C++程序设计精要教程

华中科技大学

第8章 虚函数与多态

◆8.1 虚函数

- 虚函数：即用virtual定义的实例成员函数。Java几乎所有函数都默认为虚函数。当基类对象指针(引用)指向(引用)不同类型派生类对象时，通过虚函数到基类或派生类中同名函数的映射实现(动态)多态。
- 动态多态：重载函数表现的是静态(编译时)多态性，虚函数表现的是动态(运行时)多态性：
- 重载函数是静态多态函数，通过静态绑定调用重载函数；虚函数是动态多态函数，通过动态绑定调用函数。动态绑定是程序运行时自己完成的，静态绑定是编译或操作系统完成的。
- 虚函数的动态绑定通过存储在对象中的一个指针完成，因此虚函数一定有this(指向这个对象）。(该指针指向虚函数入口地址表VFT)

什么是多态

继承关系使一个派生类继承基类类的特征，并附加新特征

派生类是基类的具体化（沿着继承链从祖先类到后代类，特征越来越具体）

每个子类对象都是父类的实例，如

```
Person *p = new Teacher( );
```

这是多态性的重要基础。先看一个例子

什么是多态

```
class A{
        void info() { cout <<  “A\n” ); }
};
class B: public A{
        void info() { cout <<  “B\n” ); }
};
class C: public B{
        void info() { cout <<  “C\n” ); }
};
```

如果需要编写一个全局函数PrintInfo，能够打印A、B、C类对象的信息，怎么实现？

什么是多态

可以用重载

```
void PrintInfo (A* a) { a->info( );}
void PrintInfo (B* b) { b->info( );}
void PrintInfo (C* c) { c->info( );}
```

但重载函数定发生在编译肘，倒如

```
A *p = new A( );
PrintInfo (p); //在编译肘确定调用函数void PrintInfo (A  *p)
```

因此重载称为静态绑定

如果我们从C派生了一个新的子类D，我们需要添加新的PrintInfo重载版本，这意味着源代码要重新编译。

```
void PrintInfo (D *d) { d->info( );}
```

能不能实现一个PrintInfo 函数，无论从A类派生多少级子类，该函数都可以工作？可以利用多态

什么是多态

```
class A{
        virtual void info() { cout << “A\n”; }
        //首先将info定义为虚函数
};

class B: public A{
        virtual void info() { cout << “B\n”; }
};

class C: public B{
        virtual void info() { cout << “C\n”; }
};
```

什么是多态

```
void PrintInfo (A *p) { p ->info(); } //形参定义为顶级父类指针
A *a = new A( ); B *b = new B( ); C *c = new C( );
PrintInfo (a);          //调用A的info，显示A。A * p = a;
PrintInfo (b);          //调用B的info，显示B。 A *p = b;
PrintInfo (c);          //调用C的info，显示C。 A *p = c;
```

程序编译时，形参p的类型是A *， p->info()调用的绑定的是A::Info( )

但程序运行时，当顶级父类指针指向p继承链中不同子类对象时，会自动地调用相应子类的info函数

同一条语句p->info( )在运行时表现出动态的行为

面向对象的程序设计语言的这种特性称为多态

什么是多态

假设从C派生出子类D

```
class D: public C{
 virtual void info() { cout << “D\n”); }
};
```

这时函数PrintInfo不用做任何修改。当传递一个D类型的对象时，照样打印出D的信息

```
PrintInfo (new D()); //显示D
```

只要是从A类开始沿着继承链任意级的派生类对象，PrintInfo都可以打印出其信息。即使这些派生类是在PrintInfo函数被编译好以后（假设PrintInfo函数被单独编译为一个动态链接库）才定义。PrintInfo甚至都不需要重新编译都可以很好地工作。

这就是多态的强大之处。

基于多态的通用编程

父类指针（引用）可以指向（引用）子类对象，针对父类对象设计的任何代码都可以应用于子类对象。

- 多态性允许方法使用更通用的类作为参数类型。
- 如果方法参数是父类指针（引用），那么这个参数可以接受任何子类对象指针（引用）作为实参。当调用这对象的方法时，将动态绑定方法的实现。
- 因此方法的参数尽量用父类类型（抽象类、接口）

第8章 虚函数与多态

【例8.1】定义父类POINT2D和子类CIRCLE的绘图函数成员show()

```
#include <iostream>
using namespace std;
class POINT2D{
    int  x, y;
public:
    int getx( ) { return x; }
    int gety( ) { return y; }
    virtual POINT2D* show( ){ cout<<"Show a point\n"; return this;} //定义虚函数
    POINT2D(int x, int y) { POINT2D::x=x; POINT2D::y=y; }
};
class CIRCLE: public POINT2D{   //POINT2D和CIRCE满足父子关系
    int r;
```

