

AULA PRÁTICA N.º 2

Objetivos:

Utilização de instruções lógicas e de deslocamento sobre inteiros no MIPS. Utilização das diretivas do *assembler* do MARS.

Conceitos básicos:

- Lógica *bitwise* e operações com máscaras. Instruções lógicas.
- Deslocamento (*shift*) lógico e aritmético. Instruções de deslocamento.
- Diretivas do *assembler* do MARS.

Guião:

1. Instruções lógicas.

- a) Codifique um programa em *assembly* do MIPS que determine o resultado das operações lógicas bit a bit (*bitwise*) AND¹, OR, NOR e XOR, considerando como operandos os valores armazenados nos registos `$t0` e `$t1`; os resultados devem ser armazenados nos registos `$t2`, `$t3`, `$t4` e `$t5`, respetivamente.

```

.data
.text
.globl main
main:   ori $t0,$0,val_1 # substituir val_1 e val_2 pelos
        ori $t1,$0,val_2 # valores de entrada desejados
        and $t2,$t0,$t1 # $t2 = $t0 & $t1 (and bit a bit)
        or  ...         # $t3 = $t0 | $t1 (or bit a bit)
        (...)           #
        jr  $ra          # fim do programa

```

- b) Execute o programa no MARS, preencha a tabela e confirme (calculando manualmente) os resultados para os seguintes pares de valores:

```

val_1 = 0x1234, val_2 = 0x000F
val_1 = 0x1234, val_2 = 0xF0F0
val_1 = 0x5C1B, val_2 = 0xA3E4

```

\$t0	\$t1	\$t2 (AND)	\$t3 (OR)	\$t4 (NOR)	\$t5 (XOR)
0x1234	0x000F				
0x1234	0xF0F0				
0x5C1B	0xA3E4				

- c) O ISA do MIPS não disponibiliza uma instrução de negação bit a bit. Usando as instruções lógicas disponíveis, sugira uma forma de efetuar a negação bit a bit do conteúdo de um registo e implemente-a (registo de entrada `$t0`, registo de saída `$t1`). Teste o seu programa com os seguintes valores e confirme manualmente os resultados obtidos:

\$t0 (Val)	\$t1 (Val\)
0x0F1E	
0x0614	
0xE543	

¹ Em linguagem C, os operadores lógicos *bitwise* representam-se por: `&` (and); `|` (or); `^` (xor); `~` (not)

2. Instruções de deslocamento.

- a) Para além das instruções que implementam operações lógicas bit a bit, o MIPS disponibiliza ainda operações de deslocamento² (*shift*), nomeadamente, deslocamento à esquerda lógico, deslocamento à direita lógico e deslocamento à direita aritmético. Em todas estas instruções o número de bits a deslocar é especificado na instrução (campo *Imm*):

```
sll Rdst,Rsrc,Imm    # Shift left logical
srl Rdst,Rsrc,Imm    # Shift right logical
sra Rdst,Rsrc,Imm    # Shift right arithmetic
```

- b) Escreva um programa que efetue as 3 operações de deslocamento, considerando como operandos os registos *\$t0* e a constante *Imm* (valor e número de bits a deslocar, respetivamente) e colocando os resultados nos registos *\$t2*, *\$t3* e *\$t4*. Execute o programa para os seguintes pares de valores (por agora, a inicialização de um registo com uma constante de 32 bits tem que ser feita diretamente no MARS, na janela "Registers"):

```
(0x12345678, 1)
(0x12345678, 4)
(0x12345678, 16)
(0x862A5C1B, 2)
(0x862A5C1B, 4)
```

```
        .data
        .text
        .globl  main
main:
        sll $t2,$t0,1    # $t0 é inicializado na janela
                        # "Registers" do MARS
        srl $t3,$t0,1    #
        sra $t4,$t0,1    #
        jr  $ra          # fim do programa
```

- c) Preencha a tabela seguinte e confirme manualmente os resultados para cada um dos pares de valores de entrada.

\$t0	Imm	\$t2 (sll)	\$t3 (srl)	\$t4 (sra)
0x12345678	1			
0x12345678	4			
0x12345678	16			
0x862A5C1B	2			
0x862A5C1B	4			

- d) Usando máscaras e deslocamentos, escreva e teste um programa que imprima separadamente no ecrã, em hexadecimal, cada um dos 4 dígitos menos significativos da quantidade armazenada no registo *\$t0*.

```
print_int16((val & 0x0000F000) >> 12); // Dígito 3
print_char(' ');
print_int16((val & 0x00000F00) >> 8); // Dígito 2
print_char(' ');
print_int16((val & 0x000000F0) >> 4); // Dígito 1
print_char(' ');
print_int16( val & 0x0000000F); // Dígito 0
```

² Em linguagem C o deslocamento à direita representa-se por >> e o deslocamento à esquerda por <<

Tradução parcial para *assembly*:

```

        .data
        .eqv print_int16,34
        .eqv print_char,11
        .text
        .globl main
main:    ori    $t0,$0,value           # valor inicial
        andi   $a0,$t0,0xF000        # $a0 = $t0 & 0x0000F000
        srl    $a0,$a0,12            # $a0 = digito3
        ori    $v0,$0,print_int16    # assembl. substitui por 34
        syscall                               # print_int16(digito3)
        ori    $v0,$0,print_char     # assembl. substitui por 11
        ori    $a0,$0,' '            # print_char(' ')
        syscall

        andi   $a0,$t0,0x0F00        # $a0 = $t0 & 0x00000F00
        srl    $a0,$a0,8              # $a0 = digito2
        (...)
        jr     $ra                    # fim do programa

```

3. Diretivas do *assembler*.

Os programas que efetuam a tradução de código *assembly* para código máquina (designados em inglês por *assemblers*) disponibilizam um conjunto de instruções que permitem ao programador controlar alguns aspetos do processo de tradução. Estas instruções (não confundir com as instruções do CPU) são normalmente designadas por diretivas e são executadas exclusivamente pelo *assembler* durante o processo de tradução do código.

