

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

$$\begin{aligned} \text{tempo de CPU} &= \text{ciclos da CPU} \times \text{ciclo de relógio} \\ &= \frac{\text{ciclos da CPU}}{\text{freq de relógio}} \end{aligned}$$

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 |

Laranjas *versus* Bananas (i)

| CPU | MIPS | 80x86 |
|---------------|-------------------|-----------------------------|
| registradores | 32 | 8 |
| operandos | 3: add r1,r2,r3 | 2: add r1,r2 |
| instruções | 4 bytes (todas) | de 1 a 16 bytes |
| | wc -l | instruções estáticas |
| bubble.c | -O0: 191 -O3: 162 | -O0: 111 -O3: 108 |
| quick.c | -O0: 309 -O3: 428 | -O0: 187 -O3: 882 |

Qual o problema de comparar
instruções estáticas e **instruções dinâmicas**?

Medidas de desempenho — MIPS

MIPS = milhões de instruções por segundo

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

- Problemas

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

Laranjas versus Bananas (ii)

| CPU | MIPS | 80x86 |
|------------------|-------------------|---------------------------|
| registradores PF | 32 (16 double) | 8 (pilha, 80 bits) |
| operandos | 3: add.f f1,f2,f3 | 2: add.f f1 (f1 ← f1+TOS) |
| instruções | 4 bytes (todas) | de 1 a 16 bytes |

Qual o código para implementar Básara nos dois processadores?

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 ($\text{soma} \times \text{div}$)
- * média ponderada de custo de instruções:
 $\text{soma}(a,b) \propto 1$ $\text{seno}(x) \propto 8$

Medir desempenho com programas de teste

programas simples: quicksort, números primos
simples de implementar, fora da realidade

programas sintéticos: Dhystone, 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} |

$$T_A = 20 * 0.9 + 1000 * 0.1 = 101.8$$

$$T_B = 200 * 0.2 + 100 * 0.8 = 120$$

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

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 ?

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