C++ Program Design

Polymorphism

Junjie Cao @ DLUT

Summer 2021

https://github.com/jjcao-school/c

From 程序设计实习 by 郭炜 + 刘家瑛 @北京大学

虚函数和多态

虚函数

●在类的定义中，前面有 virtual关键字的成员 函数就是虚函数。

```
class base {
        virtual int get() ;
};

int base::get()
{ }
```

● virtual 关键字只用在类定义里的函数声明中，写函数体时不用

多态的表现形式一

- 派生类的指针可以赋给基类指针。

- 通过基类指针调用基类和派生类中的同名虚函数时:

（1）若该指针指向一个基类的对象，那么被调用 是基类的虚函数；

（2）若该指针指向一个派生类的对象，那么被调 用的是派生类的虚函数。

这种机制就叫做“多态”。

多态的表现形式一

```
class CBase {
    public:
    virtual void SomeVirtualFunction() { }
};
class CDerived:public CBase {
    public :
    virtual void SomeVirtualFunction() { }
};
int main() {
            CDerived ODerived;
            CBase * p = & ODerived;
            //调用哪个虚函数取决于p指向哪种类型的对象
            p -> SomeVirtualFunction();
            return 0;}
```

多态的表现形式二

- 派生类的对象可以赋给基类引用

- 通过基类引用调用基类和派生类中的同名虚函数时:

（1）若该引用引用的是一个基类的对象，那么被调用是基类的虚函数；

（2）若该引用引用的是一个派生类的对象，那么被调用的是派生类的虚函数。

这种机制也叫做“多态”。

多态的表现形式二

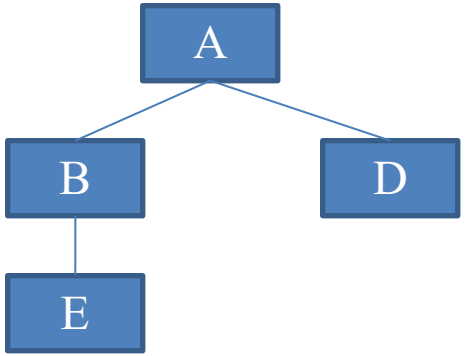
```
class CBase {
        public:
        virtual void SomeVirtualFunction() { }
};
class CDerived:public CBase {
        public :
        virtual void SomeVirtualFunction() { }
};
int main() {
        CDerived ODerived;
        CBase & r = ODerived;
        r.SomeVirtualFunction(); //调用哪个虚函数取决于r引用哪种类型的对象
        return 0;
}
```

多态的简单示例

```
class A{
        public :
        virtual  void Print(  )
        {   cout << "A::Print"<<endl ; }
};
class B: public A{
        public :
        virtual  void Print(  ) {   cout << "B::Print" <<endl; }
};
class D: public A{
        public:
        virtual  void Print(  ) {   cout << "D::Print" << endl ; }
};
class E: public B {
        virtual  void Print(  ) {   cout << "E::Print" << endl ; }
};
```

```
int main()  {
   A  a; B  b;     E e; D d;
   A * pa = &a;  B * pb = &b;
   D * pd = &d ; E * pe = &e;

   pa->Print();     // a.Print()被调用，输出：A::Print
   pa = pb;
   pa -> Print();   //b.Print()被调用，输出：B::Print
   pa =  pd;
   pa -> Print();   //d. Print ()被调用,输出：D::Print
   pa = pe;
   pa -> Print();   //e.Print () 被调用,输出：E::Print
   return 0;
}
```