No caso do *assembler* para o MIPS usado no MARS, as diretivas são constituídas por um identificador, cujo primeiro carater é sempre o símbolo “.”, e, em alguns casos, por um ou mais parâmetros. Exemplos de diretivas: **.text**, para definir o início da zona de código do programa; **.data**, para definir o início da zona de dados do programa.

No exemplo do exercício anterior foi usada a diretiva **.eqv** que permite atribuir a um identificador literal uma quantidade numérica. A utilização desta diretiva tem como objetivo melhorar a legibilidade do código *assembly*, cabendo ao *assembler* a tarefa de substituir o identificador pelo valor que lhe foi atribuído.

Para além das diretivas anteriores há uma outra que será usada com frequência e que permite a declaração de *strings* (sequências de caracteres alfanuméricos delimitadas pelo carater “”). Por exemplo, a declaração da *string* **"AC1 - aulas praticas"**, pode ser efetuada do seguinte modo:

```

        .data
        str1: .asciiz "AC1 - aulas praticas"

```

em que **str1** é um identificador (*label*), que é uma sequência de caracteres alfanuméricos, cujo primeiro carater não pode ser um algarismo.

A diretiva **.asciiz** reserva, em memória, espaço para alojar todos os caracteres da *string*, e ainda para um carater especial que explicita o fim da *string*, designado por terminador. Em *assembly* e em linguagem C o terminador é o carater **'\0'**, isto é, o *byte* **0x00**. De referir ainda que cada carater é codificado, de acordo com o código ASCII, com 1 *byte*.

a) Edite e compile no MARS, o seguinte código:

```
.data
str1: .asciiz "So para chatear"
str2: .asciiz "AC1 - aulas praticas"

.text
.globl main
main: jr $ra
```

b) Sabendo que o segmento de dados tem início no endereço **0x10010000** da memória (os endereços no MIPS são quantidades de 32 bits), preencha a tabela seguinte com o código ASCII e o endereço onde está armazenado cada um dos caracteres da *string* **str2**. Confirme os códigos dos caracteres numa tabela ASCII e verifique a sua localização na memória através da janela de dados do MARS. Preencha a tabela seguinte com todos os endereços de memória ocupados pela *string* **str2** e respetivos valores.

Endereço	Valor	Endereço	Valor
0x100100__	0x41		
	0x43		
	0x31		
	0x20		

c) O identificador da *string* (*label*) permite que o endereço inicial dessa *string* seja referenciado por uma instrução *assembly*. Por exemplo, a utilização da *system call* **print_string()** requer que, antes da sua chamada, o registo **\$a0** do CPU seja preenchido com o endereço inicial da *string* a imprimir. No MIPS, a obtenção do endereço a que corresponde o identificador da *string* pode ser feita através da instrução virtual "**la**", iniciais de *load address* (o MIPS não disponibiliza, por razões que serão compreendidas mais tarde, uma única instrução que permita o preenchimento de uma quantidade de 32 bits num registo do CPU).

O programa para imprimir a *string* **str2**, usando a *system call* **print_string()**, fica então:

```
.data
str1: .asciiz "So para chatear"
str2: .asciiz "AC1 - aulas praticas"
      .eqv    print_string,4

.text
.globl main
main: la  $a0,str2          # instrução virtual, decomposta pelo
                           # assembler em 2 instruções nativas
      ori $v0,$0,print_string # $v0 = 4
      syscall              # print_string(str2);
      jr  $ra              # fim do programa
```

Edite, compile e execute este código.

d) Traduza para *assembly*, e teste no MARS a seguinte sequência de código C:

```
print_string("Introduza 2 numeros ");
a = read_int();
b = read_int();
print_string("A soma dos dois numeros e': ");
print_int(a + b);
```

Tradução parcial para *assembly*:

```
.data
str1: .ascii "Introduza 2 numeros\n"
str2: .ascii "A soma dos dois numeros e': "
      .eqv    print_string,4
      .eqv    read_int,??
      .eqv    print_int10,??

.text
.globl  main
main: la  $a0,str1
      ori  $v0,$0,print_string
      syscall          # print_string(str1);
      ori  $v0,$0,read_int
      syscall          # valor lido e' retornado em $v0
      ori  $t0,$v0,$0   # $t0=read_int()
      (...)
      jr   $ra          # fim do programa
```

Anexo:

u	v	w = u or v
0	x	x
1	x	1
u	v	w = u and v
0	x	0
1	x	x
u	v	w = u xor v
0	x	x
1	x	x\
u	v	w = u nor v
0	x	x\
1	x	0

U	V	W = U or V
0	X	X
F	X	F
U	V	W = U and V
0	X	0
F	X	X
U	V	W = U xor V
0	X	X
F	X	X\
U	V	W = U nor V
0	X	X\
F	X	0

Notas:

1. Na tabela da esquerda apresentam-se alguns casos particulares com operandos de 1 bit das operações lógicas mais comuns (o símbolo \ significa negação).
2. Na tabela da direita apresentam-se alguns casos particulares com operandos de 4 bits (1 dígito hexadecimal) das operações lógicas mais comuns (o símbolo \ significa negação bit a bit, ou seja, complemento para 1 do operando; $X + X\ = F$).