Politechnika Poznańska

Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej

Zakład Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

OBSŁUGA CYFROWYCH WEJŚĆ I WYJŚĆ MIKROKONTROLERA

Z WYKORZYSTANIEM OPERACJI BITOWYCH I LOGICZNYCH

Programowanie Mikroprocesorów

Materiały do zajęć laboratoryjnych

dr inż. Dominik Łuczak

Dominik.Luczak@put.poznan.pl

I. CEL

WIEDZY

Celem zajęć jest zapoznanie z:

- budową i działaniem cyfrowych wejść i wyjść mikrokontrolera,
- operatorami bitowymi dostępnymi w języku C,
- operatorami logicznymi dostępnymi w języku C,
- systemem obsługi przerwań mikrokontrolera.

UMIEJĘTNOŚCI

Celem zajęć jest nabycie umiejętności programistycznych pozwalających na programową obsługę cyfrowych wejść i wyjść mikrokontrolera:

- konfiguracja pojedynczej linii mikrokontrolera jako wejście lub wyjście cyfrowe,
- zmiana wartości binarnej pojedynczego wyjścia cyfrowego mikrokontrolera,
- odczyt wartości binarnej pojedynczego wejścia cyfrowego mikrokontrolera,
- wykorzystaniem makroinstrukcji do wykonania zapisu lub odczytu pojedynczej wartości binarnej,
- prosty program wykorzystujący jedno wejście i jedno wyjście cyfrowe,
- złożony program wykorzystujący wiele wejść i wiele wyjść cyfrowych,
- wykorzystanie przerwania od zdarzenia zewnętrznego na wejściu cyfrowym.

KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

Celem zajęć jest kształtowanie właściwych postaw programistycznych:

- tworzenie kodu programu w sposób czytelny,
- stosowanie dyrektyw preprocesora oraz makroinstrukcji,
- prawidłowa obsługa programowa przerwań mikrokontrolera,
- stosowanie stosownych komentarzy,
- weryfikacja poprawności działania programu.

II. POLECENIA KOŃCOWE

Dokończ zadania nie zrealizowane w trakcie zajęć. Przygotuj raport z przeprowadzonych zajęć. Jeden raport może być przygotowany przez maksymalnie 2 osoby. W projekcie zamieść:

1. Opis rozwiązania problemu oraz jego implementację.
2. Rysunki lub fotografie ilustrujące poprawne działanie programu.
3. Opis działania własnych programów. Udokumentuj przeprowadzenie testów funkcjonalnych z wykorzystaniem symulatora.
4. Ważne instrukcje programu należy zaopatrzyć stosownym komentarzem. Wszystkie przygotowane funkcje oraz zmienne globalne należy zaopatrzyć komentarzem zgodnym z składnią generatora dokumentacji (*Doxygen*).

Jako załącznik dołącz spakowane kody programów. Dla każdego zadania przygotuj osobny projekt. Raport należy przygotować i przekazać do kolejnego spotkania. Raporty przekazywane później nie będą oceniane.

Na ocenę raportu będą miały wpływ następujące elementy (łącznie 5 punktów):

1. spełnienie wymogów redakcyjnych (1p),

2. wykonanie, udokumentowanie oraz opis wykonanych zadań (2p),
3. zastosowanie prawidłowego warsztatu programistycznego (2p).

III. PRZYGOTOWANIE DO ZAJĘĆ

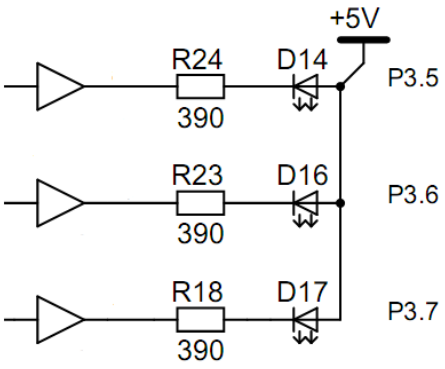
a) ZAPOZNANIE Z PRZEPISAMI BHP

Wszystkie informacje dotyczące instrukcji BHP laboratorium są zamieszczone w sali laboratoryjnej oraz u prowadzącego zajęcia. Wszystkie nieścisłości należy wyjaśnić z prowadzącym laboratorium. Wymagane jest zaznajomienie i zastosowanie do regulaminu.