第8章 虚函数与多态

```
public:
    int getr( ) { return r; }
    CIRCLE* show( ) { cout<< “Show a circle\n” ; return this;}//原型“一样”，自动成为虚函数
    CIRCLE(int x, int y, int r):POINT2D(x, y) { CIRCLE::r=r; }
};
void main(void)
{
    CIRCLE c(3, 7, 8);
    POINT2D *p=&c;                          //父类指针p可以直接指向子类对象c
    cout<<"The circle with radius "<<c.getr( );
    cout<<" is at ("<<p->getx( )<<", "<<p->gety( )<<")\n";
    p->show( );  // Show a circle，如果把Circle里的show函数定义为私有的会如何？请思考
}
```

第8章 虚函数与多态

◆8.1 虚函数

- **虚函数必须是类的实例成员函数**，非类的成员函数不能说明为虚函数，普通函数如main不能说明为虚函数。
- 虚函数一般在基类的public或protected部分（为什么？）。在派生类中重新定义成员函数时，**函数原型必须完全相同**；
- 虚函数只有在具有继承关系的类层次结构中定义才有意义，否则引起额外开销（需要通过VFT访问）；
- 一般用父类指针(或引用)访问虚函数。根据父类指针所指对象类型的不同，动态绑定相应对象的虚函数；(虚函数的动态多态性)

第8章 虚函数与多态

◆8.1 虚函数

- 虚函数有隐含的this参数，参数表后可出现const和volatile，静态函数成员没有this参数，不能定义为虚函数：即不能有virtual static之类的说明；
- 构造函数构造对象的类型是确定的，不需根据类型表现出多态性，故不能定义为虚函数；析构函数可通过父类指针(引用)或delete调用，父类指针指向的对象类型可能是不确定的，因此析构函数可定义为虚函数（强烈建议）。
- 一旦父类(基类)定义了虚函数，所有派生类中原型相同的非静态成员函数自动成为虚函数（即使没有“virtual”声明）；(虚函数特性的无限传递性)

第8章 虚函数与多态

◆8.1 虚函数

- 虚函数同普通函数成员一样，可声明为或自动成为inline函数，也可重载、缺省和省略参数。
- 虚函数能根据对象类型适当地绑定函数成员，且绑定函数成员的效率非常之高，因此，最好将实例函数成员全部定义为虚函数。
- 注意：虚函数主要通过基类和派生类表现出多态特性，由于union既不能定义基类又不能定义派生类，故不能在union中定义虚函数。

第8章 虚函数与多态

```
#include <iostream>                          //【例8.2】虚函数的使用方法
using namespace std;
struct A{
   virtual void f1( ){ cout<<"A::f1\n"; };   //定义虚函数f1()
   virtual void f2( ){ cout<<"A::f2\n"; };   //this指向基类对象，定义虚函数f2()
   virtual void f3( ){ cout<<"A::f3\n"; };   //定义虚函数f3()
   virtual void f4( ){ cout<<"A::f4\n"; };   //定义虚函数f4()
};
class B: public A{  //A和B满足父子关系
   virtual void f1( ){//virtual可省略，f1()自动成为虚函数
      cout<<"B::f1\n";
   };
   void f2( ) {        //除this指向派生类对象外，f2()和基类函数原型相同，自动成为虚函数
      cout<<"B::f2\n";
   };
};
```

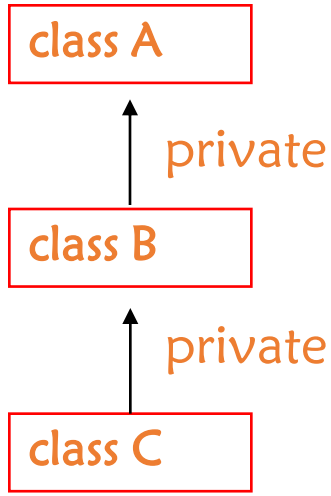
第8章 虚函数与多态

```
class C: B{              //B和C不满足父子关系，故A和C也不满足父子关系
   void f4( ) {          //f4()自动成为虚函数，即使不是父子关系，也有多态性
      cout<<"C::f4\n";
   };
};
void main(void)
{
   C  c;
   A *p=(A *)&c;         //A和C不满足父子关系，需要进行强制类型转换
   p->f1( );             //调用B::f1( )
   p->f2( );             //调用B::f2( )
   p->f3( );             //调用A::f3( )
   p->f4( );             //调用C::f4( )
   p->A::f2( );          //明确调用实函数A::f2( )，没有多态性
}
```

