

Universidade Federal de Pelotas

Centro de Desenvolvimento Tecnológico Bacharelado em Ciência da Computação Engenharia de Computação

Arquitetura e Organização de Computadores I

Prática

Aula 10

Revisão

Prof. Guilherme Corrêa gcorrea@inf.ufpel.edu.br

Prof. Bruno Zatt

Assembly Estendido

Pseudo-instrução move

Atribui o valor de um registrador a outro

Exemplo: move \$t0, \$s0

Atribui (copia) o valor de \$s0 para \$t0.

Pseudo-instrução li

 Carrega no registrador destino o valor inteiro positivo ou negativo de até 32 bits

Exemplo: li \$t0, 125

Atribui o valor 125 para \$t0.

Assembly Estendido

Pseudo-instruções para acesso à memória

```
lw rd, endereco1  # carrega rd com um valor
# armazenado em endereco1

la rd, endereco2  # carrega rd com o endereço
# de memoria de endereco2

sw rd, endereco3  # escreve conteúdo de rd no
# endereço simbolico endereco3
```

Exemplo:

```
.text
lw $t0, endereco1
la $t1, endereco2
sw $t2, endereco3

.data
endereco1: .word 5
endereco2: .word 10
endereco3: .word
```

Strings

- As strings são escritas em memória, em bytes contíguos;
- Cada caractere é representado em um byte;
- Endereços são alinhados por byte;
- Codificação ASCII;
- Definimos as strings no código assembly entre aspas após .asciiz na seção de dados da memória.

Exemplo: .data

texto: .asciiz "Harry Potter"

