



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE COMPUTAÇÃO

Avaliação de desempenho

Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

Departamento de Computação / UFS

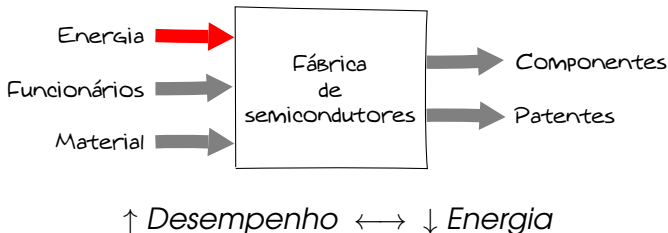
Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



\uparrow *Desempenho* \longleftrightarrow \downarrow *Funcionários*

Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



\uparrow *Desempenho* \longleftrightarrow \downarrow *Material*

Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



\uparrow *Desempenho* \longleftrightarrow \uparrow *Componentes*

Introdução

- ▶ O que é desempenho de sistema?
 - ▶ É o conjunto de operações que podem ser realizadas por um sistema em um determinado espaço de tempo ou com uma certa quantidade de recursos



↑ *Desempenho* ↔ ↑ *Patentes*

Introdução

- ▶ Como avaliar o desempenho de um sistema?
 - ▶ Esta avaliação pode ser feita com a medição absoluta ou relativa do desempenho, utilizando métricas que são representativas para o sistema

Introdução

- ▶ Como avaliar o desempenho de um sistema?
 - ▶ Esta avaliação pode ser feita com a medição absoluta ou relativa do desempenho, utilizando métricas que são representativas para o sistema
 - ▶ A escolha destas métricas pode ser extremamente complicada, basicamente pela escala e grande variedade dos sistemas existentes



- ▶ Categoria e funcionalidades
- ▶ Materiais de fabricação
- ▶ Tecnologias utilizadas

Introdução

- ▶ Como avaliar o desempenho de um sistema?
 - ▶ Esta avaliação pode ser feita com a medição absoluta ou relativa do desempenho, utilizando métricas que são representativas para o sistema
 - ▶ A escolha destas métricas pode ser extremamente complicada, basicamente pela escala e grande variedade dos sistemas existentes



- ▶ Categoria e funcionalidades
- ▶ Materiais de fabricação
- ▶ Tecnologias utilizadas

Qual dos veículos tem melhor desempenho?

Introdução

- ▶ Avaliação absoluta e relativa de desempenho
 - ▶ A análise individual das métricas do sistema permite uma avaliação absoluta de desempenho

Introdução

- ▶ Avaliação absoluta e relativa de desempenho
 - ▶ A análise individual das métricas do sistema permite uma avaliação absoluta de desempenho
 - ▶ Quando é realizada a comparação destas métricas, é possível estabelecer um desempenho relativo entre cada um dos sistemas considerados



R\$ 80 mil
8 km/l



R\$ 120 mil
12 km/l



R\$ 240 mil
24 km/l

Introdução

- ▶ Avaliação absoluta e relativa de desempenho
 - ▶ A análise individual das métricas do sistema permite uma avaliação absoluta de desempenho
 - ▶ Quando é realizada a comparação destas métricas, é possível estabelecer um desempenho relativo entre cada um dos sistemas considerados



O veículo A possui o menor custo e menor eficiência (absoluto), enquanto que o veículo C é 300% mais caro e mais eficiente do que o veículo A (relativo)

Introdução

- ▶ Largura de banda \times tempo de resposta
 - ▶ O desempenho pode estar descrito em termos da quantidade de trabalho pode ser realizado em cada operação (largura de banda) ou em quanto tempo uma operação é realizada (tempo de resposta)

Veículo para entregas



Capacidade de carga
(largura de Banda)

Introdução

- ▶ Largura de banda \times tempo de resposta
 - ▶ O desempenho pode estar descrito em termos da quantidade de trabalho pode ser realizado em cada operação (largura de banda) ou em quanto tempo uma operação é realizada (tempo de resposta)

Veículo para entregas



Velocidade média
(tempo de resposta)

Introdução

- ▶ Largura de banda \times tempo de resposta
 - ▶ O desempenho pode estar descrito em termos da quantidade de trabalho pode ser realizado em cada operação (largura de banda) ou em quanto tempo uma operação é realizada (tempo de resposta)

Veículo para entregas

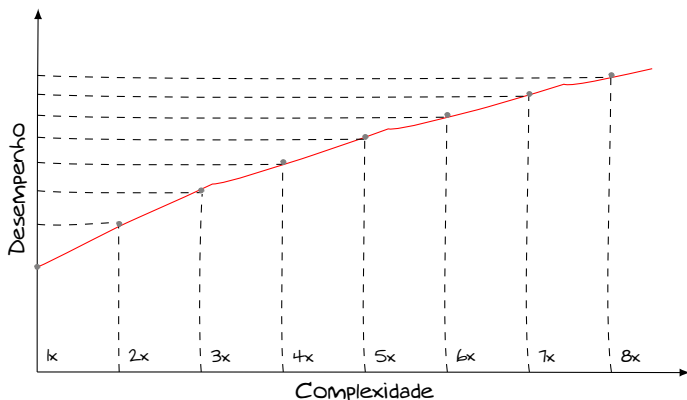


Velocidade média
(tempo de resposta)

Como avaliar o desempenho
para métricas conflitantes?