- 多态性实现的条件
  - 有一条继承链
  - 基类要申明virtual类型的成员函数
  - 用基类型的指针（或引用）指向（引用）派生类（不一定必须是父子关系）

```
struct A {
   virtual void f1() { cout << "A:f1()\n"; } virtual void f2() { cout << "A:f2()\n"; }
   virtual void f3() { cout << "A:f3()\n"; } virtual void f4() { cout << "A:f4()\n"; }
};
class B :A { //私有派生
   virtual void f1() { cout << "B:f1()\n"; } //virtual可省略
   void f2() { cout << "B:f2()\n"; }
};
class C :B { //私有派生
   void f4() { cout << "C:f4()\n"; }
};
void test(void) {
   //非父子关系，多态性质还是存在
   C c; A *p = (A *)&c;
   p->f1();          //B::f1();
   p->f2();          //B::f2();
   p->f3();          //A::f3()
   p->f4();          //C::f4()
   //c.f1(), c.f2(), c.f3(), c.f4(); //编译会出错
}
```

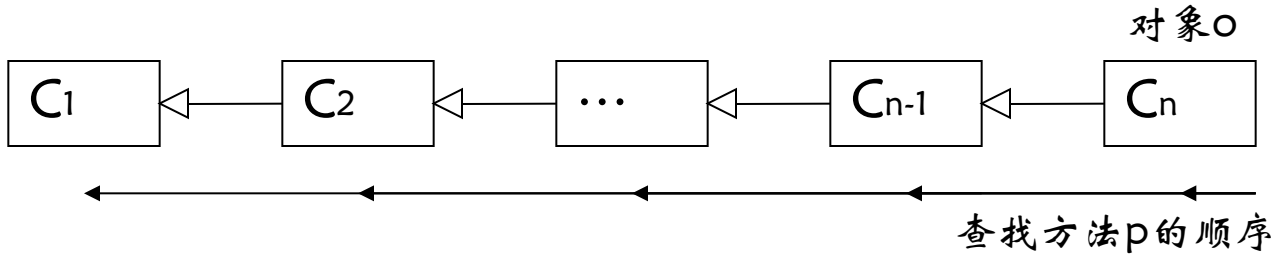
假设A ← B ← C都是私有派生，但基类A中的虚函数特性会一直传递下去而不管是什么类型的派生。因此，在派生类中对虚函数重新改写时可不加virtual关键字。



公有虚函数成员：f1(),f2(),f3(),f4()

私有虚函数成员：f1(),f2(),f3(),f4()
其中f1(),f2()被改写

不可见虚函数成员：f1(),f2(),f3(),f4()
其中 f4()被改写



在如图所示的继承链中，C1是祖先类

C1 *p =new Cn( ); p->f( );

这时会沿着继承链从子类到父类Cn,Cn-1,… C1查找f的实现，一旦找到一个实现，将停止查找，并执行找到的第一个实现。

查找是通过virtual function table进行。

第8章 虚函数与多态

◆8.1 虚函数

- 重载函数使用静态联编（早期绑定）机制；虚函数采用动态联编（晚期绑定）机制；
- 早期绑定：在程序运行之前的绑定；晚期绑定：在程序运行中，由程序自己完成的绑定。
- 对于父类A中声明的虚函数f()，若在子类B中重定义f()，必须确保子类B::f()与父类A::f()具有完全相同的函数原型，才能覆盖原虚函数f()而产生虚特性，执行动态联编机制。否则，只要有一个参数不同，编译系统就认为它是一个全新的（函数名相同时重载）函数，而不实现动态联编。

第8章 虚函数与多态

◆8.2 虚析构函数

- 如果基类的析构函数定义为虚析构函数，则派生类的析构函数就会自动成为虚析构函数（即使原型不同）。
- 说明虚析构函数的目的在于在使用delete运算符释放一个对象时，能够保证所执行的析构函数就是该对象的析构函数；最好将所有的析构函数都定义为虚析构函数。注意，对象数组指针p应用delete []p释放。
- 注意：如果为基类和派生类的对象分配了动态内存，或者为派生类的对象成员分配了动态内存，则一定要将基类和派生类的析构函数定义为虚析构函数，否则便可能造成内存泄漏，导致系统出现内存保护错误。

```
class A {
    int *p;
    int size;
public:
    A(int s) : p(new int[size = s]) {}
    //A的析构函数是虚函数，它所有的后代的析构函数就都是虚函数
    virtual ~A() { if (p) { delete[]p; p = 0; } }
};
class B : public A {
private:
    int *q;
    int  length;
public:
    B(int s, int l) :A(s), q(new int[length = l]) {}
    //B的析构会自动调用A的析构，所以不用操心p的释放
    ~B() { if (q) { delete[]q; q = 0; } }
};
void test() {
    A *p = new B(10, 10);
    //由于多态，会调用B的析构函数。但如果析构函数不是虚函数，由于p的声明类型为
    //A *,因此编译时delete P被绑定到A的析构函数，只会执行A的析构，
    //导致对象里q指针指向的内存没有被释放
    delete p;
}
```

