

# RAII И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

---

Владение ресурсом и семантика перемещения. Кроме того немного правды о двумерных массивах

К. Владимиров, Syntacore, 2023  
mail-to: [konstantin.vladimirov@gmail.com](mailto:konstantin.vladimirov@gmail.com)

- Владение ресурсом и RAII
- ❑ Семантика перемещения
- ❑ Двумерные массивы
- ❑ Проектирование матрицы

# Владение ресурсом

- Памятью владеет тот, кто её выделяет и освобождает.

```
S *p = new S;
```

```
foo(p); // foo(S*);
```

```
delete p;
```

- Что может пойти не так в этом коде?

# Владение ресурсом

- Памятью владеет тот, кто её выделяет и освобождает.

```
S *p = new S;
```

```
foo(p); // foo(S *p) { delete p; }
```

```
delete p;
```

- Что может пойти не так в этом коде?
- В общем случае память это только один из возможных ресурсов.

# Забавный пример

```
template <typename S> int foo(int n) {  
    S *p = new S{n};  
    // .... some code ....  
    if (condition) {  
        delete p;  
        return FAILURE;  
    }  
    // .... some code ....  
    delete p;  
    return SUCCESS;  
}
```

- Хотелось бы иметь одну точку освобождения чтобы избежать проблем.

# Страшное goto

```
template <typename S> int foo(int n) {  
    S *p = new S{n}; int result = SUCCESS;  
    // .... some code ....  
    if (condition) {  
        result = FAILURE;  
        goto cleanup;  
    }  
    // .... some code ....  
cleanup:  
    delete p;  
    return result;  
}
```

# Социально-приемлимое goto

```
template <typename S> int foo(int n) {  
    S *p = new S{n}; int result = SUCCESS;  
    do {  
        // .... some code ....  
        if (condition) {  
            result = FAILURE;  
            break;  
        }  
        // .... some code ....  
    } while(0);  
    delete p;  
    return result;  
}
```

# Отступление: goto considered harmful

- Что вы думаете о вот таком коде?

```
struct X {  
    int smth = 42;  
};  
  
int foo(int cond) {  
    switch(cond) {  
        case 0: X x;  
        case 1: return x.smth; // 42?  
    }  
}
```



# Отступление: goto considered harmful

- Что вы думаете о вот таком коде?

```
struct X {  
    int smth = 42;  
};  
  
int foo(int cond) {  
    switch(cond) {  
        case 0: X x;  
        case 1: return x.smth; // FAIL  
    }  
}
```

- К счастью это ошибка компиляции.

# Обсуждение

- Какие мы знаем goto-маскирующие конструкции?

switch-case, break, continue, return, ещё?

- Будьте со всеми ними крайне осторожны при работе с конструкторами и деструкторами. Ваш выбор – явные блоки.

```
int foo(int cond) {  
    switch(cond) {  
        case 0: { X x; }  
        case 1: return x.smth; // очевидная ошибка, x не виден  
    }  
}
```

# RAII: resource acquisition is initialization

- Чтобы не писать goto можно спроектировать класс, в котором конструктор захватывает владение, а деструктор освобождает ресурс.

```
template <typename S> int foo (int n) {  
    ScopedPointer<S> p{new S(n)}; // ownership passed  
    // .... some code ....  
    if (condition)  
        return FAILURE; // dtor called: delete  
    // .... some code ....  
    return SUCCESS; // dtor called: delete  
}
```

- Как этот класс мог бы выглядеть?

# RAII обёртка

- Как мог бы выглядеть упомянутый ScopedPointer?

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;
```

```
public:
```

```
    ScopedPointer(T *ptr = nullptr) : ptr_(ptr) {}  
    ~ScopedPointer() { delete ptr_; }
```

- И у нас есть две проблемы. Первая: как написать копирование/присваивание.
- Вторая: как сделать с ним что-то полезное, не дав утечь указателю?

# Глубокое копирование

- Начнем с копирования.

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    ScopedPointer(T *ptr = nullptr) : ptr_(ptr) {}  
    ~ScopedPointer() { delete ptr_; }  
  
    ScopedPointer(const ScopedPointer& rhs) :  
        ptr_(new T{*rhs.ptr_}) {}  
  
    // как бы вы реализовали присваивание?  
    ScopedPointer& operator= (const ScopedPointer& rhs);
```

# Доступ к состоянию

- Можно сделать просто функцию вроде access.

