

Углублённое программирование на C++

Функции в C++

Кухтичев Антон



3 апреля 2025 года

Напоминание отметиться на портале

и оставить отзыв
после лекции



Содержание занятия

- Квиз
- Функции
- Соглашения о вызовах
- Атрибуты
- Встраиваемые функции (inline)
- Функтор
- Ссылки
- λ-выражения
- Функции высшего порядка
- `std::function`
- `std::bind`

Мем недели



КВИЗ #2



Цель занятия

- Сформировать знание о концепции функций в C++, включая перегрузку и механизмы её разрешения
- Освоить использование префиксных и суффиксных модификаторов для написания эффективного и читаемого кода



Функции

«Функции должны делать только что-то одно
и очень хорошо»

— Роберт С. Мартин, «Чистый код»



Функции

Объявление функций имеют следующую форму:

префиксные-модификаторы возвращаемый-тип имя-функции(аргументы)
суффиксные-модификаторы

```
int square();
```

```
int square(double num);
```


Функции

- Это кусок кода, который может выполнить процессор, который находится по определённому адресу;
- Функция может возвращать значение, тип которого в большинстве случаев аналогично типу самой функции;
- Если функция не возвращает никакого значения, то она должна иметь тип `void` (такие функции иногда называют процедурами);
- Функция может принимать параметры (а может и не принимать);
- Функции можно перегружать;

Префиксные модификаторы

- `static` указывает, что функция, не являющаяся членом класса, имеет внутреннюю связь (не будет использоваться за пределами этой единицы трансляции);
- `virtual` указывает, что метод может быть переопределен дочерним классом;
- `constexpr` указывает, что функция должна быть выполнена во время компиляции, если это возможно;
- `[[noreturn]]` указывает, что эта функция не возвращает значения. Этот атрибут помогает компилятору оптимизировать код;
- `inline`, который играет роль в руководстве компилятором для оптимизации кода

Суффиксные модификаторы

- `noexcept` указывает, что функция никогда не вызовет исключение. Это позволяет определенные оптимизации;
- `const` указывает, что метод не будет изменять экземпляр своего класса, что позволяет ссылкам на типы `const` вызывать метод;
- `volatile`
- `final` указывает, что метод не может быть переопределен дочерним классом;
- `override` указывает, что метод является переопределённым методом базового класса;

Стек вызовов

- Поместите аргументы в регистры и в стек вызовов;
- Вставьте адрес возврата в стек вызовов;
- Перейдите к вызываемой функции;
- После завершения функции перейдите к адресу возврата;
- Очистите стек вызовов.



Соглашения о вызовах

cdecl, fastcall, thiscall



cdecl (c-declaration)

Перед вызовом функции вставляется код, называемый прологом (prolog) и выполняющий следующие действия:

- сохранение значений регистров, используемых внутри функции
- запись в стек аргументов функции

После вызова функции вставляется код, называемый эпилогом (epilog) и выполняющий следующие действия:

- восстановление значений регистров, сохранённых кодом пролога
- очистка стека (от локальных переменных функции)

thiscall

Соглашение о вызовах, используемое компиляторами для языка C++ при вызове методов классов.

Отличается от **cdecl**-соглашения только тем, что указатель на объект, для которого вызывается метод (указатель `this`), записывается в регистр `ecx`.

fastcall

Передача параметров через регистры: если для сохранения всех параметров и промежуточных результатов регистров недостаточно, используется стек (в gcc через регистры `ecx` и `edx` передаются первые 2 параметра).

System V AMD64 ABi (Linux, MacOS, FreeBSD)

- 6 регистров (RDI, RSI, RDX, RCX, R8, R9) для передачи integer-like аргументов
- 8 регистров (XMM0-XMM7) для передачи double/float
- если аргументов больше, они передаются через стек
- для возврата integer-like значений используются RAX и RDX (64 бит + 64 бит)

Code time!



