

# **Лекция 2 Язык программирования С, применение для встраиваемых систем**

---

План курса «Встраиваемые микропроцессорные системы»:

**Лекция 1:** Введение. Язык программирования С

**Лекция 2:** Язык программирования С, применение для встраиваемых систем

**Лекция 3:** Стандартная библиотека языка С

**Лекция 4:** Ядро ARM Cortex-M3. Микроконтроллер Миландр К1986ВЕ92QI

**Лекция 5:** Этапы разработки микропроцессорных систем

**Лекция 6:** Разработка и отладка программ для встраиваемых систем

**Лекция 7:** Архитектура программного обеспечения

**Лекция 8:** Периферийные модули: Timer, DMA, ADC, DAC

**Лекция 9:** Периферийные модули: CAN, USB, Ethernet, SDIO

# Объявление и вызов функций

---

*/\* Объявление функций \*/*

тип-возвр-значения имя-функции (аргументы)

```
{  
    объявления;  
    операторы;  
}
```

*/\* Вызов функций \*/*

переменная = имя-функции (аргументы);

```
int add_two(int n)
```

```
{  
    int tmp = 0;  
  
    tmp = n + 2;  
    return tmp;  
}
```

```
a = add_two(2);
```

Обобщенная форма

Пример

# Объявление и вызов функций

---

```
/* Объявление функций */
```

```
/* Абсолютное значение числа */
```

```
int abs(int n)
{
    if (n < 0)
        return -n;
    else
        return n;
}
```

```
/* Поиск максимального элемента в массиве */
```

```
int arr_max(int a[], int n)
{
    int max = a[0];
    for (int i = 1; i < n; i++)
        if (a[i] > max)
            max = a[i];
    return max;
}
```

```
/* Включить светодиод */
```

```
void led_on()
{
    PORTC |= 0x01;
}
```

```
/* Вызов функций */
```

```
void main()
{
    int c;
    c = abs(-10); /* c = 10 */

    int arr[5] = {4, 3, 1, 7, 5};

    c = arr_max(arr, 5); /* c = 7 */
    led_on();
}
```

# Объявление и вызов функций

---

```
/* Объявление функций */
/* Обратить порядок элементов в массиве */
void reverse(char a[], int n)
{
    int i, j, tmp;
    for (i = 0, j = n - 1; i < j; i++, j--){
        tmp = a[i];
        a[i] = a[j];
        a[j] = tmp;
    }
    return; /* Необязательно */
}
```

```
/* Вызов функций */
void main()
{
    char arr[5] = {4, 3, 1, 7, 5};
    char len = 5;

    reverse(arr, len);
    /* arr = {5, 7, 1, 3, 4} */
    int i;
    for (i = 0; i < len; i++){
        printf("%d ", arr[i]);
    }
}
```

# Указатели

```
/* Объявление переменных и массива */
```

```
int x = 1, y = 2, z[10];
```

```
/* Объявление указателя */
```

```
int *p;
```

```
p = &x; /* p - адрес переменной x  
или p - указывает на x */
```

