

Программирование

Лекция 4. Многомерные массивы. Структуры и классы

Использование динамической памяти

- Одно из естественных применений динамической памяти – создание динамических массивов, т.е. массивов, размер которых неизвестен во время компиляции, в том числе многомерных массивов.

Многомерные встроенные массивы

- C++ позволяет определять многомерные массивы:

```
int m2d[2][3] = { {1, 2, 3}, {4, 5, 6} };  
for( size_t i = 0; i != 2; ++i ) {  
    for( size_t j = 0; j != 3; ++j ) {  
        cout << m2d[i][j] << ' ';  
    }  
    cout << endl; Матрица  
}
```

- Элементы `m2d` располагаются в памяти “по строчкам”.
- Размерность массивов может быть любой, но на практике редко используют массивы размерности > 4 .

```
int m4d[2][3][4][5] = {};
```

Динамические массивы

- Для выделения одномерных динамических массивов обычно используется оператор `new []`.

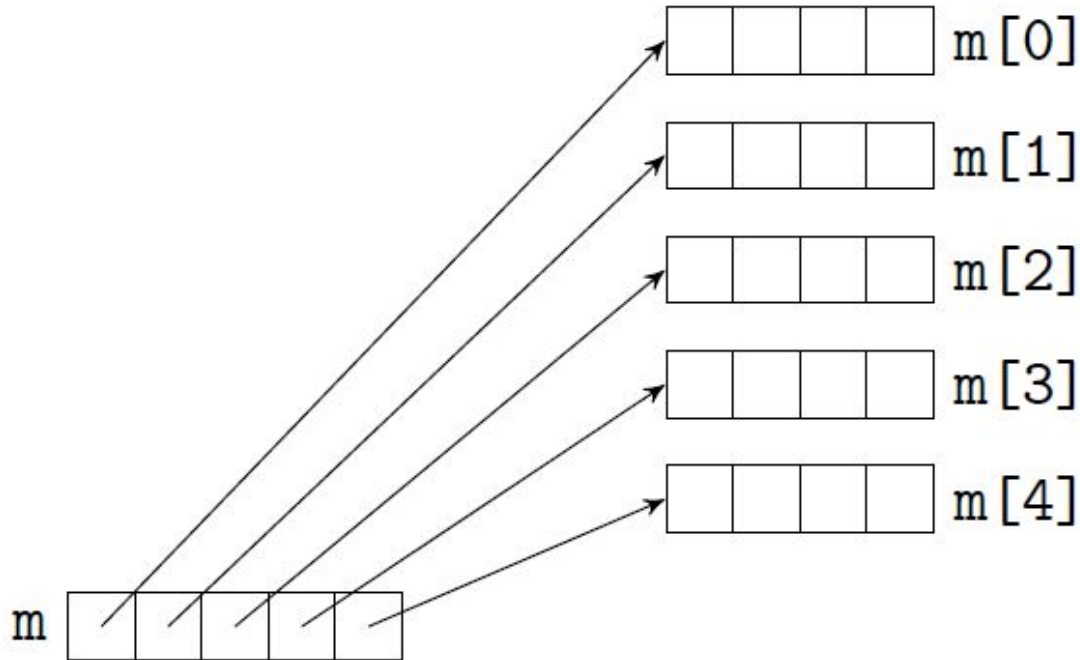
```
int * m1d = new int [100];
```

- Какой тип должен быть у указателя на двумерный динамический массив?
 - Пусть `m` — указатель на двумерный массив типа `int`.
 - Значит `m[i][j]` имеет тип `int` (точнее `int &`).
 - $m[i][j] \Leftrightarrow *(m[i] + j)$, т.е. тип `m[i]` — `int *`.
 - аналогично, $m[i] \Leftrightarrow *(m + i)$, т.е. тип `m` — `int **`.
- Чему соответствует значение `m[i]`?
Это адрес строки с номером `i`.
- Чему соответствует значение `m`?
Это адрес массива с указателями на строки.

```
m[i] = *(m+i)
```

