

Execução detalhada de instruções

TPC4 + Guião Teatral

Alberto José Proença

Objectivos

Treinar as capacidades de visualização de terminologia e conceitos que descrevem o funcionamento de um sistema de computação na execução de código.

Para atingir estes objetivos vai-se realizar um exercício experimental com estudantes-atores, em *contra-relógio*: usando 8 atores: "banco de registos", "ALU", "unidade de controlo do processador", "descodificador de instruções", "memória", "barramento de endereços", "barramento de dados", e "barramento de controlo". Estes irão representar (teatralmente) a execução de um conjunto de instruções em linguagem máquina, o corpo de uma função em C compilada e montada para uma arquitetura IA-16.

Como preparação para esta peça de teatro, são propostos alguns exercícios sob a forma de TPC. Estes deverão ser resolvidos e entregues no início da próxima sessão PL, para discussão sucinta no início dessa sessão, seguindo-se a peça de teatro propriamente dita (esta poderá durar 2 semanas consecutivas).

1. Exercícios de preparação (TPC)

1. Considere a execução duma operação aritmética "montada" em linguagem máquina para a arquitetura IA-16 definida neste TPC, desde que o processador terminou a instrução anterior; em *assembly* corresponde a `addw %bx, -8(%bp)`.

Essa instrução dá indicação ao processador para adicionar 2 operandos de 16 bits – 1 colocado em registo e outro em memória – e guardar o resultado de volta nas mesmas células de memória onde antes estava guardado o 2º operando. O 1º operando está no registo `%bx`, enquanto o 2º operando está localizado em memória a partir do endereço calculado pela soma do conteúdo do registo `%bp` com a constante `(-8)`. Considere os valores em memória e nos registos apresentados neste enunciado nas pág. 4 e 5, e que esta instrução está codificada em 2 bytes na memória, referenciados pelo IP (veremos depois que isto é falso).

Indique, cronologicamente e em binário ou hexadecimal, toda a informação que irá circular nos 3 barramentos (ver sua descrição no exercício 2.) durante a execução integral desta instrução (não esquecer que o processador tem de ir buscar a instrução à memória). Considere que o barramento de dados transporta a informação de/para a memória sob a forma *little endian*, i.e., o byte menos significativo do barramento refere-se ao conteúdo da célula de memória com o endereço mais baixo.

Indique também todos os registos e todas as células de memória que foram modificados com a execução desta instrução.

2. Considere a operação de montagem em binário dessa mesma instrução em *assembly* de acordo com as regras definidas neste enunciado (inclui pág. 3): `addw %bx, -8(%bp)`.

Mostre como seria esta instrução em linguagem máquina deste IA-16 (em hexadecimal, *byte a byte*), depois de montada pelo *assembler*. **Explique** sucintamente, o processo de montagem.

2. Caracterização da "peça de teatro"

Pretende-se com este exercício analisar todos os passos da execução de instruções por um processador *little endian* de 16 bits (semelhante ao Intel x86), desde a busca de cada uma das instruções à memória, até à sua execução, passando pela sua descodificação.

Os principais componentes do computador serão representados por estudantes-atores, estando cada uma/um apenas na posse da informação que lhe é pertinente e durante o tempo que essa informação existe.

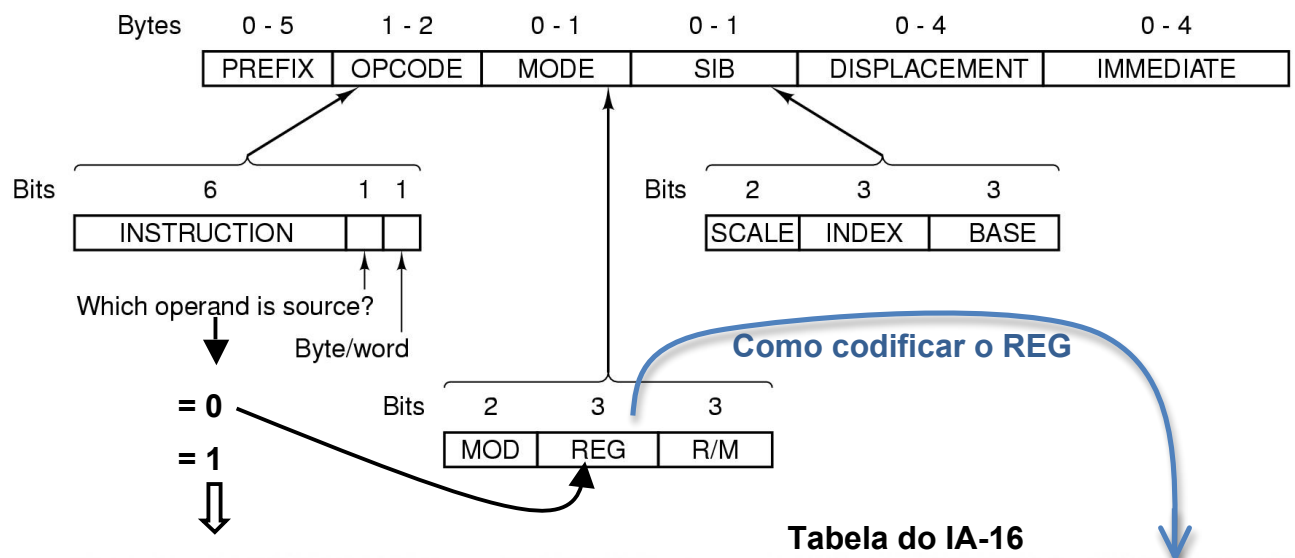
Caraterísticas do sistema de computação e funções a desempenhar por cada estudante-ator:

1. **Processador**, constituído pelas seguintes partes/atores:
 - a. **banco de registos**, responsável pelo conteúdo dos 8 registos "genéricos" do Intel x86 (*ax*, *bx*, *cx*, *dx*, *si*, *di*, *bp*, *sp*) e do *instruction pointer* (*ip*); no início do exercício, os registos terão um conteúdo pré-definido (folha com o ator; contém a lista de registos e respectivo conteúdo inicial, bem como espaço para escrever os novos valores dos registos);
 - b. **ALU**, responsável por efetuar as operações aritméticas (soma/subtração) ou lógicas (AND/OR/NOT) que lhe forem solicitadas, e sobre os operandos que lhe forem disponibilizados; no fim o resultado necessita de ser armazenado algures; as operações são feitas no quadro e apagadas após a sua conclusão (a ALU não tem capacidade de armazenar valores);
 - c. **unidade de controlo**, responsável por gerar todos os sinais que controlam as operações no exterior do processador, e ainda por dar todas as instruções para o correto funcionamento interno do processador; a apoiá-la/o terá a colaboração de uma outra estrutura/ator (o decodificador de instruções);
 - d. **decodificador de instruções**, com capacidade para armazenar internamente até 4 *bytes* com instruções em binário; a decodificação das instruções faz-se com base na informação disponibilizada na pág. 3, contendo:
 - (i) figura com os formatos de instruções do i386,
 - (ii) mapa da codificação dos modos de endereçamento do i386, em que a última coluna mostra também como os registos são codificados, e
 - (iii) tabela com códigos de operação das instruções mais usadas nesta peça; de notar que este mapa dos modos de endereçamento se refere a um processador de 32 bits, mas que iremos adaptá-lo nesta peça a um processador de 16 bits, com as necessárias correções (por ex., todas as referências a registos de 32 bits deverão ser substituídas por referências a registos de 16 bits);
2. **Memória**, responsável pelo conteúdo das 2^{16} células de memória (folha com o ator; contém o conteúdo de células numa lista de endereços previamente definidos, bem como espaço para escrever novos valores em células que tenham sido modificadas);
3. **Barramentos** de interligação entre o processador e a memória:
 - a. **barramento de endereços**, responsável por transportar 16 bits de cada vez (em 2 folhas de papel, 1 em cada mão contendo um valor numérico de 1 *byte*), e apenas durante o período de tempo em que esses valores estiverem ativos no barramento;
 - b. **barramento de dados**, responsável por transportar 16 bits de cada vez (em 2 folhas de papel, 1 em cada mão contendo um valor numérico de 1 *byte*), e apenas durante o período de tempo em que esses valores estiverem ativos no barramento;
 - c. **barramento de controlo**, responsável por transportar os sinais de controlo que forem necessários (neste exercício apenas serão necessários os sinais de RD e WR).

3. Guião teatral

1. Distribuir os papéis com a informação pertinente a cada um dos atores, conjuntamente com várias folhas de papel para que o "CPU" e a "memória" possam escrever a informação que os "barramentos" irão transportar.
2. Considerar que o CPU acabou de executar uma instrução, e que o estado do computador é o que está representado nas folhas distribuídas.
3. Simular com as/os atores a execução de instruções até ao fim da 1ª instrução de *ret* que encontrar.
4. (Para fazer depois da aula) Tentar recriar o código em C que deu origem a esta função compilada. (Sugestão: dê uma vista de olhos pelos slides das aulas...)

