Лекция 1

Язык программирования C++

Язык C++

- Компилируемый статически типизированный язык программирования общего назначения
- Совместим с языком C
  - Но не C99
- Поддержка разных парадигм
  - Процедурное, объектно-ориентированное, обобщенное, функциональное, метапрограммирование

Программа Hello, World!

```
/*
    Программа, выводящая строку "Hello, world!" в стандартный поток вывода
*/

#include <iostream>

void main()
{
    // Вывод в стандартный поток вывода
    std::cout << "Hello, world!" << std::endl;
}
```

Константы

Константы

- Числовые константы
  - Целые числа и числа с плавающей запятой
- Логические константы
  - true и false
- Символьные константы
- Строковые константы
- [Документация]

Числовые константы

- Десятичные
  - `12345, -34021`
  - `999999`**L**`, 99983`**UL**
- Шестнадцатеричные
  - **0x**`FeedBeef, `**0x**`328aadb`
- Восьмеричные
  - **0**`03, `**0**`723`
- Вещественные
  - `1.35, 8.45f`
  - `2e+10f, -3.835e-6L`

Логические константы

- Логическая константа **true** служит для обозначения логического значения «Истина», а константа **false** – значения «Ложь»

```
int i = 5;
bool isEven = ((i % 2) == 0);
bool everythingIsOK = false;

if (isEven)
{
    everythingIsOK = true;
}
```

Символьные константы

- Записывается в виде символа, обрамленного одиночными кавычками
  - `'A', '1'`
- Значение символьной константы – **числовой код** символа из набора символов на данной машине
- Некоторые символы записываются в виде escape-последовательностей, начинающихся с символа ****
  - `'\'', '\0', '\n', '\177', '\xff'`

Строковые константы (строковые литералы)

- Нуль или более символов, заключенных в двойные кавычки
  - `"Hello, world\n"`
  - `""`
  - `"Hello " "world\n"` эквивалентно `"Hello world\n”`
- Во внутреннем представлении строковая константа – массив символов, завершающийся символом с кодом 0 (‘\0’)
- Есть возможность объявления «сырых строковых литералов» (raw string literals), не требующих использования escape-последовательностей

```cpp
#include <iostream>
#include <string>

void main()
{
	char letterA = 'A';
	char eol = '\n';

	// Символы, вроде " и \ внутри строковых литералов необходимо экранировать
	std::string filePath = "c:\\path\\to\\file.txt";

	// Либо использовать raw string literals
	std::string filePath1 = R"(c:\path\to\file.txt)";

	// Можно сцеплять несколько строковых литералов в один
	std::string multiLineString =
		"<html>\n"
		"\t<body>\n"
		"\t\t<p style=\"color:red;\"></p>"
		"\t</body>"
		"</html>";

	// При помощи raw string literal можно упростить задание строк, содержащих спецсимволы
	std::string htmlPage = R"marker(<html>
	<body>
		<p style="color:red;">Hello, world</p>
	</body>
</html>)marker";
}
```

Содержимое строки между “**<идентификатор>(**“ и “**)<идентификатор>**” воспринимается без преобразований

Представление строковой константы в памяти

H	e	l	l	o	,		W	o	r	l	d	\0
72	101	108	108	111	44	32	87	111	114	108	100	0

Типы данных

Типы данных языка С++

- Целые числа различных размеров со знаком или без
  - int, short, char
- Числа с плавающей запятой различной размерности
  - float, double, long double
- Логический тип
  - bool
- Перечисляемые типы (enum)
- Структуры (struct)
- Объединения (union)
- Массивы

Базовые типы данных

- Типы данных целых чисел
  - char
  - int
  - модификаторы
    - short/long
    - unsigned/signed
- Логический тип
  - bool
- Типы данных вещественных чисел
  - float
  - double

Объявления переменных

- Переменные объявляются раньше их использования
  - ```
    int lower, upper, step;
    char c, line[1000];
    bool success;
    ```
- При объявлении переменные могут быть инициализированы
  - ```
    char esc = '\\';
    int i = 0;
    int limit = MAXLINE + 1;
    float eps = 1.0e-5f;
    bool success = true;
    ```
- Модификатор **const** указывает, что значение переменной не будет далее изменяться
  - ```
    const double e = 2.71828182845905;
    const char msg[] = "предупреждение: ";
    int strlen(const char str[]);
    ```
    ```

Объявление локальных переменных и констант

```
void main()
{
  // Объявление переменной carSpeed типа double
  double carSpeed;
  carSpeed = 45.8;

  // Объявление переменной можно совместить с ее инициализацией
  int userAge = 20;
  float x = 12.6f;

  // Объявление константной переменной - переменной,
  // значение которой не может быть изменено после инициализации
  // Константа при объявлении всегда должна быть проинициализирована
  const double SPEED_OF_LIGHT = 299792458.0;
  const int SECONDS_IN_HOUR = 3600;
  const int HOURS_IN_DAY = 24;

  // Константа может быть также проинициализирована в результате выражения
  const int SECONDS_IN_DAY = SECONDS_IN_HOUR * HOURS_IN_DAY;
}
```

Автоматическое определение типа переменной

```
void main()
{
  // double
  auto PI = 3.14159265;

  // const float
  const auto E = 2.71828f;

  // float
  auto e2 = E * 2;

  // const double
  const auto halfPI = PI / 2;

  // long double
  auto sqrtPi = sqrt(PI);
}
```

Область видимости переменной

```
void main()
{
  // Область видимости переменной ограничена блоком, внутри которого она объявлена
  std::string userName = "Ivan Petrov";
  int age = 10;

  {
    // Переменная из внутренноего блока может иметь имя, совпадающее с именем из внешнего блока
    // При этом внутри этого блока она замещает собой одноименную переменную из внешнего блока
    std::string userName = "Sergey Ivanov";
    assert(userName == "Sergey Ivanov");

    // Тип переменной из вложенного блока может быть другим
    double age = 7.7;

    // Лучше, все-же отказаться от разных переменных в одном блоке
  }
  // При возврате во внешний блок видимой снова становится внешняя переменная
  assert(userName == "Ivan Petrov");
}
```

Объявление глобальных переменных

variables.h

```
#pragma once

// Объявление глобальной переменной как внешней
// Это позволяет ссылаться на нее из файлов,
// отличных от того, где она фактически определена
extern int someOtherGlobalVariableDeclaredInVariablesCpp;
```

variables.cpp

```
#include "variables.h"

// Глобальная переменная. Из других файлов к ней можно обратиться объявив ее внешней (extern)
int globalVariableDeclaredInVariablesCpp = 12345;

// Еще одна глобальная переменная. В файле variable.h она объявлена как extern
int someOtherGlobalVariableDeclaredInVariablesCpp = 54321;

// Статическая глобальная переменная. Ее область видимости - текущий .cpp файл
// В разных .cpp файлах одной и той же программы могут быть объявлены разные
// статические глобальные переменные. Они будут полностью изолированы друг от друга
static int staticVariable = 66;
```

Использование глобальных переменных

main.cpp

```
#include "variables.h"

// Переменная, объявленная вне функции является глобальной. // Ее область видимости - вся программа
int someGlobalVariable = 38;
// По умолчанию глобальные переменные инициализируются нулями
int someZeroInitializedGlobaleVariable;

void main()
{
  assert(someZeroInitializedGlobaleVariable == 0);

  // Локальная переменная замещает собой одноименные глобальные переменные
  int someGlobalVariable = 22;
  assert(someGlobalVariable == 22);
  // К глобальной переменной все же можно обратиться по ее полному имени
  assert(::someGlobalVariable == 38);

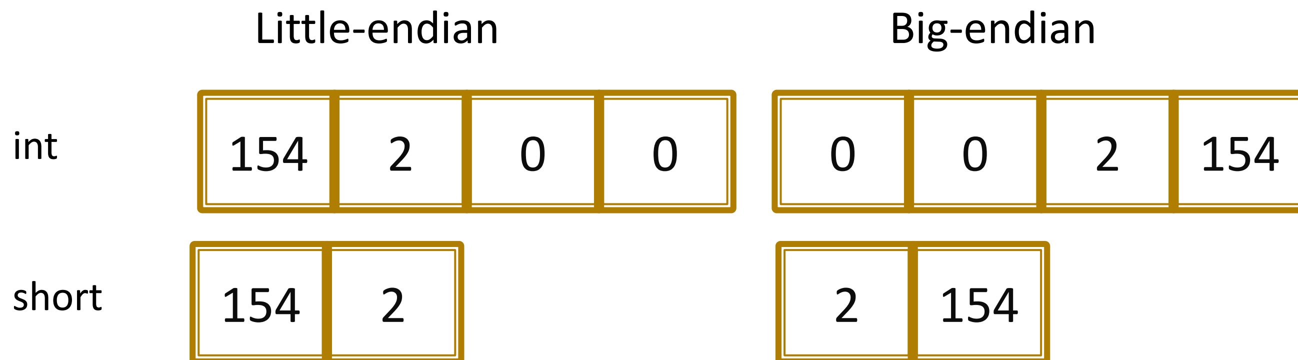
  // Глобальные переменные, объявленные в других cpp-файлах
  // Переменная globalVariableDeclaredInVariablesCpp объявлена в файле variables.cpp
  // Чтобы обратиться к ней из других файлов, нужно предварительно объявить
  // ее внешней при помощи ключевого слова extern
  extern int globalVariableDeclaredInVariablesCpp;
  assert(globalVariableDeclaredInVariablesCpp == 12345);

  // А эта переменная была объявлена внешней в подключенном нами заголовочном файле variables.h
  assert(someOtherGlobalVariableDeclaredInVariablesCpp == 54321);
}
```

Ключевое слово typedef

- Язык Си++ предоставляет оператор **typedef**, позволяющий давать типам данных новые имена
  - После этого новое имя типа может использоваться в качестве **синонима** оригинала
- Причины использования **typedef**
  - Решение проблемы переносимости
    - На разных платформах/компиляторах один и тот же тип может иметь различный размер
  - Желание сделать текст программы более

Пример использования оператора typedef

```
typedef int Length;
Length len, maxlen;
len = 1;

typedef double real;

typedef int int32;
typedef short int16;
typedef char int8;

int32 counter = 0;

real x = 0.3;
```

Целочисленные типы данных

- Служат для хранения целых чисел различного размера
  - char
  - short (short int)
  - int
  - long (long int)
- Целые числа могут быть как со знаком, так и без него
  - signed
  - unsigned
- Гарантируется следующее соотношение размеров целочисленных типов:
  - sizeof(char) <= sizeof(short)
  - sizeof(short) <= sizeof(int)
  - sizeof(int) <= sizeof(long)

Знаковые и беззнаковые целые числа

- Типы int и short (без модификатора) являются знаковыми
  - int = signed int
  - short = signed short
- Тип char, **как правило**, тоже знаковый
  - char = signed char
  - Это поведение может изменяться при помощи настроек некоторых компиляторов

Представление целых чисел в памяти компьютера

- Тип char занимает одну ячейку памяти (байт) размером, как правило, 8 бит
  - Возможны системы, в которых разрядность байта не равна 8 битам
- Типы short и int, занимают размер, кратный размеру типа char
  - Размер типа short <= Размер типа int
  - При этом число записывается в позиционной системе счисления с основанием $2^{\text{разрядность байта}}$
  - Порядок записи байтов, представляющих число в памяти, зависит от архитектуры системы
    - Little-endian, big-endian, middle-endian

Пример представления числа 666 в виде типа short и int

Дано:
разрядность типа char = 8 бит
разрядность типа short = 16 бит
разрядность типа int = 32 бита

$666_{256} = 2 * 256 + 154 * 1$



Типы данных с плавающей запятой

- Позволяют задавать вещественные числа различного размера и точности
  - float
  - double
  - long double
- Гарантированы следующие соотношения размеров вещественных типов данных
  - sizeof(float) <= sizeof(double)
  - sizeof(double) <= sizeof (long double)

Пример использования вещественных чисел

```
const float PI = 3.1415927f;

double sin60 = 0.86602540378443864676372317075294;

double FahrengeitToCelsius(double fahr)
{
    return (fahr - 32) * 5.0 / 9.0;
}

float DegreesToRadian(float degrees)
{
    return degrees * PI / 180.0f;
}
```

Перечислимый тип данных

Перечисляемые типы данных (перечисления)

- Позволяет задать ограниченный набор именованных целочисленных значений
  - День недели
  - Состояние конечного автомата
  - Модель компьютера и т.д
- Особенности
  - Имена в различных перечислениях должны отличаться друг от друга
  - Значения внутри одного перечисления могут совпадать:
    - `enum Status {Ok, Failure, Success = Ok};`

Пример использования перечислимых типов