Динамические массивы

Давайте рассмотрим создание массива 5×4 .



```
int ** m = new int * [5]; // массив указателей на строки int
for (size_t i = 0; i != 5; ++i)
    m[i] = new int [4];
```

В каждой строке может быть
разное количество элементов

Динамические массивы

Выделение и освобождение двумерного массива размера $a \times b$.

```
int ** create_array2d(size_t a, size_t b) {  
    int ** m = new int *[a];  
    for (size_t i = 0; i != a; ++i)  
        m[i] = new int [b];  
    return m;  
}  
  
// удаление массива  
  
void free_array2d(int ** m, size_t a, size_t b) {  
    for (size_t i = 0; i != a; ++i)  
        delete [] m[i]; // удаляем строки  
    delete [] m; // удаляем массив указателей на строки  
}
```

size_t – спец. тип для указания размера массива

Данная переменная не используется

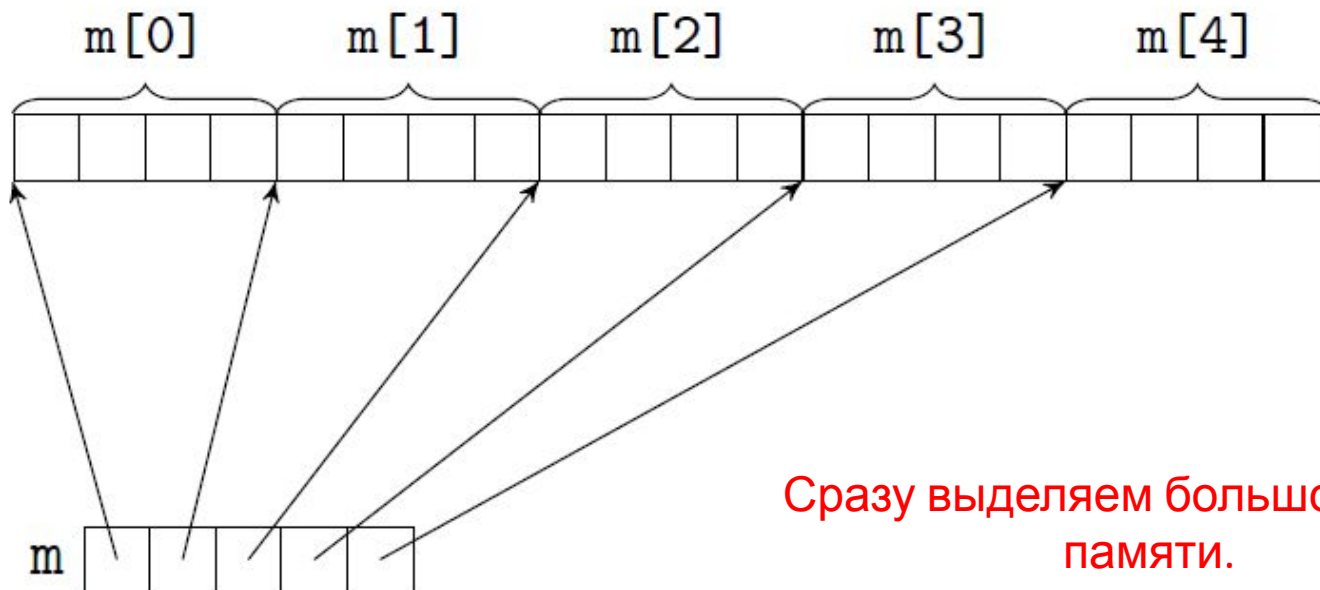
При создании массива оператор `new` вызывается $(a + 1)$ раз.

*Недостаток – фрагментация
памяти*

Двумерные массивы: эффективная схема

- Будем выделять строки массива не по отдельности, а все сразу.

Рассмотрим эффективное создание массива 5×4 .



Сразу выделяем большой объем памяти.

