



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>



虚函数和多态(P247)

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;
    p -> SomeVirtualFunction(); //调用哪个虚函数取决于p指向哪种类型的对象
    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;
```

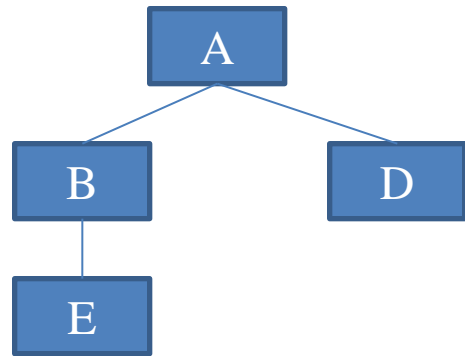
```
pa -> Print(); //d. Print ()被调用,输出: D::Print
```

```
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。



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>



使用多态的游戏程序实例 (P250)

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CPhonex

类: CDragon



类: CAngel

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？



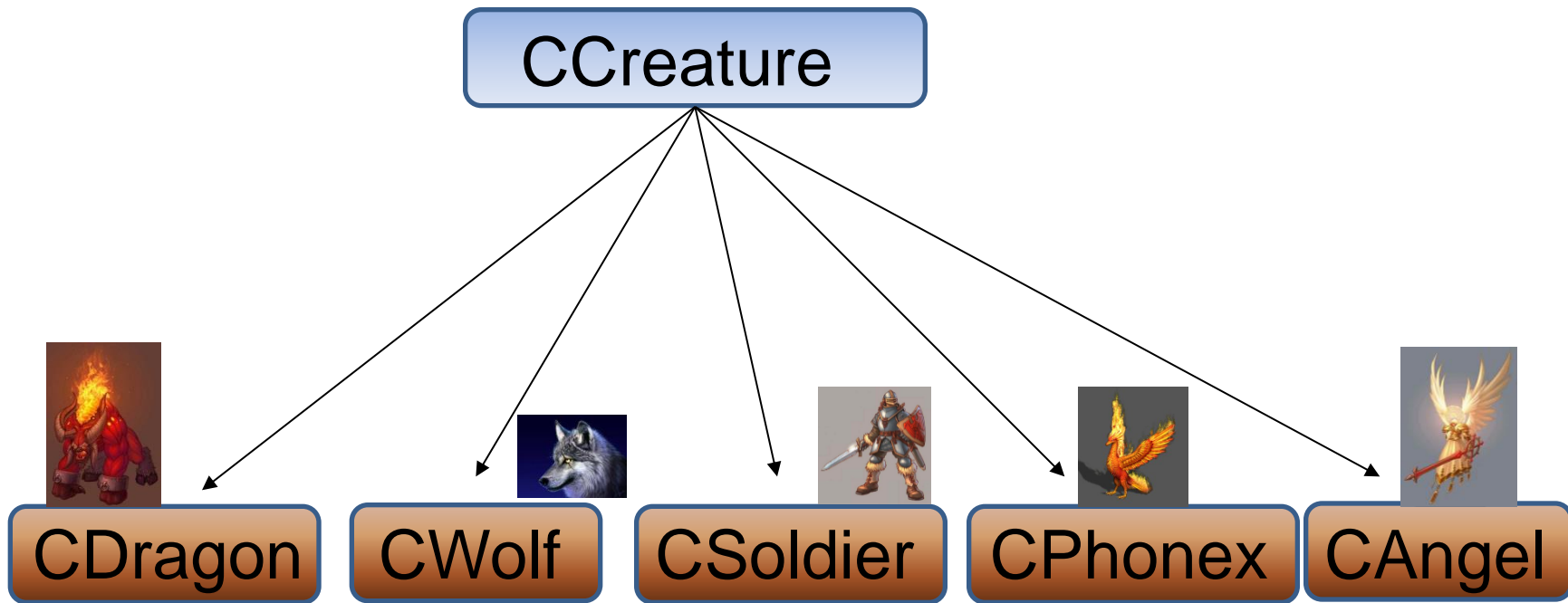
新增类：CThunderBird

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 C Creature，并且使 C Dragon， C Wolf 等其他类都从 C Creature 派生而来。



非多态的实现方法

```
class class C Creature {
    protected:          int nPower ; //代表攻击力
                        int nLifeValue ; //代表生命值
};
class C Dragon:public C Creature {
    public:
        void Attack(C Wolf * pWolf) {
            . . . 表现攻击动作的代码
            pWolf->Hurted( nPower);
            pWolf->FightBack( this);
        }
        void Attack( C Ghost * 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！！！！

抓狂啦！



多态的实现方法

//基类 C Creature:

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

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

多态的实现方法

//派生类 CDragon:

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



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>



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;
}
```

```
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(); };
};

```

😊 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

```

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;
}

```

结果：
hello from son
constructing grandson
hello from grandson
destructing grandson
bye from myclass