```
#include <stdio.h>

enum WeekDay
{
     SUNDAY = 0,
     MONDAY,
     TUESDAY,
     WEDNESDAY,
     THURSDAY,
     FRIDAY,
     SATURDAY,
};

int main()
{
     WeekDay today = SUNDAY;
     printf("Today is %d\n", today);

     today++;
     printf("Tomorrow will be %d\n", today);
     return 0;
}
```

```
Today is 0
Tomorrow will be 1
```

Scoped enum

- Появились в C++11
- Ограничивают область видимости значений перечислимого типа именем перечисления
- Позволяют преодолеть ограничение традиционного enum-а на уникальность значений

Проблема традиционного enum-а

```
enum TrafficLightColor
{
    Red, Yellow, Green
};

// Не скомпилируется, т.к. значение Red уже используется TrafficLightColor
enum CarColor
{
    Black, Red, White
};

// Вот так скомпилируется
enum CarColor
{
    RedCarColor, BlackCarColor, WhiteCarColor
};
```

Решение со Scoped enum

```
enum class TrafficLightColor // или enum struct TrafficLightColor
{
    Yellow, Red, Green
};

enum class CarColor
{
    Red, Black, White
};

void main()
{
    TrafficLightColor color1 = TrafficLightColor::Red;
    CarColor color2 = CarColor::Red;
}
```

Пример использования логического типа данных

```
double CalculateCircleRadius(double area)
{
    bool argumentIsValid = (area >= 0);
    if (argumentIsValid)
    {
        return sqrt(area / 3.14159265);
    }
    else
    {
        return -1;
    }
}
```

Набор используемых символов

- Используются почти все графические символы ASCII таблицы (кроме @ и $)
- Язык является чувствительным к регистру символов
  - Для записи операторов используются строчные буквы
  - Для записи идентификаторов – цифры, заглавные и строчные буквы и символ подчеркивания
    - Идентификатор не может начинаться с цифры

Основные операторы языка Си

- Общие
  - Арифметические операторы и оператор присваивания
  - Логические операторы и операторы сравнения
  - Оператор sizeof
- Управление ходом выполнения программы
  - Условные операторы
  - Операторы циклов
  - Оператор множественного выбора
- Операторы для работы с массивами, структурами и объединениями
- Операторы для работы с указателями

Арифметические операторы

- Бинарные
  - +
  - -
  - *
  - /
  - % (остаток от деления – применяется только к целым)
    - `int i = 10 % 3; /* i = 1; */`
  - Деление целых сопровождается отбрасыванием дробной части
    - `float f = 8 / 3; /* f = 2.0 */`
- Унарные (ставятся перед операндом)
  - +
    - `int i = +1;`
  - -
    - `int j = -8;`

Пример

```
if (
    ((year % 4 == 0) && (year % 100 != 0)) ||
    (year % 400 == 0)
    )
    printf("%d високосный год\n", year);
else
    printf("%d невисокосный год\n", year);
```

Операторы отношения

- Операторы отношения
  - >
  - >=
  - <
  - <=
- Операторы сравнения на равенство
  - ==
  - !=
- Логические операторы
  - && - логическое **И**
    - ```
      char ch = getchar();
      int isDigit = (ch >= '0') && (ch <= '9');
      ```
  - || - логическое **ИЛИ**
    - ```
      char ch = getchar();
      if ((ch == ' ') || (ch == '\n') || (ch == '\t'))
          printf("Разделитель");
      ```
  - ! – логическое **НЕ**
    - `if (!valid)` эквивалентно `if (valid == 0)`
  - Вычисления операторов **&&** и **||** прекращаются как только станет известна истинность или ложность результата

Пример

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char * argv[])
{
    int ch;
    char buffer[10];
    const int MAX_SIZE = sizeof(buffer) - 1;
    int len = 0;

    while ((len < MAX_SIZE) &&
        ((ch = getchar()) != EOF))
    {
        buffer[len++] = ch;
    }
    buffer[len] = '\0';
    return 0;
}
```

Операторы инкремента и декремента

- Увеличивают или уменьшают значение операнда на 1
  - ++
  - --
- Имеют две формы
  - Префиксная форма (возвращает новое значение аргумента)
    - ```
      int i = 0;
      int j = ++i; /* i = 1; j = 1; */
      ```
  - Постфиксная форма (возвращает старое значение аргумента)
    - ```
      int i = 0;
      int j = i--; /* i = -1; j = 0; */
      ```
- Операторы инкремента и декремента можно применять только к переменным
  - `int i = (j + y)++; /* ошибка */`

Побитовые операторы

- Данные операторы позволяют осуществлять операции над отдельными битами целочисленных операндов
  - & - побитовое **И**
    - `int i = 0xde & 0xf0; /* i = 0xd0 */`
  - | - побитовое **ИЛИ**
    - `int i = 0xf0 | 0x03; /* i = 0xf3 */`
  - ^ - побитовое исключающее ИЛИ
    - `int i = 0x03 ^ 0x02; /* i = 0x01 */`
  - << - сдвиг влево
    - `int i = 1 << 3; /* i = 8 */`
  - >> - сдвиг вправо
    - `int i = 0xd0 >> 4; /* i = 0x0d */`
  - ~ - побитовое отрицание (унарный оператор).
    - `char i = ~0x1; /* i = 0xfe (0xfe = 11111110b) */`

Пример: функция getbits

```
/* getbits: получает n бит, начиная с p-й позиции */
unsigned getbits(unsigned x, int p, int n)
{
    return (x >> (p+1-n)) & ~(~0 << n);
}
```

						n = 7									
1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
						p									

(x >> (9 + 1 – 7)) =

0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

~0 =

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

~0 << 7 =

1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

~(~0 << 7) =

0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

(x >> (9 + 1 – 7)) & ~(~0 << 7) =

0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&	&
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0

Операторы и выражения присваивания

- Служат для присваивания переменным значения некоторого выражения
  - i = 3;
  - i += 8;
  - i <<= 1;
  - j %= 3;
- Типом и значением выражения присваивания является тип и значение левого операнда после завершения присваивания

```
while ((c = getchar()) != EOF)
{
    // do something
}
```

Пример: функция bitcount

```
/* bitcount: подсчет количества единичных битов в числе x */
int bitcount(unsigned x)
{
   int b;
   for (b = 0; x != 0; x >>= 1)
   {
      if (x & 0x01)
         ++b;
   }
   return b;
}
```

Преобразование типов в стиле С

- Происходит, когда операнды оператора принадлежат к разным типам
- Неявное преобразование
  - `int i = 7.0 + 3 - 2.0f;`
- Явное преобразование
  - `int i = (int)(7.0 + 3 - 2.0f);`
- Если один из аргументов является знаковым целым, а второй беззнаковым, результатом будет целое число **без знака**

Опасность неявного приведения типов

```
int CenterPictureOnTheScreen(
    int pictureWidth, unsigned screenWidth)
{
    return (screenWidth - pictureWidth) / 2;
}

int main(int argc, char * argv)
{
    unsigned screenWidth = 100;

    unsigned pic1Width = 50;
    int pic1X = CenterPictureOnTheScreen(pic1Width, screenWidth);
    // pic1x = 25: ok

    unsigned pic2Width = 150;
    int pic2X = CenterPictureOnTheScreen(pic2Width, screenWidth);
    // pic2x = 2147483623: error
    return 0;
}
```

Решение проблемы – явное приведение типов

```
int CenterPictureOnTheScreen(
    int pictureWidth, unsigned screenWidth)
{
    return ((int)screenWidth - pictureWidth) / 2;
}

int main(int argc, char * argv)
{
    unsigned screenWidth = 100;

    unsigned pic1Width = 50;
    int pic1X = CenterPictureOnTheScreen(pic1Width, screenWidth);
    // pic1x = 25: ok

    unsigned pic2Width = 150;
    int pic2X = CenterPictureOnTheScreen(pic2Width, screenWidth);
    // pic2x = -25:ok
    return 0;
}
```

Недостатки оператора преобразования типов в стиле С

- Несмотря на свою простоту данный способ преобразования типов обладает рядом недостатков
  - Допускаются потенциально некорректные преобразования типов, зачастую без информирования разработчика
  - Сложно найти в тексте программы

Пример

```
void Test(double doubleValue)
{
    int intValue = (int)&doubleValue;
    …
}

struct Point
{
    double x;
    double y;
};
void Test1(const Point * p)
{
    /*  программист отвлекся и вместо
        int x = (int)p->x;
        написал: */
    int x = (int)p;
}
```

Преобразование типов в стиле C++

- В языке C++ введены 4 оператора приведения типов
  - static_cast<Type>(arg)
  - dynamic_cast<Type>(arg)
  - const_cast<Type>(arg)
  - reinterpret_cast<Type>(arg)
- Каждый из данных операторов применяется для определенного преобразования типов в конкретной ситуации
- В программах на C++ следует отдавать предпочтение данным операторам

Оператор static_cast

- Применяется для статического преобразования одного типа к другому
- Также может применяться для статического преобразования типов указателей в пределах иерархии классов

Пример

```
void Test(double doubleValue)
{
    // Ошибка компиляции
    int intValue = static_cast<int>(&doubleValue);
}

struct Point
{
    double x;
    double y;
};

void Test1(const Point * p)
{
    int x = static_cast<int>(p->x);   // ok
    int y = static_cast<int>(p);      // ошибка компиляции
}
```

Оператор dynamic_cast

- Применяется для динамического преобразования типов в пределах иерархии классов
  - (об этом позже)

Оператор const_cast

- Применяется для снятия константности с константного выражения

```
int k = 0;
const int * pConstK = &k;
int * pK = const_cast<int*>(pConstK);

const int & constRefK = k;
int & refK = const_cast<int&>(constRefK);
```

Оператор reinterpret_cast

- Может применяться для преобразования между целочисленными типами и указателями, а также между указателями на несвязанные друг с другом типы данных

```
int main(int argc, char * argv)
{
    float x = 30.3;
    unsigned y = *reinterpret_cast<int*>(&x);

    // берем четвертый бит двоичной записи числа 30.3
    unsigned z = y & (1 << 4);

    return 0;
}
```

Условное выражение

- Условное выражение имеет вид:
  выр1 ? выр2 : выр3
  - Сначала вычисляется выражение 1
  - Если оно истинно (не равно нулю), то вычисляется выражение 2 и его значение становится значением всего условного выражения
  - В противном случае вычисляется выражение 3 и становится значением всего условного выражения
- Пример
  - `z = (a > b) ? a : b; /* z = max(a, b)*/`

Приоритет и очередность выполнения операторов

Операторы											Выполняются
()	[]	->	.								слева направо
!	~	++	--	+	-	*	&	(type)	sizeof		справа налево
*	/	%									слева направо
+	-										слева направо
<<	>>										слева направо
<	<=	>	>=								слева направо
==	!=										слева направо
&											слева направо
^											слева направо
|											слева направо
&&											слева направо
||											слева направо
?:											справа налево
=	+=	-=	*=	/=	%=	&=	^=	|=	<<=	>>=	справа налево
,											слева направо

Управление выполнением программы

Инструкции и блоки

- Выражение (например, x = 0) становится инструкцией, если в конце поставить точку с запятой
  - x = 0;
  - printf(“Hello”);
  - В Си точка с запятой является заключающим символом инструкции, а не разделителем, как в языке Паскаль.
- Фигурные скобки { и } используются для объединения объявлений и инструкций в ***составную инструкцию***, или ***блок***
  - с т.з. синтаксиса языка блок воспринимается как одна инструкция

Блоки и область видимости

- Переменные видимы внутри того блока, где она объявлена
- При покидании своего блока видимости переменная уничтожается, а занимаемая ею область памяти – освобождается
  - (автоматическое управление памятью)

```
int main(int argc, char * argv)
{
    int a = 0;
    if (argc > 1)
    {
        int b = argc - 1;
    }
    return 0;
}
```

Конструкция if-else

- Оператор **if** позволяет выполнить тот или иной участок кода в зависимости от значения некоторого выражения
  - if (<выражение>)
    <инстр.1>
else
    <инстр.2>
  - if (<выражение>)
    <инстр>

