

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ

Конструкторы и деструкторы. Копирование, присваивание и
приведение типов.

К. Владимиров, Syntacore, 2023
mail-to: konstantin.vladimirov@gmail.com

- Обычная инициализация
 - Сбалансированные деревья
 - Конструкторы и деструкторы
 - Специальные конструкторы

Инициализация в языке С

- Язык С содержит массивы и структуры, инициализируемые как агрегаты.

```
scalar-type value; // local scope, value undefined  
                    // global scope, all zeros
```

```
scalar-type value = initializer;
```

```
aggregate-type value = { initializers };
```

- И это всё. Приятная простота.

```
int arr[5] = {1, 2, 3};
```

```
struct S { int x, y; } s = {1, 2};
```

Что добавил язык C++?

- У объектов появились конструкторы.

`MyClass obj(1, 2); // конструктор это что-то вроде функции`

`int i(1); // имитируем то же самое для int`

`int k = int(1); // то же, но с временным объектом`

- Синтаксис конструктора с прямым указанием значения это direct initialization.

- Уже это приводит к странным последствиям.

`int i(1, 2); // ошибка`

`int i = (1, 2); // ok, comma operator`

Скобки в объявлении

- Круглые скобки это обычный разделитель для грамматических конструкций.

```
int (v0); // int v0;
```

```
int (v1)[5]; // int v1[5];
```

```
int (&v2)[5] = v1; // тут уже обязательно ставить скобки
```

```
unsigned (*(*v3[4])(const (int *)[2]))(int); // и т. д.
```

- При объявлении они ничего кроме этого не значат.
- И становится очень странно, когда они начинают что-то значить в инициализациях.

Most vexing parse

- Частая проблема до 2011-го.

```
list<int> lst(istream_iterator<int>(cin),  
               istream_iterator<int>());
```

- Все понимают что это такое?

resolution is to consider any construct that could possibly be a declaration a declaration [dcl.ambig.res]

- До C++11 решением были дополнительные скобки.

```
list<int> lst((istream_iterator<int>(cin)),  
               (istream_iterator<int>()));
```

Что добавил C++11

- Возможность вызвать конструктор объекта с помощью фигурных скобок.

```
int i{}; // точно не объявление функции
```

```
int j{5}; // тоже можно
```

```
list<int> lst{istream_iterator<int>{cin}, // всё хорошо
               istream_iterator<int>{}};
```

- Это работает для любых пользовательских объектов:

```
struct S{ S(int, int); }; S t{1, 2}; // ok
```

- Это называется uniform (unicorn) initialization.



Перегруженные значения {}

- Агрегатная инициализация если это агрегат (структура массив).
 - Разрешены сужающие преобразования.
- Инициализация initializer-list ctor если он есть (отложим это пока).
 - Запрещены сужающие преобразования.
- Просто вызов конструктора (или value-init если скобки пустые).
 - Запрещены сужающие преобразования.

```
struct S { int x = 0, y = 0; };
S s{1, 2}; // агрегатная инициализация
```

```
struct T { int x = 0, y = 0; T(int a, int b) : x(a + b) {} };
T t{1, 2}; // вызов конструктора
```

Основные виды инициализации

- Для понимания правил инициализации, необходимо выучить совсем немного основных категорий инициализации.

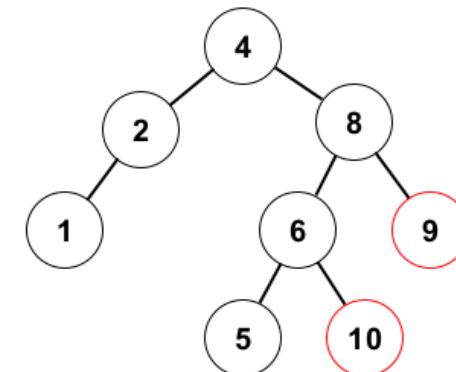
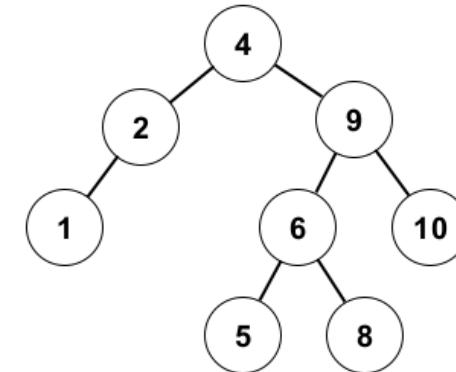
```
int global; // zero-initialization

int foo() {
    std::vector<int> v; // default-initialization
    int j {}; // value-initialization
    int k = 7; // copy-initialization
    int i{7}; // direct-initialization
    std::vector<int> w {1, 2, 3}; // direct-list-initialization
    std::vector<int> z = {1, 2, 3}; // copy-list-initialization
```

