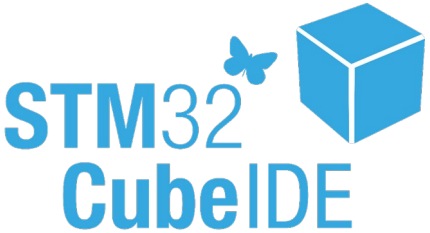
Программирование микроконтроллеров 2

Основы языка Си

Обзор инструментов

- В качестве компилятора мы будем использовать тулчейны семейства GCC (GNU Compiler Collection);
- В качестве IDE (Integrated development environment) мы будем использовать Eclipse;
- Для программирования для STM32 мы будем использовать STM32 Cube IDE (на самом деле тот же Eclipse и GCC)



Программа «Hello world!»

*main.c ×

```c
/*
 * main.c
 *
 *  Created on: 9 нояб. 2022 г.
 *      Author: snork
 */


#include <stdio.h>


int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;
}
```

Программа «Hello world!» Комментарии

*main.c ×

```c
/*
 * main.c
 *
 *  Created on: 9 нояб. 2022 г.
 *      Author: snork
 */


#include <stdio.h>


int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;
}
```

Зелёным текстом показан комментарий. Комментарии не видимы для компилятора и предназначены для вас или для других разработчиков.

Все что находится между ***/**** и *****/*** считается комментарием.

Так же, комментарием считается все от ***//*** до конца строки

Программа «Hello world!» Комментарии

```
13 /* Это коментарий */
14
15 /*
16 Это тоже комментарий
17 */
18
19 int /* и вот это комментарий */ x = 0;
20
21 // И даже это комментарий
22
23 а вот это не комментарий
24
```

Эклипс помечает комментарии зелёным, поэтому легко понять, если что-то пошло не так

Программа «Hello world!» Препроцессор

*main.c

```c
/*
 * main.c
 *
 *  Created on: 9 нояб. 2022 г.
 *      Author: snork
 */


#include <stdio.h>


int main()
{
	printf("Hello world!\n");
	return 0;
}
```

Следом идет **директива препроцессора «**include».

Директива препроцессора это инструкция для компилятора. Эти инструкции не будут выполняться при работе вашей программы, а будут выполняться при её сборке

Include дословно переводиться как «включить». Эта директива включает в ваш файл содержимое какого-либо другого со всем кодом, который там кто-либо написал.

Здесь мы включаем определения из файла стандартной библиотеки stdio.h.

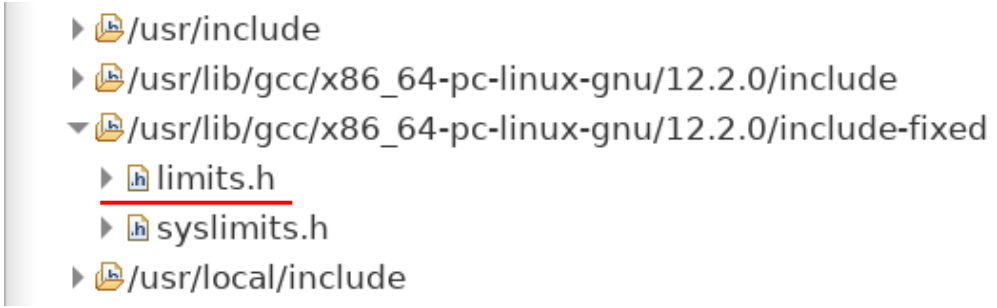
std от standard, io от input/output.

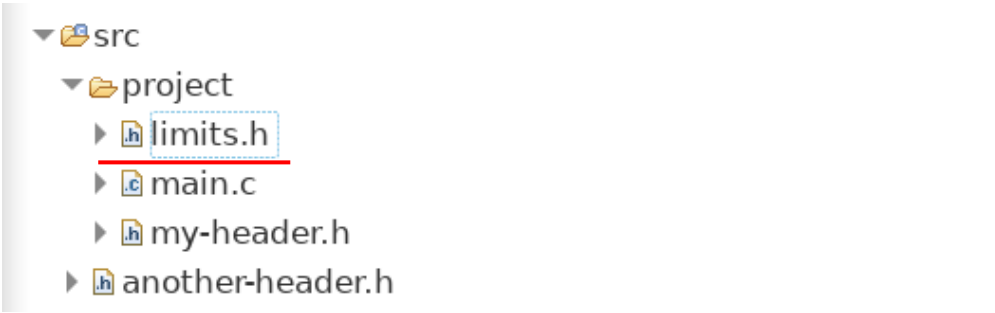
Программа «Hello world!» Препроцессор

```
// Подключение файла стандартной
// библиотеки из системных каталогов
#include <limits.h>
// Так тоже сработает,
// но найдется не тот файл!
#include "limits.h"

// Подключение файла платформы
// из системных каталогов
#include <linux/termios.h>
#include <windows.h>

// Подключение соседнего файла
#include "../another-header.h"
// И так тоже сработает
#include <my-header.h>
```





Файлы указанные в “” компилятор ищет сперва рядом, а потом в глобальных папках. Файлы указанные в <> - наоборот

Программа «Hello world!» Функции

*main.c ×

```c
/*
 * main.c
 *
 *  Created on: 9 нояб. 2022 г.
 *      Author: snork
 */


#include <stdio.h>


int main()
{
	printf("Hello world!\n");
	return 0;
}
```

Дальше начинается функция по имени main.

Функции, или **процедуры**, в языке Си являются «действиями», которые программа может выполнять.

Важно не путать это с математическим определением функции. Здесь функция это какое-то простое совершаемое действие.

Например *включить свет*, *проверить почту*, *посчитать квадратный корень*, *сложить два числа*.

Функция main — особенная функция. Внутри этой функции размещается действие, которое выполняет ваша программа. С точки зрения ОС — ваша программа это тоже какое-то действие.

Программа «Hello world!» Функции

```
4  void turn_on_the_light()
5  {
6      //...
7  }
8
9  bool check_mail()
10 {
11     //...
12 }
13
14 float calc_square_root(float argument)
15 {
16     //...
17 }
18
19 int sum_number(int number1, int number2)
20 {
21     //...
22 }
23
```

Функция оформляется так:

тип_результата имя_функции([список_аргументов])
{
[тело функции]
}

Как и везде в Си регистр имеет значение. **function** и **fUnCtIoN** — это разные функции.

Тип результата это тип того, что получается в результате действия.

Имя функции это её уникальный идентификатор. Нельзя иметь две функции с одним и тем же именем в программе (ну, без уловок).

Аргументы функции это параметры действия, которое делается. Например — числа, которые нужно сложить. Или почтовый ящик, который нужно проверить.

