

[AULA 05] Avaliando o desempenho 1

Prof. João F. Mari
joaof.mari@ufv.br

BIBLIOGRAFIA

- Definindo o desempenho
- **[EX]** Vazão e tempo de resposta
- Tempo de resposta
- **[EX]** Desempenho relativo
- Medindo o desempenho
- Desempenho da CPU e seus fatores
- **[EX]** Melhorando o desempenho
- Interface Hardware/Software
- **[EX]** Usando a equação do desempenho

DEFININDO O DESEMPENHO

Definindo o desempenho

- Executando o mesmo programa em dois desktops diferentes:
 - O mais rápido é o que ***termina a tarefa primeiro***.
- CPD (central de processamento de dados) com vários servidores realizando tarefas submetidas por muitos usuários:
 - O mais rápido é aquele que completou ***a maior quantidade de tarefas*** durante um dia.

Definindo o desempenho

- Computador individual:
 - Reduzir o tempo de resposta;
 - Tempo de resposta (tempo de execução ou **latência**) :
 - O tempo entre o início e o término de uma tarefa.
- CPDs:
 - Reduzir a vazão;
 - Vazão (***throughput***):
 - Quantidade de trabalho feito em determinado tempo.

[EX] Vazão e tempo de resposta

- As seguintes mudanças e um sistema computacional aumentam a vazão, diminuem o tempo de resposta ou as duas coisas?
 - 1) Substituir o processador em um computador por uma versão mais rápida.
 - 2) Incluir processadores adicionais em um sistema que usa múltiplos processadores para tarefas distintas – por exemplo, busca na Web.

[EX] Vazão e tempo de resposta

- **RESPOSTA:**
- Diminuir o tempo de resposta quase sempre aumenta a vazão.
 - Caso 1) Tanto o tempo de resposta como a vazão são melhorados
 - Caso 2) Como nenhuma tarefa é realizada primeiro, apenas a vazão é melhorada
 - Demanda por processamento maior que a vazão → **enfileiramento.**
 - Aumentar a vazão implicaria na redução do tempo de resposta pois reduziria o tempo de espera na fila.

Tempo de resposta

- **Tempo de resposta:**
 - Nossa principal preocupação!
- Para maximizar o desempenho devemos minimizar o tempo de execução de uma determinada tarefa:
 - $\text{Desempenho}_x = 1 / \text{TempoDeExecução}_x$
- Para dois computadores X e Y, se o desempenho de X é maior que o de Y, temos:
 - $\text{Desempenho}_x > \text{Desempenho}_y$
 - $1 / \text{TempoDeExecução}_x > 1 / \text{TempoDeExecução}_y$
 - $\text{TempoDeExecução}_x < \text{TempoDeExecução}_y$
- X é mais rápido de que Y, se o tempo de execução em Y é maior do que em X.

Tempo de resposta

- Relacionar o desempenho de dois computadores diferentes de maneira quantitativa
 - X é n vezes mais rápido do que Y:
 - $n = \text{Desempenho}_X / \text{Desempenho}_Y$
- Se X é n vezes mais rápido que Y, então...
 - O tempo de execução em Y é n vezes maior do que em X:
 - $n = \text{TempoDeExecução}_Y / \text{TempoDeExecução}_X$

[EX] Desempenho relativo

- Um computador A executa um programa em 10 segundos e o computador B executa o mesmo programa em 15 segundos. O quanto A é mais rápido do que B?
- Sabemos que A é n vezes mais rápido que B se
 - $\text{Desempenho}_A / \text{Desempenho}_B = n$
 - $\text{TempoDeExecução}_B / \text{TempoDeExecução}_A = n$
 - Fator de desempenho é:
 - $15 / 10 = 1,5$
- A é 1,5 vezes mais rápido que B
 - Ou B é 1,5 vezes mais lento do que A
 - $\text{Desempenho}_A / \text{Desempenho}_B = 1,5$
 - $\text{Desempenho}_A / 1,5 = \text{Desempenho}_B$

Definindo o desempenho

- Desempenho e tempo de execução são recíprocos
 - Aumentar o desempenho → diminuir o tempo de execução.
 - Melhorar o desempenho → aumentar o desempenho.
 - Melhorar o tempo de execução → diminuir o tempo de execução.
- Para evitar confusão com termos como ‘aumentar’ e ‘diminuir’ utilizaremos a expressão:
 - “melhorar o desempenho” quando quisermos aumentar o desempenho.
 - “melhorar o tempo de resposta” quando quisermos diminuir o tempo de resposta.