- Обычная инициализация
- Сбалансированные деревья
- Конструкторы и деструкторы
- Специальные конструкторы

Поисковые деревья

- Поисковость это свойство дерева, заключающееся в том, что любой элемент в правом поддереве больше любого элемента в левом.
- Любой ключ может быть найден начиная от верхушки дерева за время пропорциональное **высоте** дерева.
- В лучшем случае у нас дерево из N элементов будет иметь высоту $\lg N$.
- Важное наблюдение: над одним и тем же множеством элементов все возможные поисковые деревья сохраняют его *inorder* обход сортированным.



Range queries

- К данным, хранящимся к дереве удобно применять range queries.
- Пусть на вход поступают ключи (каждый ключ это целое число, **все ключи разные**) и запросы (каждый запрос это пара из двух целых чисел, **второе больше первого**).
- Нужно для каждого запроса подсчитать в дереве количество ключей, таких, что все они лежат строго между его левой и правой границами включительно.
- Вход: **k 10 k 20 q 8 31 q 6 9 k 30 k 40 q 15 40**.
- Результат: **2 0 3**.

Решение через std::set

```
template <typename C, typename T>
int range_query(const C& s, T fst, T snd) {
    using itt = typename C::iterator;
    itt start = s.lower_bound(fst); // first not less than fst
    itt fin = s.upper_bound(snd); // first greater than snd
    return mydistance(s, start, fin); // std::distance для set
}
```

- Мы хотим, чтобы наше поисковое дерево поддерживало тот же интерфейс (кроме `distance` т. к. там нужны переопределённые операторы).
- Кроме того нужен метод `insert` для вставки ключа.

Проектирование поискового дерева

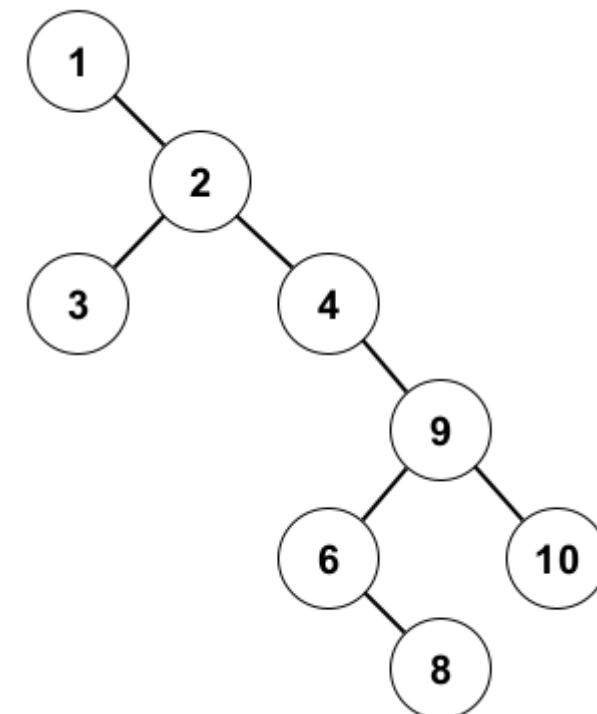
```
namespace Trees {
    template <typename KeyT, typename Comp>
    class SearchTree {
        struct Node;           // внутренний узел
        using iterator = Node *; // положение внутри дерева
        Node *top_;

    public: // селекторы
        iterator lower_bound(KeyT key) const;
        iterator upper_bound(KeyT key) const;
        int distance(iterator fst, iterator snd) const;

    public: // модификаторы
        void insert(KeyT key);
```

