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)	
				Fim 1ª iteração
				Fim 2ª iteração
				Fim 3ª iteração
				Fim 4ª iteração
				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(...);
        addu    $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:   (...)                   # código para leitura de valores
        la      $t6,lista       #
do:                             # do {
        li      $t4,FALSE       #   houve_troca = FALSE;
        li      $t5,0           #   i = 0;
while:  b??     $t5,...         #   while(i < SIZE-1){
if:     sll     $t7,...         #     $t7 = i * 4
        addu    $t7,$t7,...     #     $t7 = &lista[i]
        lw      $t8,0(...)      #     $t8 = lista[i]
        lw      $t9,4(...)      #     $t9 = lista[i+1]
        b??     ...,...,endif   #     if(lista[i] > lista[i+1]){
        sw      $t8,4(...)      #       lista[i+1] = $t8
        sw      $t9,0(...)      #       lista[i] = $t9
        li      $t4,TRUE        #
                                #     }
endif:  (...)                   #     i++;
        (...)   ...             #   }
        (...)                   # } while(houve_troca == TRUE);
        (...)                   # codigo de impressao do
                                # conteudo do array
        jr      $ra             # 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 registos
# ...
# houve_troca: $t4
# p:           $t5
# pUltimo:     $t6

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

I

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

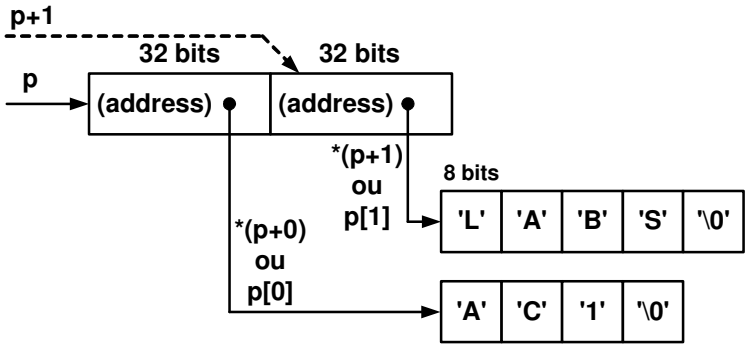
b) Reescreva o programa anterior de modo a usar acesso por ponteiros em vez de índices.

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.

II

Para além do acesso simples a *arrays*, em linguagem C os ponteiros podem ser usados em estruturas de dados mais elaboradas como a que se apresenta de seguida.

A figura seguinte apresenta esquematicamente o conceito que pode ser descrito sucintamente como um *array* de ponteiros (dois, no exemplo), cada um deles apontando para um carater (no exemplo, esse carater é o primeiro de um *array* de carateres). Se **"p"** for o ponteiro para o início do *array* de ponteiros (i.e. **"p"** é o endereço da posição zero do *array* de ponteiros), então **"p+1"** é um ponteiro para o segundo elemento desse *array*. O endereço do carater apontado pela primeira posição do *array* **"p"** será então **"*p"** e, de modo idêntico, o endereço do carater apontado pela segunda posição do *array* **"p"** será **"*(p+1)"**.



Em linguagem C esta estrutura de dados é definida do seguinte modo:

```
char *p[]={"AC1", "LABS"};     // Array de ponteiros para carater

ou,

char *p[2]={"AC1", "LABS"};    // Array de ponteiros para carater
```

1. O programa seguinte define 3 *strings*, organizadas na estrutura de dados descrita anteriormente, e imprime-as.

```
#define SIZE 3

void main(void)
{
     static char *array[SIZE]={"Array", "de", "ponteiros"};
     int i;

     for(i=0; i < SIZE; i++)
     {
          print_string(array[i]);
          print_char('\n');
     }
}
```

a) Traduza o programa para *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS.