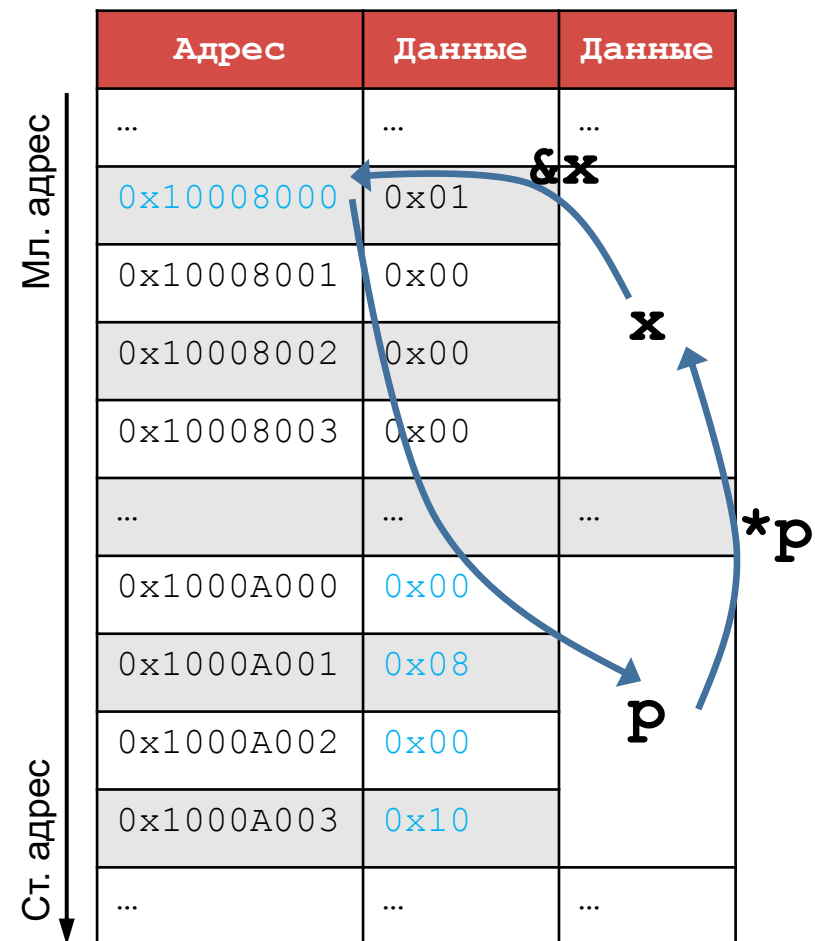
```
/* Разыменование *p */
```

```
y = *p; /* *p = x = 1 -> y = 1 */
```

```
*p = 0; /* x = 0 */
```

```
p = &z[0]; /* p - указывает на z[0] */
```

```
*p = 100; /* z[0] = 100 */
```



# Массивы и указатели

```
/* Объявление массива */  
int a[10];  
/* Объявление указателя */  
int *pa;  
  
pa = &a[0]; /* Указатель на a[0] */  
pa = a; /* Эквивалентно pa = &a[0] */  
  
/* a[i] эквивалентно *(pa + i) */  
*pa = 0; /* a[0] = 0 */  
*(pa + 2) = 2; /* a[2] = 2 */
```

| Индекс | Указатель | Адрес | Данные           |
|--------|-----------|-------|------------------|
| ...    | ...       |       | ...              |
|        |           |       | Другие<br>данные |
| a[0]   | *pa       | pa    | 1                |
| a[1]   | *(pa+1)   | pa+4  | 4                |
| a[2]   | *(pa+2)   | pa+8  | 13               |
| ...    | ...       |       | ...              |
| a[9]   | *(pa+9)   | pa+36 | 99               |
|        |           |       | Другие<br>данные |
| ...    | ...       |       | ...              |

Мл. адрес

Ст. адрес

# Строки и символы

```
/* Объявление и инициализация  
строки */
```

```
char msg[] = "Hello\r\n";
```

```
/* Объявление и инициализация  
символа */
```

```
char ch = 'a';
```

| Индекс | Адрес | Данные<br>(HEX)  | Данные<br>(ASCII) |
|--------|-------|------------------|-------------------|
| ...    | ...   |                  | ...               |
|        |       | Другие<br>данные |                   |
| msg[0] | msg   | 0x48             | Н                 |
| msg[1] | msg+1 | 0x65             | е                 |
| msg[2] | msg+2 | 0x6C             | л                 |
| msg[3] | msg+3 | 0x6C             | л                 |
| msg[4] | msg+4 | 0x6F             | о                 |
| msg[5] | msg+5 | 0x0D             | \r                |
| msg[6] | msg+6 | 0x0A             | \n                |
| msg[7] | msg+7 | 0x00             | \0                |
|        |       | Другие<br>данные |                   |
| ...    | ...   | ...              | ...               |

Мл. адрес

Ст. адрес

# Структуры

---

```
/* Объявление структуры */  
struct point {  
    int x;  
    int y;  
};  
  
/* Объявление переменной pt1 типа point */  
struct point pt1;  
  
/* Инициализация полей структуры */  
pt1.x = 22;  
pt1.y = 7;  
  
/* Инициализация структуры */  
struct point pt2 = {-10, 0};
```



# Объединения

```
/* Объявление объединения */
```

```
union {  
    int word;  
    short hword[2];  
    char byte[4];  
} u;
```

```
u.word = 0x12345678;
```

```
short lo_hword = u.hword[0]; /* lo_hword = 0x5678 */
```

```
char hi_byte = u.byte[3]; /* hi_byte = 0x12 */
```

| Адрес  | 0          | 1    | 2      | 3    |
|--------|------------|------|--------|------|
| Память | 0x78       | 0x56 | 0x34   | 0x12 |
| word   | 0x12345678 |      |        |      |
| hword  | 0x5678     |      | 0x1234 |      |
| byte   | 0x78       | 0x56 | 0x34   | 0x12 |

