OO Programozás

Operátor felültöltés, másolás és átalakítás

Dr. Hatwagner F. Miklós

Széchenyi István Egyetem, Győr

https://github.com/wajzy/GKxB_INTM085

2024. november 7.

Jelenlegi legjobb tudásunk szerint készítsünk osztályt egy komplex szám tárolására és műveletek elvégzésére, azaz:

- tároljuk a szám valós és képzetes részét,
- készítsünk konstruktorokat,
- getter/setter tagfüggvényeket,
- és olyan függvényeket, melyekkel komplex számok összeadhatók és szorozhatók!

Complex1.h

```
6  class Complex {
7      double re, im;
8    public:
9      Complex() {
10       re = im = 0.;
11     }
12     Complex(double re, double im) {
13       this->re = re;
14       this->im = im;
15     }
16     double getRe() const {
17       return re;
18     }
19     void setRe(double re) {
20       this->re = re;
21     }
```

Complex1.h

```
22      double getIm() const {
23        return im;
24      }
25      void setIm(double im) {
26        this->im = im;
27      }
28      void print() const {
29        std::cout << re << '+' << im << 'i' << std::endl;
30      }
31      Complex add(Complex right) const {
32        return Complex(re + right.re, im + right.im);
33      }
34      Complex mult(Complex right) const {
35        return Complex(re*right.re - im*right.im, im*right.re + re*right.im);
36      }
37  };
```

main1.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include "Complex1.h"
3
4  int main() {
5    Complex c(1., 1.);
6    Complex sum = c.add(Complex(2., 2.));
7    sum.print(); // 3+3i
8    Complex total = c.mult(Complex(3., 4.));
9    total.print(); // -1+7i
10 }
```

Operátor felültöltés

- A C++ megengedi, hogy az operátorok jelentését kiterjesszük a saját típusainkra (osztályainkra)
- Pl. ha értelmezhető az összeadás két `int` vagy `float` között, akkor két `Complex` objektum miért ne lehetne összeadható?
- Az operátorok működését (praktikusan nyilvános tag)függvények adják meg → `operatorX`, ahol `X` pl. `+`, `*`.

Complex2.h

```
31      // Use reference to avoid copy of 'right'
32      Complex operator+(const Complex& right) const {
33        return Complex(re + right.re, im + right.im);
34      }
35      Complex operator*(const Complex& right) const {
36        return Complex(re*right.re - im*right.im, im*right.re + re*right.im);
37      }
```

- + művelet bal operandusa: aktuális objektum, a jobb oldalit paraméterként kapja.
- Utóbbi felesleges (tagonkénti) másolásának elkerülésére referenciát használunk.
- Új, ideiglenes (eredmény) objektum jön létre e kettő alapján, ezt adja vissza.

main2.cpp

```
4  int main() {
5    Complex c(1., 1.);
6    // Complex sum = c.operator+(Complex(2., 2.));
7    Complex sum = c + Complex(2., 2.);
8    sum.print();
9    // Complex sum2 = c + 100.;
10   // error: no match for 'operator+'
11   // (operand types are 'Complex' and 'double')
12   // note:  no known conversion for argument 1
13   // from 'double' to 'const Complex&'
14   Complex total = c * Complex(3., 4.);
15   total.print();
16 }
```

Probléma:

Összeadásnál a jobb oldali operandusnak `Complex`-nek kell lennie.

Megoldás:

További felültöltött operátor függvények hozzáadása, pl. `double`-t hozzáadhatunk a valós részhez.

Complex3.h

```
32      Complex operator+(double re) const {
33        return Complex(this->re + re, im);
34      }
```

main3.cpp

```
4  int main() {
5    Complex c(1., 1.);
6    // Complex sum = c.operator+(Complex(2., 2.));
7    Complex sum = c + Complex(2., 2.);
8    sum.print();
9    // Complex sum2 = c.operator+(100.);
10   Complex sum2 = c + 100.;
11   sum2.print();
12   // Complex sum3 = 100. + c;
13   // error: no match for 'operator+'
14   // (operand types are 'double' and 'Complex')
```

- Ez sem segít, ha a *bal* operandus `double` típusú → *nem tag*, két paraméteres `operator` függvény.
- Nem éri el a privát/védett tagokat → barát (`friend`) függvény: mindenhez hozzáfér az osztályon belül.
- Másik osztály is lehet az osztályunk barátja, pl.:
  `friend class FriendOfComplex;`

Complex4.h

```
 6  class Complex {
 7      double re, im;
 8    public:

28      friend std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Complex& cplx);
29
30      Complex operator+(const Complex& right) const {
31        return Complex(re + right.re, im + right.im);
32      }
33      Complex operator+(double re) const {
34        return Complex(this->re + re, im);
35      }
36      friend Complex operator+(double re, const Complex& right);
```

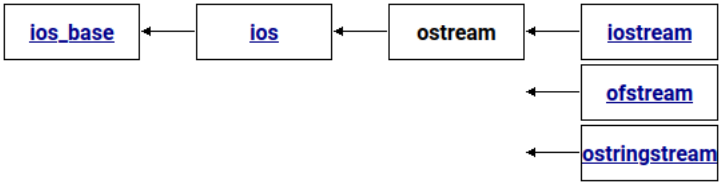
Complex4.cpp

