C++

Обзор. Стандартная библиотека. Нововведения стандартов C++11 и C++14

Кафедра ИВТ и ПМ

2024

План

Outline

О языке

Си позволяет легко выстрелить себе в ногу; с C++ это сделать сложнее, но, когда вы это делаете, вы отстреливаете себе ногу целиком.

Ограничение возможностей языка с целью предотвращения программистских ошибок в лучшем случае опасно.

Б. Страуструп[a]

---

[a] Создатель языка C++

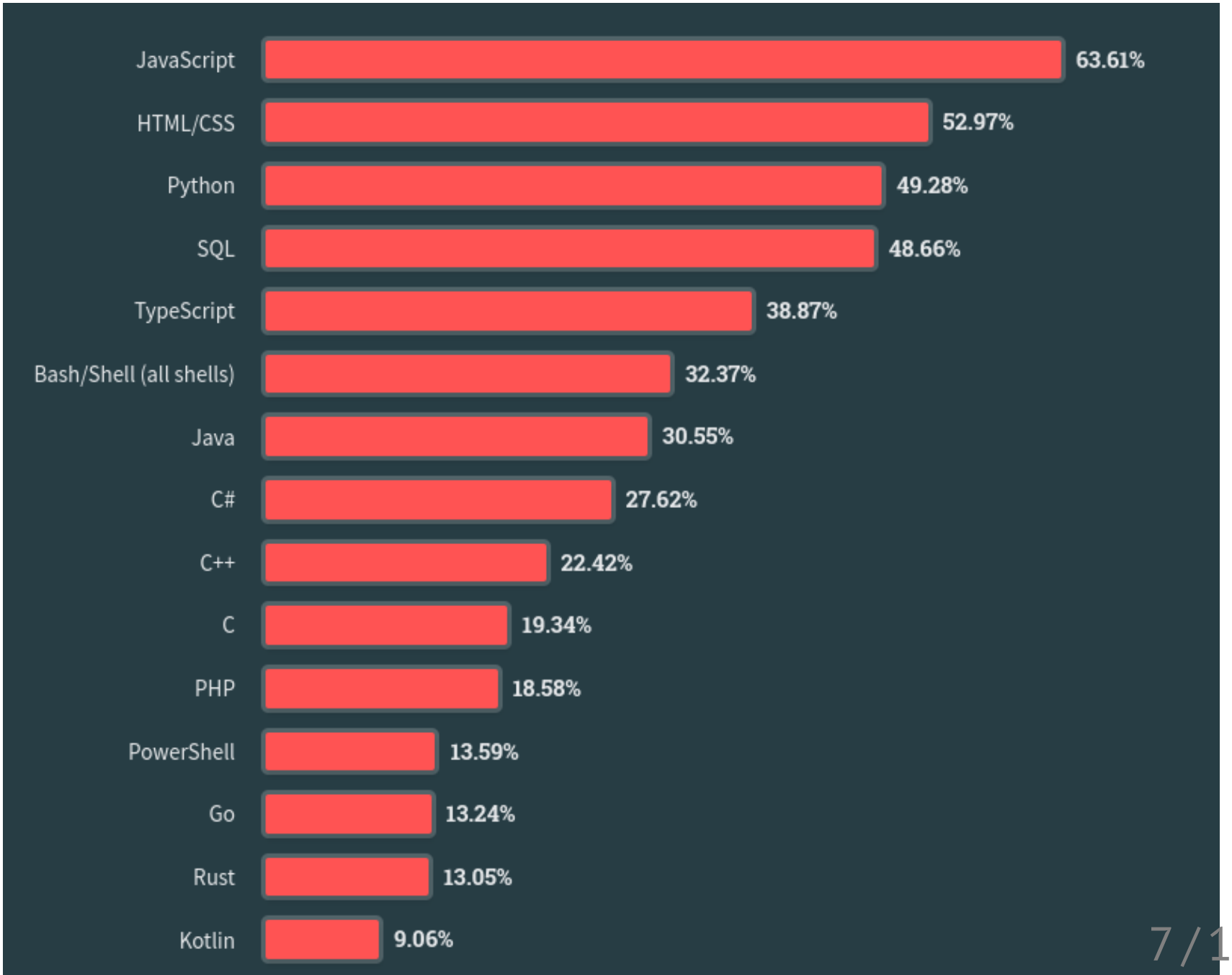
О языке

Бьёрн Страуструп (дат. Bjarne Stroustrup)

Популярность языка: TIOBE idex

Sep 2024	Sep 2023	Change	Programming Language	Ratings
1	1		Python	20.17%
2	3	↑	C++	10.75%
3	4	↑	Java	9.45%
4	2	↓	C	8.89%
5	5		C#	6.08%
6	6		JavaScript	3.92%
7	**7**		**Visual Basic**	**2.70%**
8	12	⇈	Go	2.35%
9	10	↑	SQL	1.94%
10	11	↑	Fortran	1.78%
11	15	⇈	Delphi/Object Pascal	1.77%

Популярность языка: StackOverflow survey



О языке

- Построен на основе C
- Общего назначения
- Компилируемый
- Статическая типизация
- Слабая типизация
- Объектно-ориентированный *
- Ручное управление памятью (без сборщика мусора)

* поддерживаются и другие парадигмы программирования

О языке

- Большое сообщество программистов, большая коллекция библиотек, справочной информации
- Популярен в течении последних 30+ лет, развитая стандартная библиотека
- Активно развивается: новые стандарты выходят почти каждые 2 года. C++98, C++03, C++11, C++14, C++17, C++20, C++23, C++26
- Множество реализаций для всех популярных ОС. компиляторы: MSVC, GCC, Clang\LLVM, Intel C++ compiler, ...
- Поддерживает многие концепции программирования (ООП, динамическое управление памятью, анонимные функции, шаблоны ...) которые есть в других языках программирования
- Особенно широко используется там, где высоки требования к производительности

Философия языка

- Максимально возможная совместимость с C
- Поддержка многих парадигм программирования: процедурное, ООП, обобщенное, ...
- Не плати за то, что не используешь
- Максимально возможная независимость от платформ

О языке

- Бо́льшая часть кода Microsoft Windows написана на C++
- Часть кода Apple OS X – C++ код

- Adobe Photoshop
- MySQL Server
- Autodesk Maya
- Mozilla Firefox
- Unreal Engine
- Многие библиотеки для Python
- Код написанный на C++ работает на других планетах[1]
- ...

[1] ПО марсохода Curiosity http://yahnev.ru/?p=3684

IDE

- Qt Creator
  Кроссплатформенный, лаконичный, свободный, устанавливается вместе с фреимворком Qt[2]
- Visual Studio
  - youtube.com/watch?v=kpgG9imQ2fU- Самые вкусные возможности Visual Studio 2019
  - youtube.com/watch?v=JhxC-K-Eehg
- JetBrains CLion
  Кроссплатформеный, есть версия для студентов, нет бесплатной версии
  - youtube.com/watch?v=Srnw1dI1iAA
- jupyter.org/try - C++ (компилятор Clang) в Jupyter. подходит для экспериментов: работает как интерпретатор

[2] путь к папке с установкой должен содержать только латиницу (без пробелов)

Библиотеки

Стандартная библиотека C++ содержит многое, что необходимо для хранения и обработки данных (динамический массив, список, и т.д.), для работы с файлами, сетью, потоками и др. Модули для создания приложений с GUI в состав библиотеки не входят.

В отличии от Python вместе к компилятором C++ не поставляется средств для автоматической установки дополнительных библиотек.
Библиотеки необходимо скачивать вручную, компилировать (при необходимости) и устанавливать в систему или размещать в каталогах проекта

Библиотеки

Набор библиотек **boost** поставляется отдельно и представляет больший набор возможностей чем стандартная библиотека. Boost содержит в том числе математические модули, например посвященные линейной алгебре, работе с графами и для статистической обработки данных.

Структура программы

Далее рассматривается шаблон простого приложения на C++.

Эти шаблоны могут немного отличаться в зависимости от используемой среды программирования и типа проекта, который создаётся.

