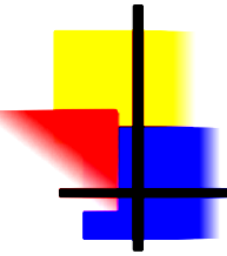


# Introdução

- Linguagem de Máquina
  - Conjunto de Instruções
  - Variáveis em Assembly: Registradores
  - Adição e Subtração em Assembly
  - Acesso à Memória em Assembly
- Objetivos
  - Facilitar a construção do hardware e compiladores
  - Maximizar a performance.
  - Minimizar o custo.
- Instruções: MIPS (NEC, Nintendo, Silicon Graphics, Sony).

# Projeto de Assembly: Conceitos Chaves

- Linguagem Assembly é essencialmente suportada diretamente em hardware, portanto ...
- Princípio 1: Simplicidade favorece Regularidade.
  - Ela é mantida bem simples!
  - Limite nos tipos de operandos
  - Limite no conjunto de operações que podem ser feitas no mínimo absoluto
    - Se uma operação pode ser decomposta em uma mais simples, não a inclua (a complexa)

# Todo computador: ops. Aritméticas

- MIPS: add a,b,c # a ← b + c
  - nota: os nomes reais dos operadores não são a, b e c. Serão vistos em Breve.
- Instruções são mais rígidas que em lin. de alto nível
  - MIPS: sempre 3 operandos.
- Exemplo: somar variáveis b, c, d, e, colocando a soma em a:

# Todo computador: ops. Aritméticas

- MIPS: add a,b,c # a ← b + c
  - nota: os nomes reais dos operadores não são a, b e c. Serão vistos em Breve.
- Instruções são mais rígidas que em lin. de alto nível
  - MIPS: sempre 3 operandos.
- Exemplo: somar variáveis b, c, d, e, colocando a soma em a:

```
add a,b,c        # a = b+c
add a,a,d        # a = b+c+d
add a,a,e        # a = b+c+d+e
```

# Todo computador: ops. Aritméticas

- MIPS: add a,b,c # a ← b + c
  - nota: os nomes reais dos operadores não são a, b e c. Serão vistos em Breve.
- Instruções são mais rígidas que em lin. de alto nível
  - MIPS: sempre 3 operandos.
- Exemplo: somar variáveis b, c, d, e, colocando a soma em a:

```
add a,b,c        # a = b+c
add a,a,d        # a = b+c+d
add a,a,e        # a = b+c+d+e
```

- Símbolo # → Comentário (até o fim da linha).
- Exemplo: C → Assembly.

```
a = b + c;
d = a - e;
```

- Em MIPS:

# Todo computador: ops. Aritméticas

- MIPS: add a,b,c # a ← b + c
  - nota: os nomes reais dos operadores não são a, b e c. Serão vistos em Breve.
- Instruções são mais rígidas que em lin. de alto nível
  - MIPS: sempre 3 operandos.
- Exemplo: somar variáveis b, c, d, e, colocando a soma em a:

```
add a,b,c        # a = b+c
add a,a,d        # a = b+c+d
add a,a,e        # a = b+c+d+e
```

- Símbolo # → Comentário (até o fim da linha).
- Exemplo: C → Assembly.

```
a = b + c;
d = a - e;
```

- Em MIPS:

```
add a,b,c        # a=b+c
sub d,a,e        # d=a-e
```

# Variáveis Assembly: Registradores (1/3)

- Diferente de LAN, assembly não pode usar variáveis.
  - Por que não? Manter o Hardware simples
- Operandos Assembly são registradores
  - Número limitado de localizações especiais construídas diretamente no hardware
  - Operações podem somente ser realizadas nestes!
- Benefício: Como registradores estão diretamente no hardware, eles são muito rápidos.

# Variáveis Assembly: Registradores (2/3)

- Desvantagem: Como registradores estão em hardware, existe um número predeterminado deles.
  - Solução: código MIPS deve ser muito cuidadosamente produzido para usar eficientemente os registradores.
- 32 registradores no MIPS
  - Por que 32?
  - Princípio 2: Menor é mais rápido (> no. reg → > ciclo clock)
- Cada registrador MIPS tem 32 bits de largura
  - Grupos de 32 bits chamados uma palavra (word) no MIPS

# Variáveis Assembly: Registradores (3/3)

- Registradores são numerados de 0 a 31
- Cada registrador pode ser referenciado por número ou nome.
  - Por convenção, cada registrador tem um nome para facilitar a codificação - nomes: iniciam em "$"
- Por agora:

$16 - $22 .....$s0 - $s7 (corresponde a variáveis C)

$8 - $15 .....$t0 - $t7 (corresponde a registradores temporários)

- Em geral, utilize nomes de registradores para tornar o código mais fácil de ler.

# Comentários em Assembly

- Outro modo de tornar o seu código mais claro: comente!
- Hash (#) é utilizado para comentários MIPS
  - Qualquer coisa da marca hash (#) ao final da linha é um comentário e será ignorado.
- Nota: Diferente do C.
  - Comentários em C tem a forma /* comentário */, de modo que podem ocupar várias linhas.

# Instruções Assembly

- Em linguagem assembly, cada declaração (chamada uma Instruction), executa exatamente uma de uma lista pequena de comandos simples
- Diferente de C (e da maioria das outras linguagem de alto nível), onde cada linha pode representar múltiplas operações.

# Adição e Subtração (1/3)

- Sintaxe de Instruções:

  1 2,3,4

  onde:

  1) operação por nome

  2) operando recebendo o resultado ("destino")

  3) 1º operando da operação ("fonte 1")

  4) 2º operando da operação ("fonte 2")

- Sintaxe é rígida:
  - 1 operador, 3 operandos
  - Por quê? Manter o Hardware simples via regularidade

# Adição e Subtração

- em C: `f = (g + h)`
- Adição em Assembly (MIPS)

# Adição e Subtração

- em C: `f = (g + h)`
- Adição em Assembly (MIPS)

**Parte 1 – Função do compilador**

**Associar as variáveis aos registradores**

**f** → **$S0**

**g** → **$S1**

**h** → **$S2**

**A escolha se dá de acordo com os registradores livres. Procuraremos associar variáveis aos registradores do tipo S.**

# Adição e Subtração

- em C: `f = (g + h)`
- Adição em Assembly (MIPS)

**f -> $S0**
**g -> $S1**
**h -> $S2**

**Parte 2 – construir o programa**

```
# inicio

add $S0, $S1, $S2        # f=g+h

# fim
```

# Adição e Subtração (2/3)

- em C: `f = (g + h) - (i + j);`
- Adição em Assembly (MIPS)

# Adição e Subtração (2/3)

- em C: `f = (g + h) - (i + j);`
- Adição em Assembly (MIPS)
  - `add $t0,$s1,$s2 # t0=s1+s2=(g + h)`
  - `add $t1,$s3,$s4 # t1=s3+s4=(i + j)`
    - Reg. Temporários: `$t0,$t1`
    - Variáveis `$s1,$s2,$s3,$s4` estão associados com as variáveis `g,h,i,j`
- Subtração em Assembly
  - `sub $s0,$t0,$t1 # s0=t0-t1=(g + h)-(i + j)`
    - Reg. Temporários: `$t0,$t1`
    - Variável `$s0` está associada com a variável f

# Adição e Subtração (3/3)

- Como fazer a seguinte declaração C?

```
a = b + c + d - e;
```

# Adição e Subtração (3/3)

- Como fazer a seguinte declaração C?

```
a = b + c + d - e;
```

- Quebre em múltiplas instruções

```
add $T0, $S1, $S2       #  t0 = b + c
add $T1, $T0, $S3       #  t1 = t0 + b

sub $S0, $T1, $S4       #  a = t1 – c
```

- Nota: Uma linha de C pode resultar em várias linhas de MIPS.
- Note: Qualquer coisa após a marca hash em cada linha é ignorado (comentários)

**Exercício:**
**Compilar o seguinte código para MIPS:**

**a = 0;**
**b = 0;**
**c = a + b;**

a -> $s0
b -> $s1

**Exercício:**
**Compilar o seguinte código para MIPS:**

```
a = 0;
b = 0;
b = 8 * a ;
```

**Exercício:**
**Compilar o seguinte código para MIPS:**

**a = 1;**

# Imediatos

- Imediatos são constantes numéricas.
- Eles aparecem freqüentemente em código, logo existem instruções especiais para eles.
- Somar Imediato:

```
addi $s0,$s1,10 #$s0=$s1+10 (em MIPS)

f = g + 10 (em C)
```

  - onde registradores `$s0,$s1` estão associados com as variáveis `f, g`
- Sintaxe similar à instrução `add` exceto que o último argumento é um número ao invés de um registrador.

