2024年春

程序设计实习：C++程序设计

第七讲 多态和虚函数

贾川民
北京大学

课前提醒

- 2024 程序设计实习自由演武场(C++部分)
  http://cxsjsx.openjudge.cn/practise2024cpp
- 周末上机练习的题目汇总，供练习使用，不计分
- 隔周公布答案供大家参考

上节课内容回顾

- 基本概念: 继承 -- 基类 / 派生类
  - 合理派生关系
- 派生类的成员组成 / 可见性
  - private / protected成员的继承性
  - 派生类的成员函数 — **不能访问基类中的private成员**
- 派生类的构造/析构
  - **构造**顺序: **基类→对象成员→派生**
  - **析构**反之
- 派生类与基类的指针类型转换
  - f(派生类)→y(基类对象): **f: 对象/对象地址; y: 对象/引用/指针**
  - (强制指针类型转换)基类指针→派生类指针

上节课内容回顾

- 派生类和基类有同名同参数表的成员函数，

这种现象：

A) 叫重复定义，是不允许的

B) 叫函数的重载

C) 叫覆盖. 在派生类中基类的同名函数就没用了

D) 叫覆盖. 体现了派生类对从基类继承得到的特点的修改

上节课内容回顾

- 派生类和基类有同名同参数表的成员函数，

这种现象：

A) 叫重复定义，是不允许的

B) 叫函数的重载

C) 叫覆盖. 在派生类中基类的同名函数就没用了

D) 叫覆盖. 体现了派生类对从基类继承得到的特点的修改

上节课内容回顾

- 以下说法正确的是：

A) 派生类可以和基类有同名成员函数，但是不能有同名成员变量

B) 派生类成员函数中，可以调用基类的同名同参数表的成员函数

C) 派生类和基类的同名成员函数必须参数表不同，否则就是重复定义

D) 派生类和基类的同名成员变量存放在相同的存储空间

上节课内容回顾

- 以下说法正确的是：

A) 派生类可以和基类有同名成员函数，但是不能有同名成员变量

B) 派生类成员函数中，可以调用基类的同名同参数表的成员函数

C) 派生类和基类的同名成员函数必须参数表不同，否则就是重复定义

D) 派生类和基类的同名成员变量存放在相同的存储空间

上节课内容回顾

- 以下说法正确的是:

A) 派生类对象生成时, 派生类的构造函数先于基类的构造函数执行

B) 派生类对象消亡时, 基类的析构函数先于派生类的析构函数执行

C) 如果基类有无参构造函数, 则派生类的构造函数就可以不带初始化列表

D) 在派生类的构造函数中不可以访问基类的成员变量

上节课内容回顾

- 以下说法正确的是:

A) 派生类对象生成时, 派生类的构造函数先于基类的构造函数执行

B) 派生类对象消亡时, 基类的析构函数先于派生类的析构函数执行

C) 如果基类有无参构造函数, 则派生类的构造函数就可以不带初始化列表

D) 在派生类的构造函数中不可以访问基类的成员变量

上节课内容回顾

- 以下哪种派生关系是合理的

A) 从“虫子”类派生出“飞虫”类

B) 从“点”类派生出“圆”类

C) 从“狼”类派生出“狗”类

D) 从“爬行动物”类派生出“哺乳动物”类

上节课内容回顾

- 以下哪种派生关系是合理的

A) 从“虫子”类派生出“飞虫”类

B) 从“点”类派生出“圆”类

C) 从“狼”类派生出“狗”类

D) 从“爬行动物”类派生出“哺乳动物”类

主要内容

- 虚函数和多态
- 多态的实现原理
- 虚析构函数
- 纯虚函数和抽象类

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-1

- **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同参**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-1

```
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-2

- **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同参**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-2

```
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;
}
```

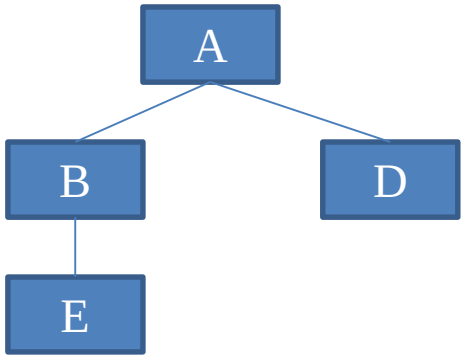
多态的简单示例

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 ; }
};
```

