[Aula 02] Conjunto de instruções 1

Prof. João F. Mari
joaof.mari@ufv.br

Roteiro

- Introdução
- Operações no hardware do computador
- Operandos do hardware do computador
- Representando instruções no computador
- Operações lógicas
- Instruções para tomada de decisões
- Suporte para procedimentos no hardware do computador

Introdução

- Para controlar o hardware do computador, é necessário falar a sua linguagem.
- Palavras da linguagem do computador são chamadas de **instruções**
  - O vocabulário é chamado de conjunto de instruções.
- Apresentação das instruções através de uma abordagem *top-down.*
- Linguagens de computadores são semelhantes (entre diferentes arquiteturas)
  - Ao contrário da linguagem dos humanos.

Introdução

- *"É fácil ver, por métodos lógicos formais, que existem certos [conjuntos de instruções] que são adequados para controlar e causar a execução de qualquer sequência de operações... As considerações decisivas, do ponto de vista atual, na seleção de um [conjunto de instruções], são mais de natureza prática: a simplicidade do equipamento exigido pelo [conjunto de instruções] e a clareza de sua aplicação para os problemas realmente importantes, junto com a velocidade com que tratam esses problemas"*

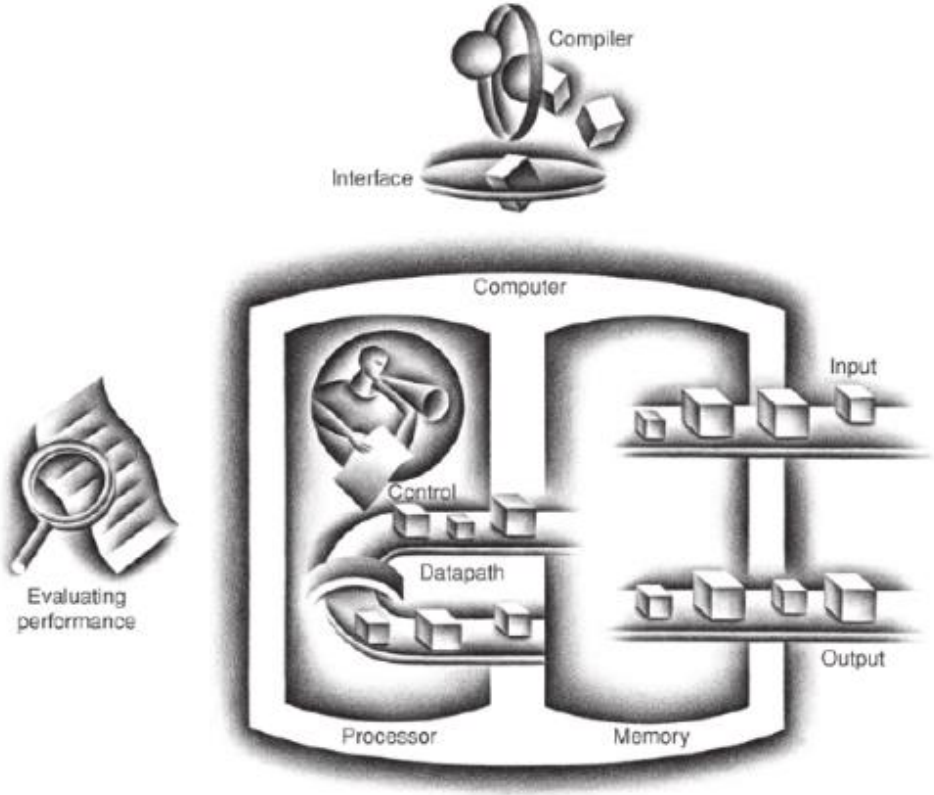
  – Burks, Goldstine e von Neumann, 1947

