Podstawy systemów mikroprocesorowych

Wykład nr 2

dr Piotr Fronczak

http://www.if.pw.edu.pl/~agatka/psm.html

fronczak@if.pw.edu.pl

Pokój 6GF

Dotychczas program wyglądał mniej więcej tak:

```
#include <stdio.h>
int main()
{
printf(“Hello World!”);
return 0;
}
```

Odtąd powinien wyglądać tak:

```
void main()
{
        while (1); // do końca świata…
}
```

Typowy program

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include „lcd.h”
#DEFINE CZAS 100
int x;
uint8_t b;

int main(void)
{
        DDRD=0xFF;
        for(;;) {           // wieczna pętla (albo tak: while(1){})
        PORTD^=0xFF;        // migamy
        _delay_ms(CZAS);    // czekamy 100 milisekund
        }
        return 0;           // kod powrotu
}
```

Pliki biblioteczne dołączamy za pomocą dyrektywy **#include**.

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>
#include "lcd.h"          // nasze własne funkcje
```

Pliki nagłówkowe zawierają deklaracje zmiennych i funkcji jak również polecenia z wykorzystaniem dyrektywy #DEFINE.

Same definicje funkcji są w bliźniaczym pliku *.c

plik lcd.h

```
#ifndef LCD_H_
#define LCD_H_

void lcd_init(void);

#endif
```

plik lcd.c

```
#include <avr/io.h>
#include „lcd.h"

void set_lcd(void)
{
        // coś tam
}

void lcd_init(void)
{
        set_lcd();
}
```

vvv

Typowy program

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include „lcd.h”

#DEFINE CZAS 100

int x;
uint8_t b;

int main(void)
{
        DDRD=0xFF;
        for(;;) {           // wieczna pętla (albo tak: while(1){})
        PORTD^=0xFF;        // migamy
        _delay_ms(CZAS);    // czekamy 100 milisekund
        }
        return 0;           // kod powrotu
}
```

Definicje

Dyrektywa **#DEFINE**.

Makra preprocesora. Ich argumenty podstawiane do kodu przed kompilacją. Dobry nawyk – drukowana czcionka.

```
#define F_CPU 16000000    // szybkość CPU w hercach
#define TRUE  0x01        // logiczne TRUE
#define FALSE 0x00        // logiczne FALSE

#define LICZ(a,b) a+b

a = 2 * LICZ(5,2);     ----->     a = 2 * 5 + 2;

#define LED 0b00010000
PORTC = LED;
```

dd

Typowy program

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include „lcd.h”

#DEFINE CZAS 100

int x;
uint8_t b;

int main(void)
{
        DDRD=0xFF;
        for(;;) {           // wieczna pętla (albo tak: while(1){})
        PORTD^=0xFF;        // migamy
        _delay_ms(CZAS);    // czekamy 100 milisekund
        }
        return 0;           // kod powrotu
}
```

Deklarujemy zmienne globalne

Zmienne i typy

Programując mikrokontrolery należy zwracać uwagę na różnice
w definicjach typów zmiennych (**int** może znaczyć różne rzeczy).

Warto korzystać z typów zdefiniowanych w pliku nagłówkowym **stdint.h**.

Kilka przykładów:

```
typedef signed char          int8_t;
typedef unsigned char        uint8_t;
typedef short                int16_t;
typedef unsigned short       uint16_t;
typedef long                 int32_t;
typedef unsigned long        uint32_t;
typedef long long            int64_t;
typedef unsigned long long uint64_t;
```

Unikamy typów zmiennoprzecinkowych (bo są pamięciożerne).
Brak typu **double**.

Zmienne i typy

- Kwantem pamięci mikroprocesora jest bajt. Zatem najmniejszy rozmiar odczytanej (lub zapisanej danej) to 1 bajt (8-bitów).
- Typ bool również zajmuje 1 bajt.
- Gdy mamy dużo zmiennych typu bool warto zebrać je w strukturę.

