C++

Лекции

2024–2025

2024-09-13

Введение

Препод: Сергей Александрович

Оценка:

$$\text{Итог} = 0.5 \cdot (0.1 \cdot \text{А} + 0.2 \cdot \text{Дз1} + 0.35 \cdot \text{Дз2} + 0.35 \cdot \text{Дз3}) + 0.5 \cdot (0.3 \cdot \text{Кр} + 0.7 \cdot \text{Экз})$$

Будет:
- ООП
- Параллельное и конкурентное программирование
- Функциональное программирование
- Всякое

Классы

Классы — исторически первое отличие C++ от C

```
class Matrix {
    private:
        size_t n_rows_;
        size_t n_cols_;
        double *data_;

    public:
        Matrix(size_t n_rows, size_t n_cols);
        Matrix(const Matrx& other);
        Matrix() = delete;  // Явно удаляем default-ный конструктор,
                            // хотя он, и так, не создается

        int rank() const;

        size_t n_rows() const { return n_rows_; }
}

int main() {
    Matrix m(10, 10);

    m.rank();
}
```

«Программы надо писать для людей»

Методы, реализованные внутри объявления класса, часто становятся inline-овыми.

Инкапсуляция — скрытие внутреннего состояния (private в классах). Позволяет:
1. меньше косячить в программах
2. отделять реализацию от интерфейса

Листинг 1. Инкапсуляция в Си

public.h:

```
typedef void* Matrix;
Matrix matrix_create();
int matrix_rank(Matrix m);
```

public.h:

```
Matrix matrix_create() { ... }
int matrix_rank(Matrix m) {
    struct MatrixData* = (MatrixData*)m;
    ...
}
```

const — после называния метода, значит метод не меняет экземпляр

```
Matrix m; // default-ный конструктор
Matrix m(1, 1); // конструктор
Matrix m(); // объявление функции
Matrix m{}; // default-ный консруктор
Matrix m2 = m; // конструктор копирования
```

Удалять, как создавали:

```
Matrix* pm = new Matrix(1, 1);
Matrix* a = new Matrix[100];

delete pm;
delete[] a;
```

New по уже выделенной памяти:

```
void* addr = malloc(...);
new (addr) Matrix(1, 1);
a.~Matrix();
```

Если у полей нет default-ного конструктора или поля константы или ссылки, то делать так:

```
class X {...};

X::X(int y) : a(y) { ... }
```

Поля инициализируются в том порядке, в котором указаны в классе

X&& — r-value

```
X::X(X&& other) {...}
```

Нельзя перегрузить оператор внутри класса, если первый аргумент другого типа

Правило трех:
- **TODO**
- **TODO**
- **TODO**

Правило пяти:
- .. правило трех
- **TODO**
- **TODO**

Не стоит бросать exception в деструкторе тк exception во время обработки exception-а — плохо

exception в конструкторе — можно

Хорошо делать exception только с типами, унаследованными от std::exception

2024-09-20

Обобщенное программирование (шаблоны)

Опр. Обобщенное программирование — набор методов для создания структур и алгоритмов, которые могут работать в различных ситуациях и с различными исходными данными.

Пример:

```
double total(const double* data, size_t len) {
    double sum = 0;
    for (size_t i = 0; i < len; ++i) {
        sum += data[i];
    }
    return sum;
}
```

Плохой вариант: трижды сделать `Ctrl-C, Ctrl-V`

Мета программирование — программы, которые пишут программы

Пример с шаблонами:

```
template <typename V>
V total(const V* data, size_t len) {
    V sum = 0;
    for (size_t i = 0; i < len; ++i) {
        sum += data[i];
    }
    return sum;
}
```

Обращение к функции от конкретного типа создает реализацию перегруженной функции. Т.е. шаблон создает семейство функций.

