

AULA PRÁTICA N.º 5

Objetivos:

- Manipulação de *arrays* em linguagem C, usando índices e ponteiros.
- Tradução para *assembly* de código de acesso sequencial a *arrays* usando índices e ponteiros. Parte 2.

Guião:

1. O programa seguinte lê da consola 5 valores inteiros e armazena-os no *array* "lista".

```
#define SIZE 5
void main(void)
{
    static int lista[SIZE];    // declara um array de inteiros
                                // residente no segmento de dados

    int    i;
    for(i=0; i < SIZE; i++)
    {
        print_string("\nIntroduza um numero: ");
        lista[i] = read_int();
    }
}
```

- a) Traduza o programa anterior para *assembly* do MIPS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: variável de controlo do ciclo, *\$t0* (*i*), endereço inicial do *array*, *\$t1* (*lista*), endereço do elemento "*i*" do *array*, *\$t2* (*lista+i*). **Nota:** não se esqueça que, caso não declare o espaço para o *array* no início do segmento de dados (antes da declaração da *string*, neste caso), deverá obrigatoriamente incluir a diretiva *.align 2* antes da declaração do *array*, de modo a garantir que o seu endereço inicial é múltiplo de 4.

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# i:          $t0
# lista:      $t1
# lista + i:  $t2
.data
    .eqv      SIZE, 5
str1: .asciiz "\nIntroduza um numero: "
    .align    ?
lista: .space  ??          # SIZE * 4
    .eqv      read_int, ...
.text
    .globl    main
main: li      $t0, 0        # i = 0;
while: b??    ...          # while(i < SIZE) {
    (...)    #      print_string(...);
    li      $v0, read_int
    syscall  #      $v0 = read_int();
    la      $t1, lista     #      $t1 = lista (ou &lista[0])
    sll     $t2, $t0, ...  #
    addu    $t2, ...       #      $t2 = &lista[i]
    sw      $v0, ...       #      lista[i] = read_int();
    addi    $t0, ...       #      i++
    (...)    # }
endw: jr     $ra          # termina programa
```

- b) Verifique o correto funcionamento do programa. Para isso, execute-o, introduza a sequência de números 14, 4660, 11211350, -1, -1412589450 e observe o conteúdo da memória na zona de endereços reservada para o *array* "lista" (janela *Data Segment* do MARS).
- c) Execute o programa passo a passo e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando, introduzindo a sequência de números da alínea anterior.

| i (\$t0) | lista (\$t1) | &(lista[i]) (\$t2) | (\$v0) | |
|----------|--------------|--------------------|------------|-----------------|
| 0x01 | 0x10010018 | 0x10010018 | 0x0e | Fim 1ª iteração |
| 0x02 | 0x10010018 | 0x1001001c | 0x01234 | Fim 2ª iteração |
| 0x03 | 0x10010018 | 0x10010020 | 0x0ab1256 | Fim 3ª iteração |
| 0x04 | 0x10010018 | 0x10010024 | 0xff | Fim 4ª iteração |
| 0x05 | 0x10010018 | 0x10010028 | 0xabcd9876 | Fim 5ª iteração |

2. O programa seguinte envia para o ecrã o conteúdo de um *array* de 10 inteiros, previamente inicializado (a declaração `static int lista[]={8,-4,3,5,124,-15,87,9,27,15}`; reserva espaço para um *array* de inteiros de 10 posições e inicializa-o com os valores especificados).

```
#define SIZE 10
```

```
void main(void)
```

```
{
    static int lista[]={8, -4, 3, 5, 124, -15, 87, 9, 27, 15};
    int *p;          // Declara um ponteiro para inteiro (reserva
                    // espaço para o ponteiro, mas não o inicializa)
    print_string("\nConteudo do array:\n");

    for(p = lista; p < lista + SIZE; p++)
    {
        print_int10( *p );    // Imprime o conteúdo da posição do
                            // array cujo endereço é "p"
        print_string("; ");
    }
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Note que, nesta implementação, usou-se acesso ao *array* por ponteiro, enquanto que no exercício anterior usou-se acesso indexado.

