

Avaliação de Desempenho

Qual é o melhor avião?

avião	capac [p]	alcance [km]	veloc [km/h]	produtiv [p × km/h]
B-777	375	7400	976	366.000
B-747	470	6640	976	458.720
Concorde	132	6400	2160	280.800
DC8-50	146	13952	870	127.020

Métricas:

velocidade → Concorde

alcance → DC8-50

capacidade → B-747

produtividade → B-747

Produção vs Tempo de Resposta

Usuário individual importa-se com

tempo de resposta ou **tempo de execução**

Gerente de TI (ou da loja virtual) importa-se com

produção ou *throughput*

Se trocar o processador por um mais rápido,
melhora o tempo de resposta ou a produção?

Se acrescentar mais processadores,
melhora o tempo de resposta ou a produção?

Desempenho

$$\text{desempenho}_X \triangleq \frac{1}{\text{tempo exec}_X}$$

X é \mathcal{N} vezes mais rápido que Y se

o tempo de execução de Y

é \mathcal{N} vezes mais longo que o de X

$$\frac{\text{desempenho}_X}{\text{desempenho}_Y} = \frac{\text{tempo exec}_Y}{\text{tempo exec}_X} = \mathcal{N}$$

Exemplo

Máquina A executa programa em 10 segundos; máquina B executa mesmo programa em 15 segundos. Quanto A é melhor que B ?

$$\frac{\text{desempenho}_A}{\text{desempenho}_B} = \frac{\text{tempo exec}_B}{\text{tempo exec}_A} = \frac{15}{10} \Rightarrow 1,5$$

A é $1\frac{1}{2}$ vezes mais rápida que B

para evitar confusão, fala-se em **melhor** ou **pior** desempenho e não em “aumenta/diminui” a métrica de interesse

Medidas de Desempenho

- tempo de resposta, tempo decorrido [s/tarefa]
- tempo de CPU (usuário + sistema) [s]
- ciclo de relógio [s] (frequência do relógio [1/s])
- vazão/produção (*throughput*) [tarefas/s]

desempenho do sistema = tempo decorrido (sem carga)

desempenho da CPU = tempo de CPU dedicado ao usuário

Desempenho tem unidade de “coisas” por segundo;
maior desempenho é melhor!

Fatores do Desempenho da CPU

tempo de CPU = ciclos da CPU × ciclo de relógio

$$= \frac{\text{ciclos da CPU}}{\text{freq de relógio}}$$

ciclos da CPU = núm de instr × núm de ciclos por instr

CPI = ciclos por instrução

Fatores do Desempenho da CPU (cont)

$$\begin{aligned}\text{tempo de CPU} &= \text{núm de instr} \times \text{CPI} \times \text{ciclo de relógio} \\ &= \frac{\text{núm de instr} \times \text{CPI}}{\text{freq de relógio}}\end{aligned}$$

Exemplo

Programa executa na máquina A em 10s com relógio de 4GHz. Queremos máquina B que execute mesmo programa em 6s. Por causa da mudança no projeto da CPU, máquina B usará **1.2** vezes mais ciclos de relógio que A. Qual a frequência do relógio de B ?

$$\begin{aligned}\text{tempo de CPU}_A &= \frac{\text{ciclos da CPU}_A}{\text{freq de relógio}_A} \\ 10s &= \frac{\text{ciclos da CPU}_A}{4 \times 10^9} \\ \Rightarrow \# \text{ciclos da CPU}_A &= 40 \times 10^9\end{aligned}$$

Exemplo (cont)

Programa executa na máquina A em 10s com relógio de 4GHz. Queremos máquina B que execute mesmo programa em 6s. Ao mudar o projeto da CPU, máquina B usará **1.2** vezes mais ciclos de relógio que A. Qual a freq do relógio de B ?

$$\begin{aligned}\text{tempo de CPU}_B &= \frac{1.2 * \text{ciclos da CPU}_A}{\text{freq de relógio}_B} \\ \Rightarrow \text{freq de relógio}_B &= 1.2 * 40 \times 10^9 / 6s \\ \Rightarrow \text{freq de relógio}_B &= 8 \times 10^9\end{aligned}$$

ganho de **10/6** \Rightarrow freq de relógio 100% maior

Equação do Desempenho

tempo de CPU = núm de instr × CPI × ciclo de relógio

tempo de CPU	desempenho do sistema
núm de instruções	compilador & processador
CPI	arquitetura do processador
frequência de relógio	tecnologia de CIs & arquitetura

Ciclos Por Instrução

$$CPI = \sum_{j=0}^n CPI_j \times F_j$$

instr	freq[%]	ciclos	CPI_j
ALU	40	1	.40
load	25	3	.75
store	10	3	.30
desvios	25	2	.50
CPI			1.95