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>



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;
}
```

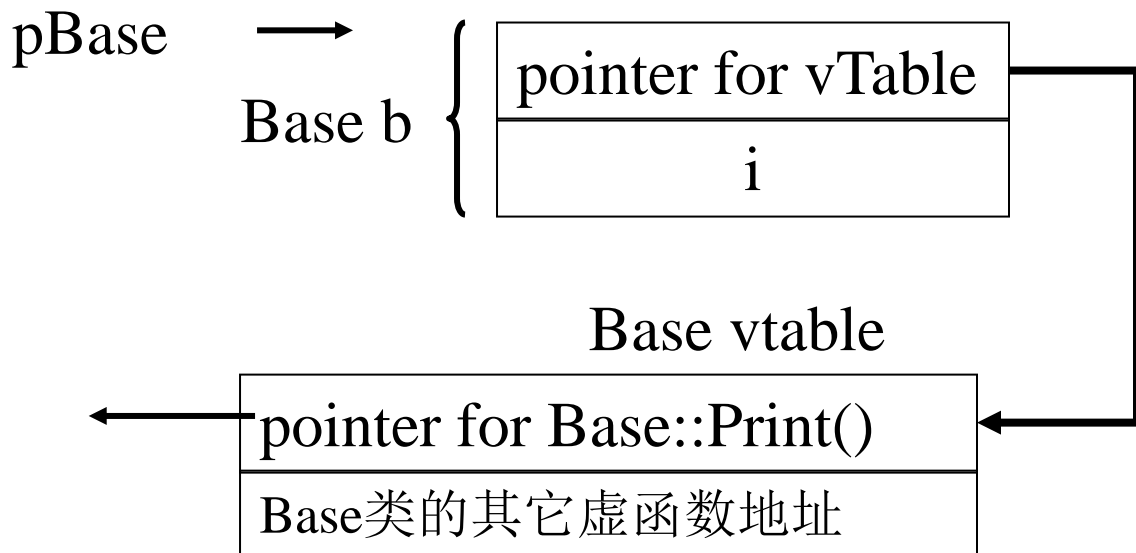
程序运行输出结果： 8, 12



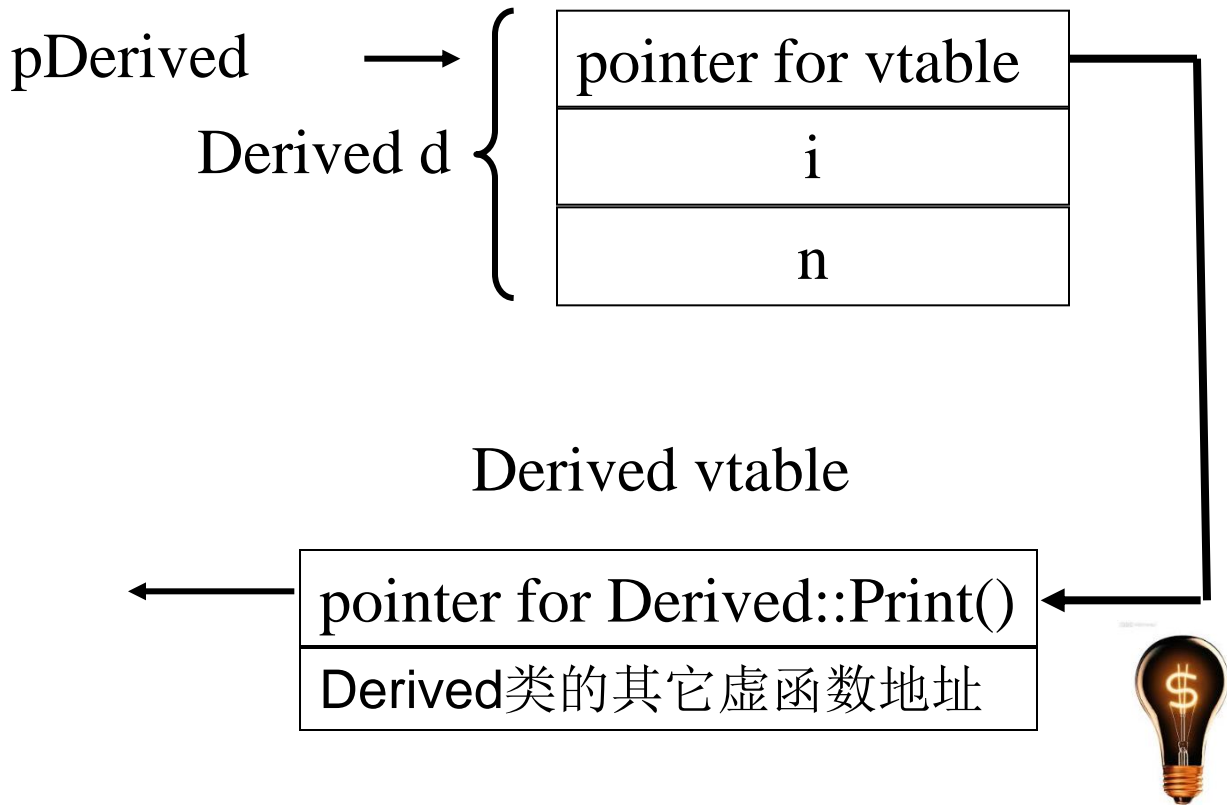
为什么都多了4个字节？

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

郭 焯 刘家瑛





虚析构造函数

问题:

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



虚析构造函数

- 通过 **基类的指针** 删除 **派生类对象** 时
→ 只调用基类的析构造函数

Vs.

- 删除一个 **派生类的对象** 时
→ 先调用 **派生类的析构造函数**
→ 再调用 **基类的析构造函数**



虚析构造函数

- ▀ 解决办法:
- ▀ 把基类的析构造函数声明为 **virtual**
 - 派生类的析构造函数 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 派生类的析构造函数
 - 然后调用 基类的析构造函数
- ▀ 类如果定义了虚函数, 则最好将 **析构造函数** 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;
}
```

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

输出结果: bye from grandson
bye from son

纯虚函数和抽象类

郭 焯 刘家瑛



北京大學



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()