Программа «Hello world!» Функции

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;
}
```

```c
int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;

    printf("Вот это напечатано не будет");
}
```

Функция main не имеет аргументов и возвращает целое число (int от integer).

В теле нашей функции main два действия.

Первое действие это вызов функции printf. Второе действие это вернуть вызывающему значение 0.

После каждого действия нужно писать точку с запятой. В си это обязательно

Оператор return возвращает не только значение, не и управление. После него выполнение функции завершается

Программа «Hello world!» Функции

```
4
5  printf("Привет, мир!\n");
6
7  int main()
8  {
9      return 0;
10 }
11
12
```

Вне тела функции писать код (то есть вызывать другие функции) - нельзя

Типы данных языка Си

Целочисленные типы – типы, способные хранить целые числа

char (1 байт == 8 бит);
signed: [-128, +127], unsigned: [0, +255]

short int, short, int (>= 2 байта == 16 бит)
signed: [-32767, +32767], unsigned: [0, +65535]

long int, long (>= 4 байта == 32 бит)
signed: [-2147483647, +2147483647], unsigned: [0, +4294967295]

long long int, long long (>= 8 байт == 64 бит)
[-9223372036854775807, +9223372036854775807], unsigned: [0, +18446744073709551615]

Типы данных языка Си

Чтобы не путаться с именами, следует использовать определения из файла stdint.h (#include <stdint.h>)

int8_t: [-128, +127]

uint8_t: [0, +255]

int16_t: [-32767, +32767]

uint16_t: [0, +65535]

int32_t: [-2147483647, +2147483647]

uint32_t: [0, +4294967295]

int64_t: [-9223372036854775807, +9223372036854775807]

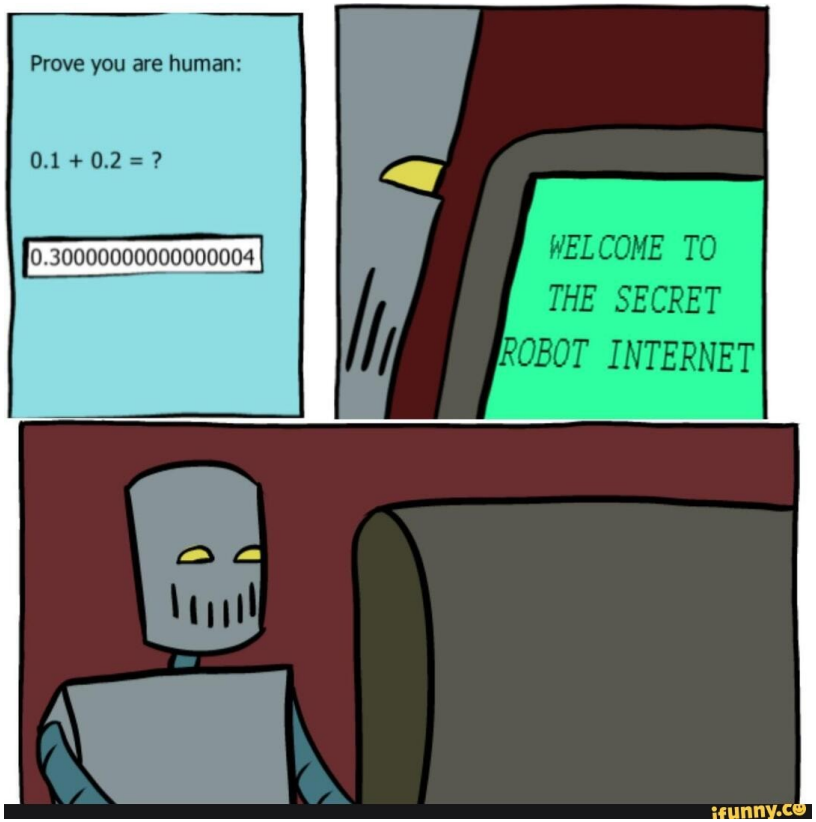
uint64_t: [0, +18446744073709551615]

Типы данных языка Си

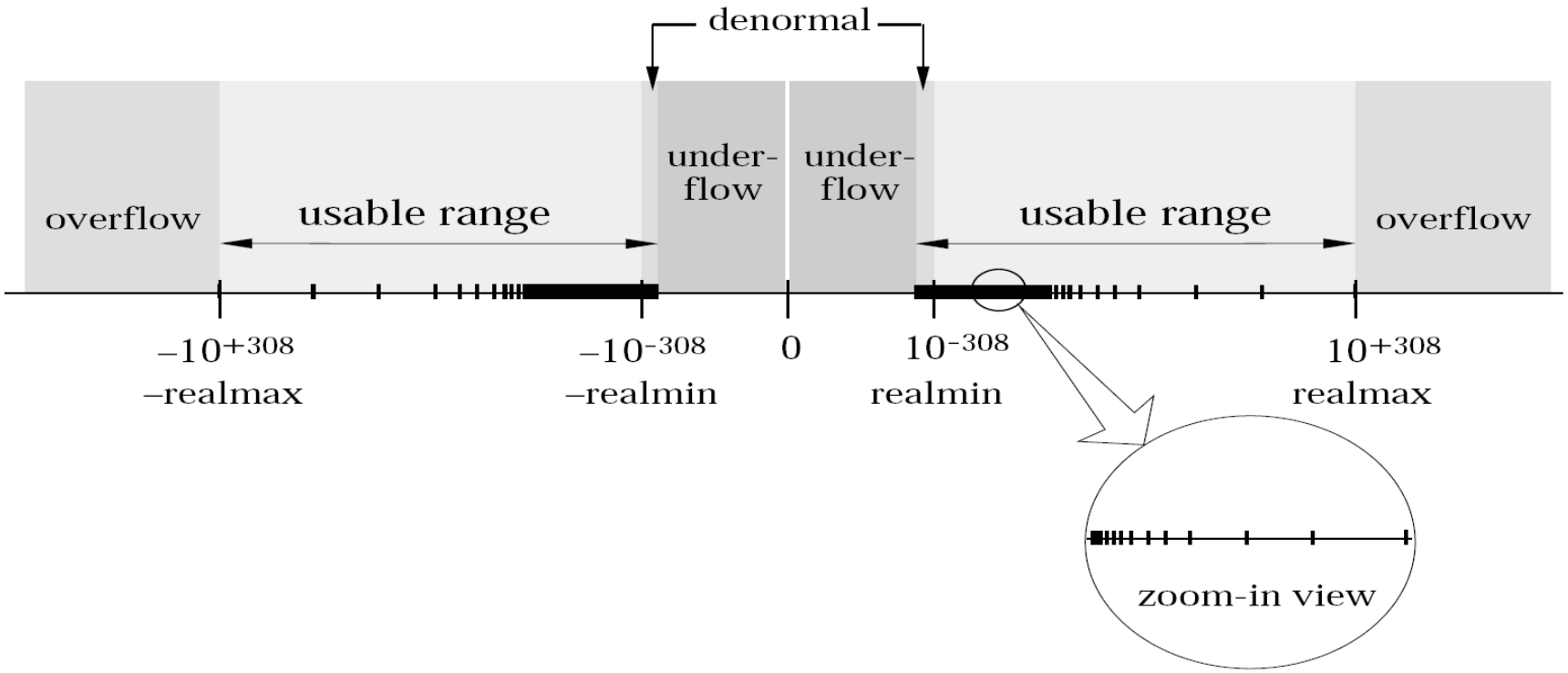
Числа с плавающей точкой

float
4 байта (32 бита)
[-3.4*1038, +3.4*1038]
примерно 7 знаков точности

double
8 байт (64 бита)
[-1.7*10308, +1.7*10308]
Примерно 15 знаков точности.



Типы данных языка Си



Типы данных языка Си

