

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

Tipos de Instruções



Instruções Tipo R

opcode	rs	rt	rd	Shamt	Funct
6 bits	5 bits	5 bits	5 bits	5 bits	6 bits
Código da operação	Registrador Fonte	Registrador Fonte	Registrador Destino	Deslocamento	Código de operação secundário

Instrução C	$a = b + c;$
Linguagem de Montagem	ADD \$t0, \$s0, \$s1
Linguagem de máquina	ADD \$8, \$16, \$17
Representação	0 16 17 8 0 32
Código de Máquina	000000 10000 10001 01000 00000 100000

Instruções Tipo I

opcode	rs	rt	endereço
6 bits	5 bits	5 bits	16 bits
Código da Operação	Registrador	Registrador	Endereço de memória

Instrução C	$g = h + a[8];$
Linguagem de Montagem	LW \$t0, 8 (\$s3) ADD \$s1, \$s2, \$t0
Linguagem de Máquina	LW \$8, 8 (\$19) ADD \$16, \$17, \$8
Representação	35 8 19 8 0 17 8 16 0 32
Código de Máquina	100011 010000 10011 0000 0000 0000 1000 000000 10001 01000 10000 00000 100000

Instruções Tipo J

opcode	rs	endereço
6 bits	5 bits	21 bits
Código da operação	Registrador	Endereço de memória

Instrução C	EXIT, ELSE, ou algum outro label, ou retorno de função
Linguagem de Montagem	JR \$t0
Linguagem de máquina	JR \$8
Representação	0 8 8
Código de Máquina	000000 01001 00000 00000 00000 001000

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

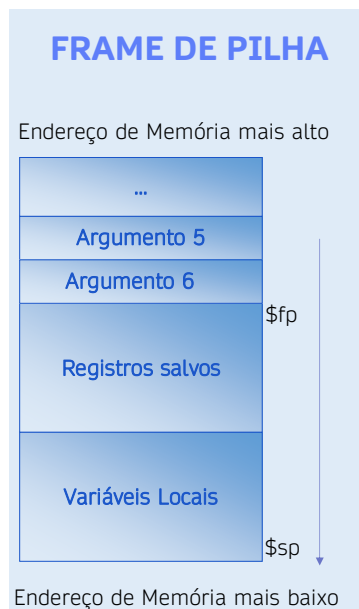
Registradores e Memória



opcode	Operação básica da instrução
rs	Registrador do primeiro operando fonte
rt	Registrador do segundo operando fonte
rd	Registrador do operando destino
shamt	Shift amount, em português, quantidade de deslocamento. Utilizado em algumas instruções lógicas
funct	Função ou código de função. É um código variante do opcode. Utilizado em algumas instruções aritméticas.

Registrador	Decimal	Binário	Uso
\$t0	8	001 000	Registradores temporários. Não preservados pela chamada.
\$t1	9	001 001	
\$t2	10	001 010	
\$t3	11	001 011	
\$t4	12	001 100	
\$t5	13	001 101	
\$t6	14	001 110	
\$t7	15	001 111	
\$s0	16	010 000	Registradores temporários salvos. Preservados pela camada.
\$s1	17	010 001	
\$s2	18	010 010	
\$s3	19	010 011	
\$s4	20	010 100	
\$s5	21	010 101	
\$s6	22	010 110	
\$s7	23	010 111	

Registrador	Decimal	Binário	Uso
\$zero	0	000 000	Constante zero
\$at	1	000 001	Montador
\$v0	2	000 010	Avaliação de expressão e resultados de função
\$v1	3	000 011	
\$a0	4	000 100	Argumentos de Função
\$a1	5	000 101	
\$a2	6	001 110	
\$a3	7	000 111	
\$k0	26	011 010	Reservado para o Kernel do S.O.
\$k1	27	011 011	
\$gp	28	011 100	Global pointer
\$sp	29	011 101	Stack pointer
\$fp	30	011 110	Frame pointer
\$ra	31	011 111	Endereço de retorno da função