Tabela ASCII

2 2 002 STX (start of text) 34 22 042 " " 66 42 102 B B 98 62 142 b	ır
1 1 001 SOH (start of heading) 2 2 002 STX (start of text) 3 3 21 041 6#33; ! 3 4 22 042 6#34; " 4 4 004 EOT (end of text) 5 5 005 ENQ (enquiry) 6 6 006 ACK (acknowledge) 7 7 007 BEL (bell) 8 8 010 BS (backspace) 9 9 011 TAB (horizontal tab) 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 33 21 041 6#33; ! 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 34 22 042 6#34; " 36 24 044 6#36; \$ 66 42 102 6#66; \$ 8 98 62 142 6#98; 67 43 103 6#67; \$C 99 63 143 6#99; 68 44 104 6#68; \$D 100 64 144 6#100; 69 45 105 6#69; \$E 101 65 145 6#101; 67 46 106 6#70; \$F 102 66 146 6#102; 71 47 107 6#71; \$G 103 67 147 6#103; 72 48 110 6#72; \$H 104 68 150 6#104; 73 49 111 6#73; \$I 105 69 151 6#105; 74 4A 112 6#74; \$J 106 6A 152 6#106; 75 4B 113 6#75; \$K 107 6B 153 6#107; 76 4C 114 6#78; \$N 110 6E 156 6#110; 77 4D 115 6#77; \$M 109 6D 155 6#109; 78 4E 116 6#78; \$N 110 6E 156 6#111; 79 4F 117 6#79; \$O 111 6F 157 6#111; 80 50 120 6#80; \$P 112 70 160 6#112; 81 51 121 6#81; \$O 113 71 161 6#113;	\$ 1
3 3 003 ETX (end of text) 4 4 004 EOT (end of transmission) 5 5 005 ENQ (enquiry) 6 6 006 ACK (acknowledge) 7 7 007 BEL (bell) 8 8 010 BS (backspace) 9 9 011 TAB (horizontal tab) 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 35 23 043 # # 36 24 044 \$ \$ 36 24 044 \$ \$ 36 24 044 \$ \$ 36 24 044 \$ \$ 37 25 045 % \$ 38 26 046 & \$ 39 27 047 ' ' 70 46 106 F F 102 66 146 f 71 47 107 G G 103 67 147 g 80 40 28 050 ((72 48 110 H H 104 68 150 h 73 49 111 I I 105 69 151 i 74 4A 112 J J 106 6A 152 j 75 4B 113 K K 107 6B 153 k 76 4C 114 L L 108 6C 154 l 77 4D 115 M M 109 6D 155 m 78 4E 116 N N 110 6E 156 n 79 4F 117 O 0 111 6F 157 o 80 50 120 P P 112 70 160 p 81 51 121 Q Q 81 13 103 C C 99 63 143 c 86 44 104 D D 100 64 144 d 86 44 104 D D 100 64 144 d 86 44 104 D D 100 64 144 e 86 44 104 D D 100 64 144 e 86 44 104 D D 100 64 144 e 86 44 104 D D 100 64 144 e 87 47 107 G G 103 67 147 g 87 49 111 I I 105 69 151 g 87 49 111 I I 105 69 151 g 88 100 , A*100; 89 45 105 . B 100 f g 89 45 105 , 99 011 TAB (horizontal tab) 10 40 48 830; A 10 46 44 93; A 10 46 106 F F 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 46 106 F F 10 47 107 G G 10 66 144 g 10 66 144 g 10 66 144 g 10 67 147 g 10 66 144 g 10 67 147 g 10 66 144 h 11 104 L L 10 8 6C 154 j 11 8 10 020 0 O 10 68 44; O 10 69 45 104 , 10 68 474; O 10 68 150 h 10 69 61 144 	a
4 4 004 EOT (end of transmission) 5 5 005 ENQ (enquiry) 6 6 006 ACK (acknowledge) 7 7 007 BEL (bell) 8 8 010 BS (backspace) 9 9 011 TAB (horizontal tab) 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 36 24 044 «#36; \$ 40 24 045 «#37; \$ 68 44 104 «#68; D 100 64 144 «#100; 69 45 105 «#69; E 101 65 145 «#101; 70 46 106 «#70; F 102 66 146 «#102; 71 47 107 «#71; G 103 67 147 «#103; 72 48 110 «#72; H 104 68 150 «#104; 73 49 111 «#73; I 105 69 151 «#105; 74 4A 112 «#74; J 106 6A 152 «#106; 75 4B 113 «#75; K 107 6B 153 «#107; 76 4C 114 «#76; L 108 6C 154 «#108; 77 4D 115 «#77; M 109 6D 155 «#109; 78 4E 116 «#78; N 110 6E 156 «#111; 80 50 120 «#80; P 112 70 160 «#112; 81 51 121 «#81; Q 113 71 161 «#113;	b
5 5 005 ENQ (enquiry) 6 6 006 ACK (acknowledge) 7 7 007 BEL (bell) 8 8 010 BS (backspace) 9 9 011 TAB (horizontal tab) 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 38 26 045 6#37; % 39 25 045 6#37; % 38 26 046 6#38; 6 39 27 047 6#39; ' 70 46 106 6#70; F 102 66 146 6#101; 70 46 106 6#70; F 102 66 146 6#102; 71 47 107 6#71; G 103 67 147 6#103; 72 48 110 6#72; H 104 68 150 6#104; 73 49 111 6#73; I 105 69 151 6#105; 74 4A 112 6#74; J 106 6A 152 6#106; 75 4B 113 6#75; K 107 6B 153 6#107; 76 4C 114 6#76; L 108 6C 154 6#108; 77 4D 115 6#77; M 109 6D 155 6#109; 78 4E 116 6#78; N 110 6E 156 6#110; 79 4F 117 6#79; O 111 6F 157 6#111; 80 50 120 6#80; P 112 70 160 6#112; 81 51 121 6#81; O 113 71 161 6#113;	C
6 6 006 ACK (acknowledge) 7 7 007 BEL (bell) 8 8 010 BS (backspace) 9 9 011 TAB (horizontal tab) 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 S0 (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 1 021 DC1 (device control 1) 38 26 046 a#38; a 38 26 046 a#38; a 39 27 047 a#39; b 39 27 047 a#39; b 39 27 047 a#39; b 71 47 107 a#71; G 103 67 147 a#103; 72 48 110 a#72; H 104 68 150 a#104; 73 49 111 a#73; I 105 69 151 a#105; 74 4A 112 a#74; J 106 6A 152 a#106; 75 4B 113 a#75; K 107 6B 153 a#107; 76 4C 114 a#76; L 108 6C 154 a#108; 77 4D 115 a#77; M 109 6D 155 a#109; 78 4E 116 a#78; N 110 6E 156 a#110; 79 4F 117 a#79; O 111 6F 157 a#111; 80 50 120 a#80; P 112 70 160 a#112;	d