MEDINDO O DESEMPENHO

Medindo o desempenho

- O tempo é a medida do desempenho dos computadores
 - O computador que realiza a mesma quantidade de trabalho em menos tempo é mais rápido.
- Tempo de execução do programa:
 - Medido em segundos por programa
 - Pode ser definido de diferentes maneiras:
- **Tempo de relógio (tempo de resposta ou tempo decorrido):**
 - Tempo total para executar uma tarefa
 - Incluindo acesso a disco, acesso a memória, atividades de E/S etc...

Medindo o desempenho

- Processadores trabalham em diversos programas simultaneamente...
 - Otimizar a vazão em vez de minimizar o tempo para cada programa.
- É necessário distinguir entre tempo decorrido e tempo que o processador trabalha para nós:
- **Tempo de execução de CPU (tempo de CPU):**
 - Tempo real que a CPU gasta computando uma tarefa específica
 - Não inclui o tempo gasto esperando E/S ou executando outros programas
 - ***Tempo de CPU do usuário:***
 - Tempo que a CPU gasta efetivamente com o programa
 - ***Tempo de CPU do sistema:***
 - Tempo da CPU gasta no SO realizando tarefas a pedido do programa
- Desempenho do sistema → Tempo decorrido
- Desempenho da CPU → Tempo de CPU

Medindo o desempenho

- Medir a rapidez com que o hardware realiza funções básicas
- Clock
 - Relógio que trabalha em velocidade constante e determina quando os eventos ocorrem
 - Período de clock, ciclo de clock
 - Tempo de cada ciclo de clock (Ex: 0,25 ns, 250 ps)
 - Velocidade de clock (Ex: 4GHz)
 - Inverso do período de clock, frequência do processador.
 - Medido em Hz (*hertz* – ciclos por segundo).

Desempenho da CPU e seus fatores

- Desempenho da CPU:
 - Medida de desempenho final → Tempo de execução da CPU
 - Medidas mais básicas (ciclos de clock e tempo de ciclo de clock)

$$\text{Tempo de execução da CPU para um programa} = \frac{\text{Ciclos de clock da CPU para um programa}}{\text{Velocidade de clock}} \times \text{Tempo de ciclo de clock}$$

- Como velocidade do clock e tempo do ciclo de clock são inversos:

$$\text{Tempo de execução da CPU para um programa} = \frac{\text{Ciclos de clock da CPU para um programa}}{\text{Velocidade de clock}}$$

- Melhorar o desempenho → reduzir a duração do ciclo de clock ou o número de ciclos necessários para um programa
- Muitas técnicas que diminuem o número de ciclos de clock aumentam o tempo do ciclo.

[EX] Melhorando o desempenho

- Um computador A possui clock de 4GHz e executa um determinado programa em 10 segundos.
- Queremos construir um computador B que execute esse mesmo programa em 6 segundos.
 - Entretanto, aumentar a velocidade do clock afeta o projeto da CPU e faz com que o computador B exija 1,2 vezes mais ciclos de clock do que A.
- Que velocidade de clock o projetista deve buscar?

[EX] Usando a equação do desempenho

- Número de ciclos de clock necessários para o programa em A:
 - Tempo de $CPU_A = \text{Ciclos de clock da } CPU_A / \text{Velocidade de clock}_A$
 - 10 segundos = Ciclos de clock da $CPU_A / (4 \times 10^9 \text{ ciclos/seg.})$ (4GHz).
 - Ciclos de clock da $CPU_A = 10 \text{ seg.} \times (4 \times 10^9 \text{ ciclos/seg.})$
 - Ciclos de clock da $CPU_A = 40 \times 10^9 \text{ ciclos}$
- O tempo de CPU para B
 - Tempo de $CPU_B = 1,2 \times \text{ciclos de clock de } CPU_A / \text{velocidade de clock}_B$
 - 6 segundos = $1,2 \times 40 \times 10^9 \text{ ciclos} / \text{Velocidade de clock}_B$
 - Velocidade de $\text{clock}_B = 1,2 \times 40 \times 10^9 \text{ ciclos} / 6 \text{ seg} =$
 - $= 8 \times 10^9 \text{ ciclos} / \text{seg} = 8\text{GHz}$
- A velocidade de clock de B deve ser o dobro da velocidade de clock de A

Interface Hardware/Software

- Equações anteriores não consideram o número de instruções necessárias para o programa

$$\begin{aligned} \textit{TempoDeExecução} \\ &= \textit{númeroDeInstruçõesExecutadas} \\ &\times \textit{tempoMédioDeCadaInstrução} \end{aligned}$$

- Número de ciclos de clock necessários para um programa:

$$\text{Ciclos de clock da CPU} = \frac{\text{Instruções para um programa}}{\text{Média dos ciclos de clock por instrução}}$$

- Ciclos de clock por instrução (CPI) → Número médio de ciclos de clock que cada instrução leva para ser executada
 - Diferentes instruções → diferentes quantidades de tempo
 - CPI = média de todas as instruções executadas no programa
 - Comparar duas implementações diferentes do mesmo conjunto de instruções

[EX] Usando a equação do desempenho

- Duas implementações do mesmo conjunto de instruções.
 - O computador A tem um tempo de ciclo de clock de 250 ps e um CPI de 2,0 para um determinado programa.
 - O computador B tem um ciclo de clock de 500 ps e um CPI de 1,2 para o mesmo programa.
- Qual computador é mais rápido para esse programa e o quanto é mais rápido?