  Struktury w C mogą zawierać także pola zajmujące mniej niż 1 bajt. Aby zadeklarować takie pole, należy podać po dwukropku liczbę bitów.

```
struct liczba {
              unsigned int flaga_1 :1;
              unsigned int flaga_2 :1;
              unsigned int flaga_dwubitowa :2;
              } x;
```

Bity zapisujemy tak:

```
x.flaga_1 = 1;

x.flaga_2 = 0;

x.flaga_dwubitowa = 3;
```

Typowy program

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include „lcd.h”

#DEFINE CZAS 100

int x;
uint8_t b;

int main(void)
{
        DDRA=0xFF;
        for(;;) {           // wieczna pętla (albo tak: while(1){})
        PORTA^=0xFF;        // migamy
        _delay_ms(CZAS);    // czekamy 100 milisekund
        }
        return 0;           // kod powrotu
}
```

zawsze

Typowy program

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include „lcd.h”

#DEFINE CZAS 100

int x;
uint8_t b;

int main(void)
{
        DDRA=0xFF;
        for(;;) {           // wieczna pętla (albo tak: while(1){})
        PORTA^=0xFF;        // migamy
        _delay_ms(CZAS);    // czekamy 100 milisekund
        }
        return 0;           // kod powrotu
}
```

Ustawiamy rejestry

io.h

```
...
#elif defined (__AVR_ATmega3290__)
#  include <avr/iom3290.h>
#elif defined (__AVR_ATmega3290P__)
#  include <avr/iom3290.h>
#elif defined (__AVR_ATmega32HVB__)
#  include <avr/iom32hvb.h>
#elif defined (__AVR_ATmega406__)
#  include <avr/iom406.h>
#elif defined (__AVR_ATmega16__)
#  include <avr/iom16.h>
#elif defined (__AVR_ATmega16A__)
#  include <avr/iom16a.h>
#elif defined (__AVR_ATmega161__)
#  include <avr/iom161.h>
#elif defined (__AVR_ATmega162__)
#  include <avr/iom162.h>
#elif defined (__AVR_ATmega163__)
#  include <avr/iom163.h>
#elif defined (__AVR_ATmega164P__)
...
```

iom16.h

```
/* PORTA */
#define PORTA         _SFR_IO8(0x1B)
#define    PA7        7
#define    PA6        6
...
#define    PA0        0

/* DDRA */
#define    DDRA          _SFR_IO8(0x1A)
#define    DDA7          7
#define    DDA6          6
...
#define    DDA0          0

/* PINA */
#define PINA             _SFR_IO8(0x19)
#define    PINA7         7
#define    PINA6         6
...
#define    PINA0         0

/* UCSR1A */
#define    RXC1          7
#define    TXC1          6
#define    UDRE1         5
#define    FE1           4
#define    DOR1          3
#define    UPE1          2
#define    U2X1          1
#define    MPCM1         0
```

Port A Data Register – PORTA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	PORTA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Port A Data Direction Register – DDRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	DDRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Port A Input Pins Address – PINA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	PINA
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

```
// ustawiamy wszystkie piny portu A jako wyjściowe
DDRA = 0xFF;
DDRA = 0b11111111;
```

```
// inny przykład: Sterujmy diodą za pomocą pinu 5
portu A, a badajmy stan przycisku za pomocą pinu 7

DDRA = 0b0x1xxxxx;
```

Za miesiąc pin nr 5 przyda nam się do czegoś innego. Jak poprawić kod?

Operacje bitowe

Operacje bitowe ułatwiają modyfikacje pojedynczych bitów w słowie dzięki maskowaniu i przesunięciom.

- Zaprzeczenie NOT: ~
- Iloczyn AND: &
- Suma OR: |
- Suma wyłaczająca XOR: ^
- Przesunięcie w prawo: >>
- Przesunięcie w lewo: <<

Operator AND

```
char x = 1011 1100;
char y = 1110 1111;
char z;

z = x & y;
```

Chcemy zmienić bit nr 4 na 0.

Wykorzystamy y jako maskę.

```
     1011 1100
AND  1110 1111
-----------------
     1010 1100
```

Maska i operator & zmieniają stan bitu na 0

Operator OR

```
char x = 1000 0101;
char y = 0001 0000;
char z;

z = x | y;
```

Chcemy ustawić bit nr 4 na 1.