- Смотрим на ассемблерный код для cdecl, fastcall

Встраиваемые функции (inline)



Атрибуты

- Атрибуты позволяют программистам накладывать дополнительные ограничения на исходный код и давать компилятору новые возможности для оптимизации.
- Можно использовать атрибуты для типов, переменных, функций, имен и блоков кода.
- `[[noreturn]]C++11`: обозначает, что функция не возвращает значений;
- `[[deprecated]]C++14`: означает, что вы не должны использовать это имя;
- `[[maybe_unused]]C++17`: подавляет предупреждение компилятора о неиспользуемом имени
- `[[nodiscard("reason")]]C++20`: выводит предупреждение, если возвращаемое значение отбрасывается

inline

- Указывает компилятору, что он должен пытаться каждый раз генерировать в месте вызова код, соответствующий функции;
- Компилятор умный и он может не встроить код;
- Тело inline-функции должно быть определено в той же единице трансляции, где она вызывается (*One definition rule (ODR)* игнорируется).

```
inline void foo()  
{  
}
```



Мейерс С. “Эффективное использование С++. 50 рекомендаций по улучшению ваших программ и проектов”. Правило 33. Тщательно обдумывайте использование встраиваемых функций.

Просим ещё настойчивее

- `__attribute__((always_inline))`
- `__forceinline`
- `[[gnu::always_inline]]`

Компилятор пытается встроить функцию вне зависимости от характеристик функции.

В некоторых случаях компилятор может игнорировать встраивание:

- Рекурсивная функция никогда не встраивается в себя;
- Если в функции используется функция `alloca()`;
- Всё равно гарантий нет!



Примерчик

```
__attribute__((always_inline)) void foo() { }
```

// или

```
[[gnu::always_inline]] void foo() { }
```

```
#ifdef __GNUC__
```

```
#define __forceinline __attribute__((always_inline))
```

```
#endif
```



Функтор (функциональный объект)



Функтор (функциональный объект)

```
template <class T>
class Less
{
    const T& x_;
public:
    Less(const T& x) : x_(x) {}

    bool operator()(const T& y) const
    {
        return y < x_;
    }
};

Less lessThen3(3);

bool result = lessThen3(5); // false
```



Передача аргументов

По ссылке и по значению



Передача аргументов по значению

- В функции окажется копия объекта, её изменение не отразится на оригинальном объекте;
- Копировать большие объекты может оказаться накладно;

```
void foo(int a) { a += 1; }
```

```
int a = 1;
```

```
foo(a); // всё ещё 1.
```

Передача аргументов по ссылке

- Можно передавать аргументы по ссылке
 - Копирования не происходит, все изменения объекта внутри функции отражаются на объекте;
 - Следует использовать, если надо изменить объект внутри функции.

```
void foo(int &a);
```

Передача аргументов по константной ссылке

- Копирования не происходит, при попытке изменения объекта будет ошибка
- Большие объекты выгоднее передавать по ссылке, маленькие - наоборот

```
void foo(const int &a);
```

Передача аргументов по указателю

- Копирования не происходит;
- Если указатель на константный объект, то при попытке изменения объекта будет ошибка;
- Есть дополнительный уровень косвенности, возможно придется что-то подгрузить в кеш из дальнего участка памяти;
- Реализуется optional-концепция.

```
void foo(int *a);
```

Перегрузка функций



Перегрузка функций

- Использование одного имени для операции, выполняемой с различными типами, называется **перегрузкой**;
- Процесс поиска подходящей функции из множества перегруженных заключается в нахождении наилучшего соответствия типов формальных и фактических аргументов;
- Функции, объявленные в различных областях видимости (не пространствах имён), не являются перегруженными;
- Объявление небольшого количества перегруженных вариантов функции может привести к неоднозначности;
- Перегруженная функция - декорированная функция;

Перегрузка функций

1. Точное соответствие типов; то есть полное соответствие или соответствие, достигаемое тривиальными преобразованиями типов;
2. Компилятор попытается использовать целые числа и числа с плавающей точкой для получения подходящей перегрузки (например, `int` для `long` или `float` для `double`);
3. Компилятор попытается сопоставить типы, используя стандартные преобразования, такие как преобразование целочисленного типа в тип с плавающей точкой или приведение указателя на потомка к указателю на родителя;
4. Компилятор будет искать пользовательское преобразование;
5. Компилятор будет искать вариативную функцию (многоточие . . .);

