

## Módulo 4

### Hierarquia de Memória: Desempenho e Organização

#### Avaliação do Desempenho

$$T_{exec} = CPI * \#I / f$$
$$CPI = CPI_{CPU} + CPI_{MEM}$$
$$CPI_{MEM} = (mr_I + mr_D * \%Mem) * mp$$

**Exercício 1** - Considere um programa com as características apresentadas na tabela 1, executado numa máquina com uma frequência do relógio de 2 GHz. Note que os valores apresentados correspondem ao que normalmente designamos por  $CPI_{CPU}$  para cada classe de instruções. Note também que a alínea i+1) refere-se sempre à máquina descrita na alínea i), com as modificações propostas. Por exemplo, na alínea c) deve considerar os tempos de acesso à memória principal da alínea b).

Tipo de instrução	Nº Instruções	$CPI_{CPU}$
Operações inteiras	$6 * 10^8$	1
Acessos à memória	$12 * 10^8$	1
Operações FP	$2 * 10^8$	3

**Tabela 1 - Distribuição das instruções e CPI**

- Considere que a máquina tem uma *cache* infinita (isto é, não há *cache misses*, todos os dados e código estão sempre na *cache*, logo  $mr_I = mr_D = 0$ ). Qual o CPI médio e o tempo de execução deste programa?
- Suponha agora o mesmo programa a executar numa máquina sem *cache* (logo  $mr_I = mr_D = 1$ ). Os acessos à memória central são realizados em blocos de 4 palavras, sendo necessários 60 ns para iniciar a transferência e 10 ns adicionais por cada palavra transferida. Qual o CPI médio e o tempo de execução?
- Se à máquina da alínea anterior for acrescentado um nível de memória *cache*, exibindo uma *miss rate* de acesso às instruções de 8% e de acesso aos dados de 10%, qual o CPI médio e o tempo de execução do programa? Qual o ganho relativamente à alínea anterior?
- Suponha que a capacidade da *cache* é aumentada para o dobro, resultando numa *miss rate* de 4.8% para as instruções e 7% para os dados. Este aumento de capacidade resulta também num aumento do tempo de acesso à *cache* (*hit time*), implicando um aumento de 25% do  $CPI_{CPU}$ . Qual o CPI médio e o tempo de execução do programa?

- e) Para tirar partido da localidade espacial aumentou-se, na máquina anterior (alínea d) ), o número de palavras por linha da *cache* de 4 para 8, reduzindo a *miss rate* de instruções para 3% e de dados para 5%. Qual o CPI médio e o tempo de execução do programa?
- f) Para reduzir a *miss penalty* a memória principal da máquina anterior foi substituída por outra mais rápida, com uma latência de 50ns e 7.5ns por palavra. Qual o CPI médio e o tempo de execução do programa?
- g) O processador da máquina foi substituído por outro com uma frequência de 3 GHz, mantendo-se constantes todos os outros parâmetros do sistema. Qual o CPI médio e o tempo de execução do programa? Qual o ganho relativo à máquina anterior? Comente esse resultado em termos do ganho obtido relativamente ao aumento da frequência.

**Exercício 2** - A tabela abaixo apresenta na coluna da esquerda uma sequência de endereços ( $m=5$ ) de acesso à memória gerados por um determinado programa. As três colunas seguintes representam 3 diferentes modos de mapeamento numa *cache* que usa o algoritmo de substituição LRU. Preencha estas colunas indicando em que *set*/linha (dentro do *set*) mapeia cada endereço e indicando se se trata de um *cold miss*, colisão ou de um *hit* (veja o exemplo na 1ª linha). Considere a *cache* inicialmente fria. Finalmente indique na última linha a *miss rate* observada.

**Sugestão:** Para cada organização mantenha um registo do valor da *tag* para cada linha.

Addr	(S=4, E=1,B=2,m=5)	(S=1, E=4,B=2,m=5)	(S=2, E=2,B=2,m=5)
5 (00101)	Set 2 / Linha 0 ( <i>cold miss</i> )	Set 0 / Linha 0 ( <i>cold miss</i> )	Set 0 / Linha 0 ( <i>cold miss</i> )
14			
10			
29			
4			
21			
16			
5			
Miss rate:			