

Einführung in die Programmiersprachen C und C++

Prof. Dr. Ulf Rehmann, Fakultät für Mathematik

Übungsblatt 8 (8 Seiten)

Klassen-Templates in C++ , komplexe Zahlen:

Man kann die Struktur der komplexen Zahlen etwa wie folgt als Klasse implementieren:

```
class complex {
    double r; double i;
public:
    ...
}
```

Dies impliziert, dass man auf den Komponenten-Typ `double` festgelegt ist. Will man `float` oder `int` als Komponenten, muss man eine weitere Klasse festlegen. Einfacher wird dies durch ein *Klassen-Template*:

```
template <class REAL>
class complex {
    REAL r; REAL i;
public:
    ...
}
```

Dann hat man in `complex<double>`, `complex<float>`, `complex<int>` usw. verschiedene `complex`-Typen zur Verfügung, die als Real-Bestandteile jeden adäquaten Typ erlauben. Allerdings gibt es für manche Situationen Probleme. Wenn zum Beispiel die Betragsfunktion `REAL abs(complex z)` implementiert ist, wird im Fall `complex<int>` hier `REAL` durch `int` ersetzt, was ziemlich unzuweckmäßig ist.

Templates erlauben aber mehrere formale Typbezeichner als Argumente:

```
template <class REAL, class FLOAT>
class complex {
    REAL r; REAL i;
public:
    ...
    friend FLOAT abs(const complex x) {
        return sqrt(x.r*x.r+x.i*x.i);
    }
    ...
}
```

Die Typbezeichnung lautet dann z. B. `complex<int,double>` usw., und die Funktion `abs` liefert auch für den komplexen Typ mit `int`-Koeffizienten den Typ `double` zurück.

Die Datei `complex.cc` bietet eine Implementation, die hier im einzelnen kommentiert wird:

```
// complex.cc
#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>
#include <math.h>
#define PI 3.14159265358979323846
template <class REAL, class FLOAT>
class complex {
    REAL r; REAL i;
public:
    complex() {}
    complex(REAL re, REAL im = 0) { r=re; i=im;}
```

Die Initialisierung `im = 0` bedeutet, dass für `complex<...> v; double u = 1;` eine Initialisierung mit nur einer Variablen `v = complex(u);` zulässig ist und die gleiche Bedeutung wie `v = complex(u,0);` hat. Die Komponente `im` wird also "per Default" auf 0 initialisiert.

Es folgen die arithmetischen Operationen inklusive Zuweisungs-Operatoren. Hier werden aus Effizienzgründen jeweils im Fall von komplexen Argumenten Referenzen auf die Klassen übergeben. D. h., für jeden Aufruf sind statt der Argumente (2 `REAL`-Objekte) nur jeweils eine Adresse an die Funktion zu übergeben. Dadurch, dass man die Argumente als `const` deklariert, wird verhindert, dass diese selbst versehentlich modifiziert werden, was bei beliebigen Referenzen natürlich denkbar wäre.

```
complex operator+=(const complex& y) {    // Member-Funktion
    r += y.r; i += y.i; }
complex operator+=(REAL y) { r += y; }
```

Es ist zweckmäßig, die Fälle, dass eines der Argumente vom Typ `REAL` ist, gesondert zu betrachten und die Operatoren oder Funktionen entsprechend zu überladen, wie im letzten Beispiel. Andernfalls würde etwa bei einer Zuweisung von Typ

```
double u=1, complex<double,double> v; v += u;
```

implizit immer noch die zweite Konstruktor-Funktion aufgerufen, die für die Umwandlung `double --> complex<...,>` zuständig ist.

Die Zuweisungs-Operatoren `+=`, `-=` usw. werden hier sämtlich als *Member-Funktionen* implementiert. Dies ist natürlich, da in `v += u` ja der linke Operand `v` modifiziert wird. Er erscheint also in der Implementation als das implizite Argument.

```
friend complex operator+(const complex& x, const complex& y) {
    return complex(x.r+y.r, x.i+y.i); }
friend complex operator+(const complex& x, REAL y) {
    return complex(x.r+y, x.i); }
friend complex operator+(REAL x, const complex& y) {
    return complex(x+y.r, y.i); }
```

Die binären Operatoren sind als *friend-Funktionen* implementiert, da bei ihren Anwendungen, etwa in `w = u + v; w = u - v;` usw. immer zwei gleichberechtigte Operanden `u,v` auftreten, die in der Regel auch nicht modifiziert werden.

