insert(int aElem);
    void Print();
    ~AbstractHashTable();
};
```

→ Wir analysieren erst einmal die Klasse **AbstractHashTable**

int / IntList : spezialisierte Klassen der Nutzinformation

↓

ersetzen durch **Schablonen**

↓

int → T&
IntList → List<T>

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 16

HashTable als Schablone: Deklarationsschablone

```
template <class T>
class HashTableTemplate {
private:
    List<T> *table;
protected:
    int maxBucket;
public:
    HashTableTemplate(int aMaxBucket);
    virtual int Hash(T& aElem) = 0;
    bool Contains(T& aElem);
    void Delete(T& aElem);
    void Insert(T& aElem);
    void Print();
    ~HashTableTemplate();
};
```

HashTable als Schablone: Definitionsschablone

Konstruktor

```
template <class T>
HashTableTemplate<T>::HashTableTemplate(int aMaxBucket) {
    maxBucket = aMaxBucket;
    table = new List<T>[maxBucket];
}
```

Destruktor

```
template <class T>
HashTableTemplate<T>::~~HashTableTemplate() {
    delete[] table;
}
```

HashTable als Schablone: Definitionsschablone

```
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Insert(T& aElem) {
    table[Hash(aElem)].append(aElem);
}
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Delete(T& aElem) {
    table[Hash(aElem)].remove(aElem);
}
template <class T>
bool HashTableTemplate<T>::Contains(T& aElem) {
    return table[Hash(aElem)].is_elem(aElem);
}
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Print() {
    for (int i = 0; i < maxBucket; i++)
        table[i].Print();
}
```

Instantiierung der Schablone

```
class IntHashTable : public HashTableTemplate<int> {
public:
    IntHashTable(int aMaxBucket);
    int Hash(int& aElem);
};

class ComplexHashTable : public HashTableTemplate<Complex> {
public:
    ComplexHashTable(int aMaxBucket);
    int Hash(Complex& aElem);
};
```

Instantiierung der Schablone

```

IntHashTable::IntHashTable(int aMaxBucket)
: HashTableTemplate<int>(aMaxBucket) {}

int IntHashTable::Hash(int& aElem) {
    return aElem % maxBucket;
}

/*****/

ComplexHashTable::ComplexHashTable(int aMaxBucket)
: HashTableTemplate<Complex>(aMaxBucket) {}

int ComplexHashTable::Hash(Complex& aElem) {
    int h1 = aElem.Re() % maxBucket;
    int h2 = aElem.Im() % maxBucket;
    return (h1 + 19 * h2) % maxBucket;
}

```

Test

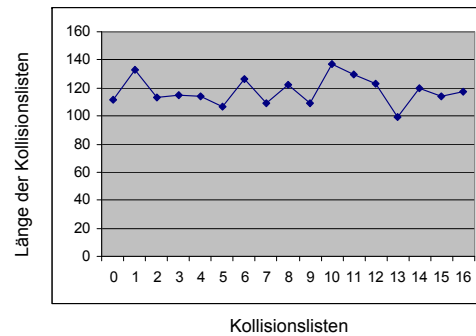
```

int main() {
    ComplexHashTable cht(17);
    Complex a[400];
    int k = 0;
    for (int i = 0; i < 2000; i++) {
        Complex elem(rand(), rand());
        if (i % 5 == 0) a[k++] = elem;
        cht.Insert(elem);
    }
    int hits = 0;
    for (int i = 0; i < 400; i++)
        if (cht.Contains(a[i])) hits++;
    cout << "Treffer: " << hits << endl;
}

```

Ausgabe: Treffer: 400

Test



Rückblick

- Wir haben spezielle Klassen `IntList` und `HashTable` (für `int`) analysiert und
- verallgemeinert für beliebige Typen mit der Technik der Schablonen.
- Eine Hashtabelle für einen beliebigen Typ erhält man jetzt durch
 - Ableiten von der Schablone,
 - Angabe des Konstruktors (und ggf. des Destruktors),
 - Spezifikation der typ-spezifischen Hash-Funktion.

Schablonen **Kapitel 14**

Achtung:

Eine Schablone muss in einer Übersetzungseinheit **definiert** (oder inkludiert) werden, wenn dort diese Schablone instantiiert wird ...

... natürlich **vor** der Instantiierung!

⇒ Organisation des Codes (insbesondere die Inklusionen) gut überdenken!

Beispiel:

<code>main.cpp</code>	Hauptprogramm
<code>Complex.h</code>	Komplexe Zahlen (<code>inline</code>)
<code>ListCollection.*</code>	Instantiierungen der Schablone <code>List</code>
<code>HashCollection.*</code>	Instantiierungen der Schablone <code>HashTable</code>
<code>List.*</code>	Schablone <code>List</code>
<code>HashTable.*</code>	Schablone <code>HashTable</code>

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 25

Schablonen **Kapitel 14**

Organisation des Codes

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 26

Schablonen **Kapitel 14**

Hashing von Binärbäumen

⇒ sinnvoll, da totale Ordnung auf Binärbäumen nicht offensichtlich