Улучшение. Из

```
V sum = 0;
```

в

```
V sum{};
```

Посчитать сумму:

```
auto result = std::accumulate(A.begin(), A.end(), decltype(A)::value_type(0));

auto result = std::reduce(A.begin(), A.end());

std::for_each(A.begin(), A.end(), [&](int n) {
    result += n;
});
```

Правила вывода типов шаблонов

```cpp
template<typename T>
void f(const T& param);

int x = 1;
f(x); // Чему равно T?
      // T = int
      // ParamType = const int&
```

Правила:
1. Если в `f(expr)`, `expr` — ссылка, то ссылка отбрасывается
2. Тип `T` получается из сопоставления (pattern matching) типа `expr` и `ParamType`

TODO: см презентацию

Виды шаблонов

- Функции

  ```cpp
  template<typename T> void f(T arg);
  ```

- Классы

  ```cpp
  template<typename T> class Matrix;
  ```

- Переменные

  ```cpp
  template<class T>
  T pi = T(3.1415926L);
  ```

- Типы (псевдонимы типов)

  ```cpp
  template<typename T> using ptr = T*;
  ptr<int> x;
  ```

- Концепты (будет позднее)

  ```cpp
  template<typename T>
  concept C1 = sizeof(T) != sizeof(int);
  ```

Специализация

Специализации должны быть написаны до первого использования

Полная специализация

```cpp
// Общая реализация
template<typename T>
class Matrix {...};

// Более эффективная
// реализация для bool-ок
template<>
class Matrix<bool> {...};
```

Частичная специализация

```cpp
template<class T1, class T2, int I>
class A {}; // основной шаблон

template<class T, int I>
class A<T, T*, I> {}; // T2 --- указатель на T1
```

```cpp
template<class T, class T2, int I>
class A<T*, T2, I> {}; // T1 --- указатель

template<class T>
class A<int, T*, 5> {}; // T1 = int, T2 --- указатель, I = 5
```

Контроль подставляемых типов

```cpp
template<typename T>
void swap(T& a, T& b) noexcept {
    static_assert(std::is_copy_constructable_v<T>, "Swap requires copying");
    static_assert(
        std::is_nothrow_copy_constructable_v<T> &&
            std::is_nothrow_copy_assinable_v<T>,
        "Swap requires copying"
    );

    auto c = b;
    b = a;
    a = c;
}
```

Предикаты времени компиляции

```cpp
#include <type_traits>
```

TODO: ...

Концепты

Опр. Концепт — семейство типов, обладающих определенными свойствами («утинная типизация»)

```cpp
template<typename T>
concept C1 = sizeof(T) != sizeof(int);

template<C1 T>
struct S1 {...};
```

Требования

```cpp
#include <type_traits>

template<typename T>
requires std::is_copy_constructible_v<T>
T get_copy(T* pointer) {
    if (!pointer) {
        throw std::runtime_error{"Null-pointer dereference"};
    }
    return *pointer;
}
```

2024-09-27

Полиморфизм

Опр. Полиморфизм — возможность написания кода, которым можно использовать для разных типов («форм»).

В C++ есть два полиморфизма:
- Времени компиляции (шаблоны)
- Времени исполнения (с помощью наследования и виртуальных функций)

Наследование

Опр. Наследование — иерархическое отношение между классами. Механизм повторного использования и расширения класса без модификации его кода.

Обычно отражает отношение «общее–частное».

Как без наследования:

```
struct A {
    void f();
};

struct B {
    A a;
    void something_new();
};

B obj;
obj.something_new();
obj.a.f();
// ^^^
```

С наследованием:

```
struct A {
    void f();
};

struct B : public A {
    void something_new();
};

B obj;
obj.something_new();
obj.f();
// ^
```

Наследование и права доступа

- `class D : public B { ... }`
  - `public -> public`
  - `protected -> protected`
- `class D : private B { ... }`
  - `public, protected -> private`
- `class D : protected B { ... }`
  - `public, protected -> protected`

Изменить права доступа при наследовании:

```
struct B { void f(); };

class D : public B {
private:
    using B::f; // делаем f приватным
```

```
}

D obj;
obj.f(); // ошибка
```

Полиморфные функции

Функцию `pmf` можно вызвать для объекта класса `D`, несмотря на то, что она была объявлена раньше самого класса:

```
struct B {
    void f() {
        std::cout << "B::f()\n";
    }
};

void pmf(B& br) {
    br.f();
}

class D : public B {};

// Можем вызывать функцию pmf для класса
// объявленного после неё самой
D obj;
pmf(obj);
```

При вызове `pmf` объект `cast`-уется к типу `B`, вызывается изначальная функция (из `B`), а не переопределение (из `D`):

```
struct B {
    void f() {
        std::cout << "B::f()\n";
    }
};

void pmf(B& br)  {
    br.f();
}

class D : public B {
    void f() {
        std::cout << "D::f()\n";
    }
};

B b;
D d;
pmf(b); // -> "B::f()"
pmf(d); // -> "B::f()"
```