第8章 虚函数与多态

【例8.5】输入职员的花名册,如果职员的姓名、编号和年龄等信息齐全,则登记该职员的个人信息,否则只登记职员的姓名。

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
class STRING{
    char *str;
public:
    STRING(char *s);
    virtual ~STRING( ){
        if (str){delete str; str=0; }
    }
};
STRING::STRING(char *s){
    str=new char[strlen(s)+1];
    strcpy(str, s);
}
class CLERK: public STRING{ //注意CLERK对象有二个STRING
    STRING clkid;    int age;
public:
    CLERK(char *n, char *i, int a);
    ~CLERK( ){ } //自动成为虚函数
    //自动调用clkid.~STRING( )
    //和STRING::~STRING( )
};
CLERK::CLERK(char *n, char *i,
 int a):STRING(n), clkid(i){ //分别初始化继承的STRING和对象成员STRING
    age=a;
}
```

第8章 虚函数与多态

```
const  int  max=10;
void main(void){
   STRING *s[max];  //花名册
   int a, k, m;    char n[12], i[12], t[256];
   printf("Please input name, number and age:\n");
   for(k=0; k<max; k++) {
      gets(t); //先从键盘输入，作为字符串保存在t
      m=sscanf(t, "%8s %8s %d" ,n,i, &a)!=3; //从t里解析出名字，id，年龄。m记录信息是否齐全
      s[k]=m?new STRING(n):new CLERK(n,i,a);
   }
   for(k=0; k<max; k++)
      delete s[k]; //多态调用析构函数
      //若s[k]指向STRING的对象，则用s[k]->~STRING()析构
      //若s[k]指向CLERK的对象，则用s[k]->~CLERK()析构
}
```

第8章 虚函数与多态

◆8.3 类的引用

- 用父类引用实现动态多态性时需要注意， new产生的被引用对象必须用delete &析构：

```
STRING &z=*new CLERK("zang","982021",23);
delete &z; //析构对象z并释放对象z占用的内存
```

- 上述delete &z完成了两个任务：①调用该对象析构函数~CLERK()，释放其基类和对象成员各自为字符指针str分配的空间；②释放CLERK对象自身占用的存储空间。
- 如将delete &z改为z.~STRING()，则只完成任务①而没完成②；如果改为free(&z)，则只完成任务②而没完成①。造成内存泄露。为什么z.~STRING()执行~CLERK()？（z实现为指针，同样具有多态性）

第8章 虚函数与多态

【例8.7】应用delete析构有址引用变量引用的通过new生成的对象

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A{
   int  i;
public:
   A(int i) { A::i=i; cout<<"A: i="<<i<<"\n"; };
   ~A( ) { if(i) cout<<"~A: i="<<i<<"\n"; i=0; };
};
void g(A &a) {cout<< "g is running\n"; } //调用时初始化形参a
void h(A &&a=A(5)) {cout<< "h is running\n"; } //调用时初始化形参a，A(5)为默认值
```

第8章 虚函数与多态

```
void main(void)
{
   A a(1), b(2);                    //自动调用构造函数构造a、b
   A &p=a;                          //p本身不用负责构造和析构a
   A &q=*new A(3);                  //q有址引用new生成的无名对象
   A &r=p;                          //r有址引用p所引用的对象a
   cout<<"CALL g(b)\n";
   g(b);                            //使用同类型的传统左值作为实参调用函数g()
   h( );                            //使用无址右值A(5)作为实参调用h()，初始化h()的形参a
   h(A(4));                         //使用无址右值A(4)作为实参调用h()，初始化h()的形参a
   cout<<"main return\n";
   delete &q;                       //q析构并释放通过new产生的对象A(3)
}                                   //退出main()时依次自动析构b、a
```

第8章 虚函数与多态

◆8.3 类的引用

- 当类的内部包含指针成员时，为了防止内存泄漏，**不应使用编译自动生成的构造函数、赋值运算符函数和析构函数**。
- 对于类型为A且内部有指针的类，应自定义A()、A(A&&) noexcept 、A(const A&)、A& operator=(const A&)、 A& operator=(A&&) noexcept以及~A( )函数。
- **A(A&&)、 A& operator=(A&&)通常应按移动语义实现**，构造和赋值分别是浅拷贝移动构造和浅拷贝移动赋值。“移动”即将一个对象（通常是常量）内部的(分配内存的)指针成员浅拷贝赋给新对象的内部指针成员，而前者的内部指针成员设置为空指针（即内存被移走了）。

第8章 虚函数与多态

```
class A {
    int*  p;
    int m;
public:
    A(): p(nullptr), m(0) {}
    A(int m): p(new int[m]), m(p?m:0){ }
    A(const A&a): p(new int[a.m]), m(p ? a.m : 0) {//深拷贝构造必须为p重新分配内存
        for (int x = 0; x < m; x++) p[x] = a.p[x];
    }
    A(A&& a) noexcept: p(p), m(a.m) {//深拷贝构造必须为p重新分配内存
        a.p = nullptr; a.m = 0;
    }
 ~A() {
        if (p){ delete p; p = nullptr; m = 0; }
    };
```

