第 8 章 (1) 虚函数与多态性

郑 莉　清华大学

教材：C++语言程序设计（第5版） 郑莉　清华大学出版社

单选题 1分

设置

复习题：设置虚基类的目的是（ ）。

A 简化程序

B 消除二义性、避免冗余

C 提高运行效率

D 减少目标代码

提交

目录

- 虚函数
- 抽象类

虚函数

例8-4通过虚函数实现运行时多态

现在我们来改进一下第7章的程序

例8-4通过虚函数实现运行时多态

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base1 {
public:
        virtual void display() const;  //虚函数
};
void Base1::display() const {
        cout << "Base1::display()" << endl;
}
```

例8-4通过虚函数实现运行时多态

```
class Base2:public Base1 {
public:
        virtual void display() const;
};
void Base2::display() const {
        cout << "Base2::display()" << endl;
}
class Derived: public Base2 {
public:
        virtual void display() const;
};
void Derived::display() const {
        cout << "Derived::display()" << endl;
}
```

例8-4通过虚函数实现运行时多态

```
void fun(Base1 *ptr) {
        ptr->display();
}

int main() {
        Base1 base1;
        Base2 base2;
        Derived derived;
        fun(&base1);
        fun(&base2);
        fun(&derived);
        return 0;
}
```

运行结果：
Base1::display()
Base2::display()
Derived::display()

初识虚函数

- 用virtual关键字说明的函数
- 虚函数是实现运行时多态性基础
- C++中的虚函数是动态绑定的函数
- 虚函数必须是非静态的成员函数，虚函数经过派生之后，就可以实现运行过程中的多态。

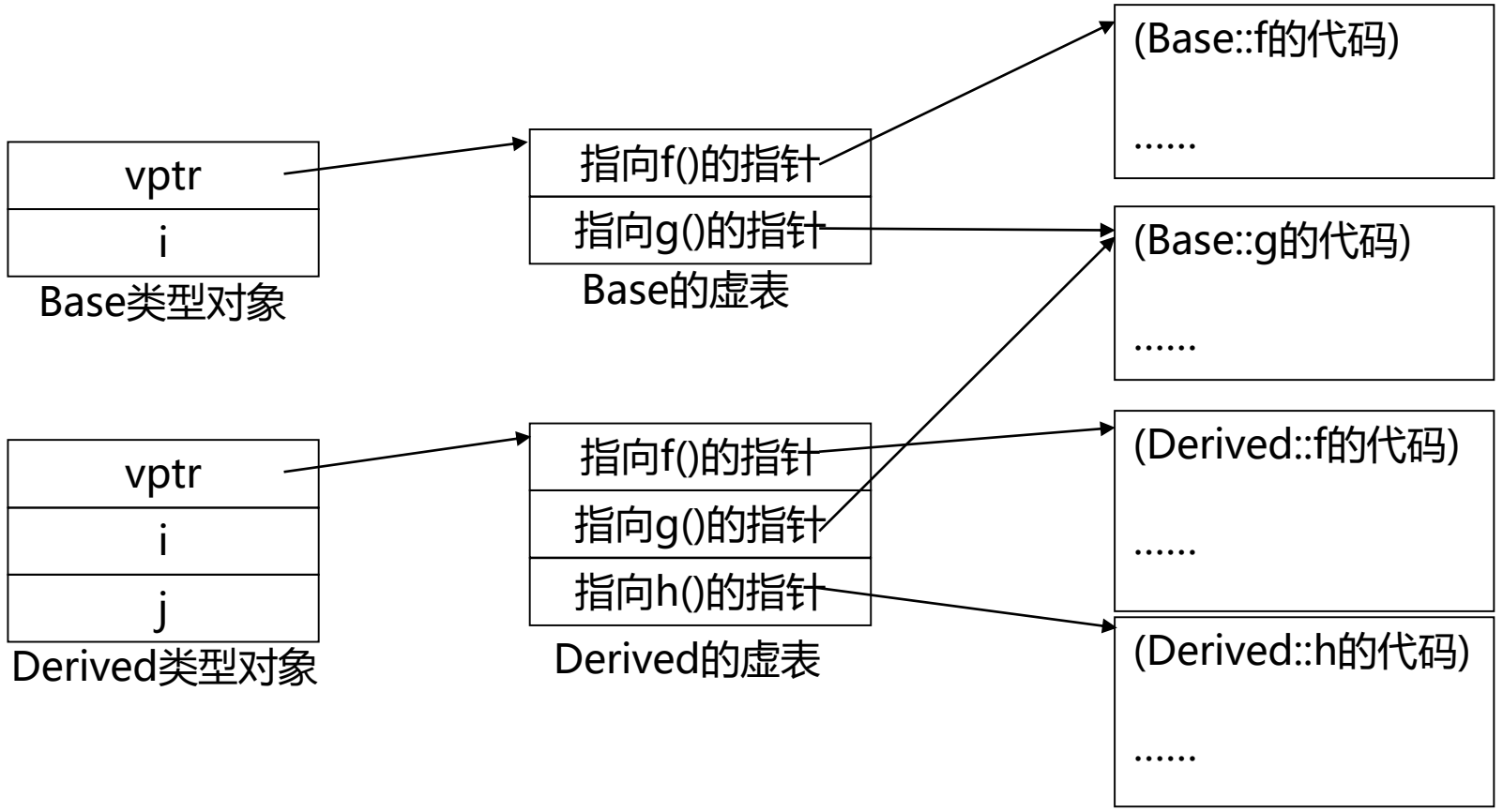
虚表与动态绑定

- 虚表
  - 每个多态类有一个虚表（virtual table）
  - 虚表中有当前类的各个虚函数的入口地址
  - 每个对象有一个指向当前类的虚表的指针（虚指针vptr）
- 动态绑定的实现
  - 构造函数中为对象的虚指针赋值
  - 通过多态类型的指针或引用调用成员函数时，通过虚指针找到虚表，进而找到所调用的虚函数的入口地址
  - 通过该入口地址调用虚函数

虚表示意图