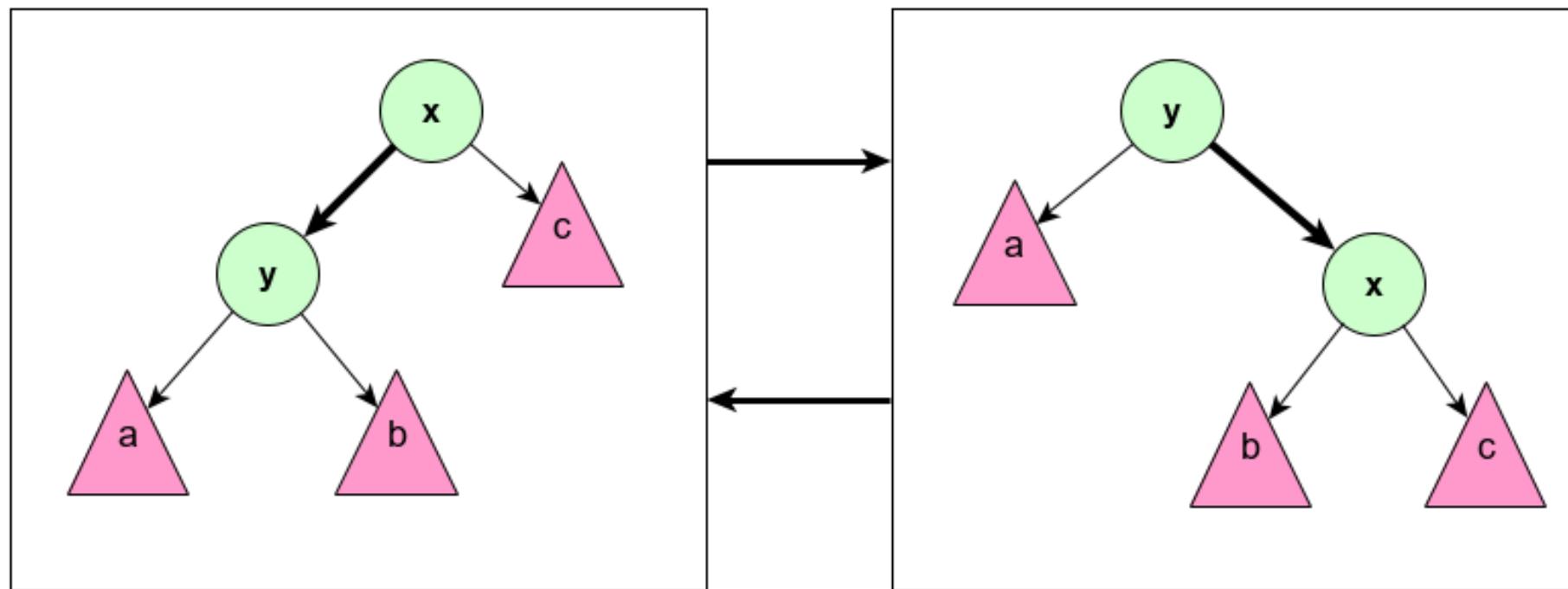
Проблема дисбаланса

- В лучшем случае поисковое дерево из N элементов будет иметь высоту $\lg N$.
- Но дерево может быть поисковым и при этом довольно бесполезным.
- В худшем случае оно вырождается в список, что делает RBQ довольно неэффективными.
- Но мы видим, что `std::set` работает довольно быстро, то есть как-то решает эту проблему.



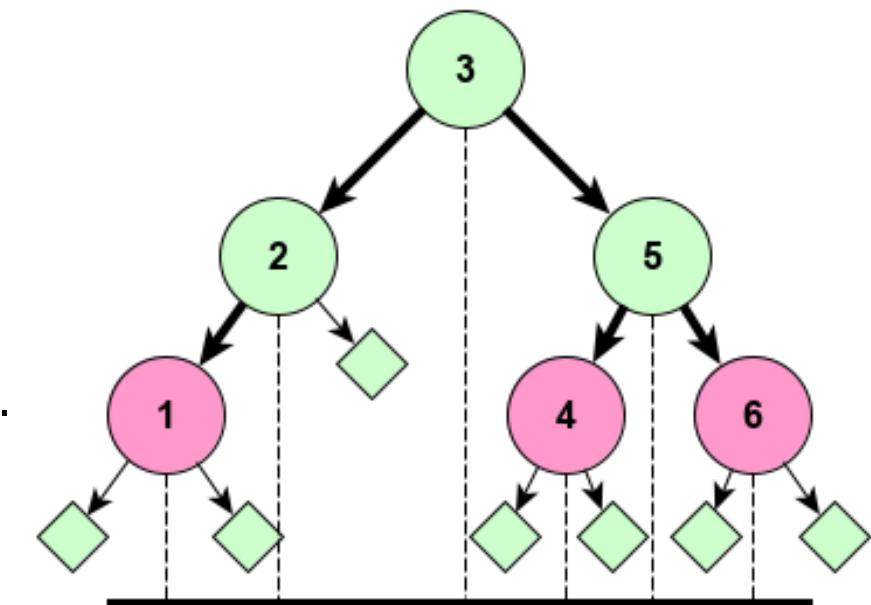
Балансировка поворотами

- Два базовых преобразования, сохраняющих инвариант поисковости это левый и правый поворот.