# Константы

---

```
/* Макроопределения */
#define MAXLEN 100
char msg[MAXLEN + 1];

#define TRUE 1
#define FALSE 0

if (res == TRUE)
    ...

/* Перечисления */
enum month {JAN = 1, FEB, MAR, APR,
MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC};
/* FEB = 2, MAR = 3, ...*/

enum boolean {FALSE = 0, TRUE}; /* TRUE = 1 */
```

# Битовые операции

---

```
/* Битовые поля */
struct {
    unsigned int enable : 1;
    unsigned int test: 1;
    unsigned int err_code: 3;
} state_flags;

state_flags.enable = 1;
state_flags.test = 0;
state_flags.err_code = 4;

/* Пример без битовых полей */
#define ENABLE_FLAG 1
#define TEST_FLAG 2
#define ERR_MASK 7
#define ERR_SHIFT 2

unsigned int flags;

flags |= ENABLE_FLAG; /* Установить бит 0 */
flags = flags | ENABLE_FLAG;
flags &= ~TEST_FLAG; /* Сбросить бит 1 */

/* Сбросить код ошибки */
flags &= ~(ERR_MASK << ERR_SHIFT);
/* Установить новый код ошибки */
flags |= (4 & ERR_MASK) << ERR_SHIFT;
```

# Препроцессор

---

```
/* Макроопределения */
#define ARR_SIZE 10
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define STEP 100

/* Подключение файлов */
#include "adc.h"
#include <stdio.h>

#define DEBUG

/* Условная компиляция */
#ifdef DEBUG
...
#endif
```

- Обращение к регистрам специальных функций периферийных модулей;
- Обработка прерываний;
- Ассемблерные вставки.

# Уровни абстракции:

## Обращение к регистрам специальных функций

---

### 1. Язык C + документация

```
#define PORTC *((volatile unsigned int *) (0x400B8000))  
  
...  
PORTC = PORTC | 1; /* Установить 1 в PC0 */
```

### 2. Язык C + заголовочные файл + документация

```
#include "MDR32Fx.h"  
  
...  
MDR_PORTC->RXTX = MDR_PORTC->RXTX | 1; /* Установить 1 в PC0 */
```

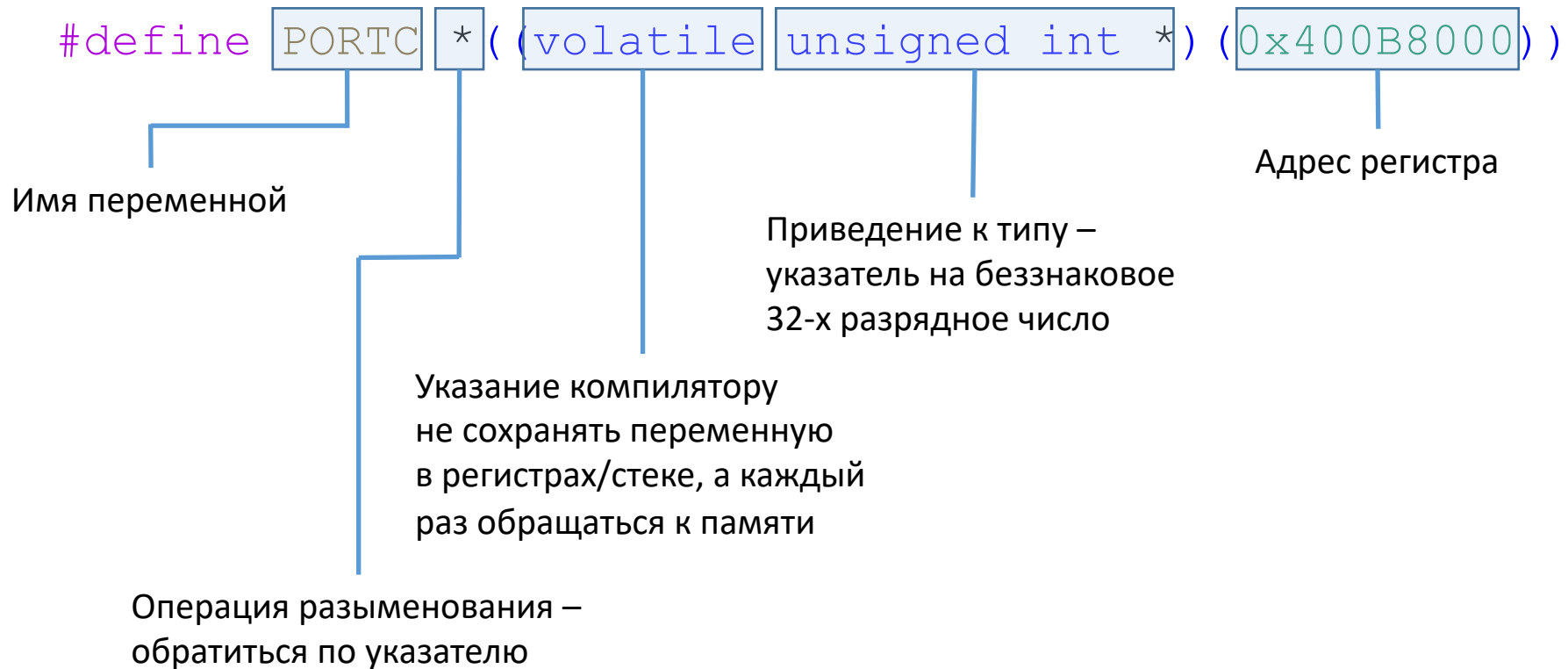
### 3. Язык C + библиотека (например, Standard Peripheral Library для K1986BE92QI)

```
#include <MDR32F9Qx_port.h>  
  
...  
PORT_SetBits(MDR_PORTC, PORT_Pin_0); /* Установить 1 в PC0 */
```

