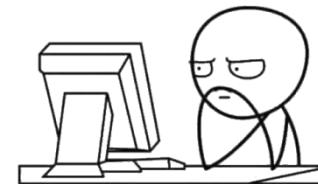




Aula 2

Desempenho

Never let your computer
know that you are in a hurry.



Computers can smell fear.
They slow down if they know that
you are running out
of time.



Desempenho

O que é Desempenho???

Avião	Capacidade de passageiros	Autonomia de voo (milhas)	Velocidade de voo (milhas por hora)
Boeing 777	375	4.630	610
Boeing 747	470	4.150	610
BAC/Sud Concorde	132	4.000	1350
Douglas DC-8-50	146	8.720	544

- O quanto mais rápido é o Concorde comparado com o 747?
- O quanto maior é o 747 do que o Douglas DC-8?

Qual o avião você escolheria para;

- Levar 1 passageiro de Recife para Lisboa? E 400?
- Levar 100 passageiros de Recife para Paris? E 300?
- Levar 100 passageiros de Brasília para Auckland? E 400?

Recife – Lisboa : 3625 mi
Recife – Paris : 4527 mi
Brasília – Auckland : 7865 mi

Desempenho

■ Desempenho em relação a o que????

- ☐ Tempo
- ☐ Potência
- ☐ Custo
- ☐ ...
- ☐ Portabilidade
(peso, tamanho,...)
- ☐ Robustez física
(queda, água, temperatura,...)
- ☐ Irradiação
(interferência, recepção, transmissão)
- ☐ Ergonomia
(acessibilidade, facilidade utilização,...)
- ☐ ...

$$\text{Desempenho} = f(t, P, c, m, w, l, h, H, T, \dots)$$



Desempenho nesta disciplina:

Precisa ser uma grandeza fácil de medir e de relacionar com software e hardware

Tempo de resposta [s]

- **Tempo decorrido:** conta tudo (*E/S, execução de outros programas, etc.*)
um número útil, mas normalmente não é ideal para fins de comparação
- **Tempo de CPU:** não conta E/S ou tempo gasto executando outros programas.
Para o seu programa podemos ter ainda:
 - tempo de sistema
 - tempo de usuário ←———— Nosso foco agora

Grandeza relacionada: **Vazão** [unidade/segundo]

Se atualizarmos uma máquina com um novo processador, em que melhoramos?

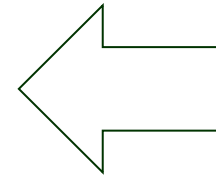
Se acrescentarmos uma máquina ao laboratório, em que melhoramos?



Definição de desempenho do Patterson

- Para um programa sendo executado na máquina X,

$$Desempenho_X = \frac{1}{Tempo_Execução_X}$$



Modelo adotado
neste curso

- Fator de Desempenho: “X é η vezes mais rápido do que Y”

$$\eta = \frac{Desempenho_X}{Desempenho_Y}$$

- Exemplo:

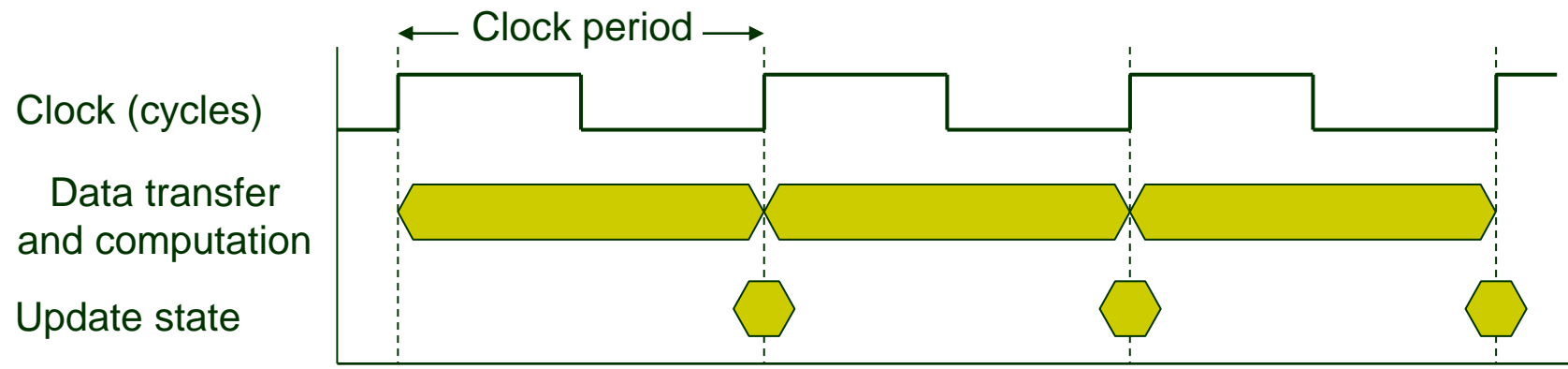
- a máquina A executa um programa em 10 segundos
- a máquina B executa o mesmo programa em 15 segundos

Qual o fator de desempenho de A em relação a B?