- 32 registradores de propósito geral;
- **HI e LO**: registradores de propósito especial para guardar resultados de divisão e multiplicação de inteiros e outras operações acumuladoras;
- **PC**: counter program, ou contador de programa, registrador de propósito especial;

4 co-processadores:

- CP0: cpu, sistema de controle; memória virtual, execuções;
- CP1: ponto flutuante; Coprocessor 2 (CP2) is available for specific implementations;
- CP2: implementações específicas
- CP3: ponto flutuante mips 64 bits

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

Modos de Endereçamento e Instruções

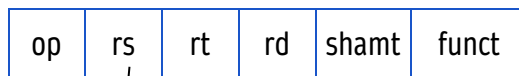


Imediato



O operando é uma constante dentro da própria instrução.

Registrador



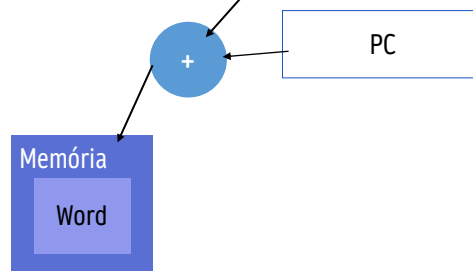
Registrador

O operando é um registrador

- Instruções MIPS possuem endereços em BYTES
- Os endereços das palavras sequenciais diferem em 4
- MIPS é Big Endian

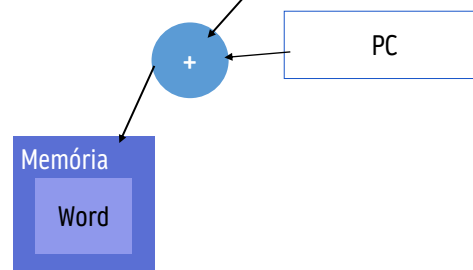
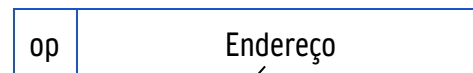
20 000
20 004
20 008
20 012
20 016

Relativo ao PC



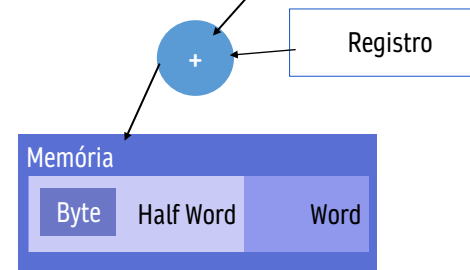
O endereço de desvio é a soma do PC e uma constante na instrução

Pseudodireto



O endereço de jump são os 26 bits da instrução concatenados com os bits mais altos do PC

Base



O operando está no local de memória cujo endereço é a soma de um registrador e uma constante na instrução

Instruções Implementadas

- Aritméticas, Lógicas e Relacionais;
- Desvios condicionais e incondicionais;
- Manipulação de operandos constantes e imediatos;
- Tratamento de Exceções e Interrupções;
- Carga e Armazenamento;
- Transferência de dados;
- Ponto Flutuante.

Principais Instruções

Instrução	Código
Add	(32) ₁₀ (20) ₁₆
addi	(08) ₁₀ (08) ₁₆
addiu	(09) ₁₀ (09) ₁₆
And	(36) ₁₀ (24) ₁₆
beq	(04) ₁₀ (04) ₁₆
bne	(05) ₁₀ (05) ₁₆
div	(26) ₁₀ (1A) ₁₆
divu	(27) ₁₀ (1B) ₁₆
j	(02) ₁₀ (02) ₁₆
jr	(8) ₁₀ (8) ₁₆
lw	(35) ₁₀ (23) ₁₆
mult	(24) ₁₀ (18) ₁₆
Nor	(39) ₁₀ (27) ₁₆
Or	(37) ₁₀ (25) ₁₆
sll	(0) ₁₀ (0) ₁₆
Slt	(42) ₁₀ (2A) ₁₆
sra	(2) ₁₀ (2) ₁₆
Sub	(34) ₁₀ (22) ₁₆
subu	(35) ₁₀ (23) ₁₆
sw	(43) ₁₀ (2B) ₁₆
Xor	(38) ₁₀ (26) ₁₆

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

BNE, BEQ, SLT e SLTI



Passo a passo: conversão ALTO NÍVEL para ASSEMBLY

1. Converter a instrução de alto nível para Linguagem de Montagem;
2. Converter a instrução na Linguagem de Montagem para Linguagem de Máquina;
3. Fazer a representação correspondente da Linguagem de Máquina;
4. Converter a representação da Linguagem de Máquina para Código de Máquina.