При таком подходе `new` вызываем 2
раза

```
int ** m = new int * [5];
```

```
m[0] = new int [5 * 4];
```

```
for (size_t i = 1; i != 5; ++i)
```

```
    m[i] = m[i - 1] + 4;
```

Указатель на 0 ячейку

Указатели на 4, 8, 12, .. ячейки

Двумерные массивы: эффективная схема

Эффективное выделение и освобождение двумерного массива размера $a \times b$.

```
int ** create_array2d(size_t a, size_t b) {
    int ** m = new int *[a];
    m[0] = new int[a * b];
    for (size_t i = 1; i != a; ++i)
        m[i] = m[i - 1] + b;
    return m;
}

void free_array2d(int ** m, size_t a, size_t b) {
    delete [] m[0];
    delete [] m;
}
```

Возвращаем указатель на
указатель на int

Освободим большой
массив указателей на
строки

При создании массива оператор `new` вызывается 2 раза.

Структуры

- Структуры – это способ объединить несколько переменных в одну.

Какая должна быть сигнатура у функции, которая вычисляет длину отрезка на плоскости?

```
double length(double x1, double y1,  
              double x2, double y2);
```

А сигнатура функции, проверяющей пересечение отрезков?

```
bool intersects(double x11, double y11,  
               double x12, double y12,  
               double x21, double y21,  
               double x22, double y22,  
               double * xi, double * yi);
```

Координаты точки
пересечения x_i, y_i

Координаты точек являются логически связанными данными, которые всегда передаются вместе.

Аналогично связаны координаты точек отрезка.

Структуры

Структуры — это способ синтаксически (и физически) сгруппировать логически связанные данные.

```
struct Point {  
    double x;  
    double y;  
};            // не забываем «;»  
  
struct Segment {                            // Структура  
    Point p1;                                Отрезок  
    Point p2;  
};  
  
double length(Segment s);                    // Функции упрощаются  
  
bool intersects(Segment s1,                    // 3 аргумента вместо 10-  
                Segment s2, Point * ти p);
```

Работа со структурами

Доступ к полям структуры осуществляется через оператор '.':

```
#include <cmath> // мат. библиотека

double length(Segment s) { // функция определения длины
    double dx = s.p1.x - s.p2.x; // отрезка
    double dy = s.p1.y - s.p2.y;
    return sqrt(dx * dx + dy * dy);
}
```

Для указателей на структуры используется оператор '->'.

```
double length(Segment * s) { // чтобы не копировать всю
    double dx = s->p1.x - s->p2.x; // структуру
    double dy = s->p1.y - s->p2.y;
    return sqrt(dx * dx + dy * dy); // p1 – уже не указатель,
} // поэтому оператор “.”
```

Можно использовать разыменованное: (*s).p1.x ~ s->p1.x

Инициализация структур

Поля структур можно инициализировать подобно массивам:

```
Point p1 = { 0.4x, 1.4y };  
Point p2 = { 1.2, 6.3 };  
Segment s = { p1, p2 };
```

Структуры могут хранить переменные разных типов.

```
struct IntArray2D {  
    size_t a; // количество строк  
    size_t b; // количество столбцов  
    int ** data; // указатель на  
                // двумерный массив  
};
```

Отличие от массивов

// структура хранит
информацию о
двумерном массиве

```
IntArray2D a = {n, m, create_array2d(n, m)};
```

// инициализация переменной

Функция выделения
двумерного массива

Задача

В коде определена следующая структура:

```
struct ivector3d  
{  
    int array[3];  
};
```

И определена следующая функция:

```
void scale(ivector3d *v, int k)  
{  
    for (int i = 0; i != 3; ++i)  
        v->array[i] *= k;  
}
```

Пусть у вас есть экземпляр *iv3d* структуры *ivector3d*.

Изначально массив *array* экземпляра *iv3d* заполнен единицами, и вы вызываете функцию *scale* следующим образом:

```
scale(&iv3d, 2);
```

Какова будет сумма элементов массива *array* внутри *iv3d* по завершению функции?