Конструкция else-if

- Позволяет осуществлять многоступенчатое решение
  - ```
    if (выражение)
        инструкция
    else if (выражение)
        инструкция
    else if (выражение)
        инструкция
    else if (выражение)
        инструкция
    else
        инструкция
    ```
    ```

Пример, бинарный поиск

```
/* binsearch: найти x в v[0] <= v[1] <= ... <= v[n-1] */
int binsearch(int x, const int v[], int n)
{
    int low, high, mid;

    low = 0;
    high = n - 1;
    while (low <= high)
    {
        mid = (low + high) / 2;
        if (x < v[mid])
            high = mid - 1;
        else if (x > v[mid])
            low = mid + 1;
        else /* совпадение найдено */
            return mid;
    }
    return -1; /* совпадения нет */
}
```

Оператор switch

- Используется для выбора одного из нескольких путей
  - Осуществляется проверка на совпадение значения выражения с одной из некоторого набора целых констант, и выполняет соответствующую ветвь программы
- Инструкция break выполняет выход из блока switch

```
switch (выражение)
{
    case конст-выр: инструкции
    case конст-выр: инструкции
    default: инструкции
}
```

```cpp
#include <string>
#include <iostream>
#include <cassert>

enum class WeekDay
{
  Sunday, Monday, Tuesday, Wednesday,
  Thursday, Friday, Saturday
};

std::string WeekDayToString(const WeekDay & weekDay)
{
  switch (weekDay)
  {
  case WeekDay::Sunday:    return "Sunday";
  case WeekDay::Monday:    return "Monday";
  case WeekDay::Tuesday:   return "Tuesday";
  case WeekDay::Wednesday: return "Wednesday";
  case WeekDay::Thursday:  return "Thursday";
  case WeekDay::Friday:    return "Friday";
  case WeekDay::Saturday:  return "Saturday";
  default:
    assert(!"This is not possible");
    return "";
  }
}

void main()
{
  std::cout << WeekDayToString(WeekDay::Sunday) << std::endl;
}
```

```cpp
#include <iostream>

int main() /* подсчет цифр, символов-разделителей и прочих символов */
{
  int numSpaces = 0;
  int numDigits[10] = {};
  int numOther = 0;
  char ch;
  while (std::cin.get(ch))
  {
    switch (ch)
    {
    case '0': case '1': case '2': case '3': case '4':
    case '5': case '6': case '7': case '8': case '9':
      ++numDigits[ch - '0'];
      break;
    case ' ':  case '\n': case '\t':
      ++numSpaces;
      break;
    default:
      ++numOther;
    }
  }

  std::cout << "Digits:";
  for (int n : numDigits)
  {
    std::cout << " " << n;
  }
  std::cout << ", whitespaces: " << numSpaces << ", other: " << numOther << std::endl;
  return 0;
}
```

Циклическое выполнение

Что такое циклическое выполнение

- **Цикл** – последовательность из нескольких операторов, указываемая в программе один раз, которая выполняется несколько раз подряд
  - Допускается существование **бесконечного цикла**
- **Тело цикла** - последовательность операторов, предназначенная для многократного выполнения в цикле

Циклическое выполнение в языке Си

- Циклическое выполнение в языке Си осуществляется при использовании следующих операторов цикла:
  - while
  - for
  - do..while
- Внутри циклов могут использоваться операторы управления работой цикла:
  - **break** для досрочного выхода из цикла
  - **continue** для пропуска текущей итерации

Оператор while

- Оператор **while** служит для организации **циклов с предусловием**
  - цикл, который выполняется, пока истинно некоторое условие, указанное перед его началом
- Синтаксис
  - **`while (`*`выражение`*`)`**
    _`инструкция`_
  - ***Инструкция*** (тело цикла) выполняется до тех пор, пока ***выражение*** принимает ненулевое значение

Пример: нахождение наибольшего общего делителя

```
// Поиск наибольшего общего делителя чисел a и b
{
  unsigned a = 714;
  unsigned b = 312;
  cout << "Greatest Common Denominator of " << a << " and " << b << " is ";
  while (b != 0)
  {
    swap(a, b);
    b = b % a;
  }
  cout << max(a, 1u) << endl;
}
```

Оператор for

- Оператор for служит для организации **циклов со счетчиком**
- Синтаксис
  - `for (выр1; выр2; выр3)`
`      инструкция`
  - ***Выражение1*** выполняется один раз перед началом цикла
    - Например, оператор инициализации счетчика цикла
  - Выполнение ***инструкции*** (тело цикла) продолжается до тех пор, пока ***выражение2*** имеет ненулевое значение
    - если ***выражение2*** отсутствует, то выполнение цикла продолжается бесконечно
  - После каждой итерации цикла выполняется ***выражение3***
    - Например, изменение счетчика цикла

Простой цикл for

```
void main()
{
  // Выводит 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
  // Область видимости переменной i ограничена телом цикла
  for (int i = 0; i < 10; ++i)
  {
    cout << i << ", ";
  }
  cout << endl;

  for (int i = 100; i >= 0; i -= 2)
  {
    cout << i << ", ";
  }
  cout << endl;
}
```

Range-based for

- Версия цикла for, предназначенная для перебора элементов некоторого диапазона
  - Массивы, строки, контейнеры стандартной библиотеки, пользовательские типы данных
- Синтаксис:
  - for (*тип идентификатор* : *диапазон*)
    инструкция

Пример: обход элементов массива

```
// Обход элементов массива
{
  int numbers[] = { 10, 15, 17, 33, 18 };
  int sum = 0;
  int product = 1;
  cout << "Array items: ";
  for (int number : numbers)
  {
    cout << number << ", ";
    sum += number;
    product *= number;
  }
  cout << endl << "\tSum: " << sum << endl << "\tProduct: " << product << endl;
}
```

```
// Обход символов строки и контейнера map
{
  string pangram = "the quick brown fox jumps over the lazy dog";

  map<char, int> characterOccurrences;
  for (char ch : pangram)
  {
    cout << ch;
    if (isalpha(ch))
    {
      // Возращенное значение частоты встречаемости символа увеличиваем на 1
      ++characterOccurrences[ch];
    }
  }

  cout << "Character occurrence in \"" << pangram << "\":" << endl;
  for (const auto & charOcc : characterOccurrences)
  {
    cout << "\t" << charOcc.first << ": " << charOcc.second << endl;
  }

  /*
  Вышенаписанный цикл аналогичес следующему:
  for (auto it = characterOccurrences.begin(); it != characterOccurrences.end(); ++it)
  {
    const auto & charOcc = *it;
    cout << "\t" << charOcc.first << ": " << charOcc.second << endl;
  }
  */
}
```

Оператор do-while

- Оператор **do-while** служит для организации **циклов с постусловием**
  - цикл, в котором условие проверяется **после** выполнения тела цикла
  - тело **всегда выполняется** хотя бы один раз
- Синтаксис
  - ```
    do
            инструкция
    while (выражение);
    ```
  - ***Инструкция*** выполняется до тех пор, пока ***выражение*** принимает **ненулевое** значение
    ```

Пример

```
// Ввод продолжается, пока пользователь не введет bye
{
  string userInput;
  do
  {
    cout << R"(Enter text or "bye" to finish: )";
    getline(cin, userInput);
    cout << "You entered: " << userInput << endl;
  } while (userInput != "bye");
}
```

Бесконечные циклы for, while, do-while

```
{
  // Генератор псевдослучайных чисел с использованием Вихря Мерсенна (Mersenne Twister)
  mt19937 generator;
  // Адаптер для получения равномерно распределенных чисел в диапазоне [1; 10]
  uniform_int_distribution<int> dist(1, 10);
  for (;;)
  {
    cout << "Next random number: " << dist(generator) << endl;
    cout << "Type q or Q to quit the game: ";
    string userInput;
    getline(cin, userInput);
    if (userInput == "q" || userInput == "Q")
    {
      break;
    }
  }

  // Также можно использовать цикл while:
  //  while (true)
  //  {
  //    тело цикла
  //  }
  // либо цикл do-while:
  //  do
  //  {
  //    тело цикла
  //  } while(true);
}
```

Вложенные циклы

- Один цикл может быть вложен в другой
  - При этом выполнение внутреннего цикла выполняется как часть оператора внешнего цикла

Инструкции break и continue

- Инструкция **break** осуществляет немедленный выход из тела цикла, внутри которого она находится
  - Также инструкция **break** осуществляет выход из оператора **switch**
- Инструкция **continue** осуществляет пропуск оставшихся операторов тела цикла, внутри которого она находится, и переход на следующую итерацию цикла
  - В циклах while и do-while осуществляется переход к проверке условия
  - В цикле for осуществляется переход к приращению переменной цикла

Пример: поиск простых чисел

```
cout << "Primes: ";
for (int i = 2; i < 100; ++i)
{
  bool isPrime = true;
  // Наивный метод определения простоты числа i
  //  проверяем i на делимость на любое из чисел диапазона [2; sqrt(i)]
  for (int j = 2; j * j <= i; ++j)
  {
    // Если найден множитель числа i, выходим из цикла при помощи break
    if (i % j == 0)
    {
      isPrime = false;
      break;
    }
  }
  if (isPrime)
  {
    cout << i << ", ";
  }
}
cout << endl;
```

Инструкция goto

- Инструкция **goto** позволяет осуществить переход на заданную метку внутри текущей функции
- Синтаксис:
  - `goto метка;`
- Как правило, использование инструкции goto усложняет структуру программы и без крайней необходимости ею пользоваться не стоит
  - Если Вы все еще думаете об использовании этого оператора – **использовать его все**

Пример

```
/* поиск совпадающих элементов в массивах */
for (i = 0; i < n; ++i)
{
    for (j = 0; j < m; ++j)
    {
        if (a[i] == b[j])
            goto found;
    }
}
/* нет одинаковых элементов */
...
found:
/* обнаружено совпадение: a[i] == b[j]  */
...
```

Структуры

Структуры

- **Структура** - это одна или несколько переменных (возможно, различных типов), которые для удобства работы с ними сгруппированы под одним именем.
  - Структуры помогают в организации сложных данных, позволяя группу связанных между собой переменных трактовать не как множество отдельных элементов, а как единое целое

```cpp
// Структура Point, задающая точку на плоскости
struct Point
{
    int x;
    int y;
};

// Поля глобально объявленной структуры по умолчанию инициализируются нулями
Point globalPoint;
```

```
void main()
{
    // Объявляем переменную pt, а затем инициализируем ее поля одно за другим
    Point pt;
    pt.x = 10;
    pt.y = 20;

    // Объявление переменной-структуры можно совместить
    // с инициализацией ее полей
    Point pt0 = { 33, 24 };
    assert(pt0.x == 33 && pt0.y == 24);
    // Еще один способ инициализации структуры при ее объявлении
    Point pt1{ 14, -22 };
    assert(pt1.x == 14 && pt1.y == -22);

    // Недостающие поля при инициализации заполняются нулями
    Point pt2 = { 21 };
    assert(pt2.x == 21 && pt2.y == 0);
    Point pt3 = {};
    assert(pt3.x == 0 && pt3.y == 0);

    // Поля глобальных и статических переменных-структур по умолчанию
    // инициализируются нулями
    static Point pt4;
    assert(pt4.x == 0 && pt4.y == 0);
    assert(globalPoint.x == 0 && globalPoint.y == 0);
}
```

```
struct Triangle
{
    Point vertex1;
    Point vertex2;
    Point vertex3;
};

// Инициализация структур, содержащих вложенные структуры
void main()
{
    Triangle t1 =
    {
        {0, 0},
        {20, 100},
        {30, 15}
    };
    assert(t1.vertex1.x == 0 && t1.vertex1.y == 0);
    assert(t1.vertex2.x == 20 && t1.vertex2.y == 100);
    assert(t1.vertex3.x == 30 && t1.vertex3.y == 15);

    // Структура, все поля которой будут проинициализированы нулями
    Triangle t2 = {};
    assert(t2.vertex1.x == 0 && t2.vertex1.y == 0);
    assert(t2.vertex2.x == 0 && t2.vertex2.y == 0);
    assert(t2.vertex3.x == 0 && t2.vertex3.y == 0);
}
```

```cpp
// Структуры в качестве параметров функций и возвращаемых значений
double CalculateDistance(const Point & pt1, const Point & pt2)
{
    return hypot(pt1.x - pt2.x, pt1.y - pt2.y);
}
Point CalculateTriangleCenter(const Triangle & triangle)
{
    return {
        (triangle.vertex1.x + triangle.vertex2.x + triangle.vertex3.x) / 3,
        (triangle.vertex1.y + triangle.vertex2.y + triangle.vertex3.y) / 3,
    };
}

void main()
{
    Triangle t0 = {
        { 0, 0 }, { 10, -20 }, {20, 20}
    };
    auto center = CalculateTriangleCenter(t0);
    assert(center.x == 10 && center.y == 0);

    // При передаче в функцию можно создать экземпляр структуры без объявления переменной
    // В этом случае в функцию будет передана ссылка временный объект
    center = CalculateTriangleCenter({ { 0, 0 }, { -20, 10 }, { 20, 20 } });
    assert(center.x == 0 && center.y == 10);

    Point pt0{ 1, 1 };
    Point pt1{ 4, 5 };
    double distance = CalculateDistance(pt0, pt1);
    // Проверка чисел с плавающей запятой на приблизительное равенство
    assert(abs(distance - 5.0) <= DBL_EPSILON);
}
```

```cpp
enum class Month
{
    January, February, March,
    April, May, June,
    July, August, September,
    October, November, December
};

struct Date
{
    int day;
    Month month;
    int year;
};

// Person - пример более сложной стуктуры
struct Person
{
    std::string name;
    std::string address;
    Date birthday;
    int height;
};
```

```cpp
// Проверка двух дат на равенство
bool Equals(const Date & d1, const Date& d2)
{
    return (d1.day == d2.day) && (d1.month == d2.month) && (d1.year == d2.year);
}
// Проверка двух людей на идентичность
bool Equals(const Person & p1, const Person & p2)
{
    return (p1.name == p2.name) && (p1.address == p2.address) &&
        Equals(p1.birthday, p2.birthday) && p1.height == p2.height;
}
void main()
{
    Person person1 = {
        "Ivanov Ivan", "Suvorova Street, 17",
        { 10, Month::March, 1975 }, 185
    };
    Person person2 = {
        "Sergeev Egor",  "Sovetskaya Street, 24",
        { 11, Month::February, 1990 }, 116
    };
    Person person3 = {
        "Ivanov Ivan", "Suvorova Street, 17",
        { 10, Month::March, 1975 }, 185
    };
    assert(!Equals(person1, person2));
    assert(!Equals(person2, person3));
    assert(Equals(person1, person3));
}
```