Używamy y jako maski

```
  1000 0101
OR 0001 0000
-----------
  1001 0101
```

Maska i operator | zmieniają stan bitu na 1.

Operator SHIFT

```
char x = 0000 0001;
char y = 5;
char z;

z = x << 5;
```

00000001

001**00000**

Operator << przesuwa x o y miejsc w lewo.

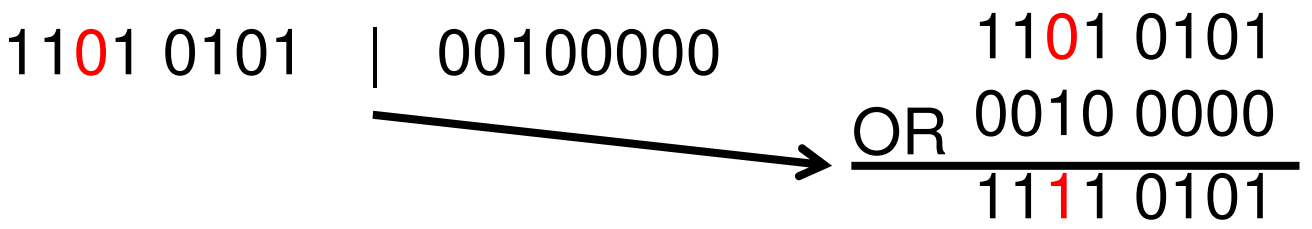
Operator >> przesuwa x o y miejsc w prawo.

Operator OR i SHIFT

```
char wynik = 1101 0101;
```
Chcemy zmienić 5 bit na 1

```
char maska = 0000 0001;
char przesuniecie = 5;
```

```
wynik = wynik | (maska << przesuniecie);
```



Przesunięcie jedynki (albo jedynek) maski na właściwą pozycję i wykonanie operacji OR ustawia odpowiednie bity na 1.

```
wynik |= (maska << przesuniecie);
```

Operator AND i SHIFT

```
char wynik = 1011 0101;
char maska = 0000 0001;
char przesuniecie = 5;
```

Chcemy zmienić bit nr 5 na 0.

```
wynik = wynik & ~(maska << przesuniecie);
```

1011 0101 & ~ 00100000

1011 0101 & 11011111 →

1011 0101
AND 1101 1111
1001 0101

Przesunięcie zer w masce na odpowiednie miejsce
i wykonanie operacji AND ustawia odpowiednie bity na 0.

```
wynik &= ~(maska << przesuniecie);
```

Operator XOR

Chcemy odwrócić stan czterech najstarszych bitów w bajcie nie modyfikując pozostałych bitów.

```
wynik = wynik ^ maska;
```

```
wynik = 0b10101010;
maska = 0b11110000;
----------------------
  XOR = 0b01011010;
```

```
wynik ^= maska;
```

Parę przykładów

```
% ustawiamy wszystkie bity na 1
DDRC = 0xFF;

% ustawiamy bit 7, 6 i 1 portu A jako wyjściowe, a pozostałe jako wejściowe
DDRA = (1<<7) | (1<<6) | (1<<1);
albo
DDRA = (1<<PA7) | (1<<PA6) | (1<<PA1);

% ustawiamy bit 7 i 0 portu A, nie modyfikujemy innych
PORTA |= ((1<<PA7) | (1<<PA0));
albo
PORTA |= ((1<<7) | (1<<0));

% odczytujemy 4 najbardziej znaczące bity portu A
data = ( PINA & 0xF0 ) >> 4;
albo
data = ( PINA & ((1<<PA7)|(1<<PA6)|(1<<PA5)|(1<<PA4)) ) >> 4;

% odwracamy stan bitu nr 3
PORTA ^= 0x08;
albo
PORTA ^= (1<<PA3);

% sprawdzamy czy bit 6 jest ustawiony / wyzerowany
if (PINA & (1<<PA6))
if (!(PINA & (1<<PA6)))
```

```
% zadanie domowe
x = 0b00000011;
x = (x<<1 | x>>3);
```