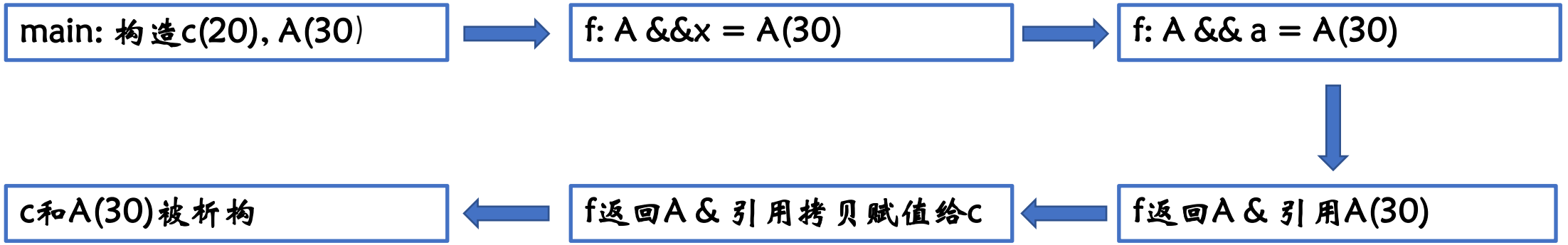
第8章 虚函数与多态

```
    A& operator=(const A&a) {//深拷贝赋值
        if (&a == this) return *this;
        if (p) delete p;
        p = new int[a.m];
        m = p ? a.m: 0;
        for (int x = 0; x < m; x++) p[x] = a.p[x];
        return *this;
    }
    A& operator=(A&& a) noexcept{//浅拷贝移动构造不为e重新分配内存
        if (&a == this) return *this;
        if (p) delete p;
        p = a.p;    m = p ? a.m : 0; //移动语义：资源a.p转移
        a.p = nullptr;  a.m = 0;      //移动语义：资源a.p已经转移，故资源数量设为 0
        return *this;
    }
};
```

第8章 虚函数与多态

```
A &f(A&& x) {
    A &&a= static_cast<A&&>(x); //a引用x所引用的对象;
    //A &&a = x; //报错，无法把右值绑定到左值,x是左值
    return a;  //返回A &：参数有名有址，类型&&自动转换为&。x和a都不负责析构
   //return x; //结果同上述两条语句
}
void main() {   A c(20);   c = f(A(30));  }
```

在函数f中，移动构造或赋值新变量，不用反复释放和申请内存，提高了程序执行效率



由于A(30)被引用（变成有名），其生命周期被延长

第8章 虚函数与多态

◆8.4 抽象类

- 纯虚函数：不必定义函数体的虚函数，也可以重载、缺省参数、省略参数、内联等，相当于Java的interface。
- 定义格式：virtual 函数原型＝0。 (0即函数体为空)
- 纯虚函数有this，不能同时用static定义(表示无this)。
- 构造函数不能定义为虚函数，同样也不能定义为纯虚函数。
- 析构函数可以定义为虚函数，也可定义为纯虚函数。
- 函数体定义应在派生类中实现，成为非纯虚函数。

第8章 虚函数与多态

◆8.4 抽象类

- 抽象类：含有纯虚函数的类。
- 抽象类常用作派生类的基类，不应该有对象或类实例(相当于Java的interface)。
- 如果派生类继承了抽象类的纯虚函数，却没有在派生类中重新定义该原型虚函数，或者派生类定义了基类所没有的纯虚函数，则派生类就会自动成为抽象类。
- 在多级派生的过程中，如果到某个派生类为止，所有纯虚函数都已在派生类中全部重新定义，则该派生类就会成为非抽象类（具体类）。

7.3 抽象类

```
struct A { virtual void f1() = 0, f2() = 0; }; //A为抽象类，不能定义A a; A f ()
//但还是可以给出纯虚函数的函数体,尽管如此，f1,f2还是纯虚函数，A还是抽象类
void A::f2() { cout << "A2"; }
void A::f1() { cout << "A1"; }
class B:public A { //取代型定义f2，未定义f1，B为抽象类
   void f2() { A::f2(); cout << "B2"; }  //自动成虚函数，导致内联失败
}; //B为抽象类，不能定义f (B b)，不能定义B *s=new B
class C:public B { // f1和f2均取代型定义，具体类C可定义变量、常量等
   void f1() { cout << "C1"; } //自动成虚函数，虚函数导致内联失败
}c;
void test(void) {
   A *p = &c;  //A、C满足父子关系
//虽然抽象类没有可供引用或指向的对象,但是抽象类仍然可以作为父类定义指针或引
用,指向或引用子对象
   p->f1();//调用C::f1 ()
   p->f2 ( ); //调用B::f2 ()
}  //C1A2B2
```

