

Módulo 2

Hierarquia de Memória: Desempenho

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 – Considere um processador com arquitetura IA32 e uma hierarquia de memória com as seguintes características:

- i. toda e qualquer instrução ocupa 4 bytes em memória (Note bem: isto não é verdade na arquitetura IA32);
- ii. a *cache* (um único nível L1) está organizada em linhas com capacidade para 8 bytes;
- iii. a transferência de informação (dados ou código) entre a memória e a *cache* ocorre em blocos de 8 bytes; o endereço do primeiro byte deste bloco é sempre um múltiplo de 8;
- iv. considere a *cache* inicialmente fria;
- v. considere que na execução do código abaixo não ocorrem colisões na *cache*.

Considere também o excerto de código apresentado abaixo, sabendo que a primeira instrução está armazenada num endereço de memória múltiplo de 8 (e ocupando também os 3 bytes seguintes, uma vez que todas as instruções ocupam 4 bytes):

```
        mov    $-4, %ebx
        mov    $2, %ecx
loop:   mov    (%ebx, %ecx, 4), %eax
        add    %eax, %edx
        dec    %ecx
        jnz    loop
```

- a) Indique na coluna “Instrução” da Tabela 1 as instruções executadas por este programa segundo a ordem da sua execução.
- b) Relativamente à busca de instruções (*Fetch*) e ao acesso a dados em memória (no caso de este último acontecer) assinale para cada instrução se ocorre um *hit* ou *miss*.

Tabela 1- Execução do programa

#I	Instrução	Fetch		Mem data access	
		Hit	Miss	Hit	Miss
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

- c) Qual a percentagem de instruções executadas que acede a dados em memória (%Mem)?
- d) Quais as *miss rate* de instruções e dados (mr_i e mr_D)?
- e) Sabendo que a *miss penalty* incorrida por cada *miss* é de 50 ns e que a frequência do relógio deste processador é de 3 GHz, calcule CPI_{MEM_I} , CPI_{MEM_D} e CPI_{MEM} .
- f) Sabendo que o CPI_{CPU} é de 2 ciclos, qual o tempo de execução deste excerto de programa?