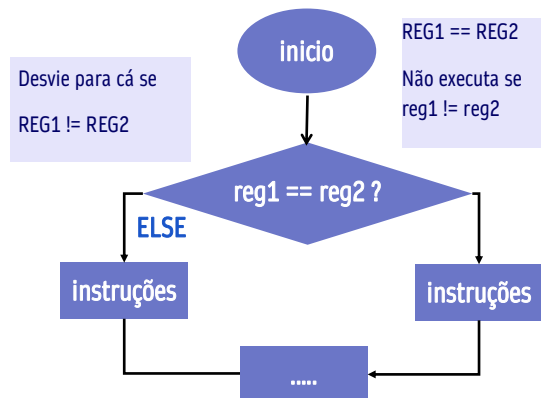
Passo a passo: conversão ASSEMBLY para ALTO NÍVEL

1. Converter o Código de Máquina para a Representação;
2. Converter a Representação em Linguagem de Máquina;
3. Converter a Linguagem de Máquina para Linguagem de Montagem;
4. Converter Linguagem de Montagem para instrução de alto nível;

BNE: BRANCH IF NOT EQUAL

Desvie se não for igual. Testa uma desigualdade. A próxima instrução a ser executada é aquela que estiver armazenada no endereço do LABEL se o valor no registrador 1 não for igual ao valor no registrador 2.

BNE REG1, REG2, ELSE # vá para ELSE se REG1 != REG2



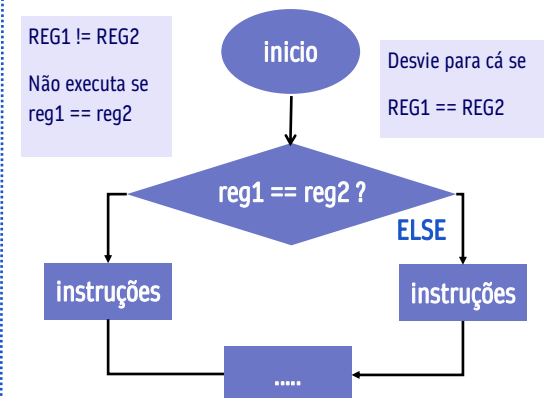
Cálculo do endereço relativo da memória

- Instruções de desvio acrescentam X palavras, ou X bytes, ao endereço da instrução seguinte à si mesma;
- Especificam o destino do desvio em relação à instrução seguinte e não em relação à instrução de desvio ou ao uso do endereço de destino completo

BEQ: BRANCH IF EQUAL

Desvie se for igual. Testa uma igualdade. A próxima instrução a ser executada é aquela que estiver armazenada no endereço do LABEL se o valor no registrador 1 for igual ao valor no registrador 2.

BEQ REG1, REG2, ELSE # vá para ELSE se REG1 == REG2



Exemplo:

```

80000 bne $s3, $s4, Else
80004 add $s0, $s1, $s2 # instrução seguinte à bne
80008 j Exit             # + 2 palavras ou 8 bytes
                        # 80008 + 4 = 80012

80012 ELSE: sub $s0, $s1, $s2
80016 Exit:           # endereço completo 20004 * 4
  
```

SLT: SET ON LESS THAN

Compara dois valores de dois registradores diferentes. Atribui o valor 1 a um terceiro registrador se o valor do primeiro registrador for menor que o valor do segundo registrador. Caso contrário, atribui zero.