Объединения

Объединения

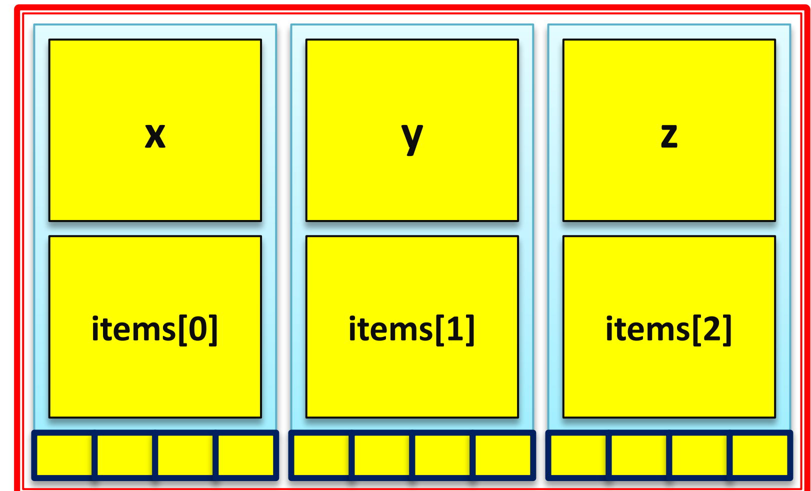
- **Объединение** - это тип данных, который может содержать (в разные моменты времени) объекты различных типов и размеров
  - Объединения позволяют хранить разнородные данные в одной и той же области памяти без включения в программу машинно-зависимой информации

```cpp
#include <iostream>

enum class NumericType
{
	INTEGER,
	REAL,
};

struct Numeric
{
	NumericType type;

	union
	{
		int   intValue;
		double realValue;
	}value;
};

void PrintNumeric(const Numeric & n)
{
	if (n.type == NumericType::INTEGER)
		std::cout << n.value.intValue << std::endl;
	else
		std::cout << n.value.realValue << std::endl;
}

void main()
{
	Numeric a, b;

	a.type = NumericType::INTEGER;   a.value.intValue = 5;
	b.type = NumericType::REAL;      b.value.realValue = 3.8;

	PrintNumeric(a);
	PrintNumeric(b);
}
```

```
5
3.8
```

Пример 2

```
union Vector3D
{
    struct
    {
        float x, y, z;
    };
    float items[3];
};
…

Vector3D v1;
v1.x = 0;
v1.y = 10;
v1.z = -0.3;

v1.items[0] = 3;
```



Массивы

Массивы

- Массивы позволяют объявить несколько (один и более) последовательных объектов, объединенных под одним именем, и осуществлять к ним индексированный доступ
  - В качестве индексов используются целые числа, или типы, приводимые к целым
  - Размер массива задается статически на этапе компиляции и не может быть изменен в ходе работы программы
  - Индекс начального элемента массива равен **нулю**
  - Есть возможность объявления многомерных массивов

```cpp
#include <cassert>
#include <string>

int g_globalArray[3];

void main()
{
  // Глобальные переменные-массивы по умолчанию инициализируются нулем
  assert(g_globalArray[0] == 0
    && g_globalArray[1] == 0
    && g_globalArray[2] == 0);

  // Массив из 3-х элементов. Элементы не проинициализированы
  float floatNumbers[3];
  floatNumbers[0] = 1.0; floatNumbers[1] = 3.5; floatNumbers[2] = -4.5;

  // Массив при объявлении может быть проинициализирован
  double doubleNumbers[3] = { 3.8, 2.1, 3.53 };

  // Элементы массива, не указанные при инициализации, равны нулю
  double zeroFilledArray[3] = { 3.5, 7.2 };
  assert(zeroFilledArray[2] == 0.0);

  // Элементы проинициализированы нулями
  double zeroInitializedArray[3] = { };

  // Если не указать размер массива при инициализации,
  // он будет определен автоматически
  double arrayOf5Items[] = { 3.5, 8.7, 2.3, -1.25, 0.0 };

  std::string name = "John", surname = "Doe";
  // При инициализации элементов массив могут также использоваться выражения
  std::string userNames[] = { "Ivan", "Sergey", name + " " + surname };
  // Так можно определить количество элементов в массиве
  assert(std::end(userNames) - std::begin(userNames) == 3);
  assert(userNames[2] == "John Doe");
}
```

Массивы символов

```
void ArrayOfChars()
{
  // Константный массив из 5 элементов
  const char name[] = { 'J', 'o', 'h', 'n', '\0' };

  // Неконстантный массив из 4 элементов
  char surname[] = "Doe";

  // Константный массив из 6 элементов
  const char hello[6] = "Hello";
}
```

Определение размера массива

```
#include <cassert>
#include <string>

int g_globalArray[3];

// При помощи такой функции можно определить количество элементов в массиве
template<typename T, std::size_t N>
constexpr std::size_t SizeOfArray(T(&)[N])
{
  return N;
}

void main()
{
  std::string userNames[] = { "Ivan", "Sergey",  "Stepan" };
  assert(std::end(userNames) - std::begin(userNames) == 3);
  assert(SizeOfArray(userNames) == 3);

  const char arr1[] = { 'J', 'o', 'h', 'n', '\0' };
  assert(std::end(arr1) - std::begin(arr1) == 5);

  char arr2[] = "Doe";
  assert(SizeOfArray(arr2) == 4);

  const char arr3[6] = "Hello";
  assert(SizeOfArray(arr3) == 6);
}
```

Многомерные массивы

```
#include <cassert>

typedef double Matrix2x2[2][2];

void main()
{
  Matrix2x2 mat = {
    {1.0, 2.5},
    {4.5, 3.2}
  };
  assert(mat[0][0] == 1.0);
  assert(mat[0][1] == 2.5);
  assert(mat[1][0] == 4.5);
  assert(mat[1][1] == 3.2);
}
```

Передача массива в функцию

```
#include <cassert>

typedef double Matrix2x2[2][2];

void Fn(Matrix2x2 mat)
{
  mat[0][0] = 3.0;
}

struct WrappedMatrix2x2
{
  Matrix2x2 items;
};

void Fn2(WrappedMatrix2x2 mat)
{
  mat.items[0][0] = 3.0;
}
```

```
void main()
{
  Matrix2x2 mat = {
    {1.0, 2.5},
    {4.5, 3.2}
  };
  assert(mat[0][0] == 1.0);

  // При передаче массива в функцию Fn будет передан оригинал
  Fn(mat);
  // Модификация элементов массива внутри Fn изменит переданный массив
  assert(mat[0][0] == 3.0);

  WrappedMatrix2x2 wrappedMat = {
    {
      { 1.0, 2.5 },
      { 4.5, 3.2 }
    }
  };
  // При передаче структуры в функцию Fn2
  // будет передана копия структуры
  Fn2(wrappedMat);
  // Модификация элементов массива внутри Fn2
  // на оригинальный массив влияния не окажет
  assert(wrappedMat.items[0][0] == 1.0);
}
```

Указатели, динамическая память

Указатели

- Указатель – используются для хранения адресов переменных в памяти
- Основные области применения
  - Работа с динамической памятью
  - Работа с массивами
  - Передача параметров в функцию по ссылке
  - Организация связанных структур данных (списки, деревья)

```c
#include <stdio.h>

typedef struct tagPoint
{
	int x, y;
}Point;

void PrintPoint(Point *pPoint)
{
	printf("point is (%d, %d)\n", pPoint->x, (*pPoint).y);
}

void Swap(int *a, int *b)
{
	int temp = *a;
	*a = *b;
	*b = temp;
}

int main()
{
	int value = 0;
	int one = 1, two = 2;
	int *pValue = &value;
	Point pnt = {10, 20};

	printf("value is %d\n", value);
	*pValue = 1;
	printf("now value is %d\n\n", value);

	printf("one=%d, two=%d\n", one, two);
	Swap(&one, &two);
	printf("now one=%d, two=%d\n\n", one, two);

	PrintPoint(&pnt);

	return 0;
}
```

```
value is 0
now value is 1

one=1, two=2
now one=2, two=1

point is (10, 20)
```

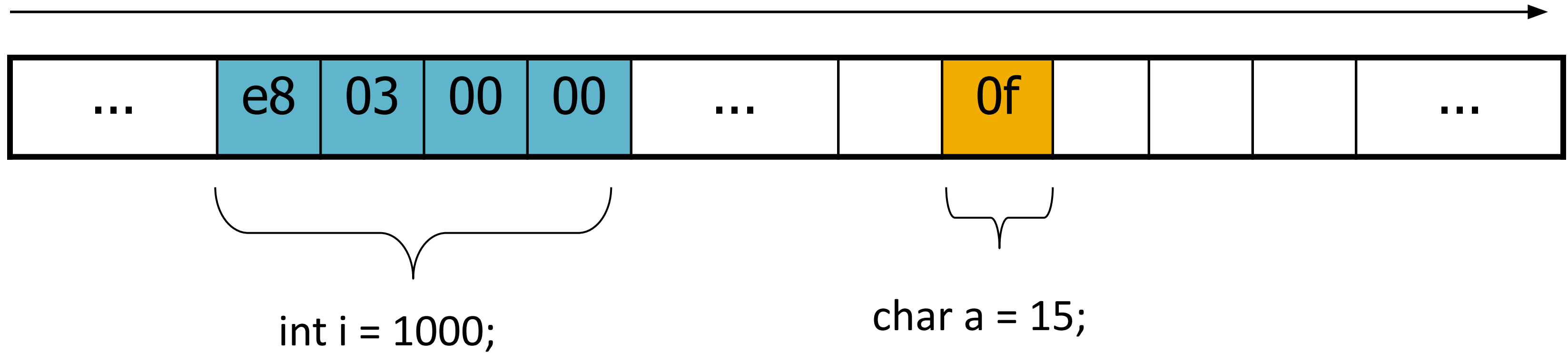
Хранение данных

- В C++ есть три разных способа выделения памяти для объектов
  - ***Статическое***: пространство для объектов создаётся в области хранения данных программы в момент компиляции;
  - ***Автоматическое***: объекты можно временно хранить в стеке; эта память затем автоматически освобождается и может быть использована снова, после того, как программа выходит из блока, использующего её.
  - ***Динамическое***: блоки памяти нужного размера могут запрашиваться во время выполнения программы с помощью оператора new в области памяти, называемой кучей. Эти блоки освобождаются и могут быть использованы снова после вызова для них оператора delete.