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    ScopedPointer(T *ptr = nullptr) : ptr_(ptr) {}  
    ~ScopedPointer() { delete ptr_; }  
  
    T& access() { return *ptr_; }  
    const T& access() const { return *ptr_; }  
};
```

- Итог немного многословен.

```
ScopedPointer<S> p{new S(n)}; int x = p.access().x; // (*p).x
```

# Перегрузка разыменования

- Разыменование указателя это оператор и он перегружается.

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    ScopedPointer(T *ptr = nullptr) : ptr_(ptr) {}  
    ~ScopedPointer() { delete ptr_; }  
  
    T& operator*() { return *ptr_; }  
    const T& operator*() const { return *ptr_; }
```

- Уже сейчас стало гораздо лучше, но хотелось бы, конечно, стрелочку.

```
ScopedPointer<S> p{new S(n)}; int x = (*p).x; // p->x
```

# Проблема со стрелочкой

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    T& operator*() { return *ptr_; }  
    const T& operator*() const { return *ptr_; }  
  
    ??? operator->() { return ???; } // например p->x, для T::x
```

- А что собственно возвращать?



# Решение: drill down

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    T& operator*() { return *ptr_; }  
    const T& operator*() const { return *ptr_; }  
  
    T* operator->() { return ptr_; } // например p->x, для T::x  
    const T* operator->() const { return ptr_; }
```

- Вызов `p->x` эквивалентен `(p.operator->())->x` и так сколько угодно раз.
- Стрелочка как бы "зарывается" в глубину на столько уровней на сколько может.

# Обсуждение

- Хорош ли получившийся `scoped pointer`? Подумайте вот о чём.

```
S *a = new S(1), *b = new S(2);  
std::swap(a, b); // что происходит тут?
```

```
ScopedPointer<S> x{new S(1)}, y{new S(2)};  
std::swap(x, y); // а что тут?
```

- Для справки: `std::swap` в C++98 был определен так:

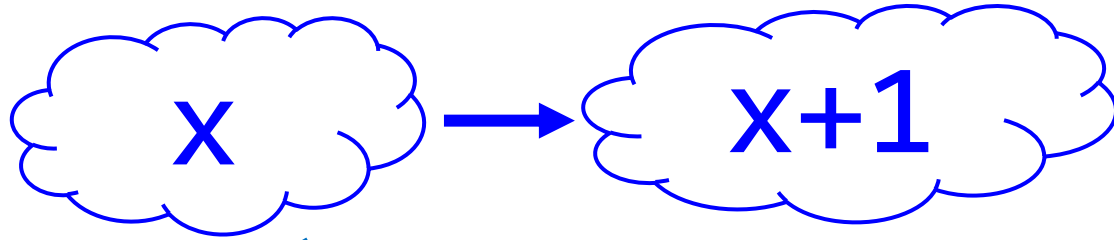
```
template <typename T> void swap (T& x, T& y) {  
    T tmp = x; // copy ctor  
    x = y;     // assign  
    y = tmp;   // assign  
}
```