```
3  std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Complex& c) {
4    os << c.re << '+' << c.im << 'i';
5    return os;
6  }
7
8  Complex operator+(double re, const Complex& right) {
9    return Complex(re + right.re, right.im);
10 }
```

main4.cpp

```
4  int main() {
5    Complex c(1., 1.);
6    // Complex sum = c.operator+(Complex(2., 2.));
7    Complex sum = c + Complex(2., 2.);
8    std::cout << sum << std::endl; // 3+3i
9    // Complex sum2 = c.operator+(100.);
10   Complex sum2 = c + 100.;
11   std::cout << sum2 << std::endl; // 101+1i
12   // Complex sum3 = operator+(100., c);
13   Complex sum3 = 100. + c;
14   std::cout << sum3 << std::endl; // 101+1i
```

Az `ostream` a `cout`, `cerr` és `clog` objektumok típusa.



Bár különösebb haszna nincs, de csupa nem tag barát függvénnyel is megoldhattuk volna az operátorok felültöltését.

Complex5.h (Complex5.cpp)

```
 6  class Complex {
 7      double re, im;
 8    public:

28      friend std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Complex& cplx);
29
30      friend Complex operator+(const Complex& left, const Complex& right);
31      friend Complex operator+(const Complex& left, double re);
32      friend Complex operator+(double re, const Complex& right);
33
34      friend Complex operator*(const Complex& left, const Complex& right);
35      friend Complex operator*(const Complex& left, double re);
36      friend Complex operator*(double re, const Complex& right);
37  };
```

Operátor felültöltés

- Definiáltuk az operátor *jelentését* olyan kifejezésben, melyben legalább egy operandus az osztály objektuma.
- Nem változtatható meg az operátor *szintakszisa*, *precedenciája*, *asszociativitása*, *operandusainak száma*.
- *Majdnem* minden operátor felültölthető.

- Az értékadás megengedett objektumok között → tagonkénti másolás.
- Probléma: dinamikusan foglalt területet több objektum adattagja is címezhet. Ha az egyik destruktora ezt felszabadítja, a másik ezen próbálhat műveletet végezni vagy újra felszabadítani.
- Egészítsük ki a Message osztályt felültöltött értékadás operátorral, készítsünk másolatot a tárolt szövegről!

message2.cpp

```
4  class Message {
5    private:
6      char* pStr;
7    public:
8      Message() {
9        pStr = new char('\0');
10       std::cout << "Created [" << this << "]\n";
11     }
12
13     Message(const char* s) {
14       pStr = new char[strlen(s) + 1];
15       strcpy(pStr, s);
16       std::cout << "Created [" << this << ", " << pStr << "]\n";
17     }
```

message2.cpp

```
19      ~Message() {
20        std::cout << "Freed [" << this << ", " << pStr << "]\n";
21        delete[] pStr;
22      }
23
24      friend std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Message& m);
25
26      // return reference instead of void to allow multiple assignments
27      Message& operator=(const Message& m) {
28        // do not copy to itself
29        if(&m == this) return *this;
30        setMessage(m.pStr);
31        return *this;
32      }
```

message2.cpp

```
34      void setMessage(const char* s) {
35        delete[] pStr;
36        pStr = new char[strlen(s) + 1];
37        strcpy(pStr, s);
38      }
39  };
40
41  std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Message& m) {
42    os << m.pStr;
43    return os;
44  }
```

message2.cpp

```
46 int main() {
47   Message m1;
48   m1.setMessage("Hello C++ world!");
49   std::cout << m1 << std::endl;
50
51   Message m2;
52   m2 = m1;
53   std::cout << m2 << std::endl;
54
55   Message m3;
56   m3 = m2 = m1;
57   std::cout << m3 << std::endl;
58
59   m1 = m1;
60   std::cout << m1 << std::endl;
61
62   Message m4 = m1; // double free!
63   std::cout << m4 << std::endl;
64 }
```

Kimenet