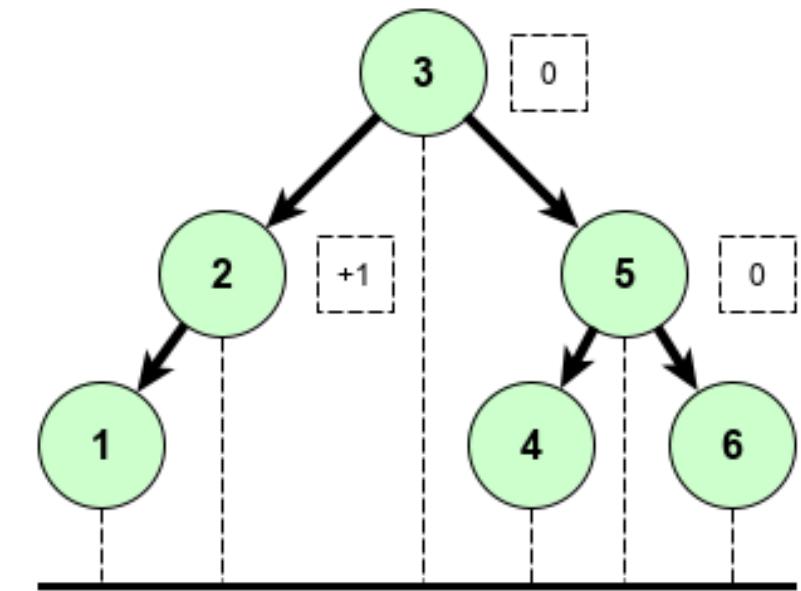
Хранение инварианта в узле

- Надлежащим количеством поворотов можно сделать любое дерево полезным, но это нетривиальная задача.
- Гораздо проще при каждой вставке поддерживать поворотами какой-нибудь инвариант, который гарантирует нам полезность дерева.
- **Красно-чёрный** инвариант:
 - Корень чёрный.
 - Все нулевые потомки чёрные.
 - У каждого красного узла все потомки чёрные.
 - На любом пути от данного узла до каждого из нижних листьев одинаковое количество чёрных узлов.



Хранение инварианта в узле

- Надлежащим количеством поворотов можно сделать любое дерево полезным, но это нетривиальная задача.
- Гораздо проще при каждой вставке поддерживать поворотами какой-нибудь инвариант, который гарантирует нам полезность дерева.
- Инвариант **AVL**:
 - Высота пустого узла нулевая.
 - Высота дерева это длина наибольшего пути от корня до пустого узла.
 - Для каждой вершины высота обоих поддеревьев различается не более чем на 1.



Проектирование узла

```
struct Node {  
    KeyT key_;  
    Node *parent_, *left_, *right_;  
    int height_; // AVL инвариант  
};
```

- Чем плох так спроектированный узел?

Проектирование узла

```
struct Node {  
    KeyT key_;  
    Node *parent_, *left_, *right_;  
    int height_;  
};
```

- Он может быть инициализирован только агрегатной инициализацией.

```
Node n = { key, nullptr, nullptr, nullptr, 0 };
```

```
Node n = { key }; // остальные нули
```

```
Node n { key }; // остальные нули, новшество в C++11
```

Проектирование узла

```
struct Node {  
    KeyT key_;  
    int balance_factor() const;  
  
private:  
    Node *parent_, *left_, *right_;  
    int height_;  
};
```

- Агрегатная инициализация ломается при появлении приватного состояния.

```
Node n { key }; // ошибка, это не агрегат
```

- Кроме того она не даёт **уверенности**, что поле key инициализировано.

- ❑ Перегрузка функций и методов
- ❑ Сбалансированные деревья
- Конструкторы и деструкторы
- ❑ Специальные конструкторы

Проектирование узла

```
struct Node {  
    KeyT key_;  
    Node *parent_ = nullptr, *left_ = nullptr, *right_ = nullptr;  
    int height_ = 0;  
  
    Node(KeyT key) { key_ = key; } // конструктор  
};
```

- Он может быть инициализирован либо **direct** либо **copy** инициализацией.

```
Node n(key); // прямая инициализация, старый синтаксис  
Node n{key}; // прямая инициализация, новый синтаксис  
Node k = key; // копирующая инициализация
```