多态的作用

- 在面向对象的程序设计中使用多态，能够增强程序的可扩充性，
- 即程序需要修改或增加功能的时候，需要改动和增加的代码较少。

使用多态的游戏程序实例

游戏《魔法门之英雄无敌》

游戏中有很多种怪物，每种怪物都有一个类与之对应，
每个怪物就是一个对象。

类：**CSoldier**

类：**CDragon**

类：**CAngel**

类**CPhonex**

游戏《魔法门之英雄无敌》

- 怪物能够互相攻击，
- 攻击敌人和被攻击时都有相应的动作，
- 动作是通过对象的成员函数实现的。

游戏《魔法门之英雄无敌》

游戏版本升级时，要增加新的怪物－－雷鸟。
如何编程才能使升级时的代码改动和增加量较小？

新增类：CThunderBird

基本思路：

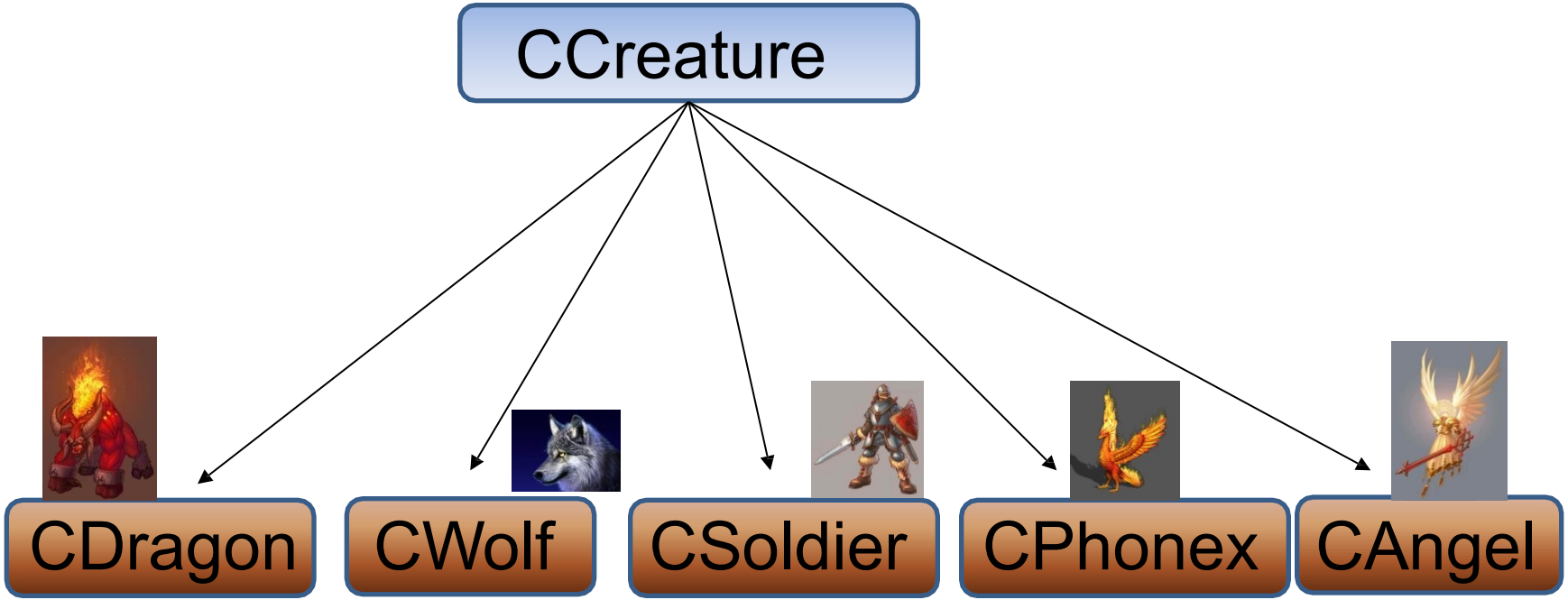
- 为每个怪物类编写Attack、 FightBack和 Hurted成员函数。
- Attact函数表现攻击动作，攻击某个怪物，并调用被攻击怪物的Hurted函数，以减少被攻击怪物的生命值，同时也调用被攻击怪物的 FightBack成员函数，遭受被攻击怪物反击。

- Hurted函数减少自身生命值，并表现受伤动作。

- FightBack成员函数表现反击动作，并调用被反击对象的Hurted成员函数，使被反击对象受伤。

基本思路：

设置基类 CCreature ，并且使CDragon, CWolf等其他 类都从CCreature派生而来。



非多态的实现方法

```
class class CCreature {
  protected:          int nPower ; //代表攻击力
                      int nLifeValue ; //代表生命值
};
class CDragon:public CCreature {
   public:
            void Attack(CWolf * pWolf) {
                        . . . 表现攻击动作的代码
                      pWolf->Hurted( nPower);
                      pWolf->FightBack( this);
            }
            void Attack( CGhost * pGhost) {
                        . . . 表现攻击动作的代码
                      pGhost->Hurted( nPower);
                      pGohst->FightBack( this);
            }
```