SLT REG3, REG1, REG2

REG3 = 1 se REG1 < REG2

REG3 = 0 se REG1 > REG2

SLTI: SET ON LESS THAN IMMEDIATE

Compara o valor de um registrador com um valor constante ou imediato. Atribui o valor 1 a um terceiro registrador se o valor do primeiro registrador for menor que o valor do segundo registrador. Caso contrário, atribui zero.

SLTI REG3, REG1, VALOR

REG3 = 1 se REG1 < VALOR

REG3 = 0 se REG1 > VALOR

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

LOAD WORD e STORE WORD



LOAD WORD	STORE WORD	EXEMPLO 3: LOAD E STORE	EXEMPLO 4: ÍNDICE VARIÁVEL
Transfere dados da memória para o registrador	Transfere dados do registrador para a memória	<u>Instrução:</u>	<u>Instrução:</u>
LW REG1, valor (REG2) # REG1 = memória [REG2 + valor]	SW REG1, valor (REG2) # memória [REG2 + valor] = REG1	$g[2] = h + a[4];$	$g = h + a[i];$
<u>EXEMPLO 1: LOAD</u>	<u>EXEMPLO 2: STORE</u>	<u>Linguagem de montagem:</u>	<u>Linguagem de montagem:</u>
<u>Instrução:</u>	<u>Instrução:</u>	LW \$t0, 16 (\$s0)	ADD \$t0, \$s3, \$s3 # 2*i
$g = h + a[8];$	$g[8] = h + a;$	ADD \$s2, \$s1, \$t0	ADD \$t0, \$t0, \$t0 # 4*i
* multiplicar 8 por 4 devido à restrição de alinhamento	* multiplicar 8 por 4 devido à restrição de alinhamento	SW \$t1, 4 (\$s2)	ADD \$t0, \$t0, \$s2 # $a[i] = (4*i + \$s2)$
<u>Linguagem de montagem:</u>	<u>Linguagem de montagem:</u>	<u>Linguagem de máquina:</u>	<u>Linguagem de máquina:</u>
LW \$t0, 32(\$s3)	ADD \$t0, \$s1, \$t0	LW \$8, 16 (\$16)	ADD \$s0, \$s1, \$t1 # $g = h + a[i]$
ADD \$s0, \$s1, \$t0	SW \$t0, 32(\$s0)	ADD \$18, \$17, \$8	<u>Representação:</u>
<u>Linguagem de máquina:</u>	<u>Linguagem de máquina:</u>	SW \$9, 4 (\$18)	ADD \$8, \$19, \$19 # 2*i
LW \$8, 32 (\$19)	ADD \$8, \$17, \$8	<u>Representação:</u>	ADD \$8, \$8, \$8 # 4*i
ADD \$16, \$17, \$8	SW \$8, 32 (\$16)	35 8 16 16	ADD \$8, \$8, \$18 # $a[i] = (4*i + \$s2)$
<u>Representação:</u>	<u>Representação:</u>	0 8 18 17 0 32	LW \$9, 0(\$8) # \$t1 = a[i]
35 8 19 32	0 8 17 8 0 32	43 9 18 4	ADD \$16, \$17, \$9 # $g = h + a[i]$
0 17 8 16 0 32	43 8 16 32	<u>Código de Máquina:</u>	<u>Representação:</u>
<u>Código de Máquina:</u>	<u>Código de Máquina:</u>	100011 01000 10000 00000 00000 10000	0 19 19 8 0 32
100011 01000 10011 00000 00000 100000	000000 01000 10001 01000 00000 100000	000000 01000 10010 10001 00000 100000	0 8 8 8 0 32
000000 10001 01000 10000 00000 100000	101011 01000 01000 00000 00000 100000	101011 01001 10010 00000 00000 000100	0 8 18 8 0 32
			35 9 8 0

