运算符重载 – 基本概念

郭 炜　刘家瑛

北京大学

运算符

- C++预定义表示对数据的运算
  - +, -, *, /, %, ^, &, ~, !, |, =, <<, >>, != ……
  - 只能用于基本的数据类型
    - 整型, 实型, 字符型, 逻辑型……

自定义数据类型与运算符重载

- C++提供了数据抽象的手段:

  用户自己定义数据类型 -- 类

  - 调用类的成员函数 → 操作它的对象
- 类的成员函数 → 操作对象 时, 很不方便
  - 在数学上, 两个复数可以直接进行+/-等运算

  Vs. 在C++中, 直接将+或-用于复数是不允许的

运算符重载

- 对抽象数据类型也能够直接使用C++提供的运算符
  - 程序更简洁
  - 代码更容易理解
- 例如:
  - complex_a和complex_b是两个复数对象
  - 求两个复数的和, 希望能直接写:

```
complex_a + complex_b
```

运算符重载

- 运算符重载
  - 对已有的运算符赋予多重的含义
  - 使同一运算符作用于不同类型的数据时 → 不同类型的行为
- 目的
  - 扩展C++中提供的运算符的适用范围，以用于类所表示的抽象数据类型
- 同一个运算符，对不同类型的操作数，所发生的行为不同
  - (5,10i) + (4,8i) = (9,18i)
  - 5 + 4 = 9

运算符重载

- 运算符重载的实质是函数重载

```
返回值类型 operator 运算符（形参表）
{
    ……
}
```

运算符重载

- 在程序编译时:
  - 把含 运算符的表达式 →对 运算符函数 的调用
  - 把 运算符的操作数 → 运算符函数的 参数
  - 运算符被多次重载时，根据 实参的类型 决定调用哪个运算符函数
  - 运算符可以被重载成普通函数
  - 也可以被重载成类的成员函数

运算符重载为普通函数

```
class Complex {
    public:
        Complex( double r = 0.0, double i= 0.0 ){
            real = r;
            imaginary = i;
        }
        double real;            // real part
        double imaginary;  // imaginary part
};
```

```
Complex operator+ (const Complex & a, const Complex & b)
{
    return Complex( a.real+b.real, a.imaginary+b.imaginary);
} // “类名(参数表)” 就代表一个对象

Complex a(1,2), b(2,3), c;
c = a + b; // 相当于什么?
```

- 重载为普通函数时, 参数个数为运算符目数

运算符重载为成员函数

```
class Complex {
    public:
        Complex( double r= 0.0, double m = 0.0 ):
                real(r), imaginary(m)  {    }       // constructor
        Complex operator+ ( const Complex & );  // addition
        Complex operator- ( const Complex & );   // subtraction
    private:
        double real;       // real part
        double imaginary;  // imaginary part
};
```

- 重载为成员函数时，参数个数为运算符目数减一

```
// Overloaded addition operator
Complex Complex::operator+(const Complex & operand2) {
    return Complex( real + operand2.real,
                    imaginary + operand2.imaginary );
}
// Overloaded subtraction operator
Complex Complex::operator- (const Complex &  operand2){
      return Complex( real - operand2.real,
                      imaginary - operand2.imaginary );
}
int main(){
    Complex x, y(4.3, 8.2), z(3.3, 1.1);
    x = y + z; // 相当于什么?
    x = y - z; // 相当于什么?
    return 0;
}
```

赋值运算符的重载

郭 炜 刘家瑛

北京大学

赋值运算符 ‘=’ 重载

- 赋值运算符 两边的类型 可以 不匹配
  - 把一个 int类型变量 赋值给一个 Complex对象
  - 把一个 char * 类型的字符串 赋值给一个 字符串对象
- 需要 重载赋值运算符 ‘=’
- 赋值运算符 “=” 只能重载为 成员函数

编写一个长度可变的字符串类String

- 包含一个char * 类型的成员变量

→ 指向动态分配的存储空间

- 该存储空间用于存放 '\0' 结尾的字符串

```
class String {
    private:
        char * str;
    public:
        String () : str(NULL) { }    //构造函数, 初始化str为NULL
        const char * c_str() { return str; }
        char * operator = (const char * s);
        ~String( );
};
```

```
//重载 '=' → obj = "hello"能够成立
char * String::operator = (const char * s){
    if(str)  delete [] str;
    if(s) {    //s不为NULL才会执行拷贝
        str = new char[strlen(s)+1];
        strcpy(str, s);
    }
    else
        str = NULL;
    return str;
}
```