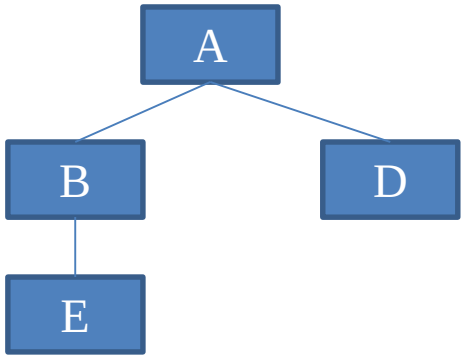
多态的简单示例

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

   pa->Print();
   pa = pb;
   pa -> Print();
   pa =  pd;
   pa -> Print();
   pa = pe;
   pa -> Print();
   return 0;
}
```



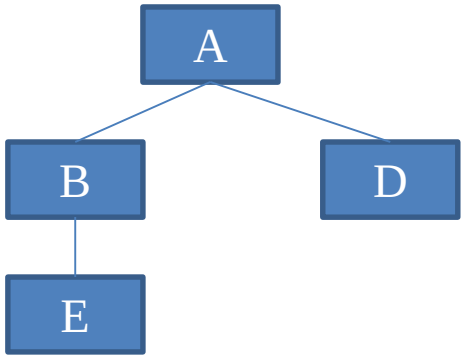
多态的简单示例

```
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();
   pa =  pd;
   pa -> Print();
   pa = pe;
   pa -> Print();
   return 0;
}
```



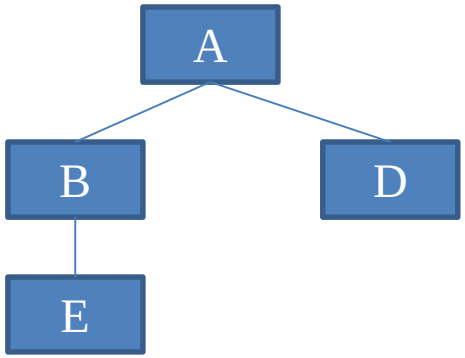
多态的简单示例

```
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();
   pa = pe;
   pa -> Print();
   return 0;
}
```



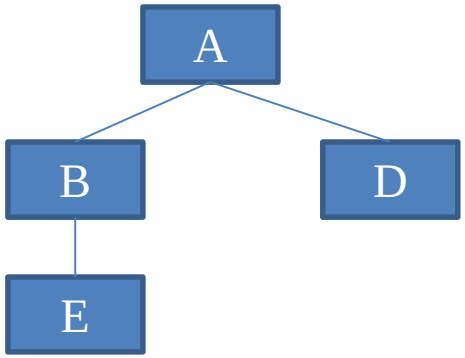
多态的简单示例

```
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();
   return 0;
}
```



多态的简单示例