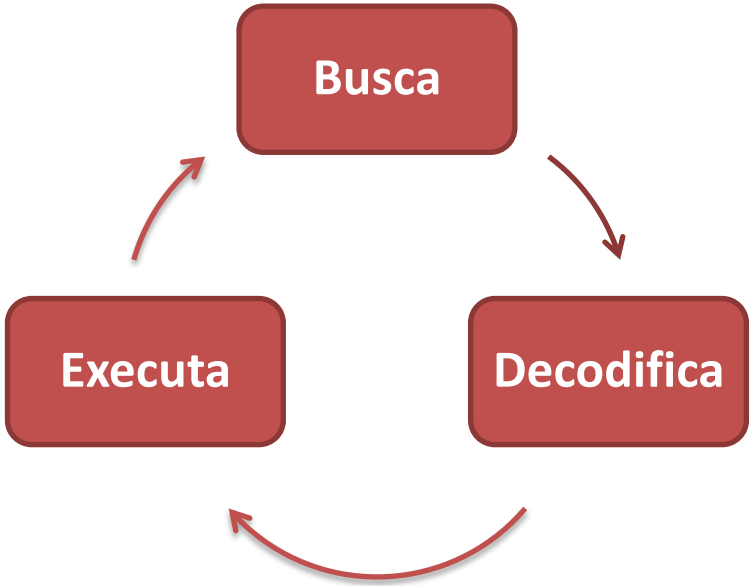
Introdução

- Conjunto de instruções (a ponta do iceberg)
- **[EX]** MIPS:
  - https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_MIPS
  - Conjunto de instruções criado na década de 1980;
  - 100 milhões de processadores fabricados em 2002;
  - ATI, Broadcom, Cisco, NEC, Nintendo, Silicon Graphics, Sony, Texas Instruments e Toshiba.
- Processador RISC (conjunto reduzido de instruções):
  - Tamanho de instruções fixo (*fixed instruction lengths*);
  - Instruções de load-store (*load-store instruction sets*);
  - Modos de endereçamento limitado (*limited addressing modes*);
  - Operações limitadas (*limited operations*).

Introdução

- O ciclo básico de busca e execução de instruções.

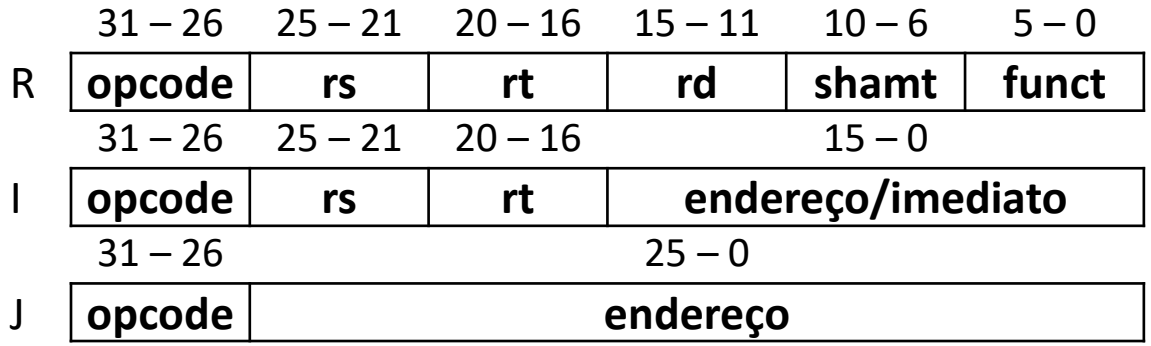




MIPS R3000 ISA (Arquitetura do Conjunto de Instruções)

- Tipos de instrução:
  - Movimentação de Dados (*Load e Store*);
  - Aritmética e Lógica;
  - Saltos e Desvios (*Jump* e *Branch*);
  - Ponto flutuante;
    - Coprocessador.
  - Gerenciamento de memória;
  - Especiais.

FORMATOS DE INSTRUÇÃO BÁSICOS (32 bits)



OPERAÇÕES NO HARDWARE DO COMPUTADOR

Operações no hardware do computador

- Todo computador precisa realizar operações aritméticas:
  - **[EX]** `add a, b, c`
    - Instrui o computador para realizar a soma entre as variáveis `b` e `c` e armazenar o resultado em `a`.

- **[EX]** Colocar a soma de `b`, `c`, `d`, e `e` na variável `a`:
  - Em linguagem de alto nível
    - `a = b + c + d + e;`
  - Em Assembly MIPS:

```
add a, b, c    # soma b+c é colocada em a
add a, a, d    # soma b+c+d está em a
add a, a, e    # soma b+c+d+e está em a
```

Operações no hardware do computador

- O número natural de operandos para uma operação de adição é três
- Exigir que cada instrução tenha exatamente três operandos nem mais nem menos,
  - Manter o hardware simples → o hardware para um número variável de operandos é mais complicado do que o hardware para um número fixo:

- **Princípio de projeto 1:**
  - *Simplicidade favorece a regularidade.*

Operações no hardware do computador

- Compilando duas instruções de atribuição C no MIPS:
  - `a = b + c;`
  - `d = a - e;`
- A tradução é realizada pelo compilador (MIPS):
  - `add a, b, c`
  - `sub d, a, e`

Operações no hardware do computador

- Compilando uma instrução complexa no MIPS
  - `f = (g + h) - (i + j);`
- O compilador precisa desmembrar essa instrução em várias instruções *assembly*, pois somente uma operação é realizada por instrução MIPS.
  - `add t0, g, h`
  - `# var. temp. t0 contém g+h`
  - `add t1, i, j`
  - `# var. temp. t1 contém i+j`
  - `sub f, t0, t1  # f recebe t0 – t1`
- Note que uma expressão na linguagem C gera 3 instruções *assembly* para o MIPS.

