程序设计与算法（三）

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!

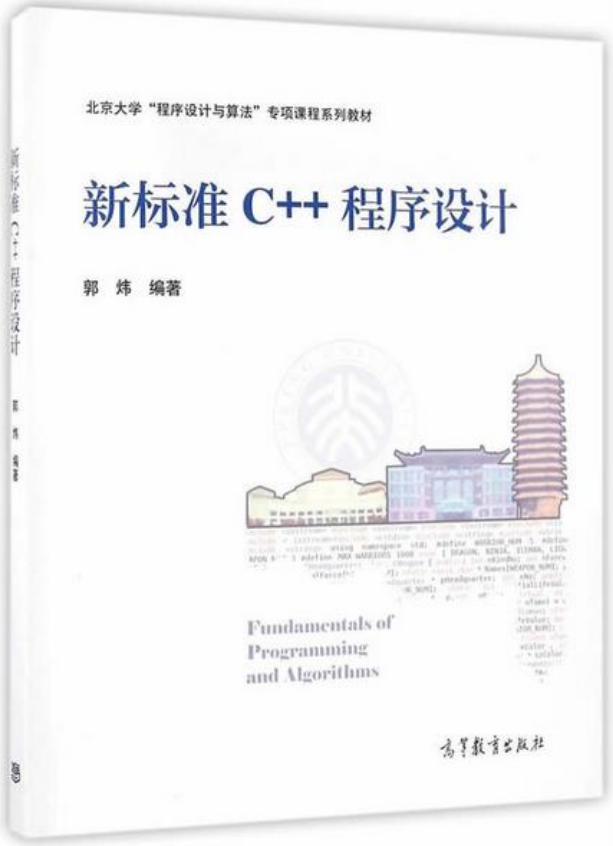
讲义照片均为郭炜拍摄

配套教材：

高等教育出版社

《新标准C++程序设计》

郭炜 编著



C++11特性

九寨沟

统一的初始化方法

```
int arr[3]{1, 2, 3};
vector<int> iv{1, 2, 3};
map<int, string>  mp{{1, "a"}, {2, "b"}};
string str{"Hello World"};
int * p = new int[20]{1,2,3};

struct A {
      int i,j;  A(int m,int n):i(m),j(n) {       }
};
A func(int m,int n ) { return {m,n}; }
int main() { A * pa = new A {3,7}; }
```

成员变量默认初始值

```
class B
{
      public:
      int m = 1234;
      int n;
};
int main()
{
      B b;
      cout << b.m << endl;   //输出 1234
      return 0;
}
```

auto关键字

用于定义变量，编译起可以自动判断变量的类型

```
auto i = 100;          // i 是 int
auto p = new A(); // p 是 A *
auto k = 34343LL;       // k 是 long long

map<string,int,greater<string> > mp;
for( auto i = mp.begin(); i != mp.end(); ++i)
        cout << i->first << "," << i->second ;
//i的类型是:  map<string,int,greater<string> >::iterator
```

auto关键字

```
class A { };
A operator + ( int n,const A & a)
{
        return a;
}
template <class T1, class T2>
auto add(T1 x, T2 y) -> decltype(x + y)   {
      return x+y;
}

auto d = add(100,1.5); // d是double d=101.5
auto k = add(100,A()); // d是A类型
```

decltype 关键字

求表达式的类型

```
int i;
double t;
struct A { double x; };
const A* a = new A();

decltype(a)       x1;  // x1 is A *
decltype(i)        x2;  // x2 is int
decltype(a->x)     x3;  // x3 is double
decltype((a->x)) x4 = t;  // x4 is double&
```

智能指针shared_ptr

- 头文件： <memory>
- 通过shared_ptr的构造函数，可以让shared_ptr对象托管一个new运算符返回的指针，写法如下：
- shared_ptr<T> ptr(new T); // T 可以是 int ,char, 类名等各种类型

此后ptr就可以像 T* 类型的指针一样来使用，即 *ptr 就是用new动态分配的那个对象，而且不必操心释放内存的事。

- 多个shared_ptr对象可以同时托管一个指针，系统会维护一个托管计数。当无shared_ptr托管该指针时，delete该指针。
- shared_ptr对象不能托管指向动态分配的数组的指针，否则程序运行会出错

