Лекция 2. Как выполняются программы на C++

Александр Смаль

CS центр
5 сентября 2017
Санкт-Петербург

Типы данных

- Целочисленные:
  1. `char` (символьный тип данных)
  2. `short int`
  3. `int`
  4. `long int`

  Могут быть беззнаковыми (`unsigned`).
  - $-2^{n-1} \dots (2^{n-1} - 1)$ (n — число бит)
  - $0 \dots (2^n - 1)$ для `unsigned`
- Числа с плавающей точкой:
  1. `float`, 4 байта, 7 значащих цифр.
  2. `double`, 8 байт, 15 значащих цифр.
- Логический тип данных `bool`.
- Пустой тип `void`.

Литералы

- Целочисленные:
  1. `'a'` — код буквы 'a', тип `char`,
  2. `42` — все целые числа по умолчанию типа `int`,
  3. `1234567890L` — суффикс '`L`' соответствует типу `long`,
  4. `1703U` — суффикс '`U`' соответствует типу `unsigned int`,
  5. `2128506UL` — соответствует типу `unsigned long`.
- Числа с плавающей точкой:
  1. `3.14` — все числа с точкой по умолчанию типа `double`,
  2. `2.71F` — суффикс '`F`' соответствует типу `float`,
  3. `3.0E8` — соответствует $3.0 \cdot 10^8$.
- `true` и `false` — значения типа `bool`.
- Строки задаются в двойных кавычках: `"Text string"`.

Переменные

- При определении переменной указывается её тип. При определении можно сразу задать начальное значение (инициализация).

```
int      i = 10;
short    j = 20;
bool     b = false;

unsigned long l = 123123;

double x = 13.5, y = 3.1415;
float z;
```

- Нужно всегда инициализировать переменные.
- Нельзя определить переменную пустого типа `void`.

Операции

- Оператор присваивания: `=`.
- Арифметические:
  1. бинарные: `+ - * / %`,
  2. унарные: `++ --`.
- Логические:
  1. бинарные: `&& ||`,
  2. унарные: `!`.
- Сравнения: `== != > < >= <=`.
- Приведения типов: `(type)`.
- Сокращённые версии бинарных операторов: `+= -= *= /= %=`.

```
int i = 10;
i = (20 * 3) % 7;

int k = i++;
int l = --i;

bool b = !(k == l);

b = (a == 0) ||
    (1 / a < 1);

double d = 3.1415;
float f = (int)d;

// d = d * (i + k)
d *= i + k;
```

Инструкции

- Выполнение состоит из последовательности *инструкций*.
- Инструкции выполняются одна за другой.
- Порядок вычислений внутри инструкций не определён.

```
/* unspecified behavior */
int i = 10;
i = (i += 5) + (i * 4);
```

- Блоки имеют вложенную область видимости:

```
int k = 10;
{
    int k = 5 * i;  // не видна за пределами блока
    i = (k += 5) + 5;
}
k = k + 1;
```

Условные операторы

- Оператор `if`:

```
int d = b * b - 4 * a * c;
if ( d > 0 ) {
    roots = 2;
} else if ( d == 0 ){
    roots = 1;
} else {
    roots = 0;
}
```

- Тернарный условный оператор:

```
int roots = 0;
if (d >= 0)
    roots = (d > 0 ) ? 2 : 1;
```

Циклы

- Цикл `while`:

```
int squares = 0;
int k = 0;
while ( k < 10 ) {
    squares += k * k;
    k = k + 1;
}
```

- Цикл `for`:

```
for ( int k = 0; k < 10; k = k + 1 ) {
    squares += k * k;
}
```

- Для выхода из цикла используется оператор `break`.

Функции

- В сигнатуре функции указывается тип возвращаемого значений и типы параметров.
- Ключевое слово `return` возвращает значение.

```
double square(double x) {
    return x * x;
}
```

- Переменные, определённые внутри функций, — *локальные*.
- Функция может возвращать `void`.
- Параметры передаются по значению (копируются).

```
void strange(double x, double y) {
    x = y;
}
```

Макросы

- Макросами в C++ называют инструкции препроцессора.
- Препроцессор C++ является самостоятельным языком, работающим с произвольными строками.
- Макросы можно использовать для определения функций:

```
int max1(int x, int y) {
    return x > y ? x : y;
}

#define max2(x, y)   x > y ? x : y

a = b + max2(c, d);       // b + c > d ? c : d;
```

- Препроцессор “не знает” про синтаксис C++.

Макросы

- Параметры макросов нужно оборачивать в скобки:

```
#define max3(x, y)   ((x) > (y) ? (x) : (y))
```

- Это не избавляет от всех проблем:

```
int a = 1;
int b = 1;
int c = max3(++a, b);
// c = ((++a) > (b) ? (++a) : (b))
```

- Определять функции через макросы — плохая идея.
- Макросы можно использовать для условной компиляции:

```
#ifdef DEBUG
    // дополнительные проверки
#endif
```

Ввод-вывод

- Будем использовать библиотеку <iostream>.