Bei den binären multiplikativen Funktionen sind Effizienzbetrachtungen noch wichtiger:

```
friend complex operator*(const complex& x, const complex& y) {
    return complex(x.r*y.r-x.i*y.i, x.r*y.i+x.i*y.r); }
friend complex operator*(const complex& x, REAL y) {
    return complex(x.r*y, x.i*y); }
friend complex operator*(REAL x, const complex& y) {
    return complex(x*y.r, x*y.i); }
```

In der ersten Funktion werden vier `REAL`-Multiplikationen ausgeführt, in der zweiten und dritten jeweils nur zwei. Das `REAL`-Argument kann man direkt übergeben, da durch Verwendung einer Referenz jedenfalls für elementare Typen wie `double`, `float` und `int` keine Zeitersparnis erzielt würde. Allerdings ergäbe sich ein Unterschied, wenn man etwa als `REAL` eine selbstentworfenen Klasse rationaler Zahlen (bestehend aus den beiden `int`-Komponenten "Zähler" und "Nenner") verwenden würde.

Die weiteren Funktionen werden ähnlich behandelt.

Aufgabe 8.1: Überladen Sie die Funktionen `double pow(double,double)` aus der Standard-Bibliothek in mathematisch sinnvoller Weise zu `complex pow(complex,complex)`. Verfahren Sie ähnlich mit anderen Funktionen der Standardbibliothek wie `exp`, `sin`, `cos`, `log` usw. (cf. man `exp`.)

Wir betrachten noch die logischen Operatoren und den Ausgabeoperator:

```
friend int operator==(const complex& x, const complex& y) {
    return (x.r==y.r && x.i==y.i); }
friend int operator==(const complex& x, REAL y) {
    return (x.i == 0 && x.r==y); }
friend int operator==(REAL x, const complex& y) {
```

```

    return (y.i == 0 && x==y.r); }
friend int operator!=(const complex& x, const complex& y) {
    return (x.r!=y.r || x.i!=y.i); }
friend int operator!=(const complex& x, REAL y) {
    return (x.r!=y || x.i!=0); }
friend int operator!=(REAL x, const complex& y) {
    return (x!=y.r || y.i!=0); }
friend ostream& operator<<(ostream& os, const complex& z) {
    os<<setw(6)<<setprecision(3)<< z.r;
    os << ( z.i>=0 ? " + " : " - ");
    os<<setw(6)<<setprecision(3)<< ( z.i>=0 ? z.i : -z.i ) <<'i';
    return os; }
};

```

Aufgabe 8.2: Überladen Sie auch den Eingabeoperator << für die Klassen complex<...> und schreiben Sie ein Testprogramm, das es erlaubt, die von Ihnen implementierten Funktionen interaktiv zu testen.

Man sollte die am häufigsten verwendeten Typen per typedef abkürzen:

```

typedef complex<float,double>  complex_f;
typedef complex<double,double> complex_d;
typedef complex<int,double>    complex_i;

```

Bemerkung: Ein Cast zwischen zwei durch das gleiche Template definierten Typen ist nicht möglich.

```

main() {
    complex_d u,v;
    v = u = complex_d(1,1)/sqrt(2);
    cout << v << ' ' << u << '\n';
    v = u = sqrt(u);
    for (int i=0; i<8; i++) {
        cout <<u<<" hoch "<<i+1<<" : "<<v<< " warg = "<<setw(4)<<warg(v)<<'\n';
        v *= u;
    }
    v = u = 1/u;
    for (int i=0; i<8; i++) {
        cout <<u<<" hoch "<<i+1<<" : "<<v<< " warg = "<<setw(4)<<warg(v)<<'\n';
        v *= u;
    }
}/* Ausgabe:
0.707 + 0.707i 0.707 + 0.707i
0.707 + 0.707i hoch 1 : 0.707 + 0.707i warg = 45
0.707 + 0.707i hoch 2 : 0 + 1i warg = 90
0.707 + 0.707i hoch 3 : -0.707 + 0.707i warg = 135
0.707 + 0.707i hoch 4 : -1 + 0i warg = 180