7 7 007 BEL (bell) 39 27 047 ' ' 71 47 107 G G 103 67 147 g 8 8 010 BS (backspace) 40 28 050 ((72 48 110 H H 104 68 150 h 9 9 011 TAB (horizontal tab) 41 29 051)) 73 49 111 I I 105 69 151 i 1 B 013 VT (vertical tab) 42 2A 052 * * 43 2B 053 + + 44 112 J J 106 6A 152 j 1 B 015 CR (carriage return) 45 2D 055 - - 45 2D 055 - - 46 2E 056 . . 77 4D 115 M M 109 6D 155 m 1 B 010 020 DLE (data link escape) 48 30 060 0 0 80 50 120 P P 112 70 160 p 1 1 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 1 1 81 51 121 Q Q 113 71 161 q	e
8 8 010 BS (backspace) 40 28 050 ((72 48 110 H H 104 68 150 h 9 9 011 TAB (horizontal tab) 41 29 051)) 73 49 111 I I 105 69 151 i 105 69 151 i 115 B 013 VT (vertical tab) 42 2A 052 * * 43 112 J J 106 6A 152 j 115 B 013 VT (vertical tab) 43 2B 053 + + 44 112 J J 106 6A 152 j 115 D 015 CR (carriage return) 44 2C 054 , , 45 2D 055 - - 46 2E 056 . . 46 2E 056 . . 47 2F 057 / / 79 4F 117 O 0 111 6F 157 o 16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 0 0 80 50 120 P P 112 70 160 p 17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 1 1 81 51 121 Q 0 113 71 161 q	f
9 9 011 TAB (horizontal tab) 41 29 051 6#41;) 73 49 111 6#73; I 105 69 151 6#105; 10 A 012 LF (NL line feed, new line) 42 2A 052 6#42; * 11 B 013 VT (vertical tab) 43 2B 053 6#43; + 43 2C 054 6#44; , 75 4B 113 6#75; K 107 6B 153 6#107; 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 44 2C 054 6#44; , 76 4C 114 6#76; L 108 6C 154 6#108; 13 D 015 CR (carriage return) 45 2D 055 6#45; - 46 2E 056 6#46; . 47 2F 057 6#47; / 79 4F 117 6#79; 0 111 6F 157 6#111; 16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 6#48; 0 49 31 061 6#49; 1 81 51 121 6#81; 0 113 71 161 6#113;	
10 A 012 LF (NL line feed, new line) 42 2A 052 6#42; * 11 B 013 VT (vertical tab) 43 2B 053 6#43; + 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 44 2C 054 6#44; , 13 D 015 CR (carriage return) 45 2D 055 6#45; - 14 E 016 SO (shift out) 46 2E 056 6#46; . 15 F 017 SI (shift in) 47 2F 057 6#47; / 16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 6#48; 0 17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 6#49; 1 74 4A 112 6#74; J 106 6A 152 6#106; 75 4B 113 6#75; K 107 6B 153 6#107; 76 4C 114 6#76; L 108 6C 154 6#108; 77 4D 115 6#77; M 109 6D 155 6#109; 78 4E 116 6#78; N 110 6E 156 6#110; 79 4F 117 6#79; 0 111 6F 157 6#111; 80 50 120 6#80; P 112 70 160 6#112;	
11 B 013 VT (vertical tab) 12 C 014 FF (NP form feed, new page) 13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 43 2B 053 + + 44 2C 054 , , 45 2D 055 - - 46 2E 056 . . 47 2F 057 / / 48 30 060 0 0 49 31 061 1 1 48 113 K K 107 6B 153 k 76 4C 114 L L 108 6C 154 l 77 4D 115 M M 109 6D 155 m 78 4E 116 N N 110 6E 156 n 79 4F 117 O 0 111 6F 157 o 80 50 120 P P 112 70 160 p	
12 C 014 FF (NP form feed, new page) 44 2C 054 , ,	j
13 D 015 CR (carriage return) 14 E 016 SO (shift out) 15 F 017 SI (shift in) 16 10 020 DLE (data link escape) 17 11 021 DC1 (device control 1) 45 2D 055 - - 46 2E 056 . . 47 2F 057 / / 48 30 060 0 0 49 31 061 1 1 49 31 061 1 1 49 31 061 1 1 49 31 061 1 1 49 31 061 1 1 57 4D 115 M M 109 6D 155 m 78 4E 116 N N 110 6E 156 n 80 50 120 P P 112 70 160 p 81 51 121 Q Q 113 71 161 q	
14 E 016 S0 (shift out) 46 2E 056 .. 15 F 017 SI (shift in) 47 2F 057 / / 48 30 060 0 0 110 6E 156 n 16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 0 0 80 50 120 P P 112 70 160 p 17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 1 1 81 51 121 Q 0 113 71 161 q	1
15 F 017 SI (shift in) 47 2F 057 / / 79 4F 117 O 0 111 6F 157 o 16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 0 0 80 50 120 P P 112 70 160 p 17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 1 1 81 51 121 Q 0 113 71 161 q	m
16 10 020 DLE (data link escape) 48 30 060 0 0 80 50 120 P P 112 70 160 p 17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 1 1 81 51 121 Q 0 113 71 161 q	n
17 11 021 DC1 (device control 1) 49 31 061 6#49; 1 81 51 121 6#81; 0 113 71 161 6#113;	0
	p
18 12 022 DC2 (device control 2) 50 32 062 6#50; 2 82 52 122 6#82; R 114 72 162 6#114;	q
1 1 1 1 1 1	r
19 13 023 DC3 (device control 3) 51 33 063 3 3 83 53 123 S 5 115 73 163 s	8
20 14 024 DC4 (device control 4) 52 34 064 4 4 84 54 124 T T 116 74 164 t	t
21 15 025 NAK (negative acknowledge) 53 35 065 5 5 85 55 125 U U 117 75 165 u	u
22 16 026 SYN (synchronous idle) 54 36 066 6 6 86 56 126 V V 118 76 166 v	v
23 17 027 ETB (end of trans. block) 55 37 067 6#55; 7 87 57 127 6#87; ₩ 119 77 167 6#119;	
24 18 030 CAN (cancel) 56 38 070 & #56; 8 88 58 130 & #88; X 120 78 170 & #120;	Х
25 19 031 EM (end of medium) 57 39 071 9 9 89 59 131 Y Y 121 79 171 y	Y
26 1A 032 SUB (substitute) 58 3A 072 6#58; 90 5A 132 6#90; Z 122 7A 172 6#122;	Z
27 1B 033 ESC (escape) 59 3B 073 ; 91 5B 133 [[123 7B 173 {	{
28 1C 034 FS (file separator) 60 3C 074 < < 92 5C 134 \ \ 124 7C 174	1
29 1D 035 GS (group separator) 61 3D 075 = = 93 5D 135]] 125 7D 175 }	}
30 1E 036 RS (record separator) 62 3E 076 > > 94 5E 136 ^ ^ 126 7E 176 ~	~
31 1F 037 US (unit separator) 63 3F 077 ? 2 95 5F 137 _ 127 7F 177	DEL