Medidas de desempenho — MIPS

MIPS = milhões de instruções por segundo

$$\begin{aligned}
 \text{MIPS} &= \frac{\text{núm de instr}}{\text{tempo decorrido} \times 10^6} \\
 &= \frac{\text{freq de relógio}}{CPI \times 10^6}
 \end{aligned}$$

- Problemas

- * independente do conjunto de instruções (RISC/CISC)
- * varia para programas na mesma máquina (int×PF)
- * pode variar na proporção inversa ao desempenho
- * comparar MIPS nativos pode ser aceitável

Medidas de desempenho — MFLOPS

MFLOPS = milhões de instruções de ponto flutuante por segundo

$$\text{MFLOPS} = \frac{\text{núm de instr de pto flutuante}}{\text{tempo decorrido} \times 10^6}$$

- Problemas
 - * independente do conjunto de instruções (Cray/68882)
 - * varia para programas na mesma máquina (soma \times div)
 - * média ponderada de custo de instruções:

$$\text{soma}(a,b) \propto 1 \quad \text{seno}(x) \propto 8$$

Medir desempenho com programas de teste

programas simples: quicksort, números primos

simples de implementar, fora da realidade

programas sintéticos: Dhrystone, Whetstone

simples de implementar, não são código usável

núcleos de programas: Livermore Loops

fáceis de medir, não testam sistema de forma realista

programas de verdade: SPEC, gcc, LaTeX, Spice

mistura deve refletir uso “normal” (browser?)

Medir desempenho – SPEC

- primeiro conjunto em 1989
 - ★ 10 programas produzem um só número: SPECmarks
- segundo conjunto em 1992
 - ★ SPECint92 com 6 programas com inteiros
 - ★ SPECfp92 com 14 programas com ponto flutuante
- terceiro conjunto em 1995
 - ★ SPECint95 com 8 programas com inteiros
 - ★ SPECfp95 com 10 programas com ponto flutuante
 - ★ conjunto caduca em três anos
 - ★ versão base com mesmas flags de compilação (todos programs)
- quarto conjunto em 2000
 - ★ CINT2000 com 11 programas com inteiros (C e C++)
 - ★ CFP2000 com 14 programas com ponto flutuante (fortran{77,90}, C)

Medir e comparar resultados

	máq \mathcal{A}	máq \mathcal{B}
prog 1 [s]	1	10
prog 2 [s]	1000	100
soma [s]	1001	110

- com programa 1, \mathcal{A} é 10 vezes mais rápido que \mathcal{B}
- com programa 2, \mathcal{B} é 10 vezes mais rápido que \mathcal{A}
- erm...

$$\text{Média Aritmética} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Tempo}_i$$

\mathcal{B} é $1001/110 = 9.1$ vezes mais rápido que \mathcal{A}

Medir e comparar resultados

	máq \mathcal{A}	freq \mathcal{A}	máq \mathcal{B}	freq \mathcal{B}
prog 1 [s]	20	0.90	200	0.20
prog 2 [s]	1000	0.10	100	0.80
soma	1020		300	
ponderada	102		120	melhor
méd aritmética	$T_B/T_A = 1020/300 = 3.40$			\mathcal{B}
méd ponderada	$T_A/T_B = 120/102 = 1.17$			\mathcal{A}

$$T_A = 20 \cdot 0.9 + 1000 \cdot 0.1 = 101.8$$

$$T_B = 200 \cdot 0.2 + 100 \cdot 0.8 = 120$$

$$\text{Média Aritmética} = \sum_{i=1}^n \text{Tempo}_i \times \text{frac}_i$$

Lei de Amdahl I

Tempo de execução após melhoria =
 (tempo de execução afetado / quanto melhorou)
 + tempo de execução não-afetado

Exemplo:

programa executa em 100s, multiplicações consomem 80% do tempo total. Quanto devo melhorar o circuito multiplicador se quero tempo total em 20s ?

$$20 = 80/n + 20$$

Idem se quero tempo total em 40s ?

$$40 = 80/n + 20$$

Lei de Amdahl II

$$\begin{aligned} \text{Ganho}_{\text{total}} &= \frac{\text{Tempo}_{\text{orig}}}{\text{Tempo}_{\text{melhor}}} \\ &= \frac{1}{(1 - \text{Frac}_{\text{melhor}}) + (\text{Frac}_{\text{melhor}} / \text{Ganho}_{\text{melhor}})} \end{aligned}$$

Exemplo

programa executa em 100s, multiplicações consomem 80% do tempo total. Ao reduzir o tempo de execução do circuito multiplicador para a metade, qual será o ganho total de velocidade ?

$$\begin{aligned} \text{Ganho}_{\text{total}} &= \frac{1}{(1 - 0.80) + \frac{0.80}{1/0.50}} \\ &= \frac{1}{0.20 + 0.80 * 0.50} \\ &= \frac{1}{0.60} \end{aligned}$$