```

sw. */

Aufgabe 8.3: Definieren Sie eine Ordnung < auf den komplexen Zahlen und sortieren Sie ein Array von komplexen Zahlen mittels quicksort wie in Übungsblatt 7.

Aufgabe 8.4: Schreiben Sie eine Implementation einer Klasse class rat { long z; long n; } von rationalen Zahlen mit Zähler z, Nenner n. Verwenden Sie diese Klasse zum Studium einer Klasse complex_r; von rationalen komplexen Zahlen.

Hinweis: Denken Sie daran, die REAL-Argumente in der Klasse complex für diesen Fall zu Referenzen zu machen. Ist dies ohne Änderung des Klassen-templates complex möglich?

// complex.cc

```

#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>
#include <math.h>
#define PI 3.14159265358979323846

template <class REAL, class FLOAT>
class complex {
    REAL r; REAL i;
public:
    complex() {};
    complex(REAL re, REAL im = 0) { r=re; i=im; }
    complex operator+=(const complex& y) { // Member-Funktion
        r += y.r; i += y.i; }
    complex operator+=(REAL y) { r += y; }
    friend complex operator+(const complex& x, const complex& y) {
        return complex(x.r+y.r, x.i+y.i); }
    friend complex operator+(const complex& x, REAL y) {
        return complex(x.r+y, x.i); }
    friend complex operator+(REAL x, const complex& y) {
        return complex(x+y.r, y.i); }
    complex operator-=(const complex& y) { // Member-Funktion
        r -= y.r; i -= y.i; }
    complex operator-=(REAL y) { r -= y; }
    friend complex operator-(const complex& x, const complex& y) {
        return complex(x.r-y.r, x.i-y.i); }
    friend complex operator-(const complex& x, REAL y) {
        return complex(x.r-y, x.i); }
    friend complex operator-(REAL x, const complex& y) {
        return complex(x-y.r, -y.i); }
    friend complex operator-(const complex& x) {
        return complex(-x.r, -x.i); }
    complex operator*=(const complex& y) {
        REAL rr = r*y.r-i*y.i; i = r*y.i+i*y.r; r = rr; }
    complex operator*=(REAL y) { r *= y; i *= y; }
    friend complex operator*(const complex& x, const complex& y) {
        return complex(x.r*y.r-x.i*y.i, x.r*y.i+x.i*y.r); }
    friend complex operator*(const complex& x, REAL y) {
        return complex(x.r*y, x.i*y); }
    friend complex operator*(REAL x, const complex& y) {
        return complex(x*y.r, x*y.i); }
    complex operator/=(const complex& y) {
        REAL a = y.r*y.r + y.i*y.i; REAL rr = (r*y.r+i*y.i)/a;
        i = (i*y.r-r*y.i)/a; r = rr; }
    complex operator/=(REAL y) { r /= y; i /= y; }
    friend complex operator/(const complex& x, const complex& y) {
        REAL a = y.r*y.r + y.i*y.i;
        return complex((x.r*y.r+x.i*y.i)/a, (x.i*y.r-x.r*y.i)/a); }
    friend complex operator/(const complex& x, REAL y) {
        return complex(x.r/y, x.i/y); }
    friend complex operator/(REAL x, const complex& y) {
        REAL a = y.r*y.r + y.i*y.i; x/=a;

