

## Aula prática N.º 11

### Objetivos

- Compreender os mecanismos básicos que envolvem a comunicação série assíncrona.
- Implementar funções básicas de comunicação série através de uma UART, usando interrupções.

### Introdução

O modo como a UART gera as interrupções é configurável através dos bits **UTXISEL<1:0>** e **URXISEL<1:0>** do registo **UxSTA**. Configurando esses bits com a combinação binária "00", são geradas interrupções nas seguintes situações:

- **Receção:** uma interrupção é gerada quando o FIFO de receção tem, pelo menos, um novo carater para ser lido; a rotina de serviço à interrupção pode efetuar a respetiva leitura do registo **UxRXREG**.
- **Transmissão:** uma interrupção é gerada quando o FIFO de transmissão tem, pelo menos, uma posição livre; a rotina de serviço à interrupção pode colocar no registo **UxTXREG** um novo carater para ser transmitido;

Para além destas duas configurações específicas, é ainda necessário configurar, como para todas as outras fontes de interrupção, os bits de *enable* das interrupções (residentes nos *Interrupt Enable Control Registers*) e os bits que definem a prioridade (residentes nos *Interrupt Priority Registers*)<sup>1</sup>. Para a ativação da interrupção de receção é necessário configurar o bit **UxRXIE** (*receive interrupt enable*) e para a interrupção de transmissão o bit **UxTXIE** (*transmit interrupt enable*). Para a definição da prioridade devem ser configurados os 3 bits **UxIP** (a configuração de prioridade é comum a todas as fontes de interrupção de uma mesma UART).

Cada UART pode ainda gerar uma interrupção quando é detetada uma situação de erro na receção de um carater. Os erros detetados são de três tipos: erro de paridade, erro de *framing* e erro de *overrun*. Se se pretender fazer a deteção destes erros por interrupção, então é também necessário ativar essa fonte de interrupção, isto é, ativar o bit **UxEIE**.

Finalmente, é importante referir que a cada UART está atribuído um único vetor para as 3 possíveis fontes de interrupção. Essa situação obriga a que a identificação da fonte de interrupção tenha que ser feita por *software* na rotina de serviço à interrupção (rotina associada ao vetor atribuído à UART que está a ser usada). A identificação é feita através do teste dos *interrupt flag bits* de cada uma das três fontes possíveis de interrupção, isto é, **UxRXIF**, **UxTXIF** e **UxEIF**.

---

<sup>1</sup> Ver manual do PIC32MX5XX/6XX/7XX, Family Data Sheet (disponível no *moodle* de AC2), páginas 74 a 76.

**Trabalho a realizar****Parte I**

1. Escreva o programa principal para teste da receção de um carácter, por interrupção. O programa principal deve ter a seguinte estrutura:

```
int main(void)
{
    // Configure UART2: 115200, N, 8, 1
    // Configure UART2 interrupts, with RX interrupts enabled
    // and TX interrupts disabled:
    enable U2RXIE, disable U2TXIE (register IEC1)
    set UART2 priority level (register IPC8)
    clear Interrupt Flag bit U2RXIF (register IFS1)
    define RX interrupt mode (URXISEL bits)
    // Enable global Interrupts

    while(1);
    return 0;
}
```



2. Escreva a rotina de serviço à interrupção, para receber um carácter e retransmitir esse mesmo carácter. Adicionalmente, quando for recebido o carácter '?' deve ser transmitida a string "AC2-Guiao 11". A transmissão deve ser feita por *polling*.

A estrutura da rotina de serviço à interrupção deve ser a seguinte:

```
void _int_(VECTOR_UART2) isr_uart2(void)
{
    if (UART2 Rx interrupt flag is set)
    {
        // Read character from FIFO (U2RXREG)
        // Send the character using putc()
        // Clear UART2 Rx interrupt flag
    }
}
```



3. Altere a rotina de serviço à interrupção e faça as inicializações necessárias, de modo a que o LED ligado ao porto RC14 da placa DETPIC32 acenda quando for recebido o carácter 'T', e que apague quando for recebido o carácter 't'.

**Parte II**

Pretende-se agora implementar a transmissão de uma *string*, usando interrupções. Para isso deverá ser implementada uma função `putstrInt()` que armazena os caracteres da *string* a enviar num *buffer* temporário, que serão depois lidos sequencialmente pela rotina de serviço à interrupção e colocados no *buffer* de transmissão da **UART**. Ou seja, a função `putstrInt()` não atua, direta ou indiretamente, na **UART**, sendo essa interação feita exclusivamente pela rotina de serviço à interrupção.