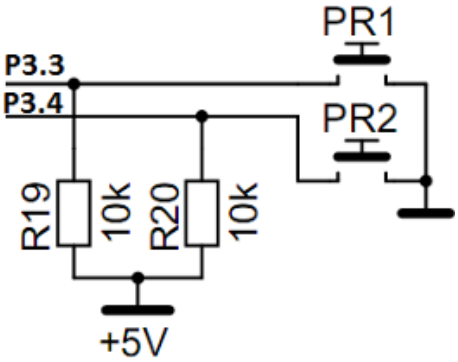
Na zajęcia należy przyjść przygotowanym zgodnie z tematem zajęć. Obowiązuje również materiał ze wszystkich odbytych zajęć.

b) PRZYDATNE SCHEMATY ELEKTRYCZNE

Rys. 1 oraz Rys. 2 przedstawiają fragment schematu elektrycznego zestawu edukacyjnego z mikrokontrolerem ADuC831.



Rys. 1 Schemat połączeń diod



Rys. 2 Podłączenie przycisków monostabilnych do uP

c) WYBRANE REJESTRY MIKROKONTROLERA ADUC831 [1, 2]

Tab. 1 PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Mnemonic	Type	Function
P1.0–P1.7	I	Port 1 is an 8-bit input port only. Unlike other ports, Port 1 defaults to Analog Input mode, to configure any of these Port Pins as a digital input, write a "0" to the port bit. Port 1 pins are multifunction and share the following functionality.
P3.0–P3.7	I/O	Port 3 is a bidirectional port with internal pull-up resistors. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-up resistors, and in that state they can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins being pulled externally low will source current because of the internal pull-up resistors. Port 3 pins also contain various secondary functions which are described below.
P2.0–P2.7 (A8–A15) (A16–A23)	I/O	Port 2 is a bidirectional port with internal pull-up resistors. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-up resistors, and in that state they can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins being pulled externally low will source current because of the internal pull-up resistors. Port 2 emits the high order address bytes during fetches from external program memory and middle and high order address bytes during accesses to the external 24-bit external data memory space.
P0.7–P0.0 (A0–A7)	I/O	Port 0 is an 8-bit Open Drain Bidirectional I/O port. Port 0 pins that have 1s written to them float, and in that state can be used as high impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low order address and data bus during accesses to external program or data memory. In this application it uses strong internal pull-ups when emitting 1s.

d) OPERATORY BITOWE W JĘZYKU C

Język C wyposażony jest w operatory bitowe. Symbole oraz ich nazwy przedstawia Tab. 2.

Tab. 2 Operacje na bitach

Symbol	Nazwa
~	Bitowa negacja
|	Bitowa alternatywa (OR)
&	Bitowa koniunkcja (AND)
^	Bitowa różnica symetryczna (XOR)
>>	Bitowe przesunięcie w prawo
<<	Bitowe przesunięcie w lewo

Przypomnienie: Bit może przyjąć jedną z dwóch wartości: 0 lub 1. Gdy ma on wartość 1 mówimy, że jest ustawiony. Należy również pamiętać, że operacje bitowe dotyczą działań na pojedynczych bitach!

- **Bitowa negacja (~)**

Operator bitowej negacji ~ jest jednoargumentowa i zmienia wartość bitów według zasad umieszczonych w Tab. 3.

Tab. 3 Bitowa negacja

a	~a
0	1

1	0

Za przykład weźmy liczbę $\mathbf{25_{10}}$ zapisaną w systemie binarnym:

$$\mathbf{25_{10}=0x19_{16}=00011001_2}$$

Zapisana została ona na ośmiu bitach. Po wykorzystaniu operatora ~ otrzymano:

$$\mathbf{\sim(25)_{10}=\sim(00011001)_2=11100110_2}$$

Zera z liczby $\mathbf{25_{10}}$ zostały zastąpione jedynkami i na odwrót.