Организация памяти в языке C++

- С точки зрения языка C++ память представляет собой массив последовательно пронумерованных ячеек памяти, с которыми можно работать по отдельности или связными кусками
  - Порядковый номер ячейки называется ее **адресом**
  - Эта память используется для хранения значений переменных.
  - Переменные различных типов могут занимать различное количество ячеек памяти, и иметь различные способы представления в памяти

Пример



Что такое указатель?

- **Указатель** – это переменная, которая может хранить адрес другой переменной в памяти заданного типа
  - Указатели – мощное средство языка С++, позволяющее эффективно решать различные задачи
  - Использование указателей открывает доступ к памяти машины, поэтому пользоваться ими следует аккуратно

Объявление указателя

- Указатель на переменную определенного типа объявляется следующим образом:
  <тип> *<идентификатор>;
  - Например:
    int *pointerToInt;
  - Указатель, способный хранить адрес переменной любого типа имеет тип **void***:
    - void * pointerToAnyType;
  - Как и к обычным переменным, к указателям можно применять модификатор **const**:
    - **const int *** pointerToConstInt;
    - **char * const** constPointerToChar = &ch;
    - **const double * const** constPointerToConstDouble = &x;
    - **float * const** constPointerToFloat = &y;
    - **const void *** pointerToConstData;

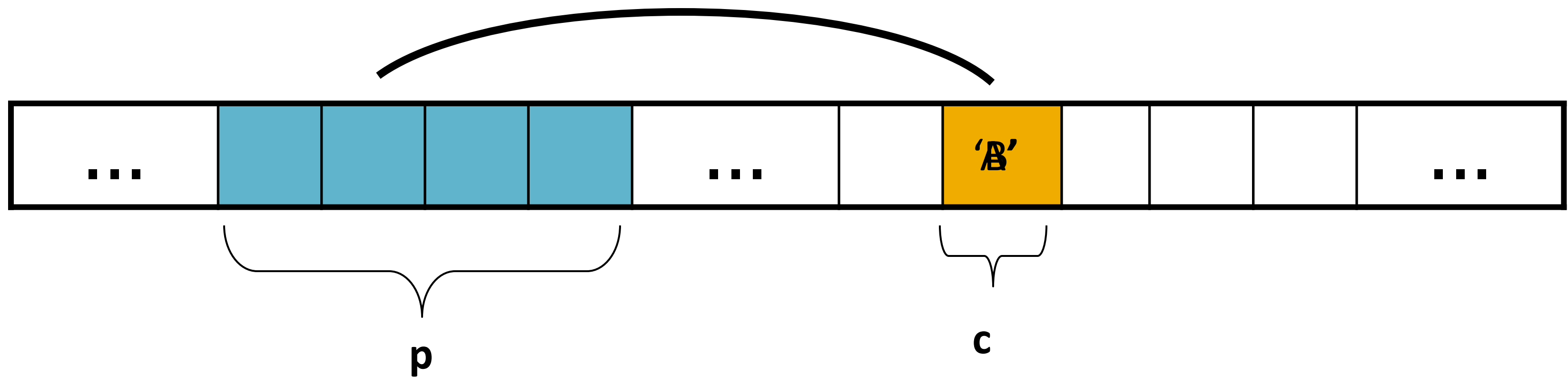
Получение адреса переменной

- Для взятия адреса переменной в памяти служит унарный оператор **&**
  - Этот оператор возвращает адрес переменной, который может быть присвоен указателю совместимого типа
  - Оператор взятия адреса применим только к переменным. Его нельзя применять к числовым константам, литералам, выражениям или регистровым переменным

Оператор косвенного доступа

- Для доступа к значению, на которое ссылается указатель, необходимо его **разыменование** (dereferencing), осуществляемое при помощи **унарного** оператора *
  - ```
    int * p = &i;
    *p = 5;
    ```
    ```

Пример




```
char c = 'A';
char *p = &c;
*p = 'B';
```

Инициализация указателей

- Значение **неинициализированного** указателя не определено
  - **Разыменование такого указателя приводит к неопределенному поведению**
  - Лучше присвоить указателю нулевое значение (или символическую константу **NULL**), чтобы подчеркнуть, что он не ссылается ни на какую переменную:
    - char * p1 = 0;
      char * p2 = NULL;

  В стандарт C++11 введено специальное ключевое слово **nullptr**, обозначающее нулевой указатель
  - Разыменование нулевого указателя также приводит к неопределенному поведению, однако появляется возможность проверки значения указателя:
    - if (p != nullptr) // или просто if (p)

NULL (или 0) vs nullptr

- В программах на C++11 следует использовать nullptr вместо NULL или 0
  - У nullptr отсутствует неявное преобразование к целочисленным типам
    - При этом сохраняется неявное преобразование к типу bool (значение false)

```cpp
#include <iostream>

void Print(void * p)
{
    std::cout << "Printing a pointer: " << p << "\n";
}
void Print(int i)
{
    std::cout << "Printing an integer: " << i << "\n";
}
void Print(bool b)
{
    std::cout << "Printing a boolean: " << (b ? "true" : "false") << 
"\n";
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    Print(NULL);                                                  // 
Printing an integer: 0
    Print(nullptr);                                           // Printing a 
pointer: 00000000
    bool nullptrAsBool = nullptr;
```

Копирование указателей

- Как и в случае обычных переменных, значение одного указателя может быть присвоено другому при помощи оператора =
  - Следует помнить, что в этому случае **копируется адрес переменной, а не ее значение**
  - **Для копирования значения** переменной, на которую ссылается указатель, необходимо применить **оператор разыменования** *

```
char a = 'A';
char b = 'B';
char c = 'C';
char *pa = &a;
char *pb = &b;
char *pc = &c;
pa = pb; // pa и pb теперь хранят адрес b
*pa = *pc; // b теперь хранит значение 'C'
```

Указатели и аргументы функций

- В языке Си параметры в функцию передаются по значению.
  - Указатели – единственный способ изменить значение параметра изнутри функции
  - В языке C++ появилась возможность передачи параметров по ссылке

```
void swap(int *pa, int
*pb)
{
    int tmp = *pa;
    *pa = *pb;
    *pb = tmp;
}
```

```
void swap(int &pa, int
&pb)
{
    int tmp = pa;
    pa = pb;
    pb = tmp;
}
```

Указатели на функции

- В Си можно объявить указатель на функцию и работать с ним как с обычной переменной, сохраняя возможность вызова функции по указателю на нее
  - Данная возможность позволяет иметь несколько реализаций алгоритма, имеющих общий интерфейс
  - Для получения указателя следует воспользоваться оператором взятия адреса &
    - В C++ можно использовать имя функции
- В C++ есть возможность использовать функциональные объекты
- В C++11 появились безымянные функции (lambda-функции)
  - У Lambda-функций, не имеющих состояния, есть возможность получения адреса

```c
#include <stdio.h>
typedef bool (*OrderedFunction)(int a, int b);

void BubbleSort(int array[], int size, OrderedFunction fn)
{
     bool sorted;
     do
     {
          sorted = true;
          for (int i = 0; i < size - 1; ++i)
          {
               if (!fn(array[i], array[i + 1]))
               {
                    int tmp = array[i];
                    array[i] = array[i + 1];
                    array[i + 1] = tmp;
                    sorted = false;
               }
          }
          --size;
     } while(!sorted && (size > 1));
}

bool IsOrdered(int a, int b) {return a <= b; }

int main()
{
     int arr[5] = {3, 5, 1, 7, 9};
     BubbleSort(arr, 5, IsOrdered);
     return 0;
}
```

```
#include <stdio.h>
typedef bool (*OrderedFunction)(int a, int b);

void BubbleSort(int array[], int size, OrderedFunction fn)
{
    bool sorted;
    do
    {
        sorted = true;
        for (int i = 0; i < size - 1; ++i)
        {
            if (!fn(array[i], array[i + 1]))
            {
                int tmp = array[i];
                array[i] = array[i + 1];
                array[i + 1] = tmp;
                sorted = false;
            }
        }
        --size;
    } while(!sorted && (size > 1));
}

void main()
{
    int arr[5] = {3, 5, 1, 7, 9};
    BubbleSort(arr, 5, [](int a, int b){return a <= b;});
}
```

```cpp
#include <functional>
#include <utility>

typedef std::function<bool(int a, int b)> OrderedFunction;

void BubbleSort(int array[], int size, OrderedFunction const& isOrdered)
{
    bool sorted;
    do
    {
        sorted = true;
        for (int i = 0; i < size - 1; ++i)
        {
            if (!isOrdered(array[i], array[i + 1]))
            {
                 std::swap(array[i], array[i + 1]);
                sorted = false;
            }
        }
        --size;
    } while (!sorted && (size > 1));
}

void main()
{
    int arr[5] = { 3, 5, 1, 7, 9 };
    BubbleSort(arr, 5, [](int a, int b){return a <= b; });
}
```

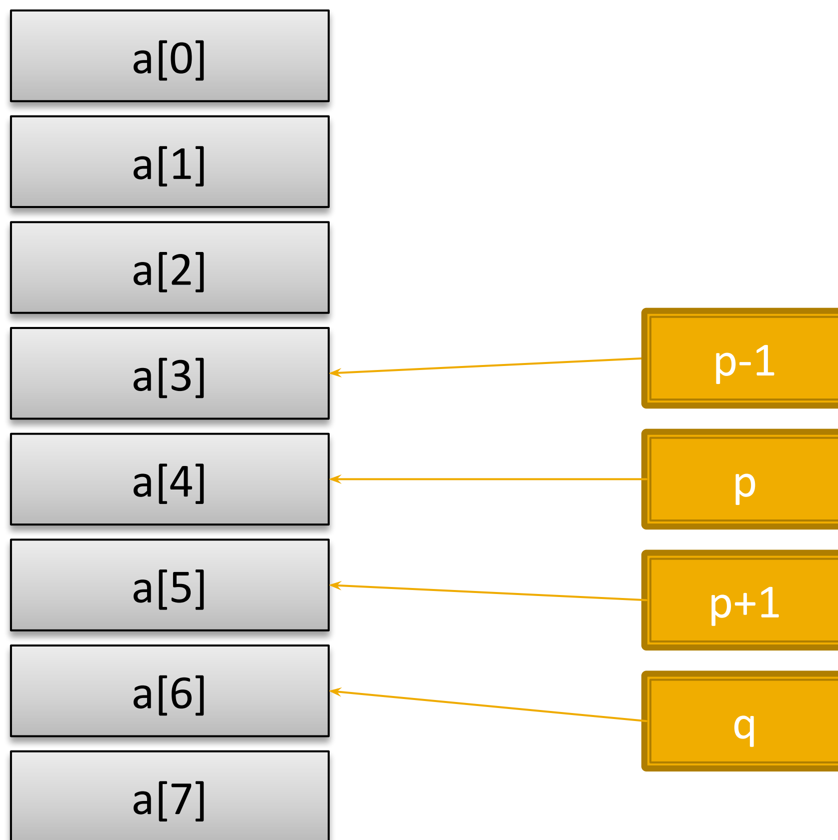
Указатели и массивы

- Указатели и массивы в C/C++ тесно связаны
  - Имя массива является синонимом расположения его начального элемента
    - int arr[10];
      int *p = arr; // эквивалентно int *p = &arr[0];
  - Индексация элементов массива возможна с помощью указателей и адресной арифметики

Адресная арифметика

- Если **p** – указатель на некоторый элемент массива, то
  - p+1 – указатель на следующий элемент
  - p-1 – указатель на предыдущий элемент
  - p+j – указатель на j-й элемент после p
  - p[j] разыменовывает j-й элемент относительно p
- Если p и q – указатели на некоторые элементы **одного массива**, то
  - p–q - равно количеству элементов после q, которое необходимо добавить, чтобы получить p
  - p<q принимает значение 1, если p указывает на элемент, предшествующий q, в противном случае - 0
  - p==q, принимает значение 1 если p и q указывают на один и тот же элемент, в противном случае - 0

Адресная арифметика в действии



p = &a[4]

q = &a[6]

q - 2 => p

q – p => 2

p + 2 => q

p < q => true

p + 1 == q - 1

p[3] => a[7]

p[-2] => a[2]

&a[8] - &a[0] => 8

Примеры