第8章 虚函数与多态

◆8.4 抽象类

- 抽象类不能定义或产生任何对象，包括用new创建的对象，故不能用作函数参数的值类型和函数的返回值类型（调用前后要产生该类型的对象）。
- 抽象类可作派生类的基类(父类)，若定义相应的基类引用和指针，就可引用或指向非抽象派生类对象。
- 通过抽象类指针或引用可调用抽象类的纯虚函数，根据多态性，实际调用的应是该类的非抽象派生类的虚函数。

【例8.11】本例说明抽象类不能产生对象

```
#include <iostream.h>
struct A{
//定义类A为抽象类
   virtual void f1( )=0;
   void f2( ) { };
};
struct B: A{
//定义A的非抽象子类B
   void f1( ){ };
};
A  f( ); //×，返回类A意味着抽
         //象类要产生A类对象
int g(A  x); // ×，调用时要传递
             //一个A类的对象
A &h(A &y); //√，可以引用非
            //抽象子类B的对象
A * h(A * p); //ok
void main(void)
{
   A a;    //×，抽象类不能产生
           //对象a
   A *p=new B(); //√，可以指向非抽
象
                 //子类B的对象
   p->f1( ); //√，调用B::f1( )
   p->f2( ); //√，调用A::f2( )
}
```

多态性必须基于指针或引用。通过对象调用虚函数时，在编译时函数入口地址就被绑定。因此没有多态性

第8章 虚函数与多态

◆8.4 抽象类

- 抽象类作为抽象级别最高的类，主要用于定义派生类共有的数据和函数成员。抽象类的纯虚函数没有函数体，意味目前尚无法描述该函数的功能。例如，如果图形是点、线和圆等类的抽象类，那么抽象类的绘图函数就无法绘出具体的图形。

第8章 虚函数与多态

◆8.4 抽象类

- 纯虚函数和虚函数都能定义成另一个类的成员友元。由于纯虚函数一般不会定义函数体，故纯虚函数一般不要定义为其他类的成员友元。
- 如果类A的函数成员f定义为类B的友元，那么f就可以访问类B的所有成员，但是，f并不能访问从类B派生的类C的所有成员，除非f也定义为类C的友元或者类A就是类C。（即友元对派生不具备传递性）

第8章 虚函数与多态

【例8.13】说明纯虚函数和虚函数定义为友元的用法

```
#include <iostream.h>
class C;
struct A {
   virtual void f1(C &c)=0;
   virtual void f2(C &c);
};
class B: A{
public:
   void f1(C &c); //f1自动成虚函数
};
class C {
   char c;
  //允许但无意义，A::f1无函数体
   friend void A::f1(C &c);
   friend void A::f2(C &c);
public:
   C(char c) { C::c=c; }
};
void A::f1(C &c)
{ cout<<"B outputs "<<c.c<<"\n"; }
void A::f2(C &c)
{ cout<<"A outputs "<<c.c<<"\n"; }
void B::f1(C &c)
{ cout<<c.c;} //×，B::f1不是C的
              //友元，不能访问c.c
void main( void){
   B b;   C c('C');
   A *p=(A *) new B;
   p->f1(c);        //调用B::f1( )
   p->f2(c);        //调用A::f2( )
}
```

第8章 虚函数与多态

◆8.5 虚函数友元与晚期绑定

- 虚函数动态绑定：
  - C++使用虚函数地址表(VFT)来实现虚函数的动态绑定。VFT是一个函数指针列表，存放对象的所有虚函数的入口地址。
  - 编译程序为有虚函数的类创建一个VFT，其首地址通常存放在对象的起始单元中。调用虚函数的对象通过起始单元找到VFT，从而动态绑定相应的函数成员，从而使虚函数随调用对象的不同而表现多态特性。
- 动态绑定比静态绑定多一次地址访问，在一定程度上降低了程序的执行效率，但同虚函数的多态特性带来的优点相比，效率降低所产生的影响是微不足道的。

虚函数表（Virtual Function Table）

```
class A{
   int x
public:
   virtual void f1( ) { cout << “A1\n” ; } virtual void f2( ) { cout << “A2\n” ;}
};
class B: public A{
   int y;
   static int s; //具体定义后面省略
public:
   void f1() { cout << “ B1\n” ; } void f2( ) {cout << “ B2\n” }
    void f3() {}
    static void g(); //具体定义后面省略
};
A *p = new B( );
p->f1( ); //多态性，调用B::f1( )
```