Приведённый на следующем слайде шаблон был создан в Qt Creator: создать проект ... > проект без Qt > приложение на языке C++

Структура программы

```
// подключение заголовочных файлов библиотек

// описание типов данных,
// констант,
// функций (но лучше в отдельном файле)


// основная программа
int main(int argc, char* argv[]){

    // основной алгоритм
    return 0;

}
```

Структура программы

Пример

```
// подключение модулей. Имя модуля (заголовочного файла) в угловых ско
// он в известных компилятору местах (например модуль стандартной библ

#include <iostream> // модуль для ввода\вывода (в консоль)

// подключение заголовочного файла расположенного в том же каталоге
// где и основной файл исходных кодов. вместо угловых скобок - кавычки
#include "my_file.h"

// стандартная библиотека содержится в пространстве имён std
// чтобы каждый раз не использовать std:: при обращении к содержимому
// этой библиотеки сделаем содержимое std доступным непосредственно
using namespace std;

// переменные, константы, типы и функции можно объявлять здесь

// основная программа:
int main(int argc, char* argv[])
//допускается и такой заголовок: int main()
{
    // здесь тоже можно объявлять переменные, константы и типы
    cout << "Hello< World!" << endl;
    return 0;
}
```

Структура программы

Пояснения

- `#include` - *директива компилятора* вставляющая содержимое указанного файла исходных кодов в текущий файл
- `main` – функция вызываемая при запуске программы
  `int main(int argc, char* argv[])`
  - `int` – тип данных возвращаемого значения
  - для каждого параметра функции тоже указывается тип данных
  - `argc` – число аргументов командной строки
  - `char* argv[]` – массив из аргументов командной строки (первый аргумент – полное имя исполняемого файла)
- `{}` – операторные скобки [3]
- `return 0`. по договорённости программа должна возвратить 0 если она завершилась без сбоев. Этот код возврата может использоваться другими программами, которые вызывают данную.

Далее на слайдах не будет приводится заголовок функции main и иногда подключение модулей для сокращения кода

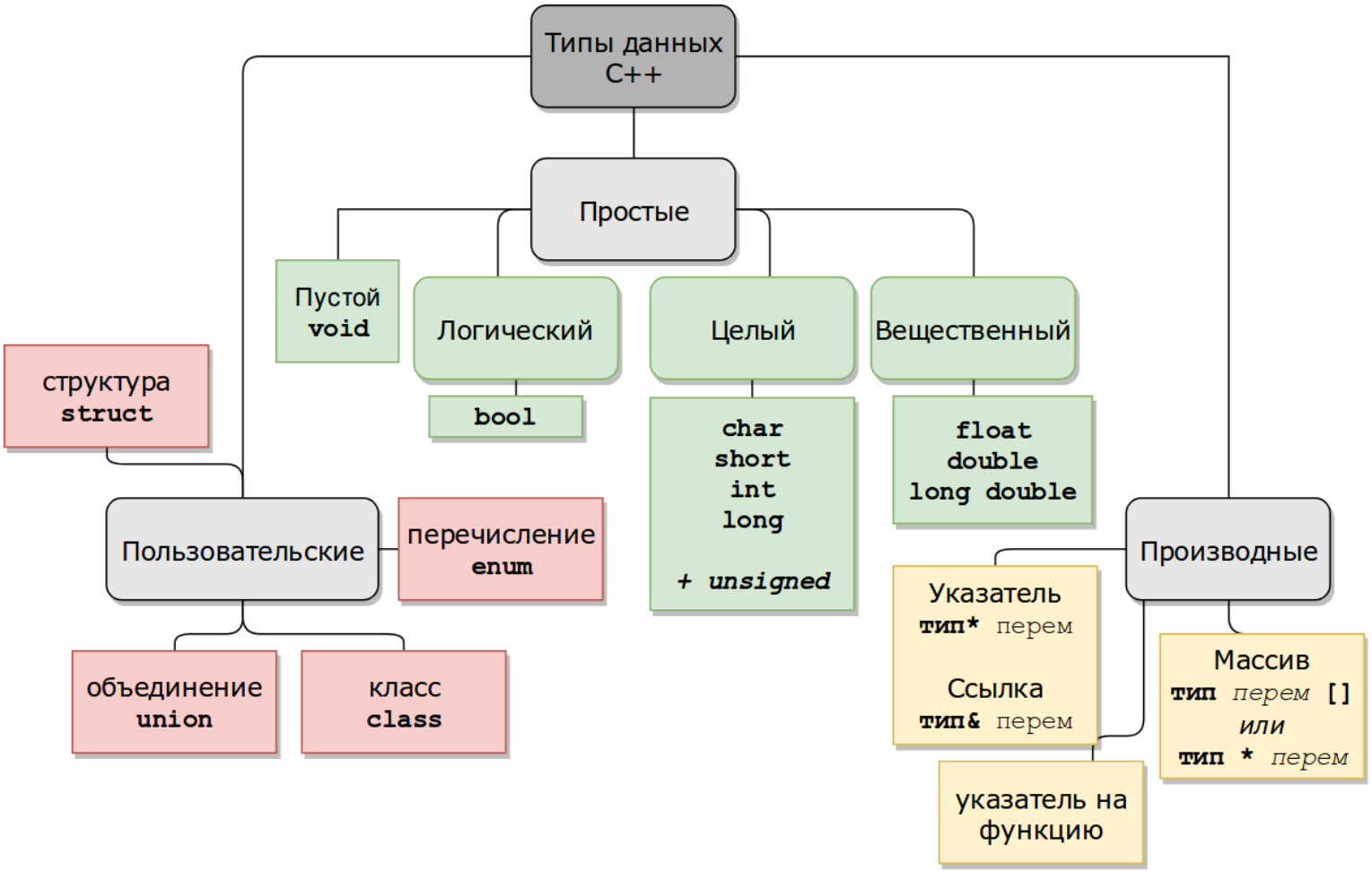
[3] объединяют несколько операторов в блок команд. В Python для этих же целей служат отступы

Прошлые темы

- Что такое литерал?
- Что такое идентификатор?
- Что такое объявление?
- Что такое определение?
- Что такое тип данных?

Outline

Типы данных



Подробнее о простых типах: ru.cppreference.com/w/cpp/language/types

Типы данных

Data Type	Size (bytes)	Size (bits)	Value Range
unsigned char	1	8	0 to 255
signed char	1	8	-128 to 127
char	1	8	either
unsigned short	2	16	0 to 65,535
short	2	16	-32,768 to 32,767
unsigned int	4	32	0 to 4,294,967,295
int	4	32	-2,147,483,648 to 2,147,483,647
unsigned long	8	64	0 to 18,446,744,073,709,551,616
long	8	64	–9,223,372,036,854,775,808 to 9,223,372,036,854,775,807
unsigned long long	8	64	0 to 18,446,744,073,709,551,616
long long	8	64	–9,223,372,036,854,775,808 to 9,223,372,036,854,775,807
float	4	32	3.4E +/- 38 (7 digits)
double	8	64	1.7E +/- 308 (15 digits)
long double	8	64	1.7E +/- 308 (15 digits)
bool	1	8	false or true

Для определения размера переменной или типа используется оператор sizeof. Он возвращает размер в байтах. Например sizeof(double)
https://en.cppreference.com/w/cpp/language/sizeof

Объявление переменных и констант

- В C++ нет специального раздела программы для определения или объявления переменных
- При объявлении:
  - сначала указывается тип данных [4]
  - потом идентификатор переменной
  - наконец присваивается значение (если необходимо)

```
int n;                  // можно не задавать значение
float x = -47.039;  // можно задавать...
float y,z;
const short N = 24;  // константе задавать значение обязательно
char str1[] = "qwerty"; // строка как массив символов
// string - тоже строка, но лучше (удобнее в работе)
string str2 = "qwerty"; // нужно подключить модуль string
n = N;
N = n;  // Ошибка! Константу поменять нельзя
a = 42; // Ошибка! Переменная a не объявлена
```

[4] в отличии от Python переменная не может менять свой тип данных

Объявление переменных и констант

Домашнее задание: constexpr

Вывод данных

Пример

```
#include <iostream>
using namespace std;

cout << "Hello, World!";

// endl - вывод символа конца строки и очистка буфера вывода
cout << "Hello, World!" << endl;

// Вывод переменной
float x;
cout << x << endl;

// Вывод данных нужно подписывать
cout << "x = " << x << endl;
```

Вывод данных

- `cout << "qwerty" << 3.14 << 42;`

  На экране появится: `qwerty3.1442`
- `cout` – объект предназначенный для вывода на стандартный вывод
- `<<` – оператор вывода данных данных.
  Левый операнд – объект cout;

  Правый операнд – выводимые данные.
- `cout` объявлен в заголовочном файле `iostream`, пространстве имён `std`;

Подробнее: mycpp.ru/cpp/book/c20.html

Вывод данных

```
#include <iostream>      // std::cout, std::fixed
#include <iomanip>       // std::setprecision

...
// Установка формата вывода:
// (без использования экспоненциальной формы)
// установка 2 знаков после запятой
cout << fixed << setprecision(2);


// Вывод строки и перменной одновременно
cout <<  "X = " << x << endl;
```

Ввод данных

`cin` – объект предназначенный для чтения данных с клавиатуры, объявлен в iostream

`>>` – оператор чтения данных с клавиатуры.
Левый операнд – объект cin;
Правый операнд – переменная.

```
float x;
cin >> x;
```

cin объявлен в заголовочном файле `iostream`, пространстве имён `std`;

Ввод данных

```
#include <iostream>
using namespace std;

float x;
cout << "Введите число ";
cin >> x;
```

Типы данных

Производные типы

- Указатель (pointer), Ссылка (reference)
- Массив[5]
- Структура (struct)
- Класс (class)
- Перечисление (enum)
- Объединение (union)

[5] рекомендуется использовать классы стандартной библиотеки вместо массивов

Типы данных

Указатели

Указатель (pointer) – переменная, диапазон значений которой состоит из адресов ячеек памяти или специального значения — нулевого адреса (nullptr).
Другими словами: указатель – переменная которая хранит адрес памяти; также может хранить адрес памяти, где находится другая переменная.