OPERANDOS NO HARDWARE DO COMPUTADOR

Operandos no hardware do computador

- Os operandos das instruções aritméticas precisam estar armazenados em um grupo limitado de locais especiais, embutidos diretamente no hardware, chamados registradores (*registers*)
  - Os registradores são os tijolos da construção do computador.
  - Primitivas usadas no projeto do computador.
  - Visíveis para o programador.
- O MIPS possui 32 registradores:
  - Cada registrador possui 32 bits.
  - Grupos de 32 bits ocorrem com tanta frequência no MIPS que recebem o nome de palavra (*word*).
  - Grupos específicos de registradores. Por enquanto:
    - `$s0, $s1, ..., $s7`
      - Correspondem as variáveis dos programas C e Java.
    - `$t0, $t1, ..., $t7`
      - Registradores temporários necessários para compilar o programa.

Operandos no hardware do computador

Nome	Número do registrador	Uso	Valor preservado
`$zero`	0	Constante 0	n.a.
`$at`	1	Reservado para o montador	n.a.
`$v0 - $v1`	2-3	Valores retornados	não
`$a0 - $a3`	4-7	Argumentos	sim
`$t0 - $t7`	8-15	Temporários	não
`$s0 - $s7`	16-23	Valores salvos	sim
`$t8 - $t9`	24-25	Temporários	não
`$k0 - $k1`	26-27	Temporários SO	sim
`$gp`	28	Ponteiro global	sim
`$sp`	29	Ponteiro para pilha	sim
`$fp`	30	Ponteiro para quadro	sim
`$ra`	31	Endereço de retorno	sim

Operandos no hardware do computador

- Uma diferença entre variáveis de um programa em linguagem de alto nível e os registradores é que o número de registradores é limitado
- O computador MIPS tem 32 registradores:
  - Uma quantidade muito grande de registradores pode aumentar o tempo do ciclo de *clock* simplesmente porque os sinais eletrônicos levam mais tempo quando precisam atravessar uma distância maior
  - Deve-se equilibrar o "desejo" dos programas por mais registradores com o desejo do projetista de manter o ciclo de *clock* mais rápido.
  - Um número maior de registradores necessita de um número maior de bits para representação: influência no tamanho da instrução.

- **Princípio de projeto 2:**
  - Menor significa mais rápido

[EX] Compilando uma atribuição em C usando registradores

- Compilando uma atribuição em C usando registradores:
  - `f = (g + h) - (i + j);`
- As variáveis `f`, `g`, `h`, `i` e `j` estão associadas aos registradores `$s0`, `$s1`, `$s2`, `$s3` e `$s4` respectivamente
- Código MIPS compilado:

```
add $t0, $s1, $s2      # reg. $t0 contém g + h
add $t1, $s3, $s4      # reg. $t1 contém i + j
sub $s0, $t0, $t1
# reg. $s0 contém $t0 - $t1,
# que é (g + h) – (i + j)
```

Operandos no hardware do computador

- **Operandos na memória:**
  - Operações aritméticas só ocorrem com os registradores nas instruções MIPS:
    - O MIPS deve ter instruções que transferem os dados entre o processador e a memória: instruções de transferência de dados.
  - Para acessar uma palavra (*word*) na memória, é necessário passar o **endereço de memória** a ser utilizado.