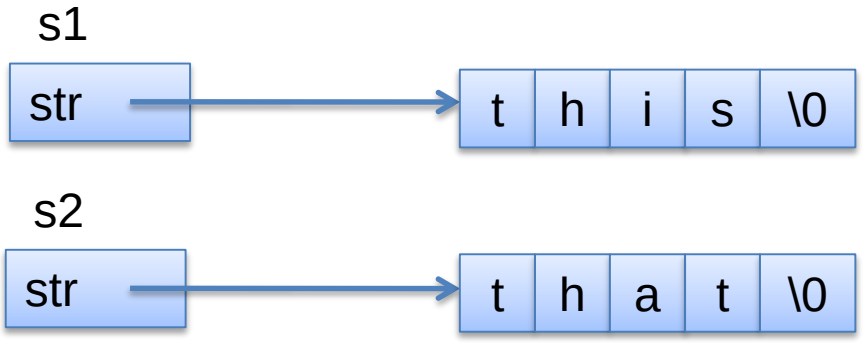
```
String::~String( ) {
    if(str)  delete [] str;
};
int main(){
    String s;
    s = “Good Luck,” ;
    cout << s.c_str() << endl;
    // String s2 = “hello!”; //这条语句要是不注释掉就会出错
    s = "Shenzhou 8!";
    cout << s.c_str() << endl;
    return 0;
}
```

程序输出结果：
Good Luck,
Shenzhou 8!

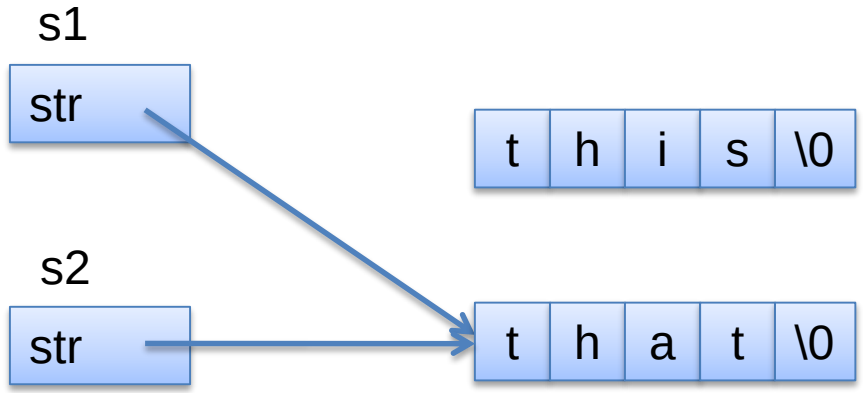
重载赋值运算符的意义 – 浅复制和深复制

- **S1 = S2;**
- 浅复制/浅拷贝
  - 执行逐个字节的复制工作

```
MyString S1, S2;
S1 = “this”;
S2 = “that”;
S1 = S2;
```



String S1, S2;
S1 = “this”;
S2 = “that”;