智能指针shared_ptr

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
struct A   {
        int n;
        A(int v = 0):n(v){ }
        ~A() { cout << n << " destructor" << endl; }
};
int main()
{
       shared_ptr<A> sp1(new A(2)); //sp1托管A(2)
       shared_ptr<A> sp2(sp1);            //sp2也托管 A(2)
       cout << "1)" << sp1->n  << "," << sp2->n << endl;
       //输出1)2,2
       shared_ptr<A> sp3;
       A * p = sp1.get();      //p 指向 A(2)
       cout << "2)" << p->n << endl;
```

输出结果:

```
1)2,2
2)2
```

```
    sp3 = sp1;  //sp3也托管 A(2)
    cout << "3)" << (*sp3).n << endl;  //输出 2
    sp1.reset();                //sp1放弃托管 A(2)
    if( !sp1 )
        cout << "4)sp1 is null" << endl; //会输出
    A * q = new A(3);
    sp1.reset(q); // sp1托管q
    cout << "5)" << sp1->n << endl;  //输出 3
    shared_ptr<A> sp4(sp1); //sp4托管A(3)
    shared_ptr<A> sp5;
    sp1.reset();                //sp1放弃托管 A(3)
    cout << "before end main" <<endl;
    sp4.reset();                //sp1放弃托管 A(3)
    cout << "end main" << endl;
    return 0; //程序结束，会delete 掉A(2)
}
```

输出结果：

```
1)2,2
2)2
3)2
4)sp1 is
null
5)3
before end
main
3
destructor
```

智能指针shared_ptr

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;
struct A{
        ~A() { cout << "~A" << endl; }
 };
int main()
{
        A * p = new A();
        shared_ptr<A> ptr(p);
        shared_ptr<A> ptr2;
        ptr2.reset(p);    //并不增加 ptr中对p的托管计数
        cout << "end" << endl;
        return 0;
}
```

智能指针shared_ptr

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;
struct A{
        ~A() { cout << "~A" << endl; }
 };
int main()
{
        A * p = new A();
        shared_ptr<A> ptr(p);
        shared_ptr<A> ptr2;
        ptr2.reset(p);    //并不增加 ptr中对p的托管计数
        cout << "end" << endl;
        return 0;
}
```

输出:
end
~A
~A
之后程序崩溃
因 p被delete两次

空指针nullptr

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()    {
        int* p1 = NULL;
        int* p2 = nullptr;
        shared_ptr<double> p3 = nullptr;
        if(p1 == p2)
                cout << "equal 1" <<endl;
        if( p3 == nullptr)
                cout << "equal 2" <<endl;
        if( p3 == p2) ; // error
        if( p3 == NULL)
                cout << "equal 4" <<endl;
        bool b = nullptr; // b = false
        int i = nullptr; //error,nullptr不能自动转换成整型
        return 0;
}
```

去掉出错的语句后输出:

```
equal 1
equal 2
equal 4
```

基于范围的for循环

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
struct A {    int n; A(int i):n(i) {      } };
int main()  {
        int ary[] = {1,2,3,4,5};
        for(int & e: ary)
                e*= 10;
        for(int e : ary)
                cout << e << ",";
        cout << endl;
        vector<A> st(ary,ary+5);
        for(  auto & it: st)
                it.n *= 10;
        for(  A it: st)
                cout << it.n << ",";
        return 0;
}
```

输出:

10,20,30,40,50,
100,200,300,400
,500,

右值引用和move语义

右值：一般来说，不能取地址的表达式，就是右值，
能取地址的，就是左值