# Уровни абстракции:

## Обращение к регистрам специальных функций

---



# Первая программа на С для микроконтроллера. Версия 1

---

```
#define RST_CLK_PER    *((volatile unsigned int *) (0x4002001C))
#define PORTC_RXTX    *((volatile unsigned int *) (0x400B8000))
#define PORTC_OE      *((volatile unsigned int *) (0x400B8004))
#define PORTC_ANALOG  *((volatile unsigned int *) (0x400B800C))
#define PORTC_PWR     *((volatile unsigned int *) (0x400B8018))

/* Функция main. Точка входа в программу */
int main(void)
{
    RST_CLK_PER = RST_CLK_PER | (1 << 23); /* Включаем тактирование порта С */

    PORTC_OE = PORTC_OE | 0x01;             /* Настраиваем ножку 0 порта С на вывод */
    PORTC_ANALOG = PORTC_ANALOG | 0x01;     /* Включаем цифровой режим работы ножки 0 */
    PORTC_PWR = PORTC_PWR | 0x02;           /* Настраиваем мощность выходного буфера ножки 0 */

    for (;;)
    {
        PORTC_RXTX = PORTC_RXTX ^ 0x01;    /* Инвертирование бита в регистре PORTC */
        for (int i = 0; i < 100000; i++); /* Программная задержка */
    }
}
```



# Первая программа на С для микроконтроллера. Версия 2

---

```
#include <MDR32Fx.h>

/* Функция main. Точка входа в программу */
int main(void)
{
    /* Включаем тактирование порта С */
    MDR_RST_CLK->PER_CLOCK = MDR_RST_CLK->PER_CLOCK | (1 << 23);

    MDR_PORTC->OE = MDR_PORTC->OE | 0x01;          /* Настраиваем ножку 0 порта С на вывод */
    MDR_PORTC->ANALOG = MDR_PORTC->ANALOG | 0x01; /* Включаем цифровой режим работы ножки 0 */
    MDR_PORTC->PWR = MDR_PORTC->PWR | 0x02; /* Настраиваем мощность выходного буфера ножки 0 */

    for (;;)
    {
        MDR_PORTC->RXTX = MDR_PORTC->RXTX ^ 0x01; /* Инвертирование бита в регистре PORTC */
        for (int i = 0; i < 100000; i++); /* Программная задержка */
    }
}
```