Задача

Ответ к предыдущей задаче: 6.

У вас есть та же самая структура *ivector3d* и экземпляр *iv3d* этой структуры, массив *array* которого заполнен единицами. Но теперь функция *scale* определена следующим образом:

```
void scale(ivector3d v, int k)
{
    for (int i = 0; i != 3; ++i)
        v.array[i] *= k;
}
```

И вы вызываете функцию *scale* следующим образом:
scale(iv3d, 2);

Вопрос тот же самый: какова будет сумма элементов внутри экземпляра *iv3d* после завершения функции?

- Ответ к предыдущей задаче: 3.

Методы

Важное отличие структур на языке C++ от структур в C – возможность определения методов.

Метод — это функция, определённая внутри структуры.

```
struct Segment {
    Point p1;
    Point p2;
    double length() {
        double dx = p1.x - p2.x;
        double dy = p1.y - p2.y;
        return sqrt(dx * dx + dy * dy);
    }
};

int main() {
    Segment s = { { 0.4, 1.4 }, { 1.2, 6.3 } };
    cout << s.length() << endl;
    return 0;
}
```

Отличие от функций –
внутри методов есть
доступ к полям
структуры

Инициализация структуры

Вызов метода

Оператор обращения к полям
структуры

Что выведет программа?

- Ответ к предыдущей задаче: $\sqrt{24.65}$.

Методы реализованы как функции с неявным параметром `this`, который указывает на текущий экземпляр структуры.

```
struct Point    Точка на плоскости
{
    double x;
    double y;

    void shift(/* Point * this, */
               double x, double y) {
        this->x += x;
        this->y += y;
    }
};
```

Поле текущего экземпляра

Сдвигает точку
Имена аргументов совпадают с именами полей структуры

Методы: объявление и

определение

(в заголовочный
файл)

(в .cpp-файл)

Методы можно разделять на объявление и определение:

```
struct Point
{
    double x;
    double y;

    void shift(double x, double y);    объявление
};
```

```
void Point::shift(double x, double y)    реализация
{
    this->x += x;
    this->y += y;
}
```

Методы

Использование методов позволяет объединить данные и функции для работы с ними.

```
struct IntArray2D {
    int & get(size_t i, size_t j) {
        return data[i * b + j];
    }
    size_t a;
    size_t b;
    int * data;
};
```

Данные о двумерном массиве

Метод переводит адреса из двумерного массива в соответствующие адреса для одномерного массива

Размерность массива $a \times b$

Указатель на данные массива

Одномерный массив

```
IntArray2D m = foo();
for (size_t i = 0; i != m.a; ++i)
    for (size_t j = 0; j != m.b; ++j)
        if (m.get(i, j) < 0) m.get(i, j) = 0;
```

Функция возвращает двумерный массив

В данном случае обнуляем отрицательные элементы массива

Пример

```
#include "point.hpp"
```

```
void Point::shift(double x, double y)
{
    this->x += x;
    this->y += y;
}
```

```
#pragma once
```

```
struct Point
{
    double x;
    double y;

    void shift(double x, double y);
};
```

Конструкторы

Конструкторы — это методы для инициализации структур.

```
struct Point {  
    Point() {  
        x = y = 0;  
    }  
    Point(double x, double y) {  
        this->x = x;  
        this->y = y;  
    }  
    double x;  
    double y;  
};
```

Определить конструктор – значит определить функцию с именем, совпадающим с именем Структуры и не возвращающую никакого значения (но не void)

2 аргумента

this – так как имена совпадают

```
Point p1; = {0, 0}  
Point p2(3, 7);
```

Конструктор вызывается автоматически при определении переменных

Список инициализации

- Чаще всего в конструкторах происходит инициализация полей структур.