Двойная инициализация

- Присваивая **в теле** конструктора, мы инициализируем дважды (второй раз временный объект для присваивания).

```
struct S {  
    S() { std::cout << "default" << std::endl; }  
    S(KeyT key) { std::cout << "direct" << std::endl; }  
};  
  
struct Node {  
    S key_; int val_;  
  
    Node(KeyT key, int val) { key_ = key; val_ = val; }  
}
```

Списки инициализации

- Чтобы уйти от двойной инициализации, до тела конструктора предусмотрены [списки инициализации](#)

```
struct S {  
    S() { std::cout << "default" << std::endl; }  
    S(KeyT key) { std::cout << "direct" << std::endl; }  
};  
  
struct Node {  
    S key_; int val_;  
  
    Node(KeyT key, int val) : key_(key), val_(val) {}
```

Два правила для инициализации

- Список инициализации выполняется строго в том порядке, в каком поля определены в классе (не в том, в каком они записаны в списке).

```
struct Node {  
    S key_; T key2_;  
    Node(KeyT key) : key2_(key), key_(key) {} // S, T
```

- Инициализация в теле класса незримо входит в список инициализации.

```
struct Node {  
    S key_ = 1; T key2_;  
    Node(KeyT key) : key2_(key) {} // S, T  
};
```

Параметры по умолчанию

- Если что-то уже есть в списке инициализации, то инициализатор в теле класса игнорируется.

```
struct Node {  
    S key_ = 1;  
    Node() {} // key_(1)  
    Node(KeyT key) : key_(key) {} // key_(key)
```

- Такое лучше переписать с **параметром по умолчанию**.

```
struct Node {  
    S key_;  
    Node(KeyT key = 1) : key_(key) {} // key_(key)
```

Обсуждение: делегация конструкторов

- Если конструктор делает нетривиальные вещи, его можно [делегировать](#).

```
struct class_c {  
    int max = 0, min = 0;  
  
    class_c(int my_max) : max(my_max > 0 ? my_max : DEFAULT_MAX) {}  
  
    class_c(int my_max, int my_min) : class\_c\(my\_max\),  
        min\(my\_min > 0 && my\_min < max ? my\_min : DEFAULT\_MIN\) {}
```

- Место делегированного конструктора первое в списке инициализации.
- Далее делегирующий конструктор можно тоже делегировать и т.д.

Проектирование узла

- Кроме создания нам нужно освобождать память.

```
struct Node {  
    KeyT key_;  
    Node *parent_ = nullptr, *left_ = nullptr, *right_ = nullptr;  
    int height_ = 0;  
  
    Node(KeyT key) : key_(key) {} // конструктор  
    ~Node() { delete left_; delete right_; }  
};
```

- Здесь деструктор через `delete` рекурсивно вызывает деструкторы подузлов.
- Чем это решение плохо?

Мнимые и реальные проблемы

```
template <typename KeyT, typename Comp>
SearchTree::~SearchTree() { delete top_; }
```

```
template <typename KeyT, typename Comp>
SearchTree::Node::~Node() { delete left_; delete right_; }
```

- Пример некачественной критики: нет проверки на nullptr.
- Пример качественной критики: возможно переполнение стека.
- Как бы вы сделали без рекурсии?

Частые ненужные приседания

- Люди часто пытаются делать в деструкторе лишние обнуления состояния.

```
public:  
    ~MyVector() {  
        delete [] buf_;  
        buf_ = nullptr;  
        size_ = 0;  
        capacity_ = 0;  
    }  
};
```

- После того как деструктор отработал, время жизни окончено. This is a late parrot. Технически компилятор имеет право выбросить выделенные строчки.

Ассиметрия инициализации

- Для класса с конструктором без аргументов, нет разницы между:

```
SearchTree s; // default-init, SearchTree()  
SearchTree t{}; // default-init, SearchTree()
```

- Но для примитивных типов и агрегатов разница гигантская.

```
int n; // default-init, n = garbage  
int m{}; // value-init, m = 0  
  
int *p = new int[5]{} // calloc
```

- То же самое для полей классов и т.д. рекурсивно.

- ❑ Перегрузка функций и методов
 - ❑ Сбалансированные деревья
 - ❑ Конструкторы и деструкторы
- Специальные конструкторы

Волшебные очки

- Что вы видите здесь?

```
class Empty {  
};
```

Волшебные очки

- Что вы видите здесь?

```
class Empty {
```

```
};
```

- Программист видит возможность скопировать и присвоить:

```
{  
    Empty x; Empty y(x); x = y;  
} // x, y destroyed
```

Отличия копирования от присваивания

- Копирование это в основном способ инициализации.

```
Copyable a;
```

```
Copyable b(a), c{a}; // прямое конструирование via copy ctor
```

```
Copyable d = a; // копирующее конструирование
```

- Присваивание это переписывание готового объекта.

```
a = b; // присваивание
```

```
d = c = a = b; // присваивание цепочкой (правоассоциативно)
```

- Ergo: копирование **похоже на** конструктор. Присваивание совсем не похоже.