Вариативные функции

```
int sum(size_t n, ...)
{
    va_list args;
    va_start(args, n);
    int result{};
    while(n--) {
        auto next_element = va_arg(args, int);
        result += next_element;
    }
    va_end(args);
    return result;
}
```



Вариативные функции

- Вариативные функции являются пережитком языка C;
- Вариативные аргументы не обеспечивают безопасность типов;
- Количество элементов в вариативных аргументах должно отслеживаться отдельно;
- Компилятор не может помочь разработчику ни с одной из этих проблем;
- Лучше использовать вариативные шаблоны (рассмотрим в лекции про шаблоны), обеспечивают более безопасный и эффективный способ реализации вариативных функций.

Пространство имён



Пространства имён

- Проблема

```
// math.h
```

```
double cos(double x);
```

```
// ваш код
```

```
double cos(double x);
```



Пространства имён

- Решение в стиле C

```
// ваш код
```

```
double fastCos(double x);
```



Пространства имён

- Решение в стиле C++

```
namespace fast
{
    double cos(double x);
}
```

```
fast::cos(x);
cos(x); // ВЫЗОВ ИЗ math.h
```



Пространства имён

1. Проверка в текущем namespace;
2. Если имени нет и текущий namespace глобальный - ошибка;
3. Рекурсивно поиск в родительском namespace.



Пространства имён

```
void foo() {} // ::foo
```

```
namespace A
```

```
{
```

```
    void foo() {} // A::foo
```

```
    namespace B
```

```
    {
```

```
        void bar() // A::B::bar
```

```
        {
```

```
            foo(); // A::foo
```

```
            ::foo(); // foo()
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```



Указатель на функцию



Указатель на функцию

В общем случае объявляется так:

```
возвращаемый-тип (*имя-указателя)(тип-аргумента1, тип-аргумента2,  
...);
```

Указатель на функцию

В общем случае объявляется так:

```
возвращаемый-тип (*имя-указателя)(тип-аргумента1, тип-аргумента2,  
...);
```

```
void foo(int x) { }
```

```
typedef void (*FooPtr)(int);
```

```
// или используя using
```

```
using FooPtr = void (*)(int);
```

```
FooPtr ptr = foo;
```

```
ptr(5);
```

Функции высшего порядка

- Функция высшего порядка — функция, принимающая в качестве аргументов другие функции или возвращает другую функцию в качестве результата.

```
void sort(int* data, size_t size, bool (*compare)(int x, int y));
```

```
bool less(int x, int y)
{
    return x < y;
}
```

```
sort(data, 100, less);
```



-выражения



λ-выражения

[захват](параметры) спецификаторы -> возвращаемый тип {тело}

- Захват (captures): переменные-члены объекта функции (то есть частично примененные параметры);
- Параметры (parameters): параметры необходимые для вызова объект функции;
- Тело (body): код объекта функции;
- Спецификаторы (specifiers): элементы вроде constexpr, mutable, noexcept и [[noreturn]];
- тип возвращаемого значения (return type): тип, возвращаемый объектом функции.

Рассмотрим код

```
bool isEven(int i) { return i % 2 == 0; }
```

```
void foo()  
{  
    std::vector<int> arr;  
    ...  
    std::find_if(std::begin(arr), std::end(arr), isEven);  
}
```


λ-выражения

```
void foo()  
{  
    std::vector<int> arr;  
    auto comp = [](int i) { return i % 2 == 0 };  
    ...  
    std::find_if(std::begin(arr), std::end(arr), comp);  
}
```

Список захвата

- Если не указать &, то будет захват по значению, то есть копирование объекта; если указать, то по ссылке (нет копирования, модификации внутри функции отразятся на оригинальном объекте).

// Захват всех переменных в области видимости по значению