Formatos de instrução no IA-32



Operands	Memory Operands			Register Operands	
	No Displacement	Displacement 8-bit	Displacement 16-bit	11	
	00	01	10	W = 0	W = 1
MOD					
000	(BX) + (SI)	(BX) + (SI) + D8	(BX) + (SI) + D16	AL	AX
001	(BX) + (DI)	(BX) + (DI) + D8	(BX) + (DI) + D16	CL	CX
010	(BP) + (SI)	(BP) + (SI) + D8	(BP) + (SI) + D16	DL	DX
011	(BP) + (DI)	(BP) + (DI) + D8		BL	BX
100	(SI)	(SI) + D8	(SI) + D16	AH	SP
101	(DI)	(DI) + D8	(DI) + D16	CH	BP
110	D16	(BP) + D8	(BP) + D16	DH	SI
111	(BX)	(BX) + D8	(BX) + D16	BH	DI

Opcode	Mnemónica	Comentários
0000 00xx	add	xx: ver figura acima; requer mais <i>bytes</i>
0101 0yyy	push	yyy: identificação de registo, de acordo com tabela acima
0101 1yyy	pop	yyy: identificação de registo, de acordo com tabela acima
1000 10xx	mov	xx: ver figura acima; requer mais <i>bytes</i>
1000 110x	lea	xx: ver figura acima; requer mais <i>bytes</i>
1100 0011	ret	

Banco de registos

ax	xxxx xxxx xxxx xxxx	0 0 0 c		
bx	xxxx xxxx xxxx xxxx	f f e f		
cx	xxxx xxxx xxxx xxxx	0 0 0 0		
dx	xxxx xxxx xxxx xxxx	0 1 4 0		
si	xxxx xxxx xxxx xxxx	8 0 8 0		
di	xxxx xxxx xxxx xxxx	8 0 c 6		
bp	xxxx xxxx xxxx xxxx	8 4 1 c		
sp	xxxx xxxx xxxx xxxx	8 4 1 4		
ip	xxxx xxxx xxxx xxxx	4 0 4 0		

Memória

0x0000	0101 1001	<u>5</u> <u>9</u>	___	___	___	___	___
...	...						
0x4040	0101 0101	<u>5</u> <u>5</u>	___	___	___	___	___
1	1000 1001	<u>8</u> <u>9</u>	___	___	___	___	___
0x4042	1110 0101	<u>e</u> <u>5</u>	___	___	___	___	___
3	1000 1011	<u>8</u> <u>b</u>	___	___	___	___	___
0x4044	0100 0110	<u>4</u> <u>6</u>	___	___	___	___	___
5	0000 0110	<u>0</u> <u>6</u>	___	___	___	___	___
0x4046	0000 0011	<u>0</u> <u>3</u>	___	___	___	___	___
7	0100 0110	<u>4</u> <u>6</u>	___	___	___	___	___
0x4048	0000 0100	<u>0</u> <u>4</u>	___	___	___	___	___
9	1000 1001	<u>8</u> <u>9</u>	___	___	___	___	___
0x404a	1110 1100	<u>e</u> <u>c</u>	___	___	___	___	___
b	0101 1101	<u>5</u> <u>d</u>	___	___	___	___	___
0x404c	1100 0011	<u>c</u> <u>3</u>	___	___	___	___	___
d	1000 1101	<u>8</u> <u>d</u>	___	___	___	___	___
0x404e	0111 0110	<u>7</u> <u>6</u>	___	___	___	___	___
f	0000 0000	<u>0</u> <u>0</u>	___	___	___	___	___
...	...						
0x8410	0010 1001	<u>2</u> <u>9</u>	___	___	___	___	___
1	0001 1111	<u>1</u> <u>f</u>	___	___	___	___	___
0x8412	1101 0101	<u>d</u> <u>5</u>	___	___	___	___	___
3	0010 1001	<u>2</u> <u>9</u>	___	___	___	___	___
0x8414	0001 0010	<u>1</u> <u>2</u>	___	___	___	___	___
5	0100 0000	<u>4</u> <u>0</u>	___	___	___	___	___
0x8416	0001 0100	<u>1</u> <u>4</u>	___	___	___	___	___
7	0000 0000	<u>0</u> <u>0</u>	___	___	___	___	___
0x8418	1110 1010	<u>e</u> <u>a</u>	___	___	___	___	___
9	1111 1111	<u>f</u> <u>f</u>	___	___	___	___	___
...	...						

Nº	Nome:	Turma:
----	-------	--------

Resolução dos exercícios

(**Nota:** Apresente sempre os cálculos que efectuar no verso da folha; o não cumprimento desta regra equivale à não entrega do trabalho.)

1. **Indique**, cronologicamente e em bin ou hex, toda a informação que irá circular nos 3 barramentos:

```
addw %bx, -8(%bp)
```

Address Bus:

Data Bus:

Control Bus (indique apenas os sinais de controlo):

Indique também todos os registos e todas as células de memória modificados:

2. **Mostre** como seria esta instrução em linguagem máquina deste IA-16 (**explique** como lá chegou)