```
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;
}
```



单选题

下面关于多态的说法哪个正确

A 通过基类指针调用基类和派生类里的同名同参函数，是多态

B 通过基类对象调用基类和派生类里的同名同参函数，不是多态

C 通过基类引用调用基类和派生类里的同名同参函数，是多态

D 以上都不对

提交

单选题

下面关于多态的说法哪个正确

A 通过基类指针调用基类和派生类里的同名同参函数，是多态

B 通过基类对象调用基类和派生类里的同名同参函数，不是多态

C 通过基类引用调用基类和派生类里的同名同参函数，是多态

D 以上都不对

提交

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

基本思路：

- 为每个怪物类编写 Attack、FightBack和 Hurted成员函数。

基本思路

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。

基本思路

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。

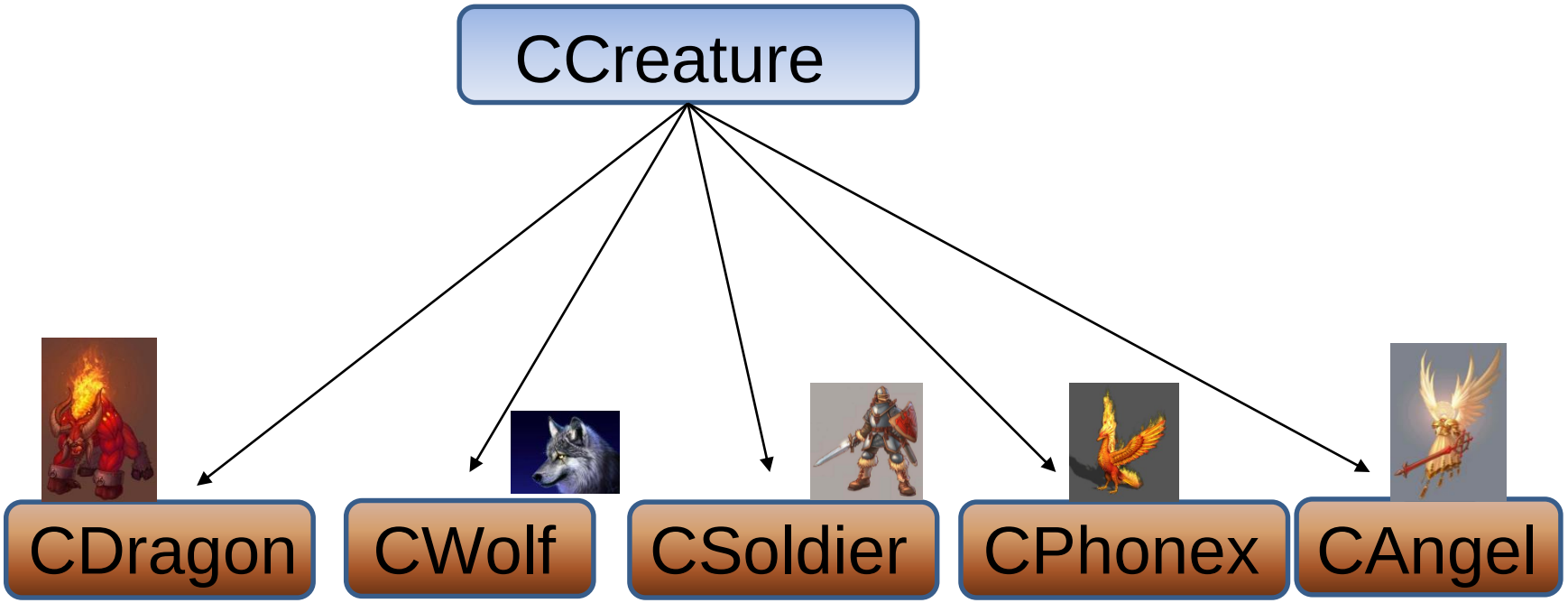
基本思路

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。

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) ;

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
}
```

多态的实现方法的优势

- 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！！！

多态的实现方法的优势

- 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

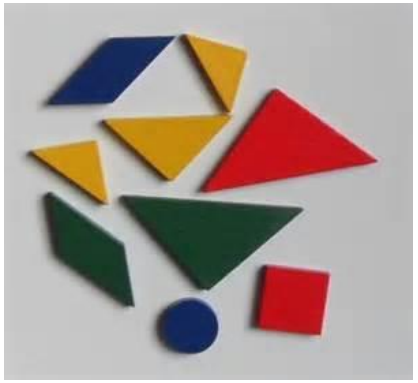
若 c 是 ‘T’ ，则代表一个三角形，本行后面跟着三个整数，代表三条边的长度

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:
        //纯虚函数
        virtual double Area() = 0;
        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！

几何形体处理程序

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

多态的又一个例子

```
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;
}
```

课堂练习

上页程序的输出结果是

A Base::fun2()

B Derived:fun2()

C Hello,world

D 无输出

提交

课堂练习

上页程序的输出结果是

A Base::fun2()

B Derived:fun2()

C Hello,world

D 无输出

提交

课堂练习

```
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()

课堂练习

```
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()

