

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. 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. No nosso caso o ficheiro poder-se-á chamar “prog1.s” (usa-se a extensão “.s” para ficheiros *assembly*) a colocar na diretoria “tp01”.

```
#   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
      ori     $v0,$0,PRINT_STR
      syscall          # printStr("AC2 - DETPIC32\n");
      ori     $v0,$0,0   # return 0;
      jr      $ra
```

2. Compile o programa do ponto 1 introduzindo, na linha de comando (numa janela de terminal do Linux), o seguinte comando:

```
pcompile prog1.s
```

3. 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) Analise o conteúdo do ficheiro “prog1.hex”¹; para isso abra-o com um editor de texto (gedit, gvim, ...).
- 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.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_HEX

4. Analise o conteúdo do ficheiro "**prog1.map**" produzido pelo processo de compilação, abrindo-o com um editor de texto. Compare os endereços dos *labels* **msg** e **main** com os obtidos no ponto anterior (acrescente ".globl **msg**" ao código anterior para o símbolo "**msg**" passar a aparecer no ficheiro "**prog1.map**").
5. Transfira o programa "**prog1.hex**" para a memória FLASH do microcontrolador da placa DETPIC32, realizando os seguintes passos²:
 - ligue a placa à porta USB do PC
 - em linha de comando, introduza:
 - **ldpic32 prog1.hex** (ou **ldpic32 -w 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**;
 - premir novamente o botão de *reset*.
7. Desligue a placa DETPIC32 da porta USB do PC, espere uns segundos, volte a ligar e repita o ponto 6³.

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.

NOTA: O código 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 deve ser verificado através da análise do ficheiro produzido pelo programa **hex2asm** (por exemplo "**prog1.hex.s**").

² Se está a usar o seu computador pessoal, é provável que tenha que realizar a seguinte configuração:

- 1) Verificar que o utilizador pertence ao grupo **dialout**: comando **groups**
- 2) Adicionar o utilizador ao grupo **dialout**: comando **sudo adduser \$USER dialout**

³ 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
```

```
*****
// Programa 2 - teste do system call "inkey()"
//
int main(void)
{
    char c;

    while (1)
    {
        while ((c = inkey()) == 0);
        if (c == '\n')
            break;
        printStr("Key pressed\n");
    }
    return 0;
}

*****
// Programa 3 - teste dos system calls "getChar()" e "putChar()"
//
int main(void)
{
    char c;

    while (1)
    {
        c = getChar();
        if (c == '\n')
            break;
        putChar(c);
    }
    return 1;
}

*****
// Programa 4 - teste dos system calls de leitura e impressão de inteiros
//
void 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);
    }
}
```

```

*****
// Programa 5 - teste do system call "readStr()" e manipulação de strings
//
#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;
}

```

Note: a versão do *assembler* que está a ser usada nas aulas práticas não interpreta corretamente o caracter de terminação das strings, '\0'; em *assembly* use, em vez deste caracter, o valor 0 (tal como está no código abaixo).

```

*****
// String length
//
int strlen(char *s)
{
    int len;
    for(len = 0; *s != 0; len++, s++);
    return len;
}

*****
// String concatenate
//
char *strcat(char *dst, char *src)
{
    char *rp = dst;

    for(; *dst != 0; dst++);
    strcpy(dst, src);
    return rp;
}

*****
// String copy
//
char *strcpy(char *dst, char *src)
{
    char *rp = dst;

    for(; (*dst = *src) != 0; dst++, src++);
    return rp;
}

```

```
*****
// String compare (alphabetically).
// 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.