```
class Base {
public:
    virtual void f();
    virtual void g();
private:
    int i;
};

class Derived: public Base {
public:
    virtual void f(); //覆盖Base::f
    virtual void h(); //新增的虚函数
private:
    int j;
};
```



virtual 关键字

- 派生类可以不显式地用virtual声明虚函数，这时系统就会用以下规则来判断派生类的一个函数成员是不是虚函数：
  - 该函数是否与基类的被覆盖的虚函数有相同的名称、参数个数及对应参数类型、cv限定符（是否const）、引用限定符（&或&&，本课程不介绍）；
  - 该函数的返回值类型是否与基类被覆盖的虚函数返回值类型相同， 或者可以隐含转换为基类被覆盖的的虚函数的返回值类型；
- 如果派生类的函数满足上述条件，就会自动确定为虚函数。这时，派生类的虚函数便覆盖了基类的虚函数。
- 派生类中的虚函数还会隐藏基类中同名函数的所有其它重载形式。
- 一般习惯于在派生类的函数中也使用virtual关键字，以增加程序的可读性。

哪些成员函数可以是虚函数

- 一般非静态成员函数可以是虚函数
- 构造函数不能是虚函数
- 析构函数可以是虚函数

一般虚函数成员

- 虚函数的声明

  virtual 函数类型 函数名（形参表）；

- 虚函数声明只能出现在类定义中的函数原型声明中，而不能在成员函数实现的时候。
- 在派生类中可以对基类中的成员函数进行覆盖。
- 虚函数一般不声明为内联函数，因为对虚函数的调用需要动态绑定，而对内联函数的处理是静态的。

虚析构函数

为什么需要虚析构函数?

- 可能通过基类指针删除派生类对象;

例8-5 虚析构函数举例

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Base {
public:
   ~Base(); //不是虚函数
};
Base::~Base() {
   cout<< "Base destructor" << endl;
 }
class Derived: public Base{
public:
   Derived();
   ~Derived(); //不是虚函数
private:
   int *p;
};
```

```
Derived::Derived() {
        p = new int(0);
}
Derived::~Derived() {
   cout <<  "Derived destructor" << endl;
        delete p;
}

void fun(Base* b) {
        delete b; //静态绑定，只会调用~Base()
}

int main() {
        Base *b = new Derived();
        fun(b);
        return 0;
}
```