非多态的实现方法

```
        void Hurted ( int nPower) {
                    . . . . 表现受伤动作的代码
                nLifeValue -= nPower;
        }
        void FightBack( CWolf * pWolf) {
                    . . . . 表现反击动作的代码
                pWolf ->Hurted( nPower / 2);
        }
        void FightBack( CGhost * pGhost) {
                    . . . . 表现反击动作的代码
                pGhost->Hurted( nPower / 2 );
        }
}
```

➢有n种怪物，CDragon 类中就会有n个 Attack 成员函数，以及 n个FightBack 成员函数。对于其他类也如此。

非多态的实现方法的缺点

- 如果游戏版本升级，增加了新的怪物雷鸟CThunderBird，则程序改动较大。

- 所有的类都需要增加两个成员函数:

```
void Attack( CThunderBird * pThunderBird) ;
void FightBack(CThunderBird * pThunderBird);
```

- 在怪物种类多的时候，工作量较大有木有！！！

多态的实现方法

```
//基类 CCreature：
class CCreature  {
        protected :
                int m_nLifeValue, m_nPower;
        public:
          virtual void Attack( CCreature * pCreature) {}
          virtual void  Hurted( int nPower) { }
          virtual void FightBack( CCreature * pCreature) { }
};
```

- 基类只有一个Attack 成员函数；也只有一个FightBack成员函数；所有CCreature 的派生类也是这样。

多态的实现方法

```
//派生类    CDragon:

class CDragon : public CCreature {
        public:
         virtual void Attack( CCreature * pCreature);
         virtual void Hurted( int nPower);
         virtual void FightBack( CCreature * pCreature);
};
```

多态的实现方法

```
void CDragon::Attack(CCreature * p)
{       …表现攻击动作的代码
        p->Hurted(m_nPower);  //多态
        p->FightBack(this);  //多态
}
void CDragon::Hurted( int nPower)
{       …表现受伤动作的代码
        m_nLifeValue -= nPower;
}
void CDragon::FightBack(CCreature * p)
{       …表现反击动作的代码
        p->Hurted(m_nPower/2); //多态
}
```

多态实现方法的优势

- 如果游戏版本升级，增加了新的怪物雷鸟 CThunderBird……

只需要编写新类CThunderBird, 不需要在已有的类里专门为新怪物增加：

void Attack(CThunderBird * pThunderBird) ;

Void FightBack(CThunderBird * pThunderBird) ;

成员函数，已有的类可以原封不动，没压力啊！！！

原理

```
CDragon Dragon;   CWolf  Wolf;  CGhost Ghost;
CThunderBird Bird；
Dragon.Attack( & Wolf);        //(1)
Dragon.Attack( & Ghost);      //(2)
Dragon.Attack( & Bird);       //(3)
```

- 根据多态的规则，上面的(1)，(2)，(3)进入到CDragon::Attack函数后，能分别调用：

  CWolf::Hurted

  CGhost::Hurted

  CBird::Hurted

```
void CDragon::Attack(CCreature * p)
{
        p->Hurted(m_nPower);  //多态
        p->FightBack(this);  //多态
}
```

更多多态程序实例

几何形体处理程序

几何形体处理程序: 输入若干个几何形体的参数，
要求按面积排序输出。输出时要指明形状。

Input:

第一行是几何形体数目n（不超过100).下面有n行，每行以一个字母c开头.