Cálculo do Desempenho

Tempo de Execução da CPU para um programa = ciclos de clock da CPU x Tempo de ciclo de clock para um programa

$$t_{exec} \left[\frac{\text{segundos}}{\text{programa}} \right] = C \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{programa}} \right] \times T \left[\frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}} \right]$$



- tempo de ciclo (período) = tempo entre os tiques [segundos por ciclo]
- “velocidade” de clock (frequência) = taxa de tiques [ciclos por segundo]

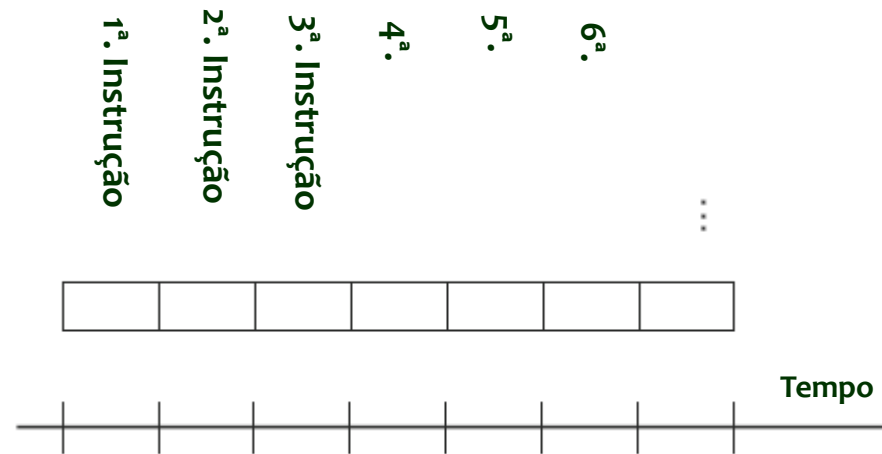
Um sinal de clock de 4GHz possui um tempo de ciclo de

$$T[s] = \frac{1}{f[Hz]} = \frac{1}{4 \times 10^9} = 250 \times 10^{-12} = 250 \text{ ps} \quad [\text{pico segundos}]$$



Quantos ciclos são necessários para um programa?

- Poderíamos considerar que o número de ciclos é igual ao número de instruções do programa?



*Essa **suposição é geralmente incorreta**; diferentes instruções geralmente levam a diferentes períodos em diferentes máquinas.*

Por quê? Dica: Lembre-se de que essas são instruções de máquina, não linhas de código em Python ou C.

- *A multiplicação leva mais tempo do que a adição*
- *As operações de ponto flutuante levam mais tempo do que as operações de inteiros*
- *Acessar a memória leva mais tempo do que acessar os registradores*

Exemplo

- Para gerar a tabela relacional inicial de objetos do jogo The Sims, necessita-se de 10 segundos no computador A, que possui um clock de 4GHz. Estamos tentando ajudar um projetista de computador a construir uma nova máquina B, que gere essa tabela em 6 segundos. O projetista determinou que um aumento substancial na frequência de clock é possível, mas esse aumento afetará o restante do projeto da CPU, fazendo com que o computador B exija 1,2 vez mais ciclos de clock do que o computador A para esse programa. Que frequência de clock devemos pedir para que o projetista almeje?

Processador Atual:

$$\begin{aligned}t_{exec} &= C \times T \\10 &= C \times \frac{1}{4 \times 10^9} \\C &= 40 \times 10^9 \text{ ciclos}\end{aligned}$$

Novo processador:

$$\begin{aligned}6 &= 1,2 \times C \times \frac{1}{f} \\f &= \frac{1,2 \times 40 \times 10^9}{6} = 8 \text{ GHz}\end{aligned}$$



Equação Fundamental do Desempenho

$$t_{exec} \left[\frac{\text{segundos}}{\text{programa}} \right] = I \left[\frac{\text{Instruções}}{\text{programa}} \right] \times CPI \left[\frac{\text{Ciclos_clock}}{\text{Instrução}} \right] \times T \left[\frac{\text{segundos}}{\text{Ciclos_clock}} \right]$$

- Tempo de Execução da CPU para um programa (t_{exec})
 - Segundos para execução do programa
- Contagem de Instruções (I)
 - Número de instruções executadas no programa
- Ciclos de clock por instrução (CPI)
 - Número médio de ciclos de clock para execução de uma instrução
- Tempo do ciclo de clock (T)
 - Segundos por ciclo de clock



Exemplo de CPI

- Suponha que tenhamos duas implementações da mesma arquitetura do conjunto de instruções (ISA)

Para um determinado programa:

A máquina A tem um tempo de ciclo de clock de 250 ps e uma CPI de 2,0

A máquina B tem um tempo de ciclo de clock de 500 ps e uma CPI de 1,2

Que máquina é mais rápida para esse programa e o quanto?