```
int arr[10];

// получаем указатель на начальный элемент
массива
int *p = arr; // эквивалентно int *p = &arr[0];

// следующие две строки эквивалентны
*(p + 4) = 5;
arr[4] = 5;

/* несмотря на то, что в массиве всего 10
элементов,
допускается получать указатель на ячейку,
следующую
за последним элементом массива */
p = &a[10];
*(p - 1) = 3; // эквивалентно arr[9] = 3;
```

Указатели на char

- Строковые константы – массивы символов с завершающим нулем
- Передача строковой константы в функцию (напр. printf) осуществляется путем передачи указателя на ее начальный элемент

Особенности

- Присваивание символьных указателей, **не копирует строки**
  - char * p = “Hello”;
    char * p1 = p; // p и p1 указывают на одно и то же место в памяти
- Символьный массив и символьный указатель – различные понятия
  - char msg[] = “Hello”; // массив
    - Символы внутри массива могут изменяться
    - msg всегда указывает на одно и то же место в памяти
  - char *pmsg = “Hello”; // указатель
    - Попытка изменить символы через pmsg приведет к неопределенному поведению
    - pmsg – указатель, можно присвоить ему другое значение в ходе работы программы

Массивы указателей

- Указатели, как и другие переменные можно группировать в массивы
  - int main(int argc, **char* argv[]**)
  - const char * a[] = {“Hello”, “World!”};
    printf(“%s %s\n”, a[0], a[1]);
    a[0] = “Goodbye”;
- Массивы указателей могут использоваться как альтернатива двумерных массивов

Указатели на указатели

- В C и C++ возможны указатели, ссылающиеся на другие указатели
  - char arr[] = “Hello”;
    char *parr = arr;
    char **pparr = &parr;   // pparr – хранит адрес указателя parr
    (*pparr)[0] = ‘h’; // arr = “**h**ello”
    pparr[0][1] = ‘E’; // arr = “h**E**llo”;

Инкремент и декремент указателя

- Когда указатель ссылается на определенный элемент массива, имеют смысл операции инкремента и декремента указателя
  - char str[] = “Hello, world!”;
    char *p = str;// p указывает на символ H
    p++; // p указывает на символ e
    *p = ‘E’; // заменяем символ e на E

```
#include "stdio.h"

// возвращаем адрес найденного символа в строке или nullptr в случае
отсутствия
const char* FindChar(const char str[], char ch)
{
    const char * p = str;

    while (*p != '\0')
    {
        if (*p == ch)
            return p;
        ++p;
    }

    return nullptr;
}

int main()
{
    const char str[] = "Hello, world!\n";

    const char *pw = FindChar(str, 'w');
    if (pw)
        printf("%s", pw);

    return 0;
}
```

Output:

```
world!
```

Указатели и динамическая память

- Часто возможны ситуации, когда размер и количество блоков памяти, необходимых программе, не известны заранее
- В этом случае прибегают к использованию динамически распределяемой памяти
  - Приложение может запрашивать блоки памяти необходимого размера из области, называемой кучей (heap)
  - Как только блок памяти становится не нужен, его освобождают, возвращая память

Операторы new и delete

- В состав языка C++ вошли операторы **new** и **delete**, осуществляющие работу с динамической памятью на уровне языка
  - Оператор new выделяет память под элемент или массив элементов
    - Тип *p = new Тип()
    - Тип *p = new Тип(инициализатор,...)
    - Тип *p = new Тип[кол-во элементов]
  - Оператор delete освобождает память, выделенную ранее оператором new
    - delete pObject;
    - delete [] pArray;

Прочие средства работы с динамической памятью

- В стандартной библиотеке языка C для работы с динамической памятью служат функции:
  - malloc
  - calloc
  - realloc
  - free
- Существуют средства работы с динамической памятью, зависящие от используемой ОС или используемых компонентов

Функции memcpy, memset и memmove

- Функция **memcpy** осуществляет копирование блока памяти из одного адреса в другой
  - void memcpy(void *dst, const void *src, size_t count)
- Функция **memmove** аналогична memcpy, но корректно работает, если блоки перекрываются
  - void memmove(void *dst, const void *src, size_t count)
- Функция **memset** заполняет область памяти определенным значением типа char
  - void memset(void *dst, int c, size_t count)

Пример

```
int n = 30;

// выделяем память под n элементов типа
int
int * arr = (int*)malloc(sizeof(int) * n);

memset(arr, 1, sizeof(int) * n);

arr[0] = 5;

free(arr);
arr = NULL;
```

Указатели на структуры и объединения

- Указатели на структуры объявляются аналогично указателям на другие типы
- Для доступа к элементам структуры может применяться оператор ->
  - ```
    struct Point
    {
     int x, y;
    };

    Point p = {10, 20};
    Point *pPoint = &p;
    (*pPoint).x = 1;
    pPoint->y = 2;
    ```
    ```

Правила корректной работы с динамической памятью

- Объекты, выделенные при помощи оператора **new** должны быть удалены при помощи оператора **delete**
  - ```
    MyType * pObj = new MyType;
    delete pObj;
    ```
- Массивы объектов, выделенные при помощи оператора new [] должны быть удалены при помощи оператора delete []
  - ```
    MyType * pArray = new MyType[N];
    delete [] pArray;
    ```
- Блоки памяти, выделенные при помощи функции malloc (realloc, calloc) должны быть освобождены при помощи функции free
  - ```
    void * p = malloc(1000);
    free(p);
    ```
- Использование «непарных» средств освобождения памяти приведет к неопределенному поведению
    ```

Проблемы ручного управления памятью

- «Висячие ссылки» (dangling pointer)
  - После удаления объекта все указатели на него становятся «висячими»
    - Область памяти может быть отдана ОС и стать недоступной, либо использоваться новым объектом
    - Разыменование или попытка повторного удаления приведет либо к аварийной остановке программы, либо к неопределенному поведению
  - Причина возникновения: неправильная оценка времени жизни объекта – команда удаления объекта вызывается до окончания его использования в программе

Проблемы ручного управления памятью (продолжение)

- Утечка памяти (Memory Leak)
  - Причины:
    - Программист не удалил объект после завершения использования
    - Ссылающемуся на объект указателю присвоено новое значение, тогда как на объект нет других ссылок
      - Объект становится недоступен программно, но продолжает занимать память
  - Следствие
    - Программа все больше и больше потребляет памяти, замедляя работу системы, пока не исчерпает доступный объем адресного пространства и не завершится с ошибкой

Примеры некорректной работы с динамической памятью

```
int main(int argc, char* argv[])
{
	int * pIntArray = new int[100];
	free(pIntArray);    // Неопределенное поведение: использование free вместо delete []

	int * pAnotherIntArray = new int[10];
	delete pAnotherIntArray; // Неопределенное поведение: использование delete вместо delete [

	// Выделяем в куче один объект float, инициализируя его значением 100
	float * pFloat = new float(100);
	delete [] pFloat;   // Неопределенное поведение: использование delete [] вместо delete

	char * myString = new char[100];
	delete [] myString;
	delete [] myString; // Неопределенное поведение: повторное удаление массива

	char * anotherString = new char[10];
	delete [] anotherString;
	anotherString[0] = 'A'; // Неопределенное поведение: доступ к элементам удаленного массива

	void * pData = malloc(100);
	free(pData);
	free(pData);   // Неопределенное поведение: повторное удаление блока данных
}
```

Еще примеры некорректной работы с динамической памятью

```
int main(int argc, char* argv[])
{
	int * someInt = new int(11);
	someInt = new int(12);// Утечка памяти: старое значение указателя потеряно, память не освободить
	delete someInt;

	int someValue = *(new int(35)); // Утечка памяти: выделили в куче, разыменовали, адрес потеряли

	int * p = new int(10);
	if (getchar() == 'A')
	{
		return 0;// Утечка памяти: забыли вызывать delete p перед выходом из функции
	}
	delete p;

	return 0;
}
```

Как не прострелить себе ногу, программируя на C++

- Работа с указателями – сильная сторона C++, требующая большой внимательности и ответственности
- Сведите к минимуму ручную работу с указателями и динамической памятью
  - Используйте контейнеры стандартной библиотеки C++ как альтернативу динамическим массивам
  - Используйте классы стандартных «умных указателей» для владения объектами в динамической памяти
  - Используйте иные проверенные временем библиотеки (например boost)
  - Пишите свои умные обертки, автоматизирующие владение ресурами

А как у них?

- Есть ЯВУ, использующие сборку мусора (Garbage collection), например Java, C#, JavaScript, D, Lisp, ActionScript, Objective C и др.
  - Освобождение памяти от неиспользуемых объектов возлагается на среду исполнения
  - Свобода программиста по работе с указателями, адресной арифметикой в таких языках либо отсутствует, либо сильно ограничена
  - Возможны кратковременные замедления в работе программы в неопределенные моменты на время сборки мусора
  - Эффективная работа сборщика мусора возможна только при достаточном количестве свободной памяти

Автоматический сборщик мусора – не панацея

- Сборка мусора автоматизирует лишь работу с памятью, но не с другими ресурами (файлы, подключения к БД)
- В некоторых языках есть возможность выполнить некоторый код непосредственно перед удалением объекта (финализатор) сборщиком мусора
  - Для управления ресурсами не годится, т.к. объект может использоваться (либо не удаляться сборщиком мусора) гораздо дольше, чем владеемый им ресурс, поэтому ресурсами приходится управлять вручную
- Утечки памяти все равно возможны, если ссылка на ненужный более объект хранится в используемом объекте
  - В некоторых языках есть слабые ссылки

Ссылки

Ссылки

- Ссылку можно рассматривать как еще одно имя объекта
- Синтаксис
  - **<Тип> &** означает ссылку на **<Тип>**
- Применение
  - Задание параметров функций
  - Перегрузка операций

Ссылки в качестве параметров функций

- Функция принимает не копию аргумента, а ссылку на него
  - При сложных типах аргументов (классы, структуры) это может дать прирост в скорости вызова функции
    - Не тратится время на создании копии
    - Простые типы, как правило, эффективнее передавать по значению
      - char, int, float, double
  - Изменение значения формального параметра внутри функции приводит к изменению значения переданного аргумента
    - Альтернативный способ возврата значения из функции
    - Возврат нескольких значений одновременно

Константные ссылки в качестве параметров функций

- Параметр, переданный в функцию по константной ссылке, доступен внутри нее только для чтения
- Если функция не изменяет значение своего аргумента, то имеет смысл передавать его по константной ссылке
  - Простые типы данных следует передавать по значению

Пример 1

```
#include <stdio.h>

void Swap(int & a, int & b)
{
    int tmp = a;
    a = b;
    b = tmp;
}

int main()
{
    int a = 1, b = 3;
    pritnf("a=%d, b=%d\n", a, b);
    Swap(a, b);
    pritnf("a=%d, b=%d\n", a, b);
}
```

OUTPUT

```
a=1, b=3
a=3, b=1
```

Пример 2

```
struct Point
{
    int x, y;
};

void Print(Point const& pnt)
{
    printf("(x:%d, y:%d)\n", pnt.x, pnt.y);
}

int main()
{
    Point pnt = {10, 20};
    Print(pnt);

    return 0;
}
```

Инициализация ссылки

- Ссылка должна быть обязательно проинициализирована
  - Должен существовать объект на который она ссылается
  - Синтаксис
    - Тип & идентификатор = значение;
- Инициализация ссылки совершенно отличается от операции присваивания
  - Будучи проинициализированной, присваивание ссылке нового значения **изменяет значение ссылаемого объекта, а не значение ссылки**

Пример

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int i = 1;
    int j = 3;

    // инициализация ссылки
    int & ri = i;
    printf("i=%d, j=%d\n", i, j);

    // присваивание значения объекту, на который ссылается ri
    ri = j;
    printf("i=%d, j=%d\n", i, j);
}
```

```
OUTPUT
i=1, j=3
i=3, j=3
```

Ссылки на временные объекты

- При инициализации ссылки объектом другого типа компилятор создает временный объект нужного типа и использует его для инициализации ссылки
  - На данный временный объект может ссылаться только константная ссылка
  - То же самое происходит при инициализации ссылки значением константы
  - Изменение значения объекта в данном случае не отражается на значении временного объекта
- Время жизни временного объекта равно области видимости созданной ссылки