```
4  void deploy_parachute()
5  {
6      return; // Здесь нет значения чтобы вернуть,
7          //  но управление вернуть мы можем
8
9      // return можно не писать вовсе
10     // функция просто дойдет до конца
11 }
12
13 int function_without_args(void)
14 {
15     // Можно использовать void
16     // чтобы явно показать,
17     // что у функции нет аргументов
18
19     return 0; // Здесь return нужен
20 }
21
22 int function_with_void_arg(void arg0)
23 {
24     // А вот так делать нельзя, это ошибка
25 }
```

VOID — пустота, ничто

Вызов функции

```
4  void print_number(int number)
5  {
6      printf("Привет, число = %d\n", number);
7  }
8
9  void print_hello()
10 {
11     printf("Привет просто так\n");
12 }
13
14 int main()
15 {
16     print_number(10);
17     print_number(20);
18     print_number(30);
19     print_hello();
20
21     return 0;
22 }
```

Для вызова функции нужно написать её имя и в скобочках передать ей аргументы.

Если функция не ждёт аргументов, скобочки все равно нужно написать

Вызов функции

```c
void print_number(int number)
{
    printf("Привет, число = %d\n", number);
}

void print_hello(void)
{
    printf("Привет просто так\n");
}

void print_hello_no_void()
{
    printf("У меня явно не указано отсутствие аргументов\n");
}

int main()
{
    // Так делать нельзя
    print_number();
    print_number(20, 40, 50);
    print_hello(123);
    print_hello_no_void(123,123,123);

    return 0;
}
```

Нельзя указывать не верное количество аргументов

Функция printf

Это функция для вывода текста в терминал. Print – печать. F – formatted. Функция волшебная – она может принимать различное количество аргументов различных типов. Аргументы функции – это различные значения, которые так же нужно выводить на печать.

printf(«формат», аргумент_1, аргумент_2, …);

```
4  int main()
5  {
6      printf("целое = %d, дробное = %f\n", 42, 42.42);
7      return 0;
8  }
9
```

Функция printf

Базовые спецификаторы функции printf

Код Формат
%c Символ
%d Десятичное целое число со знаком
%e Экспоненциальное представление числа (в виде мантиссы и порядка) (e на нижнем регистре)
%f Десятичное число с плавающей точкой
%s Символьная строка
%u Десятичное целое число без знака (неотрицательное)
%x Шестнадцатеричное без знака (строчные буквы)
%X Шестнадцатеричное без знака (прописные буквы)
%p Выводит указатель
%% Выводит знак процента

Это лишь базовые спецификаторы. Возможностей форматирования функций printf / scanf намного больше.

Переменные

```c
#include <stdio.h>

// Функция возвращает напряжение на датчике давления
int get_pressure_sensor_millivolts(void)
{
    return 10; // Пока что пускай всегда возвращает 10
}

int main()
{
    // Определение переменной
    int raw_mv;
    // Присвоение ей значения
    raw_mv = get_pressure_sensor_millivolts();

    // Определение другой переменной с присвоением ей значения
    float pressure = (raw_mv -100) * 1000 + 100;

    // Вывод на экран
    printf("Давление = %f\n", pressure);
    return 0;
}
```

Переменные – это хранилище данных определённого типа. Если Вашей программе нужно что-то запомнить на время, то это нужно записать в переменную.

Определение переменной делается так:

тип_переменной имя_переменной [= начальное значение];

Начальное значение сразу указывать не обязательно, но нужно указать потом

Операции с переменными

Присваивание

```
int x;
x = 10;
```

Присваивание цепочкой

```
int x, y;
x = y = 10;
```

Сложение вычитание, умножение, деление

```
int x;
x = 10 + 10;
x = x + 10 + y + SOME_MACRO;
x += 10; // тоже самое что x = x + 10;
```

Аналогично с умножением *, делением /, вычитанием –,

Порядок действий как в математике, можно использовать скобочки.

Нельзя использовать переменную, которой не присвоено значения для чтения из нее!

UNDEFINED BEHAVIOR

Допустимое неопределённое поведение варьируется от полного игнорирования ситуации с непредсказуемыми последствиями до демонов, вылетающих из вашего носа.

Джон Вудс (John F. Woods), comp. std. c 1992

Неопределённое поведение — пожалуй, один из самых печально известных назальных демонов. Оно берёт своё начало в языке C. Коротко говоря, такое поведение делает бесполезной **всю программу**, если нарушаются определённые правила языка.

Неопределённое поведение (англ. undefined behaviour) — свойство некоторых языков программирования в определённых ситуациях выдавать результат, зависящий от реализации компилятора. Допускать такую ситуацию в программе считается ошибкой, даже если на некотором компиляторе программа успешно выполняется. Такая программа не будет кроссплатформенной и может приводить к сбоям на другой машине, в другой ОС и даже на других настройках компилятора.

UNDEFINED BEHAVIOR

```c
int main()
{
    int variable;
    printf("Просто вывод %d\n", variable); // <- UB!
    return 0;
}
```

```
../src/project/main.c: В функции «main»:
../src/project/main.c:12:9: предупреждение: «variable» is used uninitialized [-Wuninitialized]
   12 |         printf("Просто вывод %d\n", variable); // <- UB!
      |         ^~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
../src/project/main.c:11:13: замечание: «variable» было объявлено здесь
```

UNDEFINED BEHAVIOR

```
5  int main()
6  {
7      int8_t x = 100;
8      x = x + 1000000; // UB!
9
10     int16_t xx = 30000;
11     int8_t xxx = xx; // UB!
12
13     uint8_t y = 200;
14     y = y + 1000000; // А вот так можно
15     return 0;
16 }
```

```
Building file: ../src/project/main.c
Invoking: GCC C Compiler
gcc -O0 -g3 -Wall -c -fmessage-length=0 -MMD -MP
Finished building: ../src/project/main.c
```

Операции с переменными

Деление интов — целочисленное

float y = 11 / 2; // y == 5.0;

Для того, чтобы деление было дробным следует использовать явное преобразование к дробному типу

float y = (float)11 / 2; // y == 5.5

float y = 11 / 2.0; // Так тоже можно

float y = (float)int_var / 2; // К переменным это тоже относится

Так же доступна MOD операция

Int y = 12 % 10; // y == 2

Операции с переменными

Виды литералов и системы счисления

```
int main() {

    {
        double a = 5.0;
        float  b = 5.0f;
        int    c = 5;
        long   d = 5L;
    }

    // ананлогично
    {
        double a = (double)5;
        float  b = (float)5;
        int    c = (int)5;
        long   d = (long)5;
    }

    return 0;
}
```

```
int main()
{
    int dec = 255; // Десятичная система
    int hex = 0xFF;// Шестнадцатеричная
    int oct = 0377;// Восьмеричная
    int bin = 0b11111111;  // Двоичная

    int equal = ((dec == hex) && (hex == oct) && (oct == bin));
    // equal == 1
    return 0;
}
```

Операции с переменными

Логические операции

Int x = 10;
Int result = x > 100; // В итоге result = 0;
result = x < 100; // В итоге result = 1;

Возможны операторы

- > больше,
- < меньше
- >= больше или равно
- <= меньше или равно
- == равно
- != не равно

Нельзя делать цепочки
result = 0 <= x <= 100; // так нельзя

При сравнении знаковых и беззнаковых — знаковые приводятся к беззнаковым (это не UB, но неприятно: -1 > 2U)

Операции с переменными

Логические операции

&& (AND или же операция «и»)

