

AULA PRÁTICA N.º 8

Objetivos:

- Implementação de sub-rotinas.
- Utilização da convenção do MIPS para passagem de parâmetros e uso dos registos.
- Implementação e utilização da *stack* no MIPS. Parte 2.

Guião:

1. A função seguinte converte para um inteiro de 32 bits a quantidade representada por uma *string* numérica em que cada carater representa o código ASCII de um dígito decimal (i.e., 0 - 9). A conversão termina quando é encontrado um carater não numérico.

```
unsigned int atoi(char *s)
{
    unsigned int digit, res = 0;

    while( (*s >= '0') && (*s <= '9') )
    {
        digit = *s++ - '0';
        res = 10 * res + digit;
    }
    return res;
}
```

- a) Traduza para *assembly* a função `atoi()` (não se esqueça da aplicação das regras de utilização dos registos do MIPS).

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# res:      $v0
# s:        $a0
# *s:       $t0
# digit:    $t1
# Sub-rotina terminal: não devem ser usados registos $sx
atoi:      li      $v0,0           # res = 0;
while:      lb      $t0,...         # while(*s >= ...)
            b??     ...            #
            b??     ...            # {
            sub     $t1,...         # digit = *s - '0'
            addiu   ...            # s++;
            mul     $v0,$v0,10      # res = 10 * res;
            add     ...            # res = 10 * res + digit;
            (...)   ...            # }
            jr      $ra            # termina sub-rotina
```

- b) O programa seguinte permite fazer o teste da função `atoi()`. Traduza para *assembly* e verifique o correto funcionamento da função com outras *strings*.

```
int main(void)
{
    static char str[]="2020 e 2024 sao anos bissextos";

    print_int10( atoi(str) );
    return 0;
}
```

- c) Altere a função `atoi()` de modo a processar uma *string* binária (por exemplo `atoi("101101")` deverá produzir o resultado 45). Traduza as alterações para *assembly* e teste-as.
2. A função `itoa()`, que se apresenta de seguida, determina a representação do inteiro "*n*" na base "*b*" (*b* pode variar entre 2 e 16), colocando o resultado no *array* de caracteres "*s*", em ASCII. Esta função utiliza o método das divisões sucessivas para efetuar a conversão entre a base original e a base destino "*b*": por cada nova divisão é encontrado um novo dígito da conversão (o resto da divisão inteira), esse dígito é convertido para ASCII e o resultado é colocado no *array* de caracteres. Como é conhecido, neste método de conversão o primeiro dígito a ser encontrado é o menos significativo do resultado. Assim, a última tarefa da função `itoa()` é a chamada à função `strrev()` (implementada na aula anterior) para efetuar a inversão da *string* resultado.

```
char toascii( char );
char *strrev( char *);

char *itoa(unsigned int n, unsigned int b, char *s)
{
    char *p = s;
    char digit;

    do
    {
        digit = n % b;
        n = n / b;
        *p++ = toascii( digit );
    } while( n > 0 );
    *p = '\0';
    strrev( s );
    return s;
}

// Converte o dígito "v" para o respetivo código ASCII
char toascii(char v)
{
    v += '0';
    if( v > '9' )
        v += 7; // 'A' - '9' - 1
    return v;
}
```

- a) Traduza a função `itoa()` para *assembly*¹.

¹ A função `strrev()` foi já implementada no guião anterior. De modo a simplificar a gestão do código desenvolvido, pode usar várias janelas do editor do MARS (a que correspondem outros tantos ficheiros): por exemplo, uma janela para o código a escrever da função `itoa()` e respetivo `main()` e outra janela com a função `strrev()`. Nesse caso, deverá ter em atenção o seguinte:

- No menu *settings* a opção "*Assemble all files in directory*" tem que ser ativada.
- Os nomes das funções que sejam declaradas no(s) ficheiro(s) secundário(s) (o ficheiro principal é o que tem definido o label "`main`") têm que ser declarados como globais. Por exemplo, se o ficheiro que contém a declaração dos *labels* "`strrev:`" e "`strcpy:`" é um ficheiro secundário, no topo desse ficheiro deve aparecer a seguinte diretiva:

```
.globl strrev, strcpy
```

- Apenas um ficheiro pode conter a declaração do label "`main:`".

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# n:      $a0 -> $s0
# b:      $a1 -> $s1
# s:      $a2 -> $s2
# p:      $s3
# digit:   $t0
# Sub-rotina intermédia
itoe:      addiu   $sp,...      # reserva espaço na stack
          sw      $s0,...      # guarda registos $sx e $ra
          (...)
          move    $s0,...      # copia n, b e s para registos
          (...)              # "callee-saved"
          move    $s3,$a2      # p = s;
do:        # do {
          (...)              #
          b??     $s0,...      # } while(n > 0);
          sb      $0,0($s3)    # *p = 0;
          (...)              #
          jal     strrev       # strrev( s );
          (...)              # return s;
          lw      $s0,...      # repõe registos $sx e $ra
          (...)
          addiu   $sp,...      # liberta espaço na stack
          jr      $ra          #
```

- b) O programa seguinte permite testar a função `itoe()` fazendo a conversão de um valor lido do teclado para diferentes bases. Traduza-o para *assembly*, e teste o seu funcionamento no MARS.

```
#define MAX_STR_SIZE 33

int main(void)
{
    static char str[MAX_STR_SIZE];
    int val;

    do {
        val = read_int();
        print_string( itoe(val, 2, str) );
        print_string( itoe(val, 8, str) );
        print_string( itoe(val, 16, str) );
    } while(val != 0);
    return 0;
}
```

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# str:      $s0
# val:      $s1
# O main é, neste caso, uma sub-rotina intermédia
.data
str:        .space    ...
            .eqv      STR_MAX_SIZE,...
            .eqv      read_int,...
            .eqv      print_string,...
            .text
            .globl    main
main:       addiu      $sp,...          # reserva espaço na stack
            (...)          # guarda registos $sx na stack
            sw         $ra,...         # guarda $ra na stack
do:         # do {
            li         $v0,read_int
            syscall          #
            move        $s1,$v0        # val = read_int()
            (...)          #
            b??         $s1,...        # } while(val != 0)
            li         ...            # return 0;
            (...)          # repoe registos $sx
            lw          $ra,...        # repõe registo $ra
            addiu       $sp,...        # liberta espaço na stack
            jr          $ra            # termina programa
```

- c) A função seguinte apresenta a implementação de uma função para impressão de um inteiro através da utilização da *system call* `print_str()` e da função `itoa()`. Traduza para *assembly* esta função e teste-a, escrevendo a respetiva função `main()`.

```
void print_int_acl(unsigned int val, unsigned int base)
{
    static char buf[33];

    print_string( itoa(val, base, buf) );
}
```

Exercícios adicionais

1. A função seguinte implementa o algoritmo de divisão de inteiros apresentado nas aulas teóricas (versão otimizada), para operandos de 16 bits.

```
unsigned int div(unsigned int dividendo, unsigned int divisor)
{
    int i, bit, quociente, resto;

    divisor = divisor << 16;
    dividendo = (dividendo & 0xFFFF) << 1;

    for(i=0; i < 16; i++)
    {
        bit = 0;
        if(dividendo >= divisor)
        {
            dividendo = dividendo - divisor;
            bit = 1;
        }
        dividendo = (dividendo << 1) | bit;
    }
    resto = (dividendo >> 1) & 0xFFFF0000;
    quociente = dividendo & 0xFFFF;

    return (resto | quociente);
}
```

- a) Traduza esta função para *assembly* e teste-a com diferentes valores de entrada, tendo em atenção que os operandos têm uma dimensão máxima de 16 bits.
- b) O programa anterior apresenta uma deficiência de funcionamento em situações em que o dividendo é igual ou superior a **0x8000** e o divisor é superior ao dividendo. Verifique, com um exemplo, essa situação, identifique a origem do problema e proponha uma solução, em linguagem C, para o resolver.

2. A função "**insert()**" permite inserir a *string* "**src**" na string "**dst**", a partir da posição "**pos**".

