Aula 6

- Diretivas do *assembler* do MIPS
- Introdução à utilização de ponteiros em linguagem C
- Acesso sequencial a elementos de um *array* residente em memória: acesso indexado e acesso com ponteiros

José Luís Azevedo, Bernardo Cunha, Arnaldo Oliveira, Pedro Lavrador

Diretivas do *Assembler*

- Diretivas são códigos especiais colocados num programa em linguagem *assembly* destinados a instruir o *assembler* a executar uma determinada tarefa ou função
- Diretivas **não são instruções** da linguagem *assembly* (não fazem parte do ISA), não gerando qualquer código máquina
- As diretivas podem ser usadas com diversas finalidades:
  - reservar e inicializar espaço em memória para variáveis
  - controlar os endereços reservados para variáveis em memória
  - especificar os endereços de colocação de código e dados na memória
  - definir valores simbólicos
- As diretivas são específicas para um dado *assembler* (em AC1 usaremos as diretivas definidas pelo *assembler* do simulador MARS)

Diretivas do *Assembler* do MIPS

.ASCIIZ	***str***	Reserva espaço e armazena a string *str* em sucessivas posições de memória; acrescenta o terminador **'\0' (NUL)**
.SPACE	***n***	Reserva *n* posições consecutivas (endereços) de memória, sem inicialização
.BYTE	$b_1, b_2, \ldots, b_n$	Reserva espaço e armazena os *bytes* $b_1,b_2,\ldots,b_n$ em sucessivas posições de memória
.WORD	$w_1, w_2, \ldots, w_n$	Reserva espaço e armazena as *words* $w_1,w_2,\ldots,w_n$ em sucessivas posições de memória (cada *word* em 4 endereços consecutivos)
.ALIGN	***n***	Alinha o próximo item num endereço múltiplo de 2^n
.EQV	***symbol,val***	Substitui as ocorrências de ***symbol*** no programa por ***val***

Diretivas do *Assembler* - exemplo

```
        .DATA    # 0x10010000
STR1:   .ASCIIZ  "AULA6"
ARR1:   .WORD    0x1234, MAIN
VARB:   .BYTE    0x12
        .ALIGN   2
VARW:   .SPACE   4 #space for 1 word
        .TEXT    # 0x00400000
        .GLOBL   MAIN
MAIN:
```

	0x10010017	??
	0x10010016	??
	0x10010015	??
VARW	0x10010014	??
	0x10010013	??(unused)
	0x10010012	??(unused)
	0x10010011	??(unused)
VARB	0x10010010	0x12
	0x1001000F	0x00
	0x1001000E	0x40
	0x1001000D	0x00
	0x1001000C	0x00
	0x1001000B	0x00
	0x1001000A	0x00
	0x10010009	0x12
ARR1	0x10010008	0x34
	0x10010007	??(unused)
	0x10010006	??(unused)
	0x10010005	'\0'(0x00)
	0x10010004	'6'(0x37)
	0x10010003	'A'(0x41)
	0x10010002	'L'(0x4C)
	0x10010001	'U'(0x55)
STR1	0x10010000	'A'(0x41)

- Utilizar a diretiva "**.align**" sempre que se pretender que o endereço subsequente esteja alinhado
- A diretiva "**.word**" alinha automaticamente num endereço múltiplo de 4

Linguagem C: ponteiros e endereços – o operador &

- Um **ponteiro** é uma **variável que contém o endereço de outra variável** – o acesso à 2ª variável pode fazer-se indiretamente através do ponteiro
- Exemplo:
  - **x** é uma variável (por ex. um inteiro) e **px** é um ponteiro. O **endereço da variável x** pode ser obtido através do **operador &**, do seguinte modo:

```
px = &x;  // Atribui o endereço de "x" a "px"
```

  - Diz-se que **px é um ponteiro que aponta para x**
- O operador **&** apenas pode ser utilizado com variáveis e elementos de *arrays*.
  - Exemplos de utilizações **erradas**:

```
&5;    &(x+1);
```

Ponteiros e endereços – o operador *

- O operador "*":
  - trata o seu operando como um endereço
  - permite o acesso ao endereço para obter o respetivo conteúdo
- Exemplo:

```
y = *px;  // Atribui o conteúdo da variável
          //   apontada por "px" a "y"
```

- A sequência:

```
px = &x; // px é um ponteiro para x

y = *px; // *px é o valor de x
```