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

- Ввод:

```
    int a = 0;
    int b = 0;
    cin >> a >> b;
```

- Вывод:

```
    cout << "a + b = " << (a + b) << endl;
```

Простая программа

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

int main ()
{
    int a = 0;
    int b = 0;

    cout << "Enter a and b: ";
    cin >> a >> b;

    cout << "a + b = " << (a + b) << endl;

    return 0;
}
```

Архитектура фон Неймана

Современных компьютеры построены по принципам архитектуры фон Неймана:

1. **Принцип однородности памяти.**
   Команды и данные хранятся в одной и той же памяти и внешне в памяти неразличимы.
2. **Принцип адресности.**
   Память состоит из пронумерованных ячеек.
3. **Принцип программного управления.**
   Все вычисления представляются в виде последовательности команд.
4. **Принцип двоичного кодирования.**
   Вся информация (данные и команды) кодируются двоичными числами.

Сегментация памяти

- Оперативная память, используемая в программе на C++, разделена на области двух типов:
  1. сегменты данных,
  2. сегменты кода (текстовые сегменты).
- В сегментах кода содержится код программы.
- В сегментах данных располагаются данные программы (значения переменных, массивы и пр.).
- При запуске программы выделяются два сегмента данных:
  1. сегмент глобальных данных,
  2. стек.
- В процессе работы программы могут выделяться и освобождаться дополнительные сегменты памяти.
- Обращения к адресу вне выделенных сегментов — ошибка времени выполнения (access violation, segmentation fault).

Как выполняется программа?

- Каждой функции в скомпилированном коде соответствует отдельная секция.
- Адрес начала такой секции — это адрес функции.
- Телу функции соответствует последовательность команд процессора.
- Работа с данными происходит на уровне байт, информация о типах отсутствует.
- В процессе выполнения адрес следующей инструкции хранится в специальном регистре процессора IP (Instruction Pointer).