```
class A { };
A & r = A(); // error , A()是无名变量，是右值
A && r = A(); //ok, r 是右值引用
```

主要目的是提高程序运行的效率，减少需要进行深拷贝的对象进行深拷贝
的次数。

参考

http://amazingjxq.com/2012/06/06/%E8%AF%91%E8%AF%A6%E8%A7%A3c%E5%8F%B3%E5%80%BC%E5%BC%95%E7%94%A8/

http://www.cnblogs.com/soaliap/archive/2012/11/19/2777131.html

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <cstring>
using namespace std;
class String
{
public:
        char * str;
        String():str(new char[1]) { str[0] = 0;}
        String(const char * s) {
                str = new char[strlen(s)+1];
                strcpy(str,s);
        }
        String(const String & s) {
                cout << "copy constructor called" << endl;
                str = new char[strlen(s.str)+1];
                strcpy(str,s.str);
        }
```

```
String & operator=(const String & s) {
        cout << "copy operator= called" << endl;
        if( str != s.str) {
                delete [] str;
                str = new char[strlen(s.str)+1];
                strcpy(str,s.str);
        }
        return * this;
}
    // move constructor
String(String && s):str(s.str) {
        cout << "move constructor called"<<endl;
        s.str = new char[1];
        s.str[0] = 0;
}
```

```
    // move assigment
       String & operator = (String &&s) {
           cout << "move operator= called"<<endl;
           if (str!= s.str) {
              delete [] str;
                     str = s.str;
              s.str = new char[1];
              s.str[0] = 0;
           }
           return *this;
       }
       ~String() { delete [] str; }
};
```

```
template <class T>
void MoveSwap(T& a, T& b)    {
     T tmp(move(a)); // std::move(a)为右值，这里会调用move
constructor
     a = move(b);     // move(b)为右值，因此这里会调用move assigment
     b = move(tmp);   // move(tmp)为右值，因此这里会调用move
assigment
}
```

```
int main()
{
        //String & r = String("this"); // error
        String s;
        s = String("ok"); // String("ok")是右值
        cout << "******" << endl;
        String && r = String("this");
        cout << r.str << endl;
        String s1 = "hello",s2 = "world";
        MoveSwap(s1,s2);
        cout << s2.str << endl;
        return 0;
}
```

输出:
move operator= called
******
this
move constructor called
move operator= called
move operator= called
hello

函数返回值为对象时，返回值对象如何初始化?

- 只写复制构造函数
  - return 局部对象 -> 复制
  - return 全局对象 ->复制
- 只写移动构造函数
  - return 局部对象 -> 移动
  - return 全局对象 ->默认复制
  - return move(全局对向) -〉移动
- 同时写 复制构造函数和 移动构造函数:
  - return 局部对象 -> 移动
  - return 全局对象 -> 复制
  - return move(全局对向) -〉移动

dev c++中，return 局部对象 会导致优化，不调用移动或复制构造函数

可移动但不可复制的对象：

```
struct A{
        A(const A & a) = delete;
        A(const A && a) { cout << "move" << endl; }
        A() { };
};
A b;
A func()  {
        A a;
        return a;
}
void func2(A a) {  }
int main() {
        A a1;
        A a2(a1);     //compile error
        func2(a1);    //compile error
        func();
        return 0;
}
```

无序容器(哈希表)

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <unordered_map>
using namespace std;
int main()
{
        unordered_map<string,int> turingWinner; //图灵奖获奖名单
        turingWinner.insert(make_pair("Dijkstra",1972));
        turingWinner.insert(make_pair("Scott",1976));
        turingWinner.insert(make_pair("Wilkes",1967));
        turingWinner.insert(make_pair("Hamming",1968));
        turingWinner["Ritchie"] = 1983;
        string name;
        cin >> name; //输入姓名
```

```
        unordered_map<string,int>::iterator p =
turingWinner.find(name);
        //据姓名查获奖时间
        if( p != turingWinner.end())
                cout << p->second;
        else
                cout << "Not Found" << endl;
        return 0;
}
```

哈希表插入和查询的时间复杂度几乎是常数

正则表达式