# Imediatos

**Exercício:**
**Compilar o seguinte código para MIPS:**

```
a = 10;
b = -1;
a = 4*a + 1;
c = a + b;
```

# Imediatos

**Exercício:**
**Compilar o seguinte código para MIPS:**

```
a = 0x10;
b = 0x1ABC;
c = a + b;
```

# Registrador Zero

- Um imediato particular, o número zero (0), aparece muito freqüentemente em código.
- Então nós definimos o registrador zero (`$0` ou `$zero`) para sempre ter o valor 0.
- Isto é definido em hardware, de modo que uma instrução como:

  addi `$0,$0,5 #$0=$0+5` → `$0=0 (reg. $0=0 sempre)`

  não vai fazer nada.
- Use este registrador, ele é muito prático!

# Operações Bitwise (1/2)

- Até agora:
  - aritmética **add e sub e addi**

- Todas estas instruções vêem o **conteúdo** de um registrador como uma **única quantidade** (tal como um inteiro com sinal ou sem sinal).

- **Nova Perspectiva**: Ver o **conteúdo** do registrador **como 32 bits** ao invés de como um número de 32 bits.

# Operações Bitwise (2/2)

- Como os registradores são compostos de 32 bits, nós podemos querer **acessar bits individuais** (ou grupos de bits) ao invés de todo ele.

- Temos então duas novas classes de operações:
  - Operadores Lógicos
  - Instruções Shift

# Operadores Lógicos (1/4)

- Dois operadores lógicos básicos:
  - **AND**: saída 1 somente se ambas as entradas são 1
  - **OR**: saída 1 se pelo menos uma entrada é 1
- Em geral, podemos defini-los para aceitar >2 entradas:
  - assembly MIPS: ambos aceitam exatamente **2 entradas e produzem 1 saída**.
  - Novamente, **sintaxe rígida**, hardware mais simples

# Operadores Lógicos (2/4)

- Tabela Verdade: tabela padrão listando todas as possíveis combinações de entradas e saídas resultantes para cada um.
- Tabela Verdade para AND e OR

| A | B | AND | OR |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

# Operadores Lógicos (3/4)

- Sintaxe da Instrução Lógica:

  1 2,3,4

  - onde

    1) nome da operação

    2) registrador que recebe o resultado

    3) primeiro operando (registrador)

    4) segundo operando (registrador) ou imediato (constante numérica).

# Operadores Lógicos (4/4)

- Nomes das Instruções:
  - `and`, `or`: Ambas esperam o **terceiro argumento** ser um **registrador**.

    **or $T0, $S1, $S2  # t0 = s1 || s2**
  - `andi`, `ori`: Ambas esperam o **terceiro argumento** ser um **imediato**.

    **ori $T0, $S1, 3  # t0 = s1 || 3**
- Operadores Lógicos MIPS são todos **bitwise**:
  - o bit 0 da saída é produzido pelo respectivos bits 0's da entrada
  - o bit 1 pelos respectivos bits 1, etc.

# Uso dos Operadores Lógicos (1/3)

- **and**ing um bit com **0** produz **0** na saída
- **and**ing um bit com **1** produz o **bit original**.
- Isto pode ser utilizado para criar uma máscara.
  - Exemplo:

1011 0110 1010 0100 0011 1101 1001 1010 ← **$T0**

0000 0000 0000 0000 0000 1111 1111 1111 ← **0xFFF**

  - O resultado de `and`ing estes dois é:

0000 0000 0000 0000 0000 1101 1001 1010 ← **$T0 && 0xFFF**

# Usos dos Operadores Lógicos (2/3)

- A segunda bitstring: chamada de **máscara**.
  - Função: **isolar** os 12 **bits** mais à direita da bitstring mascarando os outros (fazendo-os todos igual a 0s).
- Operador `and`:
  - setar em 0s certas partes de uma bitstring
  - deixar os outros como estão, intactos.
  - Em particular, se a primeira string de bits do exemplo acima estivesse em $t0, então a **instrução** a seguir iria mascará-la:

```
andi    $t0,$t0,0xFFF
```

# Uso dos Operadores Lógicos (3/3)

- Similarmente:
  - oring um bit com **1** produz **1** na saída
  - oring um bit com **0** produz o **bit original**.
- Função: **forçar** certos **bits** de uma string **em 1s**.
  - Por exemplo, se $t0 contém **0x12345678**, então após esta instrução:

    ori $t0, $t0, **0xFFFF**
  - • •$t0 contém **0x1234FFFF**
  - (i.e. Os 16 bits de ordem mais alta são intocados, enquanto que os 16 bits de ordem mais baixa são forçados a 1s).

# Instruções Shift (1/4)

- Move (shift) todos os bits na palavra para a esquerda ou direita um certo número de bits.
  - Exemplo: **shift right** por 8 bits

0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000

**0000 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110**

  - Exemplo: **shift left** por 8 bits

001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000

**0011 0100 0101 0110 0111 1000 0000 0000**

# Instruções Shift (2/4)

- Sintaxe das Instruções Shift:

  1 2,3,4

  - onde

    1) nome da operação

    2) registrador que receberá o valor

    3) primeiro operando (registrador)

    4) quantidade de deslocamento - shift amount (constante <= 32)

**Exemplo:**

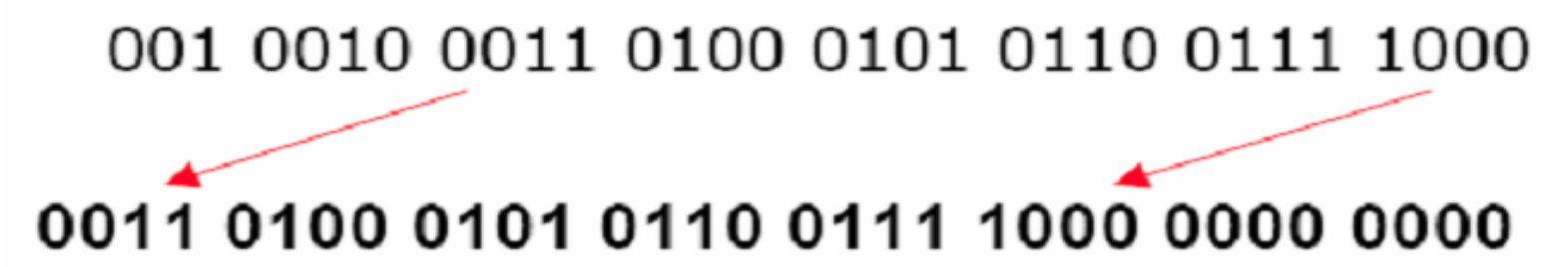
**sll $S1, $S2, 8 # s1 = s2 << 8**

# Instruções Shift (3/4)

- Instruções shift MIPS :

1. `sll` (shift left logical): desloca para **esquerda** e completa os bits esvaziados com 0s.

- Exemplo: **shift left** por 8 bits **sll $S1, $S2, 8 # s1 = s2 << 8**



# Instruções Shift (3/4)

- Instruções shift MIPS :

1. `sll` (shift left logical): desloca para **esquerda** e completa os bits esvaziados com 0s.

2. `srl` (shift right logical): desloca para a **direita** e preenche os bits esvaziados com 0s.