- ❑ Владение ресурсом и RAII

- Семантика перемещения

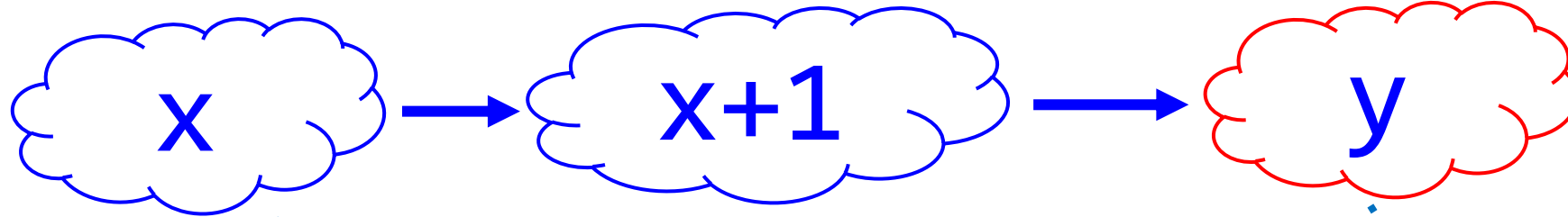
- ❑ Двумерные массивы

- ❑ Проектирование матрицы



1100100001010011001111

↔  
&x

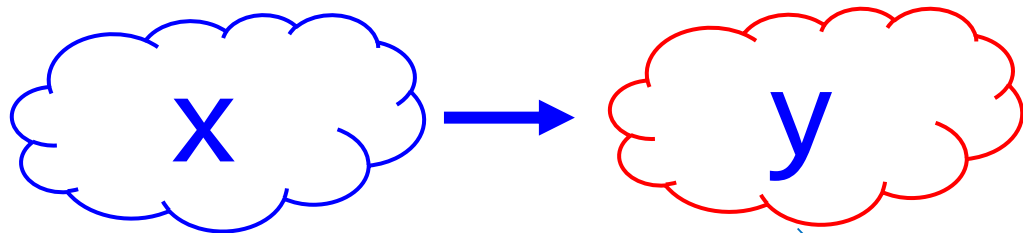


`int&& y = x + 1;`

1100100001010011001111

`&x`

`&y`



```
int&& y = std::move(x);
```

1100100001010011001111

&x

&y

# Кросс-связывание

- Правая ссылка не может быть связана с lvalue.

```
int x = 1;  
int &&y = x + 1; // ok  
int &&b = x;      // fail, не rvalue
```

- Неконстантная левая ссылка не может быть связана с rvalue.

```
int &c = x + 1;      // fail, не lvalue  
const int &d = x + 1; // ok, продляет время жизни
```

- Но при этом правая ссылка сама по себе задаёт имя и адрес и является lvalue.

```
int &&e = y; // fail, не rvalue  
int &f = y;  // ok
```

# Обсуждение: методы над rvalues

- Всегда надо помнить: метод может быть вызван для rvalue-expression.

```
struct S {  
    int n = 0;  
    int& access() { return n; }  
};
```

```
S x;  
int& y = x.access(); // ok
```

```
int& z = S{}.access(); // ok?
```



# Обсуждение: методы над rvalues

- Всегда надо помнить: метод может быть вызван для rvalue-expression.

```
struct S {  
    int n = 0;  
    int& access() { return n; }  
};
```

```
S x;  
int& y = x.access(); // ok
```

```
int& z = S{}.access(); // this parrot is dead
```



# Аннотация методов

- Методы могут быть аннотированы и различать lvalue от rvalue.

```
struct S {  
    int foo() &; // 1  
    int foo() &&; // 2  
};
```

```
extern S bar ();
```

```
S x {};
```

```
x.foo(); // 1
```

```
bar().foo(); // 2
```

# Аннотация методов

- Аннотация методов крайне полезна.

```
struct S {  
    int n = 0;  
    int& access() & { return n; }  
};
```

```
S x;  
int& y = x.access(); // ok
```

```
int& z = S{}.access(); // ошибка компиляции
```

- Ошибка компиляции всегда лучше, чем висячая ссылка.

# Аннотация методов

```
class X {  
    vector<char> data_;  
public:  
    X() = default;  
    vector<char> const & data() const & { return data_; }  
    vector<char> && data() && { return std::move(data_); }  
};
```

```
X obj;  
vector<char> a = obj.data(); // copy  
vector<char> b = X().data(); // move
```

- Здесь есть некая экономия на спичках и нет висячей правой ссылки.
- Это не значит, что нужно бросаться так делать, разумеется.

# Аккуратнее с возвратом правых ссылок

- Возврат правых ссылок часто ведет себя плохо.

```
int& foo(int& x) { return x; } // ok
```

```
const int& bar(const int& x) { return x; } // когда как
```

```
int&& buz(int&& x) { return std::move(x); } // DANGLE
```

- Обычно вы не хотите их возвращать если у вас не &&-аннотированный метод.
- При этом:

```
int& bat(int&& x) { return x; } // снова когда как
```

- Так что правые ссылки с точки зрения провисания даже опаснее левых.

# Перемещающие конструкторы

- Конструктор берущий rvalue ref не обязан сохранять значение (т.к. это rvalue).
- Это потрясающе выгодно там, где требуется глубокое копирование.

```
template <typename T> class ScopedPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    ScopedPointer(const ScopedPointer& rhs) :  
        ptr_(new T{*rhs.ptr_}) {}  
  
    ScopedPointer(ScopedPointer&& rhs) : ptr_(rhs.ptr_) {  
        rhs.ptr_ = nullptr;  
    }  
};
```

# Перемещающее присваивание

- Для перемещающего присваивания есть варианты.

```
ScopedPointer& operator= (ScopedPointer&& rhs) {  
    if (this == &rhs)  
        return *this;  
  
    // вариант #1: оставляем пустое состояние  
    delete ptr_;  
    ptr_ = rhs.ptr_;  
    rhs.ptr_ = nullptr;  
    return *this;  
}
```

- Оно обязано оставить объект в консистентном состоянии.