Виртуальные функции

Если сделать функцию `virtual`, то будет вызваться переопределенная функция, а не изначальная.

```
struct B {
    virtual void f() {
```

```
        std::cout << "B::f()\n";
    }
};

void pmf(B& br)  {
    br.f();
}

class D : public B {
    void f() override {
        std::cout << "D::f()\n";
    }
};

B b;
D d;
pmf(b); // -> "B::f()"
pmf(d); // -> "D::f()"
```

Перегрузка, переопределение, сокрытие

- Перегрузка (overload): несколько функций с одним именем в одной области видимости
- Переопределение (override) виртуальной функции: объявление в дочернем классе функции с той же сигнатурой
- Сокрытие: объявление функции с тем же именем во вложенной области (в подклассе/дочернем классе)

```
struct B {
    virtual void f(int) { ... }
    virtual void f(double) { ... }
    virtual void g(int i = 20) { ... }
};

struct D : public B {
    void f(complex<double>);
    void g(int i = 20);
}

B b;
D d;
B* pb = new D;
b.f(1.0); // B::f(double)
d.f(1.0); // D::f(complex<double>) неявно кастуемся к double
pb->f(1.0); // B::f(double) нет более специальной реализации для double
b.g(); // B::g(int) 10
d.g(); // D::g(int) 20
pb->g(); // D::g(int) 10 <-- так не надо
```

`override` — ключевое слово, которое проверяет, что данная функция, и правда, является переопределением. Иначе выкидывает compile error. Его хорошо писать везде, где оно подходит.

Если есть хотя бы одна виртуальная функция, то деструктор тоже должен быть виртуальным.

Интерфейсы и чистые виртуальные функции

Пример (как делать не надо): Для добавления каждого нового logger-а приходится много и тривиально менять метод logger:

```
struct ConsoleLogger {
    void log_tx(long from, long to, double amount) { ... }
};

struct DBLogger {
    void log_tx(long from, long to, double amount) { ... }
    DBLogger(...) {...}
    ~DBLogger() { ... }
};

struct Processor {
    void transfer(long from, long to, double amount) {
        // ...
        switch (logger_type) {
            // ...
        }
        // ...
    }
};
```

Пример (как делать надо): Сделать интерфейс `Logger`:

```
struct Logger {
    virtual void log_tx(long from, long to, double amount) = 0;
    //                                                    ^^^^
    //                                    делает виртуальную функцию чистой
};

class Processor {
public:
    Processor(Logger* logger) { ... }
    void transfer() { ... }

private:
    Logger* logger_;
};
```

Опр. Абстрактные классы (интерфейсы) — классы с чистыми виртуальными функциями.

Абстрактный класс нельзя создать, можно только унаследовать.

Принципы проектирования

- Минимизация зависимостей между частями системы (классами)
- DRY (Don't repeat yourself) – не WET (write everything twice/ we enjoy typing)
- KISS (Keep it simple, stupid)
- YAGNI (You aren't gonna need it)
- SOLID
  - класс должен отвечать за одну конкретную сущность
  - разделение интерфейсов
  - открытость к расширению
  - принцип подстановки: класс ведет себя, как базовый

2024-10-04

Шаблоны проектирования

`Ctrl+C, Ctrl+V` — плохо

При разработке систем стараются предусматривать возможность будущего расширения:
- Framework — общее решение в некоторой ограниченной области
- Библиотека классов. Например, STL, Boost
- Шаблоны (patterns) проектирования

Виды паттернов проектирования:
- Паттерн создания (как создавать новые объекты): фабрика, прототип, одиночка
- Структурные паттерны (как компоновать сущности): адаптер, мост, proxy
- Паттерны поведения: итератор, команда, цепочка ответственности

Некоторые стандартные приемы (не шаблоны)

- Интерфейс (базовый класс определяет набор чистых виртуальных функций, производные классы их реализуют)
- CRTP (см. дальше)
- Примеси (см. дальше)

The Curiously Recurring Template Pattern (CRTP)

```
template <class T>
struct Base {
    void generic_fun() {
        static_cast<T*>(this)->implementation();
    }
};

struct Derived : public Base<Derived> {
    void implementation();
};
```

Как виртуальные функции, но выбор функции происходит в compile time.