   - Exemplo: **shift right** por 8 bits **srl $S1,$S2,8 # s1 = s2>>8**

0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000

**0000 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110**

# Instruções Shift (3/4)

- Instruções shift MIPS :

1. `sll` (shift left logical): desloca para **esquerda** e completa os bits esvaziados com 0s.
2. `srl` (shift right logical): desloca para a **direita** e preenche os bits esvaziados com 0s.
3. `sra` (shift right arithmetic): desloca para a **direita** e preenche os bits esvaziados **estendendo o sinal**.

**sra $S1,$S2,8  # s1 = s2>>8**

# Instruções Shift (4/4)

- Exemplo: **shift right arith** por 8 bits

**0**001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000

**0000 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110**

- Exemplo: **shift right arith** por 8 bits

**1**001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000

1111 1111 1001 0010 0011 0100 0101 0110

# Uso das Instruções Shift (1/5)

- **Isolar o byte 0** (8 bits mais à direita) de uma palavra em $t0. Simplesmente use: xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx**

```
andi $t0,$t0,0xFF
```

# Uso das Instruções Shift (1/5)

- **Isolar o byte 0** (8 bits mais à direita) de uma palavra em $t0. Simplesmente use: xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx**

```
andi $t0,$t0,0xFF
```

- **Isolar o byte 1** (bit 15 ao bit 8) da palavra em $t0.

xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx** xxxx xxxx

# Uso das Instruções Shift (1/5)

- **Isolar o byte 0** (8 bits mais à direita) de uma palavra em $t0. Simplesmente use: xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx**

```
andi $t0,$t0,0xFF
```

- **Isolar o byte 1** (bit 15 ao bit 8) da palavra em $t0. Nós podemos usar: xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx** xxxx xxxx

```
andi $t0,$t0,0xFF00
```

mas então nós ainda **precisamos deslocar** para a direita por 8 bits ...

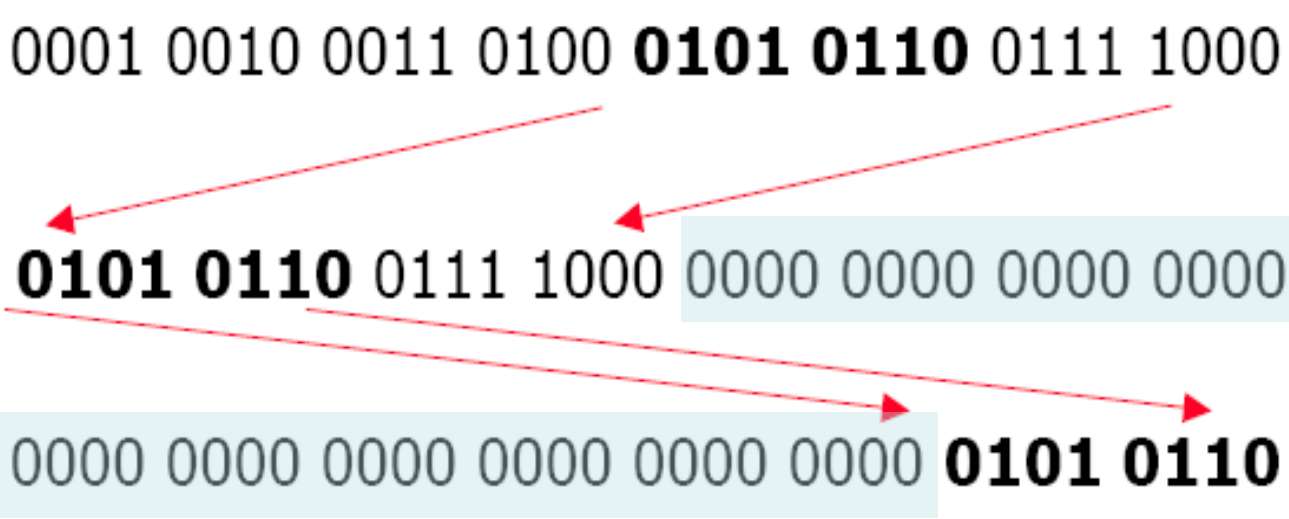
```
srl  $t0,$t0,8
```

xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx xxxx **xxxx xxxx**

# Uso das Instruções Shift (2/5)

- Ao invés nós poderíamos usar:

```
sll   $t0,$t0,16
srl   $t0,$t0,24
```



# Uso das Instruções Shift (3/5)

- Em decimal:
  - Multiplicando por 10 é o mesmo que deslocar para a esquerda por 1:
    - $714_{10} \times 10_{10} = 7140_{10}$
    - $56_{10} \times 10_{10} = 560_{10}$
  - Multiplicando por 100 é o mesmo que deslocar para esquerda por 2:
    - $714_{10} \times 100_{10} = 71400_{10}$
    - $56_{10} \times 100_{10} = 5600_{10}$
  - Multiplicando por $10^n$ é o mesmo que deslocar para a esquerda por n

# Uso das Instruções Shift (4/5)

- Em binário:
  - Multiplicar por 2 é o mesmo que deslocar para a esquerda por 1:
    - $11_2 \times 10_2 = 110_2$
    - $1010_2 \times 10_2 = 10100_2$
  - Multiplicar por 4 é o mesmo que deslocar para a esquerda por 2:
    - $11_2 \times 100_2 = 1100_2$
    - $1010_2 \times 100_2 = 101000_2$
  - Multiplicar por $2^n$ é o mesmo que deslocar para a esquerda por n

# Uso das Instruções Shift (5/5)

- Como **deslocar** pode ser **mais rápido** que multiplicar, um bom compilador usualmente percebe quando o código C **multiplica por uma potência de 2** e compila como uma **instrução shift**:

  `a *= 8;` (em C)

  seria compilado como:

  `sll  $s0,$s0,3` (em MIPS)

- Da mesma forma, **desloque para a direita** para **dividir por potências de 2**
  - Lembre-se de usar `sra (manter o sinal)`

# Coisas para se Lembrar

- Instruções **Lógicas e Shift**: **operam em bits individualmente**
- **Aritméticas**: operam em uma **palavra** toda.
- Use Instruções Lógicas e Shift para **isolar campos**, ou **mascarando** ou **deslocando** para um lado ou para outro.
- Novas Instruções:

```
and, andi, or, ori

sll, srl, sra
```

# Instruções Shift

**Exercício 1:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

**x = 3;**
**y = x * 4 ;**

**usando add**

**usando sll**

# Instruções Shift

**Exercício 1:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

```
x = 3;
y = x * 4 ;
```

**Exercício 1b:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

```
x = 3;
y = x * 1025 ;
```

# Instruções Shift

**Exercício 2:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

```
x = 3;
y = x / 4 ;
```

# Instruções Shift

**Exercício 3:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

**x = 305419896;**

# Instruções Shift

**Exercício 3:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

**x = 305419896;**

**Uma dica:**
**Se passarmos a ver como a máquina, 305410996 está na base 10, mas se convertermos para Hexa, temos $12345678_{(16)}$**

# Instruções Shift

**Exercício 4:**
**Passar para MIPS o seguinte código:**

```
x = -1;
y = x / 32 ;
```

# Instruções Shift

**Exercício 5:**
**Considere que a primeira linha de um programa seja:**

**ori $S0, $zero, 0x01**

**Utilizando apenas:**
**- instruções de deslocamento,**
**- instruções reg-reg lógicas (não usar instruções com imediatos),**
**- a menor quantidade possível de instruções.**

**Obter $S0 = 0xFFFFFFFF**

# Operandos Assembly: Memória

- Variáveis C mapeiam em registradores; e como ficam as grandes estruturas de dados, como arrays/vetores?
- A memória contém tais estruturas.
- Mas as instruções aritméticas MIPS somente operam sobre registradores, nunca diretamente sobre a memória.

# Operandos Assembly: Memória

- Instruções para transferência de dados transferem dados entre os registradores e a memória:
  - Memória para registrador → Load
  - Registrador para memória → Store

# Transferência de Dados: Memória para Reg. (1/4)

- Para transferir uma palavra de dados, nós devemos especificar duas coisas:
  - Registrador: especifique este pelo número (0 - 31)
  - Endereço da memória: mais difícil
    - Pense a memória como um array único uni-dimensional, de modo que nós podemos endereçá-la simplesmente fornecendo um ponteiro para um endereço da memória.
    - Outras vezes, nós queremos ser capazes de deslocar a partir deste ponteiro.