O *buffer* temporário é constituído por uma zona de armazenamento para os caracteres a transmitir e por duas variáveis, uma para armazenar o número de caracteres que ainda falta transmitir e outra que indica a posição do *buffer* onde se encontra o próximo carácter a transmitir.

O *buffer* temporário pode ser declarado através da seguinte estrutura:

```
typedef struct
{
    char mem[100]; // Storage area
    int nchar;     // Number of characters to be transmitted
    int posrd;     // Position of the next character to be transmitted
} t_buf;
```

e uma instância global da estrutura pode ser declarada (fora da função `main()`) através de:

```
volatile t_buf txbuf;
```

O acesso a cada um dos membros da estrutura é feito através de `txbuf.mem`, `txbuf.nchar` e `txbuf.posrd`.

1. Escreva a função `putstrInt()` que deve armazenar todos os caracteres da *string* a transmitir na zona de armazenamento do *buffer* temporário, e atualizar o valor das variáveis auxiliares do mesmo (`nchar` e `posrd`).

```
void putstrInt(char *s)
{
    while(txbuf.nchar > 0); // Wait while the buffer is not empty
    // Copy all characters of the string "s" to the buffer, and update
    // "nchar"
    while(...) {
        ...
    }
    // Initialize "posrd" variable with 0
    // Enable UART2 Tx interrupts
}
```

2. Escreva a rotina de serviço à interrupção, que leia um carácter do *buffer* temporário e o coloque no *buffer* de transmissão da UART. A estrutura da rotina de serviço à interrupção deve ser a seguinte:

```
void _int_(VECTOR_UART2) isr_uart2(void)
{
    if (UART2 Tx interrupt flag is set)
    {
        if(txbuf.nchar > 0) { // At least one character to be transmitted
            // U2TXREG = ... // Read 1 character from the buffer and
                            // send it
            // Update buffer "posrd" and "nchar" variables
        } else {
            // Disable UART2 Tx interrupts
        }
        // Clear UART2 Tx interrupt flag
    }
}
```

3. Escreva o programa principal para teste da transmissão de uma *string* por interrupção. O programa principal deve ter a seguinte estrutura:

```
int main(void)
{
    // Configure UART2: 115200, N, 8, 1
    // Configure UART2 interrupts, with RX and TX interrupts DISABLED
    // disable U2RXIE, disable U2TXIE (register IEC1)
    // set UART2 priority level (register IPC8)
    // define TX interrupt mode (UTXISEL bits)
    // Enable global Interrupts
    // Initialize buffer variable "nchar" with 0
    while(1)
    {
        putstrInt("Test string which can be as long as you like, up to
                  a maximum of 100 characters\n");
    }
    return 0;
}
```

### Parte III

1. Retome o programa que escreveu na parte 1 da aula prática número 9 e inclua a configuração da UART2 e a configuração de receção por interrupção, que implementou anteriormente. Faça ainda as seguintes alterações:

- a) Declare duas variáveis globais, "**voltMin**" e "**voltMax**", que devem armazenar o valor mínimo e o valor máximo da tensão que o sistema mediu desde o seu arranque. Inicialize adequadamente essas variáveis (na função **main()**) e atualize-as na rotina de serviço à interrupção do módulo A/D, isto é, na rotina de serviço onde é calculado um novo valor de tensão.

```
void _int_(VECTOR_ADC) isr_adc(void)
{
    (...)
    // Update variables "voltMin" and "voltMax"
    // Reset AD1IF flag
}
```

- b) Implemente a rotina de serviço à interrupção da UART2 de modo a que quando for recebido da porta série o carácter "**M**" transmita o valor da variável "**voltMax**", e quando for recebido da porta série o carácter "**m**" transmita o valor da variável "**voltMin**", ambos em decimal, na forma "**VMax=i.dV**" (ex: **VMax=2.3V**). A transmissão deve ser feita por *polling*.

Sugestão: converta o valor das variáveis "**voltMax**" e "**voltMin**" para BCD e, de seguida, codifique em ASCII os dois dígitos de cada variável; após a transmissão da string "**VMax=**" / "**VMin=**" envie sequencialmente os dois códigos ASCII, começando pelo código correspondente ao dígito mais significativo.

```
void _int_(VECTOR_UART2) isr_uart2(void)
{
    char c = ...// Read character from FIFO
    if(c == 'M')
        // Send "voltMax" to the serial port UART2
    else if(c == 'm')
        // Send "voltMin" to the serial port UART2
    // Clear UART2 rx interrupt flag
}
```

### Elementos de apoio

- Slides das aulas teóricas.
- PIC32 Family Reference Manual, Section 08 – Interrupts.
- PIC32 Family Reference Manual, Section 21 – UART.
- PIC32MX5XX/6XX/7XX, Family Data Sheet, Pág. 74 a 76.