Programação de portos de E/S e de alguns periféricos para a placa DETPIC32 usada nas aulas práticas e nos testes práticos de Arquitetura de Computadores II

Portos de Entrada/Saída na placa DETPIC32

- Na placa das aulas práticas temos acesso aos seguintes componentes/periféricos:
  - RB0 a RB3 — [entradas] interruptores
  - RB4/AN4 — [entrada analógica] potenciómetro
  - RB8 a RB14 — [saídas] segmentos dos visores de sete segmentos
  - RC14 – [saída] led
  - RD0 a RD4/OC1 a OC5 — [saídas] sinais PWM (UART1 em OC3/OC4, não usada nos guiões 2021/2022)
  - RD5 e RD6 — [saídas] controlo dos dois visores de sete segmentos
  - RD8 e RD11 — [entradas] INT1 e INT4
  - RD9 e RD10 — I2C (não usado nos guiões 2021/2022)
  - RE0 a RE7 — [saídas] leds
  - RF4 e RF5 — UART2
  - RG6 a RG9 — SPI (não usado nos guiões 2021/2022)

Programação de um porto como entrada ou saída digital

- Como entrada: colocar o bit apropriado do registo TRIS a 1 (por exemplo, RB2)
  - `TRISBbits.RB2 = 1;` ou `TRISB |= 0x0004;`
  - Nome do porto, número do porto, (1<<número do porto)
- Como saída: colocar o bit apropriado do registo TRIS a 0 (por exemplo, RC14)
  - `TRISCbits.RC14 = 0;` ou `TRISC &= 0xBFFF;`
  - Nome do porto, número do porto, ~(1<<número do porto)
- Ler um porto de entrada (por exemplo, RD8)
  - `x = PORTDbits.RD8;` ou `x = (PORTD >> 8) & 1;`
  - Nome do porto, número do porto
- Escrever, por exemplo, um 1 num porto de saída (por exemplo, RB8)
  - `LATBbits.LATB8 = 1;` ou `LATB |= (1 << 8);`
  - Nome do porto, número do porto

Guiões 3 e 4

Conversão Analógico/Digital (configuração)

- Porto AN4 (coincide com RB4)
- Sequência de programação (interrupções opcionais):

```
TRISBbits.TRISB4 = 1;       // configurar RB4 como entrada
AD1PCFGbits.PCFG4= 0;       // configurar AN4 como entrada analógica
AD1CON1bits.SSRC = 7;
AD1CON1bits.CLRASAM = 1;
AD1CON3bits.SAMC = 16;      // tempo de conversão: 16 TAD (1TAD = 100ns)
AD1CON2bits.SMPI = N - 1; // N conversões
AD1CHSbits.CH0SA = 4;       // AN4
AD1CON1bits.ON = 1;         // ativar conversões A/D
IPC6bits.AD1IP = 1;         // prioridade da interrupção A/D (1 a 6)
IFS1bits.AD1IF = 0;         // limpar pedido de interrupção A/D
IEC1bits.AD1IE = 1;         // ativar pedidos de interrupção A/D
EnableInterrupts();         // o MIPS aceita pedidos de interrupção
```

Conversão Analógico/Digital (continuação)

- Para despoletar uma nova sequência de conversões faz-se: **`AD1CON1bits.ASAM = 1;`**
- A rotina de serviço a uma interrupção A/D será da forma:

```
static int val;                                  // média dos últimos N valores lidos
void _int_(27) isr_adc(void)
{
  val = (ADC1BUF0 + ADC1BUF1 + 1) / 2;// Para N=2
  IFS1bits.AD1IF = 0;                            // limpar o pedido de interrupção
}
```

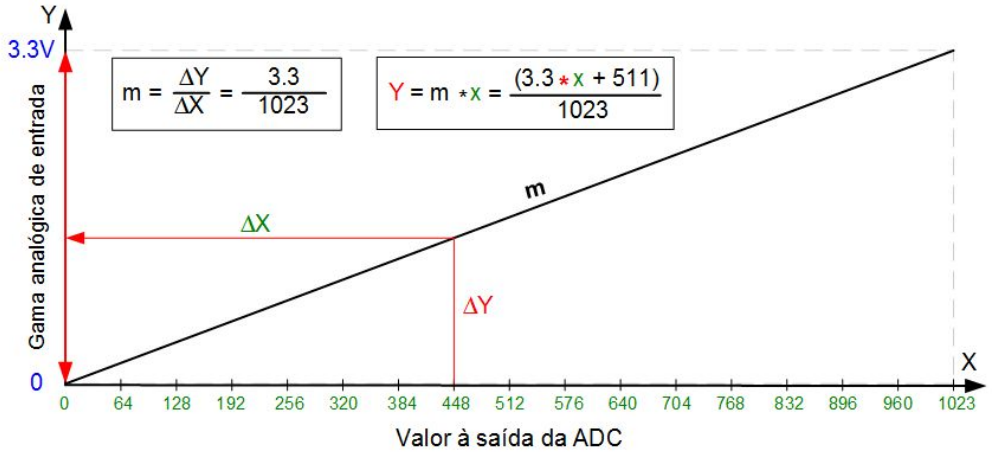
- O 27 é o número do vetor da interrupção. O seu valor numérico deve ser extraído do "PIC32 Family Data Sheet", páginas 74 a 76. No nosso caso, estamos interessados na entrada "AD1 - ADC1 Convert Done" da tabela, coluna "Vector number".
- Nota: é **preciso** ler **`ADC1BUF0`**, **`ADC1BUF1`**, … , até **`ADC1BUF(N-1)`**:

```
int val = N / 2;
for(int i = 0;i < N;i++)
  val += (&ADC1BUF0)[4 * i];
val /= N;    // média arredondada
```