При объявлении указателя после типа данных, на который он должен указывать, ставится *

```
// объявление указателя на тип int
int * ip;

// объявление указателя на тип float
// здесь сразу в записывается адрес
// nullptr - это пустой указатель,
// таким образом указатель fp в данный момент
// ни на что не указывает
float *fp = nullptr;
```

Типы данных

Указатели

Основные операции используемые при работе с указателями

- взятие адреса. оператор &

  используется при записи адреса переменной в указатель

- разыменование. оператор *

  доступ к значению, адрес которого записан в указателе

```
// объявление указателя на тип int
int * ip;

int i = 42;

// в указатель можно записать адрес переменной
// для этого используется оператор взятия адреса &
ip = &i;

// теперь можно обращаться к переменной i через указатель
// чтобы обратится не к адресу, который записан в указателе
// а к значению, на которое он указывает нужно использовать
// оператор разыменования *
*ip = 8; // переменная i теперь содержит 8
```

Типы данных

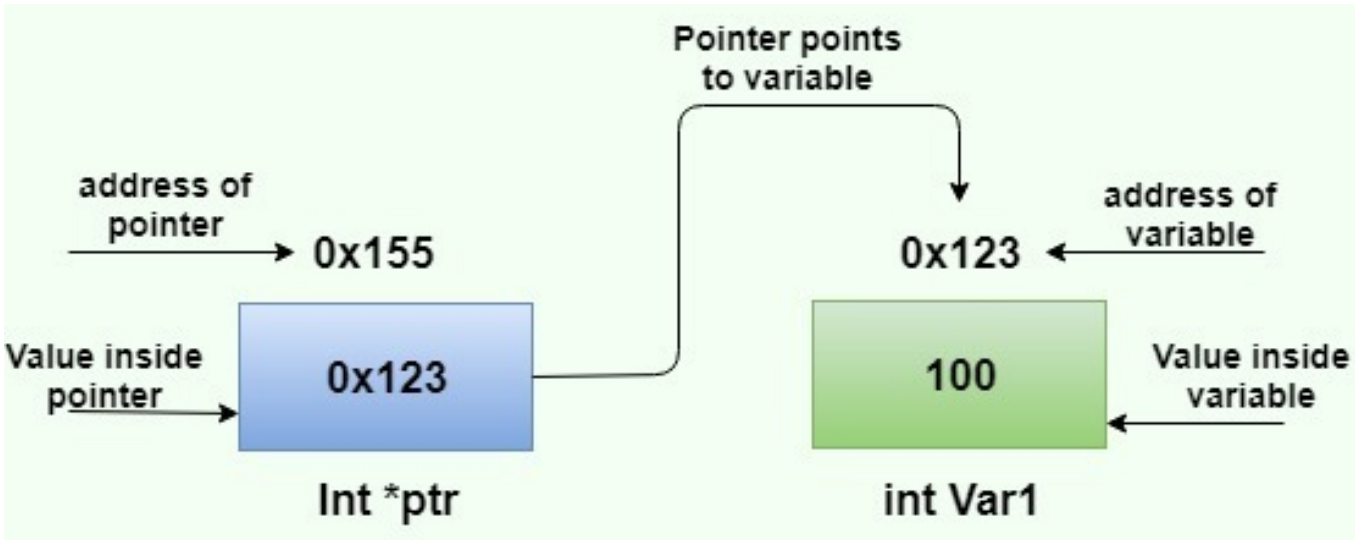
Указатели

```
// объявление указателя на тип int
int * ip;

int i = 42;

ip = &i;

*ip = 8; // переменная i теперь содержит 8
int *ip2;

// конечно можно записывать в один указатель другой
// если типы данных, на которые они ссылаются совпадают
ip2 = ip;
// *ip2 = 8
//  *ip = 8
//    i = 8

*ip2 = 1950;
// *ip = 1950
//   i = 1950
```

Типы данных

Указатели

```
int Var1 = 100;          // хранит значение типа int
int *ptr = &Var1;        // хранит адрес другой переменной
```



Типы данных

Ссылки

Ссылки похожи на указатели, только с разницей

- Ссылка не может менять своё значение
- Следовательно при объявлении ссылки она обязательно инициализируется
- При обращении к значению по ссылке оператор * не требуется
- Для взятия адреса другой переменной оператор не требуется

Про ссылку можно думать как про другое имя для объекта

```
int i = 42;
// при _объявлении_ ссылки используется &
// здесь не стоит путать с оператором & для взятия адреса,

int &il = i;

// оператор разыменования не требуется
int n = il;
il = 100;     // обращение к ссылке как к "нормальной" переменно
// i = 100; n = 42

// ссылка не может указывать на литерал
int &il2 = 100;      // ошибка!
```

Типы данных

Статические массивы

```
// статический массив из 128 целых чисел
// память для него выделится в сегменте данных, при запуске программы
int a[128];

// обращение к элементу по его индексу
a[0] = 42; // нумерация с нуля

// храните размер статического массива в константе
unsigned const n = 128;
float b[n];
n[n-1] = 36.6; // последний элемент массива

// можно сразу задать значения
int days[12] = {31, 27, 31, 30, 31, 30,   31, 31, 30, 31, 30, 31};

// инициализация всех элементов нулём
int numbers[128] =   {0};

// если задаётся список значений, то их количество можно не указывать
int days[] =   {31, 27, 31, 30, 31, 30,   31, 31, 30, 31, 30, 31};

// массивы-константы
const int days[] = {31, 27, 31, 30, 31, 30,   31, 31, 30, 31, 30, 31};
```

Типы данных

Динамические массивы

```
unsigned n = 128;
// для работы с динамическими массивами используются указатели
// указатели нельзя отличить от дин. массивов только по _объявлению_
// запишем в указатель адрес памяти выделенной для 128 int'ов
// оператор new выделяет память в куче (динамической памяти)
int *a = new int[n];

// a -- указатель на начало массива,
// он не хранит количество элементов.
// храните размер массива в отдельной переменной

// обращение к элементам такое же как и для статического массива
a[0] = 42;
int x = a[2];

// после окончания работы
// нужно освободить память, которую он занимает
delete[] a;
```

В большинстве случаев использование класса vector из стандартной библиотеки (см. C++. part2.pdf) предпочтительнее использования динамических массивов. vector предоставляет удобный для программиста способ работы с динамическими массивами.

Типы данных

Динамические массивы

```
unsigned n = 3;

// можно сразу задать значения
int *a = new int[n] {9, 3, 1};

delete[] a;
```

В большинстве случаев использование класса vector из стандартной библиотеки (см. C++. part2.pdf) предпочтительнее использования динамических массивов. vector предоставляет удобный для программиста способ работы с динамическими массивами.