Mesma ISA -> logo mesmo número de instruções (I)

$$t_{exec} = I \times CPI \times T$$

$$\text{Máquina A: } t_A = I \times 2 \times 250 \times 10^{-12} = 500pI$$

$$\text{Máquina B: } t_B = I \times 1,2 \times 500 \times 10^{-12} = 600pI$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{t_A}}{\frac{1}{t_B}} = \frac{t_B}{t_A} = \frac{600pI}{500pI} = 1,2 \quad \text{Máquina A é 1,2 vezes mais rápida que a B}$$



Componentes que afetam os fatores:

Componente	Afeta o que?	Como?
Algoritmo	Contagem de Instruções e possivelmente CPI	Número e tipo de instruções
Linguagem de Programação	Contagem de Instruções e CPI	Instruções da linguagem são traduzidos para instruções do processador
Compilador	Contagem de Instruções e CPI	Eficiência do compilador.
Conjunto de Instruções	Contagem de Instruções, frequência de clock e CPI	Afeta os 3 aspectos do desempenho



Comparando segmentos de código

- Um projetista de compilador está tentando decidir entre duas sequências de código para um determinada máquina. Baseado na implementação de hardware, existem três classes diferentes de instruções: Classe A, Classe B e Classe C, e elas exigem um, dois e três ciclos (CPI), respectivamente.

A primeira sequência de código possui 5 instruções:

2 de A, 1 de B e 2 de C.

A segunda sequência possui 6 instruções:

4 de A, 1 de B e 1 de C.

Que sequência será mais rápida?

O quanto mais rápida?

Qual é a CPI para cada sequência?



RISC versus CISC

RISC : *Reduced Instruction Set Computer*

- Processador com um pequeno número de instruções
- Apenas instruções simples
- “Rápidas” e “Compactas”
- Ex.: RISC-V, ARM, MIPS, SunSPARC

CISC: *Complex Instruction Set Computer*

- Processador com um grande número de instruções
- Instruções simples e complexas
- “Lentas” e “Grandes”
- Ex.: x86, EM64T

Grande questão: RISC ou CISC qual a melhor estratégia ???



Unidade de Medida: MIPS

Milhões de Instruções Por Segundo (nativo)

$$MIPS = \frac{Contagem_Instruções}{Tempo_{exec}} \cdot \frac{1}{10^6}$$

■ Vantagem:

- Fácil de entender.

Um computador capaz de processar 100 MIPS é mais rápido que outro de 50 MIPS

■ Porém:

- Não leva em consideração a capacidade das instruções. RISC x CISC
- O MIPS varia entre programas no mesmo processador.
- O MIPS pode variar inversamente com o desempenho!

Hoje em dia: Cuidar com as medidas xFLOPS
Que embora sejam mais precisas ainda podem incorrer em erros



Supercomputadores – Top500

Jun 2022

Rank	Site	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	<u>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory</u> United States	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE	8,730,112	1,102.00	1,685.65	21,100
2	<u>RIKEN Center for Computational Science</u> Japan	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu	7,630,848	442.01	537.21	29,899
3	<u>EuroHPC/CSC</u> Finland	LUMI - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE	1,110,144	151.90	214.35	2,942
4	<u>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory</u> United States	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, IBM	2,414,592	148.60	200.79	10,096
5	<u>DOE/NNSA/LLNL</u> United States	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, IBM	1,572,480	94.64	125.71	7,438
60	<u>Petróleo Brasileiro S.A</u> Brazil	Dragão - Supermicro SYS-4029GP-TVRT, Xeon Gold 6230R 26C 2.1GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos	188,224	8.98	14.01	943



Exemplo de MIPS

- Os computadores A e B executaram um programa que gerou os seguintes resultados:

Measurement	Computer A	Computer B
Instruction count	10 billion	8 billion
Clock rate	4 GHz	4 GHz
CPI	1.0	1.1

- Quais as medidas MIPS para cada máquina?
- Qual máquina é a mais rápida?