Guiões 6 e 7

Conversão Analógico/Digital (conclusão)

- No nosso PIC32 o conversor A/D tem uma resolução de 10 bits (valores convertidos de 0 a 1023). Para converter esse valor para outra gama de valores (por exemplo 0.0 a 3.3) usa-se uma simples proporção:
  - 0 → 0
  - 1023 → 3.3
  - x → y
- Logo,
  - y = (3.3 * x) / 1023.0
- Como o PIC32 não tem o coprocessador 1 (de vírgula flutuante) devemos fazer as contas apenas com números inteiros, pelo que em vez de 3.3 podemos usar 33 (ou mesmo 330), e teremos algo do género:




```
y = (33 * x + 511) / 1023; // com arredondamento!
y_hi = y / 10;             // unidades
y_lo = y % 10;             // décimas
```

Temporizadores (configuração)

- Frequência pretendida: Fout = PBCLK / PreScaler[tckps] / (PRx+1)
- Temporizador 1: `PreScaler[] = { 1,8,64,256 }`
- Temporizadores 2 a 5: `PreScaler[] = { 1,2,4,8,16,32,64,256 }`
- Sequência de programação (**x é o número do temporizador**, interrupções opcionais):

```
TxCONbits.TON = 0;
TxCONbits.TCKPS = tckps;
PRx = round(PBCLK / (Fout * PreScaler[tckps])) - 1;
TMRx = 0;
IPCxbits.TxIP = 1; // prioridade da interrupção (1 a 6)
IFS0bits.TxIF = 0; // limpar pedido de interrupção do temporizador x
IEC0bits.TxIE = 1; // ativar pedidos de interrupção do temporizador x
TxCONbits.TON = 1;
```

- Nota: em vez de `round(double)`, use

```
int round_div(int a,int b) { return (a + b / 2) / b; }
```

que arredonda a/b sem fazer contas em vírgula flutuante.

Guião 8

Temporizadores (conclusão)

- A rotina de serviço a uma interrupção do temporizador número **x** será da forma:

```
void _int_(VETORx) isr_timer_x(void)
{
  // fazer aqui o que precisa de ser feito
  IFS0bits.TxIF = 0;     // limpar o pedido de interrupção
}
```

- O **VETORx** é o número do vetor da interrupção. O seu valor numérico deve ser extraído do "PIC32 Family Data Sheet", páginas 74 a 76. No nosso caso, estamos interessados na entrada "Tx - Timerx" da tabela, coluna "Vector number".
- Fazer uma acção de 10 em dez interrupções, por exemplo, pode ser feita da seguinte maneira (colocar o código seguinte dentro da rotina de serviço à interrupção):

```
static int counter = 0;
if(++counter == 10)
{
  // fazer aqui o que precisa de ser feito de dez em dez vezes
  counter = 0;
}
```

Guião 8

Geração de um sinal de *Pulse Width Modulation* (PWM)

- No PIC32 existem cinco módulos de "*output compare*", **OC1** a **OC5**. Cada um deles pode ser usado para gerar um sinal de PWM e usa ou o temporizador 2 ou o 3.
- *Duty cycle* = tempo ligado (a 1) num período dividido pelo período, e multiplicado por 100 (para que o resultado seja uma percentagem).
- Num período, o **TMRx** toma os valores 0, 1, …, **PRx**, onde x é ou 2 ou 3.
- O sinal de saída do **OCy**, y=1,...,5, é obtido comparando **TMRx** com **OCyRS**. Se **OCyRS** for menor que **TMRx** a saída **OCy** fica a 1, caso contrário fica a zero.
- Sequência de programação:

Guião 9

```
// configurar o temporizador x (x=2 ou 3) com a frequência pretendida
// use o valor de PRx o maior possível, mas sem ultrapassar os 16 bits
OCyCONbits.OCM = 6;
OCyCONbits.OCTSEL = x - 2;   // 0=temporizador 2, 1=temporizador 3
OCyRS = ((PRx + 1) * duty + 50) / 100; // duty=duty cycle pretendido
OCyCONbits.ON = 1;
```

RS-232 (UART)

