Lecture 5

TOC

- 1. 继承
- 2. 继承和多态
- 3. 虚函数和函数重写(override)
- 4. 纯虚函数和抽象类
- 5. 虚继承
- 6. 访问基类成员
- 7. RTTI和类型转换
- 8. RAII(Resource Acquisition Is Initialization)
- 9. RC&GC
- 10. Lambda 表达式
- 11. 拓展
- 12. Assignment 2
- 13. Q&A

继承

C++ 中的继承是一种创建新类的方法,新类可以继承现有类的属性和行为。继承分为 public 、 protected 和 private 三种。

```
class Base {
public:
    int pub;
protected:
    int pro;
private:
    int pri;
};

class Derived_pub : public Base {
    // pub is public
    // pro is protected
    // pri is not accessible
};
```

```
class Derived_pro : protected Base {
    // pub is protected
    // pro is protected
    // pri is not accessible
};

class Derived_pri : private Base {
    // pub is private
    // pro is private
    // pri is not accessible
};
```

继承和多态

通过继承,派生类可以重写基类的方法,实现多态。

eg:

■ truck 和 taxi 都继承自 car , 但是 truck 重写了 run 方法,实现了多态。

对于派生类,可以直接绑定给基类指针或引用

```
Base *ptr = new Derived_pub();
Derived_pro d;
Base &ref = d;
```

后用虚函数后,调用 ptr→run() 时,会调用 Derived_pub 的 run 方法,而不是 Base 的 run 方法。

虚函数和函数重写(override)

在基类中,可以使用 virtual 关键字声明虚函数,派生类可以重写这个函数。

```
class Base {
public:
    virtual void run() {
        std::cout << "Base::run()" << std::endl;
    }
};

class Derived : public Base {
public:
    void run() final override {
        std::cout << "Derived::run()" << std::endl;
    }
};</pre>
```

- 这里的 override 关键字是 C++11 引入的,用于标记函数重写,如果标记为 override 但是没有重写基 类的函数,编译器会报错。主要用于预防函数名拼写错误。
- 函数重写需要保证和基类函数的签名一致,否则会被视为新函数。
- 如果 Derived 仍有派生子类,但不希望子类重写 run 函数,可以使用 final 关键字。

■ 如果不想某个类被继承,可以在类声明时使用 final 关键字。

```
class Base final {
    // ...
};

class Foo : public Base {
    // error: cannot derive from 'final' base 'Base' in derived type 'Foo'
};
```

■ C++ 支持多继承,即一个类可以继承多个基类。

```
class Derived : public Base1, public Base2, protected Base3 {
    // ...
};
```

■ 如果不想派生类中使用或重定义某个基类的函数,可以使用 delete 关键字。

```
class Base {
  public:
    Base(const Base&) = delete;
    Base& operator=(const Base&) = delete;
};
```

纯虚函数和抽象类

- 在基类中,我们可以只声明虚函数,而不定义它,这样的函数称为纯虚函数。
- 拥有纯虚函数的类称为抽象类,抽象类不能实例化,只能作为基类。C++的抽象类相当于 JAVA 的接口+抽象类的概念。

```
class Base {
public:
    virtual void run() = 0;
};

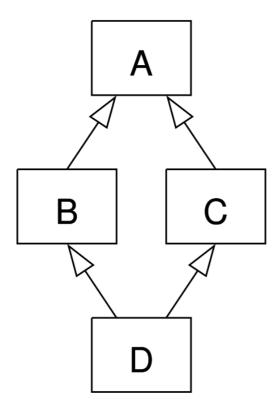
class Derived : public Base {
public:
    void run() override {
        std::cout << "Derived::run()" << std::endl;
    }
};

Base b; // error: cannot declare variable 'b' to be of abstract type 'Base'
Base* ptr = new Derived();</pre>
```

注意,即使声明为纯虚函数,也可以提供定义。

虚继承

虚继承是为了解决多继承时的菱形继承问题。



■ 如果出现多继承,可能会导致基类被重复继承。访问时可能会出现二义性(访问 B 还是 C 的父类 A)

```
class A {
public:
    int a;
};
class B : virtual public A {
public:
    int b;
};
class C : virtual public A {
public:
    int c;
};
class D : public B, public C {
public:
    int d;
};
```

访问基类成员

■ 在派生类中,可以通过 BaseName: 操作符访问基类的成员。其中 BaseName 是基类的名称。

```
class A {
public:
   int a;
};
class B : public A {
public:
    int b;
    void print() {
        std::cout << "a: " << A::a << std::endl;
};
class C : public B {
public:
    int c;
    void print() {
        std::cout << "a: " << A::a << std::endl;
        std::cout << "b: " << B::b << std::endl;
```

构造函数和析构函数

- 在派生类的构造函数中,可以调用基类的构造函数。
- 在派生类的析构函数中,会自动调用基类的析构函数。

```
class Base {
public:
    int a;
    Base(int a): a(a) {
        std::cout << "Base constructor\n";
    }
    virtual ~Base() {
        std::cout << "Base destructor\n";
    }
};</pre>
```

```
class Derived : public Base {
public:
    int b;
    Derived(int a, int b): Base(a), b(b) {
        std::cout << "Derived constructor\n";</pre>
    ~Derived() {
        std::cout << "Derived destructor\n";</pre>
};
int main() {
    Base* obj = new Derived();
    delete obj;
    return 0;
```