- Команды выполняются последовательно, пока не встретится специальная команда (например, условный переход или вызов функции), которая изменит IP.

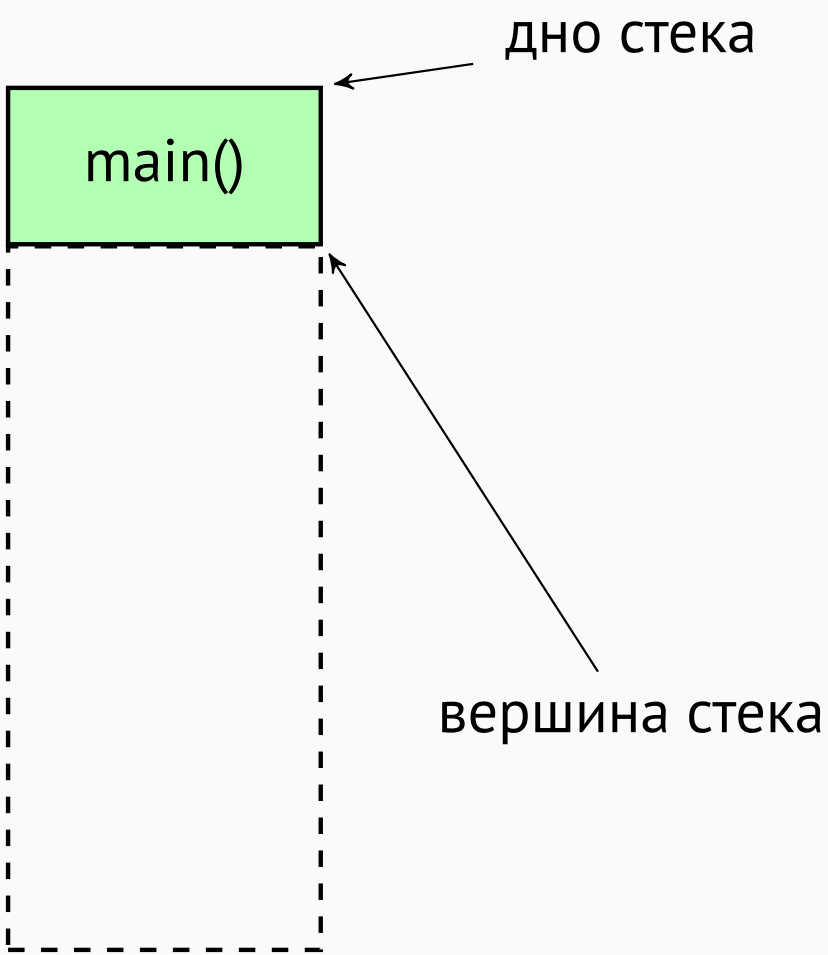
Ещё раз о линковке

- На этапе компиляции объектных файлов в места вызова функций подставляются имена функций.
- На этапе линковки в места вызова вместо имён функций подставляются их адреса.
- Ошибки линковки:
  1. `undefined reference`
     Функция имеет объявление, но не имеет тела.
  2. `multiple definition`
     Функция имеет два или более определений.
- Наиболее распространённый способ получить `multiple definition` — определить функцию в заголовочном файле, который включён в несколько `.cpp` файлов.

Стек вызовов

- Стек вызовов — это сегмент данных, используемый для хранения локальных переменных и временных значений.
- Не стоит путать стек с одноимённой структурой данных, у стека в C++ можно обратиться к произвольной ячейке.