Типы данных

Динамические массивы

```
// Двумерные массивы

// число срок и столбцов в матрице
unsigned n = 128, m = 256;

// двумерный массив - это массив из указателей [на массивы]
int **m = new int* [n];

// отдельно создадим все "вложенные" массивы
for (unsigned i=0; i<n; i++)
    m[i] = new int[m];

m[0][0] = 42;

// порядок освобождения памяти - обратный выделению памяти
// удаление "вложенных" массивов
for (unsigned i=0; i<n; i++)
    delete[] m[i]

// удаление массива из указателей
delete[] m;
```

Типы данных

Перечисления

Домашнее задание: enum, enum class

Типы данных

Составные типы данных

Для представления составных типов данных в C++ используются

- Структуры `struct`
- Объединения[6] `union`
- Классы `clss`

[6] Объединение позволяет хранить один набор данных, но обращаться к нему как к различным типам

Типы данных

struct

```
// Определение нового типа данных
    struct Point{
        float x, y;     // поля
    };

    Point p; // объявление переменной типа Point

    // обращение к полям
    p.x = 10;
    float a = p.y;

    // можно задавать значения полей при объявлении
    Point p1 = {10, 2};
    a = p1.x; // a = 10
```

Outline

Управляющие операторы

Условный оператор

```
if ( условие )
    оператор1
else
    оператор2
```

Если требуется выполнить несколько операторов вместо оператор1 или оператор2 то используются операторные скобки {}

Управляющие операторы

Условный оператор. Пример.

Определение максимального из двух чисел.

```
float x, y, max;

// ...
cout << "Определение максимального из двух чисел: "
cout << x << " и " << y << endl;
if ( x > y )
    max = x;
else
    max = y;

cout << "Максимальное число: " << max;
```

Управляющие операторы

Условный оператор

Внутри блока проверки условия допускается выражение любого типа, который приводится к bool.

```
int x = 42;

if ( x )
  cout << "Этот оператор сработает потому, что 42 -> true"

x = 0;
if ( x )
  cout << "Этот оператор не сработает потому, что 0 -> false"

if ( x = 1729)
  cout << "Этот оператор сработает потому, что \
оператор присваивания вернёт присвоенное значение - 1729";
```

Управляющие операторы

Домашнее задание: оператор switch ... case, тернарный оператор

Управляющие операторы

Цикл со счётчиком

```
for (действие до цикла;
     условие;
     действия в конце итерации) {

  оператор1
  оператор2
  ...
  операторN
}
```

Тело цикла выполняется пока ***условие*** истинно

Управляющие операторы

Цикл со счётчиком. Примеры.

Печать чисел от 0 до 10

```
for (int i = 0; i<11; i++) {
    cout << i << endl; }
```

Заполнение массива случайными целыми числами

```
const int N = 10;
int a[N];
for (int i = 0; i<N; i++) {
    a[i] = rand(); }
```

ru.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/rand

Управляющие операторы

Цикл со счётчиком. Примеры.

Печать элементов массива

```
const int N = 10;
int a[N]

cout << "Набор чисел: ";
for (int i = 0; i<N; i++) {
    cout << a[i] << " "; }
```

Управляющие операторы

Цикл с предусловием

```
while (условие) {
    Тело цикла;
                }
```

Управляющие операторы

Цикл с предусловием. Пример.

Печать строки посимвольно

```
char s[] = "Print Me!";

unsigned i = 0;

while (s[i]!=0){
    cout << s[i];
    i++;}
```

В C++ каждая строка заканчивается символом с нулевым кодом.

Управляющие операторы

Цикл с постусловием

```
do {
    Тело цикла;
}
while (Условие)
```

Управляющие операторы

Цикл с постусловием. Пример.

Контроль входных данных

```
float x;
do {
  cout << "Введите положительное число > " << endl;
  cin >> x;
}
while ( x <= 0);
```

Управляющие операторы

Совместный цикл

```
for (type item : set)  {
// тело цикла
//использование item
}
```

В начале каждой итерации цикла в переменную `item` будет записано значение из последовательности `set`.

set - массив или любым другим типом имеющим итератор (например list), т.е. тип должен допускать перебор элементов.

Управляющие операторы

Совместный цикл. Примеры

```
int my_array[5] = {1, 2, 3, 4, 5};

for(int x : my_array)
    cout << x << " ";

// в x записывается ссылка на элемент, можн
for(int &x : my_array)
    x = x*x;


int *d_array = new int[5];

// ошибка! число элементов массива не извес
for(int x : d_array)
    cout << x << " ";
```

auto используется вместо указания типа, см. определение типа.

Управляющие операторы

Совместный цикл. Примеры

```
// класс vector предоставляет функциональность динамического м
// только с возможностью изменять размер, автоматически освобо

// массив из элементов типа float
vector<float> vec1;

vec1.resize(10);
// в X записывается только значение.
// Этот цикл ничего не изменит в vec1
for (float x: vec1) x *= 2;


// а этот изменит
for (float &x: vec1) x *= 2;
```

auto используется вместо указания типа, см. определение типа.

Outline

Функции

Общий вид определения (definition) функции.

```
возвр.тип func_name( тип параметр, ... ) // заголовок функции
{
    // тело функции
    return выражение-с-типом==возвр.тип; // не обязательно*
}
```

* в некоторых компиляторах

Функции

```
// Возврат значения из функции
float foo( int x ) {
    return rand() % x; }

// вызов функции
int y = foo( 100 );



// Функция не возвращающая ничего
void bar( int x) {
    cout << rand() % x << endl; }
```

Функции

```
void print_array(int *a, unsigned n){
    for (int i = 0; i<n; i++)
        cout << a[i] << " ";
}

int main(){
    const unsigned M = 4;
    int b1[M] = {1, 2, 3, 4};
    int b2[M] = {4, 70, 39, 76};

    cout << "Набор  чисел #1:" << endl;
    print_array(b1,M);
    cout << endl;

    cout << "Набор  чисел #2:" << endl;
    print_array(b2,M);
    cout << endl;
}
```

Функции

Принцип единственной ответственности?

Параметры-ссылки и параметры-значения

Функции. Параметры-ссылки и параметры-значения

Для фактического параметра переданного "***по значению***" внутри функции создаётся локальная копия. Изменение этой копии (формального параметра) не влияет на фактический параметр.

```
int a = 42;

// x - формальный параметр-переменная
void foo ( int x ) { x = 123; }

foo( a ); // a - фактический параметр
cout << a;  // 42
// переменная a не изменилась
```

Функции. Параметры-ссылки и параметры-значения

Для фактического параметра переданного в функцию "***по ссылке***", на самом деле передаётся его *адрес*. Значит изменения формального параметра внутри функции означают изменения фактического параметра.

```
int a = 42;

// x - формальный параметр-ссылка
void foo ( int &x ) { x = 123; }


foo( a ); // a - фактический параметр
cout << a;  // 123
// переменная a изменилась
```

Функции. Передача массива в функцию

```
float print_array(int* a, unsigned n){
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        std::cout << a[i] << " ";
}
```

```
    const int N = 5;
    int arr1[N] = {3, 1, 4, 1, 6};

    int *arr2 = new int[N] {3, 1, 4, 1, 6};

    print_array(arr1, N);

    print_array(arr2, N);
```

Функции. Параметры-ссылки и параметры-значения

Переменные, которые занимают достаточно много памяти (классы, структуры, объединения) стоит передавать по ссылке, чтобы избежать создания их копии при вызове функции.
Если такая переменная не должна менять значение внутри ссылки, то используйте модификатор const:

```
struct Coordinate{
    double latitude;
    double longitude;
};

void print_coordinate( const Coordinate& c){
    c.latitude = 51;     // ошибка!
    cout << c.latitude << ", " << c.longitude;
}

int main(){
    Coordinate c1{-19.949156, -69.633842};
    print_coordinate(c1);
}
```

Значения параметров по умолчанию

Функции. Значения параметров по умолчанию

Когда параметр необходим, но функция часто вызывается с определённым его значением, то можно задать для него значение по умолчанию.

```
void foo( int y = 1950 ) {cout << x;}

foo( 123 ); //  123
foo()       // 1950
```

Формальные параметры со значению по умолчанию должны быть последними.