运行结果：
Base destructor

例8-5 虚析构函数举例

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Base {
public:
   virtual ~Base();
};
Base::~Base() {
   cout<< "Base destructor" << endl;
 }
class Derived: public Base{
public:
   Derived();
   virtual ~Derived();
private:
   int *p;
};
```

```
Derived::Derived() {
        p = new int(0);
}
Derived::~Derived() {
   cout <<  "Derived destructor"<<endl;
        delete p;
}

void fun(Base* b) {
        delete b;
}

int main() {
        Base *b = new Derived();
        fun(b);
        return 0;
}
```

运行结果：

```
Derived destructor
Base destructor
```

- 如果你打算允许其他人通过基类指针调用对象的析构函数（通过delete这样做是正常的），就需要让基类的析构函数成为虚函数，否则执行delete的结果是不确定的。
- 不显示：下面通过例子来说明

抽象类

例8-6 抽象类举例

```
//8_6.cpp
#include <iostream>
using namespace std;

class Base1 {
public:
        virtual void display() const = 0;      //纯虚函数
};

class Base2: public Base1 {
public:
        virtual void display() const; //覆盖基类的虚函数
};
void Base2::display() const {
        cout << "Base2::display()" << endl;
}
```

例8-6 抽象类举例

```
class Derived: public Base2 {
public:
        virtual void display() const; //覆盖基类的虚函数
};
void Derived::display() const {
        cout << "Derived::display()" << endl;
}
void fun(Base1 *ptr) {
        ptr->display();
}
int main() {
        Base2 base2;
        Derived derived;
        fun(&base2);
        fun(&derived);
        return 0;
}
```

运行结果：

```
Base2::display()
Derived::display()
```

纯虚函数

- 纯虚函数是一个在基类中声明的虚函数，它在该基类中没有定义具体的操作内容，要求各派生类根据实际需要定义自己的版本，纯虚函数的声明格式为：

```
virtual 函数类型 函数名(参数表) = 0;
```

单选题 1分

设置

下列语句中，正确的纯虚函数声明是

A virtual int vf(int);

B void vf(int)=0;

C virtual void vf()=0;

D virtual void vf(int) { }

提交

抽象类

- 带有纯虚函数的类称为抽象类：