```
#include <iostream>
#include <regex> //使用正则表达式须包含此文件
using namespace std;
int main()
{
        regex reg("b.?p.*k");
        cout << regex_match("bopggk",reg) <<endl;//输出 1, 表示匹配成功
        cout << regex_match("boopgggk",reg) <<endl;//输出 0, 匹配失败
        cout << regex_match("b pk",reg) <<endl;   //输出 1, 表示匹配成功
        regex reg2("\\d{3}([a-zA-Z]+).(\\d{2}|N/A)\\s\\1");
        string correct="123Hello N/A Hello";
        string incorrect="123Hello 12 hello";
        cout << regex_match(correct,reg2) <<endl; //输出 1,匹配成功
        cout << regex_match(incorrect,reg2) << endl; //输出 0, 失败
}
```

Lambda表达式

只使用一次的函数对象，能否不要专门为其编写一个类?

只调用一次的简单函数，能否在调用时才写出其函数体?

Lambda表达式

形式：

[外部变量访问方式说明符](参数表) ->返回值类型

{

语句组

}

[]	不使用任何外部变量
[=]	以传值的形式使用所有外部变量
[&]	以引用形式使用所有外部变量
[x, &y]	x 以传值形式使用，y 以引用形式使用
[=,&x,&y]	x,y 以引用形式使用，其余变量以传值形式使用
[&,x,y]	x,y 以传值的形式使用，其余变量以引用形式使用

“->返回值类型”也可以没有， 没有则编译器自动判断返回值类型。

Lambda表达式

```
int main()
{
        int x = 100,y=200,z=300;
       cout << [ ](double a,double b) { return a + b; }(1.2,2.5)
            << endl;
        auto ff  = [=,&y,&z](int n) {
               cout <<x << endl;
               y++; z++;
               return n*n;
        };
        cout << ff(15) << endl;
        cout << y << "," << z << endl;
}
```

Lambda表达式

```
int main()
{
  int x = 100,y=200,z=300;
  cout << [ ](double a,double b) { return a + b; } (1.2,2.5)
       << endl;
  auto ff  = [=,&y,&z](int n) {
       cout <<x << endl;
       y++; z++;
       return n*n;
   };
   cout << ff(15) << endl;
   cout << y << "," << z << endl;
}
```

输出:
3.7
100
225
201,301

Lambda表达式

```
int a[4] = { 4,2,11,33};
sort(a,a+4,[ ](int x,int y)->bool {
            return x%10 < y%10; });

for_each(a,a+4,[ ](int x) {cout << x << " " ;} ) ;
```

Lambda表达式

```
int a[4] = { 4,2,11,33};
sort(a,a+4,[ ](int x,int y)->bool { return x%10
                                    < y%10; });
for_each(a,a+4,[ ](int x) {cout << x << " " ;} ) ;
```

输出:
11 2 33 4

Lambda表达式

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
using namespace std;
int main()
{
        vector<int>  a { 1,2,3,4};
        int total = 0;
        for_each(a.begin(),a.end(),[&](int & x)
                {total += x; x*=2;});
        cout << total << endl;  //输出 10
        for_each(a.begin(),a.end(),[ ](int x)
                { cout << x << " ";});
        return 0;
}
```

程序输出结果：

10

2 4 6 8

Lambda表达式

实现递归求斐波那契数列第n项：

```
function<int(int)> fib = [&fib](int n)
 { return n <= 2 ? 1 : fib(n-1) + fib(n-2);};

cout << fib(5) << endl;    //输出5
```

function<int(int)> 表示返回值为 int，有一个int参数的函数

多线程

```
#include <iostream>
#include <thread>
using namespace std;
struct MyThread {
	void operator () () {
		while(true)
		cout << "IN MYTHREAD\n";
	}
};
void my_thread(int x)
{
	while(x)
		cout << "in my_thread\n";
}
```

多线程

```
int main()
{

        MyThread x;   // 对x 的要求：可复制
        thread th(x);// 创建线程并执行
        thread th1(my_thread, 100);
        while(true)
       cout << "in main\n";
        return 0;
}
```

输出：
in my_thread
in my_thread
IN MYTHREAD
IN MYTHREAD
in main
in my_thread
IN MYTHREAD
IN MYTHREAD
in main
in main
in my_thread
IN MYTHREAD
……

类型强制转换

山西绵山

1.static_cast

static_cast用来进用行比较“自然”和低风险的转换，比如整型和实数型、字符型之间互相转换。

static_cast不能来在不同类型的指针之间互相转换，也不能用于整型和指针之间的互相转换，也不能用于不同类型的引用之间的转换。

static_cast示例

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A
{
public:
      operator int() { return 1; }
      operator char * (){ return NULL; }
};
int main()
{
      A a;
      int n; char * p = "New Dragon Inn";
      n = static_cast<int>(3.14);  // n 的值变为 3
      n = static_cast<int>(a); //调用a.operator int, n的值变为 1
```