# Transferência de Dados: Memória para Reg (2/4)

- Para especificar um endereço de memória para copiar dele, especifique duas coisas:
  - Um registrador que contém um ponteiro para a memória.
  - Um deslocamento numérico (em bytes)
- O endereço de memória desejado é a soma destes dois valores.
- Exemplo: `8($t0)`
  - Especifica o endereço de memória apontado pelo valor em `$t0`, mais 8 bytes

# Transferência de Dados: Memória para Reg (3/4)

- Sintaxe da instrução de carga (load):

  1 2,3(4) **Exemplo : lw $t0, 12 ($s0)**

  - onde

  1) nome da operação (instrução) **lw**

  2) registrador que receberá o valor **$t0**

  3) deslocamento numérico em bytes. **12**

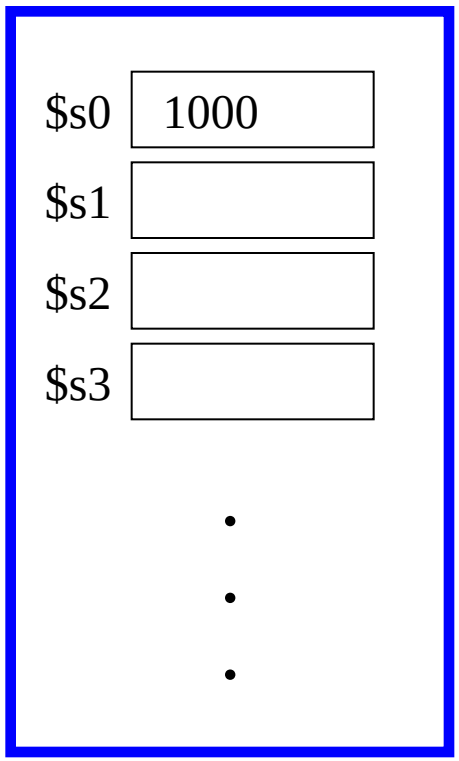
  4) registrador contendo o ponteiro para a memória **$s0**

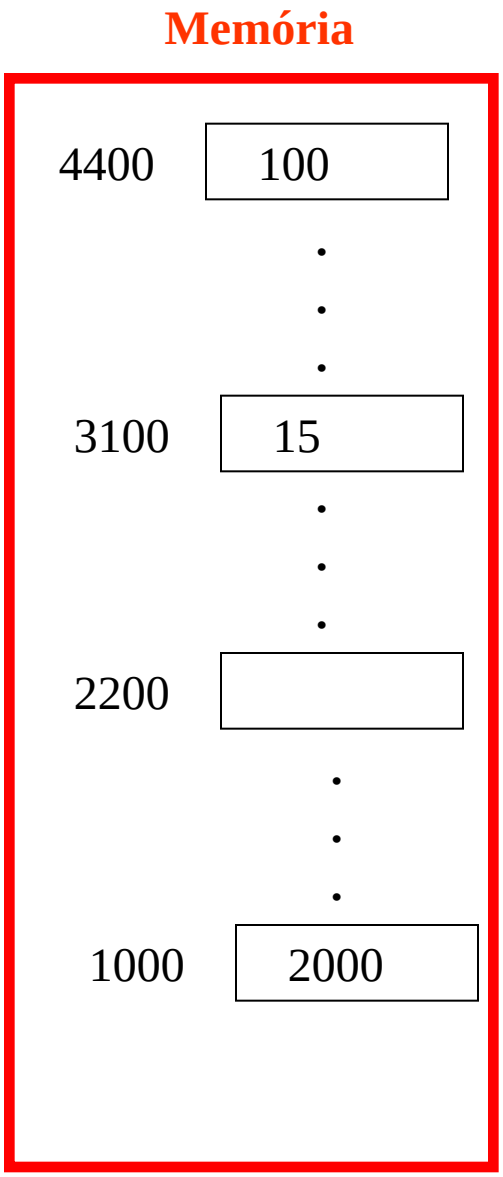
- Nome da Instrução:
  - `lw` (significa Load Word, logo 32 bits ou uma palavra é carregada por vez)

# Transferência de Dados: Memória para Reg.(4/4)

- Exemplo: `lw $t0,12($s0)`
  - Esta instrução pegará o ponteiro em `$s0`, soma 12 bytes a ele, e então carrega o valor da memória apontado por esta soma calculada no registrador `$t0`
- Notas:
  - `$s0` é chamado registrador base
  - 12 é chamado deslocamento (offset)
  - Deslocamento é geralmente utilizado no acesso de elementos de array ou estruturas: reg base aponta para o início do array ou estrutura.