```
int result1 = 10 >= 5; // result1 = 1
int result2 = 10 <= 5; // result2 = 0
int result3 = result1 && result2; // result3 = 0;
```

|| (OR или же операция «или»)

```
result3 = result1 || result2; // result3 = 1;
```

! (NOT или же операция «не»)

```
result3 = 1;
result3 = !result3; // result3 = 0;
```

Для более удобной работы с булевой логикой Есть файл **<stdbool.h>**

В нем определены значения **true** (==1) и **false** (==0) А так же тип **bool** (==int), который хранит эти значения.

В целом, работа с логикой в Си очень проста Все что 0 – считается **false** Все остальное – считается **true**

Можно делать цепочки `int result4 = (result3 || result2) && result1;`
Порядок действий: ! > && > ||

Операции с переменными

~ (Побитовый ! (NOT))

uint8_t x = 243; // в двоичной системе 1111 0011
bool cmp = (~x ==12); // ~x в двоичной системе == 0000 1100

& и | (Побитовые && и ||)

Аналогично небитовым

uint8_t x = 0b11110000;
uint8_t y = 0b00111100;
x | y == 0b11111100;
x & y == 0b00110000;

>> и << (Побитовые сдвиги)

uint8_t x = 0b0001;

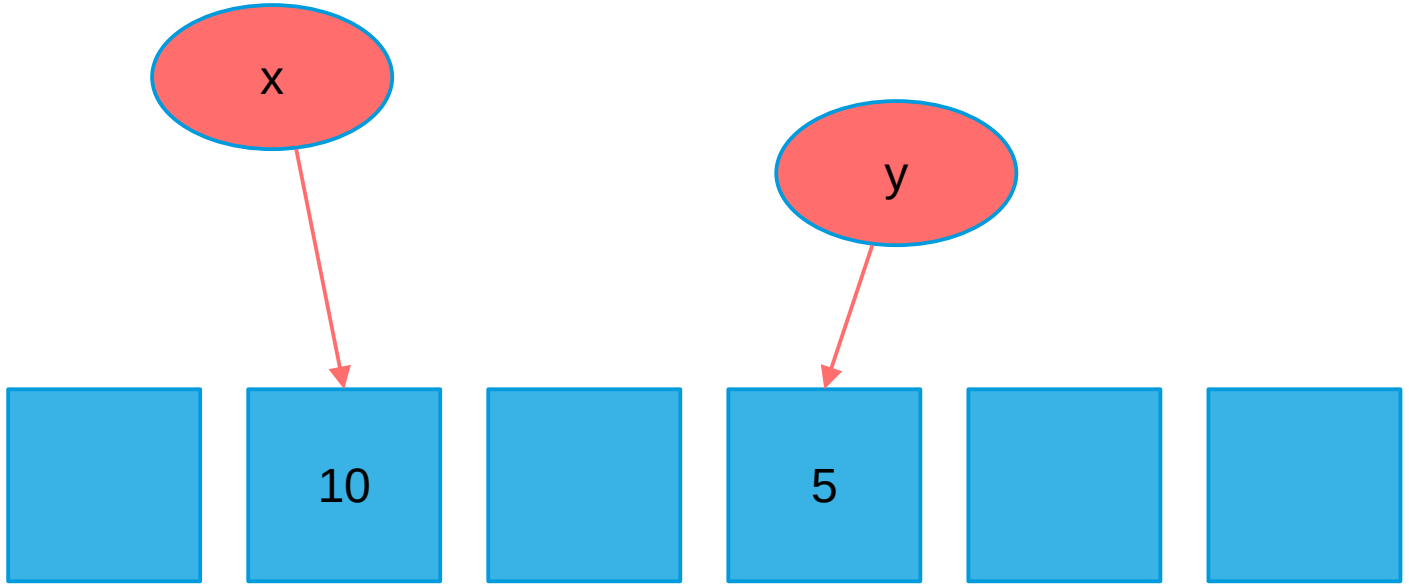
x = x << 2 // x == 0b0100;

X = x >> 4 // x == 0b0000;

Переменные - бирки

x = 10;

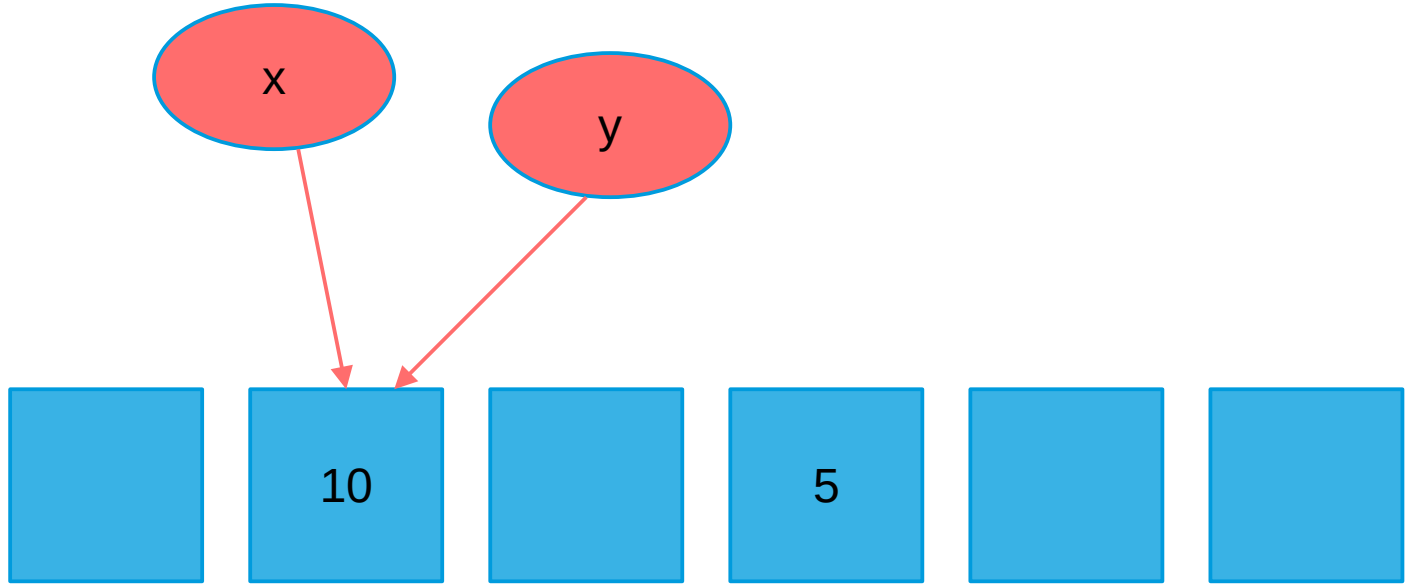
y = 5;



Ячейки памяти

Переменные - бирки

y = x

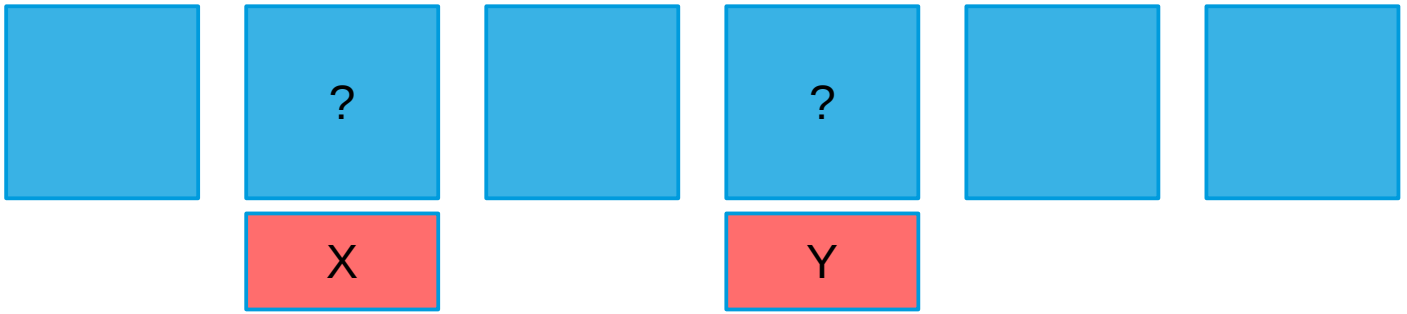


Ячейки памяти

Переменные - коробки