```
    p = static_cast<char*>(a);
    //调用a.operator int *,p的值变为 NULL
    n = static_cast<int> (p);
    //编译错误，static_cast不能将指针转换成整型
    p = static_cast<char*>(n);
    //编译错误，static_cast不能将整型转换成指针
    return 0;
}
```

2. reinterpret_cast

reinterpret_cast用来进行各种不同类型的指针之间的转换、不同类型的引用之间转换、以及指针和能容纳得下指针的整数类型之间的转换。转换的时候，执行的是逐个比特拷贝的操作。

reinterpret_cast示例

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A
{
  public:
       int i;
       int j;
       A(int n):i(n),j(n) { }
};
int main()
{
        A a(100);
        int & r = reinterpret_cast<int&>(a); //强行让 r 引用 a
        r = 200;  //把 a.i 变成了 200
        cout << a.i << "," << a.j << endl;    // 输出 200,100
        int n = 300;
```

```
A * pa = reinterpret_cast<A*> ( & n); //强行让 pa 指向 n
pa->i = 400;  // n 变成 400
pa->j = 500;  //此条语句不安全，很可能导致程序崩溃
cout << n << endl;  // 输出 400
long long la = 0x12345678abcdLL;
pa = reinterpret_cast<A*>(la);
// la太长，只取低32位0x5678abcd拷贝给pa
unsigned int u = reinterpret_cast<unsigned int>(pa);
//pa逐个比特拷贝到u
cout << hex << u << endl;  //输出 5678abcd
typedef void (* PF1) (int);
typedef int (* PF2) (int,char *);
PF1 pf1;  PF2 pf2;
pf2 = reinterpret_cast<PF2>(pf1);
//两个不同类型的函数指针之间可以互相转换
}
```

输出结果：

200,100
400
5678abcd

3. const_cast

用来进行去除const属性的转换。将const引用转换成同类型的非const引用，将const指针转换为同类型的非const指针时用它。例如：

```
const string s = “Inception”;
string & p = const_cast<string&>(s);
string * ps = const_cast<string*>(&s);
// &s的类型是const string *
```

4. dynamic_cast

- dynamic_cast专门用于将多态基类的指针或引用，强制转换为派生类的指针或引用，而且能够检查转换的安全性。对于不安全的指针转换，转换结果返回NULL指针。
- dynamic_cast不能用于将非多态基类的指针或引用，强制转换为派生类的指针或引用

dynamic_cast示例

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
class Base
{ //有虚函数，因此是多态基类
  public:
       virtual ~Base() { }
};
class Derived:public Base  {  };
int main()
{
     Base b;
     Derived d;
     Derived * pd;
     pd = reinterpret_cast<Derived*> ( &b);
```

```
    if( pd == NULL)
    //此处pd不会为NULL。reinterpret_cast不检查安全性，总是进行转换
        cout << "unsafe reinterpret_cast" << endl; //不会执行
    pd = dynamic_cast<Derived*> ( &b);
    if( pd == NULL)
    //结果会是NULL，因为 &b不是指向派生类对象，此转换不安全
        cout << "unsafe dynamic_cast1" << endl;  //会执行
    pd = dynamic_cast<Derived*> ( &d); //安全的转换
    if( pd == NULL)  //此处pd 不会为NULL
        cout << "unsafe dynamic_cast2" << endl; //不会执行
    return 0;
}
```

输出结果:

unsafe dynamic_cast1

Derived & r = dynamic_cast<Derived&>(b);

那该如何判断该转换是否安全呢?

答案：不安全则抛出异常

异常处理

张家界

程序运行发生异常

- 程序运行中总难免发生错误
  - 数组元素的下标超界、访问NULL指针
  - 除数为0
  - 动态内存分配new需要的存储空间太大
  - ……

程序运行发生异常

- 引起这些异常情况的原因：
  - 代码质量不高，存在BUG
  - 输入数据不符合要求
  - 程序的算法设计时考虑不周到
  - ……

程序运行发生异常

- 发生异常怎么办
  - 不只是简单地终止程序运行
  - 能够反馈异常情况的信息：哪一段代码发生的、什么异常
  - 能够对程序运行中已发生的事情做些处理：取消对输入文件的改动、释放已经申请的系统资源……

异常处理

- 一个函数运行期间可能产生异常。在函数内部对异常进行处理未必合适。因为函数设计者无法知道函数调用者希望如何处理异常。

- 告知函数调用者发生了异常，让函数调用者处理比较好

- 用函数返回值告知异常不方便

用try、catch进行异常处理

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
      double m ,n;
      cin >> m >> n;
      try {
            cout << "before dividing." << endl;
            if( n == 0)
                  throw -1; //抛出int类型异常
            else
                  cout << m / n << endl;
            cout << "after dividing." << endl;
      }
```

```
    catch(double d) {
        cout << "catch(double) " << d <<  endl;
    }
    catch(int e) {
        cout << "catch(int) " << e << endl;
    }
    cout << "finished" << endl;
    return 0;
}
```