Atribui a `y` o mesmo valor que: `y = x;`

Ponteiros e endereços – declaração de variáveis

- As variáveis envolvidas têm que ser declaradas
- Para o exemplo anterior, supondo que se tratava de variáveis inteiras:

```
int  x, y; // x, y - variáveis do tipo inteiro
int  *px;  // ou int* px; (ponteiro para inteiro)
           // Esta declaração apenas reserva o
           //  espaço para o ponteiro
```

- A declaração do ponteiro (**int *px;** **ou** **int* px;**) deve ser entendida como uma mnemónica e significa que **px é um ponteiro** e que o conjunto ***px é do tipo inteiro**
- Exemplos de **declarações de ponteiros**:

```
char  *p;  // p é um ponteiro para caracter
double *v; // v é um ponteiro para double
```

Manipulação de ponteiros em expressões

- Exemplo: supondo que **px** aponta para **x** (**px = &x;**), a expressão **y = *px + 1;** atribui a **y** o valor de **x** acrescido de 1
- Os ponteiros podem igualmente ser utilizados na parte esquerda de uma expressão. Por exemplo, (supondo que **px = &x;**)

```
*px = 0;          // equivalente a x=0
```

ou

```
*px = *px + 1;    // equivalente a x = x + 1
*px += 1;         // o mesmo que *px = *px + 1
(*px)++;          // o mesmo que *px = *px + 1
```

Ponteiros como argumentos de funções

- Em C os argumentos das funções são passados por valor (cópia do conteúdo da variável original)
- Isso significa que a função chamada só pode alterar diretamente o valor da cópia da variável original, isto é, uma função chamada não pode alterar diretamente o valor de uma variável da função chamadora
- Se tal for necessário, a solução reside na utilização de ponteiros
- **Exemplo**: implementar uma função para a troca do conteúdo de duas variáveis (**troca(a, b);**):
  - Se, antes da chamada à função, a=2 e b=5, então
  - Após a chamada à função: a=5 e b= 2

Ponteiros como argumentos de funções

```
void troca(int, int);

void main(void)
{
  int a, b;
   (...)

  if(a < b)
    troca(a, b);
  (...)
}
```

```
void troca(int *,int *);

void main(void)
{
  int a, b;
   (...)

  if(a < b)
    troca(&a, &b);
  (...)
}
```

```
void troca(int x, int y)
{
  int aux;
  aux = x;
  x = y;
  y = aux;
}
```

```
void troca(int *x, int *y)
{
  int aux;
  aux = *x;   // aux = a
  *x = *y;    // a = b
  *y = aux;   // b = aux
}
```

Ponteiros e *arrays*

- Sejam as declarações

```
int a[10]; // array de inteiros "a" com
           // 10 elementos
int *pa;   // ponteiro para um inteiro
int v;     // variável do tipo inteiro
```

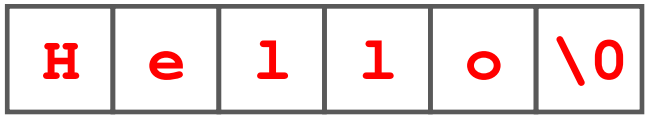
- A expressão `pa = &a[0];` atribui a `pa` o endereço do 1º elemento do *array*. Então, a expressão `v = *pa;` atribui a `v` o valor de `a[0]`
- Se `pa` aponta para um dado elemento do *array*, `pa+1` aponta para o seguinte
- Se `pa` aponta para o primeiro elemento do *array*, então `(pa+i)` aponta para o elemento `i` e `*(pa+i)` refere-se ao seu conteúdo
- A expressão `pa = &a[0];` pode também ser escrita como `pa=a;` isto é, o nome do *array* é o endereço do seu primeiro elemento

Aritmética de Ponteiros

- Se `pa` é um ponteiro, então a expressão `pa++;` incrementa `pa` de modo a apontar para o elemento seguinte (seja qual for o tipo de variável para o qual `pa` aponta)
- Do mesmo modo `pa = pa + i;` incrementa `pa` para apontar para `i` elementos à frente do elemento atual
- **A tradução das expressões anteriores para *Assembly* tem que ter em conta o tipo de variável para o qual o ponteiro aponta**
  - Por exemplo, se um inteiro for definido com 4 bytes (32 bits), então a expressão `pa++;` implica adicionar 4 ao valor atual do endereço correspondente