Список инициализации позволяет проинициализировать поля до входа в конструктор.

```
struct Point {  
    Point() : x(0), y(0)    До входа в тело конструктора  
инициализируем x = 0, y = 0  
    {}  
    Point(double x, double y) : x(x), y(y) Формальные  
параметры  
    {}  
  
    double x; Сначала инициализируется  
x, потом y. Point(): y(0), x(y)  
    double y;  
};
```

Инициализации полей в списке инициализации происходит в *порядке объявления полей* в структуре.

Значения по умолчанию

а также методы и конструкторы

- Функции могут иметь значения параметров *по умолчанию*.
- Значения параметров по умолчанию нужно указывать в *объявлении функции*. (т.е. в заголовочный файл)

```
struct Point {  
    Point(double x = 0, double y = 0)  
        : x(x), y(y)  
    {}  
    double x;  
    double y;  
};
```

Такой конструктор будет работать как конструктор с 0, 1 или 2 параметрами.

```
Point p1; = {0, 0}  
Point p2(2); = {2, 0}  
Point p3(3, 4); = {3, 4}
```

Конструкторы от одного параметра

Такие конструкторы задают преобразование от значения типа аргумента к значению типа Структура.

Конструкторы от одного параметра задают *неявное* пользовательское преобразование:

```
struct Segment {      Пустое тело, однако, Point имеет конструктор
    Segment() {}
    Segment(double length)
        : p2(length, 0)
    {}
    Point p1;
    Point p2;
};
```

```
Segment s1;    = {(0, 0), (0, 0)}
Segment s2(10);    = {(0, 0), (10, 0)}
Segment s3 = 20;    = {(0, 0), (20, 0)}
```

- Неявное преобразование

Конструкторы от одного параметра

Для того, чтобы запретить *неявное* пользовательское преобразование, используется ключевое слово `explicit`.

```
struct Segment {  
    Segment() {}  
    explicit Segment(double length)  
        : p2(length, 0)  
    {}  
    Point p1;  
    Point p2;  
};
```

Используется только для конструкторов одного параметра

```
Segment s1;  
Segment s2(10);  
Segment s3 = 20; // error
```

Можно вызвать явно
Неявно нельзя. Защита от неявных преобразований

Конструкторы от одного параметра

Неявное пользовательское преобразование, задаётся также конструкторами, которые могут принимать один параметр.

```
struct Point {  
    explicit Point(double x = 0, double y = 0)  
        : x(x), y(y)  
    {}  
    double x;  
    double y;  
};
```

Такой конструктор может быть вызван как конструктор с одним параметром. Поэтому может возникнуть неявное преобразование. Explicit защитит от неявных преобразований

```
Point p1;  
Point p2(2);  
Point p3(3,4);  
Point p4 = 5; // error
```

Конструктор по умолчанию

Если у структуры нет конструкторов, то конструктор без параметров, *конструктор по умолчанию*, генерируется компилятором.

```
struct Segment {  
    Segment(Point p1, Point p2)  
        : p1(p1), p2(p2)  
    {}  
    Point p1;  
    Point p2;  
};
```

Для такой структуры невозможно определить переменную, не указав аргументы конструктора

```
Segment s1; // error  
Segment s2(Point(), Point(2,1)); = {(0,0), (2,1)}
```

Деструктор

Деструктор — это метод, который вызывается при удалении структуры, генерируется компилятором.

```
struct IntArray {  
    explicit IntArray(size_t size)  
        : size(size)  
        , data(new int[size])  
    { }  
};
```

Однако, деструктор
можно
переопределить

«Тильда»

```
~IntArray() {  
    delete [] data;  
}
```

В деструкторе удалим дин.
память, выделенную в

Деструктор всегда 1, он не имеет
параметров

```
size_t size; Размер массива  
int * data; Указатель на динамический массив
```

```
};
```

Время жизни

Время жизни — это временной интервал между вызовами конструктора и деструктора.

```
void foo()
{
    IntArray a1(10); // создание a1
    IntArray a2(20); // создание a2
    for (size_t i = 0; i != a1.size; ++i) {
        IntArray a3(30); // создание a3
        ...
    } // удаление a3
} // удаление a2, потом a1
```

Переменная определена в теле цикла

Удаление на каждой итерации цикла

Деструктор вызывается при выходе из функции

Деструкторы переменных на стеке вызываются в обратном порядке (по отношению к порядку вызова конструкторов).