[EX] Usando a equação do desempenho

- Cada computador executa o mesmo número de instruções (I).
- Encontrar o número de ciclos de *clock* do processador para cada computador.
 - Ciclos de *clock* da CPU_A = I x 2,0
 - Ciclos de *clock* da CPU_B = I x 1,2
- Tempo da CPU para cada computador
 - Tempo da CPU_A = Ciclos de *clock* da CPU_A x Tempo dos ciclos de clock_A
 $= I \times 2,0 \times 250 \text{ ps} = 500 \times I \text{ ps}$
 - Tempo da CPU_B = I x 1,2 x 500ps = 600 x I ps
- Computador A é mais rápido que B. Quanto?

$$\frac{\text{DesempenhoDaCPU}_A}{\text{DesempenhoDaCPU}_B} = \frac{\text{TempoDeExecução}_B}{\text{TempoDeExecução}_A} = \frac{600 \times Ips}{500 \times Ips} = 1,2$$

- Computador A é 1,2 vezes mais rápido que o computador B.

[EX] Usando a equação do desempenho

- Equação do desempenho em termos de:
 - Contagem de instruções,
 - CPI e
 - Tempo de ciclo de *clock*.

TempoDeCPU

$$= \textit{ContagemDeInstruções} \times \textit{CPI} \times \textit{TempoDeCicloDeClock}$$

– ou

$$\textit{TempoDeCPU} = \frac{\textit{ContagemDeInstruções} \times \textit{CPI}}{\textit{Velocidade de clock}}$$

- Comparar duas implementações diferentes ou avaliar um projeto alternativo.

Desempenho da CPU e seus fatores

- Como determinar o valor desses fatores na equação do desempenho?
 - **Tempo da CPU** – executando o programa.
 - **Tempo de ciclo de *clock*** – publicado com o equipamento.
 - **Contagem de instruções (C) e o CPI** – mais difíceis de obter.
- Contagem de instruções (C):
 - Ferramentas de software ou simuladores da arquitetura
- CPI – Varia de acordo com o programa e implementação do conjunto de instruções
 - Pode ser obtida por simulação da implementação ou contadores de hardware
- Ciclos de clock da CPU:

$$CiclosDeClockDaCPU = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times C_i)$$

- C_i : contagem do número de instruções da classe i executadas
 - CPI_i : a média dos ciclos por instrução da classe i
 - n é o número de classes de instrução.
- CPI geral de um programa dependerá do número de ciclos para cada tipo de instrução e da frequência de cada tipo de instrução.

Tempo de execução

- Como os fatores são combinados para fornecer o tempo de execução por segundo

$$Tempo = \frac{Segundos}{Programa} = \frac{Instruções}{Programa} \times \frac{Ciclos\ de\ clock}{Instrução} \times \frac{Segundos}{CiclosDeClock}$$

Componentes do desempenho	Unidade de medida
Tempo de execução da CPU para um programa	Segundos por programa
Contagem de instruções	Instruções executadas para o programa
Ciclos de clock por instrução	Média de ciclos de clock por instrução
Tempo de ciclo de <i>clock</i>	Segundos por ciclo de clock

- Única medida completa e confiável de desempenho do computador é o tempo.
 - Exemplo: Mudar o conjunto de instruções para baixar a contagem de instruções pode aumentar o tempo do ciclo de clock
 - CPI depende da instrução. O menor número de instruções executadas pode não ser mais rápido.

Apêndice – Frações de segundo

Unidade	Em segundos
Segundo (s)	1 s
Milisegundos (ms)	0,001 s (1×10^{-3} s)
Microsegundos (μ s)	0,000001 s (1×10^{-6} s)
Nanosegundos (ns)	0,000000001 s (1×10^{-9} s)
Picosegundos (ps)	0,0000000000001 s (1×10^{-12} s)

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>

[FIM]

- FIM:
 - [AULA 05] Avaliando o desempenho 1
- Próxima aula:
 - **[AULA 06] Avaliando o desempenho 2**