```
int x;
int y;
```

Ячейки памяти

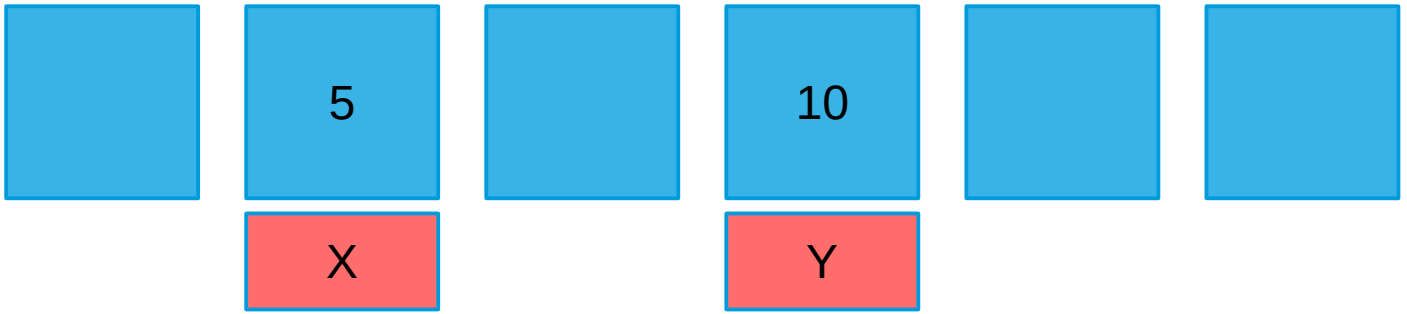


Переменные - коробки

x = 5;

y = 10;

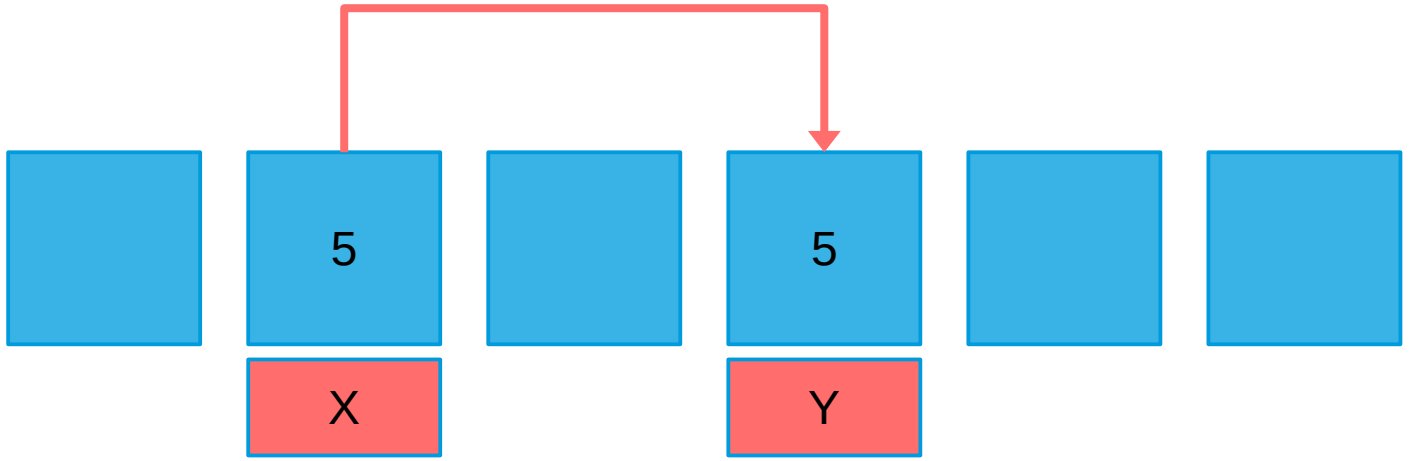
Ячейки памяти



Переменные - коробки

y = x

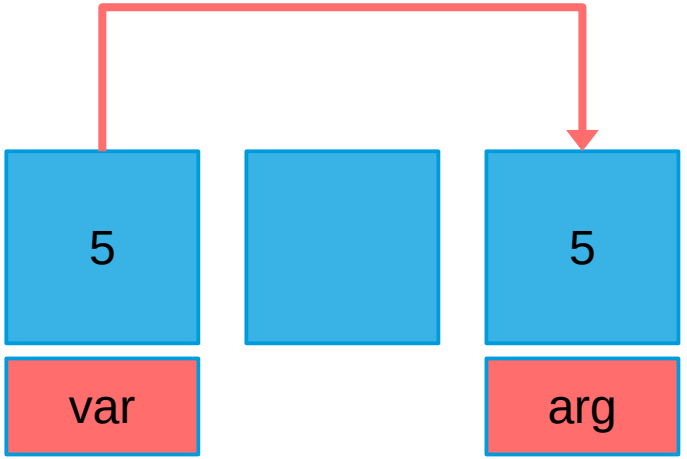
Ячейки памяти



Передача переменных в функции

```
4  void f(int arg)
5  {
6      printf("arg = %d\n", arg);
7      arg = arg + 100;
8      printf("arg after + = %d\n", arg);
9  }
10
11 int main()
12 {
13     int var = 0;
14     printf("var = %d\n", var);
15
16     f(var);
17
18     printf("var after f = %d\n", var);
19     return 0;
20 }
```