Функции. Значения параметров по умолчанию

- Используйте для аргументов, значения которых часто принимают одно и то же значение
- Приводите эти аргументы в последнюю очередь
- Не используйте неожиданных значений по умолчанию

Перегрузка
Overloading

Функции. Перегрузка

Функциям выполняющие одинаковую работу с разными по типу наборами данных можно давать одинаковые имена. Компилятор определит по набору фактических параметров, какая функция должна быть вызвана.

```
void foo(int x){ cout << "Перегрузка";}

void foo(float x){ cout << "Overloading";}

void foo(int x, int y){ cout << "Überanstrengung!!!";}

    foo(20);     // Перегрузка
    foo(20.0);   // Overloading
    foo(1, 2);   // Überanstrengung!!!
    foo(1, 2.0) // Überanstrengung!!!
```

Функции. Перегрузка

- Функциям выполняющим одинаковую работу с разными данными можно давать одинаковые имена
- Перегруженные функции должны отличатся по типу и количеству параметров
- Перегруженные функции не отличаются по типу возвращаемого значения
- При компиляции перегруженным функциям даются разные имена.
- Какая из перегруженных функций будет вызвана также определяется на этапе компиляции

Переменное число параметров функции variadic arguments

- Документация: en.cppreference.com/w/cpp/language/variadic_arguments
- Описание и примеры: ravesli.com/urok-111-ellipsis-pochemu-ego-ne-sleduet-ispolzovat/

Функции

Выводы

- Функции делают возможным алгоритмическую декомпозицию
- Функции делают возможным повторное использование кода

Функции

Выводы

- Для того чтобы пользоваться функцией не нужно обладать минимальными знаниями о её внутреннем устройстве
- Легче повторно использовать функцию служащую одной цели
- Следует стремится к чистоте функций
- Стоит избегать использования глобальных переменных в функциях
- Параметры, которые дорого копировать следует передавать по ссылке
- Параметры, переданные по ссылке, но не изменяющиеся в теле функции нужно делать константными.

Функции

Документирующие коментарии

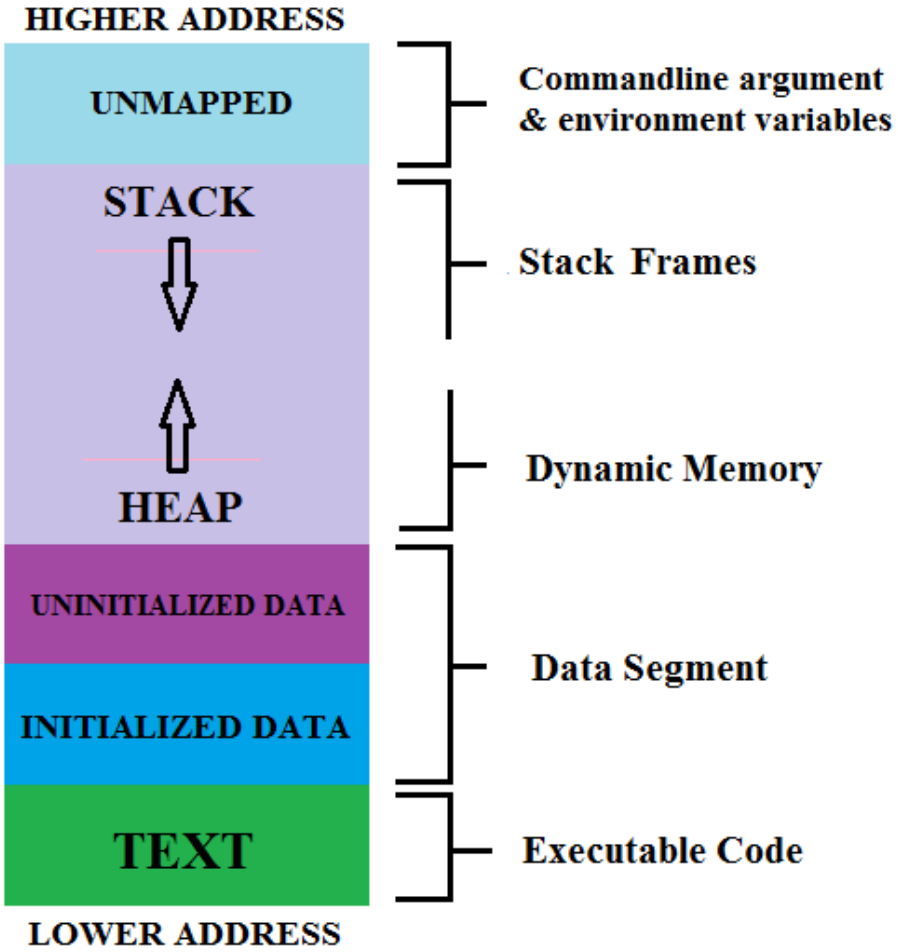
```
// плохо:
// функция вычислений; возвращает float
float bmi(float m, float h);

// лучше:
// вычисляет индекс массы тела
float bmi(float m, float h);

// хорошо:
// вычисляет индекс массы тела по массе (m) в кг. и росту (h) в метрах
// бросает исключение ivalid_argument если h==0
float bmi(float m, float h);

// отлично (машинно-читаемый комментарий для
// системы документирования Doxygen):
/// вычисляет индекс массы тела;
/// бросает исключение ivalid_argument если h==0
/// \param m масса тела в кг.
/// \param h рост в метрах
/// \return индекс массы тела
float bmi(float m, float h);
```

Ссылки на функции

Это домашнее задание. Приведите примеры объявлений типов для ссылок на функции с помощью using

Outline

Устройство памяти программы



- Стек (stack): локальные переменные, адреса вызова функций
- Куча (heap): динамические (созданные во время работы программы, оператором new) переменные
- Сегмент данных (data segment): глобальные и статические переменные
- Скомпилированный код программы (executable code)

Операторы управления динамической памятью

- **new** выделяет память в куче (Heap), адрес выделенной памяти записывается в указатель.
- **delete** освобождает память.

Если память была выделена динамически (с помощью оператора `new`), то она обязательно должна быть освобождена вызовом `delete` во избежание *утечки памяти*.

см. примеры использования на слайде 36

Операторы управления динамической памятью

Пример

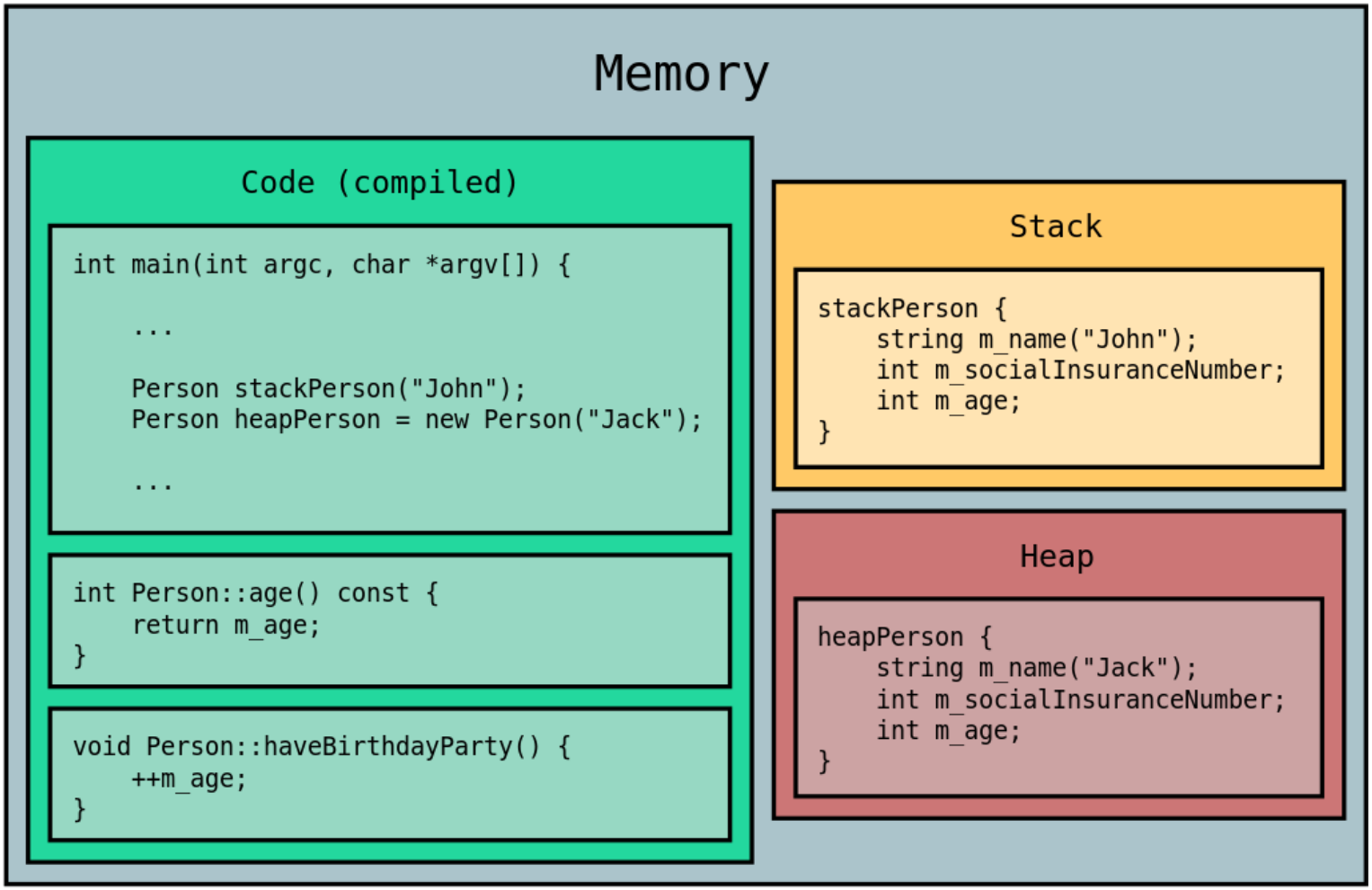
```
struct Point{
    float x,y;
};

// выделенную в функции память можно использовать и вне это фу
Point* random_point(){
    Point* p = new Point;
    // оператор -> используется вместо . при работе с указател
    // на структуру
    p->x = float(rand()) / RAND_MAX;
    p->y = float(rand()) / RAND_MAX;
    return p; // возвращается указатель на выделенную память
    }

int main(){
    Point *p = random_point();
    delete p;
    }
```

