



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院

程序设计实习

C++面向对象程序设计

郭 炜

微信公众号



微博: <http://weibo.com/guoweiofpku>

学会程序和算法，走遍天下都不怕!

讲义内照片均为郭炜拍摄



北京大学
PEKING UNIVERSITY

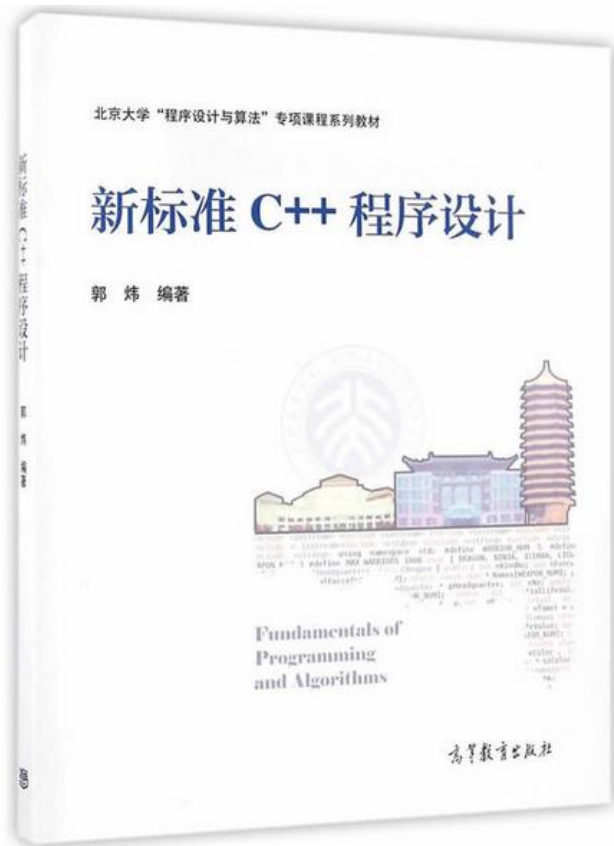
信息科学技术学院

配套教材：

高等教育出版社

《新标准C++程序设计》

郭炜 编著





函数模板和类模板



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院 郭炜

函数模板



九寨沟长海

函数模板

交换两个整型变量的值的Swap函数:

```
void Swap(int & x,int & y)
{
    int tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```

交换两个double型变量的值的Swap函数:

```
void Swap(double & x,double & y)
{
    double tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```

函数模板

交换两个整型变量的值的Swap函数:

```
void Swap(int & x,int & y)
{
    int tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```

交换两个double型变量的值的Swap函数:

```
void Swap(double & x,double & y)
{
    double tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```

能否只写一个Swap,
就能交换各种类型的
变量?

函数模板

用函数模板解决:

`template <class 类型参数1, class 类型参数2,.....>`

返回值类型 模板名 (形参表)

```
{  
    函数体  
};
```

`template <class T>`

`void Swap(T & x,T & y)`

```
{  
    T tmp = x;  
    x = y;  
    y = tmp;  
}
```

函数模板

```
int main()
{
    int n = 1, m = 2;
    Swap(n, m); //编译器自动生成 void Swap(int &, int &) 函数
    double f = 1.2, g = 2.3;
    Swap(f, g); //编译器自动生成 void Swap(double &, double &) 函数
    return 0;
}
```

```
void Swap(int & x, int & y)
{
    int tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```

```
void Swap(double & x, double & y)
{
    double tmp = x;
    x = y;
    y = tmp;
}
```


函数模板

函数模板中可以有不止一个类型参数。

```
template <class T1, class T2>
T2 print(T1 arg1, T2 arg2)
{
    cout<< arg1 << " " << arg2<<endl;
    return arg2;
}
```

函数模板

求数组最大元素的MaxElement函数模板

```
template <class T>
T MaxElement(T a[], int size) //size是数组元素个数
{
    T tmpMax = a[0];
    for( int i = 1; i < size; ++i)
        if( tmpMax < a[i] )
            tmpMax = a[i];
    return tmpMax;
}
```

函数模板

不通过参数实例化函数模板

```
#include <iostream>
using namespace std;
template <class T>
T Inc(T n)
{
    return 1 + n;
}
int main()
{
    cout << Inc<double>(4) / 2;    //输出 2.5
    return 0;
}
```

函数模板的重载

函数模板可以重载，只要它们的形参表或类型参数表不同即可。