基类的析构函数应该声明为虚函数,以确保在通过基类 指针删除派生类对象时,能够正确调用派生类的析构函 数。

委托构造和继承构造

- C++11 引入了委托构造函数,可以在一个构造函数中调用另一个构造函数。
- 如果派生类没有新增的成员变量,可以直接使用 using Base::Base; 继承基类的构造函数。

```
class Base {
public:
    int a;
    Base(int a): a(a) {
        std::cout << "Base constructor\n";</pre>
    Base(): Base(0) {}
class Derived : public Base {
public:
    using Base::Base;
};
int main() {
    Derived d(1);
    return 0;
```

RTTI和类型转换

- RTTI(Runtime Type Information,运行时类型信息)是 C++ 提供的在运行时获取对象的实际类型的机制。可以通过 typeid 运算符来获取类型信息,或者通过 dynamic_cast 在继承层次中进行安全的类型转换。
- 从派生类到基类的转换:这种转换是隐式的,且总是安全的。因为派生类对象可以被看作基类对象来使用,编译器自动支持这种类型转换。

■ 从基类到派生类的转换:这类转换可能不安全,因为基类指针或引用不一定指向实际的派生类对象。使用 static_cast 进行这种转换是未定义行为,因为 static_cast 不会进行运行时检查。应当使用 dynamic_cast,它会在运行时检查类型的匹配性。如果转换失败,返回 nullptr(对于指针转换)或抛出 std::bad cast 异常(对于引用转换)。

```
class Base;
class Derived : public Base;

Base* b = new Derived(); // implicit conversion
Base* c = static_cast<Base*>(new Derived()); // OK

// undefined behavior
Derived* d = static_cast<Derived*>(new Base());
Derived* e = dynamic_cast<Derived*>(b); // OK
Base a;
Derived& f = dynamic_cast<Derived&>(a); // std::bad_cast
```

RAII(Resource Acquisition Is Initialization)

RAII 是一种 C++ 的资源管理技术,通过在对象的构造函数中获取资源,然后在对象的析构函数中释放资源, 来确保资源的正确释放。

```
class File {
public:
    File(const char* filename) {
       file = fopen(filename, "r");
       if (!file) {
            throw std::runtime error("Failed to open file");
    ~File() {
       if (file) {
            fclose(file);
```

RC&GC

常见的内存管理技术有两种:

- 引用计数(Reference Counting):通过计数器来记录对象的引用次数,当引用次数为 0 时,释放对象。
- 垃圾回收(Garbage Collection):GC 通过不同的算法(如标记-清除、分代收集等)来识别不再被使用的对象并释放它们。开发者无需手动管理内存,垃圾回收器会在适当的时间进行回收。

C++ 中, RC 通过类的构造函数和析构函数来实现。

- 在复制构造函数中,引用计数加一。
- 在移动构造函数中,引用计数不变。
- 在析构函数中,引用计数减一,当引用计数为 0 时,释放对象。

智能指针(Smart Pointer)

智能指针是 C++ 标准库中的 RAII 的实现,可以简化内存管理,避免内存泄漏。

- std::unique_ptr::独占所有权的智能指针,不能拷贝。
- std::shared_ptr :共享所有权的智能指针,可以拷贝。
- std::weak_ptr :弱引用智能指针,不增加引用计数。用于解决循环引用问题。

在现代 C++(非 no_std情况) 中,尽量使用智能指针来管理内存,避免使用裸指针。

Lambda 表达式

Lambda 表达式是 C++11 引入的一种匿名函数,可以在需要函数对象的地方使用。

- 本质上是一个闭包类型,可以捕获外部变量,并提供()运算符重载以供调用。
- Lambda 表达式的语法为 [capture](parameters) → return_type { body } ,在 C++14 中,可以省略返回类型,编译器会自动推导。

```
auto add = [](int a, int b) → int {
    return a + b;
};
int c = add(1, 2); // 3
```

- 捕获列表 capture 可以是值捕获、引用捕获、隐式捕获等。
 - [a, &b]:值捕获 a, 引用捕获 b
 - [8]:引用捕获所有外部变量
 - [=]:值捕获所有外部变量
 - [=, &a]:值捕获所有外部变量,引用捕获 a
 - [this]:捕获当前对象的指针,使得可以在 lambda 中访问类成员

当 lambda 表达式没有捕获列表时,可以转换为函数指针。

```
int (*add)(int, int) = [](int a, int b) → int {
   return a + b;
};
```

注意:Lambda 的按引用捕获需要考虑声明周期问题,避免悬垂引用。

Reference

拓展

虚函数表

- C++ 中的多态是通过虚函数表(vtable)实现的。每个有虚函数的类都有自己的 vtable, 在每个类中存在一个隐藏成员 vptr 指向 vtable 的地址。
- 调用时,通过 vptr 找到 vtable,再通过 vtable 找到对应的函数,实现多态。

Assignment 2

https://github.com/ARTINX/2025-Vision-Train-Lecture/tree/main/assignment/Assignment2

Q&A