Пример 1

```
int a = 1;
int & refA = a;          // ссылка на a

printf("a = %d\n", a);
++refA;
printf("Now a = %d\n\n", a);

const double & refDoubleA = a;// ссылка на временный объект
printf("refDoubleA = %f\n", refDoubleA);

// изменение a не оказывает влияния на refDoubleA
++a;
printf("Now a = %d, refDoubleA = %f\n", a, refDoubleA);
```

```
OUTPUT:
a = 1
Now a = 2

refDoubleA = 2.00000
Now a = 3, refDoubleA = 2.00000
```

Пример 2

```
#include <iostream>

int Add(int x, int y)
{
    return x + y;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    int & wontCompile = Add(10, 20);// Ошибка компиляции

    const int & result = Add(10, 20);// OK

    std::cout << result << "\n";
    return 0;
}
```

Пространства имен

Пространства имен

- **Пространства имен** позволяют логически сгруппировать классы, переменные и функции в некоторые именованные области
  - Позволяют избежать конфликта имен идентификаторов в различных модулях проекта
  - Разбивают программу на функциональные единицы
- Доступ к идентификатору внутри пространства имен:
  - <namespace>::<identifier>
  - Либо:
    - `using namespace <namespace>; <identifier>;`
  - Либо:
    - `using <namespace>::<identifier>; <identifier>;`
  - **Не рекомендуется использовать `using namespace` в заголовочных файлах**

```cpp
#include <stdio.h>

namespace math
{
	int calculateX2(int x)
	{
		return x * x;
	}
}
namespace graphics
{
	namespace shapes
	{
		struct rectangle
		{
			int x, y, w, h;
		};
		struct circle
		{
			int x, y, r;
		};
	}
}
namespace sound_player
{
	void PlaySound()
	{
		// sound playing code is placed here
	}
}

using namespace sound_player;

int main()
{
	int x = 5;
	int x2 = math::calculateX2(x);
	graphics::shapes::rectangle rect = {0, 0, 40, 30};
	PlaySound();

	using graphics::shapes::rectangle;
	rectangle r1;
	return 0;
}
```

Стандартная библиотека шаблонов STL

Стандартная библиотека шаблонов (STL)

- Программная библиотека, содержащая большое количество готового к использованию обобщенного кода
  - Контейнеры
  - Итераторы
  - Алгоритмы
  - Умные указатели
  - Поддержка многопоточности, случайных чисел
  - Потоки ввода/вывода
  - Поддержка функционального программирования
  - И многое другое
- Все контейнеры, алгоритмы и итераторы в STL объявлены в пространстве имен std
  - Стандарт запрещает программисту объявлять свои типы в данном пространстве имен

Контейнеры

- Классы, предназначенные для хранения элементов определенного типа
  - STL содержит классы обобщенных реализаций различных контейнеров, которые можно использовать с элементами различных типов
- В STL поддерживаются 2 вида контейнеров
  - Последовательные
  - Ассоциативные

Основные контейнеры STL

- Последовательные контейнеры
  - Строка (**basic_string**, **string**, **wstring**)
  - Вектор (**vector**)
  - Двусвязный список (**list**)
  - Двусторонняя очередь (**deque**)
- Ассоциативные контейнеры
  - Отображение (**map**, **multimap**, **unordered_map**, **unordered_multimap**)
  - Множество (**set**, **multiset**, **unordered_set**, **unordered_multiset**)
- Контейнеры-адаптеры
  - Стек (**stack**)
  - Очередь (**queue**)
  - Очередь с приоритетом (**priority_queue**)

Строка std::string

- Контейнер, предназначенный для хранения строк произвольной длины
  - В качестве элементов строк могут выступать элементы типа char (string), wchar_t (wstring) или определяемые пользователем типы (basic_string)
  - Достоинства:
    - Автоматизация управления памятью
    - Набор операций для работы со строками
  - Для работы с данным классом строк необходимо подключить заголовочный файл <string>

Создание строки

```
string emptyString;
string hello = "Hello";
auto goodbye = "Goodbye"s;

const char chars[] = {'O', 'n', 'e'};
// Создание строки из массива символов заданной длины
string one(chars, std::size(chars)); // One

string aaaa(4, 'a'); // aaaa
```

Размер и вместимость

```
auto text = "This is a very long string"s;
assert(text.length() == 26);
assert(text.size() == text.length());
assert(text.capacity() >= text.length());

auto oldCapacity = text.capacity();
text.erase(19, 7); // erase " string"
assert(text == "This is a very long"s);
assert(text.capacity() == oldCapacity);
assert(text.length() == 19);

assert(!text.empty());
text.clear();
assert(text.length() == 0);
assert(text.empty());
assert(text.capacity() == oldCapacity);
```

Сравнение строк

```
assert("bbb"s > "aaa"s);
assert("xyz"s == "xyz"s);
assert("Abc"s > "Abb"s);

string s = "Hello";
assert("Hello" == s);
```

Конкатенация строк

```
string hello("Hello");
string world("world");

string helloWorld = hello + " " + world;
// "Hello world"

string s;
s.append(hello).append(" ").append(world);
// "Hello world"
```

Извлечение подстроки

```
auto helloWorld = "Hello world"s;

assert(helloWorld.substr(0, 5) == "Hello"s);
assert(helloWorld.substr(6, 5) == "world"s);
assert(helloWorld.substr(6) == "world"s);
assert(helloWorld.substr() == "Hello world"s);

auto s = "This is a wonderful "s;
s.append(helloWorld, 0, 4);
assert(s == "This is a wonderful Hell");

auto helloWorld1 = helloWorld.substr(0, 6);
helloWorld1.append(helloWorld, 6);
assert(helloWorld1 == helloWorld);
```

Поиск внутри строки

```
string s("Hello world");

assert(s.find('w') == 6);
assert(s.find('x') == string::npos);
assert(s.find_first_of("aeiouy"s) == 1); // e

assert(s.find("world"s) == 6);
assert(s.find('o') == 4); // first 'o' letter
assert(s.rfind('o') == 7); // last 'o' letter

assert(s.find('o', 5) == 7);
```

Замена внутри строки

```
auto s = "Hello world"s;
s.replace(0, 5, "Goodbye"s);
assert(s == "Goodbye world"s);

auto s1 = "This is a cat"s;
s1.replace(10, 3, s, 8, 5);
assert(s1 == "This is a world");
```

string_view

string_view

- Объект, ссылающийся на неизменную последовательность символов в памяти
- Не владеет символьными данными
  - При разрушении string_view массив не удаляется
  - После разрушения массива символов использовать ссылавшийся на него string_view нельзя
- Легковесный
  - Как правило, указатель на начало + длина

Конструирование string_view

```
const char arr[] = { 'H', 'e', 'l', 'l', 'o' };
string_view v(arr, 5);
assert(v.length() == 5);
assert(v.data() == &arr[0]); // view uses arr's data

string s("Hello");
string_view sv = s;
assert(sv.data() == s.data());
assert(sv.length() == s.length());

sv = string_view(s.data(), 4);
assert(sv.length() == 4);
```

Пример

```
auto url =
  "http://en.cppreference.com/w/cpp/string/basic_string_view"s;

string_view scheme(&url[0], 4);
assert(scheme == "http");

string_view domain(&url[7], 19);
assert(domain == "en.cppreference.com");
```

Вектор std::vector

- Контейнер для хранения динамического массива элементов произвольного типа
  - Автоматизация процесса управления памятью
    - Везде, где возможно, рекомендуется использовать класс vector как альтернативу динамическому выделению массивов объектов при помощи оператора new []
    - К элементам массива предоставляется индексированный доступ
  - Для использования данного класса необходимо подключить заголовочный файл <vector>

Пример

```
#include <vector>
#include <string>

using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    // создаем массив целых чисел, содержащий 100 элементов
    vector<int> vectorOfInt(100);
    vector<string> vectorOfString;

    vectorOfInt.push_back(10);
    vectorOfString.push_back("Hello");

    std::string hello = vectorOfString[0];
    size_t numberOfItems = vectorOfString.size();

    return 0;
}
```

```cpp
#include <vector>
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Point
{
  int x, y;
};

struct PointDbl
{
  double x, y;
};

void main()
{
  vector<Point> points = {
    {0, 0}, {20, 10}, {30, 30}
  };

  for (auto & pt : points)
  {
    cout << pt.x << ", " << pt.y << endl;
  }

  PointDbl center = {0, 0};
  for (auto & pt : points)
  {
    center.x += pt.x;
    center.y += pt.y;
  }
  center.x /= points.size();
  center.y /= points.size();

  cout << center.x << ", " << center.y << endl;
}
```

Двусвязный список std::list

- Реализовывает двусвязный список элементов произвольного типа
  - К элементам списка осуществляется последовательный доступ при помощи итераторов
  - Вставка и удаление элементов из произвольного места списка осуществляется за **постоянное время**
  - Для начала работы с данным контейнером необходимо подключить заголовочный файл <list>

Пример

```
#include <list>
#include <string>
#include <iostream>

using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    list<string> listOfStrings;
    listOfStrings.push_back(“One”);
    listOfStrings.push_back(“Two”);
    listOfStrings.push_back(“Three”);

    for (auto & item : listOfStrings)
    {
        cout << item << “, “;
    }
    return 0;
}
```

```cpp
#include <list>
#include <string>
#include <iostream>
#include <iterator>
#include <algorithm>
using namespace std;
typedef list<string> StringList;

StringList PopulateNamesList()
{
	StringList maleNames; maleNames.emplace_back("Ivan"); maleNames.emplace_front("Sergey");
	StringList femaleNames; femaleNames.emplace_back("Irina"); femaleNames.emplace_front("Anna");

	StringList allNames(move(maleNames));
	allNames.insert(allNames.end(), femaleNames.cbegin(), femaleNames.cend());
	return allNames;
}
void PrintNamesList(StringList const& names)
{
	for (auto const& name : names)
	{
		cout << name << ", ";
	}
	cout << endl;
}
void PrintNamesListByCopyingItemsToCout(StringList const& names)
{
	copy(names.begin(), names.end(), ostream_iterator<string>(cout, ", "));
	cout << endl;
}

void main()
{
	StringList names = PopulateNamesList();
	PrintNamesList(names);
	PrintNamesListByCopyingItemsToCout(names);
}
```

Двусторонняя очередь (double-ended queue) std::deque

- Аналогична вектору, но обеспечивает эффективную вставку и удаление элементов не только в конце, но и в начале очереди
  - В отличие от вектора **не гарантируется** последовательное хранение элементов в памяти
  - Гарантируется константный доступ к элементу по его индексу
  - Для использования необходимо подключить заголовочный файл <deque>

Классы std::map и std::multimap

- Ассоциативный контейнер, хранящий пары «ключ» - «значение»
  - Позволяет отображать элементы одного типа в элементы другого или того же самого типа
  - map – все ключи уникальные
  - multimap – допускается дублирование ключей
- Для подключения данных классов необходимо подключить заголовочный файл <map>
- Требования к ключам:
  - Наличие операции отношения <

Пример

```
#include <map>
#include <string>
#include <iostream>

using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    map<string, string> dictionary;
    dictionary.insert(pair<string, string>("Cat", "Кошка"));
    dictionary.insert(make_pair("Snake", "Змея"));
    dictionary["Dog"] = "Собака";
    dictionary ["Mouse"] = "Мышь";

    cout << dictionary["Dog"] << "\n";
    return 0;
}
```

Пример – подсчет частоты встречаемости символов

```
#include <map>
#include <unordered_map>
#include <string>
#include <iostream>

using namespace std;

void main()
{
  map<char, int> charFreq;
  //Можно использовать unordered_map
  //unordered_map<char, int> charFreq;
  string text = "a quick brown fox jumps over the lazy dog";
  for (auto ch : text)
  {
    if (isalpha(ch))
    {
      ++charFreq[ch];
    }
  }

  for (auto & chInfo : charFreq)
  {
    cout << chInfo.first << ": " << chInfo.second << endl;
  }

  cout << endl;
}
```