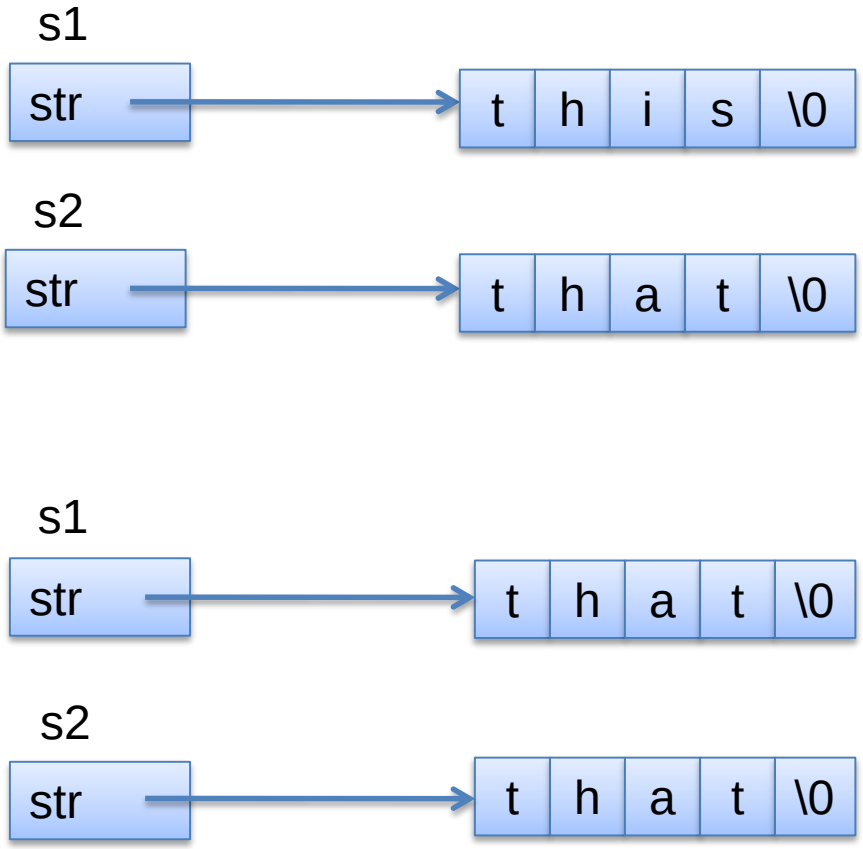


S1 = S2;

重载赋值运算符的意义 – 浅复制和深复制

- 深复制/深拷贝
  - 将一个对象中指针变量指向的内容，
  → 复制到另一个对象中指针成员对象指向的地方

```
MyString S1, S2;
S1 = “this”;
S2 = “that”;
S1 = S2;
```



String S1, S2;
S1 = “this”;
S2 = “that”;

S1 = S2;

```
MyString S1, S2;
S1 = “this”;
S2 = “that”;
S1 = S2;
```

- 在 class MyString 里添加成员函数:

```
String &  operator = (const String & s) {
    if(str) delete [] str;
    str = new char[strlen(s.str)+1];
    strcpy(str, s.str);
    return * this;
}
```

思考

- 考虑下面语句:

```
MyString s;
s = “Hello”;
s = s;
```

是否会有问题?

思考

- 正确写法:

```
String & String::operator = (const String & s){
    if(str == s.str) return * this;
    if(str) delete [] str;
    if(s.str) {    //s.str不为NULL才会执行拷贝
        str = new char[strlen(s.str)+1];
        strcpy( str,s.str);
    }
    else
        str = NULL;
    return * this;
}
```

对 operator = 返回值类型的讨论

void 好不好?

考虑: a = b = c;

//等价于a.operator=(b.operator=(c));

String 好不好?

为什么是 String &

- 运算符重载时, 好的风格 -- 尽量保留运算符原本的特性

  考虑: (a=b)=c; //会修改a的值

- 分别等价于:

  (a.operator=(b)).operator=(c);

上面的String类是否就没有问题了?

- 为 String类编写 复制构造函数 时
- 会面临和 ‘=’ 同样的问题, 用同样的方法处理

```
String::String(String & s)
{
    if(s.str) {
            str = new char[strlen(s.str)+1];
            strcpy(str, s.str);
    }
    else
      str = NULL;
}
```

运算符重载为友元函数

郭 炜　刘家瑛

北京大学

运算符重载为友元

- 通常，将运算符重载为类的成员函数
- 重载为友元函数的情况：
  - 成员函数不能满足使用要求
  - 普通函数，又不能访问类的私有成员

运算符重载为友元

```
class Complex{
        double real, imag;
    public:
        Complex(double r, double i):real(r), imag(i){ };
        Complex operator+(double r);
};
Complex Complex::operator+(double r){ //能解释 c+5
    return Complex(real + r, imag);
}
```

- 经过上述重载后:

```
Complex c ;
c = c + 5;  //有定义，相当于 c = c.operator +(5);
```

- 但是:

```
c = 5 + c;  //编译出错
```

- 为了使得上述表达式能成立, 需要将+重载为普通函数

```
Complex operator+ (double r, const Complex & c) {
//能解释 5+c
    return Complex( c.real + r, c.imag);
}
```

- 普通函数不能访问私有成员

→ 将运算符+重载为友元函数

```
class Complex {
        double real, imag;
    public:
        Complex( double r, double i):real(r),imag(i){ };
        Complex operator+( double r );
        friend Complex operator + (double r, const Complex & c);
};
```

程序设计实习

郭炜　微博 http://weibo.com/guoweiofpku
http://blog.sina.com.cn/u/3266490431
刘家瑛 微博 http://weibo.com/pkuliujiaying