程序运行结果如下：

```
9 6↙
before dividing.
1.5
after dividing.
finished
```

捕获任何异常的catch块

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
      double m ,n;
      cin >> m >> n;
      try {
            cout << "before dividing." << endl;
            if( n == 0)
                  throw -1; //抛出整型异常
            else if( m == 0 )
                  throw -1.0; //抛出double型异常
            else
                  cout << m / n << endl;
            cout << "after dividing." << endl;
      }
```

```
    catch(double d) {
        cout << "catch(double) " << d <<  endl;
    }
    catch(...) {
        cout << "catch(...) " << endl;
    }
    cout << "finished" << endl;
    return 0;
}
```

程序运行结果：

9 0↙

before dividing.

catch(...)

finished

0 6↙

before dividing.

catch(double) -1

finished

注意：try块中定义的局部对象，发生异常时会析构！

异常的再抛出

如果一个函数在执行的过程中，抛出的异常在本函数内就被catch块捕获并处理了，那么该异常就不会抛给这个函数的调用者(也称“上一层的函数”)；如果异常在本函数中没被处理，就会被抛给上一层的函数。

异常再抛出

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
class CException
{
      public :
            string msg;
            CException(string s):msg(s) { }
};
```

```
double Devide(double x, double y)
{
	if(y == 0)
		throw CException("devided by zero");
	cout << "in Devide" << endl;
	return x / y;
}
int CountTax(int salary)
{
	try {
		if( salary < 0 )
			throw -1;
		cout << "counting tax" << endl;
	}
	catch (int ) {
		cout << "salary < 0" << endl;
	}
```

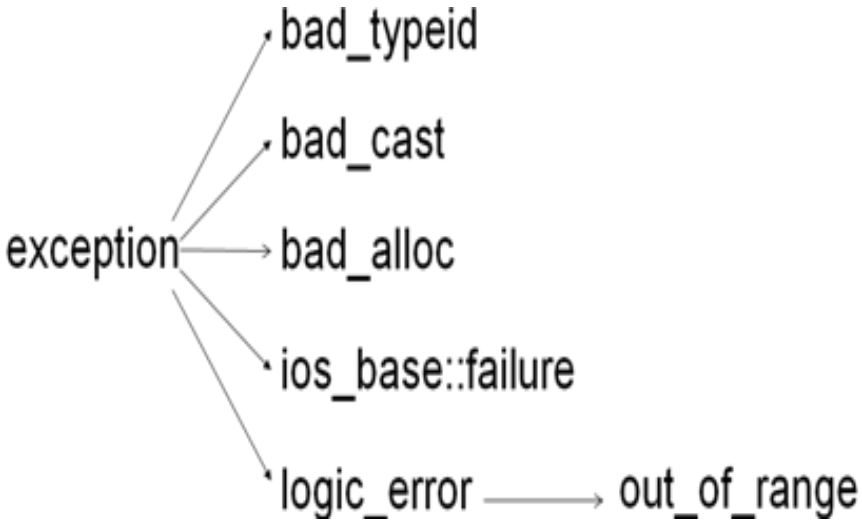
```
    cout << "tax counted" << endl;
    return salary * 0.15;
}
int main()
{
    double f = 1.2;
    try {
        CountTax(-1);
        f = Devide(3,0);
        cout << "end of try block" << endl;
    }
    catch(CException e) {
        cout << e.msg << endl;
    }
    cout << "f=" << f << endl;
    cout << "finished" << endl;
    return 0;
}
```