```
<terminated> (exit value: 0) cansat-lec
var = 0
arg = 0
arg after + = 100
var after f = 0
```



Константы

Константа ничем не отличается от обычной переменной, кроме того, что она должна быть инициализирована при определении и ей нельзя присвоить новое значение.

Чтобы сделать переменную константой нужно использовать модификатор **const**

```
4  int main()
5  {
6      const int x = 10;
7      const int y; // Ошибка, нужна инициализация
8
9      x = 20; // ошибка
10     x += 20; // тоже ошибка
11
12     int a = x; // А вот так можно
13     return 0;
14 }
15
```

```
8  void f(const int x)
9  {
10     x = x + 10; // Ошибка
11 }
12
```

Область видимости и время жизни

Переменные живут и видны от определения до } блока

```
int main()
{
    printf("x = %d\n", x); // Ошибка, x не определен

    int x = 10;
    printf("x = %d\n", x); // Теперь все в порядке

    {
        int y = 100;
        printf("y = %d\n", y); // Все в порядке

        int x = 20;
        printf("x = %d\n", x); // Вывод 20. Это уже другой x!
    }

    printf("y = %d\n", y); // Ошибка! y уже умер
    printf("x = %d\n", x); // Вывод 10. Это опять старый x

    return 0;
}
```

Область видимости и время жизни

Переменные живут и видны от определения до } блока

```
int main()
{
    printf("x = %d\n", x); // Ошибка, x не определен

    int x = 10;
    printf("x = %d\n", x); // Теперь все в порядке

    {
        int y = 100;
        printf("y = %d\n", y); // Все в порядке

        int x = 20;
        printf("x = %d\n", x); // Вывод 20. Это уже другой x!
    }

    printf("y = %d\n", y); // Ошибка! y уже умер
    printf("x = %d\n", x); // Вывод 10. Это опять старый x

    return 0;
}
```

Область видимости и время жизни

Глобальные переменные начинают жить до main() и заканчивают жить после неё.

Однако видны так же, только после определения

```
 6 void f()
 7 {
 8 »   printf("x = %d\n", x); // Ошибка, не видно
 9 »   printf("global_var=%d\n", global_var); // Ошибка, не видно
10 }
11
12
13 int x; // Можно не писать = 0. Это подразумевается и не UB!
14 int global_var = 10;
15
16
17 int main()
18 {
19 »   printf("x = %d\n", x); // Все в порядке
20 »   printf("global_var = %d\n", global_var); // Все в порядке
21 »   return 0;
22 }
```

Глобальные переменные

Глобальные переменные и функции можно объявлять, а определение писать где-нибудь в другом месте.

Объявлений может быть много

Определение должно быть одно!