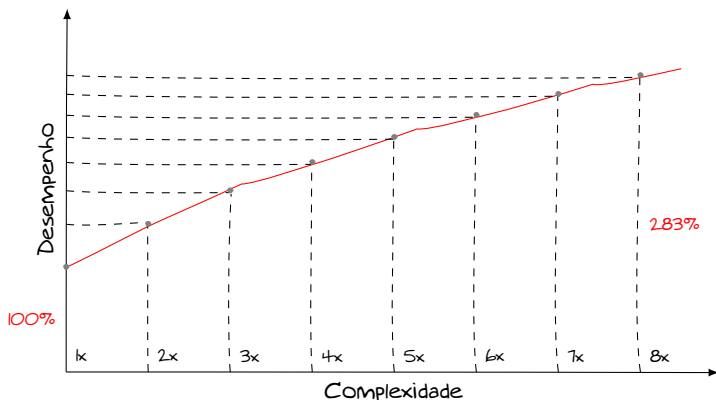
Introdução

- ▶ Complexidade × desempenho
 - ▶ É feita uma análise para determinar um ponto de equilíbrio entre a complexidade e o desempenho do sistema, tendo como base os objetivos do sistema



Introdução

- ▶ Complexidade × desempenho
 - ▶ É feita uma análise para determinar um ponto de equilíbrio entre a complexidade e o desempenho do sistema, tendo como base os objetivos do sistema



Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$Desempenho_A = \frac{X}{Tempo\ de\ execução_A}$$

$$Desempenho_B = \frac{X}{Tempo\ de\ execução_B}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$Desempenho_A > Desempenho_B$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\frac{\text{Desempenho}_A}{\text{Tempo de execução}_A} > \frac{\text{Desempenho}_B}{\text{Tempo de execução}_B}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\frac{\text{Desempenho}_A}{X} > \frac{\text{Desempenho}_B}{X}$$
$$\frac{\text{Tempo de execução}_A}{\text{Tempo de execução}_B} > \frac{\text{Tempo de execução}_B}{\text{Tempo de execução}_A}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\frac{\text{Desempenho}_A}{X} > \frac{\text{Desempenho}_B}{X}$$
$$\frac{\text{Tempo de execução}_A}{\text{Tempo de execução}_B} > \frac{\text{Tempo de execução}_B}{\text{Tempo de execução}_A}$$

Avaliação absoluta de desempenho

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$n = \frac{\text{Desempenho}_A}{\text{Desempenho}_B}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{Desempenho}_A}{\text{Desempenho}_B} \\&= \frac{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_A}}{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_B}}\end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{Desempenho}_A}{\text{Desempenho}_B} \\&= \frac{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_A}}{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_B}} \\&= \frac{\text{Tempo de execução}_B}{\text{Tempo de execução}_A}\end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Definição de desempenho de sistemas
 - ▶ Os desempenhos dos sistemas A e B estão relacionados com seus tempos de execução para realizar um conjunto de operações X

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{Desempenho}_A}{\text{Desempenho}_B} \\&= \frac{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_A}}{\frac{X}{\text{Tempo de execução}_B}} \\&= \frac{\text{Tempo de execução}_B}{\text{Tempo de execução}_A}\end{aligned}$$

Avaliação relativa de desempenho

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para medir o desempenho de um sistema é preciso obter o tempo de processamento (*CPU time*) para executar uma determinada aplicação *X*

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para medir o desempenho de um sistema é preciso obter o tempo de processamento (*CPU time*) para executar uma determinada aplicação X
 - ▶ Este é o tempo gasto na execução das operações pelo processador, desconsiderando o período de espera por escalonamento ou operações de E/S

$$\text{Tempo de execução}_X = \#Ciclos_X \times \text{Período de relógio}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para medir o desempenho de um sistema é preciso obter o tempo de processamento (*CPU time*) para executar uma determinada aplicação X
 - ▶ Este é o tempo gasto na execução das operações pelo processador, desconsiderando o período de espera por escalonamento ou operações de E/S

$$\begin{aligned} \text{Tempo de execução}_X &= \#Ciclos_X \times \text{Período de relógio} \\ &= \frac{\#Ciclos_X}{\text{Frequência de relógio}} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Em uma aplicação X com tempo de execução de 8 segundos em um processador com frequência de 5 GHz, quantos ciclos são consumidos?