- No PIC32 da placa das aulas práticas existem 6 UARTs (*Universal Asynchronous Receiver Transmitters*).
- A **UART 2** está ligada ao cabo USB, via um circuito da FTDI que converte RS-232 para *RS-232 over USB*.
- Especificação das características do sinal RS-232 (o **`com_spec`** do **`pterm`**):
  `baud_rate,parity,data_bits,stop_bits`
  - **`baud_rate`** é o inverso do tempo de duração de um bit
  - **`parity`** especifica a existência ou não do bit de paridade e a sua polaridade
    - **`N`** (*none*) — sem bit de paridade
    - **`E`** (*even*) — paridade par (ou exclusivo dos bits de dados)
    - O (*odd*) — paridade ímpar (negação do ou exclusivo dos bits de dados)
  - **`data_bits`** é o número de bits de dados (8 ou 9 no PIC32, o **`pterm`** não aceita o 9)
  - **`stop_bits`** é o número de stop bits (1 ou 2 no PIC32)
- Se não for especificado outro valor na linha de comando, o **`pterm`** usa **`115200,N,8,1`** para o **`com_spec`**

Guião 10

RS-232 (programação)

- Sequência de programação para a UART **x**:

```
int ovs_factor[2] = { 16,4 };
int ovs = 0;              // 0 (x16, standard speed) ou 1 (x4, high speed)
UxMODEbits.ON = 0;        // desativa a UART
UxMODEbits.BRGH = ovs;    // configura fator de sobre amostragem (0 ou 1)
UxBRG = round_div(PBCLK,ovs_factor[ovs] * baud_rate) - 1;
UxMODEbits.PDSEL = 0;     // 0 (8N), 1 (8E), 2 (8O), 3 (9N) --- ver manual
UxModebits.STSEL = 0;     // 0 (1 stop bits), 1 (2 stop bits) --- ver manual
UxSTAbits.UTXEN = 1;      // ativa transmissão (ver nota abaixo)
UxSTAbits.URXEN = 1;      // ativa receção (ver nota abaixo)
UxMODEbits.ON = 1;        // ativa UART
```

- Para **ovs=0** e **PBCLK**=20MHz, o maior baud rate possível (**UxBRG** = 0) é 1250000 e o menor possível (**UxBRG**=65535) é pouco mais de 19.
- Para ovs=1 e mesmo **UxBRG** estes números são quatro vezes maiores.

Guião 10

Nota: Quando a transmissão ou a receção é ativada não é preciso configurar os pinos respetivos usando os registos **TRIS**

RS-232 (polling)

- Para enviar o carater `c`, armazenado numa variável do tipo `int`:

```
while(UxSTAbits.UTXBF != 0)
   ; // espera até que o buffer de transmissão deixe de estar cheio
UxTXREG = c;
```

- Para receber o carater `c`, armazenado numa variável do tipo `int`:

```
while(UxSTAbits.URXDA == 0)
   ; // espera até que o buffer de receção deixe de estar vazio
c = UxRXREG; // uma segunda leitura deste registo lerá o carater seguinte!
```

- Podem ocorrer vários tipos de erros na receção:
  - erro de paridade: comparar `UxSTAbits.PERR` com 1 para ver se ocorreu
  - erro de trama: comparar `UxSTAbits.FERR` com 1 para ver se ocorreu
  - carater recebido com o buffer de receção cheio (erro de *overrun*): comparar `UxSTAbits.OERR` com 1 para ver se ocorreu (se sim, terá de escrever zero em `UxSTAbits.OERR` para limpar o buffer de receção, caso contrário não receberá mais nada)

RS-232 (interrupções)

- Sequência de programação das interrupções para a UART **x**, **y** é o número do registo apropriado (consulte a tabela das páginas 74 a 76, colunas *Flag*, *Enable* e *Priority*, do "PIC32 Family Data Sheet", respetivamente para determinar o número do registo **IFS**, **IEC** e **IPC**):

```
UxSTAbits.UTXISEL = 0; // quando se pede interrupção do lado tx (ver manual)
UxSTAbits.URXISEL = 0; // quando se pede interrupção do lado rx (ver manual)
IPCybits.UxIP = 1;     // prioridade da interrupção (1 a 6)
IFSybits.UxTXIF = 0;   // limpar pedido de interrupção do lado tx
IFSybits.UxRXIF = 0;   // limpar pedido de interrupção do lado rx
IFSybits.UxEIF = 0;    // limpar pedido de interrupção por causa de erros
IECybits.UxTXIE = 0;   // desativa pedidos de interrupção na transmissão
IECybits.UxRXIE = 1;   // ativa pedidos de interrupção na receção
IECybits.UxEIE = 0;    // desativa pedidos de interrupção em caso de erro
```

- A rotina de serviço às interrupções é comum aos lados tx e rx e a erros. Tem de se ver a(s) causa(s) do pedido de interrupção analisando os valores de **IFSybits.UxTXIF**, **IFSybits.UxRXIF** e **IFSybits.UxEIF**.