# Exemplo lw:



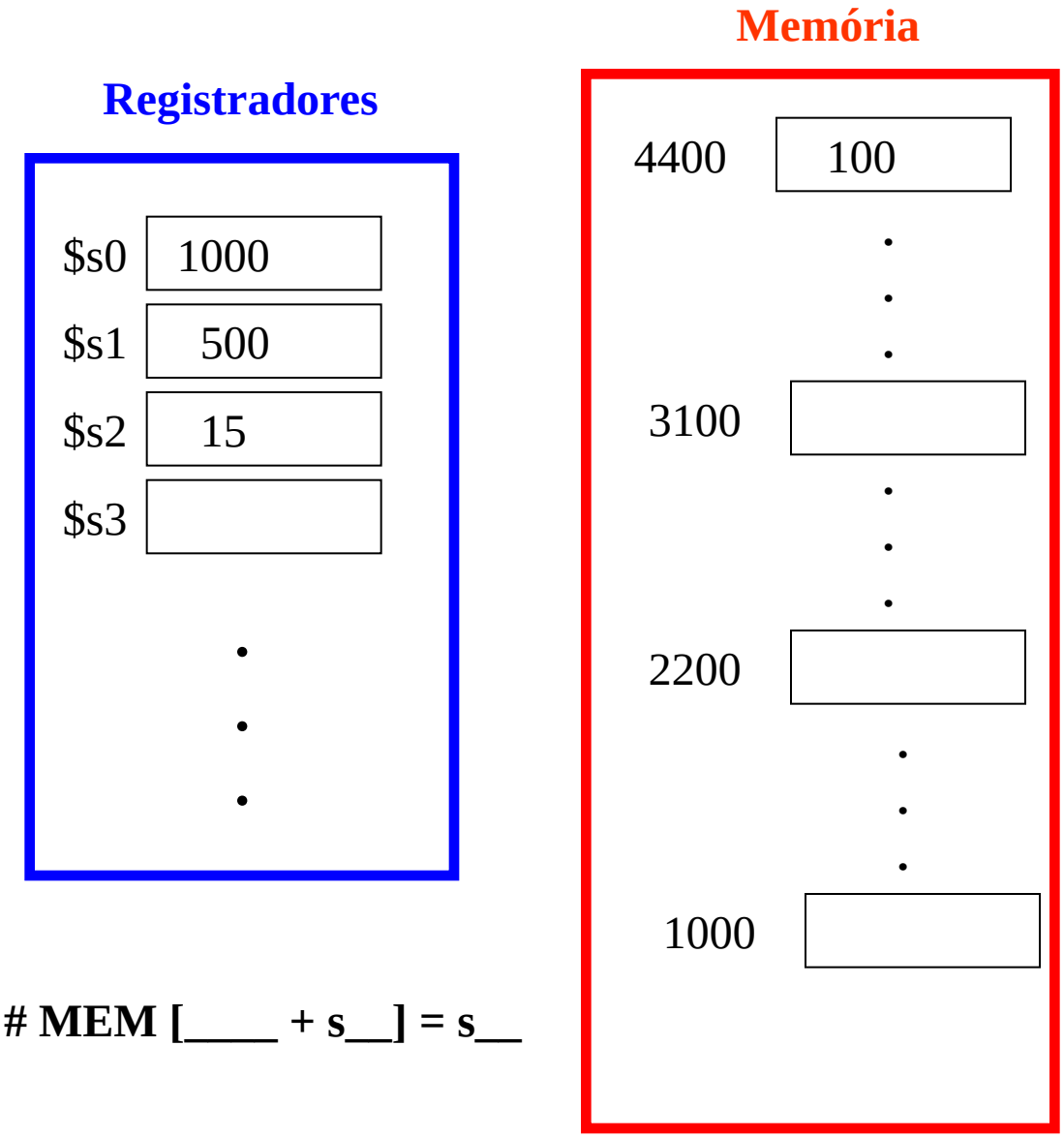




**lw __,____ (__)** **# s__= MEM [____ + s__]**

# Transferência de Dados: Reg para Memória

- Também queremos armazenar um valor do registrador na memória.
- Sintaxe da instrução store é idêntica à da instrução load.
- Nome da Instrução:
  - sw (significa Store Word, logo 32 bits ou uma palavra será carregada por vez)
- Exemplo: `sw $t0,12($s0)`
  - Esta instrução tomará o ponteiro em $s0, somará 12 bytes a ele, e então armazenará o valor do registrador $t0 no endereço de memória apontado pela soma calculada.

# Exemplo sw:




**sw __,____ (__)** **# MEM [____ + s__] = s__**

# Memória e vetores

**Compilar :**

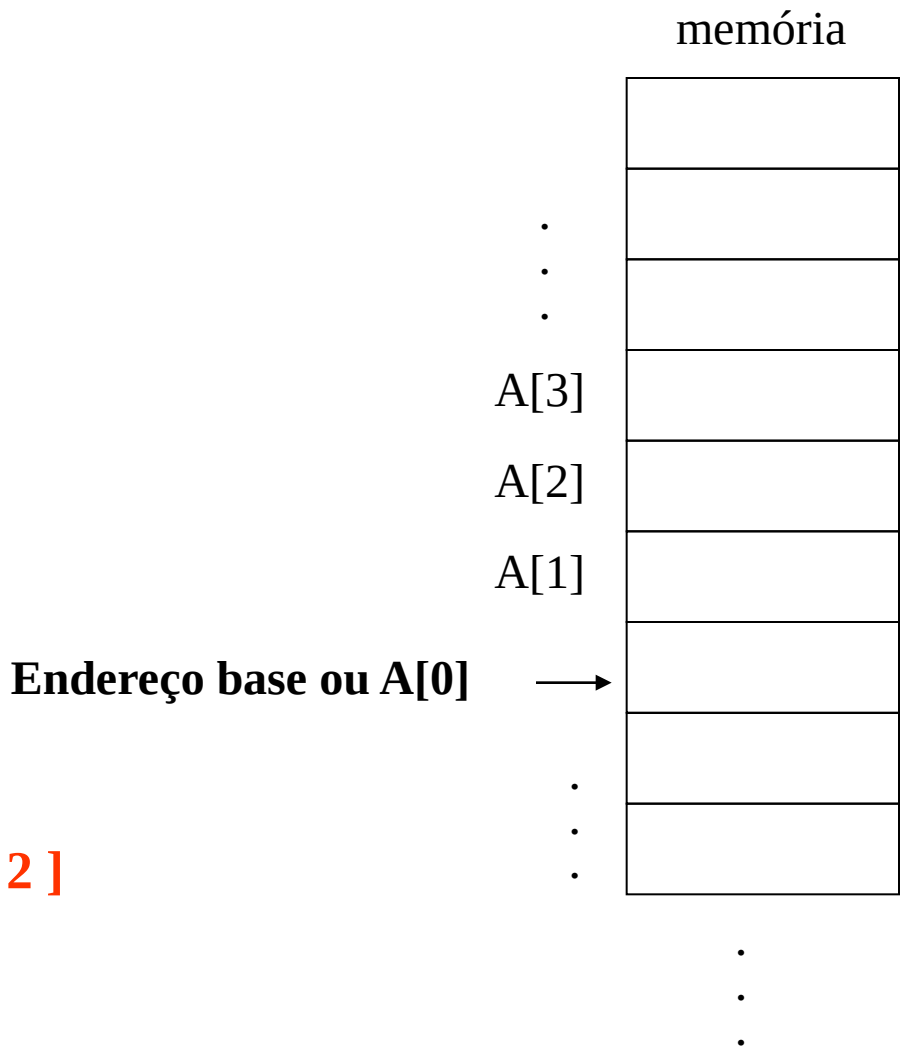
**h = A[2];**

**1) Vamos mapear h em $s0**

**2) Para o vetor A [ ], devemos Inicialmente mapear o endereço base ou A[0] em um registrador, seja $s1.**

**O programa fica:**

**lw $s0, 2 ($s1)  # h = MEM [ s1 + 2 ]**



# Memória e vetores

**Compilar :**

**A [ 12 ] = h + A [ 8 ];**

# Endereçamento: Byte vs. palavra (1/2)

- Cada palavra na memória tem um endereço, similar a um índice em um array.
- Primeiros computadores numeravam palavras como elementos de um array C:
  - `Memory[0], Memory[1], Memory[2], . . .`


- Computadores precisam acessar bytes (8-bits) bem como palavras (4 bytes/palavra)
- Máquinas de hoje endereçam memória como bytes, portanto endereços de palavra diferem por 4
  - `Memory[0], Memory[4], Memory[8], . . .`

# Endereçamento: MIPS (2/2)

No Mips os endereços são incrementados de 4 em 4 pois indicamos o primeiro byte da palavra e podemos acessar cada byte individualmente.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 0x .... 8 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0x .... 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0x .... 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |

# Memória e vetores com a correção

**Compilar :**

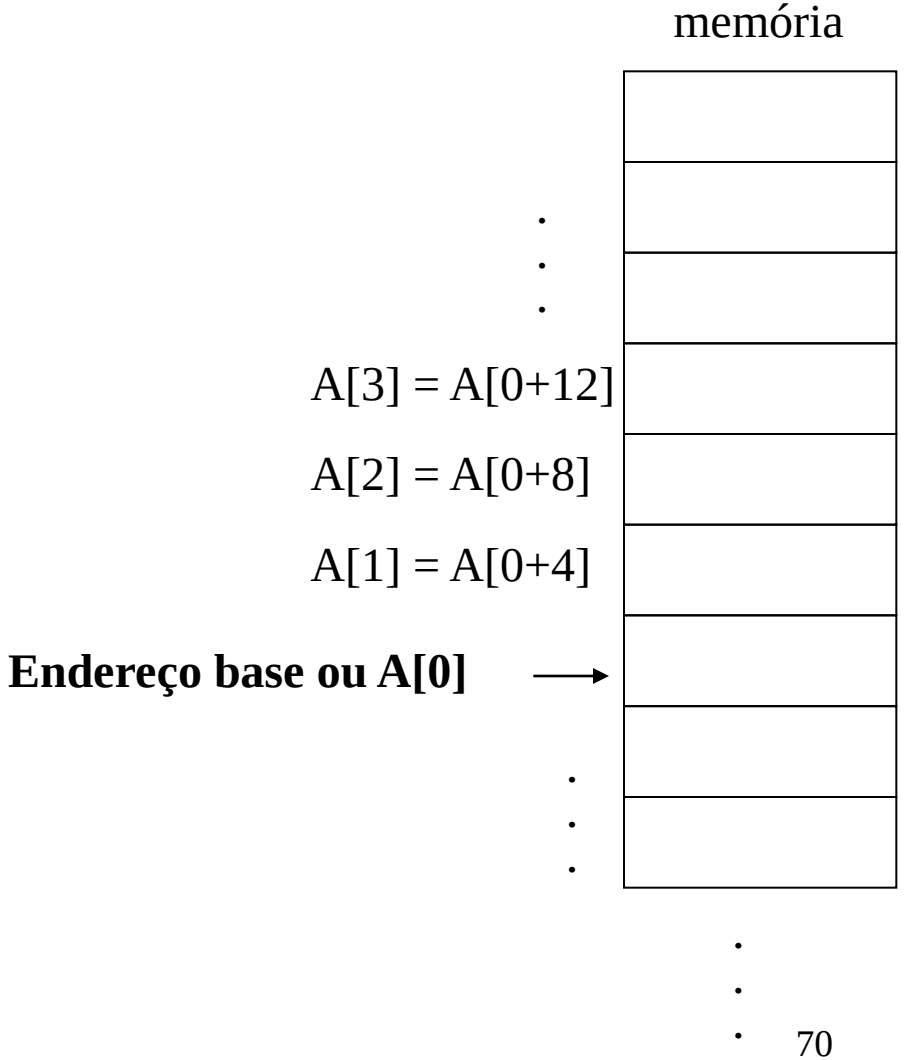
**h = A[2];**

**1) Vamos mapear h em $s0**

**2) Para o vetor A [ ], devemos Inicialmente mapear o endereço base ou A[0] em um registrador, seja $s1.**

**O programa fica:**

**lw $s0, 8 ($s1)  # h = MEM [ s1 + 8 ]**



# Compilação com Memória

- Qual o offset em `lw` para selecionar `A[8]` em C?
  - 4x8=32 para selecionar `A[8]`: byte vs. palavra
- Compile manualmente usando registradores:

```
g = h + A[8];
```

  - g: `$s1`, h: `$s2`, `$s3`: endereço base de A

# Compilação com Memória

- Qual o offset em `lw` para selecionar `A[8]` em C?
  - 4x8=32 para selecionar `A[8]`: byte vs. palavra
- Compile manualmente usando registradores:

```
g = h + A[8];
```

  - g: `$s1`, h: `$s2`, `$s3`: endereço base de A
- 1° transfere da memória para registrador:
  - `lw $t0,32($s3)  # $t0 = A[8]`
  - Some 32 a `$s3` para selecionar `A[8]`, põe em `$t0`
- A seguir, some-o a h e coloque em g

```
add $s1,$s2,$t0      # $s1 = h+A[8]=$s2+$t0
```

# Exemplo: Compilar ...

- Compile manualmente usando registradores:

  A[12] = h + A[8];

  - h: $s2, $s3: endereço base de A

# Exemplo: Compilar ...

- Compile manualmente usando registradores:

  A[12] = h + A[8];

  - h: $s2, $s3: endereço base de A
- 1° transfere da memória para registrador $t0:

```
lw $t0,32($s3)    # $t0 = A[8]
```

- 2° some-o a h e coloque em $t0

```
add $t0,$s2,$t0    # $t0 = h+A[8]
```

- 3° transfere do reg. $t0 para a memória :

```
sw $t0,48($s3)    # A[12] = $t0
```

# Exemplo: Compilar ...

**1)** **h = k + A [ i ] ;**

# Exemplo: Compilar ...

**2)** **A [ j ] = h + A [ i ] ;**

# Exemplo: Compilar ...

3) **h = A [ i ] ;**
**A[ i ] = A [ i + 1] ;**
**A [ i + 1] = h ;**

# Ponteiros vs. Valores

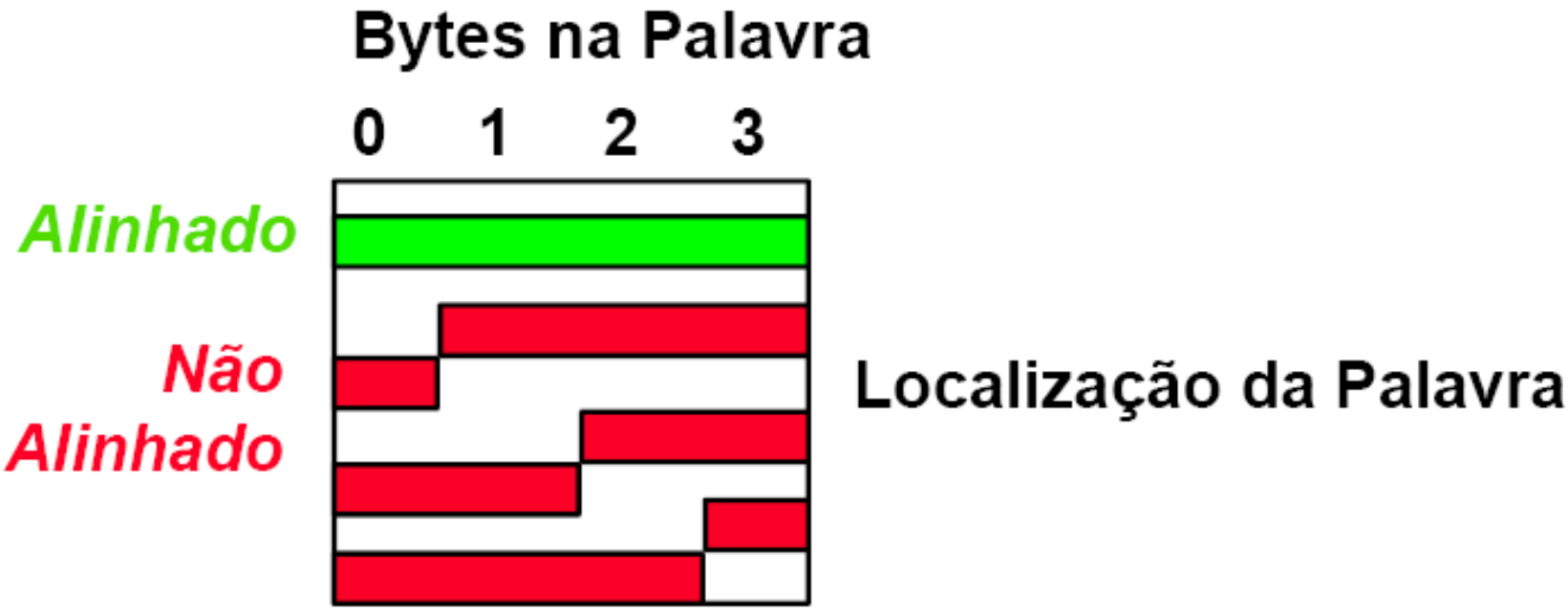
- Conceito Chave: Um registrador pode conter qualquer valor de 32 bits. Este valor pode ser um `int` (signed), um `unsigned int`, um ponteiro (endereço de memória), etc.
- Se você escreve `lw $t2,0($t0)` então é melhor que `$t0` contenha um ponteiro.
- E se você escrever `add $t2,$t1,$t0` então `$t0` e `$t1` devem conter o quê?

# Notas a cerca da Memória

- Falha: Esquecer que endereços seqüenciais de palavras em máquinas com endereçamento de byte não diferem por 1.
  - Muitos erros são cometidos por programadores de linguagem assembly por assumirem que o endereço da próxima palavra pode ser achado incrementando-se o endereço em um registrador por 1 ao invés do tamanho da palavra em bytes.
  - Logo, lembre-se que tanto para `lw` e `sw`, a soma do endereço base e o offset deve ser um múltiplo de 4 (para ser alinhado em palavra)

# Mais Notas acerca da Memória: Alinhamento

- MIPS requer que todas as palavras comecem em endereços que são múltiplos de 4 bytes.




- Chamado Alinhamento: objetos devem cair em endereços que são múltiplos do seu tamanho.