# Перемещающее присваивание

- Для перемещающего присваивания есть варианты.

```
ScopedPointer& operator= (ScopedPointer&& rhs) {  
    if (this == &rhs)  
        return *this;
```

```
    // вариант #2: делаем обмен и пусть деструктор удаляет  
    std::swap(ptr_, rhs.ptr_);  
    return *this;  
}
```

- Это состояние, вообще говоря, **не обязано быть предсказуемым**.



# Эффективный обмен значениями

- Старый способ обмена значениями.

```
template <typename T> void swap (T& x, T& y) {  
    T tmp = x; // copy ctor  
    x = y;     // assign  
    y = tmp;   // assign  
}
```

- Новый способ очевидно лучше.

```
template <typename T> void swap (T& x, T& y) {  
    T tmp = std::move(x); // move ctor  
    x = std::move(y);     // move assign  
    y = std::move(tmp);   // move assign  
}
```

# Аккуратнее с move on result

- Обычно в таком коде `std::move` просто не нужен.

```
T foo(some arguments) {  
    T x = some expression;  
    // more code  
    return std::move(x); // не ошибка, но зачем?  
}
```

- Функция, возвращающая by value это rvalue expression и таким образом всё равно делает move в точке вызова.
- При этом использование `std::move` может сделать вещи чуть хуже, убив RVO.
- Ограничьте move on result случаями возврата ссылки.

# Задача: особенности move

```
int x = 1;  
int a = std::move(x);  
assert (x == a); // ???
```

```
ScopedPointer y {new int(10)};  
ScopedPointer b = std::move(y);  
assert (y == b); // ???
```

- Что можно сказать о приведённых assertions?

# Решение: особенности move

```
int x = 1;  
int a = std::move(x);  
assert (x == a); // всегда выполнено
```

```
ScopedPointer y{new int(10)};  
ScopedPointer b = std::move(y);  
assert (y == b); // мы не знаем
```

- Использование move всего лишь получает && ничего не делая с переменной.
- Будет ли состояние потеряно зависит от того есть ли у класса перемещающий конструктор и как он реализован.
- У int его точно нет, на чём и построен первый ответ.

# Проблема implicit move

- Перемещение по умолчанию перемещает по умолчанию все поля класса.

```
template <typename T> class SillyPointer {  
    T *ptr_;  
  
public:  
    SillyPointer(T *ptr = nullptr) : ptr_(ptr) {}  
    ~SillyPointer() { delete ptr_; }  
};  
  
template <typename T> void swap(T& lhs, T& rhs) {  
    T tmp = std::move(lhs);  
    lhs = std::move(rhs);  
    rhs = std::move(tmp);  
} // UB (probably segfault)
```

# Правило пяти

- Классическая идиома проектирования rule of five утверждает, что:

*"Если ваш класс требует нетривиального определения **хотя бы одного из пяти** методов:*

- 1. копирующего конструктора*
- 2. копирующего присваивания,*
- 3. перемещающего конструктора*
- 4. перемещающего присваивания*
- 5. деструктора*

*то вам лучше бы нетривиально определить **все пять**"*

- Очевидно SillyPointer его нарушает: он определяет нетривиальный деструктор и только его.

# Краевой случай: move from const

- Итак, хорошо организованный move ctor изменяет rhs. Но что если rhs нельзя изменить?

```
const ScopedPointer<int> y{new int(10)};
```

```
ScopedPointer<int> b = std::move(y); // копирование
```

- В этом случае move ctor просто не будет вызван, так как его сигнатура предполагает Buffer&& а не Buffer const &&.
- Вместо этого, Buffer const && будет приведён к Buffer const & и вызовется копирующий конструктор, несмотря на явное указание move.

# Правило нуля

- Классическая идиома проектирования rule of zero утверждает, что:

*"Если ваш класс требует нетривиального определения хотя бы одного из пяти неявных методов, и, таким образом, все пять*

*То в нём не должно быть **никаких других методов**"*

- Это моё любимое правило. Оно нас ещё много раз выручит.



- ❑ Владение ресурсом и RAII
- ❑ Семантика перемещения
- Двумерные массивы
- ❑ Проектирование матрицы

# Двумерные массивы

- RAM-модель памяти в принципе одномерна, поэтому с двумерными массивами начинаются сложности

11001000001110011001111

i4[4]

arr[1]

# Двумерные массивы

- RAM-модель памяти в принципе одномерна, поэтому с двумерными массивами начинаются сложности

1100100001110011001111

i4[2][2]

arr[1][0]?

arr[0][1]?

