

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	0x00000004	0x0000123F	0xFFFFEDC0	0x0000123B
0x1234	0xF0F0	0x00001030	0x0000F2F4	0xFFFF0D0B	0x0000E2C4
0x5C1B	0xA3E4	0x00000000	0x0000FFFF	0xFFFF0000	0x0000FFFF

- 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	0xFFFF0E1
0x0614	0xFFFF9EB
0xE543	0xFFFF1CBA

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
```

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, e observe os resultados, para os seguintes pares de valores (a instrução virtual "**li**" permite a inicialização de um registo com uma constante de 32 bits)³:

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

```
.data
.text
.globl main
main:    li    $t0,0x12345678    # instrução virtual (decomposta
                                # em duas instruções nativas)

        sll   $t2,$t0,1         #
        srl   $t3,$t0,1         #
        sra   $t4,$t0,1         #
        jr    $ra              # fim do programa
```

- b) 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	0x2468ACF0	0x091A2B3C	0x091A2B3C
0x12345678	4	0x23456780	0x01234567	0x01234567
0x12345678	16	0x56780000	0x00001234	0x00001234
0x862A5C1B	2	0x18A9706C	0x218A9706	0xE18A9706
0x862A5C1B	4	0x62A5C1B0	0x0862A5C1	0xF862A5C1

- c) Observe, no MARS, a decomposição da instrução virtual "**li \$t0, 0x862A5C1B**" (coluna "Native Instruction"); anote os endereços de memória onde as instruções resultantes da decomposição estão armazenadas. *0x00400058 e 0x0040005C*
- d) A conversão de uma quantidade codificada em binário natural para o equivalente em código Gray poder ser feita do seguinte modo:

```
gray = bin ^ (bin >> 1);
```

Traduza para *assembly* a expressão anterior, usando os registos **\$t0** e **\$t1** para o armazenamento das variáveis "**bin**" e "**gray**", respetivamente. Teste o seu programa para diferentes valores de entrada (por exemplo 2, 4, 5, ...).

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

³ 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).

- e) A conversão de uma quantidade codificada em código Gray para binário natural (a operação inversa da descrita na alínea anterior) pode ser feita, de forma não iterativa e para quantidades de 8 bits, do seguinte modo:

```
num = gray;
num = num ^ (num >> 4);
num = num ^ (num >> 2);
num = num ^ (num >> 1);
bin = num;
```

Traduza para *assembly* o programa anterior, usando os registos `$t0`, `$t1` e `$t2` para o armazenamento das variáveis "gray", "num" e "bin", respetivamente. Teste o seu programa para diferentes valores de entrada (por exemplo 2, 7, 13, 15, ...).

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 usadas 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.

A diretiva `.eqv` permite atribuir a um identificador literal uma quantidade numérica (por exemplo: `.eqv print_string, 4`). A utilização desta diretiva tem como objetivo melhorar a legibilidade do código *assembly*, ao permitir utilizar o identificador literal em vez de um número (cabe ao *assembler* a tarefa de substituir o identificador pelo valor que lhe foi atribuído na diretiva).

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 - P", pode ser efetuada do seguinte modo:

```
.data
str1: .asciiz "AC1 - P"
```

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 "Uma string qualquer"
str2: .asciiz "AC1 - P"

.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 (não se esqueça que o terminador, '\0', faz parte integrante da *string*).

Endereço	Valor	Endereço	Valor
0x10010014	0x41 (A)	0x10010019	0x20 ()
0x10010015	0x43 (C)	0x10010020	0x50 (P)
0x10010016	0x31 (1)	0x10010021	0x00 (\0)
0x10010017	0x20 ()		
0x10010018	0x2d (-)		

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

```
.data
str1: .asciiz "Uma string qualquer"
str2: .asciiz "AC1 - P"
      .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_int10(a + b);
```

Tradução incompleta para *assembly*:

```
.data
str1: .ascii "Introduza 2 numeros\n"
str2: .ascii "A soma dos dois numeros e': "
.equiv print_string, 4
.equiv read_int, ??
.equiv 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
      or  $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; $X + X\ = F$).