Vetores

- O tamanho do vetor é definido por um inteiro (word);
- O vetor é inicializado com valores separados por vírgulas;
- Os endereços são alinhados por words.

Exemplo:

```
.data
```

```
tamanho: .word 12
```

vetor: .word 4,-2,33,52,1,17,11,7,90,-7,8,-13

Tratamento de Exceções

Instrução syscall

- Serviço especificado por um código em \$v0;
- Serviços diferentes esperam parâmetros em registradores diferentes e nem todos os serviços retornam valores.

Tratamento de Exceções

Registradores para uso em syscall

Serviço	Código (\$v0)	Argumentos	Retorno
imprime inteiro	1	\$a0 (inteiro)	-
imprime float	2	\$f12 (float)	-
imprime double	3	\$f12, \$f13 (double)	-
imprime string	4	\$a0 (endereço)	-
lê inteiro	5	-	\$v0 (inteiro)
lê float	6	-	\$f0 (float)
lê double	7	-	\$f0, \$f1 (double)
lê string	8	\$a0 (endereço) \$a1 (tamanho)	-
aloca memória	9	\$a0 (n. de bytes)	\$v0 (endereço)
sai	10	-	-

Subrotinas

Instrução jal

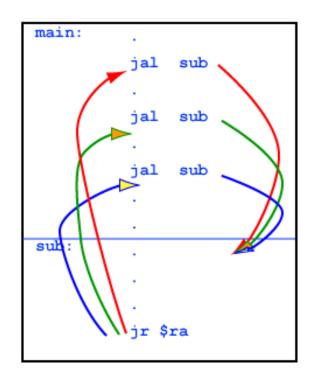
- As chamadas para subrotinas (funções) no MIPS são feitas através da instrução jal (jump and link);
- O registrador especial \$ra (\$31) recebe o endereço de retorno da subrotina;
- O endereço de retorno equivale à instrução após o delay slot.

```
jal sub  # $ra ($31) <- PC+8
# (endereço a 8 bytes da instrução jal)
# PC <- sub   PC recebe o endereço de
# entrada da subrotina
# a instrução precisa de um delay slot</pre>
```