# Row-major vs column-major

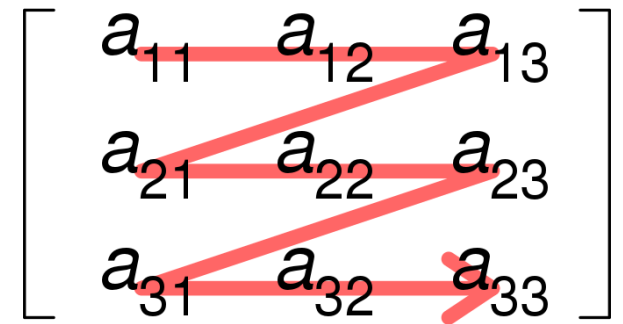
- В математике для матрицы  $\{a_{ij}\}$ , первый индекс называется индексом строки, второй – индексом столбца
- В языке C принят row-major order (очень просто запомнить: язык C читает матрицы как книжки)
- row-major означает, что первым изменяется самый внешний индекс

```
int one[7]; // 7 столбцов
```

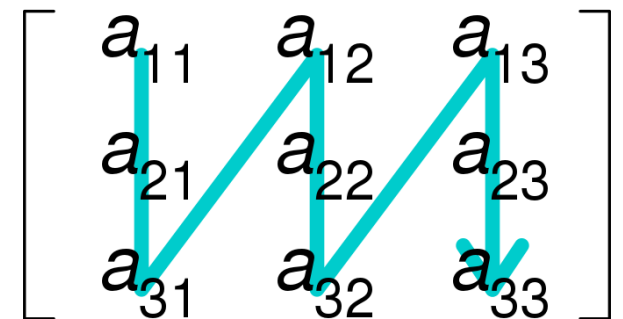
```
int two[1][7]; // 1 строка, 7 столбцов
```

```
int three[1][1][7]; // 1 слой, 1 строка ..
```

## Row-major order



## Column-major order



# Обсуждение

- Кстати, а кто-нибудь понимает **почему** row-major?

```
int a[7][9]; // declaration follows usage
```

```
int elt = a[2][3]; // why 3-rd element of 2-nd row?
```

# Обсуждение

- Кстати, а кто-нибудь понимает **почему** row-major?

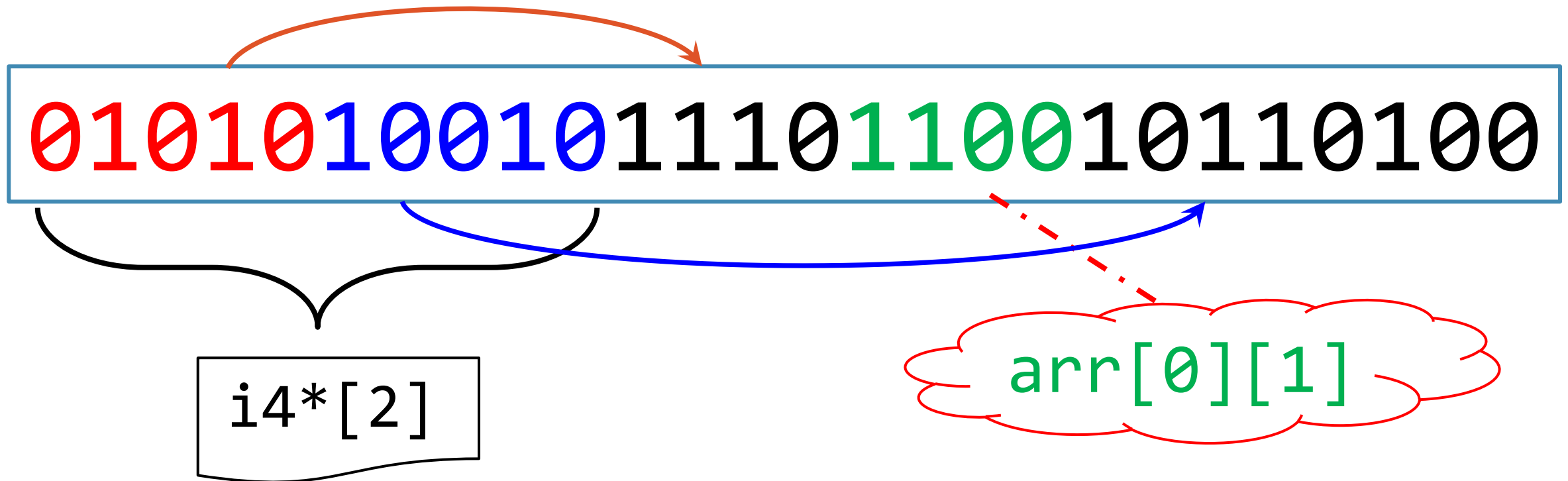
```
int a[7][9]; // declaration follows usage
```

```
int elt = a[2][3]; // why 3-rd element of 2-nd row?
```