```
Created [0x7ffcf5018618]
Hello C++ world!
Created [0x7ffcf5018620]
Hello C++ world!
Created [0x7ffcf5018628]
Hello C++ world!
Hello C++ world!
Hello C++ world!
Freed [0x7ffcf5018630, Hello C++ world!]
Freed [0x7ffcf5018628, Hello C++ world!]
Freed [0x7ffcf5018620, Hello C++ world!]
Freed [0x7ffcf5018618, ]
free(): double free detected in tcache 2
Aborted (core dumped)
```

Ami jól működik:

Az értékadás operátor, ami másolatot hoz létre a karakterláncból,
nem engedi magát önmagára másolni, és
a többszörös értékadás is működik a visszaadott referencia miatt.

Ami hibás:

Az inicializáció nem értékadás, ilyenkor nem fut le a felültöltött függvényünk!

Másolási konstruktor (copy constructor):

Akár *egyetlen, azonos típusra vonatkozó referencia* paraméterrel is hívható konstruktor. (Lehetnek további paraméterek alapértelmezett értékekkel.)

Konverziós konstruktor (conversion constructor):

Ez is hívható egyetlen paraméterrel, de az más típusú.

Közös tulajdonság: objektum *inicializálásának* lehetősége kétféle szintaktikával:

`Osztaly obj(42);` $\equiv$ `Osztaly obj = 42;`

Másolási konstruktor további tulajdonságai:

- Ha mi nem készítünk, a fordító létrehoz egyet → tagonkénti másolás.
- Impliciten hívásra kerül:
  - Objektum átadása függvénynek paraméterként → a végtelen rekurzió elkerülése miatt kell az első paraméternek referenciának lennie.
  - Függvény adott osztály objektumát adja vissza.

message3.cpp

```
13      Message(const char* s) { // conversion ctor
14        pStr = new char[strlen(s) + 1];
15        strcpy(pStr, s);
16        std::cout << "Created [" << this << ", " << pStr << "]\n";
17      }
18
19      /* for old compilers
20      Message(const Message& m) {
21        pStr = new char[strlen(m.pStr) + 1];
22        strcpy(pStr, m.pStr);
23        std::cout << "Created [" << this << ", " << m.pStr << "]\n";
24      } */
25
26      // C++11+ / delegating constructors
27      Message(const Message& m) : Message(m.pStr) {}
```

message3.cpp

```
56 int main() {
57   Message m1;
58   m1.setMessage("Hello C++ world!");
59   std::cout << m1 << std::endl;

72   Message m4 = m1; // calls copy ctor
73   std::cout << m4 << std::endl;
74   Message m5(m1); // calls copy ctor
75   std::cout << m5 << std::endl;
76   Message m6 = "Conversion + copy ctor";
77   Message m7("Conversion ctor");
78 }
```

Kimenet

```
Created [0x7fff0778e740]
Hello C++ world!
...
Created [0x7fff0778e758, Hello C++ world!]
Hello C++ world!
Created [0x7fff0778e760, Hello C++ world!]
Hello C++ world!
Created [0x7fff0778e768, Conversion ctor]
Created [0x7fff0778e770, Conversion ctor]
Freed [0x7fff0778e770, Conversion ctor]
Freed [0x7fff0778e768, Conversion ctor]
Freed [0x7fff0778e760, Hello C++ world!]
Freed [0x7fff0778e758, Hello C++ world!]
...
Freed [0x7fff0778e740, Hello C++ world!]
```

Mikor hívjuk a konverziós konstruktort?

- Explicit hívás, más típusú adattal.
- Implicit hívás, a fordító egy adatot az osztály típusára akar alakítani $\rightarrow$ lehetővé teszi a felültöltött operátorfüggvények számának csökkentését!

Complex6.h

```
 6  class Complex {
 7      double re, im;
 8    public:
 9      // explicitely defaulted constructor
10      Complex() = default;
11      // conversion constructor
12      Complex(double re, double im = 0.) {
13        this->re = re;
14        this->im = im;
15      }

29      friend Complex operator+(const Complex& left, const Complex& right);
30      friend Complex operator*(const Complex& left, const Complex& right);
31  };
```

Complex6.h

```
10      Complex() = default;
```

Ha készítünk legalább egy konstruktort, a fordító nem hoz létre automatikusan *alapértelmezett* konstruktort. Ha mégis szükség lenne rá: `default` (C++11+; használható a kulcsszó más *speciális* tagfüggvényekhez is.)

Legtöbbször ha szükség van az alábbiak közül akár csak egynek is a definiálására, akkor a másik kettőre is szükség van (Rule of Three):

- destruktor
- másoló konstruktor
- hozzárendelés operátor

Vagy, átmeneti jelleggel akár le is tilthatjuk egyes függvények alapértelmezett előállítását → `delete`
Hasznos lehet nem kívánt típuskonverziók tiltására is.

message4.cpp

```
 4  class Message {

 7    public:

19      // C++11: deleted constructor
20      Message(const Message& m) = delete;

29      // deleted assignment operator
30      Message& operator=(const Message& m) = delete;

37  };
```

message4.cpp

```
44  int main() {

49    Message m2;
50    // m2 = m1; error: use of deleted function
51    // 'Message& Message::operator=(const Message&)'
52
53    // Message m4 = m1; error: use of deleted function
54    // 'Message::Message(const Message&)'
55
56    // Message m6 = "Conversion + copy ctor"; error: use of deleted function
57    // 'Message::Message(const Message&)'
58    // after user-defined conversion: Message::Message(const char*)
59
60    Message m7("Conversion ctor"); // OK
61  }
```