Устройство памяти программы

```
class Person {

public:
    Person(string const& m_name);

    // imagine other methods here

private:
    string m_name;
    int m_socialInsuranceNumber;
    int m_age;
};

// ...

Person stackPerson("John");
Person* heapPerson = new Person("Jack");
```

Устройство памяти программы

Пример: стек и куча



Outline

Модули

- В C++ полноценные модули добавили в стандарте C++20.[7]
- На данный момент (осень 2021) поддержка модулей не полностью реализована в компиляторах[8]
- В C++ исходный код можно приводить в отдельных файлах, которые подключать в основной
- Под модулем в C++ можно понимать отдельный файл исходных кодов
- Подключение модуля = включение содержимого модуля в другой файл исходных кодов
- Обычно *объявления* переменных, типов данный, функций приводится в заголовочном файле (header file) который имеет расширение `.h` (или `.hpp`)
- *Определения* же приводятся в файлах с расширением `.cpp`

[7] Стандарт C++20: обзор новых возможностей C++. Часть 1 «Модули и краткая история C++»

[8] en.cppreference.com/w/cpp/compiler_support

Модули

- Можно говорить, что модуль состоит из двух файлов:
  заголовочного файла (см. wikipedia)
  cpp файла

  Имена этих файлов (с точностью до расширения) рекомендуется выбирать одинаковыми например `my_module.h` и `my_module.cpp`
- Это своего рода аналоги (но далеко не полные) разделов implementation и interface в модуле языка Pascal
- Подключать (include[9]) рекомендуется только заголовочные файлы.
- При этом с каждом заголовочном файле должна быть защита от повторного подключения (см. Include guard)
- Имена cpp файлов нужно передавать компилятору. В них компилятор будет искать определения функций, объявленных в заголовочных файлах.

[9] эта директива копирует содержимое файла в место своего приведения

Модули

my_module.h

```
#ifndef MY_MODULE_H
#define MY_MODULE_H
// глобальная переменная
extern int A;

struct Point{
    float x, y;  };

// объявление функции
float distance(const Point &p1,
        const Point &p2);
#endif // MY_MODULE_H
```

my_module.cpp

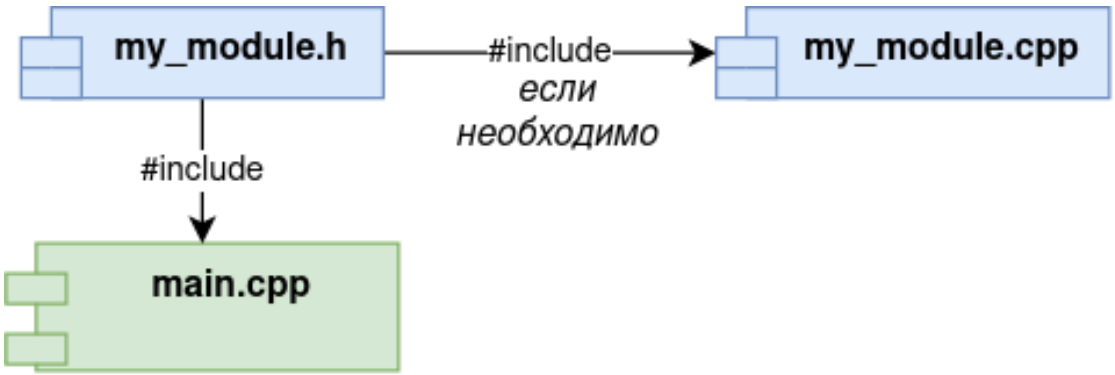
```
#include <math.h>
#include "my_module.h"

// глобальная переменная
int A = 42;

float distance(const Point &p1,
const Point &p2){
    return pow( pow(p1.x - p2.x, 2)
      + pow(p1.y - p2.y, 2), 0.5 );
}
```

main.cpp

```
#include <iostream>
#include "my_module.h"
using namespace std;
int main(){
    Point p1 = {0, 0};
    Point p2 = {3,4};
    float d = distance(p1,p2);
    cout << d;}
```