课堂练习

```
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;
 }
```

结果:

```
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
```

虚函数的访问权限

```
class Base {
private:
   virtual void fun2()   { cout << "Base::fun2()" << endl; }
};
class Derived:public Base {
public:
     virtual void fun2() { cout << "Derived:fun2()" << endl; }
};
Derived d;
Base * pBase = & d;
pBase -> fun2();  // 编译出错
```

- 编译出错是因为 fun2() 是Base的私有成员。即使运行到此时实际上调用的应该是 Derived的公有成员 fun2()也不行，因为语法检查是不考虑运行结果的。
- 如果 将Base中的 private换成public,即使Derived中的fun2() 是private的，编译依然能通过，也能正确调用Derived::fun2()。

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”（dynamic binding）。

“动态联编”底是怎么实现的呢？

提示：请看下面例子

```
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
或：12,16

(也可能是其他，有对齐问题)

提示：请看下面例子

```
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;
}
```

为什么都多了4个字节?

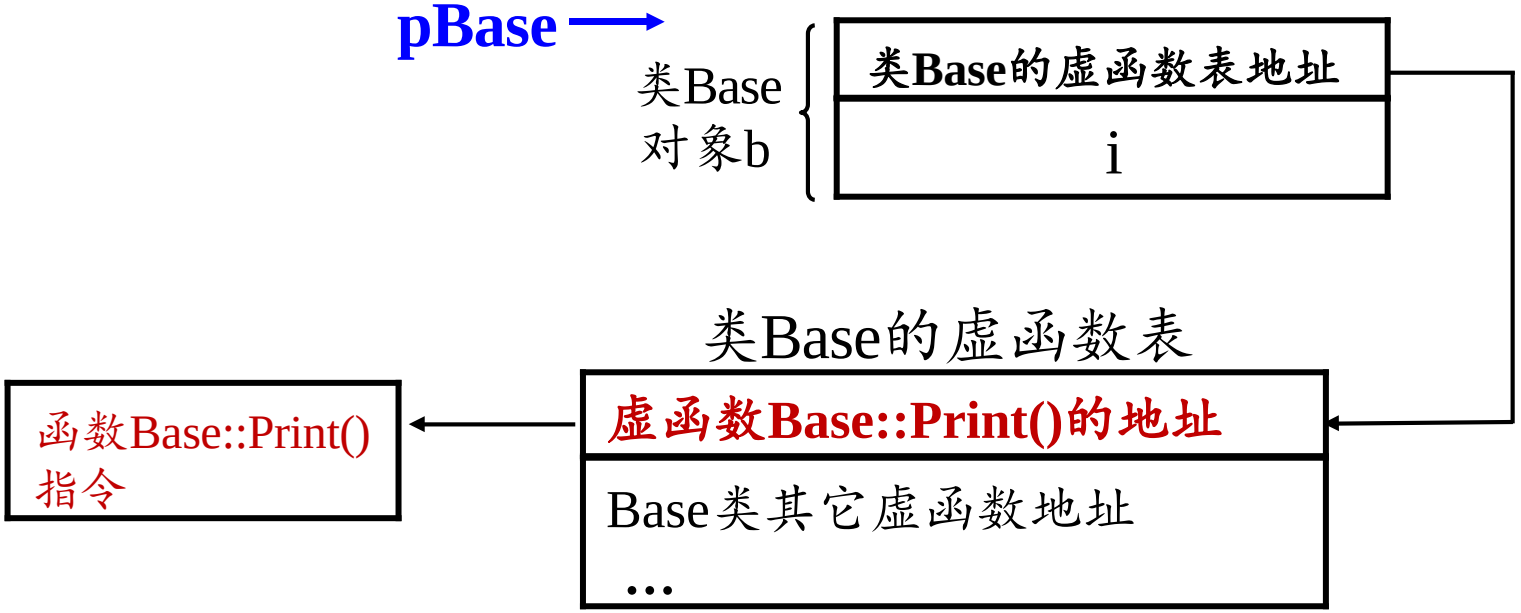
程序运行输出结果： 8, 12
或：12,16

(也可能是其他，有对齐问题)

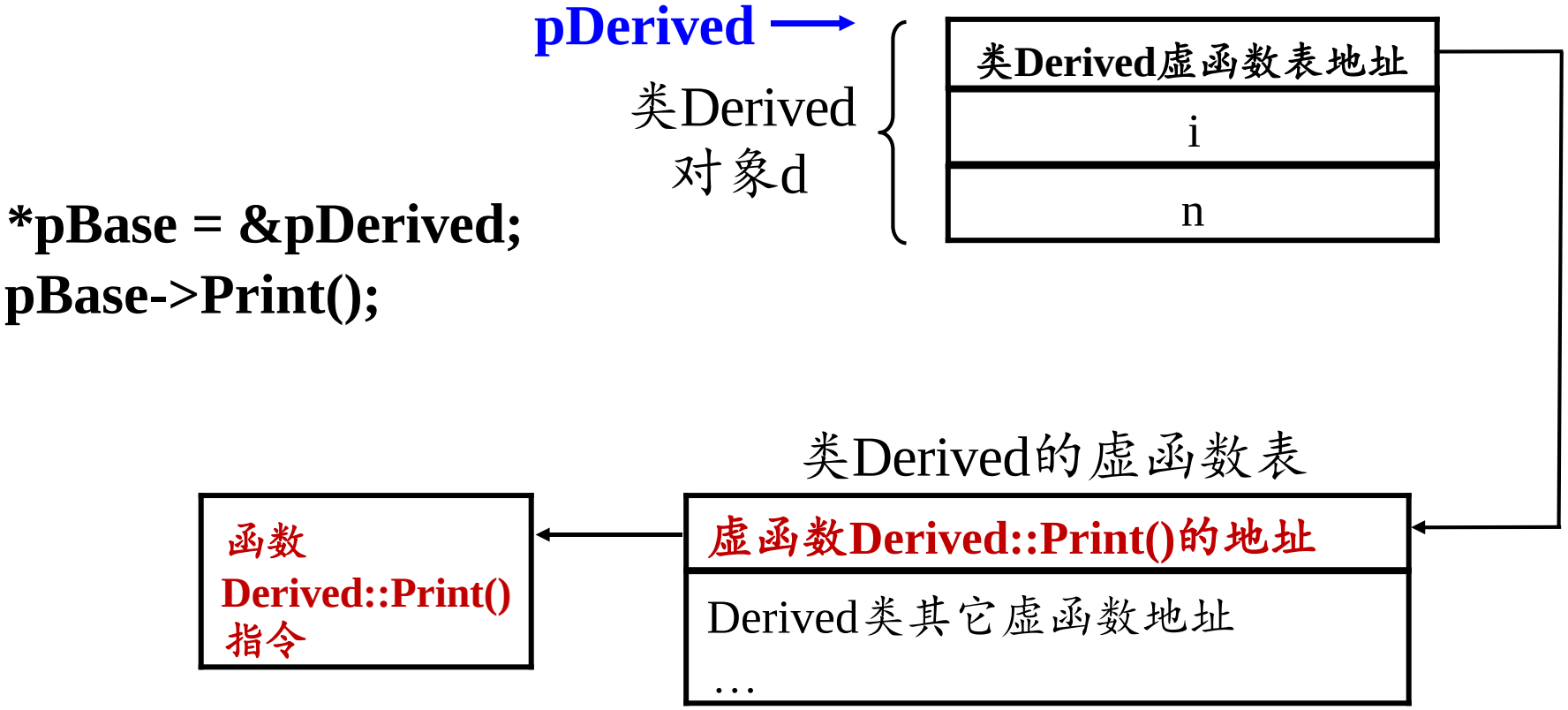
多态实现的关键 --- 虚函数表

- 每个有虚函数的**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



多态实现的关键 --- 虚函数表



- 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

多态实现的关键 --- 虚函数表

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A   {
        public: virtual void Func() { cout << "A::Func" << endl; }
};
class B:public A  {
        public: virtual void Func() { cout << "B::Func" << endl; }
};
int main()  {
        A a;
        A * pa = new B();
        pa->Func();
        //若是64位程序,指针为8字节, 则应为long long
        long * p1 = (long * ) & a;
        long * p2 = (long * ) pa;
        * p2 = * p1;
        pa->Func();
        return 0;
}
```

