

## Trabalho prático N.º 1

### Objetivos

- Conhecer o processo de criação de um programa escrito em *assembly* para correr na placa DETPIC32: compilação, transferência e execução.
- Utilizar os *system calls* disponibilizados na placa DETPIC32.
- Rever os conceitos associados à manipulação de *arrays* de caracteres.

### Trabalho a realizar

#### Parte I

1. Se ainda não o fez, instale as ferramentas de desenvolvimento (veja as instruções no anexo deste guião).
2. Utilizando um editor de texto, edite e grave o programa de demonstração *assembly* que é apresentado de seguida. Para facilitar a organização dos ficheiros dos vários programas que irão ser feitos ao longo do semestre, sugere-se que seja criada uma diretoria por trabalho prático, estando o nome do ficheiro relacionado com a alínea a que diz respeito. Neste caso o ficheiro poder-se-á chamar "**prog1.s**" (usa-se a extensão **".s**" para ficheiros *assembly*) a colocar na diretoria "**tp01**"<sup>1</sup>.

```
#   int main(void)
#   {
#       printStr("AC2 - DETPIC32\n");    // system call
#       return 0;
#   }

.equ      PRINT_STR, 8

.data
msg: .asciiz "AC2 - DETPIC32\n"
.text
.globl main
main: la    $a0, msg
      li    $v0, PRINT_STR
      syscall    # printStr("AC2 - DETPIC32\n");
      li    $v0, 0      # return 0;
      jr    $ra
```

3. Compile o programa *assembly* anterior. Para isso abra um terminal e execute o comando:
 

```
pcompile prog1.s
```
4. O comando da linha anterior produz os seguintes ficheiros: "**prog1.o**", "**prog1.elf**", "**prog1.map**" e "**prog1.hex**", sendo os dois primeiros ficheiros binários e os restantes de texto.
  - a) Observe o conteúdo do ficheiro "**prog1.hex**"<sup>2</sup>; para isso abra-o com um editor de texto (gedit, gvim, geany, ...).
  - b) Execute, em linha de comando, o programa **hex2asm** (é um *disassembler* que converte o código binário das instruções para mnemónicas *assembly* do MIPS):
 

```
hex2asm prog1.hex    (produz o ficheiro "prog1.hex.s")
```

 De seguida abra, com um editor de texto, o ficheiro "**prog1.hex.s**"
  - c) Identifique no ficheiro "**prog1.hex.s**" os endereços correspondentes aos *labels* **msg** e **main** do programa que editou.

<sup>1</sup> Pode encontrar no *youtube* numerosos vídeos sobre a utilização do terminal em Linux. A título de exemplo: "Beginner's Guide to the Bash Terminal" - <https://youtu.be/oxuRxtrO2Ag>.

<sup>2</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Intel\\_HEX](https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_HEX)

5. Transfira o programa "**prog1.hex**" para a memória FLASH do microcontrolador da placa DETPIC32, realizando os seguintes passos:
  - ligue a placa à porta USB do PC
  - execute o seguinte comando:
 

```
ldpic32 prog1.hex
```
  - prima o botão de *reset* da placa DETPIC32 e aguarde que a transferência se processe
6. Execute o programa transferido e observe o resultado:
  - execute, em linha de comando, o programa **pterm**<sup>3</sup>
  - prima novamente o botão de *reset*.

## Parte II

1. Os programas que se apresentam de seguida exercitam a utilização dos *system calls* disponíveis na placa DETPIC32. Verifique os *system calls* disponibilizados, consultando ou a tabela de referência rápida referida nos elementos de apoio no final deste trabalho prático ou analisando o ficheiro "**/opt/pic32mx/include/detpic32.h**". Analise a forma como cada um dos *system calls* deve ser invocado.
  2. Identifique a funcionalidade de cada um dos programas que se seguem e traduza-os para *assembly* do MIPS, usando as convenções de passagem de parâmetros e salvaguarda de registos que estudou em AC1. Compile cada um dos programas *assembly*, usando o **pcompile**. Transfira o resultado da compilação (ficheiros "**.hex**") para a placa DETPIC32 (usando o **ldpic32**) e verifique o respetivo funcionamento.
- a) Teste dos *system calls* "getChar()" e "putChar()".