Примеси

```
struct Number {
    int n;
    void set(int v) { n = v; }
    int get() const { return n; }
};
```

Хотим добавить `undo`;

```
struct Number {
    int n;
    int old_n;
    void set(int v) { old_n = n; n = v; }
    void undo() { n = old_n; } // undo на один шаг
    int get() const { return n; }
};
```

Хотим это для произвольного класса.

Если состояние — `int`:

```
template <typename T>
struct Undoable : public B {
    int before;
    void set(int v) { before = B::get(); B::set(v); }
    void undo() { B::set(before); }
};

using UNumber = Undoable<Number>;
```

Если состояние любого типа:

```
template <typename B, typename T = typename B::value_type>
struct Undoable : public B {
    using value_type = T;
    T before;
    void set(T v) { before = B::get(); B::set(v); }
    void undo() { B::set(before); }
};

using UNumber = Undoable<Number>;
```

```
template <typename B, typename T = typename B::value_type>
struct Redoable : public B {
    using value_type = T;
    T after;
    void set(T v) { after = v; B::set(v);}
    void redo() { B::set(after); }
};

using RUNmber = Redoable<Undoable<Number>>;
```

Паттерны создания

Зависимости и ограничения

Для создания объекта нужно указать класс. Конструкторы могут требовать сложных аргументов.

Проблемы:
- Хотим минимизировать количество зависимостей между разными частями кода.
- Ограничивает множество классов

Абстрактная фабрика

Взаимодействие следующих сущностей:
- `AbstractFactory` (интерфейс), `ConcreteFactory` (несколько классов, конкретные реализации)
- `AbstractProduct` (интерфейс), `ConcreteProduct` (несколько классов, конкретные реализации)

```
class Shape { // AbstractProduct
public:
    virtual std::string text() = 0; // имя
    virtual double area() const = 0; // площадь
    virtual ~Shape();
};
```

```
class Rectangle : public Shape {
public:
    std::string text() override { ... }
    double area() const override { ... }
private:
    double w_, h_;
}
class ShapeFactory {
public:
    // ...TODO
};

// ...TODO
```

Нужна функция для создания фабрик:

```
ShapeFactory* makeShapeFactory(std::string shape) {
    if (shape == "triangle") {
        return new TriangleFactory();
    } else if (shape == "rectange") {
        return new RectangleFactory();
    } else {
        throw std::invalid_argument("wrong shape name");
    }
}
```

Саморегистрирующиеся классы

Идея:

- Все фабрики наследуются от базового класса
- В этом базовом классе создается статический реестр фабрик
- При создании фабрики регистрируют себя

```
class AbstractFactory {
public:
    using create_f = std::unique_ptr<AbstractFactory>();

    staic void registrate(std::string const& name, crate_f* fp) {
        registry[name] = fp;
    }

    static std::unique_ptr<AbstractFactory> make(std::string const& name) {
        auto it = registry.find(name);
        return it == registry.end() ? nullptr : (it->second)();
    }

    template <typename F>
    struct Registrar {
        explicit Registrar(std::string const& name) {
            AbstractFactory::registrate(name, &F::create);
        }
    }

private:
    static std::map<std::string, create_f*> registry;
};
```

Конкретная фабрика:

```
class ConcreteFactory : public AbstractFactory {
    static std::unique_ptr<AbstractFactory> create() {
        return std::make_unique<ConcreteFactory>();
    }
};

// В cpp-файле
namespace {
    ConcreteFactory::Registrar<ConcreteFactory> reg("my_name");
}
```

Фабричный метод

- `Product`, `ConcreteProduct`
- `Creator`, `ConcreteCreator`

```
class Creator {
public:
    virtual Product* Create() = 0;
}
```

Паттерн Строитель (Builder)

Строим сложный объект по частям

- `Builder`, `ConcreteBuilder`
- `Director` — распорядитель (вызывает методы Строителя)
- `Product`

```
class DocBuilder {
public:
    virtual DocBuilder& build_title(std::string& title) { ... }
    ...
    virtual Product* build() { ... }
}:

class HTMLBuilder : public DocBuilder { ... };
class LaTeXBuilder : public DocBuilder { ... };
```

Пример использования:

```
Doc transformer(const string& src, Builder& builder);
```

Одиночка (Singleton)

```
template <class T>
class Singleton {
public:
    T& get() {
        static T* obj;
        return obj;
    }
};
```