```
class BST {
protected:
    BST *fRoot;
private:
    BST *Insert(BST*, int);
public:
    BST() { fRoot = 0; }
    int fValue;
    BST *fLeft, *fRight;
    void Insert(int aValue) {
        fRoot = Insert(fRoot, aValue);
    }
};
```

Annahme:
Die Klasse `BST` (binary search tree) ist in Bibliothek gegeben.
⇒ Nicht veränderbar!

Aber:
Für Hash-Schablone werden Methoden `Equal` und `Print` benötigt!

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 27

Schablonen **Kapitel 14**

Implementierung (zur Erinnerung)

```
BST *BST::Insert(BST* aTree, int aValue) {
    if (aTree == 0) {
        BST *node = new BST;
        node->fValue = aValue;
        node->fLeft = node->fRight = 0;
        return node;
    }

    if (aTree->fValue > aValue)
        aTree->fLeft = Insert(aTree->fLeft, aValue);
    else if (aTree->fValue < aValue)
        aTree->fRight = Insert(aTree->fRight, aValue);
    return aTree;
}
```

} rekursiv

tu technische universität dortmund G. Rudolph: Einführung in die Programmierung • WS 2009/10 28

Wie können Methoden Equal und Print hinzugefügt werden?

1. Erweiterung der Klasse `BST` um diese Methoden.

⇒ Geht nicht, da als Bibliotheksklasse unveränderbar!

2. Ableiten von Klasse `BST` und Methoden hinzufügen.

⇒ Gute Idee!

Bemerkung:

Hier werden nur Methoden und keine Attribute hinzugefügt.

Die neue Klasse `BinTree`

```
class BinTree : public BST {
private:
    bool Equal(BinTree*, BinTree*);

public:
    BinTree() : BST() { }
    bool Equal(BinTree *aTree) {
        return Equal((BinTree*) fRoot, aTree->GetRoot());
    }
    void Print() { /* to do */ };
    BinTree *GetRoot() { return (BinTree*)fRoot; }
};
```

cast-Operation: { fRoot ist Typ BST*,
wird durch cast
zum Typ BinTree*

Die neue Klasse `BinTree`

```
bool BinTree::Equal(BinTree* L, BinTree* R) {
    if (L == 0) return (R == 0);
    if (R == 0) return false;
    if (L->fValue != R->fValue) return false;
}
}

BinTree *LL, *LR, *RR, *RL;
LL = (BinTree*) L->fLeft;
LR = (BinTree*) L->fRight;
RL = (BinTree*) R->fLeft;
RR = (BinTree*) R->fRight;
return Equal(LL, RL) && Equal(LR, RR);
}
```

Abbruchbedingungen

cast

Rekursion

Die neue Klasse `BinTree`: Nachtrag

⇒ Eine Methode, die einen Hashwert für einen Baum liefert, wäre nützlich!

public:

```
int Hash() { return Hash((BinTree*)fRoot); }
```

private:

```
int BinTree::Hash(BinTree* B) {
    const c = 275604541; // large prime number
    if (B == 0) return 0;
    int hl = Hash((BinTree*)B->fLeft);
    int hr = Hash((BinTree*)B->fRight);
    int h = (hl * 17 + hr) % c;
    return (h * 23 + B->fValue) % c;
}
```


Instantiierung der Schablone List und HashTable

```
class BinTreeList : public List<BinTree> {
public:
    BinTreeList();
};
```

ListCollection.h

```
BinTreeList::BinTreeList() : List<BinTree>() {} ListCollection.cpp
```

```
class BinTreeHashTable : public HashTableTemplate<BinTree> {
public:
    BinTreeHashTable(int aMaxBucket);
    int Hash(BinTree& aElem);
};
```

```
BinTreeHashTable::BinTreeHashTable(int aMaxBucket)
: HashTableTemplate<BinTree>(aMaxBucket) {}
```

```
int BinTreeHashTable::Hash(BinTree& aElem) {
    return aElem.Hash() % maxBucket;
}
```

Rückblick

1. Schablonen für Listen und HashTabellen waren vorhanden
2. Klasse `BST` (binary search tree) war in Bibliothek vorhanden
3. Definition der Klasse `BinTree` durch Ableiten von `BST`
 - a) Methode `Equal`
 - b) Methode `Print`
 - c) Methode `Hash`
4. Instantiieren der Schablonen für Liste und HashTabelle
 - a) Definition der Konstruktoren
 - b) Methode `Hash` (unter Verwendung von `Hash` der Klasse `BinTree`)

Ergänzungen

• Anonyme Klassen

→ Instantiierung einer Schablone ohne Ableiten

```
List<double> dblList;
dblList.Insert(23.5);
```

- sinnvoll, wenn nur selten oder temporär benutzt;

- lästig, wenn Übergabetyp bei Parametern;

- dann häufige Notlösung: `typedef`

Bsp:

```
typedef List<double> DbList;
DbList dblList;
dblList.Insert(123.45);
```

Ergänzungen

• Funktions-Schablonen

```
template<typename T> void divArray(int n, T* a, T b) {
    for (int i = 0; i < n; i++) a[i] /= b;
}
```

spätere Verwendung:

```
int ia[3] = { 10, 17, 26 }, ib = 3;
float fa[3] = { 10., 17., 26. }, fb = 3;
divArray<int>(ia, ib);
divArray<float>(fa, fb);
```