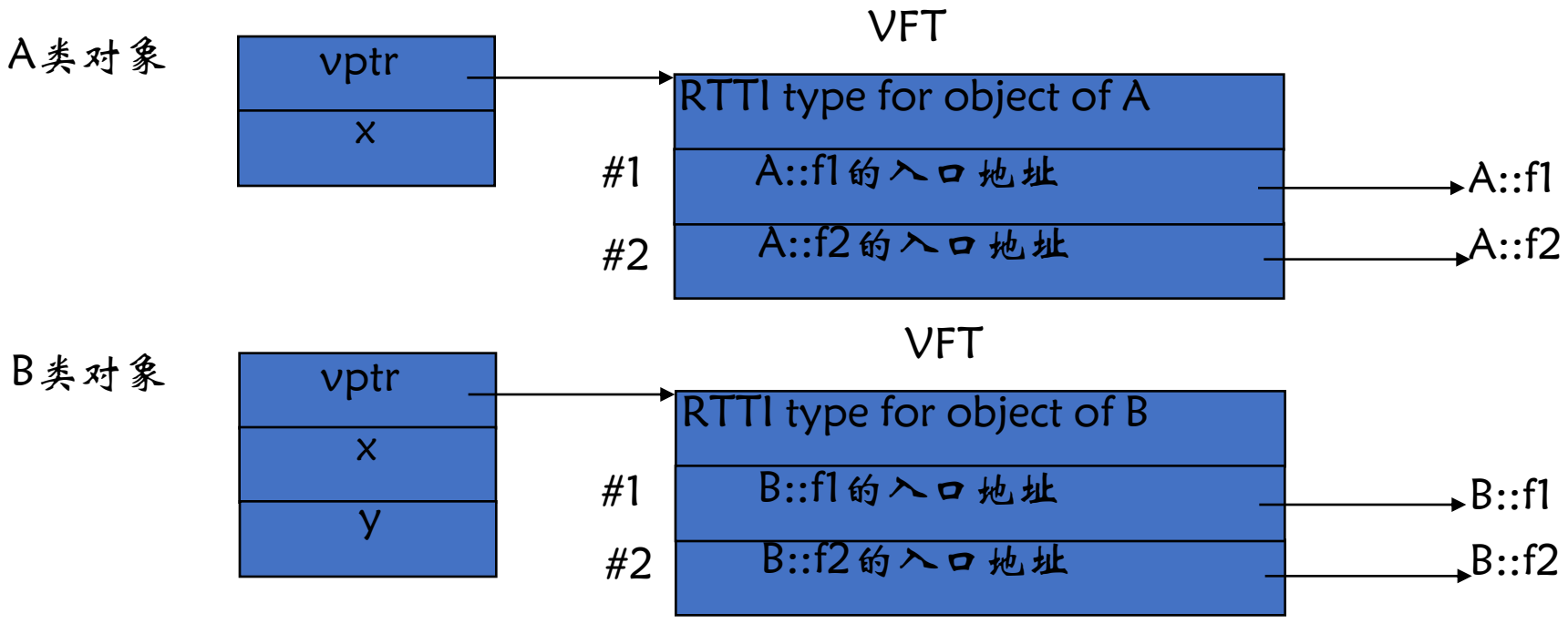
多态性涉及二个问题

1：程序在运行时怎么知道p指向的是B类的对象

2：怎么找到B::f1() 函数的入口地址

虚函数表（Virtual Function Table）

- 第一个问题：利用RTTI (Runtime Type Identification)
- 第二个问题：建立一个VFT，在VFT中，包含每个虚函数的入口地址，同时用一个索引号来关联函数名。同时将指向VFT的指针vptr加到对象内存中。