Operandos no hardware do computador

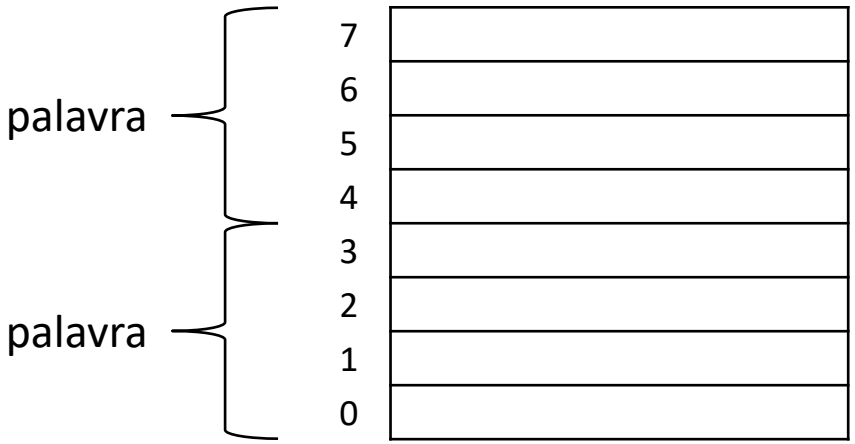
- A instrução que copia dados da memória para um registrador tradicionalmente é chamada de *load*
  - A instrução *load* é representada pelo mnemônico `lw`
- O formato da instrução *load* é:
  - o nome da operação;
  - seguido pelo registrador a ser carregado;
  - depois uma constante e
  - o registrador usado para acessar a memória.
- A soma da parte constante da instrução com o conteúdo do segundo registrador forma o endereço de memória

[EX] Compilando quando um operador está na memória

- `A` é uma sequência de 100 palavras e o compilador associou as variáveis `g` e `h` aos registradores `$s1` e `$s2`.
- O endereço inicial da sequencia esta no endereço armazenado em `$s3` (endereço base)
  - `g = h + A[8]; // código em linguagem C`
- Embora haja uma única operação nessa instrução de atribuição, um dos operandos está na memória
  - Precisamos transferir `A[8]` para um registrador:
    - `$s3` contém elemento base – o endereço de `A[0]`.
  - `lw $t0, 8($s3)` `#registrador temporário`
  - `$t0 recebe A[8]`
    - Constante → *offset*
    - Registrador somado ao *offset* → registrador de base
- A instrução seguinte (`add`) pode operar sobre o valor em `$t0`, já que é um registrador:
  - `add $s1, $s2, $t0`

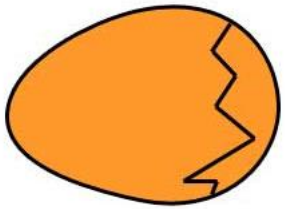
Operandos no hardware do computador

- Além de associar variáveis a registradores, o compilador aloca estrutura de dados, como vetores, em locais na memória:
  - Bytes de 8 bits são úteis em muitos programas:
    - A maioria das arquiteturas endereça bytes individuais.
  - Endereços de palavras combinam os endereços dos 4 bytes dentro da palavra (32 bits)
- No MIPS, palavras precisam começar em endereços que sejam múltiplos de 4:
  - **Restrição de Alinhamento.**

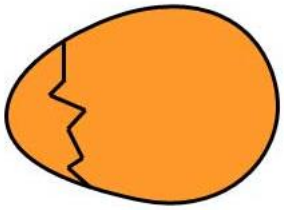


Endianness (Extremidade ou ordenação)

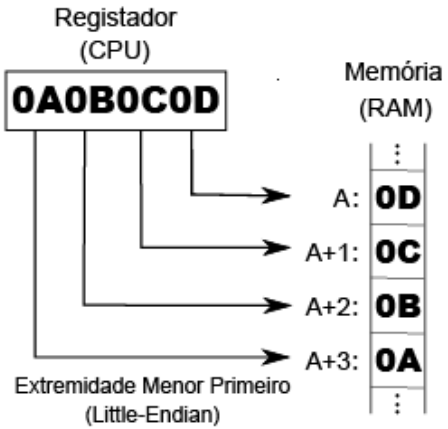
- *Big-endian* Vs. *Little-endian*
  - *Big-endian*
    - O **byte mais significativo** é armazenado no menor endereço.
  - *Little-endian*
    - O **byte menos significativo** é armazenado no maior endereço.
- O nome é inspirado na história 'As viagens de Gulliver'
- Processadores DEC e IBM são *little-endian*. Motorola e SUN são *big-endian*.
- MIPS podem ser configurados para funcionar como *big-endian* ou *little-endian*.
  - https://pt.wikipedia.org/wiki/Extremidade_(ordenação)