若 c 是‘R’， 则代表一个矩形，本行后面跟着两个整数，分别是矩形的宽和高；

若 c 是‘C’， 则代表一个圆，本行后面跟着一个整数代表其半径

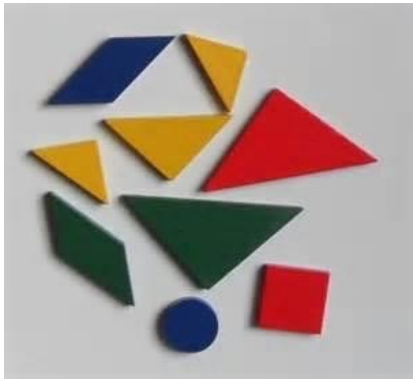
若 c 是‘T’， 则代表一个三角形，本行后面跟着三个整数，代表三条边的长度

几何形体处理程序

Output:

按面积从小到大依次输出每个几何形体的种类及面积。每行一个几何形体，输出格式为：

形体名称：面积



几何形体处理程序

Sample Input:

3
R 3 5
C 9
T 3 4 5

Sample Output

Triangle:6
Rectangle:15
Circle:254.34

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
using namespace std;
class CShape
{
    public:
        virtual double Area() = 0; //纯虚函数
        virtual void PrintInfo() = 0;
};
class CRectangle:public CShape
{
    public:
        int w,h;
        virtual double Area();
        virtual void PrintInfo();
};
```

```
class CCircle:public CShape {
    public:
        int r;
        virtual double Area();
        virtual void PrintInfo();
};
class CTriangle:public CShape  {
    public:
        int a,b,c;
        virtual double Area();
        virtual void PrintInfo();
};
```

```
double CRectangle::Area()  {
            return w * h;
}
void CRectangle::PrintInfo()  {
    cout << "Rectangle:" << Area() << endl;
}
double CCircle::Area() {
    return 3.14 * r * r ;
}
void CCircle::PrintInfo()  {
    cout << "Circle:" << Area() << endl;
}
```

```
double CTriangle::Area()  {
    double p = ( a + b + c) / 2.0;
    return sqrt(p * ( p - a)*(p- b)*(p - c));
}
void CTriangle::PrintInfo()  {
    cout << "Triangle:" << Area() << endl;
}
```

```
CShape * pShapes[100];
int MyCompare(const void * s1, const void * s2);

int main()
{
    int i; int n;
    CRectangle * pr; CCircle * pc; CTriangle * pt;
    cin >> n;
    for( i = 0;i < n;i ++ ) {
        char c;
        cin >> c;
        switch(c) {
            case 'R':
                pr = new CRectangle();
                cin >> pr->w >> pr->h;
                pShapes[i] = pr;
                break;
```

```
            case 'C':
                pc = new CCircle();
                cin >> pc->r;
                pShapes[i] = pc;
                break;
            case 'T':
                pt = new CTriangle();
                cin >> pt->a >> pt->b >> pt->c;
                pShapes[i] = pt;
                break;
        }
    }
    qsort(pShapes,n,sizeof( CShape*),MyCompare);
    for( i = 0;i <n;i ++)
        pShapes[i]->PrintInfo();
    return 0;
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int MyCompare( const void * elem1, const void * elem2 )
{
        unsigned int * p1, * p2;
        p1 = (unsigned int *) elem1; // “ * elem1” 非法
        p2 = (unsigned int *) elem2; // “ * elem2” 非法
        return (* p1 % 10) - (* p2 % 10 );
}
#define NUM 5
int main()
{
        unsigned int an[NUM] = { 8,123,11,10,4 };
        qsort( an,NUM,sizeof(unsigned int), MyCompare);
        for( int i = 0;i < NUM; i ++ )
                printf("%d ",an[i]);
        return 0;
}
```

输出结果：

10 11 123 4 8

```
int MyCompare(const void * s1, const void * s2)
{
    double a1,a2;
    CShape * * p1 ; // s1,s2 是 void * ，不可写“ * s1”来取得s1指向的内容
    CShape * * p2;
    p1 = ( CShape * * ) s1; //s1,s2指向pShapes数组中的元素，数组元素的类型是CShape *
    p2 = ( CShape * * ) s2; // 故 p1,p2都是指向指针的指针，类型为 CShape **
    a1 = (*p1)->Area();   // * p1 的类型是 Cshape * ,是基类指针，故此句为多态
    a2 = (*p2)->Area();
    if( a1 < a2 )
        return -1;
    else if ( a2 < a1 )
        return 1;
    else
        return 0;
}
```