```
char *insert(char *dst, char *src, int pos)
{
    int len_dst, len_src;
    int i;
    char *p = dst;

    len_dst = strlen(dst);
    len_src = strlen(src);

    if(pos <= len_dst)
    {
        for(i = len_dst; i >= pos; i--)
            dst[i + len_src] = dst[i];
        for(i = 0; i < len_src; i++)
            dst[i + pos] = src[i];
    }
    return p;
}
```

Traduza a função anterior para *assembly* (não se esqueça de aplicar a convenção de utilização de registos).

```
# Mapa de registos:
# *dst: $a0 -> $s0
# *src: $a1 -> $s1
# pos: $a2 -> $s2
# len_dst: $s3
# len_src: $s4
# i: $s5
# *p: $s6
# dst[i + len]: $t0
# dst[i]/src[i]: $t1
```

3. O programa seguinte permite o teste da função desenvolvida no exercício anterior. Traduza esse programa para *assembly* e teste-o no MARS. Relembre que o "main()" é tratado como qualquer outra sub-rotina, no que concerne à convenção de utilização e salvaguarda de registos.

```
// Protótipos das funções usadas

int strlen(char *s); // função desenvolvida no guião anterior
char *insert(char *dst, char *src, int pos);

int main(void)
{
    static char str1[101];
    static char str2[51];
    int insert_pos;

    print_string("Enter a string: ");
    read_string(str1, 50);

    print_string("Enter a string to insert: ");
    read_string(str2, 50);

    print_string("Enter the position: ");
    insert_pos = read_int();

    print_string("Original string: ");
    print_string(str1);

    insert(str1, str2, insert_pos);

    print_string("\nModified string: ");
    print_string(str1);
    print_string("\n");
    return 0;
}
```

Exemplo de funcionamento:

```
Enter a string: Arquitadores
Enter a string to insert: tetura de Compu
Enter the position: 5
Original string: Arquitadores
Modified string: Arquitetura de Computadores
```

4. O programa seguinte preenche um *array* de inteiros com os valores introduzidos pelo utilizador, de seguida identifica os elementos repetidos desse *array* e marca-os num *array* auxiliar e, finalmente, imprime o *array* onde os elementos repetidos são impressos com o símbolo "*". Traduza esse programa para *assembly* e teste-o no MARS, aplicando a convenção de utilização e salvaguarda de registos.

```
// Marca elementos duplicados do array
void find_duplicates(int *array, int *dup_array, int size)
{
    int i, j, token;
    for(i=0; i < size; i++)
    {
        dup_array[i] = 0;
        for(j=0, token = 1; j < size; j++)
        {
            if(array[i] == array[j])
            {
                dup_array[j] = token;
                token++;
            }
        }
    }
}

#define SIZE 10

int main(void)
{
    static int array[SIZE];
    static int aux_array[SIZE];
    int i, dup_counter = 0;

    // Preenche array de inteiros
    for(i=0; i < SIZE; i++)
    {
        print_string("array[");
        print_int10(i);
        print_string("]=");
        array[i]=read_int();
    }

    // Identifica os elementos repetidos do array e
    // marca-os num array auxiliar (aux_array)
    find_duplicates(array, aux_array, SIZE);

    // Imprime array com * nos elementos repetidos
    for(i=0; i < SIZE; i++)
    {
        if(aux_array[i] >= 2)
        {
            print_string("*, ");
            dup_counter++;
        }
        else
        {
            print_int10(array[i]);
            print_string(", ");
        }
    }
    print_string("\n# repetidos: ");
    print_int10(dup_counter);
    return 0;
}
```