# "Em conclusão ..." (1/2)

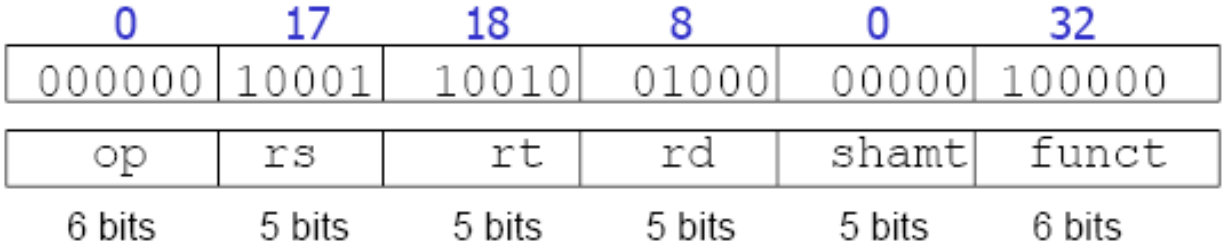
- Em linguagem Assembly MIPS:
  - Registradores substituem variáveis C
  - Uma instrução (operação simples) por linha
  - Mais Simples é Melhor
  - Menor é Mais Rápido
- Memória é endereçada por byte, mas `lw` e `sw` acessam uma palavra de cada vez.
- Um ponteiro (usado por `lw` e `sw`) é simplesmente um endereço de memória, logo nós podemos somar a ele ou subtrair dele (usando offset).

# "E em conclusão..." (2/2)

- Novas Instruções:
  - `add, addi,`
  - `sub`
  - `lw, sw`
- Novos registradores:
  - Variáveis C: `$s0` - `$s7`
  - Variáveis Temporárias: `$t0` - `$t9`
  - Zero: `$zero`

# Linguagem de Máquina

- Instruções, como registradores e palavras, são de 32 bits
  - Exemplo: `add $t0, $s1, $s2`
  - registradores tem números `t0=reg.8,$s1=reg.17,$s2=reg.18`
- Formato de Instrução de soma com registradores (R-tipo):




- Primeiro campo: tipo de operação (soma).
- Último campo: modo da operação (soma com 2 registradores).
- Segundo campo: primeira fonte (17=$s1).
- Terceiro campo: segunda fonte (18=$s2).
- Quarto campo: registrador de destino (8=$t0).

# Linguagem de Máquina

- Novo princípio: Bom projeto exige um bom compromisso
  - Vários tipos de instruções (tipo-R, tipo-I)
  - Múltiplos formatos: complicam o hardware.
  - Manter os formatos similares (3 primeiros campos iguais).
- Considere as instruções load-word e store-word,
  - I-tipo para instruções de transferência de dados (lw,sw)
- Exemplo: `lw $t0, 32($s2)`

| 35 | 18 | 8 | 32 |
|---|---|---|---|
| op | rs | rt | 16 bit - offset |

- Registrador de base: rs `$s2`.
- Registrador de fonte ou origem: rt `$t0`.

# Codificação das instruções vistas até agora

| Instruction | Format | op | rs | rt | rd | shamt | funct | address |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| add | R | 0 | reg | reg | reg | 0 | 32 | n.a. |
| sub (subtract) | R | 0 | reg | reg | reg | 0 | 34 | n.a. |
| lw (load word) | I | 35 | reg | reg | n.a. | n.a. | n.a. | address |
| sw (store word) | I | 43 | reg | reg | n.a. | n.a. | n.a. | address |

- Notar: add e sub:
  - Mesmo opcode: 0.
  - Diferente função: 32 e 34.

# Panorama

- Decisões C/Assembly : `if`, `if-else`
- Laços (loops) C/Assembly: `while`, `do while`, `for`
- Desigualdades
- Declaração Switch C

# Até agora...

- Todas as instruções nos permitiram manipular dados.
- Assim, construimos uma calculadora.
- Para construirmos um computador, precisamos da habilidade de tomar decisões...

# Decisões em C: Declaração `if`

- 2 tipos de declaração `if` em C
  - `if (`*condição*`)` *cláusula*
  - `if (`*condição*`)` *cláusula1* `else` *cláusula2*
- Rearranje o 2º `if` do seguinte modo:

```
        if  (condição) goto L1;
        cláusula2;
        go to L2;
L1:     cláusula1;

L2:
```

  - Não é tão elegante como if-else, mas com o mesmo significado

# Instruções de Decisão MIPS

- **Desvios condicionais**
  - **`beq register1, register2, L1`**
  - **`beq`** é "branch if (registers are) equal"

    O mesmo que (usando C): `if (register1==register2) goto L1`

Exemplo:

```
        beq $s1, $s2, fim       # se o conteúdo de s1 for igual ao de s2,
                                # vá para a linha marcada como fim
        ...

fim:    ...
```

# Instruções de Decisão MIPS

- **Desvios condicionais**
  - **bne  register1, register2, L1**
  - **bne é** "branch if (registers are) not equal••

    O mesmo que (usando C): `if (register1!=register2) goto L1`

Exemplo:

```
    bne $s1, $s2, fim        # se o conteúdo de s1 for diferente de s2,
                             # vá para a linha marcada como fim
    ...

fim:  ...
```

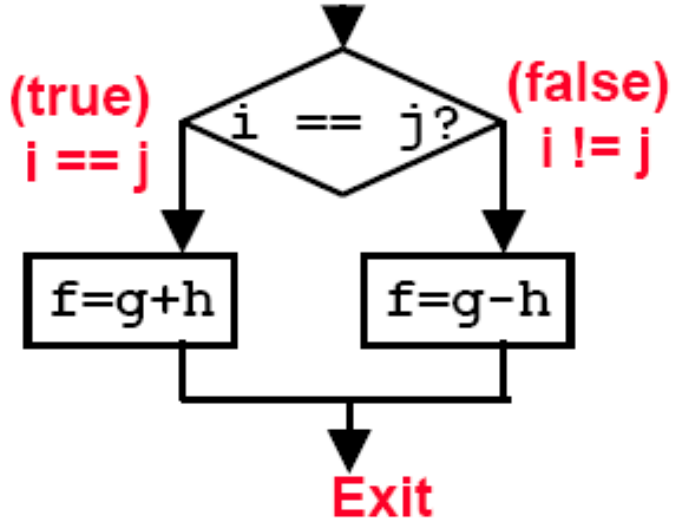
# Instrução Goto MIPS

- Além dos desvios condicionais, MIPS tem um desvio incondicional:
  - `J label`
- Chamada instrução Pulo (Jump): pule (ou desvie) diretamente para a marca dada sem precisar satisfazer qualquer condição
- Mesmo significado (usando C):
  - `goto label`
- Tecnicamente, é o mesmo que:
  - `beq $0,$0,label`
  - já que sempre vai satisfazer a condição.

# Compilando `if` C em MIPS (1/2)

- Compile manualmente

```
if (i == j)  f = g+h;
else  f = g-h;
```



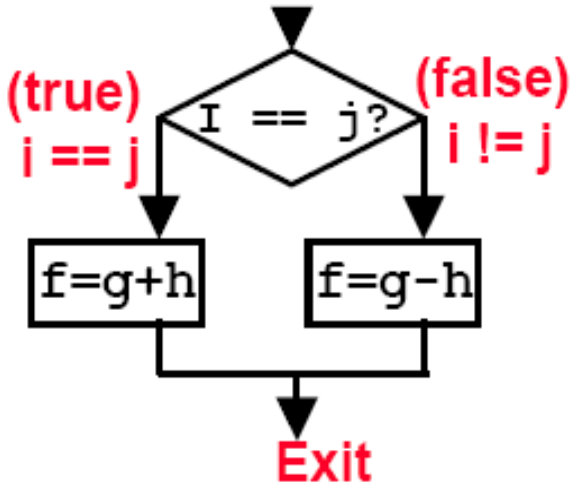

- Use este mapeamento:

```
f: $s0, g: $s1, h: $s2, i: $s3, j: $s4
```

# Compilando `if` C em MIPS (2/2)

- Código MIPS final compilado:

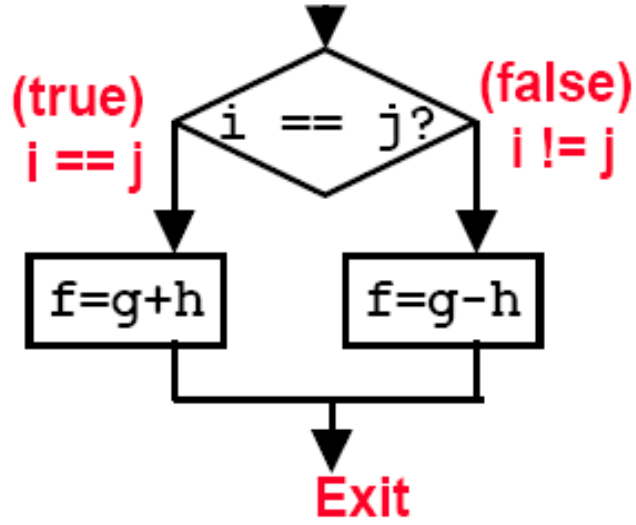
```
        beq  $s3,$s4,True     # branch i==j
        sub  $s0,$s1,$s2      # (false) f=g-h
        j    Fim              # go to Fim
True:   add  $s0,$s1,$s2      # (true) f=g+h
Fim:
```




- Nota:
  - Compilador automaticamente cria labels para tratar decisões (desvios) apropriadamente. Geralmente não são encontrados no código da Linguagem de Alto Nível

# Compilando `if` C em MIPS (2/2)

- Código final MIPS compilado
  ***(preencha o espaço em branco):***



# Laços (loops) em C/Assembly (1/3)

- Laço (loop) simples em C

```
j = 0;
i = 10;
do
  {
     j = j + 1;
  }
while ( j != i );
```

# Laços (loops) em C/Assembly (1/3)

- Laço (loop) simples em C

```
j = 0;
i = 10;
do
  {
     j = j + 1;
  }
while ( j != i );
```

**Reescrevendo:**

```
        j = 0;
        i = 10;
loop:
        j = j + 1;
        if ( j != i ) goto loop;
```

**Compilar:**

**i - $s0**

**j - $s1**

# Laços (loops) em C/Assembly (1/3)

- Laço (loop) simples em C

```
do
   {
   g = g + A[i];
   i = i + j;
} while (i != h);
```

# Laços (loops) em C/Assembly (1/3)

- Laço (loop) simples em C

```
do
   {
   g = g + A[i];
   i = i + j;
} while (i != h);
```

- Reescreva isto como:

```
Loop:  g = g + A[i];
       i = i + j;
       if (i != h) goto Loop;
```

- Use este mapeamento:
  - g: $s1, h: $s2, i: $s3, j: $s4, base de A:$s5

# Loops em C/Assembly (2/3)

- Código MIPS final compilado:
  ***(preencha o espaço em branco):***

# Laços (loops) em C/Assembly (2/3)

- Código MIPS final compilado:

```
Loop:
        add $t1,$s3,$s3   # $t1 = 2*i
        add $t1,$t1,$t1   # $t1 = 4*i
        add $t1,$t1,$s5   # $t1=end(A+4*i)
        lw  $t1,0($t1)    # $t1=A[i]
        add $s1,$s1,$t1   # g=g+A[i]
        add $s3,$s3,$s4   # i=i+j
        bne $s3,$s2,Loop  # goto Loop if i!=h
```

# Laços (loops) em C/Assembly (3/3)

- Existem três tipos de laços em C:
  - `while`
  - `do• •while`
  - `for`
- Cada um pode ser rescrito como um dos outros dois, de modo que o método utilizado no exemplo anterior, pode ser aplicado a laços `while` e `for` igualmente.
- Conceito Chave: Apesar de haver muitas maneiras de se escrever um loop em MIPS, desvio condicional é a chave para se tomar decisões.

# Laço com while em C/Assembly (1/2)

- Laço (loop) simples em C

```
while (save[i] == k)
i = i + j;
```

- Reescreva isto como:

```
Loop: if (save[i] != k) goto Exit;
      i = i + j;
      goto Loop;
Exit:
```

- Use este mapeamento:
  - i: $s3, j: $s4, k: $s5, base de save :$s6

# Laços (loops) em C/Assembly (2/2)

- Código MIPS final compilado:

```
Loop:
     add $t1,$s3,$s3   # $t1 = 2*i
     add $t1,$t1,$t1   # $t1 = 4*i
     add $t1,$t1,$s6   # $t1=end(save+4*i)
     lw  $t1,0($t1)    # $t1=save[i]
     bne $t1,$s5,Exit  # goto Exit if save[i]!=k
     add $s3,$s3,$s4   # i=i+j
     j   Loop          # goto Loop
Exit:
```

# Desigualdades em MIPS (1/5)

- Até agora, nós testamos apenas igualdades (== *e* !=).
- Programas gerais precisam testar > e < também.
- Criar uma Instrução de Desigualdade em MIPS:
  - "Set on Less Than"
  - Sintaxe: `slt reg1,reg2,reg3`
  - Significado:

```
if (reg2 < reg3) reg1 = 1;
else reg1 = 0;
```

  - Em computadores, "set" significa "set to 1", "reset" significa "set to 0".

# Desigualdades em MIPS (2/5)

- Como nós utilizamos isto?
- Compile manualmente:

```
if (g < h) goto Less;
```

- Use este mapeamento:

g: $s0, h: $s1

# Desigualdades em MIPS (3/5)

- Código final MIPS compilado:

```
        slt $t0,$s0,$s1 # $t0 = 1 if g<h
        bne $t0,$0,Less # goto Less if $t0!=0
Less:                   # (if (g<h))
```

- Desvie se `$t0` != 0 • •(g < h)
  - Registrador $0 sempre contém o valor 0, assim `bne` e `beq` freqüentemente utilizam-no para comparação após uma instrução `slt`.

# Desigualdades em MIPS (4/5)

- Agora, nós podemos implementar <, mas como implementamos >, <= e >=?
- Poderíamos adicionar mais 3 instruções mas:
  - Meta MIPS: Mais simples é Melhor
- Nós podemos implementar <= em um ou mais instruções utilizando apenas `slt` e os desvios?
- E >?
- E >=?
- 4 combinações de slt e beq/bne

# Desigualdades em MIPS (5/5)

- 4 combinações de slt e beq/bne:

```
slt $t0,$s0,$s1      # $t0 = 1 if g<h
bne $t0,$0,Less      # if(g<h) goto Less
```

# Desigualdades em MIPS (5/5)

- 4 combinações de slt e beq/bne:

```
slt $t0,$s0,$s1     # $t0 = 1 if g<h
bne $t0,$0,Less     # if(g<h) goto Less
```

```
slt $t0,$s0,$s1     # $t0 = 1 if g<h
beq $t0,$0,Gteq     # if(g>=h) goto Gteq
```

# Desigualdades em MIPS (5/5)

- 4 combinações de slt e beq/bne:

```
slt $t0,$s1,$s0     # $t0 = 1 if g>h
bne $t0,$0,Greater  # if(g>h) goto Greater
```

# Desigualdades em MIPS (5/5)

- 4 combinações de slt e beq/bne:

```
slt $t0,$s1,$s0     # $t0 = 1 if g>h
bne $t0,$0,Greater  # if(g>h) goto Greater
```

```
slt $t0,$s1,$s0     # $t0 = 1 if g>h
beq $t0,$0,Lteq     # if(g<=h) goto Lteq
```

# Desigualdades em MIPS (5/5)

- 4 combinações de slt e beq/bne:

```
slt $t0,$s0,$s1     # $t0 = 1 if g<h
bne $t0,$0,Less     # if(g<h) goto Less
slt $t0,$s1,$s0     # $t0 = 1 if g>h
bne $t0,$0,Greater  # if(g>h) goto Greater
slt $t0,$s0,$s1     # $t0 = 1 if g<h
beq $t0,$0,Gteq     # if(g>=h) goto Gteq
slt $t0,$s1,$s0     # $t0 = 1 if g>h
beq $t0,$0,Lteq     # if(g<=h) goto Lteq
```

# Imediatos em Desigualdades

- Existe também uma versão com imediatos de `slt` para testar contra constantes: `slti`
  - Útil em laços (loops) `for`
  - `if (g >= 1) goto Loop`

C

MIPS

# Comando Switch/Case

- Novo instrumento: jr (jump register):
  - Salto incondicional.
  - Pula para o endereço especificado pelo registrador.
  - Geralmente é usada juntamente com uma tabela.
- Para casa: estudar a instrução Switch/Case.