Волшебные очки

- Посмотрим на пустой класс через волшебные очки.

```
class Empty {  
    public: Empty(); // ctor  
    public: ~Empty(); // dtor  
    public: Empty(const Empty&); // copy ctor  
    public: Empty& operator=(const Empty&); // assignment  
};
```

- Все эти (и пару других) методов для вас сгенерировал компилятор.

```
{  
    Empty x; Empty y(x); x = y;  
} // x, y destroyed
```

Семантика копирования

- По умолчанию конструктор копирования и оператор присваивания реализуют:
 - побитовое копирование и присваивание для встроенных типов и агрегатов.
 - вызов конструктора копирования, если есть.

```
template <typename T> struct Point2D {  
    T x_, y_;  
    Point2D() : default-init x_, default-init y_ {}  
    ~Point2D() {}  
    Point2D(const Point2D& rhs): x_(rhs.x_), y_(rhs.y_) {}  
    Point2D& operator=(const Point2D& rhs) {  
        x_ = rhs.x_; y_ = rhs.y_; return *this;  
    }  
};
```

Обсуждение

- Должны ли мы делать неявное явным?

```
template <typename T, typename KeyT> class Cache {  
    std::list<T> cache_;  
    std::unordered_map<KeyT, T> locations_
```

- Здесь не нужны конструктор копирования и оператор присваивания.

```
Cache c1 {c2}; // или Cache c1 = c2;  
c2 = c1;
```

- По умолчанию копирование и присваивание тут отлично работают.
- В таких случаях мы не должны определять копирование/присваивание.

Случай когда умолчание опасно

- Казалось бы всё просто.

```
class Buffer {  
    int *p_;  
public:  
    Buffer(int n) : p_(new int[n]) {}  
    ~Buffer() { delete [] p_; }  
};
```

- Что может пойти не так?

Случай когда умолчание опасно

- Казалось бы всё просто.

```
class Buffer {  
    int *p_;  
public:  
    Buffer(int n) : p_(new int[n]) {}  
    ~Buffer() { delete [] p_; }  
    Buffer(const Buffer& rhs) : p_(rhs.p_) {}  
    Buffer& operator= (const Buffer& rhs) { p_ = rhs.p_; .... }  
};
```

- Увы, в волшебных очках мы видим проблему.

```
{ Buffer x; Buffer y = x; } // double deletion
```

Default и delete

- Мы можем явно попросить дефолтное поведение прописав default и явно его заблокировать, написав delete.

```
class Buffer {  
    int *p_;  
public:  
    Buffer(int n) : p_(new int[n]) {}  
    ~Buffer() { delete [] p_; }  
    Buffer(const Buffer& rhs) = delete;  
    Buffer& operator= (const Buffer& rhs) = delete;  
};  
{ Buffer x; Buffer y = x; } // compilation error
```

Обсуждение

- Хорошая ли идея иметь некопируемый буфер?

Реализуем копирование

```
class Buffer {
    int n_; int *p_;
public:
    Buffer(int n) : n_(n), p_(new int[n]) {}
    ~Buffer() { delete [] p_; }

    // думайте о "Buffer rhs; Buffer b{rhs};"
    Buffer(const Buffer& rhs) : n_(rhs.n_), p_(new int[n_]), {
        std::copy(p_, p_ + n_, rhs.p_);
    }

    Buffer& operator= (const Buffer& rhs);
};
```

Реализуем присваивание

```
Buffer& Buffer::operator= (const Buffer& rhs) {  
    n_ = rhs.n_;  
    delete [] p_;  
    p_ = new int[n_];  
    std::copy(p_, p_ + n_, rhs.p_);  
    return *this;  
}
```

- Тут можно визуализировать это как:

```
Buffer a, b; a = b;
```

- Видите ли вы ошибку в коде?

Не забываем о себе

```
Buffer& operator= (const Buffer& rhs) {  
    if (this == &rhs) return *this;  
    n_ = rhs.n_;  
    delete [] p_;  
    p_ = new int[n_];  
    std::copy(p_, p_ + n_, rhs.p_);  
    return *this;  
}
```

- Первая проблема это присваивание вида `a = a`. Её довольно просто решить.
- Вторая проблема сложнее. Её мы пока отложим и поговорим о специальной семантике копирования и присваивания.