- **Bitowa alternatywa (|)**

Jest to operacja dwuargumentowa, która działa zgodnie z zasadami zawartymi w Tab. 4

Tab. 4 Bitowa alternatywa

a	b	a|b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Elementem neutralnym alternatywy jest 0. Przykład liczba $\mathbf{25}_{10}$ oraz $\mathbf{6}_{10}$, zapisane w systemie binarnym:

$$25_{10}=0x19_{16}=00011001_2$$

$$6_{10}=0x06_{16}=00000110_2$$

Po zastosowaniu operatora **|** otrzymujemy:

$$(00011001)_2 \mid (00000110)_2=00011111_2$$

stosując inny zapis:

$$\begin{array}{rr} & 00011001_2 \\ \mid & 00000110_2 \\ \hline & 00011111_2 \end{array}$$

- **Bitowa koniunkcja (&)**

Jest to operacja dwuargumentowa, która działa zgodnie z zasadami zawartymi w Tab. 5.

Tab. 5 Bitowa koniunkcja

a	b	a&b
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Przykład $\mathbf{19}_{10}$ oraz $\mathbf{85}_{10}$, zapisane w systemie binarnym:

$$19_{10}=0x13_{16}=00010011_2$$

$$85_{10}=0x55_{16}=01010101_2$$

Po wykorzystaniu operatora **&** otrzymujemy:

$$(00010011)_2 \ \& \ (01010101)_2 = 00010001_2$$

stosując inny zapis:

$$\begin{array}{rr} & 00010011_2 \\ \& & 01010101_2 \\ \hline & 00010001_2 \end{array}$$

- **Bitowa różnica symetryczna/alternatywa wykluczająca (^)**

Jest to operacja dwuargumentowa, która działa zgodnie z zasadami zawartymi w Tab. 6.

Tab. 6 Bitowa różnica symetryczna

a	b	a^b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Przykład $\mathbf{45}_{10}$ oraz $\mathbf{25}_{10}$, zapisane w systemie binarnym:

$$45_{10} = 0x2D_{16} = 00101101_2$$

$$25_{10} = 0x19_{16} = 00011001_2$$

Po wykorzystaniu operatora ^ otrzymujemy:

$$(00101101)_2 \ \hat{} \ (00011001)_2 = 00110100_2$$

stosując inny zapis:

$$\begin{array}{rr} & 00101101_2 \\ \hat{} & 00011001_2 \\ \hline & 00110100_2 \end{array}$$

- **Bitowe przesunięcie w prawo (>>)**

Jest to operacja dwuargumentowa, którą jest zapisywana w następujący sposób:

$$a >> b$$

Powyższy zapis jest interpretowany następująco: *przesuń liczbę **a** o **b** bitów w prawo*. Operacja odpowiada podzieleniu liczby **a** przez 2^b, gdzie wykładnik potęgi **b** oznacza liczbę przesunięć. Należy zapamiętać, że na najstarszą pozycję dopisywany jest bit/bity o wartości zero, natomiast najmłodszy bit/bity są tracone. Przykładowo liczba $\mathbf{48}_{10}$ przesunięta o 2 bity w prawo:

$$a = 48_{10} = 0x30_{16} = 00110000_2$$

$$(a>>2) = (00110000_2 >> 2) = 00001100_2 = 12_{10}$$

Zgodnie z definicją przesunięcia bitowego w prawo, po przesunięciu liczby $\mathbf{48}_{10}$ o 2 bity w prawo otrzymano liczbę $\frac{48}{2^2} = \frac{48}{4} = 12$. Na niebiesko zaznaczone zostały bity dopisywane na najstarszych pozycjach.

- **Bitowe przesunięcie w lewo (<<)**

Jest to operacja dwuargumentowa, którą jest zapisywana w następujący sposób:

a << b

Powyższy zapis jest interpretowany następująco: *przesuń liczbę **a** o **b** bitów w lewo*. Operacja odpowiada pomnożeniu liczby **a** przez 2^{b}, gdzie wykładnik potęgi **b** oznacza liczbę przesunięć. Należy zapamiętać, że na najmłodszą pozycję dopisywany jest bit/bity o wartości zero, natomiast najstarszy bit/bity są tracone. Przykład liczba $\mathbf{48}_{10}$ jest przesunięta o 2 bity w lewo:

$$a=48_{10}=0x30_{16}=00110000_2$$

$$a<<2 = (00110000_2 << 2) = 11000000_2 = 192_{10}$$

Zgodnie z definicją przesunięcia bitowego w lewo, po przesunięciu liczby 48_{10} o 2 bity w lewo otrzymano liczbę $48 \cdot 2^2 = 48 \cdot 4 = 192$. Na niebiesko zaznaczone zostały bity dopisywane na najmłodsze pozycje.

e) OPERATORY LOGICZNE W JĘZYKU C

Język C wyposażony jest w operatory logiczne, których symbole oraz nazwy przedstawia Tab. 7.