运算符重载实例：可变长整型数组

(教材P215)

```
int main() {  //要编写可变长整型数组类，使之能如下使用：
   CArray a; //开始里的数组是空的
   for( int i = 0;i < 5;++i)
            a.push_back(i);
   CArray a2,a3;
   a2 = a;
   for( int i = 0; i < a.length(); ++i )
            cout << a2[i] << " " ;
   a2 = a3; //a2是空的
   for( int i = 0; i < a2.length(); ++i ) //a2.length()返回0
            cout << a2[i] << " ";
   cout << endl;
   a[3] = 100;
   CArray a4(a);
   for( int i = 0; i < a4.length(); ++i )
            cout << a4[i] << " ";
   return 0;
}
```

要用动态分配的内存来存放数组元素，需要一个指针成员变量

要重载“=”

要重载“[ ]”

要自己写复制构造函数

程序输出结果是：

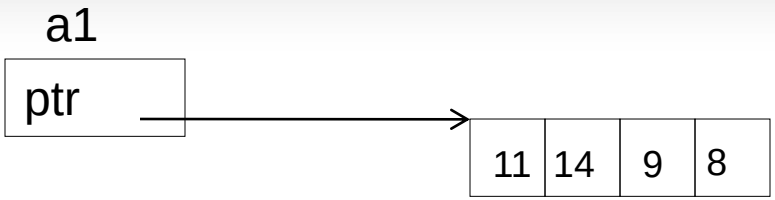
0 1 2 3 4
0 1 2 100 4

要做哪些事情？

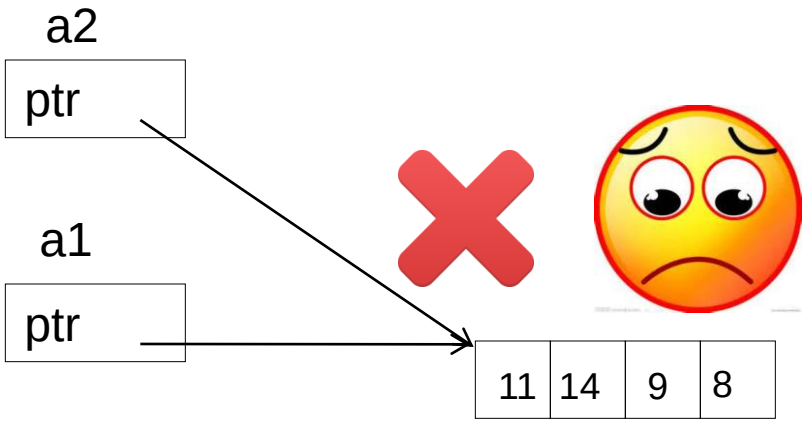
```
class  CArray   {
    int size; //数组元素的个数
    int *ptr; //指向动态分配的数组
public:
   CArray(int s = 0);     //s代表数组元素的个数
   CArray(CArray & a);
   ~CArray();
   void push_back(int v); //用于在数组尾部添加一个元素v
   CArray & operator=( const CArray & a);
    //用于数组对象间的赋值
   int length() { return size; } //返回数组元素个数
   _____  CArray::operator[](int i)  //返回值是什么类型？
   {//用以支持根据下标访问数组元素，
    // 如n = a[i] 和a[i] = 4; 这样的语句
            return ptr[i];
    }
};
```

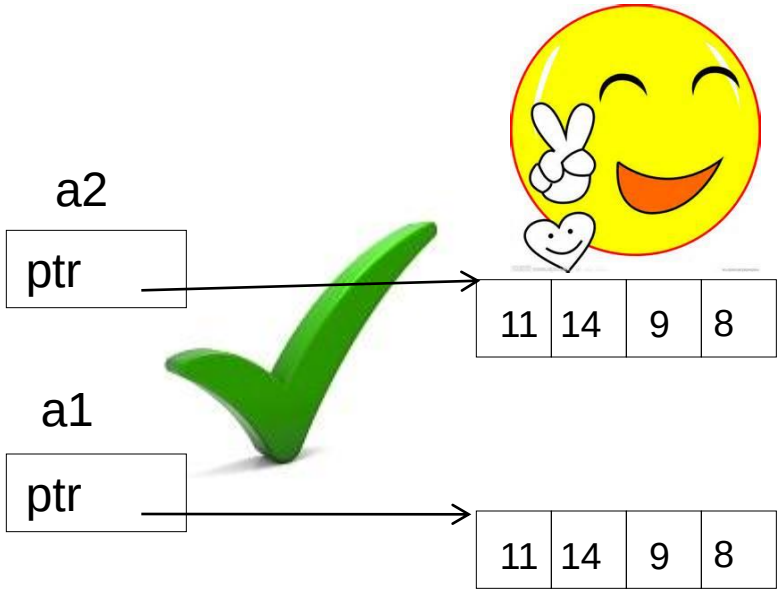
```
class  CArray   {
    int size; //数组元素的个数
    int *ptr; //指向动态分配的数组
public:
   CArray(int s = 0);     //s代表数组元素的个数
   CArray(CArray & a);
   ~CArray();
   void push_back(int v); //用于在数组尾部添加一个元素v
   CArray & operator=( const CArray & a);
    //用于数组对象间的赋值
   int length() { return size; } //返回数组元素个数
   int & CArray::operator[](int i)  //返回值为 int 不行!不支持 a[i] = 4
   {//用以支持根据下标访问数组元素，
    // 如n = a[i] 和a[i] = 4; 这样的语句
            return ptr[i];
   }
};
```

```
CArray::CArray(int s):size(s)
{
        if( s == 0)
                ptr = NULL;
        else
                ptr = new int[s];
}
CArray::CArray(CArray & a)   {
        if( !a.ptr) {
                ptr = NULL;
                size = 0;
                return;
        }
        ptr = new int[a.size];
        memcpy( ptr, a.ptr, sizeof(int ) * a.size);
        size = a.size;
}
```