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# p:          $t0
# *p:         $t1
# lista+Size: $t2
.data
str1: .asciiz ";"
str2: .asciiz "...
lista:.word 8,-4,... # a diretiva ".word" alinha num endereço
                    # múltiplo de 4
.eqv    print_int10,...
.eqv    print_string,...
.eqv    SIZE,...
```

```

        .text
        .globl main
main:   (...)           # print_string(...)
        la      $t0,...   # p = lista
        li      $t2,SIZE  #
        sll     $t2,...   #
        addu    $t2,...   # $t2 = lista + SIZE;
while:  b??u    $t0,...   # while(p < lista+SIZE) {
        lw      $t1,...   #     $t1 = *p;
        (...)   #     print_int10( *p );
        (...)   #     print_string(...);
        addiu   $t0,...   #     p++;
        (...)   # }
        jr      $ra      # termina o programa

```

- b) Execute o programa e observe o conteúdo da memória na zona de endereços respeitante ao array "lista".
3. Considere agora o seguinte programa que ordena por ordem crescente os elementos de um array de números inteiros (algoritmo *bubble-sort* não otimizado).

```

#define SIZE 10
#define TRUE 1
#define FALSE 0

void main(void)
{
    static int lista[SIZE];
    int houveTroca, i, aux;

    // inserir aqui o código para leitura de valores e
    // preenchimento do array
    for(...)
    {
        ...
    }
    do
    {
        houveTroca = FALSE;
        for (i=0; i < SIZE-1; i++)
        {
            if (lista[i] > lista[i+1])
            {
                aux = lista[i];
                lista[i] = lista[i+1];
                lista[i+1] = aux;
                houveTroca = TRUE;
            }
        }
    } while (houveTroca==TRUE);

    // inserir aqui o código de impressão do conteúdo do array
    for(...)
    {
        ...
    }
}

```

- a) Acrescente ao código anterior o a leitura de valores e o preenchimento do *array* usando acesso por ponteiro (antes da ordenação), e a impressão do seu conteúdo usando acesso indexado (após a ordenação).
- b) Traduza para *assembly* o programa que resultou do ponto anterior. Verifique o funcionamento do seu programa inserindo diferentes sequências de valores inteiros, positivos e/ou negativos.

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# ...
# houve_troca: $t4
# i:           $t5
# lista:       $t6
# lista + i:   $t7
.data
.eqv FALSE, 0
.eqv TRUE, 1
(...)
.text
.globl main
main: (...)
    la      $t6, lista
do:
    li      $t4, FALSE
    li      $t5, 0
for: b??    $t5, ...
if:  sll    $t7, ...
    addu    $t7, $t7, ...
    lw      $t8, 0(...)
    lw      $t9, 4(...)
    b??     ..., ..., endif
    sw      $t8, 4(...)
    sw      $t9, 0(...)
    li      $t4, TRUE
endif: (...)
    (...)   ...
    (...)
    (...)
    jr      $ra

# código para leitura de valores
#
# do {
#     houve_troca = FALSE;
#     i = 0;
#     while(i < SIZE-1){
#         $t7 = i * 4
#         $t7 = &lista[i]
#         $t8 = lista[i]
#         $t9 = lista[i+1]
#         if(lista[i] > lista[i+1]){
#             lista[i+1] = $t8
#             lista[i] = $t9
#         }
#         i++;
#     } while(houve_troca == TRUE);
# código de impressao do
# conteúdo do array
# termina o programa
```

- c) Pretende-se agora que o programa de ordenação trate os conteúdos do *array* como quantidades sem sinal (i.e., interpretadas em binário natural). Para isso, no programa anterior é apenas necessário alterar a declaração do *array*, passando a ser:

```
static unsigned int  lista[SIZE];
```