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

Controle de Programa e Array



IF SIMPLES	IF COMPOSTO	FOR	WHILE	.text
<p>Instrução: if (a==b){ c = a + b }</p> <p><u>Resolução:</u></p> <p>Se a ==b então execute a instrução c = a + b, caso contrário, sai do if. O desvio só vai acontecer se a != b, caso contrário não tem desvio!!! Portanto, Se (a==b) entra no if e se (a!=b) vai para EXIT (desvia).</p> <p><u>Linguagem de Montagem:</u></p> <pre> BNE \$s0, \$s1, EXIT ADD \$t0, \$s0, \$s1 J EXIT </pre> <p><u>Linguagem de Máquina:</u></p> <pre> BNE \$16, \$17, EXIT ADD \$8, \$16, \$17 J EXIT </pre> <p><u>Representação:</u></p> <pre> 5 16 17 EXIT 0 16 17 8 0 32 2 [endereço] </pre> <p><u>Código:</u></p> <pre> 000101 10000 10001 [endereço] 000000 10000 10001 01000 00000 100000 000010 [endereço] </pre>	<p>Instrução: if (a==b) { c = a + b } else { c = a - b }</p> <p><u>Resolução:</u></p> <p>Se a ==b então execute a instrução c = a + b, caso contrário, execute a instrução c = a - b.</p> <p><u>Linguagem de Montagem:</u></p> <pre> BNE \$s0, \$s1, ELSE ADD \$t0, \$s0, \$s1 J EXIT ELSE SUB \$t0, \$s0, \$s1 </pre> <p><u>Linguagem de Máquina:</u></p> <pre> BNE \$16, \$17, EXIT ADD \$8, \$16, \$17 J EXIT ELSE SUB \$8, \$16, \$17 </pre> <p><u>Representação:</u></p> <pre> 5 16 17 EXIT 0 16 17 8 0 32 2 [endereço] ELSE 0 16 17 8 0 34 </pre> <p><u>Código:</u></p> <pre> 000101 10000 10001 [endereço] 000000 10000 10001 01000 00000 100000 000010 [endereço] 240000 10000 10001 01000 00000 100010 </pre>	<p>Instrução:</p> <pre> for(indice=0; indice<10; indice++) { soma = Vetor[indice] + soma; } </pre> <p><u>Resolução:</u></p> <p>LOOP:</p> <pre> # t0 = 0 se \$s0 >= \$s3 (i >= n), t0 = 1 caso contrário SLT \$t0, \$s0, \$s3 # se \$s0 >= \$s3 (i >= n) vá para EXIT BEQ \$t0, \$zero, EXIT # \$t1 = 4 * i, ou 4 * \$s0 SLL \$t1, \$s0, 2 # t2 = (vetor + (4 * i)) ADD \$t2, \$s4, \$t1 # \$t3 = vetor[i], carregando o elemento do índice i LW \$t3, 0(\$t2) # somando os elementos (soma = soma + vetor[i]) ADD \$s1, \$s1, \$t3 # \$s0 = \$s0 + 1 (ou i = i + 1) é o contador ADDI \$s0, \$s0, 1 # volta para o LOOP EXIT J LOOP </pre>	<p>Instrução:</p> <pre> while(save[i] == k) { i += 1; } </pre> <p><u>Resolução:</u></p> <p>LOOP:</p> <pre> SLL \$t1, \$s3, 2 # \$t1 = 4 * i ADD \$t1, \$t1, \$s6 # \$t1 = (4i + \$s6) LW \$t0, 0(\$t1) # \$t0 = save[i] # vá para EXIT se save[i] diferente de k BNE \$t0, \$s5, EXIT ADDI \$s3, \$s3, 1 # \$s3 = \$s3 + 1 (ou i = i + 1) J LOOP # volta para o LOOP EXIT: </pre> <p>ARRAY</p> <p>Instrução</p> <pre> int c[15] = {3, 0, 1, 2, -6, -2, 4, 10, 3, 7, 8, -9, -15, -20, -87, 0}; int a = 0, b = 30; a = b + c[10]; </pre> <p><u>Resolução:</u></p> <p>.data</p> <pre> c: .word 3, 0, 1, 2, -6, -2, 4, 10, 3, 7, 8, -9, -15, -20, -87, 0 </pre>	<p># determinando o valor para \$s1 (b)</p> <pre> LI \$s1, 30 </pre> <p># colocando o endereço do array em \$s2</p> <pre> LA \$s2, [Endereço. Exemplo: 80008] </pre> <p># colocando o índice do array em \$t2</p> <pre> LI \$t2, 10 </pre> <p>ADD \$t2, \$t2, \$t2 # "2i"</p> <p>ADD \$t2, \$t2, \$t2 # "4i"</p> <p># combinando os dois componentes do endereço</p> <pre> ADD \$t1, \$t2, \$s2 </pre> <p># obtendo o valor da célula do array</p> <pre> LW \$t0, 0(\$t1) </pre> <p># executando a soma</p> <pre> ADD \$s0, \$s1, \$t0 </pre> <p>* podemos usar a instrução SLL no lugar dos dois ADD para calcular o endereço:</p> <pre> SLL reg1, reg2, 2 # \$t1 = 4 * i </pre>