Parę uwag

```
#define BIT(x) (1<<(x))
. . .
PORTA |= BIT(4);
```

Większość rejestrów ustawiamy tak:

```
TCCRO = (1<<FOC0) | (1<<WGM00) | (1<<CS00);
```

Jednak niektóre logiczniej jest ustawiać poprzez liczbę, np.:

Output Compare Register – OCR0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCR0[7:0]								OCR0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

The Output Compare Register contains an 8-bit value that is continuously compared with the counter value (TCNT0). A match can be used to generate an output compare interrupt, or to generate a waveform output on the OC0 pin.

```
OCR0 = 0x53;
```

Parę uwag

Używając predefiniowanych w bibliotece io.h nazw sprawiamy, że kod jest niemal natychmiast kompatybilny z innymi mikrokontrolerami AVR.

```
// kod dla mega48
void spi_init(void){
  DDRB |= (1 << PB2) | (1 << PB3) | (1 << PB5); //Turn on SS, MOSI, SCLK
  SPCR=(1<<SPE) | (1<<MSTR); //enbl SPI, MSB 1st, init clk as low
  SPSR=(1<<SPI2X);           //SPI at 2x speed (0.5 MHz)
}//spi_init
```

```
// kod dla mega128
void spi_init(void){
  DDRB |= (1<<PB2) | (1<<PB1) | (1<<PB0); //Turn on SS, MOSI, SCLK
  SPCR=(1<<SPE) | (1<<MSTR); //enbl SPI, clk low init, rising edge sample
  SPSR=(1<<SPI2X);                        //SPI at 2x speed (8 MHz)
}//spi_init
```

Widoczność zmiennych w oddzielnych plikach

File1.c

```
// zmienna globalna
int count = 0;
```

Zmienna “count” jest widoczna we wszystkich plikach w projekcie.

File2.c

```
extern int count;
int x = count;
```

Tak należy użyć zmiennej globalnej “count” zadeklarowanej w pliku file1.c.
Deklarację “extern” umieszcza się zwykle w pliku nagłówkowym *.h.

Widoczność zmiennych w oddzielnych plikach

File1.c

```
// zmienna globalna
int count = 0;
```

Teraz chcemy użyć nazwy „count” w wielu plikach, w każdym jako niezależna zmienna.

File2.c

```
// inna zmienna
// o tej samej nazwie
int count = 100;
```

Kompilator zaprotestuje.

Widoczność zmiennych w oddzielnych plikach

File1.c

```
// zmienna globalna
static int count = 0;
```

Poza funkcjami, specyfikator “static” ogranicza widoczność zmiennej “count” do tego pliku.

File2.c

```
// inna zmienna
// o tej samej nazwie
static int count = 100;
```

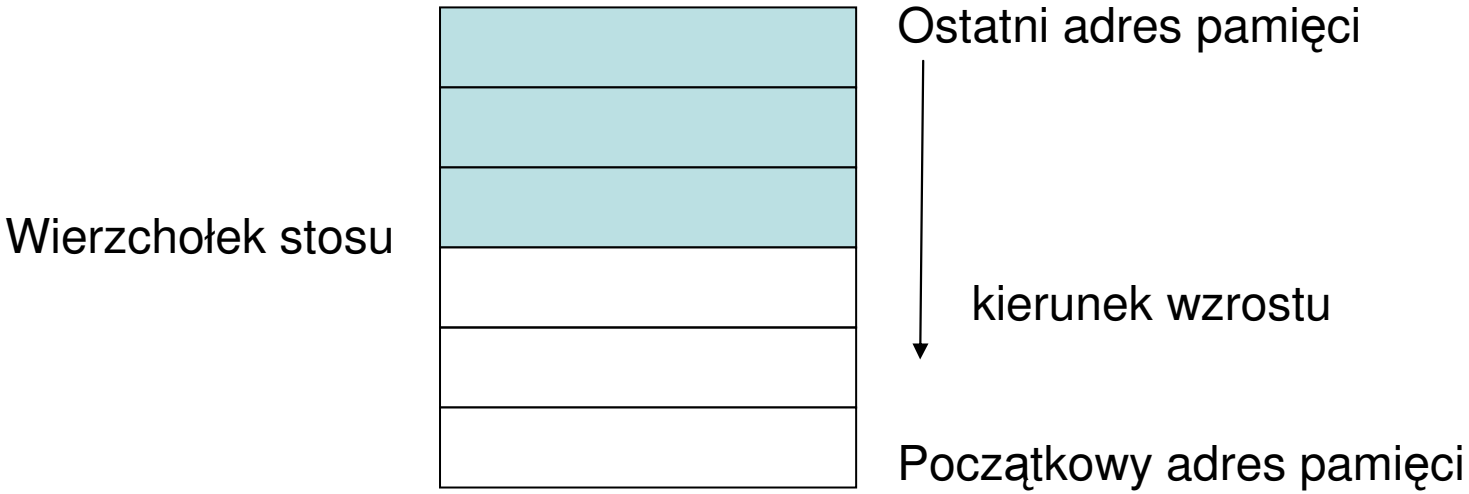
Powyższa zmienna „count” widoczna tylko pliku File2.c.