Tab. 7 Operacje logiczne

Symbol	Nazwa	Przykład	Zapis matematyczny
!	Logiczna negacja	!a	¬a lub $\bar{a}$
||	Logiczna alternatywa (OR)	a || b	a | b lub a ∨ b
&&	Logiczna koniunkcja (AND)	a && b	a & b lub a ∧ b

Operatory logiczne mają na celu tworzenie złożonych wyrażeń logicznych.

f) WSTĘP DO PRZERWAŃ

Przerwanie (ang. *interrupt*) – jest to sygnał powodujący wstrzymanie dotychczasowego programu i wykonanie odpowiedniej procedury obsługujące przerwanie. W programie należy udzielić zgody na przerwanie. Wyszczególniamy dwa poziomy pozwoleń. Zgoda globalna zezwalająca lub blokująca ogólną obsługę przerwań. Zgoda lokalna zezwalająca na obsługę przerwania od wybranego zdarzenia. Przykładowo

```
EX1=1;      zgoda na przerwania od INT1
EA=1;       zgoda globalna na przerwania
```

Wzorzec definicji funkcji obsługującej przerwanie umieszczamy przed main():

```
void NAZWA_FUNKCJI (void) interrupt NUMER_PRZERWANIA
{
// Miejsce na kod
}
```

Obsługa przerwania od danego zdarzenia wymaga znajomości jego numeru przerwania Tab. 8 [1, 2].

Tab. 8 Numery przerwań

Źródło	Adresy	Numer przerwania
IE0	0003H	0

TF0	000BH	1
IE1	0013H	2
TF1	001BH	3
RI + TI	0023H	4
TF2+EXF2	002BH	5
ADCI	0033H	6
I2CI+ISPI	003BH	7
PSMI	0043H	8
TII	0053H	10
WDS	005BH	11

Istotnym zagadnieniem jest priorytet wykonywania przerwań, gdy te występują jednocześnie. Dokładna tabela priorytetów znajduje się w dokumentacji ADUC831 [1].

g) SZKIELET PROGRAMU

W trakcie zajęć należy korzystać z poniższego szablonu programu:

```
#include<aduc831.h>    //zawiera definicje rejestrów mikrokontrolera ADuC831
//Miejsce na makroinstrukcje i definicje
//Miejsce na zmienne globalne

int main(void)
{
//Miejsce na zmienne lokalne
//Miejsce na inicjalizację
while(1)   //Pętla nieskończona
          {
           //Miejsce na kod programu głównego
          }
return 0;
}
```

LITERATURA

1. ADUC831 datasheet and product info | Precision Analog Microcontroller: 1.3MIPS 8052 MCU + 62kB Flash + 8-Ch 12-Bit ADC + Dual 12-Bit DAC | Analog Microcontrollers | Analog Devices [online]. [udostępniono 19.11.2014]. Pobrano: http://www.analog.com/en/processors-dsp/analog-microcontrollers/aduc831/products/product.html.
2. *ADuC831 MicroConverter, 12-Bit ADCs and DACs with Embedded 62 kBytes Flash MCU Data Sheet, (Rev. 0) - ADUC831.pdf* [online]. s.l.: s.n. [udostępniono 19.11.2014]. Pobrano: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUC831.pdf.

IV. SCENARIUSZ DO ZAJĘĆ

a) ŚRODKI DYDAKTYCZNE

Sprzętowe:
- komputer,
- zestaw edukacyjny z mikrokontrolerem ADuC831.