- Стек выделяется при запуске программы.
- Стек обычно небольшой по размеру (4Мб).
- Функции хранят свои локальные переменные на стеке.
- При выходе из функции соответствующая область стека объявляется свободной.
- Промежуточные значения, возникающие при вычислении сложных выражений, также хранятся на стеке.

Устройство стека



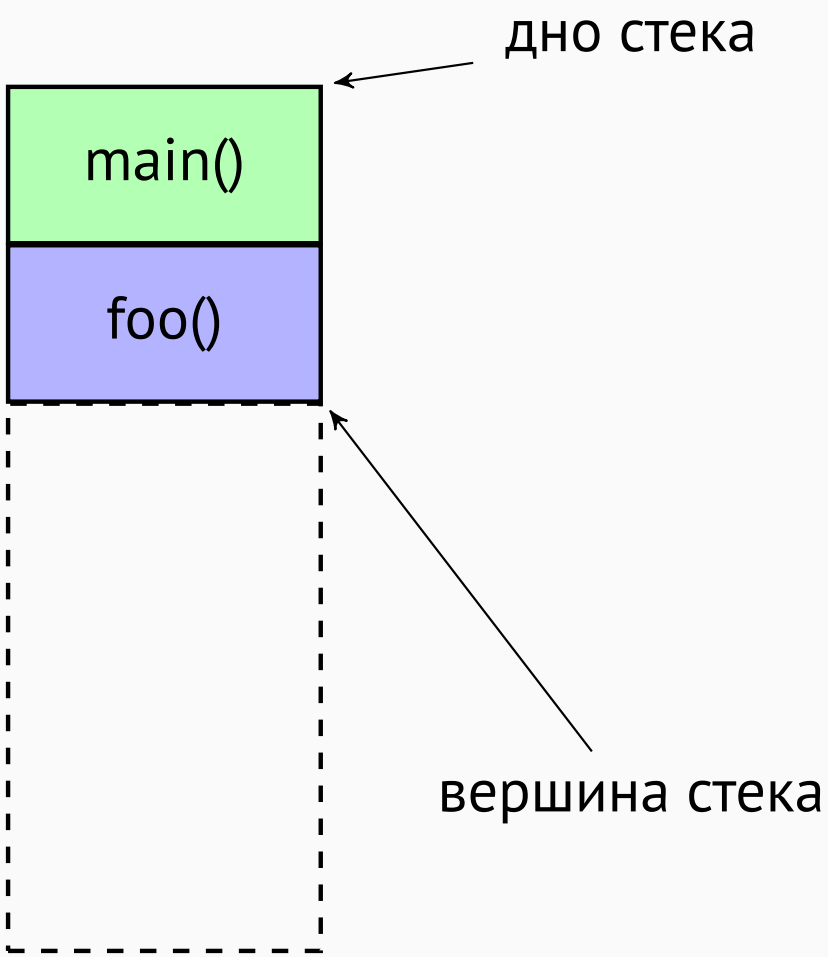

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

Устройство стека



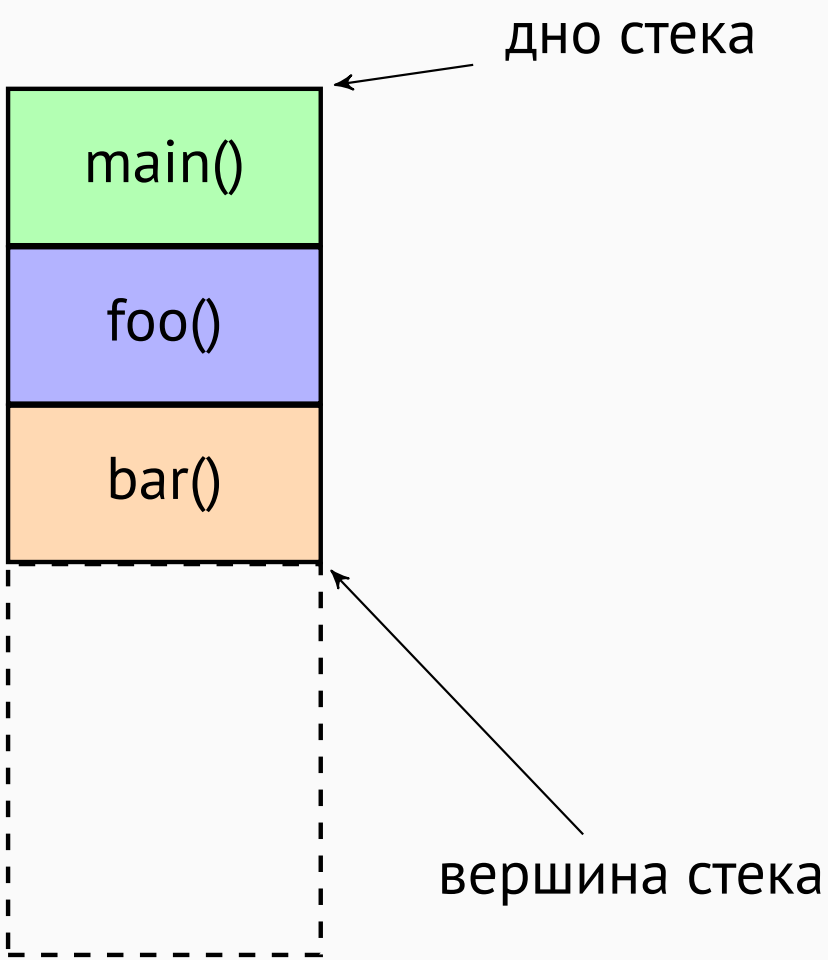

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

Устройство стека



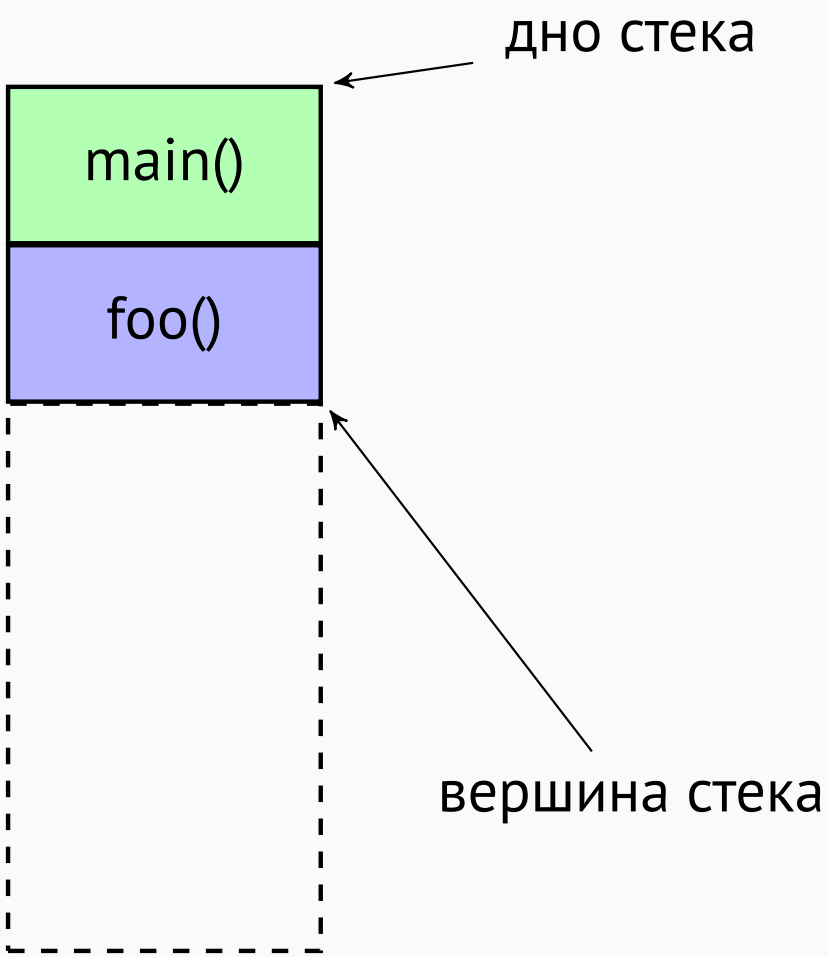

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

Устройство стека



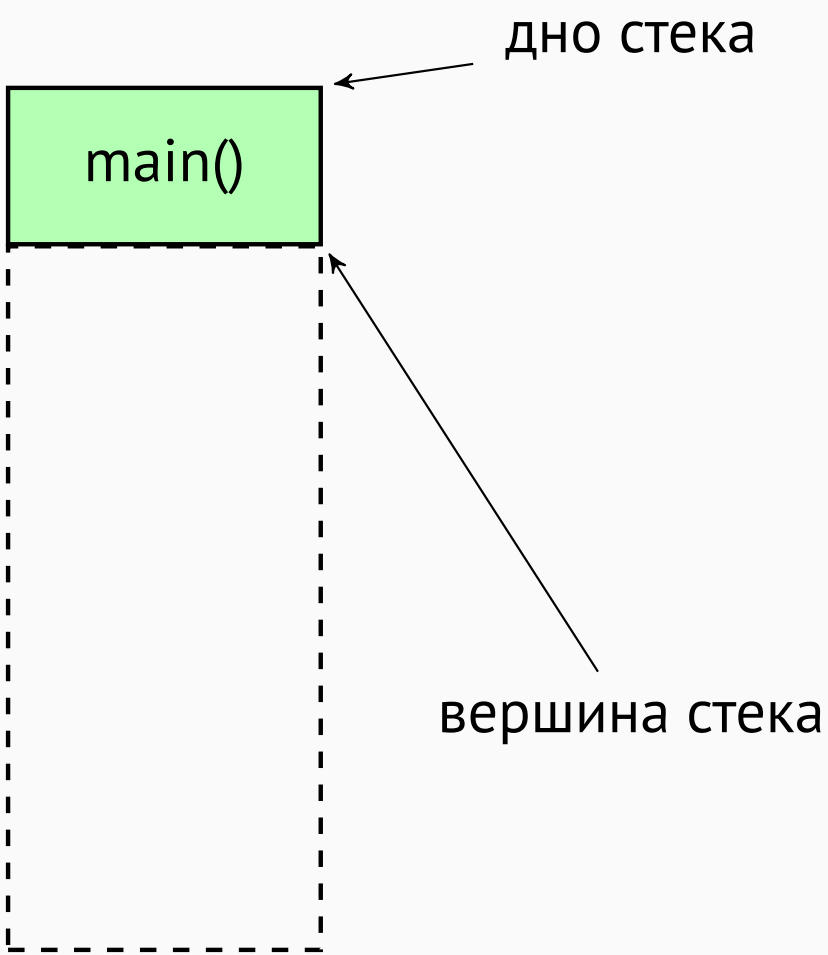

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

Устройство стека



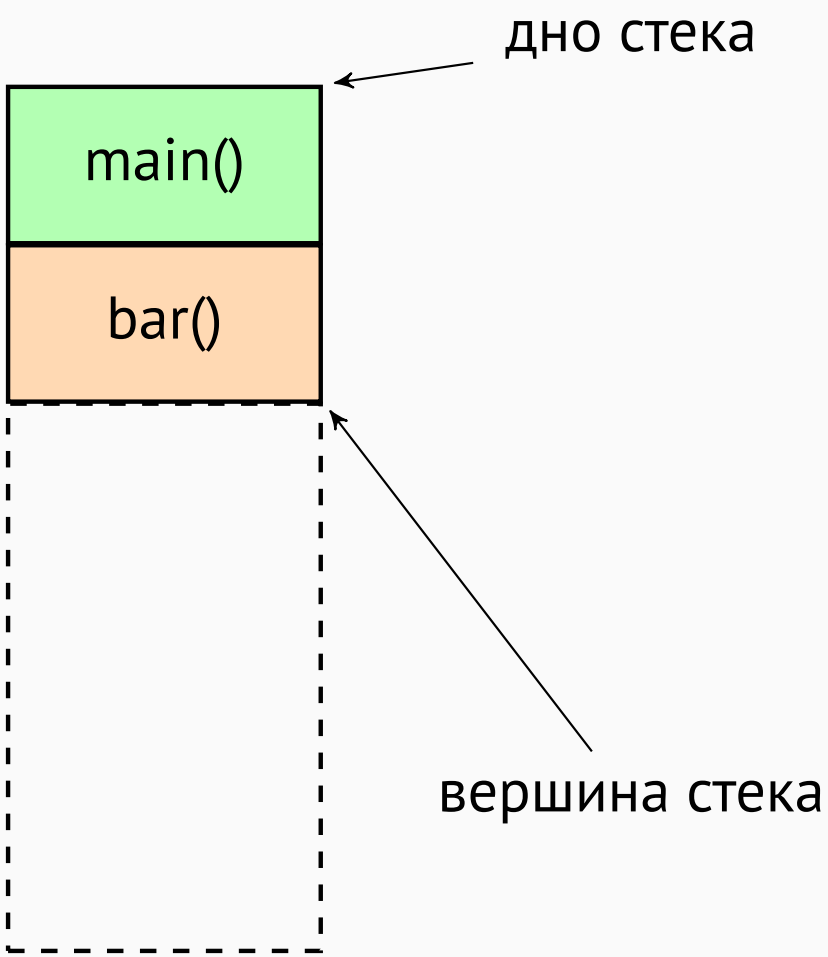

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

Устройство стека



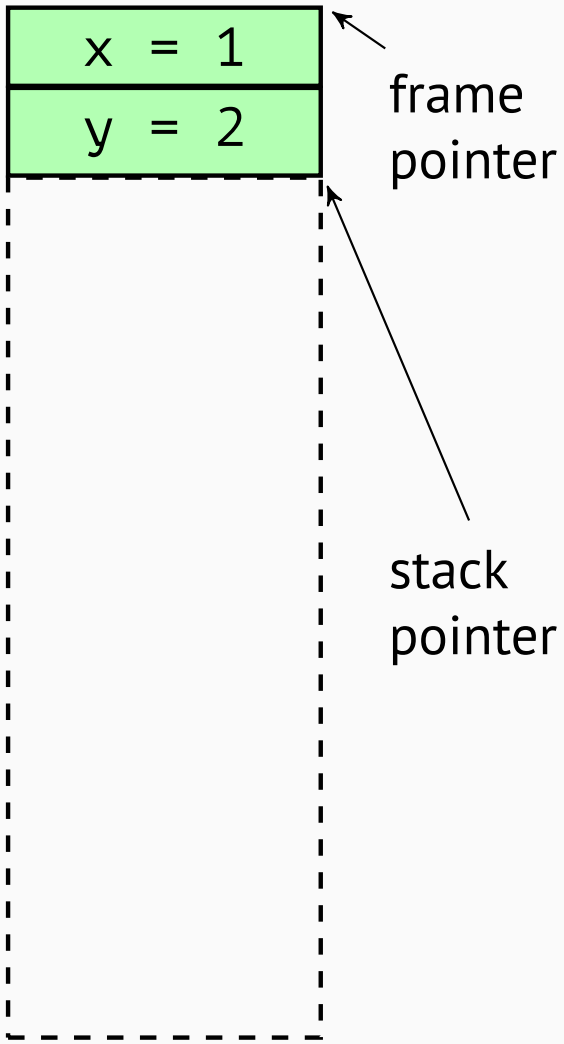