O *system call* "**getChar()**" é bloqueante, ou seja, só regressa ao programa chamador quando for premida uma tecla, retornando o respetivo código ASCII.

```
int main(void)
{
    char c;

    do
    {
        c = getChar();
        if( c != '\n' )
            putChar( c );
    } while( c != '\n' );
    return 0;
}
```

**Nota:** O código *assembly* que escrever vai ser executado numa arquitetura *pipelined* de 5 fases com *delayed branches*. Ou seja, em todas as instruções que alteram o fluxo de execução (**beq**, **bne**, **j**, **jal**, **jr**, **jalr**) a instrução que vem imediatamente a seguir é sempre executada, independentemente do comportamento da instrução de salto. Apesar disso, não necessita de ter em conta este comportamento, uma vez que o *assembler* efetua, de forma automática, a reordenação das instruções de modo a preencher, sempre que possível o *delayed slot*. Nos casos em que o *assembler* deteta que não pode reordenar as instruções devido a dependência(s) de dados, o *delayed slot* é preenchido com a instrução "**nop**". Este comportamento pode ser observado através da análise do ficheiro produzido pelo programa **hex2asm** (por exemplo "**prog1.hex.s**").

---

<sup>3</sup> Os 3 comandos normalmente usados (**pcompile**, **ldpic32** e **pterm**) podem ser encadeados numa única linha de comando, do seguinte modo (usando como exemplo o ficheiro "prog1.s"):

```
pcompile prog1.s && ldpic32 prog1.hex && pterm
```

b) Teste do *system call* "inkey()".

O *system call* "inkey()" não é bloqueante, ou seja, se foi premida uma tecla devolve o respetivo código ASCII, mas se não foi premida qualquer tecla devolve o valor 0 (zero).

```
int main(void)
{
    char c;

    do
    {
        while( (c = inkey()) == 0 );
        if( c != '\n' )
            putchar( c );
    } while( c != '\n' );
    return 0;
}
```

c) Teste dos *system calls* de leitura e impressão de inteiros.

```
int main(void)
{
    int value;

    while(1)
    {
        printStr("\nIntroduza um numero (sinal e módulo): ");
        value = readInt10();
        printStr("\nValor lido, em base 2: ");
        printInt(value, 2);
        printStr("\nValor lido, em base 16: ");
        printInt(value, 16);
        printStr("\nValor lido, em base 10 (unsigned): ");
        printInt(value, 10);
        printStr("\nValor lido, em base 10 (signed): ");
        printInt10(value);
    }
    return 0;
}
```

**Nota:** Devido a limitações do compilador usado, nos programas escritos em *assembly* o *label* "main" deve ser o primeiro *label* do segmento de código, ou seja, o código das sub-rotinas deve vir a seguir ao código da função "main()".

## Exercícios adicionais

- Utilização do system call `"inkey ()"` na implementação de um contador up/down de 8 bits. O valor do contador é atualizado a cada 0.5s (aproximadamente) e é mostrado no ecrã, em decimal e em binário (com o system call `"printInt ()"`<sup>4</sup>). O estado "up" ou "down" do contador é assegurado por uma máquina de estados simples, com 2 estados, controlada pelas teclas '+' e '-'.

a) Traduza para *assembly* do MIPS o programa seguinte.

```
void wait(int);

int main(void)
{
    int s = 0;
    int cnt = 0;
    char c;
    do
    {
        putchar('\r');          // Carriage return character
        printInt( cnt, 10 | 3 << 16 ); // 0x0003000A: decimal w/ 3 digits
        putchar('\t');          // Tab character
        printInt( cnt, 2 | 8 << 16 ); // 0x00080002: binary w/ 8 bits
        wait(5);
        c = inkey();
        if( c == '+' )
            s = 0;
        if( c == '-' )
            s = 1;
        if( s == 0 )
            cnt = (cnt + 1) & 0xFF;
        else
            cnt = (cnt - 1) & 0xFF;
    } while( c != 'q' );
    return 0;
}

void wait(int ts)
{
    int i;
    for( i=0; i < 515000 * ts; i++ );
}
```

- Altere o código C do programa anterior de modo a adicionar a possibilidade de parar o contador (tecla 's') ou de reiniciar o seu valor (tecla 'R'). Reflita essas alterações no programa *assembly* que escreveu na alínea anterior e teste o resultado na placa.