Модули

Пример

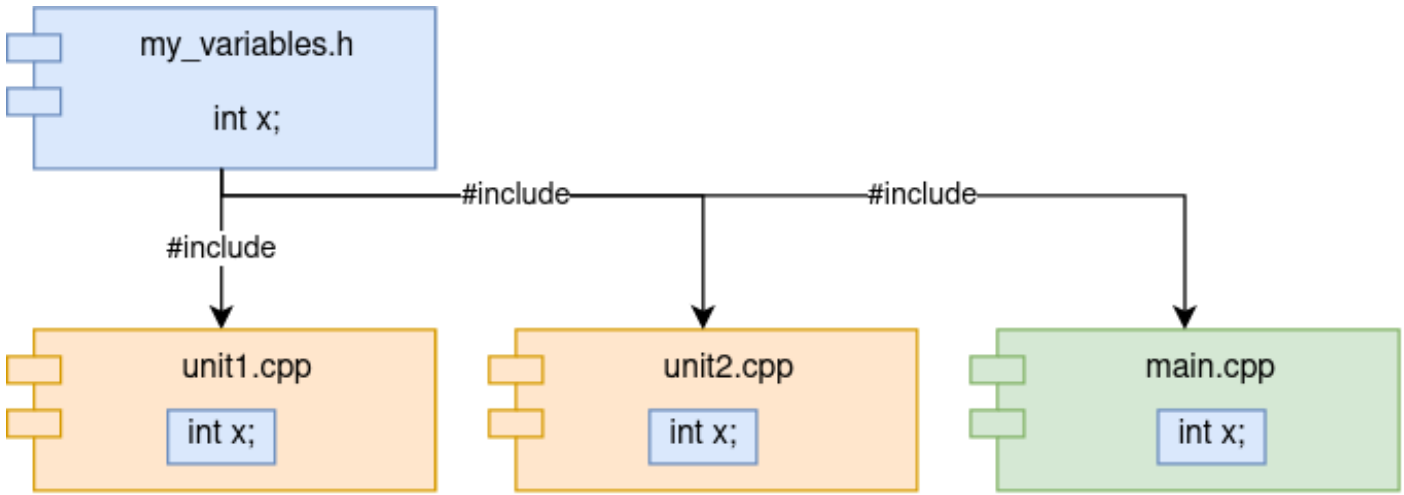


Модули

extern

Проблема

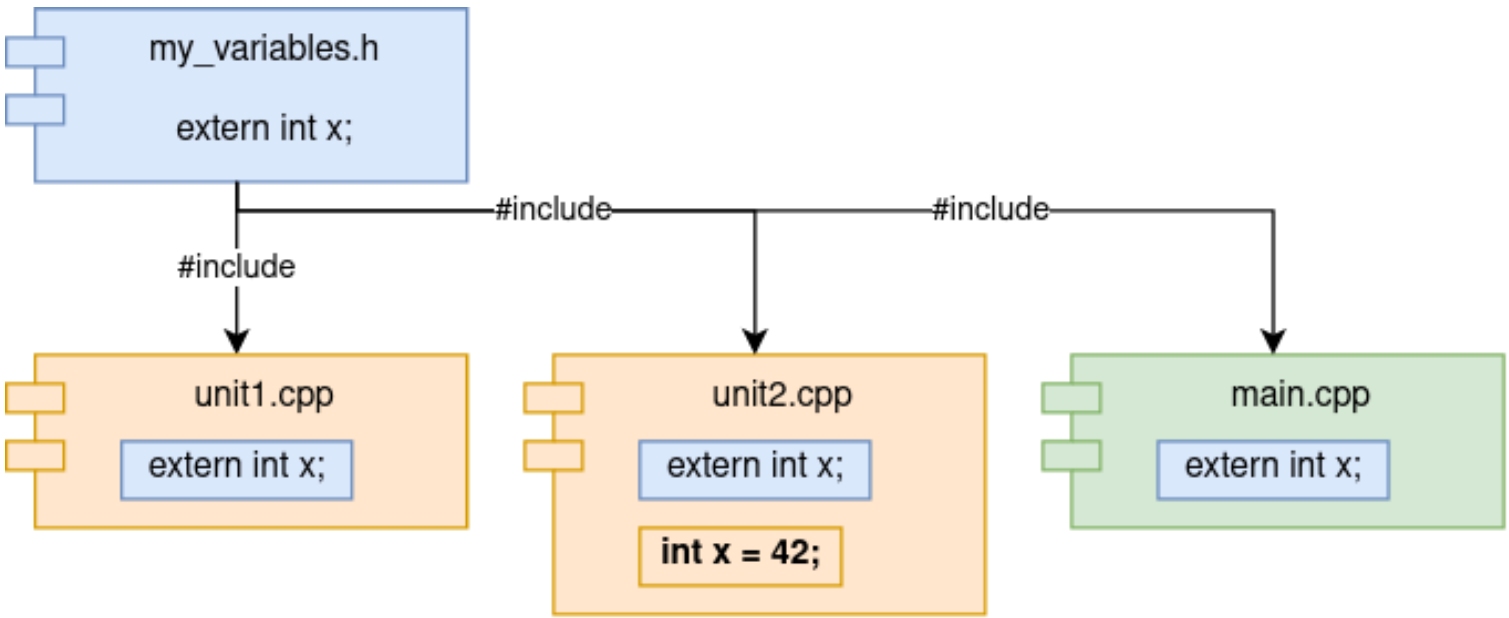
- Объявляем переменную x в заголовочном файле
- Подключаем этот заголовочный файл в несколько cpp файлов, которые используют эту переменную
- Каждый cpp файл теперь имеет *свою* переменную x
- Ошибка компиляции: множественное объявление переменной x



Модули

extern

```
// предварительное объявление переменной
// extern - подсказка компилятору:
//          переменная определена где-то в другом месте
extern int x;
```



Модули

Документирование

комментарий в самом начале заголовочного файла

```
/// \file TheAnswer.h
/// \brief (тут краткое описание) содержит функции для вычисления
///  ответа на главный вопрос жизни, вселенной и всего такого
/// \author Николай Муравьёв-Амурский
/// \author Bjarne Stroustrup
/// \date 2036
/// \warning функции не протестированы
/// \bug функция get42 выдаёт всё что угодно, но не 42

// тут дальше код файла...
```

Outline

Компиляция

```
g++ main.cpp -o my_progr
```

Будет создан исполняемый файл с именем my_progr

gcc должен быть доступен непосредственно (добавлен в переменную PATH[10]). Иначе потребуется указать полный путь к компилятору, например:

```
C:\Qt\Tools\mingw530\_32\bin\g++.exe
```

Далее будут приведены примеры команд для ОС семейства linux - Debian. Стоит отметить, что в linux для указания пути используется прямой слеш /, а в windows обратный \

[10] изменение переменной среды окружения

Компиляция

Несколько файлов

Если исходный код расположен в нескольких файлах, то для компиляции в параметры g++ должны быть переданы имена всех cpp файлов

Например код содержится в файлах:
main.cpp,
module.cpp,
module.h.

module.h подключается в module.cpp и main.cpp.

```
g++ main.cpp module.cpp -o my_progr
```

Компиляция

Создание статической библиотеки

- Файлы модулей можно скомпилировать отдельно в статическую библиотеку
- Потом, при компиляции основной программы указать путь к полученной статической библиотеке
- Код статической библиотеки будет добавлен к программе и помещён внутрь исполняемого файла
- Такой подход может сократить время компиляции, если в библиотеку изменения вносятся относительно редко, поэтому нет необходимости компилировать её повторно, вместе с остальными файлами

Компиляция

Создание статической библиотеки

- Создание объектного файла из исходного кода

  `g++ -c module.cpp -o lib/my_lib.o`

  будет создан объектный файл `module.o` в заранее созданной папке lib
- Создание статической библиотеки из объектного файла

  `ar rvs lib/my_lib.a module.o`

  Здесь полученный файл библиотеки my_lib.a сохраняется в папку lib
- Компиляция программы с использованием статической библиотеки[11]

  `g++ main.cpp lib/my_lib.a -o my_prog`

[11] стоит отметить, что заголовочный файл `module.h` по прежнему необходим, не смотря на то, что он не указывается нигде при компиляции

Компиляция

Создание shared library

- Код из статической библиотеки полностью включается в исполняемый файл программы
- Если код такой библиотеки был обновлён всю программу придётся перекомпилировать
- К тому же одну и ту же библиотеку могут использовать несколько программ
- Тогда нужно использовать общего пользования (shared library)
- Таки библиотеки используются как отдельные файлы вместе с исполняемым файлом программы
- в linux эти файлы имеют расширение `so`, в Windows – `dll`
- gernotklingler.com/blog/creating-using-shared-libraries-different-compilers-different-operating-systems/

Outline

Пространства имён

Пространство имён (namespace) — некоторое множество, под которым подразумевается абстрактное хранилище или окружение, созданное для логической группировки уникальных идентификаторов (то есть имён).

Пространство имён

В пространство имён обычно объединяют несколько связанных между собой функций, классов, типов данных.

Как правило на практике пространство имён это именованная область кода, например в модуле.

Пространства имён

Пример пространства имён

```
namespace my_functions {
void foo() {...}

void bar() {...}

void baz() {...}

}

int main(){
// при использование идентификатора указывается его пространст

my_functions::foo();

foo();  // ошибка: идентификатор foo не найден

}
```

Пространства имён

Пример

Приведём пример со слайда 92 только использовав пространства имён для модуля

my_module.h

```
...
extern int A;
namespace points{
struct Point{
    float x, y;};
float distance(const Point &p1,
        const Point &p2);
}
#endif // MY_MODULE_H
```

my_module.cpp

```
...
int A = 42;

namespace points {
float distance(const Point &p1,
                  const Point &p2){
    return pow( pow(p1.x - p2.x, 2)
      + pow(p1.y - p2.y, 2), 0.5 );
                          }   }
```

main.cpp

```
...
int main(){
    A = 100;
    points::Point p1 = {0, 0};
    using points::Point;
    Point p2 = {3,4}; // теперь можно так
    using namespace points; // для примера подключим всё
    float d = distance(p1,p2);
    cout << d;    }
```

Пространства имён

- Пространства имён можно дополнять определяя его в разных файлах
- Что на самом деле и происходит при объявлении пространства имён в заголовочном и cpp файле

- Но можно не ограничиваться только одним модулем (парой файлов: h и cpp). Одно пространство имён может объединять и несколько модулей.
- Так устроена стандартная библиотека C++. В каждом из файлов (iostream, fstream, string, ...) определена часть пространства имён std.

Пространства имён

Дополнительно

- Поиск имён в иерархии пространстве имён
- Безымянное пространство имён
  stepik.org/lesson/53370/step/10?unit=31458

Outline

Синонимы

- Если имя какого-то пространства имен кажется нам слишком длинным, можно ввести для него короткий синоним:

```
namespace новое_имя = старое_имя;
```

- То же самое можно сделать и для любого имени:

```
using новое_имя = старое_имя;

using uint = unsigned int;

// объявление переменной
uint x;
```

- Никогда не следует пользоваться директивой using в заголовочных файлах, потому что это приведет к тому, что эта директива будет действовать во всех тех файлах, в которые этот файл будет включаться.

Синонимы

Домашнее задание: typedef и др операторы для работы с типами

Outline

static внутри функции

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

Локальная переменная объявленная с использованием static:

- Хранится как глобальная переменная.
- Но доступна только локально.
- Инициализируется один раз – при первом входе в область видимости.

См. пример с подсчётом числа вызовов функции.

Outline

Обработка исключений

Обработка исключительных ситуаций (exception handling) — механизм языков программирования, предназначенный для описания реакции программы на ошибки времени выполнения и другие возможные проблемы (исключения), которые могут возникнуть при выполнении программы и приводят к невозможности (бессмысленности) дальнейшей отработки программой её базового алгоритма.

