Fundamentos de Arquitetura de Computadores

Tiago Alves

Faculdade UnB Gama
Universidade de Brasília

Revisão

Componentes:

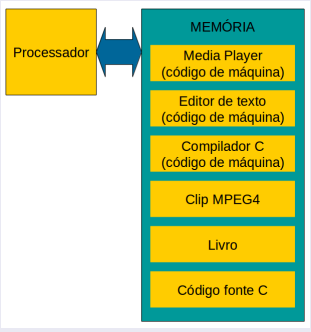
- Carrega words mas endereça bytes
- Aritmética somente entre registradores ou imediato
- Tamanho padrão 32 bits

Instrução:	Significado:
`add $s1, $s2, $s3`	`$s1 = $s2 + $s3`
`sub $s1, $s2, $s3`	`$s1 = $s2 - $s3`
`addi $s1,$s2,imm`	`$s1=$s2+imm`
`muli $s1,$s2,imm`	`$s1=$s2 x imm # (pseudo-instrução)`
`lw $s1, imm($s2)`	`$s1 = Memory[$s2+imm]`
`sw $s1, imm($s2)`	`Memory[$s2+imm] = $s1`

UnB Gama

Programa armazenado

- Instruções são compostas por bits.
- Programas são armazenados na memória para serem lidos da mesma forma que os dados.



Programa armazenado

Ciclos de **busca e execução**:

- Instruções são **buscadas** e colocadas num registrador especial (IR: Instruction Register).
- Bits neste registrador "**controlam**" as ações subsequentes necessárias a execução da instrução.
- Busca a próxima instrução e continua...

Formato de Instruções MIPS

Instruções, assim como registradores e words de dados, também têm 32 bits de comprimento

op	rs	rt	rd	shamt	funct
6 bits	5 bits	5 bits	5 bits	5 bits	6 bits

Campos (fields):

- `op`: operação básica da instrução: opcode
- `rs`: primeiro registrador de operando origem (source)
- `rt`: segundo registrador de operando origem (source)
- `rd`: registrador de operando destino: resultado (destination)
- `shamt`: shift amount
- `funct`: variação da operação: function code

Formato de Instruções MIPS

Exemplo: `add $t0, $s1, $s2`

- registradores são identificados por seus números (vide tabelas): $t0=8, $s1=17, $s2=18

Formato de Instrução Tipo-R (`add: op=0 funct=32`)

Campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
decimal	0	17	18	8	0	32
binário	000000	10001	10010	01000	00000	100000
Tamanho	6 bits	5 bits	5 bits	5 bits	5 bits	6 bits

Formato de Instruções MIPS

O que acontece quando uma instrução necessita de campos maiores?

- Usa o imediato.

```
addi $t0,$t1,Imm
lw $t0,Imm($t1)
```

Formato de Instruções MIPS

Quarto Princípio de Projeto:

- **Um bom projeto exige bons compromissos.**

Compromisso do MIPS: Manter todas as instruções com o mesmo comprimento de bits, independente do tipo de formato da instrução!

Formato de Instruções MIPS

Novo tipo de formato de instrução para instruções com dados Imediatos.

- Exemplo: `lw $t0, 32($s3)`

O comprimento do quarto campo do Tipo-I é a soma dos comprimentos dos últimos três campos do Tipo-R.

Formato de Instrução Tipo-I

op	rs	rt	Imm
35	19	8	32
100011	10011	01000	0000000000100000
6 bits	5 bits	5 bits	16 bits

Compilação manual...

- Suponha que $t1 tenha o endereço base de A e que $s2 corresponda a h, traduza a seguinte linha em C para código de máquina MIPS:

  ```
  A[300] = h + A[300];
  ```

- Primeiro, temos que o código em assembly correspondente é:

  ```
  lw $t0,1200($t1) # $t0 = A[300]
  add $t0, $s2, $t0 # $t0 = h + A[300]
  sw $t0, 1200($t1) # A[300] = h + A[300]
  ```

- Qual o código em linguagem de máquina destas 3 instruções?

Compilação manual...

	op	rs	rt	rd	endereço /shamt	funct
lw $t0,1200($t1)	35	9	8	1200		
add $t0, $s2, $t0	0	18	8	8	0	32
sw $t0, 1200($t1)	43	9	8	1200		

op	rs	rt	rd	endereço /shamt	funct
100011	01001	01000	0000 0100 1011 0000		
000000	10010	01000	01000	00000	100000
101011	01001	01000	0000 0100 1011 0000		

Na Memória:

0x00400000 8D 28 04 B0
0x00400004 02 48 40 20
0x00400008 AD 28 04 B0

Operações Lógicas

Operação	C	Instrução MIPS	Opcode / Funct
Shift à esquerda	<<	sll	0 / 0
Shift à direita	>>	srl	0 / 2
AND	&	and andi	0 / 36 12
OR	|	or ori	0 / 37 13
XOR	^	xor xori	0 / 38 14
NOR		nor	0 / 39

E as outras? Ex.: not?