```
void bar( ) {
    int c;
}

void foo( ) {
    int b = 3;
    bar();
}

int main( ) {
    int a = 3;
    foo();
    bar();

    return 0;
}
```

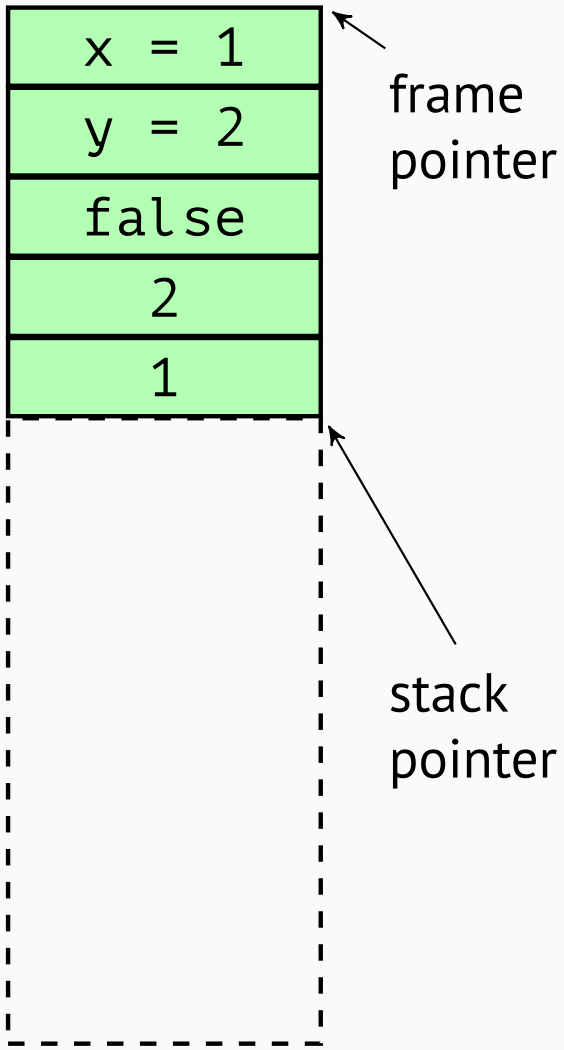
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

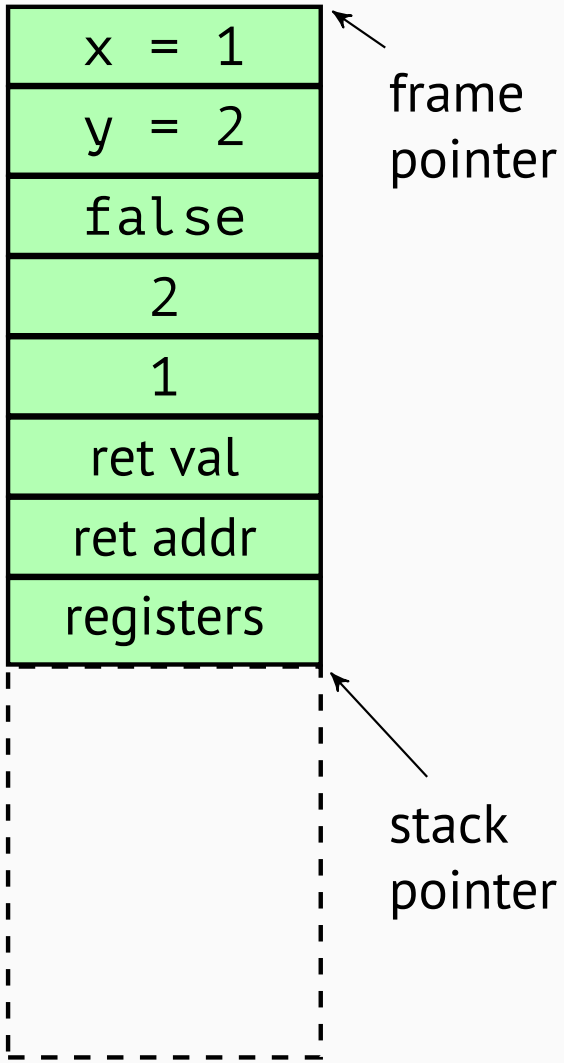
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

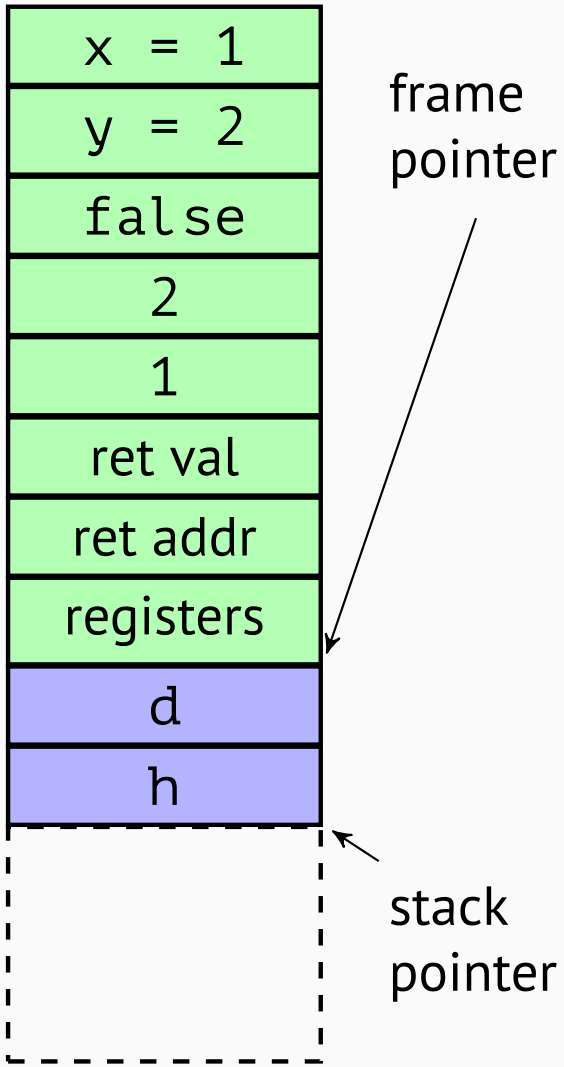
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

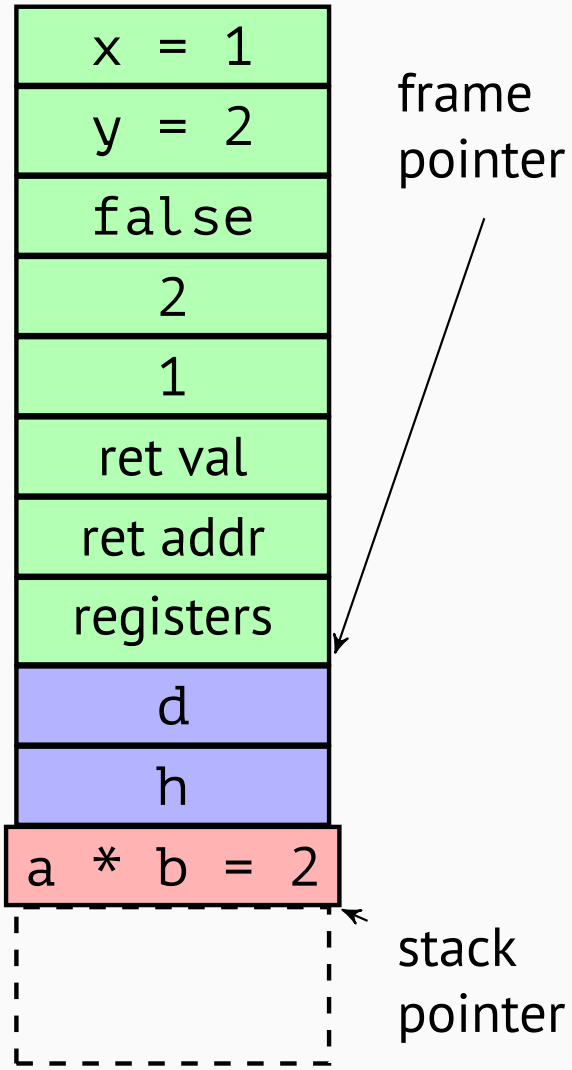
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

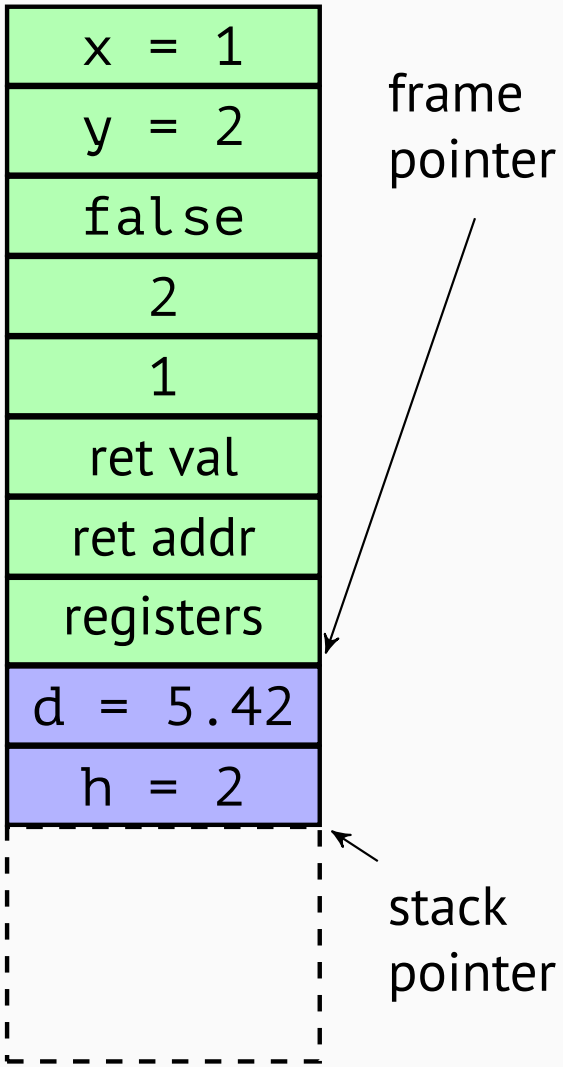