Исключительные ситуации

- Не выполнено предусловие
  например функция ожидает в параметре положительное вещественное число, но передано отрицательное
- Невозможно создать объект (завершить выполнение конструктора)
- Ошибки типа "индекс вне диапазона"
- Невозможно получить ресурс
  например нет доступа к файлу (файл удалён или не хватает прав доступа)

Исключительные ситуации

Использование кодов возврата

Исключительные ситуации можно обрабатывать используя коды возврата из функции:

```
int sort_array(float *a, unsigned n){
    if (a == nullptr) // проверка предусловий
        return 1;  // если возникла искл.ситуация возвратим 1

    // do sort
    return 0;  // если всё хорошо, возвращаем 0
}

//...
int main(){
    float *data = nullptr;

    // ...

    int res = sort_array(data, n);
    if ( res != 0 ){
        cout << "Ошибка!";
        }
    // ...
}
```

Исключительные ситуации

Использование кодов возврата

Использование кодов возврата не всегда возможно или оправдано

- Если функция должна возвращать другие данные
  тогда нужно либо менять возвращаемый тип либо предусмотреть другой способ сообщения об исключительной ситуации внутри функции - например через параметр

Исключительные ситуации

Использование кодов возврата

Использование кодов возврата не всегда возможно или оправдано

- Если обработать ошибку нужно не в той функции которая вызывает другую

```
int foo(float x){
    // тут может возникнуть исключение
}
void bar(){
    //...
    foo();
    //...
}
void baz(){
    //...
    bar();
    // обработка искл. ситуации должна быть здесь
    //...
}
```

Обработка исключительных ситуаций

Общая структура кода

```
try {
    // это защищенный блок кода
    // ... тут может возникнуть исключение ...
    // ... в любом месте ...
    // ... любого вида ...
}
catch (тип переменная) {
    // обработчик исключения
    // код обрабатывающий исключение
}
catch (тип2 переменная) {
    // обработка остальных исключений
}
catch (тип3 переменная) {
    // обработка остальных исключений
}
catch (...) {
    // Поймать все исключения
}
// остальной код
```

Обработка исключительных ситуаций

Пример

```
void foo(float x){
    if ( /* проверка предусловий */)
        // если предусловия не выполнены
        throw 1;
    // ...
    if ( /* ещё какая-нибудь проверка */ )
        // если всё плохо...
        throw 2;
    //...
        }
int main(){
    float x;
    // ...
    try{
        foo(x);
    }
    catch (int e){
        switch (e) {
        case 1:     // справляемся с исключительной ситуацией 1
            break;
        case 2:     // справляемся с исключительной ситуацией 2
            break;
        }
    }
}
```

Пример

```
struct Exception{
    int code;
    string message;};

const Exception InvalidArgument = {-1, "Invalid Argument"};
const Exception EmptyArray = {-2, "Empty Array"};

float bmi(float m, float h){
    if (m>0 && h>0) { return m/h/h; }
                else  { throw InvalidArgument;}    }

float print_array(float *a, unsigned n){
    if (a != nullptr && n != 0){
        \\...
    else throw EmptyArray;                  }

int main(){
    try {   bmi(0,2);
            print_array(nullptr, 3);
    } catch (Exception e) {
        if (e.code == InvalidArgument.code) {
            //...
        } else if (e.code == EmptyArray.code) {
            //...
        }
    }
```

fail-fast

- Forgive! подход: приложение продолжает выполняться и старается минимизировать последствия ошибки.
- Fail Fast! подход: приложение немедленно прекращает работу и сообщает об ошибке.
- Поход Fail Fast предпочтительнее: желательно, чтобы ошибка автоматически выявлялась на этапе компиляции или, как можно проще и быстрее, в процессе выполнения.

std::exception

en.cppreference.com/w/cpp/error/exception

Outline

Стандарты языка

1. 1983 г. появление языка.
2. C++89/99 (C++ версии 2.0)
3. C++98
4. C++03
5. C++11
6. C++14 (небольшие изменения)
7. C++17
8. C++20 (модули и др.)

Outline

Определение типа во время компиляции

Указание **auto** вместо типа заставляет компилятор[12] самостоятельно подставить тип ориентируясь на задаваемое значение.

```
auto x = 20;                // int
auto y = 3.14159;           // float
auto z = "gues type";       // char*
auto a; // ошибка! Не задано значение!
```

[12] определение типа статическое, то есть до запуска программы!

Определение типа во время компиляции

decltype объявляет тип, беря тип другой переменной или выражения.

```
int my_v;
decltype(my_v) v = 100; // v имеет тип int
```

Информация о типе

```
#include <typeinfo>
auto y = 123.8;
cout << typeid(x).name() << endl; // печатает т

typeid(x) == typeid(xx); // типы можно сравнива
```

cplusplus.com: type_info

Outline

rvalue и lvalue - правосторонние и левосторонние значений

Выражения, которым можно присваивать, называются **lvalue** (left value, т. е. слева от знака равенства). Остальные выражения называются **rvalue**.

Ссылки на rvalue и rvalue

rvalue references – ссылки на правосторонние значения.

Синтаксис

`Тип` &&

Outline

Лямбда-функции

```
[захват](параметры) mutable исключения
атрибуты -> возвращаемый_тип {тело}
```

Захват - глобальные переменные используемые функцией (по умолчанию не доступны),
параметры - параметры функции; описываются как для любой функции,
mutable - указывается, если нужно поменять захваченные переменные,
исключения - которые может генерировать функция,
атрибуты - те же что и для обычных функций.

Лямбда-функции. Примеры

Возведение аргумента в квадрат

```
[](auto x) {return x*x;}
```

Сумма двух аргументов

```
[](auto x, auto y) {return x + y;}
```

Лямбда-функции. Примеры

Возведение аргумента в квадрат

```
[](auto x) {return x*x;}
```

Сумма двух аргументов

```
[](auto x, auto y) {return x + y;}
```

Вывод в консоль числа и его квадрата

```
[](float x) {cout << x << " " << x*x << endl;}
```

Тело лямбда-функции описывается также как и обычной функции

```
[](int x) { if (x % 2) cout << "Н"; else cout << "Ч
```

Лямбда-функции. Примеры

Использование захвата.
= - захватить все переменные.
& - захватить переменную по ссылке.
Чтобы изменять переменную захваченную по ссылке нужно добавить ***mutable*** к определению функции.

```
float k = 1.2;
float t = 20;
```

```
[k](float x) {return k*x;}
```

```
[k,&c](float x) mutable {if (k*x > 0) c = 0; else c=k*x;}
```

Лямбда-функции. Примеры

Когда использовать лямбда функции?

Когда не требуется объявлять функцию заранее.
Функция очень короткая.
Функция нужна один раз.
Функцию лучше всего описать там, где она должна использоваться.

C++20

youtube.com/watch?v=5s4CFEMARtU – Яндекс Практикум:
Обзор основных нововведений стандарта C++20

Статья по вебинару
Хабр: Стандарт C++20: обзор новых возможностей C++. Часть 1
«Модули и краткая история C++»

Outline

Создание программ с GUI

Для создания приложений с GUI используются сторонние фреймворки, не входящие в стандартную библиотеку C++.

Некоторые из них:

Для Windows

- Windows Presentation Foundation (WPF)[13]

Кроссплатформенные

- **Qt**
- GTK+
- wxWidgets

[13] входит в состав .NET Framework

Outline

Ссылки и литература

1. **Stepik: Программирование на языке C++**
2. **Б. Страуструп Язык программирования C++.** 2013. 1100+ страниц. Учебник по языку. Шаблоны. ООП. Проектирование.
3. MSDN: Справочник по языку C++
4. Эффективный и современный C++: 42 рекомендации по использованию C++ 11 и C++14.
   2016. 300 страниц. Просмотреть. Изучить. Использовать как справочник. Неформальный стиль. Много примеров. Хорошее знание C++.
5. stackowerflow.com – система вопросов и ответов

Ссылки и литература

Документация по языку:

- ru.cppreference.com – информация по языку и стандартной библиотеке C++. Есть примеры.
- Zeal - (zealdocs.org) – офлайн документация по языкам программирования и фреймворкам
  при первом запуске программы требуется скачать необходимую документацию

Дополнительно:

- habr.com/company/pvs-studio/ Блог компании PVS-Studio. Примеры ошибок в C++ (и не только) коде найденных статическим анализатором кода PVS-Studio.

Ссылки и литература

Ссылка на слайды
github.com/VetrovSV/OOP