Спецсемантика копирования: RVO

```
struct foo {  
    foo () { cout << "foo::foo()" << endl; }  
    foo (const foo&) { cout << "foo::foo( const foo& )" << endl; }  
    ~foo () { cout << "foo::~foo()" << endl; }  
};  
  
foo bar() { foo local_foo; return local_foo; }  
  
int main() {  
    foo f = bar();  
    use(f); // void use(foo &);  
}
```

- Что здесь должно быть на экране? А что реально будет?

Допустимые формы

- Поскольку конструктор копирования подвержен RVO, это не просто функция. У неё есть специальное значение, которое компилятор должен соблюдать.
- Но чтобы он распознал конструктор копирования, у него должна быть одна из форм, предусмотренных стандартом. Основная форма это константная ссылка.

```
struct Copyable {  
    Copyable(const Copyable &c);  
};
```

- Допустимо также принимать неконстантную ссылку, [как угодно сув-квалифицированную](#) ссылку. Для оператора присваивания также значение.

Отступление: cv-квалификация

- В языке C++ есть два очень специальных квалификатора `const` и `volatile`.
- Что означает `const` для объекта?

```
const int c = 34;
```

- Что означает `volatile` для объекта?

```
volatile int v;
```

- Что означает `const volatile` для объекта?

```
const volatile int cv = 42;
```

Отступление: cv-квалификация

- В языке C++ есть два очень специальных квалификатора const и volatile
- Что означает const для метода?

```
int S::foo() const { return 42; }
```

- Что означает volatile для метода?

```
int S::bar() volatile { return 42; }
```

- Что означает const volatile для метода?

```
int S::buz() const volatile { return 42; }
```

Исторический анекдот

- Что вы сможете сделать с `volatile` объектом `std::vector`?

```
volatile std::vector v;
```

- Посмотрите в предусмотренную стандартом реализацию.
- Потом поэкспериментируйте.

Недопустимые формы

- Шаблонный конструктор это никогда не конструктор копирования.

```
template <typename T> struct Copyable {  
    Copyable(const Copyable &c) {  
        std::cout << "Hello!" << std::endl;  
    }  
};
```

```
Copyable<void> a;  
Copyable<void> b{a}; // на экране Hello
```

- Здесь всё нормально, класс шаблонный, конструктор не шаблонный.

Недопустимые формы

- Шаблонный конструктор это никогда не конструктор копирования.

```
template <typename T> struct Coercible {  
    template <typename U> Coercible(const Coercible<U> &c) {  
        std::cout << "Hello!" << std::endl;  
    }  
};  
  
Coercible<void> a;  
Coercible<void> b{a}; // на экране ничего  
  
Coercible<int> c{a};
```

- Здесь компилятор сгенерирует копирующий конструктор по умолчанию.

Спецсемантика инициализации

- Обычные конструкторы определяют **неявное преобразование типа**.

```
struct MyString {  
    char *buf_; size_t len_;  
    MyString(size_t len) : buf_{new char[len]{}}, len_{len} {}  
};
```

```
void foo(MyString);
```

```
foo(42); // ok, MyString implicitly constructed
```

- Почти всегда это очень полезно.
- Но это **не всегда** хорошо, например в ситуации со строкой, мы ничего такого не имели в виду.

Требуем ясности

- Ключевое слово `explicit` указывается когда мы хотим заблокировать пользовательское преобразование.

```
struct MyString {  
    char *buf_; size_t len_;  
    explicit MyString(size_t len) :  
        buf_{new char[len]{}}, len_{len} {}  
};
```

- Теперь здесь будет ошибка компиляции.

```
void foo(MyString);  
foo(42); // error: could not convert '42' from 'int' to 'MyString'
```

Снова direct vs copy

- Важно понимать, что `explicit` конструкторы рассматриваются для прямой инициализации.

```
struct Foo {  
    explicit Foo(int x) {} // блокирует неявные преобразования  
};
```

```
Foo f{2}; // прямая инициализация
```

```
Foo f = 2; // инициализация копированием, FAIL
```

- В этом смысле инициализация копированием похоже на вызов функции.