Specyfikator static **wewnątrz funkcji** sprawia, że zmienna jest umieszczana w tej samej pamięci, co zmienna globalna i nie jest usuwana wraz z zakończeniem funkcji.

```
int licznik()
  {
  static int a;
  a++;
  return a;
  }
```

Funkcje i stos

Podstawowym zastosowaniem stosu jest zapamiętywanie adresów powrotu podczas wywoływania procedur. Stos wykorzystywany jest też jako rodzaj podręcznej pamięci do chwilowego przechowywania danych.



Na stosie mogą się znaleźć

- Adresy powrotu z funkcji
- Wartości zwracane przez funkcję
- Zmienne lokalne
- Zapisane wartości rejestrów

Przykład

```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	
999	
998	
997	
996	
995	
994	
993	

Przykład

```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	x
999	y
998	z
997	
996	
995	
994	
993	

Przykład

```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	x
999	y
998	z
997	iL
996	iH
995	
994	
993	

Przykład

```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	x
999	y
998	z
997	iL
996	iH
995	adres
994	linii 9
993	

Przykład

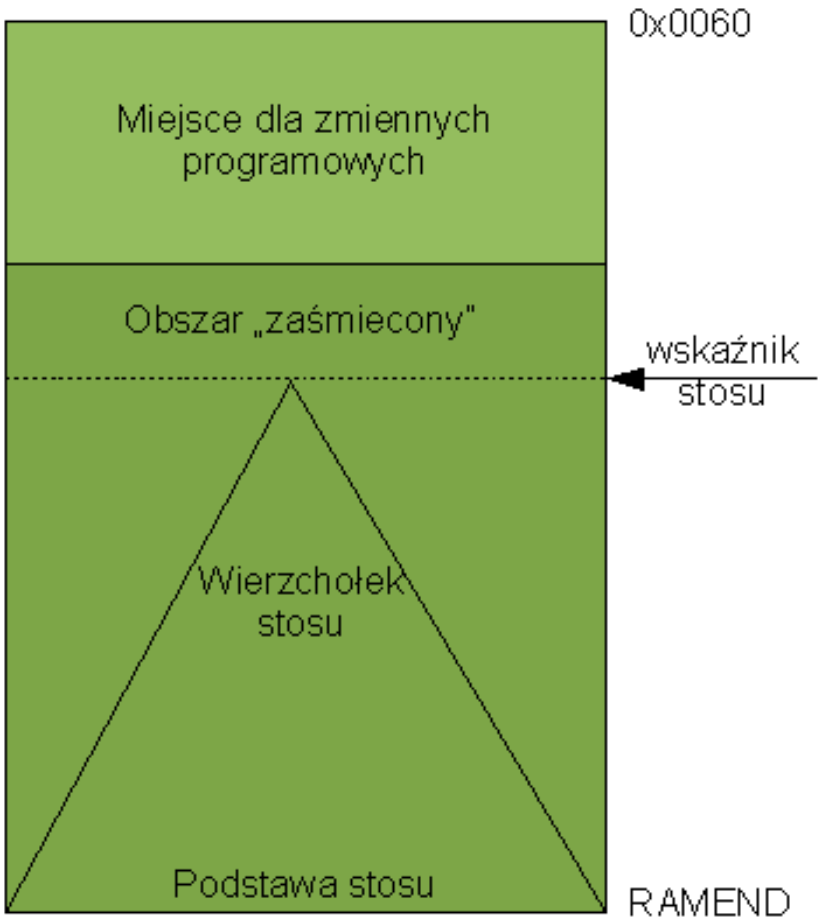
```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	x
999	y
998	z
997	iL
996	iH
995	adres
994	linii 9
993	c

Przykład