```
            case 'C':
                pc = new CCircle();
                cin >> pc->r;
                pShapes[i] = pc;
                break;
            case 'T':
                pt = new CTriangle();
                cin >> pt->a >> pt->b >> pt->c;
                pShapes[i] = pt;
                break;
        }
    }
    qsort(pShapes,n,sizeof( CShape*),MyCompare);
    for( i = 0;i <n;i ++)
        pShapes[i]->PrintInfo();
    return 0;
}
```

如果添加新的几何形体，比如五边形，则只需要从CShape派生出CPentagon,以及在main中的switch语句中增加一个case，其余部分不变有木有！

- 用基类指针数组存放指向各种派生类对象的指针，

  然后遍历该数组，就能对各个派生类对象做各种操作，是很常用的做法

多态的又一例子

```
class Base {
public:
    void fun1() { fun2(); }
    virtual void fun2()  {   cout << "Base::fun2()" << endl;   }
};
class Derived:public Base {
public:
        virtual void fun2() { cout << "Derived:fun2()" << endl; }
};
int main() {
                Derived d;
                Base * pBase = & d;
                pBase->fun1();
                return 0;
}
```

输出： Derived:fun2()

多态的又一例子

```
class Base {
public:
    void fun1()  { this->fun2(); } //this是基类指针，fun2是虚函数，所以是多态
    virtual void fun2()  {   cout << "Base::fun2()" << endl;   }
};
class Derived:public Base {
public:
        virtual void fun2() { cout << "Derived:fun2()" << endl; }
};
int main() {
            Derived d;
            Base * pBase = & d;
            pBase->fun1();
            return 0;
}
```

输出： Derived:fun2()

在非构造函数，非析构函数的成员函数中调用虚函数，是多态!!!

构造函数和析构函数中调用虚函数

在构造函数和析构函数中调用虚函数，不是多态。

编译时即可确定，调用的函数是自己的类或基类中定义的函数，

不会等到运行时才决定调用自己的还是派生　类的函数。

```
class myclass    {
public:
    virtual void hello(){cout<<"hello from myclass"<<endl; };
    virtual void bye(){cout<<"bye from myclass"<<endl;}
};
class son:public myclass{   public:
    void hello(){ cout<<"hello from son"<<endl;};
    son(){ hello(); };
    ~son(){ bye(); };
};
class grandson:public son{   public:
    void hello(){cout<<"hello from grandson"<<endl;};
    void bye() { cout << "bye from grandson"<<endl;}
    grandson(){cout<<"constructing grandson"<<endl;};
    ~grandson(){cout<<"destructing grandson"<<endl;};
};
```

```
int main(){
  grandson gson;
  son *pson;
  pson=&gson;
  pson->hello(); //多态
  return 0;
}
```

派生类中和基类中虚函数同名同参数表的函数，不加virtual也自动成为虚函数

结果：