```

```

    return complex(x*y.r, -x*y.i); }

friend FLOAT abs(const complex& x) {
    return sqrt(x.r*x.r+x.i*x.i); }
friend FLOAT arg(const complex& x) {
    if (x.r == 0) return (x.i == 0) ? 0 : ( x.i > 0 ? 0.5*PI : 1.5*PI);
    if (x.r < 0) return atan(x.i/x.r) + PI;
    return (x.i >= 0) ? atan(x.i/x.r) : atan(x.i/x.r) + 2*PI; }
}
friend FLOAT warg(const complex& x) { return arg(x)/PI*180; }
friend complex sqrt(const complex& x) {
    FLOAT a = arg(x)/2, b = sqrt(abs(x));
    return complex( REAL(cos(a)*b), REAL(sin(a)*b)); }

friend int operator==(const complex& x, const complex& y) {
    return (x.r==y.r && x.i==y.i); }
friend int operator==(const complex& x, REAL y) {
    return (x.i == 0 && x.r==y); }
friend int operator==(REAL x, const complex& y) {
    return (y.i == 0 && x==y.r); }
friend int operator!=(const complex& x, const complex& y) {
    return (x.r!=y.r || x.i!=y.i); }
friend int operator!=(const complex& x, REAL y) {
    return (x.r!=y || x.i!=0); }
friend int operator!=(REAL x, const complex& y) {
    return (x!=y.r || y.i!=0); }
friend ostream& operator<<(ostream& os, const complex& z) {
    os<<setw(6)<<setprecision(3)<< z.r;
    os<< ( z.i>=0 ? " + " : " - ");
    os<<setw(6)<<setprecision(3)<< ( z.i>=0 ? z.i : -z.i ) <<'i';
    return os; }

};

typedef complex<float,double> complex_f;
typedef complex<double,double> complex_d;
typedef complex<int,double> complex_i;

main() {
    complex_d u,v;
    v = u = complex_d(1,1)/sqrt(2);
    cout << v << ' ' << u << '\n';
    // v = u = sqrt(u);
    for (int i=0; i<8; i++) {
        cout <<u<<" hoch "<<i+1<<" : "<<v<< " warg = "<<setw(4)<<warg(v)<<'\n';
        v *= u;
    }
    v = u = 1/u;
    for (int i=0; i<8; i++) {
        cout <<u<<" hoch "<<i+1<<" : "<<v<< " warg = "<<setw(4)<<warg(v)<<'\n';
        v *= u;
    }
}

```

Hier ist die Implementation der Klasse `string`, die schon mehrfach verwendet worden ist.

Sie arbeitet mit sogenannten Referenzzählern, die Buch darüber führen, wie oft ein Objekt zur Laufzeit vom Programm gerade verwendet wird.

Die Klasse verwendet neben den ublichen Konstruktoren auch sogenannte "Destruktoren", die auch das Verschwinden von Variablen automatisieren. Eine Destruktor-Funktion trägt den Namen der Klasse, jedoch mit einer vorangestellten Tilde ~, in diesem Fall also `~string()`. Solche Destruktor-Funktionen werden in der Regel automatisch und implizite aufgerufen, z. B. beim Verlassen einer Funktion oder eines "Compound Statements".

```

#include <string.h>

int error(char *s) { // Fehlerausgabe
    cerr << s << '\n';
}

class string {
    struct srep { // String repraesentiert durch
        char *s; // Zeiger auf char
        int n; // Referenz-Zaehler
        srep() { n = 1; } // initiiert auf 1;
    };
    srep *p; // und Zeiger auf srep
public:
    string(); // string x;
    string(const char *); // string x = "abc";
    string(const string &); // string y = x;
    string& operator=(const char *); // Zuweisung x = "abc";
    string& operator=(const string& ); // Zuweisung y = x;
    ~string(); // Destruktor;
    char& operator[](int i); // Ueberladung des Index-Operators []
    const char& operator[](int i) const; //
    friend ostream& operator<<(ostream&, const string&);
    friend istream& operator>>(istream&, string&);
    friend int operator==(const string& x, const char *s)
    { return strcmp(x.p->s, s) == 0; }
    friend int operator==(const string& x, const string &y)
    { return strcmp(x.p->s, y.p->s) == 0; }
    friend int operator!=(const string& x, const char *s)
    { return strcmp(x.p->s, s) != 0; }
    friend int operator!=(const string& x, const string &y)
    { return strcmp(x.p->s, y.p->s) != 0; }
    friend int operator<(const string& x, const string &y)
    { return strcmp(x.p->s, y.p->s) < 0; }
    friend int operator>(const string& x, const string &y)
    { return strcmp(x.p->s, y.p->s) > 0; }
};

string::string() {
    p = new srep;
    p->s = 0;
}

string::string(const string& x) {
    x.p->n++;
    p = x.p;
}