Operações Lógicas

`NOT`

- Realizado utilizando o `NOR`.
- Utiliza-se o $zero (Hardwired) de preferência!
- Expressão Booleana: `A NOR B = NOT (A OR B)`.
- Se B = 0: `NOT (A OR 0) = NOT(A)`.

Operações Lógicas

`sll` e `srl` (deslocamentos lógicos ou *logical shifts*)

- Instrução do Tipo-R.
- Utiliza o campo shamt (*shift amount*)
  - Quantidade de Deslocamento (de acordo com a direção!)
  - Ex.: `sll $t2, $s0, 4 # $t2 = $s0 << 4 bits`

op	rs	rt	rd	shamt	funct
0	0	16	10	4	0

Operações Lógicas

`AND` e `OR`

- Mesma atribuição do `AND` e `OR` booleanos
- Realizados Bit-a-bit

  `AND`: Operação de "mascaramento" (ocultar bits) e "chave lógica".

  `OR`: "Junção de sinais lógicos"

MIPS: Existem os equivalentes para `AND` e `OR` com Imediatos (`ori` e `andi`) .

Controle de Fluxo

Desvio **Incondicional**

- Registrador Especial PC (Program Counter): indica qual o endereço da próxima instrução a ser buscada na memória
- Instruções MIPS

```
jr   $t0       # Jump Register:  PC=[$t0]              Obs.: Tipo-R !
j Label        # Jump Label: PC=Label
jal Label      # Jump and Link: $ra=PC+4; PC=Label
```

Formato de instrução Tipo-J: Ex.: `j 1200`

op	Endereço
2	1200
000010	00000000000000010010110000
6 bits	26 bits

Controle de Fluxo

Desvio Condicional:

```
bne $t0, $t1, Label     # Branch if Not Equal: $t0!=$t1  ? PC=Label
beq $t0, $t1, Label     # Branch if Equal: $t0==$t1 ? PC=Label
```

C:

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

Assembly:

```
beq $s4, $s5, Label1
add $s3, $s4, $s5
j Label2
Label1:  sub $s3, $s4, $s5
Label2:  ...
```

Exercício: Implementar um Loop: `for(i=0;i!=10;i++) {....}`

Comparações

No MIPS, são implementadas as comparações: == e != Como implementar: <, >, <=, >= ?

Instrução MIPS: Set on Less Than

- `slt $t0,$t1,$t2` `# $t0=1 se $t1<$t2;` `$t0=0 caso contrário`
- `slti $t0,$t1,Imm` `# $t0=1 se $t1<Imm; $t0=0 caso contrário`
- Apenas com estas instruções podemos montar várias estruturas de controle.
- Ao montador, é reservado o registrador $1 ($at) para essa tarefa

Ex.: Construa a pseudo-instrução Branch If Less Than : `blt $t0,$t1,Label`

```
slt $at, $t0, $t1
bne $at, $zero, Label
```

Constantes

Constantes pequenas são usadas muito frequentemente (50% dos operandos).

```
A = A + 5;
B = B + 1;
C = C - 18;
```

Como tratar constantes no MIPS?

- coloque constantes típicas na memória e carregue-as.
- crie registradores hardwired (como $zero) para constantes como um (1).

Instruções com imediato MIPS:

```
addi $29, $29, 4
slti $8, $18, 10
andi $29, $29, 6
ori $29, $29, 4;
```

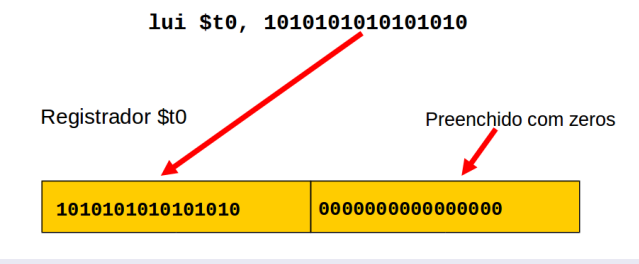
Ex.: Implemente a pseudo instrução: `li $t0,Imm  #(Load Immediate)`

Princípio de Projeto

Agilizar o caso mais comum!

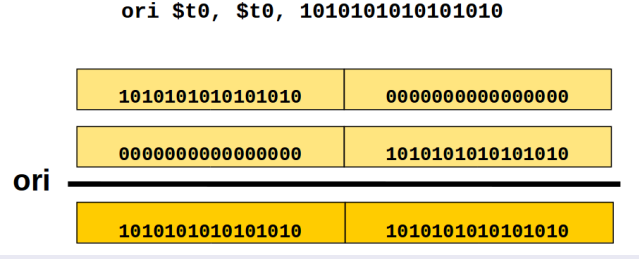
Constantes (maiores)

Para carregar uma constante de 32 bits num registrador são necessárias duas instruções. Nova instrução: load upper immediate



Constantes (maiores)

Carga dos bits menos significativos...