Programowe:
- zintegrowane środowisko programistyczne języka C dla mikrokontrolerów (Keil uVision).

b) PRZEBIEG ZAJĘĆ

1. Zapoznaj się z informacjami dotyczącymi portów P0, P1, P2, P3.
   a. Zwróć uwagę na typ portu. Który z portów można skonfigurować jako wejścia lub wyjścia cyfrowe?
   b. Sprawdzić kiedy dany bit port jest ustawiony jako wejście lub wyjście cyfrowe.
2. Programowa obsługa pojedynczego wejścia i wyjścia mikrokontrolera w symulatorze.
   a. Zmieniaj cyklicznie w pętli głównej wartość pojedynczego wyjścia cyfrowego mikrokontrolera np. P0.0. Wykorzystaj operator binarny XOR. Sprawdź działanie programu w symulatorze w trybie krokowym.
   b. Skonfiguruj pojedynczą linę mikrokontrolera jako wejście cyfrowe np. P0.0. Napisz program, który ustawia wartość zmiennej globalnej *char a* w zależności od stanu wejścia cyfrowego np. a=100 gdy P0.0=1 oraz a=50 gdy P0.0=0. Wykorzystaj operatory binarne. Sprawdź działanie programu w symulatorze.
   c. Przygotuj cztery makrodefinicje: BitUstaw(bajt, nr_bitu), BitKasuj(bajt, nr_bitu), BitSprawdz(bajt, nr_bitu) oraz BitZmien(bajt, nr_bitu). Odpowiadające odpowiednio za: ustawienie wybranego bitu w bajcie, skanowanie wybranego bitu w bajcie, sprawdzenie wybranego bitu w bajcie oraz zmieniające wartość wybranego bitu na przeciwną. Wykorzystaj operatory binarne. Sprawdź działanie programu w symulatorze.
3. Programowa obsługa pojedynczego wejścia i wyjścia mikrokontrolera zestawu edukacyjnego.
   a. Stan dowolnej diody z Rys. 1 ma odpowiadać stanowi przycisku PR1. Jeśli przycisk jest wciśnięty to dioda jest zapalona, w innym przypadku dioda jest wyłączona. Wykorzystaj napisane makrodefinicje. Sprawdź działanie programu w symulatorze.
   b. Zmodyfikuj program dodając makrodefinicje pozwalające na sprawdzenie stanu przycisku oraz zapalenie/zgaszenie wybranej diody. Przykładowe nazwy makrodefinicji dla diody D14 i przycisku PR1 to: PR1Sprawdz, D14Zalacz, D14Wylacz. Wykorzystaj dotychczasowe makrodefinicje w nowo utworzonych, zwróć uwagę na kolejność wykonywanych operacji. Jeśli to konieczne dodaj stosowne nawiasy.
   c. Przygotuj układ do programowania wykonując następujące czynności:
      i. Włącz zasilanie zestawu edukacyjnego z mikrokontrolerem ADuC831.
      ii. Podłącz zestaw do komputera z wykorzystaniem złącza RS232.
      iii. Upewni się, że masz skonfigurowany projekt według zaleceń z poprzednich zajęć.
      iv. Upewni się, że masz skompilowany program.
      v. Mając wciśnięty przycisk RESET wciśnij przycisk PROGRAM, a następnie kolejno zwolnij przycisk RESET (mignie dioda miedzy przyciskami RESET i PROGRAM) oraz PROGRAM.
      vi. Wybierz z menu Flash->Download.
      vii. Przetestuj działanie programu na zestawie edukacyjnym.
      viii. Każda zmiana programu wymaga powtórzenia etapów od III do VII.

4. Złożony program wykorzystujący wiele wejść i wiele wyjść cyfrowych.
    a. Wykonaj zadane operacje logiczne na bitach (np. d=(a ∧ b ∨ c), gdzie a,b,c,... są pojedynczymi bitami portu). Sprawdź działanie programu w symulatorze.
    b. Wykorzystaj diody z Rys. 1 oraz przycisk PR1 oraz PR2. Napisz makroinstrukcje: ustawiające oraz kasujące stan poszczególnych diod, sprawdzające stan poszczególnych przycisków. Zaproponuj dla wszystkich czterech kombinacji stanu przycisków różne sany diod.
5. Obsługa przerwań mikrokontrolera.
    a. Napisz szkielet funkcji obsługującej przerwanie od zdarzenia zewnętrznego – wejście cyfrowe przycisku. Pamiętaj o prawidłowym numerze przerwania.
    b. Ustaw globalną zgodę na przerwania oraz zgodę na przerwanie od wybranego zdarzenia zewnętrznego.
    c. Zmień stan wybranej diody na przeciwny w funkcji obsługującej przerwanie. Sprawdź działanie programu w symulatorze, następnie sprawdź działanie na zestawie edukacyjnym.