

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 */
```

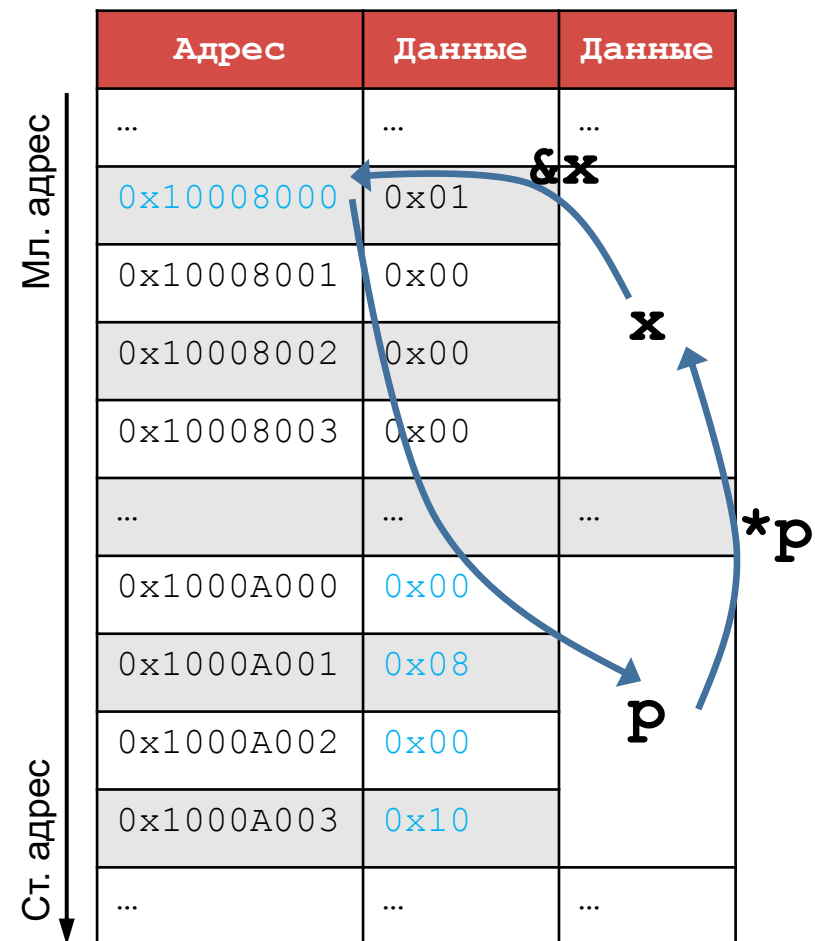
```
/* Разыменование *p */
```

```
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 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 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 (HEX)	Данные (ASCII)
...
		Другие 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 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 */
```

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.