Tradução parcial para *assembly* do MIPS:

```
# Mapa de registos
#  array:         $t0
#  i:             $t1
#  array + i:     $t2
#  array[i]:      $a0
#
          .data
array:    .word    str1,str2,str3
str1:     .asciiz  "Array"
str2:     .asciiz  "de"
str3:     .asciiz  "ponteiros"
          .eqv     print_string,4
          .eqv     print_char,11
          .eqv     SIZE,3

          .text
          .globl   main
main:     la   $t0,array         # $t0 = &(array[0]);
          li   $t1,0             # i = 0;
for:      b?? $t1,...            # while(i < SIZE) {

          (...)

endw:     jr   $ra
```

2. No programa apresentado no exercício anterior utilizou-se o modo indexado para aceder ao *array* de ponteiros. Uma implementação alternativa é apresentada de seguida onde o acesso sequencial ao *array* é efetuado por ponteiro.

```
#define SIZE 3

void main(void)
{
     static char *array[SIZE]={"Array", "de", "ponteiros"};
     char **p;
     char **pultimo;

     p = array;
     pultimo = array + SIZE;

     for(; p < pultimo; p++)
     {
          print_string(*p);
          print_char('\n');
     }
}
```

b) Traduza o programa para *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS.

3. O programa seguinte imprime as 3 strings, carater a carater (separados pelo carater '-'), usando acesso indexado.

```
#define SIZE 3

void main(void)
{
     static char *array[SIZE]={"Array", "de", "ponteiros"};
     int i, j;

     for(i=0; i < SIZE; i++)
     {
          print_string( "\nString #" );
          print_int10( i );
          print_string( ": " );
          j = 0;
          while(array[i][j] != '\0')
          {
               print_char(array[i][j]);
               print_char('-');
               j++;
          }
     }
}
```

Traduza o programa para *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS.

4. Em alguns sistemas operativos é possível executar programas em linha de comando (exemplo no S.O. linux: **`evince AC1-P-Aula5.pdf`**). Nesses casos há necessidade de passar ao programa argumentos de entrada (por exemplo o nome de um ficheiro) ou parâmetros que condicionam o modo como o programa deve executar. Para isso o conjunto de argumentos introduzidos na linha de comando (sequências de carateres separadas por um ou mais espaços) é passado para a função **`main()`** através de uma estrutura de dados idêntica à apresentada nos exercícios anteriores. Nesse caso, o protótipo da função **`main()`** passa a ser:

```
int main(int argc, char *argv[]);
```

em que **`argc`** representa o número de argumentos de entrada introduzidos na linha de comando e **`argv[]`** é um *array* de ponteiros (com dimensão **`argc`**) para as strings que representam esses argumentos.

```
int main(int argc, char *argv[])
{
     int i;
     print_string("Nr. de parametros: ");
     print_int(argc);

     for(i=0; i < argc; i++)
     {
          print_string("\nP");
          print_int(i);
          print_string(": ");
          print_string(argv[i]);
     }
     return 0;
}
```

a) Traduza o programa anterior para *assembly* do MIPS, recordando que os argumentos para a função **`main()`** são passados nos registos **`$a0`** e **`$a1`** pela ordem com que aparecem no protótipo (**`argc`** em **`$a0`** e **`argv`** em **`$a1`**).

b) Teste o programa no MARS. No MARS pode passar os argumentos para o programa através da linha "Program Arguments" disponível na janela de texto ("Text Segment").

5. Escreva um programa em linguagem C que determine e imprima no ecrã a seguinte informação relativa aos argumentos passados através da linha de comando:

- o número de carateres de cada um dos argumentos;
- o número de letras (maiúsculas e minúsculas) de cada um dos argumentos;
- a string com o maior número de carateres.

Traduza o código que escreveu na alínea anterior para *assembly* do MIPS e teste no MARS.

6. Reescreva o código C apresentado no exercício 3, de modo a efetuar o acesso sequencial aos dois *arrays* por ponteiros (use como base o código C apresentado no exercício 2). Traduza o código resultante para *assembly* do MIPS e teste no MARS.