- Удивительно, но на это есть **синтаксические** причины
- Всё дело в том, что `a[i][j]` это неоднозначное выражение, которое может быть прочитано по-разному, в том числе и как `(a[i])[j]`.
- Это в свою очередь следует из ещё одного способа представления массивов: представления их как **jagged arrays**.

# Двумерные массивы: jagged arrays

- Ещё один способ сделать двумерный массив это сделать массив указателей.



# Двумерные массивы

- Непрерывный массив.

```
int cont[10][10];  
foo(cont);  
cont[1][2] = 1; // ?
```

- Массив указателей.

```
int *jagged[10];  
bar(jagged);  
jagged[1][2] = 1; // ?
```

- Самый интересный вопрос: как во всех четырёх случаях вычисляется доступ к соответствующему элементу?

- Функция, берущая указатель на массив.

```
void foo(int (*pcont)[10]){  
    pcont[1][2] = 1; // ?  
}
```

- Функция, берущая указатель на массив указателей.

```
void bar(int **pjag) {  
    pjag[1][2] = 1; // ?  
}
```



# Вычисление адресов

- Массиво-подобное вычисление.

```
int first[FX][FY];  
first[x][y] = 3; // →  $*(&first[0][0] + x * FY + y) = 3;$ 
```

```
int (*second)[SY];  
second[x][y] = 3; // →  $*(&second[0][0] + x * SY + y) = 3;$ 
```

- Указателе-подобное вычисление.

```
int *third[SX];  
third[x][y] = 3; // →  $*(*(third + x) + y) = 3;$ 
```

```
int **fourth;  
fourth[x][y] = 3; // →  $*(*(fourth + x) + y) = 3;$ 
```

# Обсуждение

- Сколько индексов можно опускать при инициализации массивов?

```
float flt[2][3] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // ok
```

```
float flt[][3] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // ?
```

```
float flt[][] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // ?
```

# Обсуждение

- Сколько индексов можно опускать при инициализации массивов?

```
float flt[2][3] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // ok
```

```
float flt[][3] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // ok
```

```
float flt[][] = {{1.0, 2.0, 3.0}, {4.0, 5.0}}; // fail
```

- Мы всегда можем опускать только самый вложенный индекс: и в инициализаторах и в аргументах функций.
- Очень просто запомнить: массивы гниют изнутри.

```
float func(float flt[][3][6]); // ok, float *flt[3][6]
```

# Corner-case

- Обычно `a[ ]` означает `*a`, это верно почти всегда.
- Увы, есть один случай, когда это не так: объявления.

`extern int *a; // где-то есть настоящая ячейка a`

`extern int b[]; // где-то есть массив b какой-то длины`

- Все ли осознают с чем это связано?

# Corner-case

- Обычно `a[ ]` означает `*a`, это верно почти всегда.
- Увы, есть один случай, когда это не так: объявления.

`extern int *a; // где-то есть настоящая ячейка a`

`extern int b[]; // где-то есть массив b какой-то длины`

- Все ли осознают с чем это связано?
- Разумеется не с правилами вычисления.

`i = a[5]; // i = *(a + 5);`

`i = b[5]; // i = *(b + 5);`

# Corner-case

- Обычно `a[ ]` означает `*a`, это верно почти всегда.
- Увы, есть один случай, когда это не так: объявления.

`extern int *a; // где-то есть настоящая ячейка a`

`extern int b[]; // где-то есть массив b какой-то длины`

- Все ли осознают с чем это связано?
- Это связано с разной **операционной семантикой**.

```
i = a[5]; // aval = load [a];  
          i = load [aval + 5 * sizeof(int)]
```

```
i = b[5]; // i = load [b + 5 * sizeof(int)]
```

# Case study: представление матрицы

- jagged vector

```
struct matrix {  
    int **data;  
    int x, y;  
};
```

- непрерывный массив

```
struct matrix {  
    int *data;  
    int x, y;  
};
```

- Какие вы видите плюсы и минусы в обоих методах?
- Подумайте об умножении матриц и оптимизациях кэш-эффектов.
- Подумайте о других операциях, например обмене строк.