---

<sup>4</sup> O system call `printInt` permite especificar o número mínimo de dígitos com que o valor é impresso. Essa configuração é feita nos 16 bits mais significativos do registo usado para determinar a base da representação (e.g., para a impressão em binário com 4 bits, o valor a colocar no registo `$a1` é `0x00040002`); em linguagem C: `printInt( val, 2 | 4 << 16 )`.

2. Manipulação de *strings* e teste do *system call* "**readStr()**" <sup>5</sup>.

```

#define STR_MAX_SIZE 20

char *strcat(char *, char *);
char *strcpy(char *, char *);
int strlen(char *);

int main(void)
{
    static char str1[STR_MAX_SIZE + 1];
    static char str2[STR_MAX_SIZE + 1];
    static char str3[2 * STR_MAX_SIZE + 1];

    printStr("Introduza 2 strings: ");
    readStr( str1, STR_MAX_SIZE );
    readStr( str2, STR_MAX_SIZE );
    printStr("Resultados:\n");
    prinInt( strlen(str1), 10 );
    prinInt( strlen(str2), 10 );
    strcpy(str3, str1);
    printStr( strcat(str3, str2) );
    printInt10( strcmp(str1, str2) );
    return 0;
}

```

Cálculo da dimensão de uma *string*.

```

int strlen(char *s)
{
    int len;
    for( len = 0; *s != '\0'; len++, s++ );
    return len;
}

```

Cópia de uma *string*.

```

char *strcpy(char *dst, char *src)
{
    char *p = dst;

    for( ; ( *dst = *src ) != '\0'; dst++, src++ );
    return p;
}

```

Concatenação de 2 *strings*.

```

char *strcat(char *dst, char *src)
{
    char *p = dst;

    for( ; *dst != '\0'; dst++ );
    strcpy( dst, src );
    return p;
}

```

---

<sup>5</sup> A versão do *assembler* que está a ser usada nas aulas práticas não interpreta corretamente o carácter de terminação das *strings*, '\0'; em *assembly* use, em vez desse carácter, o valor 0.

Comparação alfabética de 2 *strings*.

```
// Returned value is:
// < 0 string "s1" is "less than" string "s2"
// = 0 string "s1" is equal to string "s2"
// > 0 string "s1" is "greater than" string "s2"

int strcmp(char *s1, char *s2)
{
    for( ; (*s1 == *s2) && (*s1 != '\0'); s1++, s2++ );
    return( *s1 - *s2 );
}
```

### Elementos de apoio

- Tabela com resumo do conjunto de instruções da arquitetura MIPS, na versão adaptada a Arquitetura de Computadores II (disponível no *moodle* de AC2).
- Slides das aulas teóricas de Arquitetura de Computadores I.
- David A. Patterson, John L. Hennessy, Computer Organization & Design – The Hardware/Software Interface, Morgan Kaufmann Publishers.

## Anexo

### Instalação das ferramentas pic32

1) Descarregue do *moodle* de AC2 o *tarball*:

- **pic32-32.tgz** para sistemas de 32 bits (ou sistemas de 64 bits com bibliotecas de 32 e 64 bits)
- **pic32-64.tgz** para sistemas de 64 bits

2) Abra um terminal e execute o comando:

```
sudo tar xzvf TARBALL -C /opt
```

onde **TARBALL** é o *path* completo do *tarball*; por exemplo, se descarregou o *tarball* **pic32-64.tgz** para o diretório **Downloads** deve fazer:

```
sudo tar xzvf ~/Downloads/pic32-64.tgz -C /opt
```

3) Com um editor de texto abra o ficheiro **.bashrc** (disponível na sua *home directory*) e adicione, no final, as seguintes linhas:

```
if [ -d /opt/pic32mx/bin ] ; then
    export PATH=$PATH:/opt/pic32mx/bin
fi
```

4) Se pretender desinstalar as ferramentas pic32 abra um terminal e execute o comando:

```
sudo rm -rf /opt/pic32mx
```

### Configuração do computador para comunicar com a placa DETPIC32

1) Adicione o utilizador ao grupo **dialout**; para isso abra um terminal e execute o comando:

```
sudo adduser $USER dialout
```

2) Para que o comando anterior se torne efetivo faça *reboot* ao PC.