```
void doNothing() {
    char c;
}
int main() {
    char x, y, z;
    int i;
    for (i = 0; i < 10; i++) {
        doNothing();
    }
    return 0;
}
```

1000	x
999	y
998	z
997	iL
996	iH
995	
994	
993	



Stos może zniszczyć zmienne w pamięci RAM.

Tłuste parametry przekazywać do funkcji przez adres lub wskaźnik.

Zrezygnować z funkcji rekurencyjnych.

Zostawić przynajmniej 20% wolnej pamięci RAM na potrzeby STOSU.

Zadeklarowałem globalnie int a[400] ⟶

```
Size after:AVR Memory Usage
----------------
Device: atmega16

Program:     218 bytes (1.3% Full)
(.text + .data + .bootloader)

Data:        930 bytes (90.8% Full)
(.data + .bss + .noinit)
```

Pamięć FLASH

W pamięci FLASH wraz programem wykonywalnym przechowywane są wartości początkowe zmiennych, które takową posiadają.

Poszczególnych komórek pamięci Flash nie możemy modyfikować w czasie działania (stałe napisy, większe tablice ze stałą wartością)

```
#include <avr/pgmspace.h>
const uint8_t tablica[3] PROGMEM = {48,25,150};
char lancuch[] PROGMEM = „Witaj”;
```

Przedrostek **"const"** nie jest wymagany, jednak jego obecność daje kompilatorowi wiadomość, że dana zmienna nie może być modyfikowana i w przypadku takiej próby wystąpi błąd kompilacji.

Pamięć FLASH

By móc odczytać stałą zapisaną w pamięci korzystamy z jednej z poniższych funkcji:

`pgm_read_byte(address);` - funkcja zwraca wartość stałej 8-bitowej
`pgm_read_word(address);` - funkcja zwraca wartość stałej 16-bitowej
`pgm_read_dword(address);` - funkcja zwraca wartość stałej 32-bitowej
`pgm_read_float(address);` - funkcja zwraca wartość stałej typu float.

A więc, jeżeli chcieli byśmy wczytać liczbę z naszej tablicy do zmiennej to napisalibyśmy:

```
uint8_t liczba = pgm_read_byte(&tablica[2]);
```

jeżeli zaś mamy do wczytania element łańcuchu możemy wczytać go podobnie jak wyżej:

```
char literka = pgm_read_byte(&lancuch[1]);
```

Pamięć EEPROM

Do EEPROM-u odnosimy się poprzez funkcje zadeklarowane w bibliotece **avr/eeprom.h**.

W przeciwieństwie do pamięci Flash zmienne zapisane w EEPROM-ie mogą być odczytywane jak i zapisywane.

EEPROM to pamięć typu nieulotnego.

Ograniczona liczba cykli zapisu (w przypadku tych wbudowanych w mikrokontrolery AVR producent gwarantuje 100 tysięcy poprawnie przeprowadzonych zapisów).

Pamięć tego typu stosujemy głównie do zapisania parametrów nastaw urządzenia, lub np. rzadko aktualizowanych, lub przeznaczonych przede wszystkim na odczyt zmiennych.

Mikrokontrolery AVR ATMEGA16 mają wbudowaną pamięć EEPROM o rozmiarze 512 bajtów.

Pamięć EEPROM

Zmienne deklarujemy tak:

```
uint8_t zmienna EEMEM = 128;
```

By skorzystać z pamięci EEPROM używamy funkcji:

`eeprom_write_byte ( *adr, val)` - zapisuje wartość val pod adres adr.
`eeprom_read_byte ( *adr )` - czyta zawartość pamięci pod adresem adr.
`eeprom_read_word ( *adr )` - czyta 16 bitową zawartość pamięci pod adresem adr.
`eeprom_read_block ( *buf, *adr, n)` - czyta n bajtów od adresu adr
i zapisuje do pamięci SRAM w miejscu wskazywanym przez argument *buf.

A więc odczyt pamięci EEPROM wyglądał by np. tak:

```
uint8_t wartosc = eeprom_read_byte(&zmienna);
```

a zapis:

```
eeprom_write_byte(&zmienna, wartosc);
```

Przerwania

W odpowiedzi na określ sygnał mikrokontroler zawiesza chwilowo wykonywanie programu głównego i wykonuje **procedurę obsługi przerwania**. Po zakończeniu tej procedury mikrokontroler wraca do wykonywania programu głównego, począwszy od miejsca, w którym zostało ono zawieszone.

```
ISR (nazwa_przerwania)
  {
  // ciało procedury obsługi przerwania
  }
```

iom16.h

```
/* Interrupt vectors */
/* Vector 0 is the reset vector. */

/* External Interrupt Request 0 */
#define INT0_vect                   _VECTOR(1)

/* External Interrupt Request 1 */
#define INT1_vect                   _VECTOR(2)

/* Timer/Counter1 Compare Match B */
#define TIMER1_COMPB_vect           _VECTOR(7)

/* ADC Conversion Complete */
#define ADC_vect                    _VECTOR(14)

/* 2-wire Serial Interface */
#define TWI_vect                    _VECTOR(17)
```

Specyfikator volatile

Zawsze, gdy chcemy, by kompilator nie optymalizował dostępu do takiej zmiennej.

Optymalizacja polega na tym, że po wejściu do funkcji kompilator zapamiętuje sobie zawartość komórki tej pamięci w wolnym rejestrze mikrokontrolera. Potem operuje tylko na tym rejestrze, aż do wyjścia z funkcji. Potem aktualizacja komórki pamięci.

Pożyteczne, bo szybsze.

Ale co, jeśli przerwanie ma za zadanie wykonać operację na tej samej zmiennej?

```
volatile uint8_t przycisk;

ISR (TIMER3_COMPA_vect)
        {
        przycisk = …;
        }
main()
        {
        while (!przycisk) {}
        … // dalszy kod
        }
```

Pamiętajmy, że rejestry są 8-bitowe. Wykorzystując zmienną dwubajtową w głównym kodzie i w przerwaniu musimy się zabezpieczyć.

```
//...
volatile uint16_t licznik16bit;
//...

ISR(...)
{
  licznik16bit++;
}

int main(void)
{
  uint16_t tmp;

  tmp = licznik16bit;  // źle. Przerwanie może nastąpić
                       // między przepisaniem niższego
                       // i wyższego bajtu

  cli(); // Wyłączamy przerwania
  tmp = licznik16bit;
  sei(); // Włączamy przerwaniah
```

Zmiana danego rejestru w głównym programie i w procedurze przerwania

```
#include <avr/io.h>
int main(void)
{
//...
PORTA |= (1<<PA0);
PORTA |= (1<<PA2)|(1<<PA3)|(1<<PA4);
//...
}
```

```
        PORTA |= (1<<PA0);
d2: d8 9a     sbi 0x1b, 0

        PORTA |= (1<<PA2)|(1<<PA3)|(1<<PA4);
d4: 8b b3     in r24, 0x1b
d6: 8c 61     ori r24, 0x1C
d8: 8b bb     out 0x1b, r24
...
```

Ustaw bit 0 komórki o adresie 0x1b (PORTA)

Wczytaj do rejestru 24 wartość komórki o adresie 1b

Tu przerwanie zeruje bit 0 portu A

Dodaj logicznie do r24 0b00011100

Przepisz do portu A wartość rejestru

W rezultacie nie ma śladu po przerwaniu…

Zawsze tak pisz kod programu, jak gdyby gość, który z niego korzysta w pracy, był agresywnym psychopatą wiedzącym, gdzie mieszkasz.

Damian Conway