Linguagem Assembly vs. Linguagem de Máquina

O assembly fornece uma representação simbólica conveniente

- muito mais fácil do que escrever números binários
- por exemplo, destino primeiro
- Pode-se usar Labels em vez de endereços numéricos

A linguagem de máquina é realidade subjacente

- Por exemplo, o destino não é mais o primeiro
- Labels são convertidos em números apropriados

O assembly pode fornecer "pseudo-instruções"

- por exemplo, `move $t0, $t1` existe apenas no assembly
- pode ser implementada usando `add $t0,$t1,$zero`

Ao considerar o desempenho, você deve contar as instruções reais.

Outras questões

Abordadas no Livro e Apêndices do Livro texto:

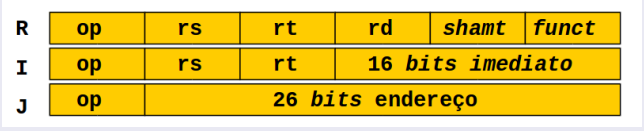
- suporte para procedimentos;
- linkers, carregadores, layout da memória;
- pilhas, frames, recursão;
- manipulação de strings e ponteiros;
- interrupções e exceções;
- chamadas de sistema e convenções.

Resumo...

Instruções simples, todas de 32 bits

Bastante estruturada

Somente três formatos de instruções



Contar com o compilador para obter desempenho

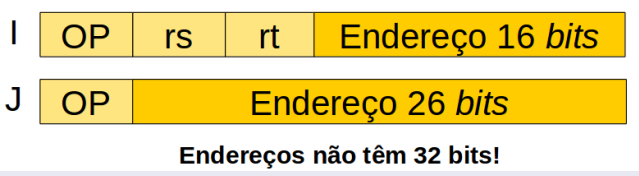
Auxiliar o compilador onde for possível

Endereços (do Contador de Programa PC) em desvios

Instruções

```
bne $t4, $t5, Label      # Próxima instrução em Label se $t4 != $t5
beq $t4, $t5, Label      # Próxima instrução em Label se $t4 == $t5
j Label # Próxima instrução em Label
jal Label # $ra=PC+4; Próxima Instrução em Label
```

Formatos



Linguagem Assembly vs. Linguagem de Máquina

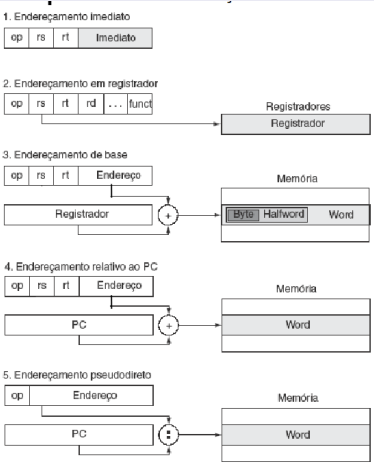
Pode-se especificar um registrador (como lw e sw) e adicioná-lo ao endereço (Endereço Relativo)

- utilizar Instruction Address Register (PC = program counter)
- maioria dos desvios são locais (Princípio da Localidade)

Instruções tipo-J, j e jal , utilizam os 4 bits de alta ordem do PC e concatenam ao endereço do (Label (26)<<2)(28) totalizando os 32 bits:

- limites de endereço de 256 MB (64M instruções).
- O montador e o linker precisam cuidar disso!

Endereços (do Contador de Programa PC) em desvios



Ex.:
addi $t0,$t1,Imm

add $t0,$t1,$t2
jr $t0

lw $t0,Imm($t1)
lhu $t0,Imm($t1)
lbu $t0,Imm($t1)

beq $t0,$t1,Label

j Label
jal Label

Endereços (do Contador de Programa PC) em desvios

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

```
Loop:  sll $t1,$s3,2
       add $t1,$t1,$s6
       lw $t0,0($t1)
       bne $t0,$s5, Exit
       addi $s3,$s3,1
       j Loop
Exit:
```

80000	0	0	19	9	2	0	
80004	0	9	22	9	0	32	
80008	35	9	8	0			
80012	5	8	21	2			
80016	8	19	19	1			
80020	2	20000					
80024	...						

Endereços (do Contador de Programa PC) em desvios

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

- MIPS: Possuem endereços em bytes, diferenciando em 4 bytes (word);
- A instrução bne acrescenta 2 words (8 bytes) na instrução seguinte, especificando o endereço de desvio (8 + 80016) e não em relação à instrução atual (12 + 80012), ou ao endereço completo/absoluto (80024).
- O jump utiliza o endereço completo (20000 x 4 = 80000)

```
Loop:  sll $t1,$s3,2
       add $t1,$t1,$s6
       lw $t0,0($t1)
       bne $t0,$s5, Exit
       addi $s3,$s3,1
       j Loop
Exit:
```

80000	0	0	19	9	2	0	
80004	0	9	22	9	0	32	
80008	35	9	8	0			
80012	5	8	21	2			
80016	8	19	19	1			
80020	2	20000					
80024	...						