```

```

string::string(const char *s) {
    p = new srep;
    p->s = new char[ strlen(s) + 1];
    strcpy(p->s,s);
}
string::~~string() {
    if (--p->n == 0) {
        delete[] p->s;
        delete p;
    }
}
string& string::operator=(const char *s) {
    if (p->n > 1) {
        p->n--;
        p = new srep;
    }
    else
        delete[] p->s;
    p->s = new char[strlen(s)+1];
    strcpy(p->s ,s);
    return *this;
}
string& string::operator=(const string& x) {
    x.p->n++;
    if (--p->n == 0) {
        delete[] p->s;
        delete p;
    }
    p = x.p;
    return *this;
}
ostream& operator<<(ostream& s, const string& x) {
    // return s << x.p->s << " { Ref-count = " << x.p->n << " }\n";
    return s << x.p->s;
}
istream& operator>>(istream& s, string& x) {
    char buf[256];
    s >> buf;      // Ueberlaufgefahr
    x = buf;
    // cout << " echo: " << x << '\n';
    return s;
}
char& string::operator[](int i) {
    if (i<0 || strlen(p->s) < i) error("Index ausser Bereich");
    if (p->n > 1) {
        srep* np = new srep;
        np->s = new char[ strlen(p->s) + 1 ];
        strcpy(np->s, p->s);
        p->n--;
        p = np;
    }
    return p->s[i];
}

```

```

const char& string::operator[](int i) const {
    if (i<0 || strlen (p->s) < i) error("Index ausser Bereich");
    return p->s[i];
}

```

Hier ein Template, das die Bitkodierung der elementaren Datentypen für Linux-basierende Intel-Rechner ausgibt. Die "Floating Point Unit" hat eine 80-Bit-Architektur, daher die hohe Präzision bei long double.

```

// Darstellung der Bit=Codierung der verschiedenen elementaren Datentypen
// stark abhaengig von der Rechnerarchitektur!!

#include <stdio.h>
#include <iostream.h>

template <class T>
ostream& bits(ostream &os, const T& x) {
    char *p = (char *) &x;      // Wandle Adresse von x in char-Adresse
    int k = sizeof(x);
    k = (k==12)?k-2:k;    // Fuer long double werden nur 10 Byte verwendet !
    // Die letzte Zeile sollte bei allgemeinerer Verwendung auskommentiert werden
    for (int i = k-1; i >= 0; i--) {    // Durchlaufen der Bytes von x
        for (int c = 128; c > 0; c >= 1)    // ein Byte bitweise ausgeben
            os << ( p[i] & c ? 1 : 0 );
        os << " ";                    // Trennung der Bytes
    }
    return os << "\n";
}

int main() {
    char c;int i; long long ll;
    float f; double d; long double ld;
    // Ausgabe der Groessen
    printf("sizeof(char) = %d\n",      sizeof(char));
    printf("sizeof(int) = %d\n",      sizeof(int));
    printf("sizeof(long long) = %d\n", sizeof(long long));
    printf("sizeof(float) = %d\n",    sizeof(float));
    printf("sizeof(double) = %d\n",    sizeof(double));
    printf("sizeof(long double) = %d\n", sizeof(long double));
    while (1) {
        printf(" : "); scanf("%Lf",&ld);
        // Umwandlung per cast
        c = (char) ld; i = (int) ld;
        ll = (long long) ld;
        f = (float) ld; d = (double) ld;
        // Ausgabe:
        bits(cout,c); bits(cout,i); bits(cout,ll);
        bits(cout,f); bits(cout,d); bits(cout,ld);
    }
}

```