```
4
5  // Объявление глобальной переменной
6  extern int x;
7  // Объявление функции
8  void function(int arg);
9
10
11 void f()
12 {
13 »   printf("x = %d\n", x); // Все ок
14 »   function(10); // Все тоже ок
15 }
16
17 // Определение переменной
18 int x;
19
20 // Определение функции
21 void function(int arg)
22 {
23 »   printf("arg = %d\n", arg);
24 }
```

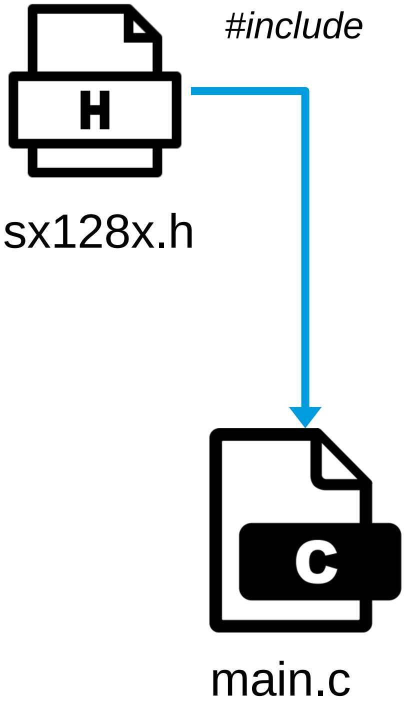
Статические переменные и функции

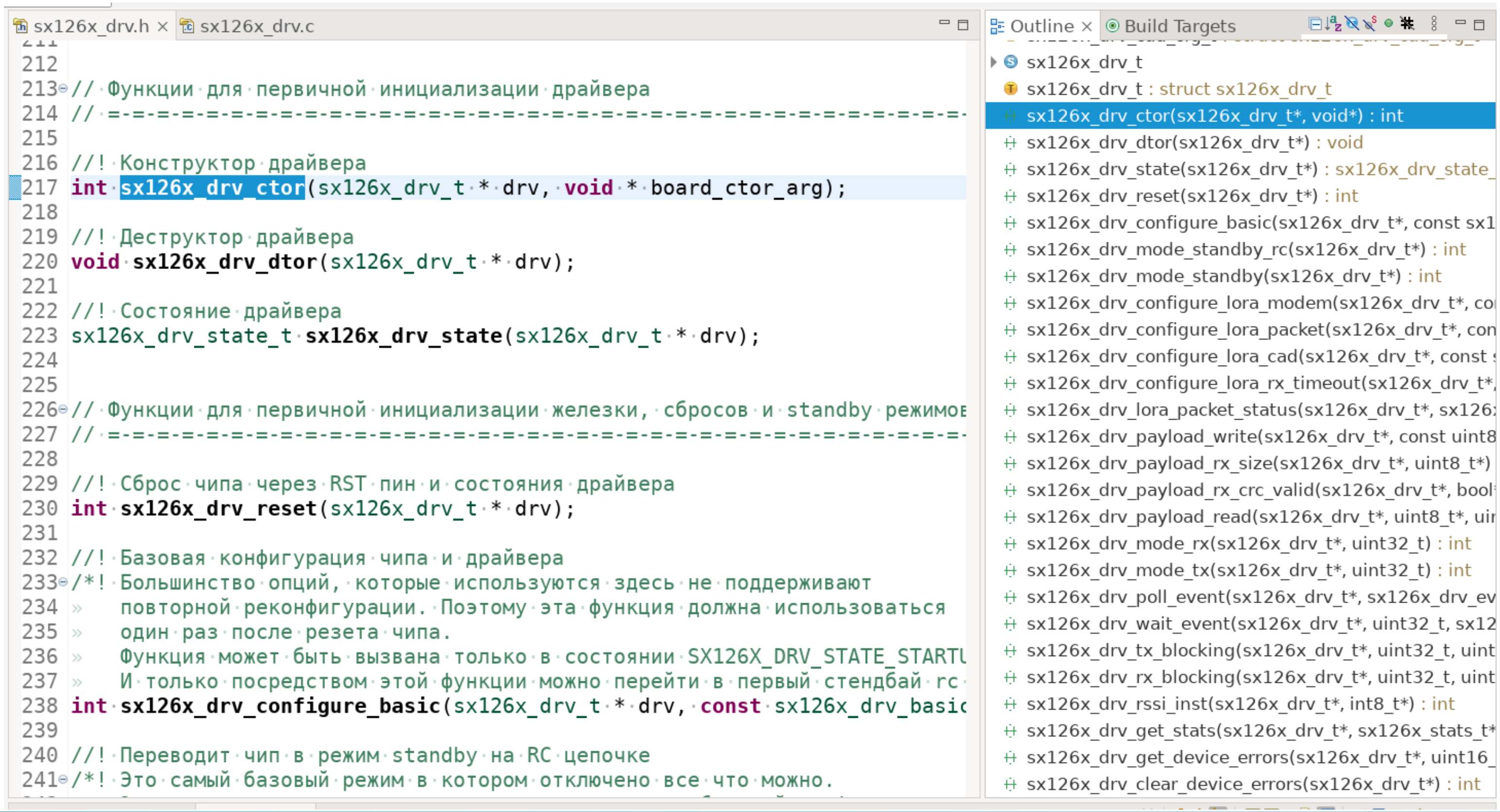
Статические функции видны только в родном .c файле. Можно иметь много статических функций с одинаковыми именами в разных файлах.

Статические переменные

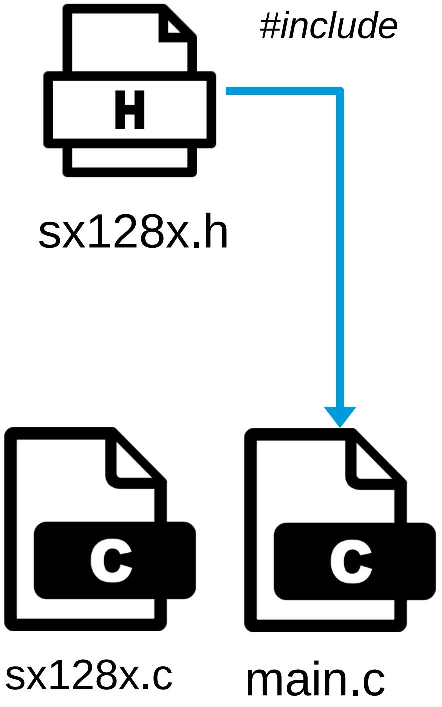
```
 5 static int global; // Видна только в этом файле
 6
 7 static void f() // Видна только в этом .c файле
 8 {
 9     static int x = 0; // Живет от инициализации вечно
10                       // Инициализируется один раз
11     printf("x = %d\n");
12     x += 1;
13 }
14
15 int main()
16 {
17     f(); // Выводит 0
18     f(); // Выводит 1
19     f(); // Выводит 2
20     f(); // Выводит 3
21
22     return 0;
23 }
```

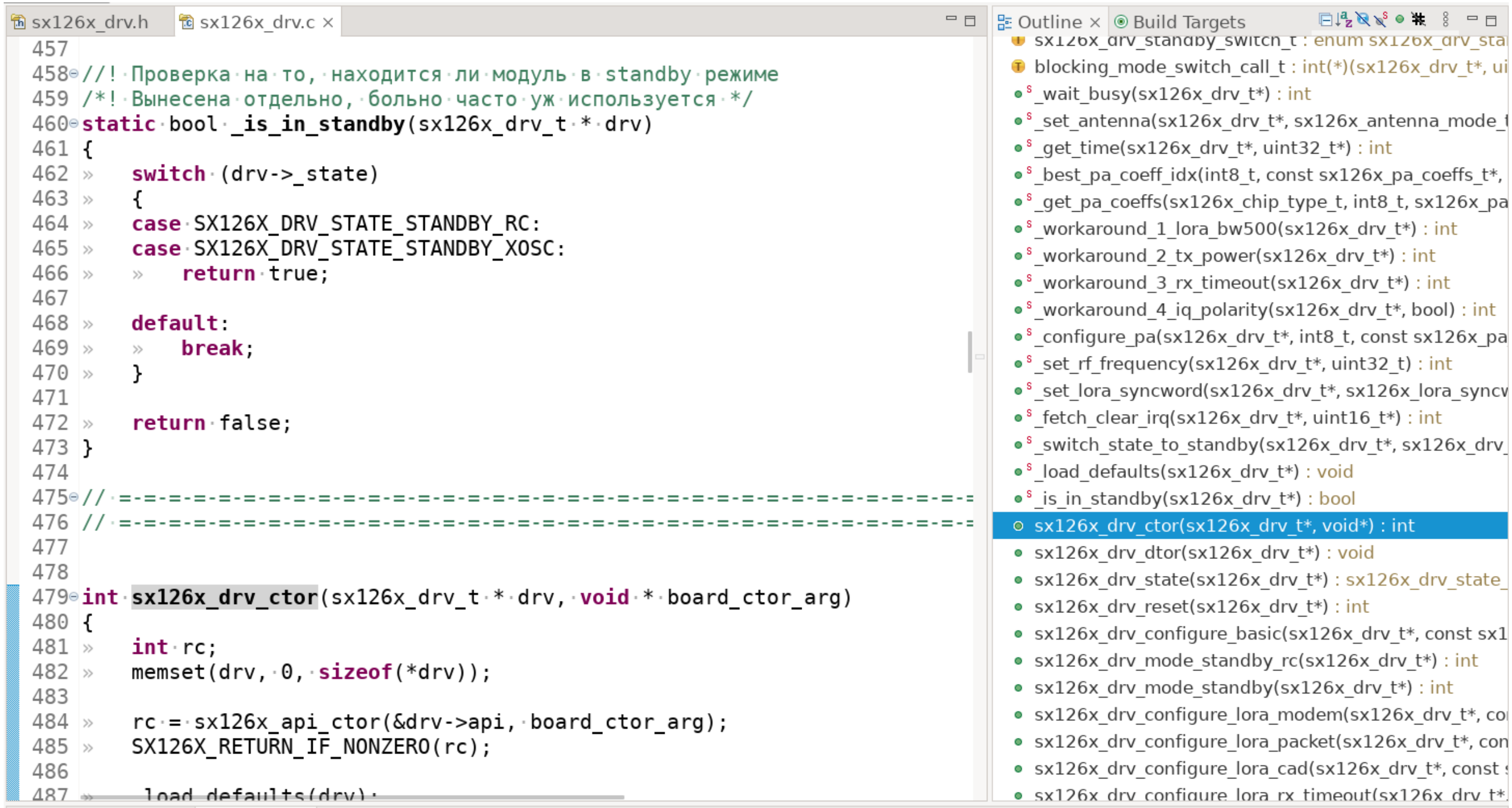
Заголовочные файлы





Заголовочные файлы






```c

//! Проверка на то, находится ли модуль в standby режиме
/*! Вынесена отдельно, больно часто уж используется */
static bool _is_in_standby(sx126x_drv_t * drv)
{
	switch (drv->_state)
	{
	case SX126X_DRV_STATE_STANDBY_RC:
	case SX126X_DRV_STATE_STANDBY_XOSC:
		return true;

	default:
		break;
	}

	return false;
}

// =-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=
// =-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=


int sx126x_drv_ctor(sx126x_drv_t * drv, void * board_ctor_arg)
{
	int rc;
	memset(drv, 0, sizeof(*drv));

	rc = sx126x_api_ctor(&drv->api, board_ctor_arg);
	SX126X_RETURN_IF_NONZERO(rc);