- ❑ Владение ресурсом и RAII
- ❑ Семантика перемещения
- ❑ Двумерные массивы
- Проектирование матрицы



# Конструкторы

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некое представление  
  
public:  
    // конструктор для создания матрицы, заполненной значением  
    Matrix(int cols, int rows, T val = T{});  
  
    // конструктор для создания из заданной последовательности  
    template <typename It>  
    Matrix(int cols, int rows, It start, It fin);
```

- Как мне написать конструктор для создания единичной матрицы?

# Обсуждение

- Что является инвариантом любого RAII класса?

# Статические методы и друзья

- Кроме методов класса, доступ есть у статических и дружественных функций.

```
class S {  
    int x = 0;  
public:  
    int get_x() const { return x; }  
    static int s_get_x(const S *s) { return s->x; }  
    friend int f_get_x(const S *s);  
};  
  
int f_get_x(const S *s) { return s->x; }
```

# Диаграмма возможностей

	методы	статические функции	друзья
получает неявный указатель на this	да	нет	нет
находится в пространстве имён класса	да	да	нет
имеет доступ к закрытому состоянию класса	да	да	да

# Обсуждение: дружба это магия

- Статические функции более безопасны. Они являются частью интерфейса класса и их пишет разработчик, который заботится о сохранении инвариантов.
- Функции-друзья обычно пишет кто-то другой и они могут нарушать инварианты как хотят.
- Особенно опасно дружить с целыми классами.
- В целом дружба часто бывает связана с магией и заводя себе друзей вы почти всегда ошибаетесь.



# Конструкторы

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некое представление  
  
public:  
    // конструктор для создания матрицы, заполненной значением  
    Matrix(int cols, int rows, T val = T{});  
  
    // конструктор для создания из заданной последовательности  
    template <typename It>  
    Matrix(int cols, int rows, It start, It fin);  
  
    // "конструктор" для создания единичной матрицы  
    static Matrix eye(int n, int m);
```

# Большая пятёрка

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некоторое представление  
  
public:  
    // копирующий и перемещающий конструктор  
    Matrix(const Matrix &rhs);  
    Matrix(Matrix &&rhs);  
  
    // присваивание и перемещение  
    Matrix& operator=(const Matrix &rhs);  
    Matrix& operator=(Matrix &&rhs);  
  
    // деструктор  
    ~Matrix();
```

# Тизер: аннотация `noexcept`

- Если вы уверены, что ваш метод делает только примитивные операции над примитивными типами (например обменивает указатели и только), вы можете аннотировать его как `noexcept`.
- Мы пока не очень понимаем детали этого, но похоже мы можем так пометить перемещающие конструкторы и операторы.

```
Matrix(Matrix &&rhs) noexcept;
```

```
Matrix& operator=(Matrix &&rhs) noexcept;
```

- Пока что вешайте эту аннотацию очень осторожно и только там, где вы уверены, что вы не врёте. Любое копирование обобщённого T блокирует это.



# Селекторы

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некое представление  
  
public:  
    // базовые  
    int ncols() const;  
    int nrows() const;  
  
    // агрегатные  
    T trace() const;  
    bool equal(const Matrix& other) const;  
    bool less(const Matrix& other) const;  
    void dump(std::ostream& os) const;
```

# Удобные методы

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некое представление  
  
public:  
    // отрицание  
    Matrix& negate() &;  
  
    // почему не Matrix transpose() const?  
    Matrix& transpose() &;  
  
    // равенство  
    bool equal(const Matrix& other) const;
```

- Как сделать доступ к элементам?

# Индексаторы

- Допустим мы пишем свой класс похожий на массив.

```
class MyVector {  
    std::vector<int> v_;  
  
public:  
    int& operator[](int x) { return v[x]; }  
    const int& operator[](int x) const { return v[x]; }  
    // .... some stuff ....  
};
```

- Мы хотим его индексировать и для этого перегружаем квадратные скобки.
- Перегрузка для const как обычно важна: она даёт возможность работать с const объектом.

# Удобные методы

```
template <typename T> class Matrix {  
    // некое представление  
  
public:  
    // отрицание и транспонирование  
    Matrix& negate() &;  
    Matrix& transpose() &;  
  
    // равенство  
    bool equal(const Matrix& other) const;  
  
    // доступ к элементам  
    ??? operator[](int) const; // а что он возвращает?
```

# Прокси-объекты