Объекты в динамической памяти

Для создания объекта в динамической памяти используется оператор `new`, он отвечает за вызов конструктора.

```
struct IntArray {  
    explicit IntArray(size_t size);  
    ~IntArray();  
  
    size_t size;  
    int * data;  
};
```

Удаление

При вызове оператора `delete` вызывается деструктор объекта.

```
// выделение памяти и создание объекта
IntArray * pa = new IntArray(10);

// вызов деструктора и освобождение памяти
delete pa;
```

Операторы `new []` и `delete []` работают аналогично

```
// выделение памяти и создание 10 объектов
// (вызывается конструктор по умолчанию)
IntArray * pa = new IntArray[10];

// вызов деструкторов и освобождение памяти
delete [] pa;
```

Модификаторы доступа

Модификаторы доступа позволяют ограничивать доступ к методам и полям класса.

```
struct IntArray {
    explicit IntArray(size_t size)
        : size_(size), data_(new int[size])
    {}
    ~IntArray() { delete [] data_; }

    int & get(size_t i) { return data_[i]; }
    size_t size()      { return size_; }

private:
    size_t size_;
    int * data_;
};
```

Никакая внешняя функция не сможет обращаться к полям private. Только методы класса

Ключевое слово class

Ключевое слово `struct` можно заменить на `class`, тогда поля и методы по умолчанию будут `private`.

```
class IntArray {
public:
    explicit IntArray(size_t size)
        : size_(size), data_(new int[size])
    {}
    ~IntArray() { delete [] data_; }

    int & get(size_t i) { return data_[i]; }
    size_t size()      { return size_; }

private:
    size_t size_; Размер массива
    int * data_; Указатель на динамический массив
};
```

По умолчанию все поля класса являются `private`

Публичный интерфейс

- Это набор методов, доступных внешнему пользователю класса.

```
struct IntArray {  
    ...  
    void resize(size_t nsize) {  
        int * ndata = new int[nsize];  
        size_t n = nsize > size_ ? size_ : nsize;  
        for (size_t i = 0; i != n; ++i)  
            ndata[i] = data_[i];  
        delete [] data_;  
        data_ = ndata;  
        size_ = nsize;  
    }  
private:  
    size_t size_;  
    int * data_;  
};
```

Функция изменяет размер массива

Поля закрытые, т.к. иначе пользователь мог бы изменить размер массива size_, не изменив при этом сам массив data_

Абстракция

- Выделение публичного интерфейса позволяет абстрагироваться от конкретной реализации данного класса.
- Допустим, мы хотим оптимизировать класс `IntArray`

```
struct IntArray {  
public:  
    explicit IntArray(size_t size)  
        : size_(size), data_(new int[size])  
    {}  
    ~IntArray() { delete [] data_; }  
  
    int & get(size_t i) { return data_[i]; }  
    size_t size()      { return size_; }  
  
private:  
    size_t size_; Размер массива  
    int * data_; Указатель на динамический массив  
};
```

Т.к. массив целочисленный, то можно хранить размер массива в самом массиве

Абстракция

- Внешние пользователи класса работают только с публичным интерфейсом, можно изменить реализацию класса, не меняя публичный интерфейс.

```
struct IntArray {  
public:  
    explicit IntArray(size_t size)  
        : data_(new int[size + 1])  
    {  
        data_[0] = size;  
    }  
    ~IntArray() { delete [] data_; }  
  
    int & get(size_t i) { return data_[i + 1]; }  
    size_t size()      { return data_[0]; }  
  
private:  
    int * data_;  
};
```