练习

上页程序的输出结果是：

A　B::func　A::func

B　B::func　B::func

C　A::func　A::func

D　A::func　B::func

提交

练习

上页程序的输出结果是：

A　B::func　A::func

B　B::func　B::func

C　A::func　A::func

D　A::func　B::func

提交

多态实现的关键 --- 虚函数表

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A   {
        public: virtual void Func() { cout << "A::Func" << endl; }
};
class B:public A  {
        public: virtual void Func() { cout << "B::Func" << endl; }
};
int main()  {
        A a;
        A * pa = new B();
        pa->Func();
        //若是64位程序,指针为8字节, 则应为long long
        long * p1 = (long * ) & a;
        long * p2 = (long * ) pa;
        * p2 = * p1;
        pa->Func();
        return 0;
}
```

B::Func

多态实现的关键 --- 虚函数表

```
#include <iostream>
using namespace std;
class A   {
        public: virtual void Func() { cout << "A::Func" << endl; }
};
class B:public A  {
        public: virtual void Func() { cout << "B::Func" << endl; }
};
int main()  {
        A a;
        A * pa = new B();
        pa->Func();
        //若是64位程序,指针为8字节, 则应为long long
        long * p1 = (long * ) & a;
        long * p2 = (long * ) pa;
        * p2 = * p1;
        pa->Func();
        return 0;
}
```

B::Func

A::Func

虚析构函数

虚析构函数

- 通过基类的指针删除派生类对象时，通常情况下只调用基类的析构函数
  - 但是，删除一个派生类的对象时，应该先调用派生类的析构函数，然后调用基类的析构函数。
- 解决办法：把基类的析构函数声明为virtual
  - 派生类的析构函数可以virtual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
- 一般来说，一个类如果定义了虚函数，则应该将析构函数也定义成虚函数。或者，一个类打算作为基类使用，也应该将析构函数定义成虚函数。
- 注意：不允许以虚函数作为构造函数

虚析构函数

```
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:

虚析构函数

```
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: bye from son 没有执行grandson::~grandson()!!!

虚析构函数

```
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：

虚析构函数

```
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：
```
bye from grandson
bye from son
```

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

纯虚函数和抽象类

纯虚函数和抽象类

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"; }
};
```

纯虚函数和抽象类

- 包含纯虚函数的类叫抽象类
  - 抽象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可以指向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

- 包含纯虚函数的类叫抽象类
  - 抽象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可以指向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
```

- 在抽象类的成员函数内可以调用纯虚函数，但是在构造函数或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，那么当且仅当它实现了基类中的所有纯虚函数，它才能成为非抽象类。

```
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:
B:f()

访问机制对比

- **覆盖**：所访问的对象由指针(或引用)的类型所决定
  - 用派生类指针访问这类成员时，访问的是派生类中定义的(同名)成员函数
  - 用基类指针访问这类成员时，访问的是基类的(同名)成员函数，即使它指向的是一个派生类对象

Vs.

- **虚函数**：所访问的对象由指针(或引用)所指向的对象类型所决定
  - 若该指针(或引用)指向一个基类的对象，那么被调用是基类的**虚函数**
  - 如果该指针(或引用)指向一个派生类的对象，那么被调用的是派生类的**虚函数**

总结

- **虚函数和多态**
  - 虚函数的调用规则：　根据指向的对象确定
- **多态的作用**：可扩展
- **多态的实现**：虚函数表
- **虚函数的应用**
  - 虚函数的访问权限：　基类虚函数应为public
  - 纯虚函数和抽象类：　抽象类不能生成对象
  - 成员函数中调用虚函数：　只有在普通成员函数中调用虚函数才是动态联编
  - 虚析构函数：　定义虚函数的类析构函数应为virtual; 不允许以虚函数作为构造函数

Thanks!