CArray a2(a1);





```
CArray::~CArray()
{
        if( ptr) delete [] ptr;
}
CArray & CArray::operator=( const CArray & a)
{ //赋值号的作用是使“=”左边对象里存放的数组，大小和内容都和右边的对象一样
  if( ptr == a.ptr) //防止a=a这样的赋值导致出错
        return * this;
  if( a.ptr == NULL) {  //如果a里面的数组是空的
        if( ptr )   delete [] ptr;
        ptr = NULL;
        size = 0;
        return * this;
  }
```

```
        if( size < a.size) { //如果原有空间够大，就不用分配新的空间
            if(ptr)
                delete [] ptr;
            ptr = new int[a.size];
        }
        memcpy( ptr,a.ptr,sizeof(int)*a.size);
        size = a.size;
        return * this;
} // CArray & CArray::operator=( const CArray & a)
```

```
void CArray::push_back(int v)
{  //在数组尾部添加一个元素
   if( ptr) {
                int * tmpPtr = new int[size+1]; //重新分配空间
                memcpy(tmpPtr,ptr,sizeof(int)*size); //拷贝原数组内容
                delete [] ptr;
                ptr = tmpPtr;
   }
   else  //数组本来是空的
              ptr = new int[1];
   ptr[size++] = v; //加入新的数组元素
}
```

程序设计实习

郭炜　微博 http://weibo.com/guoweiofpku
http://blog.sina.com.cn/u/3266490431
刘家瑛 微博 http://weibo.com/pkuliujiaying

流插入运算符和流提取运算符的重载

(教材P218)

问题

- cout << 5 << “this”;

为什么能够成立？

- cout是什么？

“<<” 为什么能用在 cout上？

流插入运算符的重载

- cout 是在 iostream 中定义的，ostream 类的对象。

- “<<” 能用在cout 上是因为，在iostream 里对 “<<” 进行了重载。

- 考虑,怎么重载才能使得

  cout << 5; 和 cout << “this”都能成立？

流插入运算符的重载

- 有可能按以下方式重载成 ostream类的成员函数：

```
void ostream::operator<<(int n)
{
        …… //输出n的代码
        return;
}
```

流插入运算符的重载

cout << 5 ; 即 cout.operator<<(5);

cout << “this”; 即 cout.operator<<(“this”);

- 怎么重载才能使得

  cout << 5 << “this” ;

  成立?

流插入运算符的重载

```
ostream & ostream::operator<<(int n)
{
        …… //输出n的代码
        return * this;
}

ostream & ostream::operator<<( const char * s )
{
        …… //输出s的代码
        return * this;
}
```

流插入运算符的重载

cout << 5 << “this”;

本质上的函数调用的形式是什么？

cout.operator<<(5).operator<<(“this”);

流插入运算符的重载

- 假定下面程序输出为 5hello，该补写些什么

```
class CStudent{
    public:   int nAge;
};
int main(){
    CStudent s ;
    s.nAge = 5;
    cout << s <<"hello";
    return 0;
}
```

流插入运算符的重载

```
ostream & operator<<( ostream & o,const CStudent & s){
        o << s.nAge ;
        return o;
}
```

例题(教材P218)

假定c是Complex复数类的对象，现在希望写“cout << c;”，就能以“a+bi”的形式输出c的值，写“cin>>c;”，就能从键盘接受“a+bi”形式的输入，并且使得c.real = a,c.imag = b。