Na tradução para *assembly* esta alteração implica que, em todas as instruções de decisão que envolvam elementos do *array*, se trate os respetivos operandos como quantidades sem sinal (i.e. em binário natural). No *assembly* do MIPS isso é feito acrescentando o sufixo "u" à mnemónica da instrução. Por exemplo, para verificar a condição "menor ou igual" de duas quantidades com sinal, residentes nos registos *\$t0* e *\$t1*, a instrução *assembly* é:

```
ble    $t0, $t1, target
```

A mesma condição, tratando as quantidades em binário natural, é feita pela instrução:

```
bleu $t0,$t1,target
```

Altere o programa *assembly* que escreveu em b) e teste-o inserindo diferentes sequências de valores inteiros, positivos e/ou negativos. Interprete os resultados obtidos.

4. Um programa de ordenação equivalente ao anterior que usa ponteiros em vez de índices é apresentado a seguir.

```
#define SIZE 10  
  
void main(void)  
{  
    static int lista[SIZE];  
    int houveTroca;  
    int aux;  
    int *p, *pUltimo;  
    // inserir aqui o código para leitura de valores e  
    // preenchimento do array  
  
    pUltimo = lista + (SIZE - 1);  
    do  
    {  
        houveTroca = FALSE;  
        for (p = lista; p < pUltimo; p++)  
        {  
            if (*p > *(p+1))  
            {  
                aux = *p;  
                *p = *(p+1);  
                *(p+1) = aux;  
                houveTroca = TRUE;  
            }  
        }  
    } while (houveTroca==TRUE);  
    // inserir aqui o código de impressão do conteúdo do array  
}
```

- a) Traduza o programa anterior para *assembly* (incluindo igualmente o código para entrada e saída de valores) e teste-o inserindo diferentes sequências de valores inteiros, positivos e/ou negativos.

```

# Mapa de registros
# ...
# houve_troca: $t4
# p:           $t5
# pUltimo:     $t6

        .data
        (...)
        .text
        .globl main
main:    (...)
        la      $t5, lista          # codigo para leitura de valores
        li      $t6, SIZE          # $t5 = &lista[0]
        subu    $t6, $t6, 1         #
        sll     $t6, $t6, ...       # $t7 = SIZE - 1
        addu    $t6, $t6, ...       # $t7 = (SIZE - 1) * 4
do:      (...)                     # $t7 = lista + (SIZE - 1)
        (...)                       # do {
        (...)

```

- b) O programa de ordenação apresentado pode ainda ser otimizado, tornando-o mais eficiente. Sugira as alterações necessárias para essa otimização, altere correspondentemente o programa em C e reflita essas alterações no código *assembly*.

Exercícios adicionais

1. Um outro programa de ordenação, baseado no algoritmo conhecido como *sequential-sort*, é apresentado de seguida.

```
#define SIZE 10

void main(void)
{
    static int lista[SIZE];
    int i, j, aux;

    // inserir aqui o código para leitura de valores e
    // preenchimento do array

    for(i=0; i < SIZE-1; i++)
    {
        for(j = i+1; j < SIZE; j++)
        {
            if(lista[i] > lista[j])
            {
                aux = lista[i];
                lista[i] = lista[j];
                lista[j] = aux;
            }
        }
    }
    // inserir aqui o código de impressão do conteúdo do array
}
```

- a) Traduza o programa anterior para *assembly* (incluindo igualmente o código para entrada e saída de valores) e teste-o inserindo diferentes sequências de valores inteiros, positivos e/ou negativos
- b) Reescreva o programa anterior de modo a usar acesso por ponteiros em vez de índices.
- c) Traduza para *assembly* o programa que resultou do ponto anterior. Verifique o funcionamento do seu programa inserindo diferentes sequências de valores inteiros, positivos e/ou negativos.