输出结果:

salary < 0
tax counted
devided by zero
f=1.2
finished

C++标准异常类

- C++标准库中有一些类代表异常，这些类都是从exception类派生而来



bad_cast

在用 dynamic_cast进行从多态基类对象（或引用），到派生类的引用的强制类型转换时，如果转换是不安全的，则会抛出此异常。

```
#include <iostream>
#include <stdexcept>
#include <typeinfo>
using namespace std;
class Base
{
      virtual void func(){}
};
class Derived : public Base
{
public:
      void Print() { }
};
```

```
void PrintObj( Base & b)
{
        try  {
           Derived & rd =
dynamic_cast<Derived&>(b);
           //此转换若不安全，会抛出bad_cast异常
           rd.Print();
        }
        catch (bad_cast& e)       {
           cerr << e.what() << endl;
        }
}
int main ()
{
      Base b;
      PrintObj(b);
      return 0;
}
```

输出结果：

Bad dynamic_cast!

bad_alloc

在用new运算符进行动态内存分配时，如果没有足够的内存，则会引发此异常。

```
#include <iostream>
#include <stdexcept>
using namespace std;
int main ()
{
  try  {
    char * p = new char[0x7fffffff];
  //无法分配这么多空间，会抛出异常
  }
  catch (bad_alloc & e)  {
    cerr << e.what() << endl;
  }
  return 0;
}
```

输出结果：

bad allocation

out_of_range

用vector或string的at成员函数根据下标访问元素时，如果下标越界，就会抛出此异常。例如：

```
#include <iostream>
#include <stdexcept>
#include <vector>
#include <string>
using namespace std;
int main ()
{
  vector<int> v(10);
  try {
    v.at(100)=100;  //抛出out_of_range异常
  }
  catch (out_of_range& e) {
    cerr << e.what() << endl;
  }
```

```
string s = "hello";
  try {
    char c = s.at(100); //抛出out_of_range异常
  }
  catch (out_of_range& e) {
    cerr << e.what() << endl;
  }
  return 0;
}
```

输出结果:

invalid vector<T> subscript
invalid string position

运行时类型检查

冰岛黄金瀑布

运行时类型检查

- C++运算符typeid是单目运算符，可以在程序运行过程中获取一个表达式的值的类型。typeid运算的返回值是一个type_info类的对象，里面包含了类型的信息。

typeid和type_info用法示例

```
#include <iostream>
#include <typeinfo> //要使用typeinfo，需要此头文件
using namespace std;
struct Base { };     //非多态基类
struct Derived : Base { };
struct Poly_Base {virtual void Func(){ } }; //多态基类
struct Poly_Derived: Poly_Base { };
int main()
{
  //基本类型
  long i;  int * p = NULL;
  cout << "1) int is: " << typeid(int).name() << endl;
      //输出 1) int is: int
  cout << "2) i is: " << typeid(i).name() << endl;
      //输出 2) i is: long
  cout << "3) p is: " <<  typeid(p).name() << endl;
      //输出 3) p is: int *
  cout << "4) *p is: " <<  typeid(*p).name() << endl ;
      //输出 4) *p is: int
```

```
//非多态类型
  Derived derived;
  Base* pbase = &derived;
  cout << "5) derived is: " << typeid(derived).name() << endl;
        //输出 5) derived is: struct Derived
  cout << "6) *pbase is: " << typeid(*pbase).name() << endl;
        //输出 6) *pbase is: struct Base
  cout << "7) " << (typeid(derived)==typeid(*pbase) ) << endl;
        //输出 7) 0
//多态类型
  Poly_Derived polyderived;
  Poly_Base* ppolybase = &polyderived;
  cout << "8) polyderived is: " << typeid(polyderived).name() << endl;
        //输出 8) polyderived is: struct Poly_Derived
  cout << "9) *ppolybase is: " << typeid(*ppolybase).name() << endl;
        //输出 9) *ppolybase is: struct Poly_Derived
  cout << "10) " << (typeid(polyderived)!=typeid(*ppolybase) ) << endl;
        //输出 10) 0
}
```