```
hello from son
constructing grandson
hello  from  grandson
destructing  grandson
bye from myclass
```

多态的实现原理

思考

“多态”的关键在于通过基类指针或引用调用一个虚函数时，编译时不确定到底调用的是基类还是派生类的函数，运行时才确定 ----这叫“动态联编”。

“动态联编”底是怎么实现的呢？

提示：请看下面例子程序：

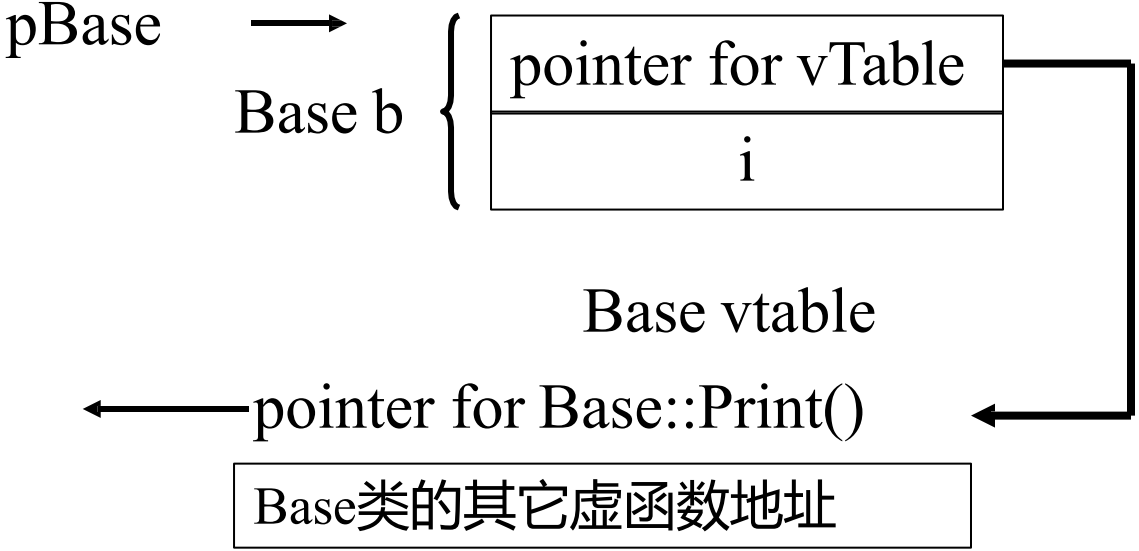
```
class Base {
        public:
        int i;
        virtual void Print() { cout << "Base:Print" ; }
};
class Derived : public Base{
        public:
        int n;
        virtual void Print() { cout <<"Drived:Print" << endl; }
};
int main() {
        Derived d;
        cout << sizeof( Base) << ","<< sizeof( Derived ) ;
        return 0;
}
```

程序运行输出结果：8, 12

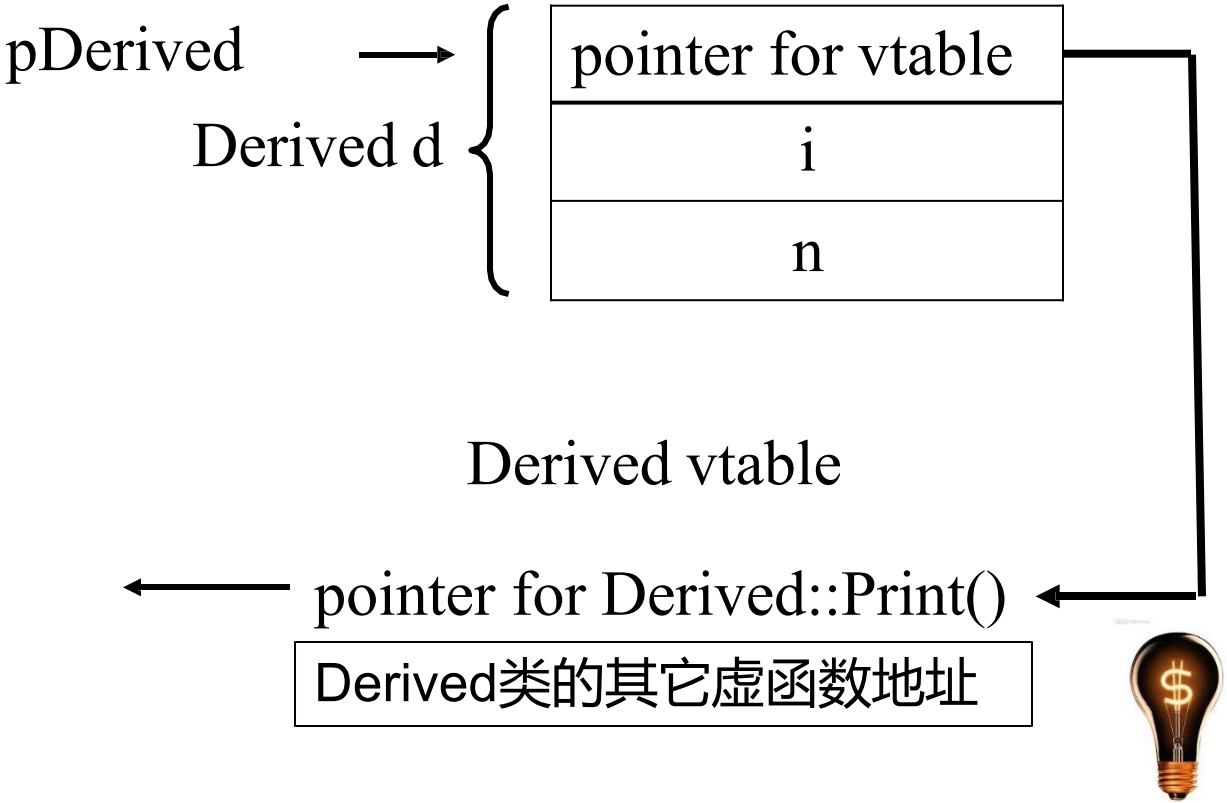
为什么都多了4个字节？

多态实现的关键 --- 虚函数表

每一个有虚函数的类（或有虚函数的类的派生类）都有一个虚函数表，该类的任何对象中都放着虚函数 表的指针。虚函数表中列出了该类的虚函数地址。多出来的4个字节就是用来放虚函数表的地址的。



多态实现的关键 --- 虚函数表