```
template<class T1, class T2>
void print(T1 arg1, T2 arg2) {
    cout<< arg1 << " " << arg2<<endl;
}
```

```
template<class T>
void print(T arg1, T arg2) {
    cout<< arg1 << " " << arg2<<endl;
}
```

```
template<class T, class T2>
void print(T arg1, T arg2) {
    cout<< arg1 << " " << arg2<<endl;
}
```

函数模板和函数的次序

在有多多个函数和函数模板名字相同的情况下，编译器如下处理一条函数调用语句

- 1) 先找参数完全匹配的**普通函数**(非由模板实例化而得的函数)。
- 2) 再找参数完全匹配的**模板函数**。
- 3) 再找实参数经过自动类型转换后能够匹配的**普通函数**。
- 4) 上面的都找不到，则报错。

```

template <class T>
T Max( T a, T b)  {
    cout << "TemplateMax" << endl;      return 0;
}
template <class T, class T2>
T Max( T a, T2 b) {
    cout << "TemplateMax2" << endl;      return 0;
}
double Max(double a, double b){
    cout << "MyMax" << endl;
    return 0;
}
int main() {
    int i=4, j=5;
    Max( 1.2, 3.4); // 输出MyMax
    Max(i, j); // 输出TemplateMax
    Max( 1.2, 3); // 输出TemplateMax2
    return 0;
}

```

函数模板

匹配模板函数时，不进行类型自动转换

```
template<class T>
```

```
T myFunction( T arg1, T arg2)
```

```
{ cout<<arg1<<"    "<<arg2<<"\n"; return arg1;}
```

```
.....
```

```
myFunction( 5, 7); //ok: replace T with int
```

```
myFunction( 5.8, 8.4); //ok: replace T with double
```

```
myFunction( 5, 8.4); //error, no matching function for call  
to 'myFunction(int, double)'
```

以下说法哪个不正确

- ☐ A 函数模板中可以有不止一个类型参数
- ☐ B 函数模板可以重载
- ☐ C 函数模板中的类型参数也可以用来表示函数模板的返回值类型
- ☒ D 函数模板中的类型参数不能用于定义局部变量

提交

函数模板示例: Map

```
#include <iostream>
using namespace std;
template<class T,class Pred>
void Map(T s, T e, T x, Pred op)
{
    for(; s != e; ++s,++x) {
        *x = op(*s);
    }
}

int Cube(int x) {    return x * x * x; }
double Square(double x) {    return x * x; }
```

```
int a[5] = {1,2,3,4,5}, b[5];
double d[5] = { 1.1,2.1,3.1,4.1,5.1} , c[5];
int main() {
    Map(a,a+5,b,Square);
    for(int i = 0;i < 5; ++i) cout << b[i] << ",";
    cout << endl;

    Map(a,a+5,b,Cube);
    for(int i = 0;i < 5; ++i) cout << b[i] << ",";
    cout << endl;

    Map(d,d+5,c,Square);
    for(int i = 0;i < 5; ++i) cout << c[i] << ",";
    cout << endl;
    return 0; }
```

输出:

1,4,9,16,25,
1,8,27,64,125,
1.21,4.41,9.61,16.81,26.01,

函数模板示例: Map

```
template<class T,class Pred>
void Map(T s, T e, T x, Pred op) {
    for(; s != e; ++s,++x) {
        *x = op(*s);
    }
}
```

```
int a[5] = {1,2,3,4,5}, b[5];
```

```
Map(a,a+5,b,Square); //实例化出以下函数:
```

```
void Map(int * s, int * e, int * x, double ( *op)(double)) {
    for(; s != e; ++s,++x) {
        *x = op(*s);
    }
}
```