Exemplo 1

- Analise o código C deste e dos slides seguintes e determine o resultado produzido




```
void main(void)
{
  char s[]="Hello"; // "s" é um array de
                    // carateres (string)
                    // terminado com o
                    // carater '\0' (0x00)
  int i = 0;

  while(s[i] != '\0')
  {
    printf("%c", s[i]); // imprime carater
    i++;
  }
}
```

Exemplo 2

```
void main(void)
{
  char s[] = "Hello";
  char *p;  // Declara um ponteiro para
            //  carater (reserva espaço)
  p = s;    // Inicializa o ponteiro com
            //  endereço inicial do array
  while(*p != '\0')
  {
    printf("%c", *p); // imprime carater
    p++;    // incrementa o ponteiro
  }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- O ponteiro é depois incrementado, i.e., fica a apontar para o carater seguinte do *array*

Exemplo 3

```
void main(void)
{
   char s[] = "Hello";
   char *p1 = s; // p1 = &s[0]
   char *p2 = s; // p2 = &s[0]

   while(*p2 != '\0') p2++;
   while(p1 < p2)
   {
      printf("%c", *p1);
      p1++;
   }
}
```

- Após o primeiro "**while**" o ponteiro "**p2**" aponta para o fim da *string* (i.e., para o carater '**\0**')
- O ponteiro "**p1**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p1**); o ponteiro "**p1**" é incrementado na linha seguinte

Exemplo 4

```
void main(void)
{
  char s[] = "Hello";
  char *p = s;

  while(*p != '\0')
  {
    printf("%c", *p++);
  }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- O ponteiro "**p**" é incrementado após o acesso ao conteúdo (pós-incremento)
- Esta construção é equivalente à do exemplo 3

Exemplo 5

```
void main(void)
{
  char s[] = "Hello";
  char *p = s;
  int i;

  for(i = 0; i < 5; i++)
  {
    printf("%c", (*p)++);
  }
}
```

- O ponteiro "**p**" é usado pelo "**printf()**" para aceder ao carater a imprimir (***p**)
- A operação de incremento está a ser aplicada à variável apontada pelo ponteiro
- Neste exemplo o ponteiro "**p**" nunca é incrementado
- Qual a sequência de carateres impressa?

Acesso sequencial a elementos de um *array*

- O acesso sequencial a elementos de um *array* apoia-se em uma de duas estratégias:
  1. Acesso indexado, isto é, endereçamento a partir do nome do *array* e de um índice que identifica o elemento a que se pretende aceder:

     f = a[i];

  2. Utilização de um ponteiro (endereço armazenado num registo) que identifica em cada instante o endereço do elemento a que se pretende aceder:

     f = *pt; // com pt = endereço de a[i] (i.e. **pt = &a[i]**)

- Estas 2 formas de acesso traduzem-se em **implementações distintas** em *assembly*

Acesso sequencial a elementos de um *array*

- **Acesso indexado**
  - **f = a[i];** // Com i ≥ 0
  - Para aceder ao elemento **"i"** do *array* **"a"**, o programa começa por calcular o respetivo endereço, a partir do endereço inicial do *array*:

endereço do elemento a aceder = endereço inicial do *array* +
(índice * dimensão em *bytes* de cada posição do *array*)

- **Acesso por ponteiro**
  - **f = *pt;**
  - O endereço do elemento a aceder está armazenado num registo

endereço do elemento seguinte = endereço actual +
dimensão em *bytes* de cada posição do *array*

Exemplos de acesso sequencial a *arrays*

```
// Exemplo 1
int i;
static int array[size];

for(i = 0; i < size; i++){
    array[i] = 0;
}
```