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

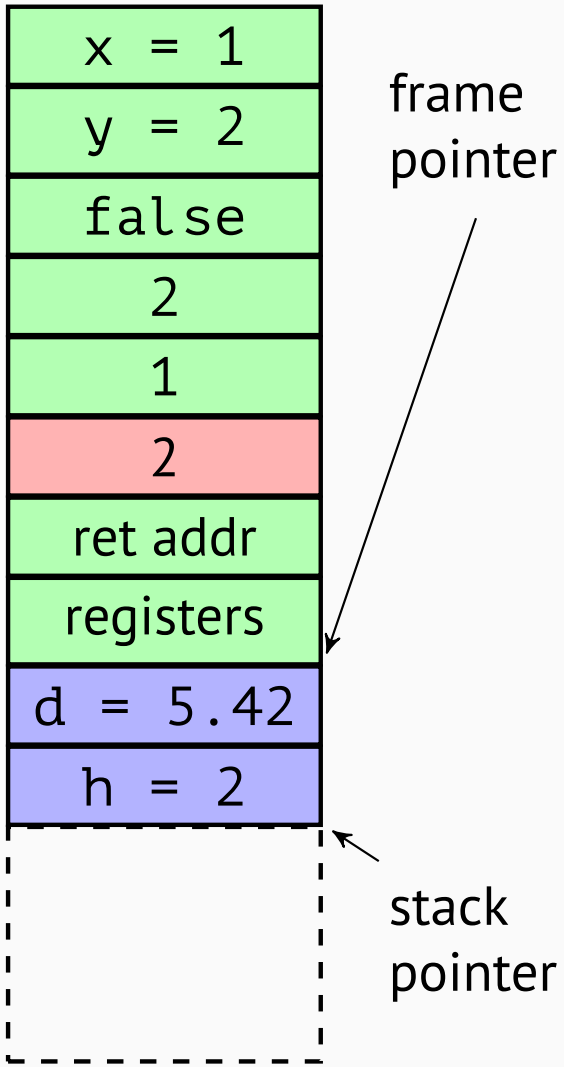
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

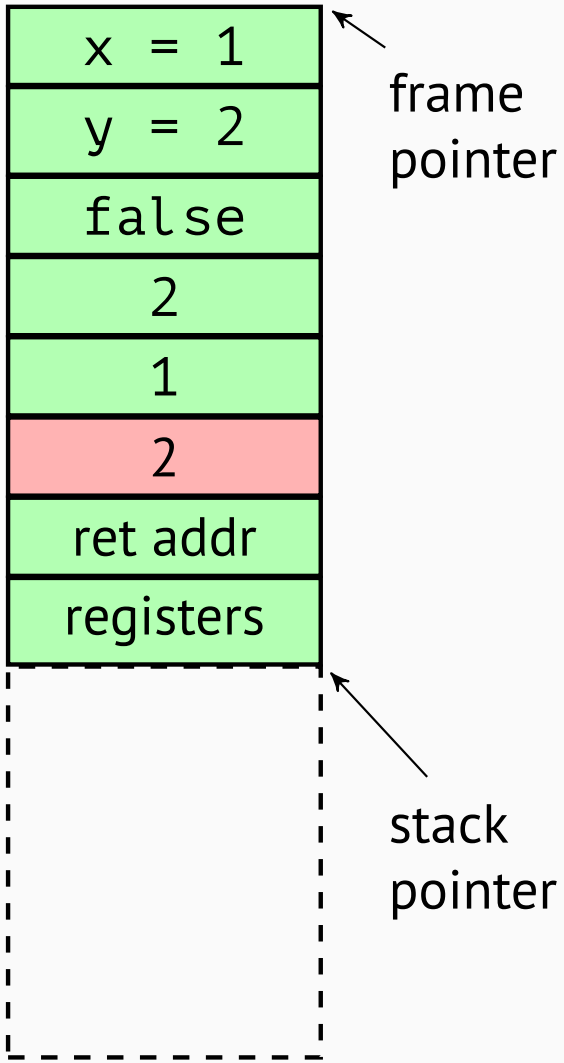
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

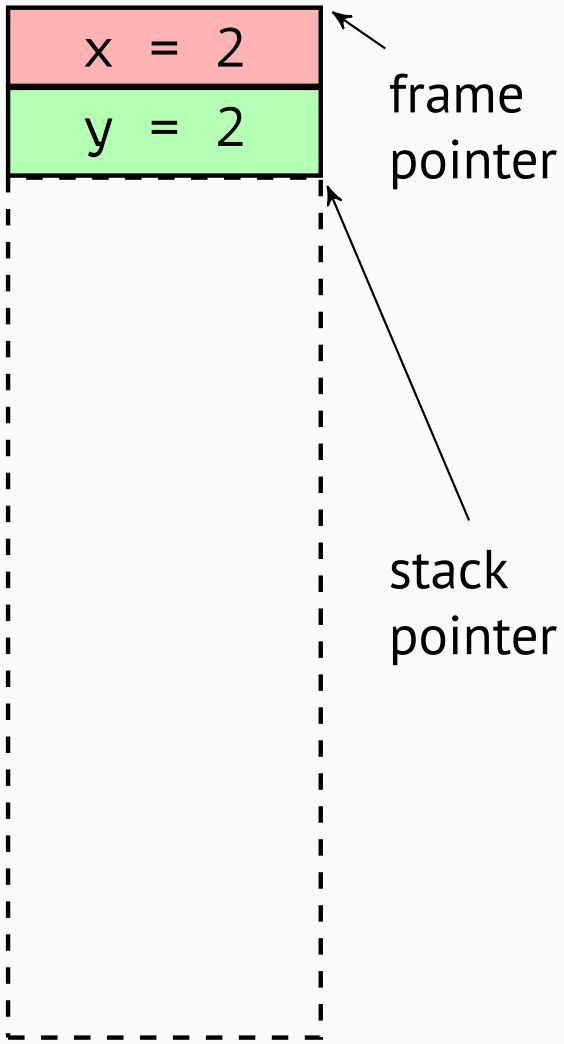
Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

Вызов функции




```
int foo(int a, int b, bool c)
{
    double d = a * b * 2.71;
    int    h = c ? d : d / 2;
    return h;
}

int main( )
{
    int x = 1;
    int y = 2;
    x = foo (x, y, false);
    cout << x;
    return 0;
}
```

Вызов функции

- При вызове функции на стек складываются:
  1. аргументы функции,
  2. адрес возврата,
  3. значение frame pointer и регистров процессора.
- Кроме этого на стеке резервируется место под возвращаемое значение.
- Параметры передаются в обратном порядке, что позволяет реализовать функции с переменным числом аргументов.
- Адресация локальных переменных функции и аргументов функции происходит относительно frame pointer.
- Конкретный процесс вызова зависит от используемых соглашений (cdecl, stdcall, fastcall, thiscall).