```
auto foo = [=]() {};
```

// Захват всех переменных в области видимости по ссылке

```
auto foo = [&]() {};
```

Список захвата

- `[]` // без захвата переменных из внешней области видимости
- `[=]` // все переменные захватываются по значению
- `[&]` // все переменные захватываются по ссылке
- `[x, y]` // захват `x` и `y` по значению
- `[&x, &y]` // захват `x` и `y` по ссылке
- `[in, &out]` // захват `in` по значению, а `out` – по ссылке
- `[=, &out1, &out2]` // захват всех переменных по значению,
// кроме `out1` и `out2`, которые захватываются по ссылке
- `[&, x, &y]` // захват всех переменных по ссылке, кроме `x`

std::function<>



std::function

`std::function<возвращаемый-тип (тип-аргумента1, тип-аргумента2, ...)>`

- Шаблон стандартной библиотеки C++11, который обобщает идею указателя на функцию;
- Может ссылаться на любой вызываемый объект, т.е. на всё, что может быть вызвано как функция;
- Могут хранить, копировать и вызывать произвольные вызываемые объекты — функции, л-выражения, выражения связывания и другие функциональные объекты;

std::function

```
#include <functional>

using MoveFunction =
    std::function<void (int& x, int& y)>;

void moveLeft(int &x, int &y) {}

MoveFunction getRandomDirection() { ... }

std::vector<MoveFunction> trajectory =
{
    [](int& x, int& y) { ... },
    moveLeft,
    getRandomDirection()
};
```

std::bind



std::bind

Позволяет получить функциональный объект с требуемым интерфейсом.

```
if (std::all_of(v.begin(), v.end(),
    [](int x) { return x < 5; }))
{
    ...
}
```


std::bind

Позволяет получить функциональный объект с требуемым интерфейсом.