Классы std::unordered_map и std::unordered_multimap

- Ассоциативный контейнер, хранящий пары «ключ» - «значение»
  - Элементы хранятся не отсортированы никоим образом, но сгруппированы в bucket-ы согласно хеш-значению ключей
  - unordered_map – все ключи уникальные
  - unordered_multimap – допускается дублирование ключей
- Для подключения данных классов необходимо подключить заголовочный файл <unordered_map>
- Требования к ключам:
  - Наличие операции сравнения ==
  - Возможность вычислить хеш от значения ключа

```cpp
#include <unordered_map>
#include <string>
#include <iostream>

using namespace std;

enum class Gender { Male, Female, };

string GenderToString(Gender gender)
{
  return (gender == Gender::Male) ? "male" : "female";
}

void main()
{
  unordered_map<string, Gender> nameToGender = {
    {"Sarah", Gender::Female},
    {"John", Gender::Male},
    {"Leonardo", Gender::Male},
    {"Richard", Gender::Male},
    {"Tanya", Gender::Female}
  };
  cout << "Tanya is a "
       << GenderToString(nameToGender.at("Tanya")) << " name.\n";
  cout << "John is a " << GenderToString(nameToGender.at("John")) << " name.\n";
}
```

```cpp
#include <iostream>
#include <string>
#include <unordered_map>
using namespace std;

struct Point
{
  int x;
  int y;
};

// Структура с перегруженным оператором (), позволяющая вычислить
// хеш-значение для заданной структуры person
// Она необходима для использования Point в качестве ключей в unordered map
struct PointHasher
{
  size_t operator()(const Point& pt)const
  {
    return hash<int>()(pt.x) ^ hash<int>()(pt.y);
  }
};

// Оператор сравнения, позволяющий сравнивать структуры типа Point.
// он необходим для использования Point в качестве ключей
bool operator==(const Point& pt1, const Point& pt2)
{
  return pt1.x == pt2.x && pt1.y == pt2.y;
}
```

```cpp
void main()
{
  // отображение Point в string, позволяющее узнать название
  // объекта на картинке в точке с заданными координатами
  unordered_map<Point, string, PointHasher> pointDescriptions;

  pointDescriptions.emplace(Point{10, 20}, "apple");
  pointDescriptions[{11, 20}] = "apple";

  cout << pointDescriptions.at({ 10, 20 }) << endl; // apple

  auto it = pointDescriptions.find({ 11, 34 });
  if (it != pointDescriptions.end()) // вернет false
  {
    cout << it->second << endl;
  }
  else
  {
    cout << "No point description at {11, 34}" << endl;
  }
}
```

Классы множеств std::set и std::multiset

- Ассоциативный контейнер, хранящий множество элементов определенного типа
  - set – дублирование элементов не допускается
  - multiset – дублирование элементов допускается
- Для использования данных классов необходимо подключить заголовочный файл <set>
- Требования к элементам – наличие операции отношения <
  - Возможно реализовать проверку упорядоченности иным способом при помощи объекта-параметра шаблона

Пример

```
#include <set>
#include <string>
#include <iostream>

using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    set<int> primeNumbers;
    primeNumbers.insert(2);
    primeNumbers.insert(3);
    primeNumbers.insert(5);
    if (primeNumbers.find(3) != primeNumbers.end())
    {
        cout << “3 is a prime number\n”;
    }

    set<string> maleNames;
    maleNames.insert(“John”);
    maleNames.insert(“Peter”);

    return 0;
}
```

Итераторы

- Итератор – объект, позволяющий программисту осуществлять перебор элементов контейнера вне зависимости от деталей его реализации
  - Например, осуществлять вставку диапазона элементов одного контейнера в другой
- Итераторы используются в STL для доступа к элементам контейнеров
  - Обобщенные реализации алгоритмов используют итераторы для обработки элементов контейнеров
    - **Итератор – связующее звено между контейнером и алгоритмом**

Алгоритмы

- Обобщенные функции, реализующие типичные алгоритмы над элементами контейнеров
  - Сортировка, поиск, поэлементная обработка
- Алгоритмы в STL не работают с контейнерами напрямую
  - Вместо этого алгоритмы используют итераторы, задающие определенные элементы или диапазоны элементов контейнера
- Для работы с алгоритмами STL необходимо подключить заголовочный файл <algorithm>

Пример: сортировка массива с использованием STL

```
#include <algorithm>
#include <functional>

int main()
{
   int array[5] = {3, 5, 1, 7, 9};

   // Сортируем масссив по возрастанию
   std::sort(&array[0], &array[5]);

   // Сортируем по убыванию
   std::sort(&array[0], &array[5],
std::greater<int>());

   return 0;
}
```

```cpp
#include <algorithm>
#include <functional>
#include <string>

struct Student
{
    std::string name;
    int age;
};

bool CompareStudentsByAge(Student const& s1, Student const& s2)
{
    return s1.age < s2.age;
}

int main()
{
    Student students[] = { {"Ivan", 20}, {"Alexey", 21}, {"Sergey", 19}, };

    std::sort(std::begin(students), std::end(students),
        [](Student const& s1, Student const& s2){
            return s1.name < s2.name;
    });// Alexey, Ivan Sergey

    std::sort(&students[0], &students[sizeof(students)/sizeof(*students)],
        CompareStudentsByAge); // Sergey, Ivan, Alexey

    return 0;
}
```

Пример

```
#include <string>
#include <vector>
#include <list>
#include <iterator>

using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    vector<string> names;
    names.push_back("Peter");
    names.push_back("Ivan");
    names.push_back("John");

    list<string> namesList;

    sort(names.begin(), names.end());

    copy(names.begin(), names.end(), back_inserter(namesList));

    return 0;
}
```

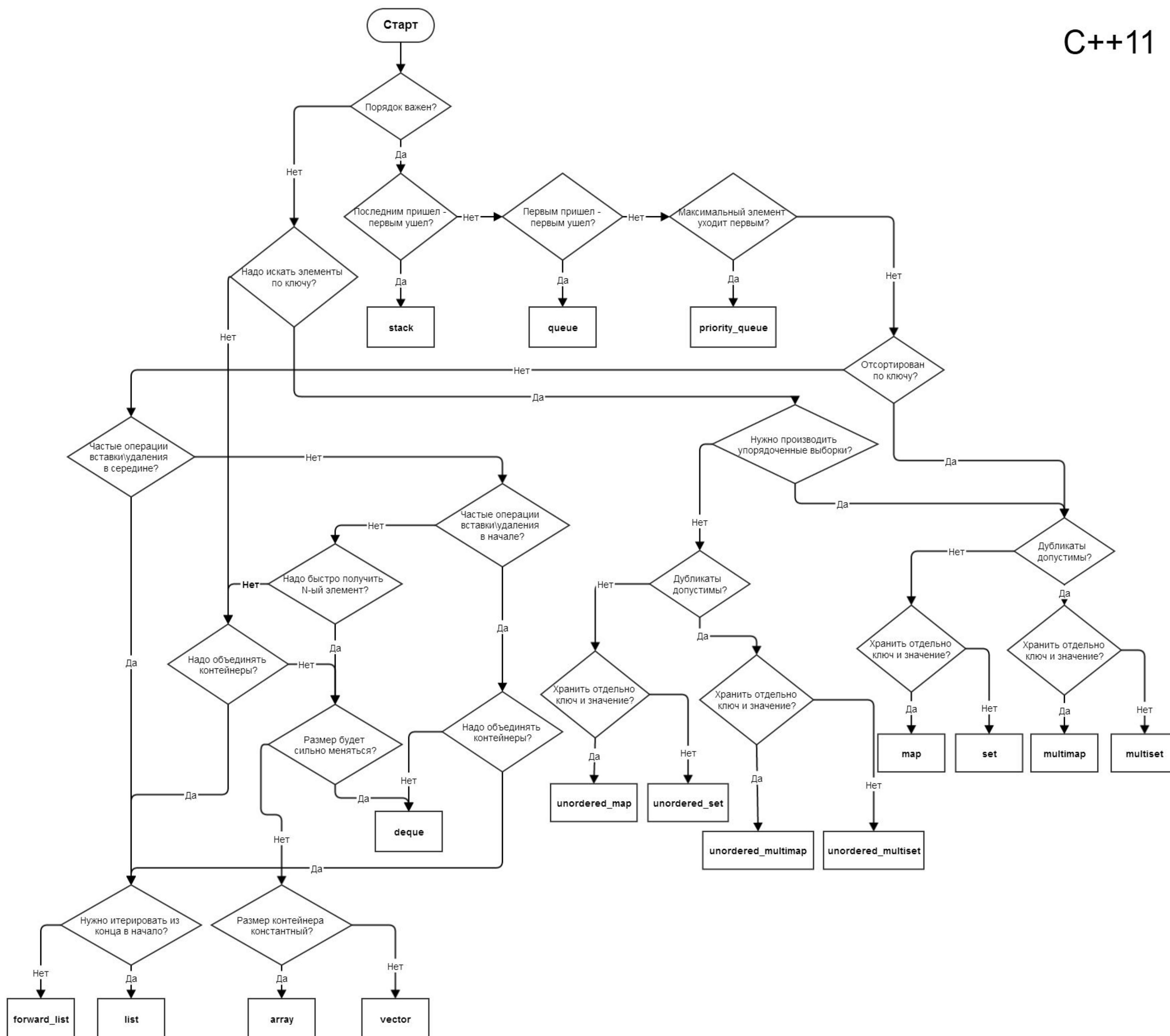
```cpp
#include <iostream>
#include <vector>
#include <functional>

using namespace std;

bool IsEven(int value)
{
    return (value % 2) == 0;
}

void FindFirstEvenValueInArray()
{
    int numbers[] = { 1, 3, 9, 10, 17, 12, 21 };

    auto it = find_if(cbegin(numbers), cend(numbers), IsEven);

    if (it != cend(numbers))
    {
        cout << "First even number in array is " << *it << endl;
    }
}
```

```cpp
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <string>

void SearchingForRabbit()
{
    string animals[] = {
    "fox", "wolf", "snake", "turtle", "bear", "rabbit", "hare"};

    if (find(begin(animals), end(animals), "rabbit") != end(animals))
    {
        cout << "There is a rabbit among the animals" << endl;
    }
    else
    {
        cout << "There are no any rabbits" << endl;
    }
}
```

```cpp
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

struct Person
{
	string name;
	int age;
};

void TestWhetherThereIsAtLeastOneAdult()
{
	Person people[] = {
		{ "Ivan", 4 }, { "Sergey", 16 }, { "Stepan Anatolievich", 65 },
		{ "Maria Semenovna", 36 }, { "Egor", 13 }
	};

	if (any_of(begin(people), end(people), [](Person const& person){
		return person.age >= 18;
	}))
	{
		cout << "At least one person is an adult" << endl;
	}
	else
	{
		cout << "There are no adults" << endl;
	}
}
```

Контейнеры STL и умные указатели

- Контейнеры STL автоматически освобождают занимаемую своими элементами память
- std::vector – рекомендуемая альтернатива динамическому массиву
- std::unique_ptr – умный указатель
- std::shared_ptr – умный указатель с подсчетом ссылок
- Прочее
  - boost::scoped_ptr
  - boost::intrusive_ptr
  - boost::scoped_array
  - boost::shared_array


C++11
Старт
Порядок важен?
Да
Нет
Последним пришел - первым ушел?
Нет
Первым пришел - первым ушел?
Нет
Максимальный элемент уходит первым?
Да
stack
Да
queue
Да
priority_queue
Нет
Надо искать элементы по ключу?
Нет
Отсортирован по ключу?
Нет
Да
Нужно производить упорядоченные выборки?
Да
Да
Частые операции вставки\удаления в середине?
Нет
Частые операции вставки\удаления в начале?
Нет
Надо быстро получить N-ый элемент?
Нет
Да
Надо объединять контейнеры?
Нет
Да
Размер будет сильно меняться?
Надо объединять контейнеры?
Нет
Да
deque
Да
Нет
Да
Да
Нет
Дубликаты допустимы?
Нет
Да
Хранить отдельно ключ и значение?
Да
Нет
unordered_map
unordered_set
Хранить отдельно ключ и значение?
Да
Нет
unordered_multimap
unordered_multiset
Дубликаты допустимы?
Нет
Да
Хранить отдельно ключ и значение?
Да
Нет
map
set
Хранить отдельно ключ и значение?
Да
Нет
multimap
multiset
Нужно итерировать из конца в начало?
Нет
Да
forward_list
list
Размер контейнера константный?
Да
Нет
array
vector

Ссылки

- [Алгоритм выбора контейнера STL]