Subrotinas

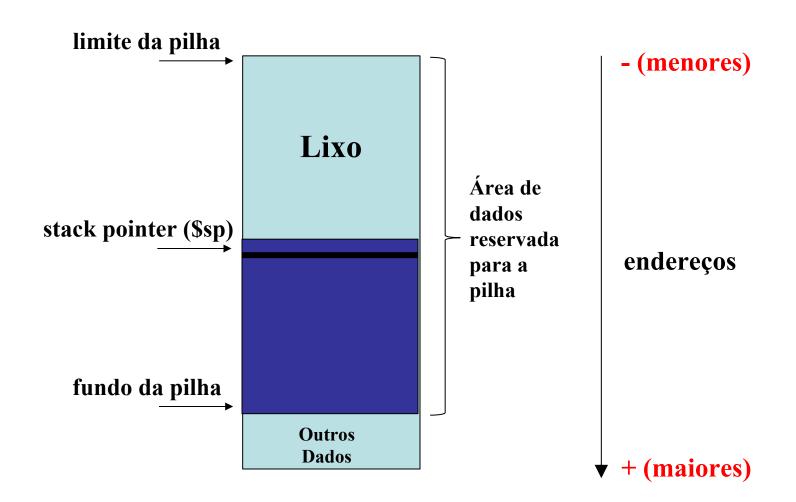
Instrução jal

- A cada chamada a subrotina (jal), \$ra recebe o endereço de retorno apropriado;
- jr \$ra (retorno da subrotina) salta para endereço após o delay slot do jal correspondente.



Correct Subroutine Linkage

Pilhas

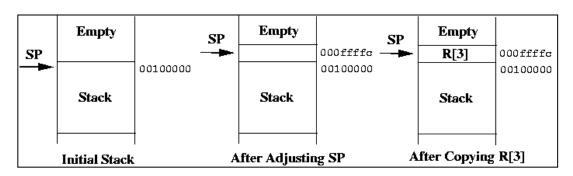


Pilhas

Operação push

- Armazena uma palavra no topo da pilha;
- Atualiza \$sp:

Escreve a palavra a ser armazenada no endereço indicado por \$sp



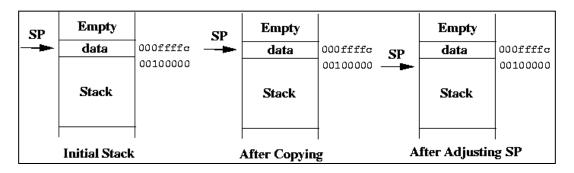
```
addi $sp,$sp,-4  # aponta para o endereço do novo item,
sw $t0,($sp)  # armazena o conteúdo de $t0 no novo topo
```

Pilhas

Operação POP

- Retira uma palavra do topo da pilha;
- Lê a palavra do endereço indicado por \$sp e salva em um registrador;
- Atualiza \$sp:

$$sp \leftarrow sp + 4$$



```
lw $t0,($sp) # Copia o item para $t0.
addi $sp,$sp,4 # Atualiza topo.
```

Pilha de Execução

Guia para utilização da pilha de execução

- Chamada da subrotina (executado pelo chamador):
 - 1. Empilhar registradores **\$t0-\$t9** que precisem ser salvos, se existirem. A subrotina pode alterá-los.
 - 2. Colocar argumentos em \$a0-\$a3.
 - 3. Chamar a subrotina usando jal.
- Prólogo da subrotina (executado no início da subrotina):
 - 4. Se a subrotina chama outras subrotinas, salvar **\$ra** na pilha.
 - Salvar na pilha os registradores \$s0-\$s7 que a subrotina venha a alterar.

Pilha de Execução

Guia para utilização da pilha de execução

- Recuperando o controle (executado pelo chamador após a subrotina):
 - 12. Desempilhar (ordem inversa) quaisquer registradores **\$t0-\$t9** que tenham sido salvos no passo 1.

Observe que este modelo suporta recursividade!