```
bool lessThan(int v, int max)
{
    return v < max;
}
```

```
auto lessThan3 = std::bind(lessThan, std::placeholders::_1, 3);
```

```
if (std::all_of(v.begin(), v.end(), lessThan3))
{
    ...
}
```

Домашнее задание



Домашнее задание #2

Необходимо написать библиотеку-парсер строк состоящих из следующих токенов:

- строка (например, “hello”, “l2go”)
- число (например, “91”, “001”)

Число состоит из символов от 0 до 9, строка - все остальные символы. Токены разделены пробелами, символами табуляции и перевода строки.

Пользователь библиотеки должен иметь возможность зарегистрировать callback-функцию вызываемую каждый раз, когда найден токен, функция получает токен. Должно быть возможно зарегистрировать свой обработчик под каждый тип токена. Также должны быть колбеки вызываемые перед началом парсинга и по его окончанию.

Подведём итоги

1

Функции в C++ позволяют **структурировать код**, а их перегрузка дает возможность объявлять несколько функций с одним именем, но разными параметрами

2

Компилятор разрешает **перегрузку функций**, выбирая наилучшее соответствие типов аргументов среди доступных вариантов

3

Префиксные и суффиксные **модификаторы управляют поведением функций**, определяя область видимости, исключения и возможность переопределения

4

Соглашения о вызовах (`cdecl`, `fastcall`, `thiscall`) влияют на **передачу параметров и возврат значений**, что важно для совместимости кода и производительности

5

Встраиваемые функции (`inline`) могут **ускорять выполнение кода**, но чрезмерное их использование увеличивает размер бинарного файла

6

Функции можно **передавать и хранить с помощью указателей**, функторов и `std::function`, что позволяет использовать их как аргументы в других функциях

7

Лямбда-выражения (`[]() {}`) позволяют **создавать компактные анонимные функции**, упрощая работу с алгоритмами стандартной библиотеки

8

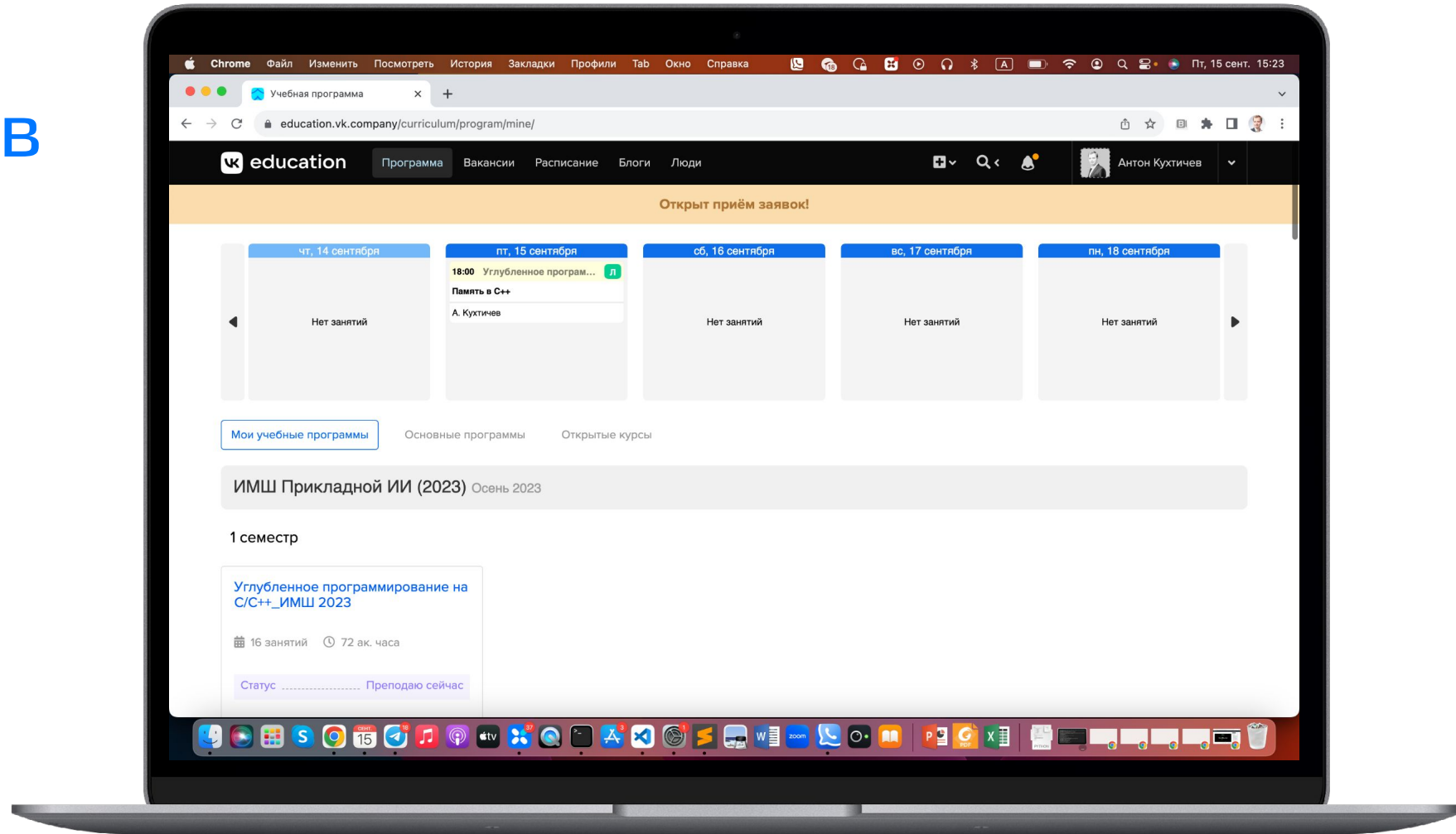
`std::bind` позволяет **частично применять параметры к функциям**, создавая новые функции с предустановленными аргументами

Полезная литература в помощь

- Джош Ласпинозо «С++ для профи»
- Скотт Мейерс «Эффективный и современный С++»
- Бьерн Страуструп «Язык программирования С++»

Напоминание оставить отзыв

Это правда важно





Спасибо
за внимание!