```
class   类名
{
      virtual 类型 函数名(参数表)=0;
      //其他成员……
}
```

抽象类的作用

- 抽象类为抽象和设计的目的而声明；
- 将有关的数据和行为组织在一个继承层次结构中，保证派生类具有要求的行为；
- 对于暂时无法实现的函数，可以声明为纯虚函数，留给派生类去实现；
- 注意
  - 抽象类只能作为基类来使用；
  - 不能定义抽象类的对象。

单选题 1分

设置

下列关于抽象类的说明中错误的是（ ）。

A 含有纯虚函数的类称为抽象类。

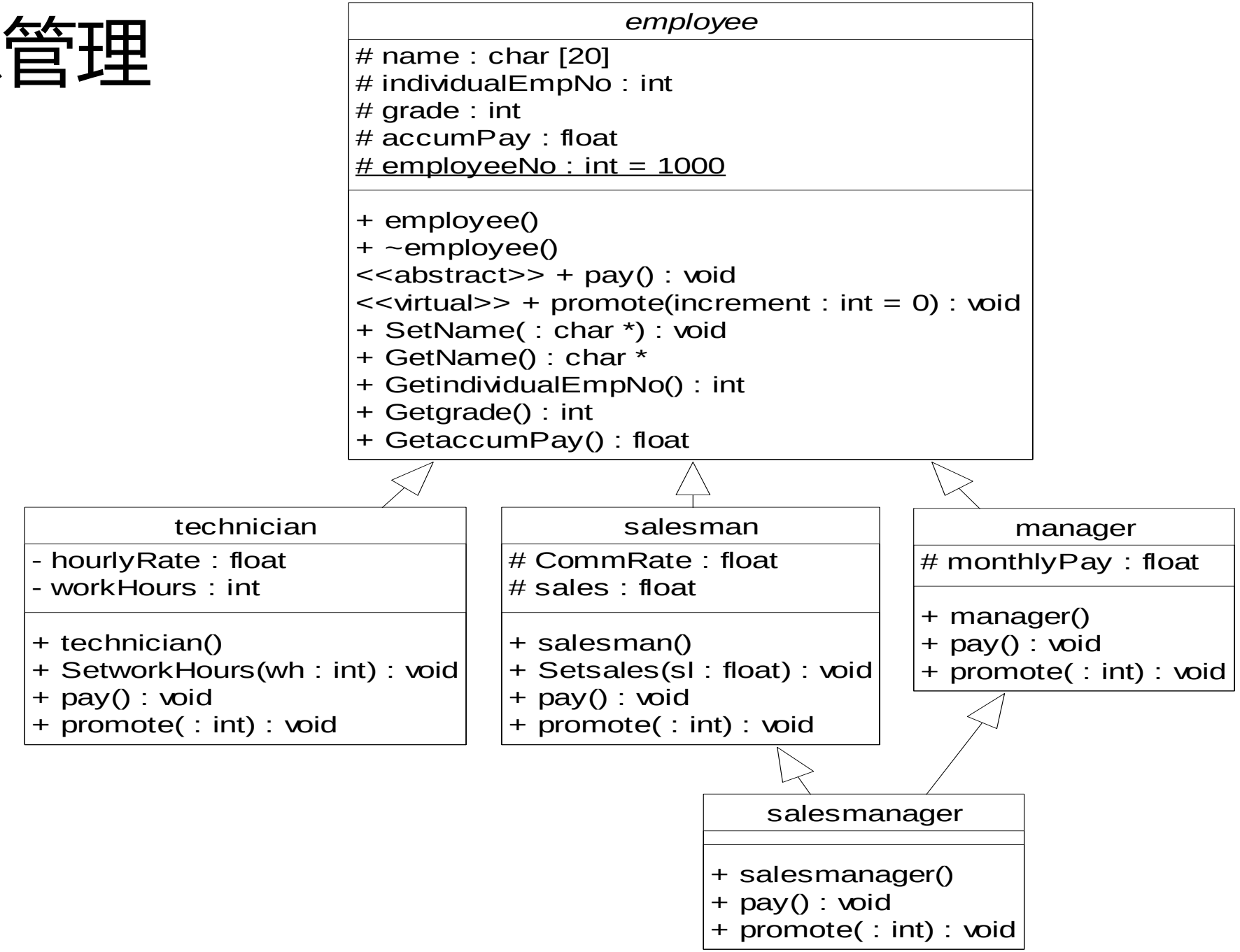
B 抽象类不能被实例化，但可声明抽象类的指针变量。

C 抽象类不能被继承。

D 纯虚函数可以被继承。

提交

例：人员信息管理


employee
name : char [20]
individualEmpNo : int
grade : int
accumPay : float
employeeNo : int = 1000
+ employee()
+ ~employee()
<<abstract>> + pay() : void
<<virtual>> + promote(increment : int = 0) : void
+ SetName(: char *) : void
+ GetName() : char *
+ GetindividualEmpNo() : int
+ Getgrade() : int
+ GetaccumPay() : float
technician
- hourlyRate : float
- workHours : int
+ technician()
+ SetworkHours(wh : int) : void
+ pay() : void
+ promote(: int) : void
salesman
CommRate : float
sales : float
+ salesman()
+ Setsales(sl : float) : void
+ pay() : void
+ promote(: int) : void
manager
monthlyPay : float
+ manager()
+ pay() : void
+ promote(: int) : void
salesmanager
+ salesmanager()
+ pay() : void
+ promote(: int) : void

例：人员信息管理