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

Controle de Programa e Procedimentos



SWTICH/CASE	# \$t4 = base address of the jump table	PROCEDIMENTOS	
Instrução: switch (k) { case 0: f = i + j; // k = 0 break; case 1: f = g + h; // k=1 break; case 2: f = g - h; // k = 2 break; case 3: f = i - j; // k = 3 break; } Resolução: .data jTable: .word L0,L1,L2,L3 .text # Definindo as variáveis: carregando valores para testar o código! LI \$s1, 15 # g = \$s1 = 15 LI \$s2, 20 # h = \$s2 = 20 LI \$s3, 10 # i = \$s3 = 10 LI \$s4, 5 # j = \$s4 = 5 LI \$s5, -1 # k = \$s5 = 2	LA \$t4, jTable # Verificando os limites dos casos SLT \$t3, \$s5, \$zero BNE \$t3, \$zero, EXIT SLTI \$t3, \$s5, 4 BEQ \$t3, \$zero, EXIT # Calculando o endereço correto do Label SLL \$t1, \$s5, 2 ADD \$t1, \$t1, \$t4 LW \$t0, 0(\$t1) JR \$t0 # Seleção do Label # Casos L0: ADD \$s0, \$s3, \$s4 J EXIT L1: ADD \$s0, \$s1, \$s2 J EXIT L2: SUB \$s0, \$s1, \$s2 J EXIT L3: SUB \$s0, \$s3, \$s4 EXIT:	Instrução: int exemplo (int g, int h, int i, int j) { int f; f = (g + h) - (i + j); return f; } Resolução: .text LI \$a0, 15 # g = \$a0 = 15 LI \$a1, 20 # h = \$a1 = 20 LI \$a2, 10 # i = \$a2 = 10 LI \$a3, 5 # j = \$a3 = 5 EXEMPLO: # salva os registradores temporários usados pelo corpo da função ADDI \$sp, \$sp, -12 SW \$t1, 8 (\$sp) SW \$t0, 4 (\$sp) SW \$s0, 0 (\$sp) # corpo da função ADD \$t0, \$a0, \$a1 # (g + h) = 15 + 20 = 35 ADD \$t1, \$a2, \$a3 # (i + j) = 10 + 5 = 15 SUB \$s0, \$t0, \$t1 # (g + h) - (i + j) = 35 - 15 = 5	ADD \$v0, \$s0, \$zero # retorno da função f (\$v0 = \$s0 + 0) LW \$s0, 0 (\$sp) # restaura o registrador para o caller LW \$t0, 4 (\$sp) # restaura o registrador para o caller LW \$t1, 8 (\$sp) # restaura o registrador para o caller ADDI \$sp, \$sp, 12 # ajusta a pilha para excluir os 3 itens JR \$ra # volta para o endereço de retorno

Registradores para manipular procedimentos:

- \$a0 até \$a3: são os registradores de argumentos utilizados para a passagem de parâmetros;

- \$v0 e \$v1: são os registradores de valor utilizados para o retorno do procedimento;

- \$ra: é o registrador de endereço de retorno do procedimento, utilizado na volta ao ponto de origem da chamada do procedimento.

JAL: é uma instrução de salto (jump) utilizada unicamente para os procedimentos (jump and link). Essa instrução desvia para um endereço e, ao mesmo tempo, salva o endereço da instrução seguinte no registrador de endereço de retorno.