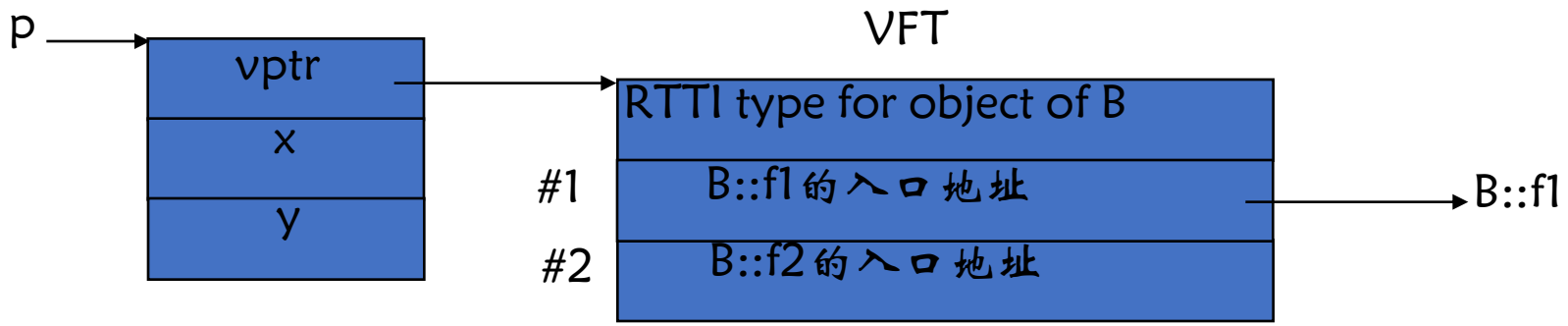


静态数据成员B::s | 静态函数成员B::g | 普通函数成员B::f3

虚函数表（Virtual Function Table）

- p->f1()是如何实现多态的
- 首先通过p找到所指向的对象
- 通过对象内存中的vptr找到VFT
- 通过VFT中的RTTI 类型信息得知对象的类型，从而知道该对象的确是A类的子类型
- 程序知道f1() 对应的是slot#1,因此可以调用B::f1()
- 程序如何知道f1() 对应的是slot#1？因为在编译时编译器将p->f1()
- 编译为(*(p->vptr[1]))();

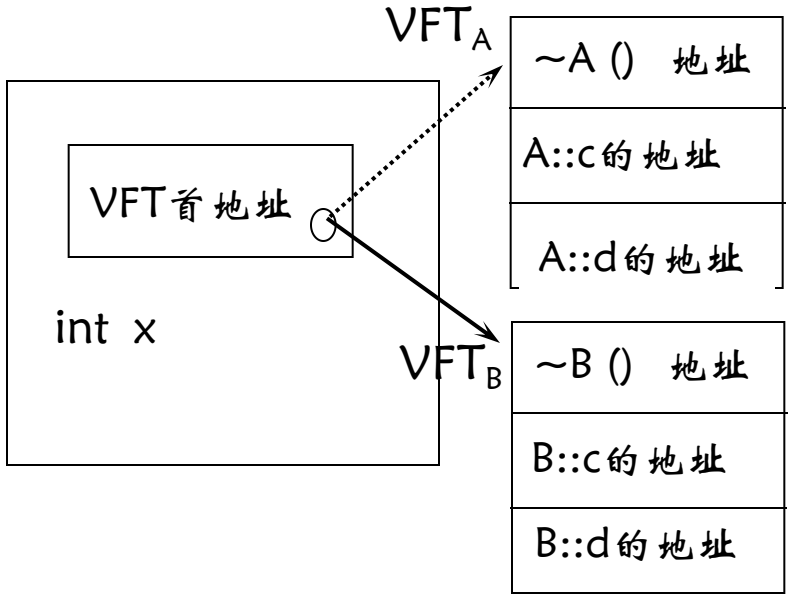
这里非常重要的是在子类的VFT中，子类继承父类或覆盖父类的同名虚函数的slot序号必须和父类VFT一致。子类新增加的虚函数添加在VFT的最后.编译器会确保这一点。



设基类A和派生类B都有虚函数，对应的虚函数入口地址表分别为VFT_A和VFT_B。派生类对象b在生命期各阶段：

- 构造阶段：先将VFT_A的首地址存放到b的起始单元，在基类A构造函数的函数体执行时，如果构造函数函数体调用了虚函数，则与VFT_A绑定，执行的虚函数将是类A的函数；在类B构造函数的函数体执行前，将VFT_B的首地址存放到b的起始单元，如果构造函数函数体调用了虚函数，则与VFT_B绑定，执行的虚函数将是类B的函数。如果类B没有定义这样的函数，根据面向对象的作用域，将调用基类A的相同原型的函数。
- 生存阶段：b的起始单元指向VFT_B，若调用了虚函数，则绑定和执行的将是类B的函数。如果类B没有定义这样的函数，根据面向对象的作用域，将调用基类A的相同原型的函数。
- 析构阶段：b的起始单元指向VFT_B，若析构函数里调用了虚函数，则绑定和执行的将是类B的函数；在b的析构函数执行完后、基类的析构函数执行前，将VFT_A首地址存放到b的起始单元，此后绑定和执行的将是基类A的函数。

```
#include <iostream.h>
class A{
   int  x;
   virtual  void  c ( )
   {cout<<"Construct A\n"; }
   virtual  void  d ( )
   {cout<<"Deconstruct A\n"; }
public：
   A ( )  {c ( ) ; }                  //this->c( )
   virtual  ~A ( ) {d ( ) ; }    //this->d( )
};
class B：  A{
   virtual  void  c( )
   {cout<<"Construct B\n"; }
   virtual  void  d( )
   {cout<<"Deconstruct B\n"; }
public：
   B ( ) {c ( ); }//等于B ( ): A( ){c ( ); }
   virtual  ~B ( ) {d ( ); }//virtual可省
};
```



void main (void) { B b; }

输出结果：

Construct A
Construct B
Deconstruct B
Deconstruct A