```
//employee.h
class employee{
protected:
        char name[20];//姓名
        int individualEmpNo;  //个人编号
        int grade;        //级别
        float accumPay;          //月薪总额
        static int employeeNo;//本公司职员编号目前最大值
public:
        employee();     //构造函数
        ~employee();  //析构函数
        virtual void pay()=0;   //计算月薪函数（纯虚函数）
        virtual void promote(int increment=0);          //升级函数（虚函数）
        void SetName(char *);            //设置姓名函数
        char * GetName();       //提取姓名函数
        int GetindividualEmpNo();       //提取编号函数
        int Getgrade();          //提取级别函数
        float GetaccumPay();   //提取月薪函数
};
```

例：人员信息管理

```
class technician:public employee       //兼职技术人员类
{
private:
        float hourlyRate;    //每小时酬金
        int workHours;       //当月工作时数
public:
        technician(); //构造函数
        void SetworkHours(int wh);       //设置工作时数函数
        void pay();    //计算月薪函数
        void promote(int); //升级函数
};
```

例：人员信息管理

```
class salesman:virtual public employee       //兼职推销员类
{
protected:
        float CommRate;   //按销售额提取酬金的百分比
        float sales;   //当月销售额
public:
        salesman();  //构造函数
        void Setsales(float sl);      //设置销售额函数
        void pay();   //计算月薪函数
        void promote(int); //升级函数
};
```

例：人员信息管理

```
class manager:virtual public employee    //经理类
{
protected:
        float monthlyPay;     //固定月薪数
public:
        manager();     //构造函数
        void pay();     //计算月薪函数
        void promote(int);    //升级函数
};

class salesmanager:public manager,public salesman    //销售经理类
{
public:
        salesmanager();        //构造函数
        void pay();     //计算月薪函数
        void promote(int);    //升级函数
};
```

例：人员信息管理

```
//employee.cpp
#include<iostream>
#include<cstring>
#include"employee.h"
using namespace std;
int employee::employeeNo=1000;     //员工编号基数为1000

employee::employee()
{       individualEmpNo=employeeNo++;  //新输入的员工编号
为目前最大编号加1
        grade=1;      //级别初值为1
        accumPay=0.0;}      //月薪总额初值为0

employee::~employee()
{}
```

例：人员信息管理

```
void employee::promote(int increment)
{       grade+=increment; }  //升级，提升的级数由increment指定

void employee::SetName(char* names)
{       strcpy(name,names); } //设置姓名

char* employee::GetName()
{       return name;}  //提取成员姓名

int employee::GetindividualEmpNo()
{       return individualEmpNo;}       //提取成员编号

int employee::Getgrade()
{       return grade;}  //提取成员级别

float employee::GetaccumPay()
{       return accumPay;}       //提取月薪
```

例：人员信息管理

```
technician::technician()
{       hourlyRate=100;}  //每小时酬金100元

void technician::SetworkHours(int wh)
{       workHours=wh;}   //设置工作时间

void technician::pay()
{       accumPay=hourlyRate*workHours;}   //计算月薪，按小时计酬

void technician::promote(int)
{       employee::promote(2);   }         //调用基类升级函数，升2级
```

例：人员信息管理

```
salesman::salesman()
{       CommRate=0.04;} //销售提成比例4%

void salesman::Setsales(float sl)
{       sales=sl;}      //设置销售额

void salesman::pay()
{       accumPay=sales*CommRate;}   //月薪=销售提成

void salesman::promote(int)
{       employee::promote(0); }  //调用基类升级函数，升0级
```

例：人员信息管理

```
manager::manager()
{       monthlyPay=8000;}     //固定月薪8000元

void manager::pay()
{       accumPay=monthlyPay;}        //月薪总额即固定月薪数

void manager::promote(int )
{       employee::promote(3);}       //调用基类升级函数，升3级

salesmanager::salesmanager()
{       monthlyPay=5000;
        CommRate=0.005;}

void salesmanager::pay()
{       accumPay=monthlyPay+CommRate*sales;  } //月薪=固定月薪+销售提成

void salesmanager::promote(int)
{       employee::promote(2);}       //调用基类升级函数，升2级
```

例：人员信息管理