На 1 элемент
больше

Оставляем только 1 поле

При этом сигнатура публичных методов не
изменилась

Определение констант

Иногда возникает необходимость защитить данные от случайного или специального изменения

- Ключевое слово const позволяет определять типизированные константы.

```
double const pi = 3.1415926535;  
int const day_seconds = 24 * 60 * 60;  
// массив констант  
int const days [12] = {31, 28, 31, 30, 31, 30,  
                      31, 31, 30, 31, 30, 31};
```

Кол-во дней в
месяцах в
невесокосно
м году

- Попытка изменить константные данные приводит к неопределённому поведению.

```
int * may = (int *) &days [4];  
*may = 30;
```

Адрес
месяца
«май»

Указатели и const

В C++ можно определить как константный указатель, так и указатель на константу:

```
int a = 10;
const int * p1 = &a; // указатель на константу
int const * p2 = &a; // указатель на константу
*p1 = 20; // ошибка Не можем поменять значение, но
p2 = 0; // ОК можем поменять адрес

int * const p3 = &a; // константный указатель
*p3 = 30; // ОК Сможем менять значение по данному
p3 = 0; // ошибка указателю (зн-е переменной a), но не сможем
// константный указатель на константу менять тот адрес, который хранится в данном
// константный указатель на константу указателе
int const * const p4 = &a;
*p4 = 30; // ошибка
p4 = 0; // ошибка
```

Указатели и const

- Для того, чтобы избежать путаницы при использовании указателей с ключевым словом `const`, можно использовать следующее правило:

“слово `const` делает неизменяемым тип слева от него”.

```
int a = 10;
int * p = &a; p хранит адрес переменной a

// указатель на указатель на const int
int const ** p1 = &p; Ключевое слово const сделает константным значение типа int

// указатель на константный указатель на int
int * const * p2 = &p; Константным станет значение int * (не сможем менять значение, на которое указывает p2, т.е. зн-е p)

// константный указатель на указатель на int
int ** const p3 = &p; Не сможем перенаправить p3 на другой адрес, но сможем менять значения
```

Книги и интернет-источники на заметку

- Дейтел Х., Дейтел П. Как программировать на C++. — Бином-Пресс, 2009. — 800 с.
- Липпман С., Лажойе Ж. Язык программирования C++. Вводный курс. — Невский Диалект, ДМК Пресс. — 1104 с.
- Липпман С., Лажойе Ж., Му Б. Язык программирования C++. Вводный курс. — Вильямс, 2007. — 4-е изд. — 896 с.
- Мейерс С. Эффективный и современный C++: 42 рекомендации по использованию C++11 и C++14. — Вильямс, 2015.
- Петров А.В. Достижима ли в C++ эффективность языка «среднего уровня»? / DEV Labs C++ 2013.
- Прата С. Язык программирования C++. Лекции и упражнения. — Вильямс, 2012. — 6-е изд. — 1248 с.: ил.
- Саттер Г. Новые сложные задачи на C++. — Вильямс, 2005. — 272 с.
- Саттер Г. Решение сложных задач на C++. — Вильямс, 2008. — 400 с.
- Саттер Г., Александреску А. Стандарты программирования на C++. — Вильямс, 2008. — 224 с.
- Седжвик Р. Алгоритмы на C++. — Вильямс, 2011. — 1056 с.

Книги и интернет-источники на заметку

- Страуструп Б. Программирование. Принципы и практика использования C++. — Вильямс, 2011. — 1248 с.
- Страуструп Б. Язык программирования C++. — Бином, 2011. — 1136 с.
- Шилдт Г. C++: базовый курс. — Вильямс, 2008. — 624 с.
- Шилдт Г. C++. Методики программирования Шилдта. — Вильямс, 2009. — 480 с.
- Шилдт Г. Полный справочник по C++. — Вильямс, 2007. — 800 с.
- Abrahams, D., Gurtovoy, A. *C++ Template Metaprogramming: Concepts, Tools, and Techniques from Boost and Beyond* (Addison Wesley Professional, 2004).