```
template <typename T> class Matrix {  
    // ..... тут некое представление .....  
    struct ProxyRow {  
        T *row;  
        const T& operator[](int n) const { return row[n]; }  
        T& operator[](int n) { return row[n]; }  
    };  
public:  
    // Мы бы хотели использовать m[x][y]  
    ProxyRow operator[](int);
```

# Домашняя работа НВМХ

- Вам предлагается найти определитель матрицы.
- На стандартный ввод приходит размер  $n$  и далее все элементы построчно.
- На стандартном выводе должно быть значение определителя.
- Пример:
- Вход: 2 1 0 0 1
- Выход: 1

# Обсуждение

- Мы научились переопределять несколько основных операторов:
  - приведение
  - присваивание
  - разыменование
  - стрелочка
  - индексаторы
- Все они могут быть только методами.
- Но вообще над нашими матрицами возможны другие операции, например сложение или умножение на константу.
- Скоро мы научимся переопределять все возможные операторы.

# Литература

- [CC11] ISO/IEC 14882 – "Information technology – Programming languages – C++", 2011
- [BS] Bjarne Stroustrup – The C++ Programming Language (4th Edition), 2013
- [ED] Edsger W. Dijkstra – Go To Statement Considered Harmful, 1968
- [EDH] Edsger W. Dijkstra – The Humble Programmer, ACM Turing Lecture, 1972
- [SM] Scott Meyers, "Effective Modern C++: 42 Specific Ways to Improve Your Use of C++11 and C++14"
- [KI] Klaus Iglberger – Back to Basics: Move Semantics, CppCon, 2019
- [AD] RAI and the Rule of Zero - Arthur O'Dwyer, CppCon, 2019
- [NJ] Nicolai Josuttis – The Nightmare of Move Semantics for Trivial Classes, 2017
- [KVR] Kris van Rens – Understanding value categories in C++, C++ Dublin User Group, 2020



# ДОПОЛНИТЕЛЬНО

---

Использование unique\_ptr

# Идея unique\_ptr

- Основная идея: использовать для передачи управления перемещение.

```
unique_ptr(unique_ptr& rhs) = delete;
```

```
unique_ptr(unique_ptr&& rhs) : ptr_(rhs.ptr_) {  
    rhs.ptr_ = nullptr;  
}
```

```
unique_ptr& operator= (unique_ptr &&rhs) {  
    swap(*this, rhs); return *this;  
}
```

- Это очень удобный класс, позволяющий вам не писать свои велосипеды.

# Передача за scope

- Уникальное владение можно передать в другой scope.

```
int foo (int x, double y) {  
    std::unique_ptr<MyRes> res{new MyRes(x, y)}; // захват  
    .....  
    if (какое-то условие) {  
        bar(std::move(res)); // корректная передача владения  
        return 1;  
    }  
    .....  
    return 0; // освобождается в деструкторе  
}
```

- Теперь bar() принимает unique\_ptr, который не может быть скопирован.

# Удобное создание

- Пока что выглядит немного волшебством

```
int foo (int x, double y) {  
    auto res = std::make_unique<MyRes>(x, y); // захват  
    .....  
    if (какое-то условие) {  
        bar(std::move(res)); // корректная передача владения  
        return 1;  
    }  
    .....  
    return 0; // освобождается в деструкторе  
}
```

- Мы научимся писать такие вещи во второй части курса

# Обсуждение

- Что вы скажете о таком подходе?

```
const unique_ptr<MyRes> p{new MyRes(x, y)};
```

# СЕКРЕТНЫЙ УРОВЕНЬ

---

Правло для prvalue elision

# Новое правило: prvalue elision

- Начиная с 2017, компилятор **обязан** делать copy/move elision для **prvalues**

```
class NoCopyMove {  
    NoCopyMove() = default;  
    NoCopyMove(const NoCopyMove&) = delete;  
    NoCopyMove(NoCopyMove&&) = delete;  
};
```

```
void foo(NoCopyMove x);
```

```
foo(NoCopyMove{}); // легально в C++17
```

- Во многих компиляторах это работало и раньше
- Обратите внимание: стандарт форсит это только для prvalues

# Новое правило: prvalue elision

- Не надо путать с NRVO

```
NoCopyMove bar() { return NoCopyMove{}; } // легально в C++17
```

```
NoCopyMove n = bar(); // легально в C++17
```

```
NoCopyMove buz() {  
    NoCopyMove t;  
    return t; // всё ещё зависит от доброй воли компилятора  
}
```

- Если эта конструкция вообще легальна, компилятор её дальше оптимизирует