JR: uma instrução de desvio incondicional para o endereço especificado em um registrador; ela volta ao endereço de retorno correto que é armazenado em \$ra.

CALLER: é o programa que chama o procedimento, fornecendo os valores dos parâmetros.

CALLEE: é um procedimento que executa uma série de instruções armazenadas com base nos parâmetros fornecidos pelo Caller e depois retorna o controle para o Caller novamente.

SPILLED REGISTERS: é o processo de colocar variáveis menos utilizadas na memória

PILHA: gerencia as chamadas e retornos de procedimentos

STACK POINTER: é um valor que indica o endereço alocado mais recentemente em uma pilha, mostrando onde devem ser localizados os valores antigos dos registradores e onde os Spilled Registers devem ser armazenados.

PUSH: coloca palavras para cada registrador salvo ou restaurado na pilha. Valores são colocados na pilha pela subtração do valor do Stack Pointer.

POP: remove palavras da pilha. Valores são retirados da pilha pela soma do valor do stack pointer.

MIPS 32 BITS CHEAT SHEET

Outras informações



MEMÓRIA

- Segmento de texto:

+ É o segmento de memória que mantém as instruções do programa, começa no endereço 400000 hexa. O código em linguagem de máquina para rotinas no arquivo de origem é mantido aqui.

- Segmento de dados:

+ A representação binária dos dados no arquivo de origem é mantida aqui.

+ Dados dinâmicos: são alocados pelo programa enquanto ele é executado.

+ Dados estáticos: são os objetos cujo tamanho é conhecido pelo compilador e cujo tempo de vida é a execução inteira do programa

- Segmento de pilha:

+ O tamanho máximo da pilha de um programa não é conhecido antecipadamente

+ Conforme a pilha vai crescendo, o sistema operacional vai expandindo o segmento de pilha em direção ao segmento de dados.

DIRETIVAS DO MONTADOR

.text: define um bloco de instruções.

.data: define um bloco de dados.

.align n: define que os itens nas linhas seguintes devem ser alinhados em um limite de 2n bytes, por exemplo,

.align 2 indica que o próximo item deverá estar em um limite da palavra.

.globl "nome": indica que nome é um símbolo global e deve ser visível ao código armazenado em outros arquivos, sendo nome o nome que você define.

.asciiz: armazena uma string terminada em nulo na memória.

CHAMADAS DO SISTEMA				
Serviço	Código	Argumentos	Resultado	Observações
print_int	1	\$a0 = integer		Recebe um inteiro e o imprime no console
print_float	2	\$f12 = float		Imprime um único número de ponto flutuante
print_double	3	\$f12 = double		Imprime um número de precisão dupla
print_string	4	\$a0 = string		Recebe um ponteiro para uma string terminada em nulo e a escreve no console
read_int	5		Integer em \$v0	Leem uma linha inteira da entrada incluindo o caractere de newline. Caracteres após o número são ignorados
read_float	6		Float em \$f0	
read_double	7		Double em \$f0	
read_string	8	\$a0 = buffer		Igual a fgets do UNIX
		\$a1 = tamanho		
sbrk	9	\$a0 = valor	Endereço em \$v0	Retorna um ponteiro para um bloco de memória contendo n bytes adicionais
exit	10			Interrompe o programa que está sendo executado
print_char	11	\$a0 = char		Escreve um único caractere
read_char	12		Char em \$v0	Le um único caractere
open	13	\$a0 = nome de arquivo (string)	Descritor de arquivo em \$a0	Chamadas da biblioteca padrão do UNIX
		\$a1 = flags		
		\$a2 = modo		
read	14	\$a0 = descritor de arquivo	Número de caracteres lidos em \$a0	
		\$a1 = buffer		
		\$a2 = tamanho		
write	15	\$a0 = descritor de arquivo	Número de caracteres escritos em \$a0	
		\$a1 = buffer		
		\$a2 = tamanho		
close	16	\$a0 = descritor de arquivo		