```
pBase = pDerived;
pBase->Print();
```

➢多态的函数调用语句被编译成一系列根据基类指针所指向的（或基类引用所引用的）对象中存放的虚函数表的地址，在虚函数表中查找虚函数地址，并调用虚函数的指令。

虚析构函数

虚析构函数

问题:

```
class CSon{
    public: ~CSon() {   };
};
class CGrandson : CSon{
    public: ~CGrandson() {   };
}
int main(){
    CSon *p = new CGrandson;
    delete p;
    return 0;
}
```

虚析构函数

- 通过 基类的指针 删除 派生类对象 时

→只调用基类的析构函数

Vs.

- 删除一个 派生类的对象 时

→先调用 派生类的析构函数

→再调用 基类的析构函数

虚析构函数

- 解决办法:
- 把基类的析构函数声明为virtual
  - 派生类的析构函数 virtual可以不进行声明
  - 通过 基类的指针 删除 派生类对象 时

  →首先调用 派生类的析构函数

  →然后调用 基类的析构函数
- 类如果定义了虚函数, 则最好将析构函数也定义成虚函数

Note: 不允许以虚函数作为构造函数

```
class son{
    public:
        ~son() {   cout<<"bye from son"<<endl;   };
};
class grandson : public son{
    public:
        ~grandson(){   cout<<"bye from grandson"<<endl;   };
};
int main(){
    son *pson;
    pson=new grandson;
    delete pson;
    return 0;
 }
```

输出结果: bye from son

没有执行grandson::~grandson()!!!

```
class son{
    public:
        virtual ~son() {   cout<<"bye from son"<<endl;   };
};
class grandson : public son{
    public:
        ~grandson(){   cout<<"bye from grandson"<<endl;   };
};
int main() {
    son *pson;
    pson= new grandson;
    delete pson;
    return 0;
}
```

输出结果: bye from grandson
bye from son

执行grandson::~grandson(),
引起执行son::~son()！！！

纯虚函数和抽象类

纯虚函数

- 纯虚函数: 没有函数体的虚函数

```
class A{
    private:
        int a;
    public:
        virtual void Print( ) = 0 ;   //纯虚函数
        void fun() {   cout << “fun”;   }
};
```

抽象类

- 抽象类: 包含纯虚函数的类
  - 只能作为 基类 来派生新类使用
  - 不能创建抽象类的对象
  - 抽象类的指针和引用 → 由抽象类派生出来的类的对象

```
A a; // 错, A 是抽象类, 不能创建对象
A * pa; // ok, 可以定义抽象类的指针和引用
pa = new A; //错误, A 是抽象类, 不能创建对象
```

纯虚函数和抽象类

- 抽象类中，
  - 在 成员函数 内可以调用纯虚函数
  - 在 构造函数/析构函数 内部不能调用纯虚函数
- 如果一个类从抽象类派生而来

← → 它实现了基类中的所有纯虚函数，才能成为非抽象类

```
class A{
    public:
        virtual void f() = 0; //纯虚函数
        void g( ) {     this->f( );   } //ok
        A( ){   } //f( ); // 错误
};
class B : public A{
    public:
         void f(){   cout<<"B: f()"<<endl;   }
};
int main(){
    B b;
    b.g();
    return 0;
}
```

输出结果:
B: f()