	_load_defaults(drv);
```

```
sx126x_drv_standby_switch_t : enum sx126x_drv_sta
blocking_mode_switch_call_t : int(*)(sx126x_drv_t*, ui
_wait_busy(sx126x_drv_t*) : int
_set_antenna(sx126x_drv_t*, sx126x_antenna_mode_t
_get_time(sx126x_drv_t*, uint32_t*) : int
_best_pa_coeff_idx(int8_t, const sx126x_pa_coeffs_t*,
_get_pa_coeffs(sx126x_chip_type_t, int8_t, sx126x_pa
_workaround_1_lora_bw500(sx126x_drv_t*) : int
_workaround_2_tx_power(sx126x_drv_t*) : int
_workaround_3_rx_timeout(sx126x_drv_t*) : int
_workaround_4_iq_polarity(sx126x_drv_t*, bool) : int
_configure_pa(sx126x_drv_t*, int8_t, const sx126x_pa
_set_rf_frequency(sx126x_drv_t*, uint32_t) : int
_set_lora_syncword(sx126x_drv_t*, sx126x_lora_syncw
_fetch_clear_irq(sx126x_drv_t*, uint16_t*) : int
_switch_state_to_standby(sx126x_drv_t*, sx126x_drv_
_load_defaults(sx126x_drv_t*) : void
_is_in_standby(sx126x_drv_t*) : bool
sx126x_drv_ctor(sx126x_drv_t*, void*) : int
sx126x_drv_dtor(sx126x_drv_t*) : void
sx126x_drv_state(sx126x_drv_t*) : sx126x_drv_state_
sx126x_drv_reset(sx126x_drv_t*) : int
sx126x_drv_configure_basic(sx126x_drv_t*, const sx1
sx126x_drv_mode_standby_rc(sx126x_drv_t*) : int
sx126x_drv_mode_standby(sx126x_drv_t*) : int
sx126x_drv_configure_lora_modem(sx126x_drv_t*, co
sx126x_drv_configure_lora_packet(sx126x_drv_t*, con
sx126x_drv_configure_lora_cad(sx126x_drv_t*, const s
sx126x_drv_configure_lora_rx_timeout(sx126x_drv_t*,
```

Очень краткий справочник по cstdlib

<stdbool.h> - определения для булевых типов (с C99)

<float.h> - определения для чисел с плавающей точкой. Минимум, максимум, эпсилон и т. п.

<stdint.h> - определения для целых чисел (int8_t и т. п.)

<limits.h> - предельные значения целых чисел

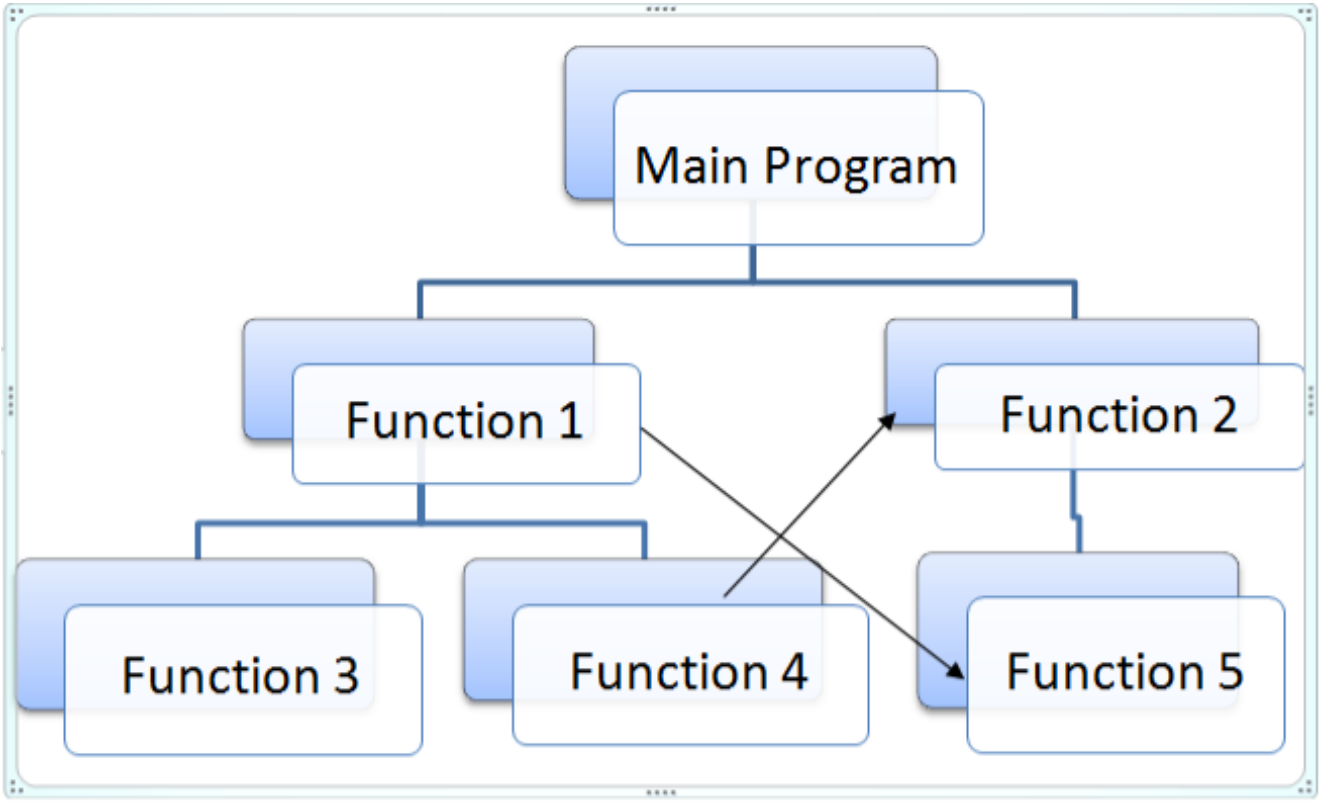
<math.h> - математические функции (синус, косинус все такое) и константы (число Пи, число e)

<stdio.h> - функции ввода/вывода. Для работы с консолью, файлами и всем таким

<stdlib.h> - много разного. Используется для работы с памятью

<string.h> - для работы со строками и опять — с памятью

Процедурное программирование



Макросы

Помимо функций и переменных, часто используются макросы.

Макросы создаётся при помощи директивы препроцессора **#define**. Они удобны, в случаях, когда Вам нужно использовать какие либо константы, которые могут измениться в процессе разработки.

Макросы могут иметь параметры. Во время работы препроцессора – макросы в тупую заменяются на текст, сопоставленный им, поэтому нужно быть аккуратнее с порядком действий.

```
4  #define PI 3.14159265359
5  #define HEADER_SIZE 10+10+2
6  #define DEG2RAD(arg) arg*PI/180
7
8  int main()
9  {
10 »   float x = PI;
11 »   PI = 10; // Бред какой-то
12 »   int offset = HEADER_SIZE * 2; // Внимание на скобочки
13
14 »   float radians = DEG2RAD(180);
15 »   float radians = DEG2RAD(x + 20); // Опять скобочки
16
17 »   return 0;
18 }
```