Пользовательские преобразования

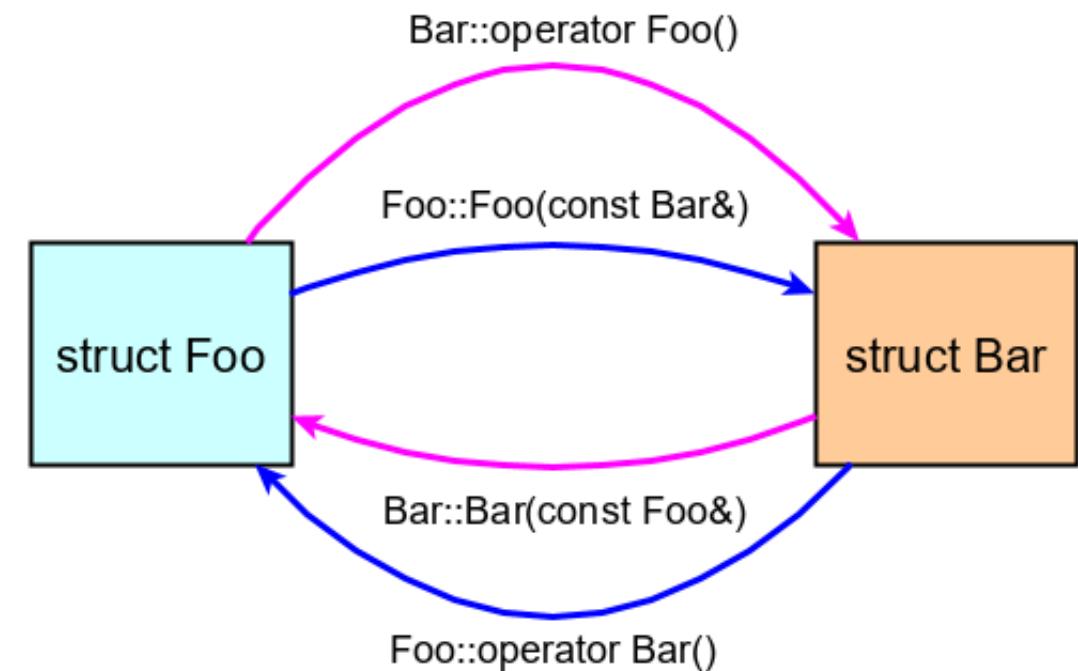
- В некоторых случаях мы не можем сделать конструктор. Скажем что если мы хотим неявно преобразовывать Quat<int> в int?
- Тогда мы пишем **operator type**.

```
struct MyString {  
    char *buf_; size_t len_;  
  
    /* explicit? */ operator const char*() { return buf_; }  
}
```

- Можно operator int, operator double, operator S и так далее.
- На такие операторы можно навешивать explicit тогда возможно только явное преобразование.

Пользовательские преобразования

- Таким образом есть некая избыточность: два способа перегнать туда и два способа перегнать обратно
- Конечно хороший тон это использовать конструкторы где возможно
- Как вы думаете что будет при конфликте?



Перегрузка

- Пользовательские преобразования участвуют в перегрузке
- Они проигрывают стандартным, но выигрывают у троеточий

```
struct Foo { Foo(long x = 0) {} };

void foo(int x);
void foo(Foo x);

void bar(Foo x);
void bar(...);

long l; foo(l); // вызовет foo(int)
bar(1); // вызовет bar(Foo)
```

Такие разные операторы

- Перегрузка операторов присваивания и приведения выглядит непохоже.

```
struct Point2D {  
    int x_, y_;  
  
    Point2D& operator=(const Point2D& rhs) = default;  
  
    operator int() { return x_; }  
};
```

- В мире конструкторов спецсемантика есть только у копирования и приведения.
- В мире переопределенных операторов она есть везде и она нас ждёт уже на следующей лекции

Домашняя работа НWT

- Со стандартного ввода поступают ключи и запросы
- Каждый запрос это пара из двух возможных ключей. Он имеет смысл если **второй больше первого** иначе ответ это ноль.
- Нужно для каждого запроса подсчитать в дереве количество ключей, таких, что все они лежат строго между его левой и правой границами включительно.
- Вход: **k 10 k 20 q 8 31 q 6 9 k 30 k 40 q 15 40**.
- Результат: **2 0 3**.
- Сравните себя со `std::set`.

Литература

- [CC11] ISO/IEC 14882 – "Information technology – Programming languages – C++", 2011
- [BS] Bjarne Stroustrup – The C++ Programming Language (4th Edition), 2013
- [GB] Grady Booch – Object-Oriented Analysis and Design with Applications, 2007
- [Cormen] Thomas H. Cormen – Introduction to Algorithms, 2009
- [TAOCP] Donald E. Knuth – The Art of Computer Programming, 2011
- [CB] Charles Bay – Instruction Re-ordering Everywhere: The C++ 'As-If' Rule and the Role of Sequence, CppCon, 2016