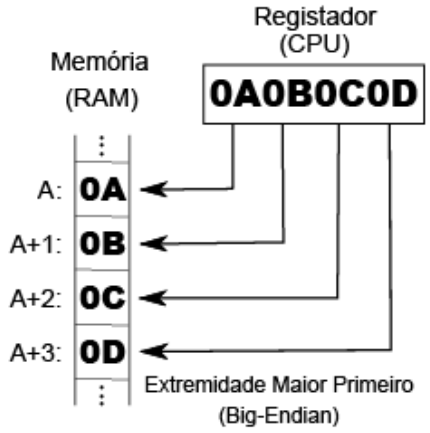


BIG ENDIAN - The way people always broke their eggs in the Lilliput land



LITTLE ENDIAN - The way the king then ordered the people to break their eggs





Operandos no hardware do computador

- Restrição de alinhamento:
  - No MIPS, palavras precisam começar em endereços que sejam múltiplos de 4.
- O endereçamento em bytes afeta o índice do *array*:
  - Para obter o endereço em bytes de maneira apropriada o offset necessita ser igual a 4 × 8 = 32
- A instrução complementar ao *load* chama-se *store:*
  - *O store* copia dados de um registrador para a memória;
  - A instrução *store* é representada pelo mnemônico `sw`.

[EX] Compilando com load e store

- Suponha que a variável `h` esteja associada ao registrador `$s2` e o endereço base do vetor `A` esteja armazenado em `$s3`.
  - Qual código assembly do MIPS para a instrução de atribuição C a seguir?
  - `A[12] = h + A[8];`
- Embora seja uma instrução na linguagem C, dois operandos estão na memória;
  - São necessárias instruções para acessar os dois operandos da memória:

```
- lw $t0, 32($s3)          # reg. temp. $t0 recebe A[8]
- add $t0, $s2, $t0        # reg. temp. $t0 recebe h + A[8]
- sw $t0, 48($s3)          # armazena resultado em A[12]
```

Operandos no hardware do computador

- Interface hardware/software:
  - Muitos programas têm mais variáveis do que os computadores têm registradores
  - O compilador tenta manter as variáveis mais utilizadas nos registradores e coloca as restantes na memória
    - Usando *load* e *store* para movimentar os dados
  - *Spilling registers:*
    - O processo de colocar variáveis menos utilizadas, ou aquelas que só serão empregadas mais tarde, na memória.
  - Registradores, apesar de serem mais reduzidos e terem um tamanho menor que a memória principal, são mais rápidos:
    - Define a preocupação com a utilização correta dos registradores

- Constantes ou operandos imediatos
  - Muitas vezes, os valores que necessitam ser trabalhados são passados na instrução como constantes, e não como endereços de memória;
  - Quando os dados são passados dessa forma, como constantes, é utilizado o modo de **endereçamento imediato**.

Operandos no hardware do computador

- **Trabalhando com constantes:**
  - Usando apenas instruções, teríamos de ler uma constante da memória para utilizá-la:
    - `lw $t0, EndConstante4($s1)`
    - `add $s3, $s3, $t0`
    - Supondo que `EndConstante4` seja o endereço de memória para a constante 4
  - Oferecer instruções aritméticas em que o operando seja uma constante:
    - Evita o uso de uma instrução *load (*uma leitura em memória desnecessária)
  - Essa instrução (no caso de uma soma) é chamada de `add` imediato, ou `addi`:
    - `addi $s3, $s3, 4 # $s3 = $s3 + 4`

Operandos no hardware do computador

- Trabalhando com constantes (cont.)
  - Os operandos com constantes ocorrem com bastante frequência e, incluindo constantes dentro das instruções aritméticas, as operações tornam-se mais rápidas para serem executadas.

- **Princípio de projeto 3:**
  - Agilize os casos mais comuns

Assembly do MIPS

Assembly do MIPS				
Categoria	**Instrução**	**Exemplo**	**Significado**	**Comentários**
Aritmética	add	`add $s1, $s2, $S3`	$s1 = $s2 + $s3	3 operandos; Dados nos registradores.
	subtract	`sub $s1, $s2,$s3`	$s1 = $s2 - $s3	3 operandos; Dados nos registradores.
Tranf. de dados	load word	`lw $s1, 100($s2)`	$s1 = Memória[$s2 + 100]	Dados da memória para o registrador.
	store word	`sw $s1, 100($s2)`	Memória[$s2 + 100] = $s1	Dados do registrador para a memória.

BIBLIOGRAFIA

- PATTERSON, D.A; HENNESSY, J.L. **Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software.** 3a. Ed. Elsevier, 2005.
  - Capítulo 2

- Notas de aula do prof. Luciano J. Senger:
  - http://www.ljsenger.net/classroom.html

- Outras referências:
  - http://www.cs.umd.edu/class/sum2003/cmsc311/Notes/Data/endian.html

[FIM]

- FIM:
  - **[AULA 02]** Conjunto de instruções 1
- Próxima aula:
  - **[AULA 03]** Conjunto de instruções 2