# Первая программа на С для микроконтроллера. Версия 3

---

```
#include <MDR32Fx.h>
#include <MDR32F9Qx_config.h>
#include <MDR32F9Qx_rst_clk.h>
#include <MDR32F9Qx_port.h>
int main()
{
    RST_CLK_PCLKcmd(RST_CLK_PCLK_PORTC, ENABLE);
    PORT_InitTypeDef Port_InitStructure;
    PORT_StructInit(&Port_InitStructure);
    Port_InitStructure.PORT_Pin = PORT_Pin_0;
    Port_InitStructure.PORT_OE = PORT_OE_OUT;
    Port_InitStructure.PORT_FUNC = PORT_FUNC_PORT;
    Port_InitStructure.PORT_SPEED = PORT_SPEED_FAST;
    Port_InitStructure.PORT_MODE = PORT_MODE_DIGITAL;
    PORT_Init(MDR_PORTC, &Port_InitStructure);
    for(;;) {
        for (int i = 0; i < 100000; i++);
        PORT_SetBits(MDR_PORTC, PORT_Pin_0);
        for (int i = 0; i < 100000; i++);
        PORT_ResetBits(MDR_PORTC, PORT_Pin_0);
    }
}
```

# Обработка прерываний в Cortex-M3

---

Файл `startup_MDR32F9Qx.s`:

```
...  
DCD Timer1_IRQHandler ; IRQ14  
DCD ADC_IRQHandler ; IRQ17  
...
```

Файлы разработчика, например, `main.c`:

```
/* Обработка прерывания по Timer1 */  
void Timer1_IRQHandler(void)  
{  
    ...  
}  
  
/* Обработка прерывания по ADC */  
void ADC_IRQHandler(void)  
{  
    ...  
}
```

# Ассемблерные вставки

---

Использование ассемблера:

- Для оптимизации по скорости выполнения и размеру программы;
- Для прямого манипулирования регистрами;
- Для использования старого ассемблерного кода в новых проектах;
- Для специальных инструкций (WFI, BKP, SVC);
- Для учебных целей.

# Ассемблерные вставки

---

```
/* Для IDE Keil uVision */
__asm void add(int x1, int x2, int x3)
{
    ADDS R0, R0, R1
    ADDS R0, R0, R2
    BX LR
}

int swap32(int i)
{
    int res;
    __asm {
        REVSH res, i
    }
    return res;
}

__asm("WFI"); /* Выполнение одной команды */
```

# Результат компиляции: HCS08 (простой 8-ми разрядный CISC)

Код на языке C

```
1. void func(void)
2. {
3.     return;
4. }
5.
6. void main(void)
7. {
8.     char i;
9.
10.    i = 5;
11.    while (i > 0)
12.    {
13.        func();
14.        i--;
15.    }
16.    for (;;) ;
17. }
```

Результат компиляции для HCS08

```
...
8:     char i;
9:
10:    i = 5;
    LDA    #5
    TSX
    STA    ,X
    L5:
11:    while (i > 0)
12:    {
13:        func();
    BSR    func
14:        i--;
    TSX
    DEC    ,X
    TST    ,X
    BNE    L5
    LC:
15:    }
16:    for (;;) ;
    BRA    LC
17: }
```

# Результат компиляции: ARM Cortex-M3 (32-х разрядный RISC)

Код на языке C

```
1. void func(void)
2. {
3.     return;
4. }
5.
6. void main(void)
7. {
8.     char i;
9.
10.    i = 5;
11.    while (i > 0)
12.    {
13.        func();
14.        i--;
15.    }
16.    for (;;) ;
17. }
```

Результат компиляции для ARM Cortex-M3

```
...
8000136:  b580    push    {r7, lr}
8000138:  b082    sub     sp, #8
800013a:  af00    add     r7, sp, #0
           char i;

           i = 5;
800013c:  2305    movs    r3, #5
800013e:  71fb    strb    r3, [r7, #7]
8000140:  e004    b.n     800014c <main+0x16>
           while (i > 0)
           {
               func();
8000142:  f7ff fff3    bl     800012c <func>
               i--;
8000146:  79fb    ldrb    r3, [r7, #7]
8000148:  3b01    subs    r3, #1
800014a:  71fb    strb    r3, [r7, #7]
           while (i > 0)
800014c:  79fb    ldrb    r3, [r7, #7]
800014e:  2b00    cmp     r3, #0
8000150:  d1f7    bne.n   8000142 <main+0xc>
8000152:  e7fe    b.n     8000152 <main+0x1c>
```

# Заключение

---

- Язык программирования С:
  - Объявление и вызов функций;
  - Указатели;
  - Структуры, объединения, перечисления;
  - Оператор ветвления;
  - Операторы цикла;
  - Препроцессор.
- Язык С позволяет напрямую обращаться к памяти через указатели, но не позволяет обращаться к регистрам процессора.
- Применение для встраиваемых систем:
  - Обращение к регистрам специальных функций через указатели;
  - Обработка прерываний;
  - Ассемблерные вставки.