Acesso indexado

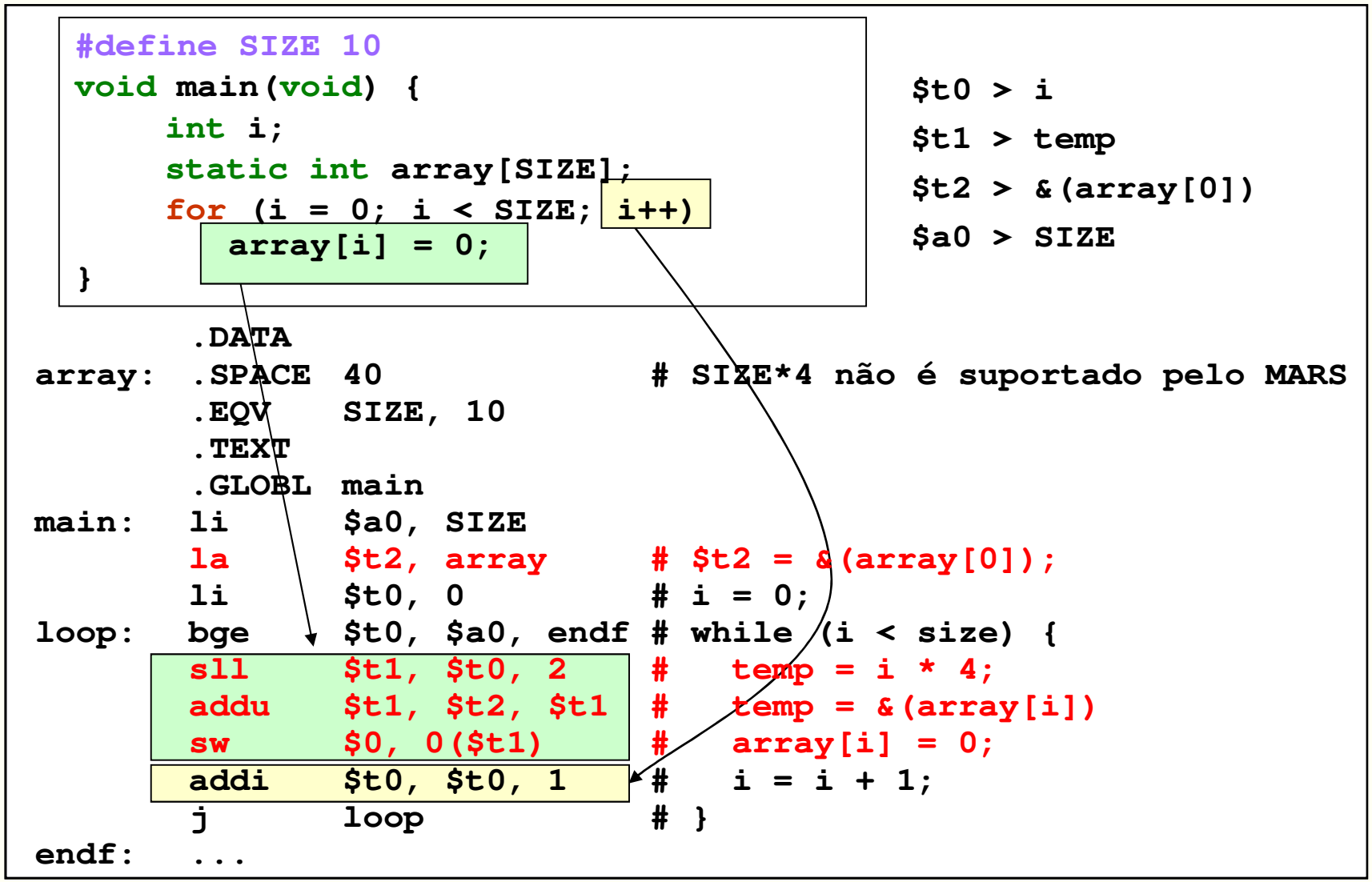
```
// Exemplo 2
int *p;
static int array[size];

for(p=&array[0];p < &array[size];p++)
{
    *p = 0;
}
```

Acesso por ponteiro

Também pode ser escrito como: `for(p=array; p < array+size; p++)`

Acesso sequencial a *arrays* – exemplo 1



Acesso sequencial a *arrays* – exemplo 2

```
#define SIZE 10
void main(void){
   int *p;
   static int array[size];
   for (p=&array[0]; p < &array[size]; p++){
     *p = 0;
}
```

```
        .DATA
array:  .SPACE  40              #SIZE * 4      $t0 > p
        .EQV    SIZE, 10                       $t1 > &(array[size])
        .TEXT                                  $a0 > size
        .GLOBL  main
main:   li      $a0, SIZE       #
        la      $t0, array      # $t0 = &(array[0]);
        sll     $t1, $a0, 2     # $t1 = size * 4;
        addu    $t1, $t1, $t0   # $t1 = &(array[size]);
loop:   bgeu    $t0, $t1, endf  # while (p < &array[size]) {
        sw      $0, 0($t0)      #     *p = 0;
        addiu   $t0, $t0, 4     #      p = p + 1;
        j       loop            # }
endf:   ...
```