```
template<class T1,class T2,class T3>  
T1 func(T1 * a, T2 b, T3 c) { }  
int a[10],b[10];  
void f(int n) { }
```

func(a,b,f); 将模板类型参数实例化的结果是:

- ☒ A T1: int, T2: int *, T3: void (*) (int)
- ☐ B T1: int *, T2: int *, T3: void (*) (int)
- ☐ C T1: int, T2: int, T3: void (int)
- ☐ D T1: int *, T2 int, T3: void (int)

提交



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院 郭炜

类模板



新加坡金沙酒店

类模板 – 问题的提出

- 为了多快好省地定义出一批相似的类,可以定义类模板,然后由类模板生成不同的类
- 数组是一种常见的数据类型, 元素可以是:
 - 整数
 - 学生
 - 字符串
 -
- 考虑一个可变长数组类, 需要提供的基本操作
 - len(): 查看数组的长度
 - getElement(int index): 获取其中的一个元素
 - setElement(int index): 对其中的一个元素进行赋值
 -

类模板 – 问题的提出

- 这些数组类，除了元素的类型不同之外，其他的完全相同
- **类模板**：在定义类的时候，加上一个/多个类型参数。在使用类模板时，指定类型参数应该如何替换成具体类型，编译器据此生成相应的**模板类**。

类模板的定义

```
template <class 类型参数1 , class 类型参数2 , .....> //类型参数表  
class 类模板名  
{  
    成员函数和成员变量  
};
```


类模板的定义

```
template <typename 类型参数1 , typename 类型参数2 , .....>  
//类型参数表  
class 类模板名  
{  
    成员函数和成员变量  
};
```

类模板的定义

类模板里成员函数的写法：

```
template <class 类型参数1, class 类型参数2, .....> //类型参数表
```

```
返回值类型 类模板名<类型参数名列表>::成员函数名 ( 参数表 )
```

```
{
```

```
.....
```

```
}
```

用类模板定义对象的写法：

```
类模板名 <真实类型参数表> 对象名(构造函数实参表);
```

类模板示例：Pair类模板

```
template <class T1,class T2>
class Pair
{
public:
    T1 key;           //关键字
    T2 value;         //值
    Pair(T1 k,T2 v):key(k),value(v) { };
    bool operator < ( const Pair<T1,T2> & p) const;
};

template<class T1,class T2>
bool Pair<T1,T2>::operator < ( const Pair<T1,T2> & p) const
//Pair的成员函数 operator <
{
    return key < p.key;
}
```

类模板示例：Pair类模板

```
int main()
{
    Pair<string,int> student("Tom",19);
    //实例化出一个类 Pair<string,int>
    cout << student.key << " " << student.value;
    return 0;
}
```

输出:

Tom 19

用类模板定义对象

编译器由类模板生成类的过程叫类模板的实例化。由类模板实例化得到的类，叫模板类。

➤ 同一个类模板的两个模板类是不兼容的

```
Pair<string,int> * p;  
Pair<string,double> a;  
p = & a; //wrong
```

函数模版作为类模板成员

```
#include <iostream>
using namespace std;
template <class T>
class A
{
public:
    template<class T2>
    void Func( T2 t) { cout << t; } //成员函数模板
};

int main()
{
    A<int> a;
    a.Func('K'); //成员函数模板 Func被实例化
    a.Func("hello"); //成员函数模板 Func再次被实例化
    return 0;
} 输出: KHello
```

类模板与非类型参数

类模板的“<类型参数表>”中可以出现非类型参数：

```
template <class T, int size>
class CArray{
    T    array[size];
public:
    void Print( )
    {
        for( int i = 0;i < size; ++i)
            cout << array[i] << endl;
    }
};

CArray<double,40> a2;
CArray<int,50> a3;           //a2和a3属于不同的类
```

以下说法不正确的是：

- ☐ A 类模板可以用函数模板作为其成员
- ☐ B 类模板的类型参数可以用来定义成员变量
- ☐ C 不可以有多个类模板名字相同
- ☒ D 同一类模板实例化出来的类，是互相类型兼容的

提交



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院 郭炜

类模板与派生



挪威峡湾

类模板与派生

- 类模板从类模板派生
- 类模板从模板类派生
- 类模板从普通类派生
- 普通类从模板类派生

类模板从类模板派生

```
template <class T1,class T2>
class A {
    T1 v1; T2 v2;
};
```

```
template <class T1,class T2>
class B:public A<T2,T1> {
    T1 v3; T2 v4;
};
```

```
template <class T>
class C:public B<T,T> {
    T v5;
};
```

```
int main() {
    B<int,double> obj1;
    C<int> obj2;
    return 0;
}
```

类模板从类模板派生

```
template <class T1,class T2>
class A {
    T1 v1; T2 v2;
};
```

```
template <class T1,class T2>
class B:public A<T2,T1> {
    T1 v3; T2 v4;
};
```