```
//main.cpp
#include<iostream>
#include<cstring>
#include"employee.h"
using namespace std;
int main(){
        manager m1;
        technician t1;
        salesmanager sm1;
        salesman s1;
        char namestr[20];          //输入雇员姓名时首先临时存放在namestr中
        employee *emp[4]={&m1,&t1,&sm1,&s1};
        int i;
        for(i=0;i<4;i++)  {
        cout<<"请输下一个雇员的姓名:";
        cin>>namestr;
        emp[i]->SetName(namestr);        //设置每个成员的姓名
        emp[i]->promote();       //升级，通过基类指针访问各派生类函数
        }
```

例：人员信息管理

```
cout<<"请输入兼职技术人员"<<t1.GetName()<<"本月的工作时数:";
int ww;
cin>>ww;
t1.SetworkHours(ww);          //设置工作时间

cout<<"请输入销售经理"<<sm1.GetName()<<"所管辖部门本月的销售总额:";
float sl;
cin>>sl;
sm1.Setsales(sl);          //设置销售额

cout<<"请输入推销员"<<s1.GetName()<<"本月的销售额:";
cin>>sl;
s1.Setsales(sl);          //设置销售额
```

例：人员信息管理

```
        for(i=0;i<4;i++)
        {
        emp[i]->pay(); //计算月薪，通过基类指针访问各派生类函数
        cout<<emp[i]->GetName()<<"编号"<<emp[i]->GetindividualEmpNo()
            <<"级别为"<<emp[i]->Getgrade()<<"级，本月工资 "
            <<emp[i]->GetaccumPay()<<endl;
        }
}
```

运行结果：

```
请输下一个雇员的姓名:Zhang
请输下一个雇员的姓名:Wang
请输下一个雇员的姓名:Li
请输下一个雇员的姓名:Zhao
请输入兼职技术人员Wang本月的工作时数:40
请输入销售经理Li所管辖部门本月的销售总额:400000
请输入推销员Zhao本月的销售额:40000
Zhang编号1000级别为4级，本月工资8000
Wang编号1001级别为3级，本月工资4000
Li编号1002级别为3级，本月工资7000
Zhao编号1003级别为1级，本月工资1600
```

override 与 final

override与final都不是语言关键字（keyword），只有在特定的位置才有特别含意，其他地方仍旧可以作为一般标识符（identifier）使用。

override

- 显式函数覆盖
- 声明该函数必须覆盖基类的虚函数，编译器可发现“未覆盖”错误
- 复习：覆盖要求
  - 函数签名（signature）完全一致
  - 函数签名包括：函数名 参数列表 const

例：因为漏写了const导致未成功覆盖

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base {
public:
  virtual void f1(int) const;
  virtual ~Base() {
};
};

void Base::f1(int) const {
  cout << "Base f1" << endl;
  return;
}
```

```
class Derived: public Base {
public:
  void f1(int);
  ~Derived() {
};
};

void Derived::f1(int) {
  cout << "derived f1" << endl;
}
```

```
int main() {
  Base *b;
  b = new Base;
  b->f1(1);
  b = new Derived;
  b->f1(1);
  return 0;
}
```

运行结果
Base f1
Base f1

显式覆盖的作用

- 声明显式函数覆盖，在编译期间发现未覆盖的错误。
- 运用显式覆盖，编译器会检查派生类中声明overrid的函数，在基类中是否存在可被覆盖的虚函数，若不存在，则会报错。
- 例：

```
struct Base {
    virtual void some_func(float);
};
struct Derived : Base {
    virtual void some_func(int) override;   // 错误：Derive::some_func並沒有override Base::some_func
    virtual void some_func(float) override; // 正确
};
```

final

用来避免类被继承，或是基类的函数被覆盖

例：final类和final函数

```
struct Base1 final { };

struct Derived1 : Base1 { }; // 编译错误：Base1为final，不允许被继承

struct Base2 {
    virtual void f() final;
};

struct Derived2 : Base2 {
    void f(); // 编译错误：Base2::f 为final，不允许被覆盖
};
```