例题

```
int main()  {
        Complex c;
        int n;
        cin >> c >> n;
        cout << c << "," << n;
        return 0;
}
```

程序运行结果可以如下：

13.2+133i 87↙

13.2+133i, 87

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
using namespace std;
class Complex   {
       double real,imag;
public:
      Complex( double r=0, double i=0):real(r),imag(i){ };
      friend ostream & operator<<( ostream & os,
                                   const Complex & c);
      friend istream & operator>>( istream & is,Complex & c);
};
ostream & operator<<( ostream & os,const Complex & c)
{
     os << c.real << "+" << c.imag << "i"; //以"a+bi"的形式输出
     return os;
}
```

```
istream & operator>>( istream & is,Complex & c)
{
    string s;
    is >> s;  //将"a+bi"作为字符串读入, “a+bi” 中间不能有空格
    int pos = s.find("+",0);
    string sTmp = s.substr(0,pos); //分离出代表实部的字符串
    c.real = atof(sTmp.c_str());//atof库函数能将const char*指针指向的内容转换成
     float
    sTmp = s.substr(pos+1, s.length()-pos-2);   //分离出代表虚部的字符串
    c.imag = atof(sTmp.c_str());
     return is;
}
```

```
int main()
{
        Complex c;
        int n;
        cin >> c >> n;
        cout << c << "," << n;
        return 0;
}
```

程序运行结果可以如下：

13.2+133i 87↙

13.2+133i, 87

自加/自减运算符的重载

郭 炜 刘家瑛

北京大学

自加/自减运算符的重载

- 自加 ++/自减 -- 运算符有 前置/后置 之分
- 前置运算符作为一元运算符重载
  - 重载为成员函数:

```
T & operator++();
T & operator--();
```

  - 重载为全局函数：

```
T & operator++(T &);
T & operator—(T &);
```

- ++obj, obj.operator++(), operator++(obj) 都调用上述函数

自加/自减运算符的重载

- 后置运算符作为二元运算符重载
  - 多写一个参数, 具体无意义
  - 重载为成员函数:

  T operator++(int);

  T operator--(int);

  - 重载为全局函数:

  T operator++(T &, int);

  T operator--(T &, int);

- obj++, obj.operator++(**0**), operator++(obj,**0**) 都调用上函数

```
int main(){
    CDemo d(5);
    cout << (d++) << ",";  //等价于 d.operator++(0);
    cout << d << ",";
    cout << (++d) << ",";   //等价于 d.operator++();
    cout << d << endl;
    cout << (d--) << ",";   //等价于 operator--(d,0);
    cout << d << ",";
    cout << (--d) << ",";    //等价于 operator--(d);
    cout << d << endl;
    return 0;
}
```

程序输出结果:
5,6,7,7
7,6,5,5

- 如何编写 CDemo?

```
class CDemo {
    private :
        int n;
    public:
        CDemo(int i=0):n(i) { }
        CDemo & operator++();      //用于前置++形式
        CDemo operator++(int);    //用于后置++形式
        operator int ( ) { return n; }
        friend CDemo & operator--(CDemo &);    //用于前置--形式
        friend CDemo operator--(CDemo &, int); //用于后置--形式
};
CDemo & CDemo::operator++() {  //前置 ++
    n++;
    return * this;
}
```

```
CDemo CDemo::operator++(int k) {     //后置 ++
    CDemo tmp(*this);   //记录修改前的对象
    n++;
    return tmp;   //返回修改前的对象
}
CDemo & operator--(CDemo & d) {     //前置--
      d.n--;
      return d;
}
CDemo operator--(CDemo & d, int) {     //后置--
     CDemo tmp(d);
     d.n --;
     return tmp;
}
```

operator int ( ) { return n; }

- int 作为一个类型强制转换运算符被重载,

  Demo s;

  (int) s ; //等效于 s.int();

- 类型强制转换运算符重载时,
  - 不能写返回值类型
  - 实际上其返回值类型 -- 类型强制转换运算符代表的类型

运算符重载的注意事项

- C++不允许定义新的运算符
- 重载后运算符的含义应该符合日常习惯
  - complex_a + complex_b
  - word_a > word_b
  - date_b = date_a + n
- 运算符重载不改变运算符的优先级
- 以下运算符不能被重载: “.”, “.*”, “::”, “?:”, sizeof
- 重载运算符(), [ ], ->或者赋值运算符=时, 重载函数必须声明为类的成员函数