```
template <class T>
class C:public B<T,T> {
    T v5;
};
```

```
int main() {
    B<int,double> obj1;
    C<int> obj2;
    return 0;
}
```

```
class B<int,double>:
    public A<double,int>
{
    int v3; double v4;
};
```

```
class A<double,int>
{
    double v1; int v2;
};
```

类模板从模板类派生

```
template <class T1,class T2>
class A {
    T1 v1; T2 v2;
};
```

```
template <class T>
class B:public A<int,double> {
    T v;
};
```

```
int main() {
    B<char> obj1;    //自动生成两个模板类 : A<int,double> 和 B<char>
    return 0;
}
```

类模板从普通类派生

```
class A {  
    int v1;  
};  
  
template <class T>  
class B:public A { //所有从B实例化得到的类，都以A为基类  
    T v;  
};  
  
int main() {  
    B<char> obj1;  
    return 0;  
}
```

普通类从模板类派生

```
template <class T>
class A {
    T v1;
    int n;
};

class B:public A<int> {
    double v;
};

int main() {
    B obj1;
    return 0;
}
```



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院 郭炜

类模板与友元



挪威Nigardsbreen 冰川

类模板与友员函数

- 函数、类、类的成员函数作为类模板的友元
- 函数模板作为类模板的友元
- 函数模板作为类的友元
- 类模板作为类模板的友元

函数、类、类的成员函数作为类模板的友元

```
void Func1() { }  
class A { };  
class B  
{  
public:  
    void Func() { }  
};  
template <class T>  
class Tmpl  
{  
    friend void Func1();  
    friend class A;  
    friend void B::Func();  
}; //任何从Tmpl实例化来的类，都有以上三个友元
```

函数模板作为类模板的友元

[illegible]

函数模板作为类模板的友元

```
template<class T1,class T2>
bool Pair<T1,T2>::operator < ( const Pair<T1,T2> & p) const
{ // "小"的意思就是关键字小
    return key < p.key;
}

template <class T1,class T2>
ostream & operator<< (ostream & o,const Pair<T1,T2> & p)
{
    o << "(" << p.key << "," << p.value << ")" ;
    return o;
}
```

函数模板作为类模板的友元

```
int main()
{
    Pair<string,int> student("Tom",29);
    Pair<int,double> obj(12,3.14);
    cout << student << " " << obj;
    return 0;
}
```

输出:

(Tom,29) (12,3.14)

任意从 `template <class T1,class T2>`
`ostream & operator<< (ostream & o,const Pair<T1,T2> & p)`
生成的函数, 都是任意Pair模板类的友元

函数模板作为类的友元

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A
{
    int v;
public:
    A(int n):v(n) { }
    template <class T>
    friend void Print(const T & p);
};
template <class T>
void Print(const T & p)
{
    cout << p.v;
}
```

```
int main() {
    A a(4);
    Print(a);
    return 0;
}
```

输出:

4

所有从 `template <class T>`
`void Print(const T & p)`
生成的函数, 都成为 A 的友元

但是自己写的函数

`void Print(int a) { }`
不会成为A的友元

类模板作为类模板的友元

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <class T>
class B {
    T v;
public:
    B(T n):v(n) { }
    template <class T2>
    friend class A;
};

template <class T>
class A {
public:
    void Func( ) {
        B<int> o(10);
        cout << o.v << endl;
    }
};
```

```
int main()
{
    A< double > a;
    a.Func ();
    return 0;
}
```

输出:
10

**A< double>类, 成了B<int>类的友元。
任何从A模版实例化出来的类, 都是任
何B实例化出来的类的友元**



北京大学
PEKING UNIVERSITY

信息科学技术学院 郭炜

类模板与静态 成员变量



冰岛杰古沙龙冰河湖

类模板与static成员

- 类模板中可以定义静态成员，那么从该类模板实例化得到的所有类，都包含同样的静态成员。

```
#include <iostream>
using namespace std;
template <class T>
class A
{
private:
    static int count;
public:
    A() { count ++; }
    ~A() { count -- ; };
    A( A & ) { count ++ ; }
    static void PrintCount() { cout << count << endl; }
};
```

类模板与static成员

```
template<> int A<int>::count = 0;
template<> int A<double>::count = 0;
int main()
{
    A<int> ia;
    A<double> da;
    ia.PrintCount();
    da.PrintCount();
    return 0;
}
```

输出:

1

1