$$Tempo_X = \frac{\#Ciclos_X}{Frequência}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Em uma aplicação X com tempo de execução de 8 segundos em um processador com frequência de 5 GHz, quantos ciclos são consumidos?

$$\begin{aligned}Tempo_X &= \frac{\#Ciclos_X}{Frequência} \\ 8 &= \frac{\#Ciclos_X}{5 \times 10^9}\end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Em uma aplicação X com tempo de execução de 8 segundos em um processador com frequência de 5 GHz, quantos ciclos são consumidos?

$$\begin{aligned} \text{Tempo}_X &= \frac{\#Ciclos_X}{\text{Frequência}} \\ 8 &= \frac{\#Ciclos_X}{5 \times 10^9} \\ &\downarrow \\ \#Ciclos_X &= 4 \times 10^{10} \text{ ciclos} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para reduzir o tempo de execução da aplicação X em 25%, qual deveria ser o valor da nova frequência de operação do processador?

$$Tempo_Y = Tempo_X \times 0,75$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para reduzir o tempo de execução da aplicação X em 25%, qual deveria ser o valor da nova frequência de operação do processador?

$$\begin{aligned} \text{Tempo}_Y &= \text{Tempo}_X \times 0,75 \\ 6 &= \frac{4 \times 10^{10}}{\text{Frequência}} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para reduzir o tempo de execução da aplicação X em 25%, qual deveria ser o valor da nova frequência de operação do processador?

$$\begin{aligned}Tempo_Y &= Tempo_X \times 0,75 \\6 &= \frac{4 \times 10^{10}}{Frequência} \\&\downarrow \\Frequência &= \frac{4 \times 10^{10}}{6} \\&\approx 6,66 \text{ GHz}\end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Para reduzir o tempo de execução da aplicação X em 25%, qual deveria ser o valor da nova frequência de operação do processador?

$$Tempo_Y = Tempo_X \times 0,75$$

$$6 = \frac{4 \times 10^{10}}{Frequência}$$

↓

$$Frequência = \frac{4 \times 10^{10}}{6}$$
$$\approx 6,66 \text{ GHz}$$

$$\uparrow Frequência \longleftrightarrow \uparrow Desempenho$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Cada instrução da aplicação X possui um tempo médio de ciclos durante sua execução (CPI)

$$\#Ciclos_X = \#Instruções_X \times CPI_X$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Cada instrução da aplicação X possui um tempo médio de ciclos durante sua execução (CPI)

$$\begin{aligned}\#Ciclos_X &= \#Instruções_X \times CPI_X \\ \downarrow \\ Tempo_X &= \frac{\#Instruções_X \times CPI_X}{Frequência}\end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Cada instrução da aplicação X possui um tempo médio de ciclos durante sua execução (CPI)

$$\#Ciclos_X = \#Instruções_X \times CPI_X$$

↓

$$Tempo_X = \frac{\#Instruções_X \times CPI_X}{Frequência}$$

$$\downarrow CPI_X \longleftrightarrow \uparrow Desempenho$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ A taxa de execução de instruções para uma determinada aplicação X define o desempenho em termos do número de operações que podem ser executadas por segundo

$$Taxa\ de\ execu\c\tilde{c}\tilde{a}o_X = \frac{\#Instru\c\tilde{c}\tilde{o}es_X}{Tempo_X}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ A taxa de execução de instruções para uma determinada aplicação X define o desempenho em termos do número de operações que podem ser executadas por segundo

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\#Instruções_X}{\text{Tempo}_X} \\ &= \frac{\#Instruções_X}{\frac{\#Instruções_X \times CPI_X}{\text{Frequência}}} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ A taxa de execução de instruções para uma determinada aplicação X define o desempenho em termos do número de operações que podem ser executadas por segundo

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\#Instruções_X}{\text{Tempo}_X} \\ &= \frac{\#Instruções_X}{\frac{\#Instruções_X \times CPI_X}{\text{Frequência}}} \\ &= \frac{\text{Frequência}}{CPI_X} \text{ instruções/s} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ A taxa de execução de instruções para uma determinada aplicação X define o desempenho em termos do número de operações que podem ser executadas por segundo

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\#Instruções_X}{\text{Tempo}_X} \\ &= \frac{\#Instruções_X}{\frac{\#Instruções_X \times CPI_X}{\text{Frequência}}} \\ &= \frac{\text{Frequência}}{CPI_X} \text{ instruções/s} \end{aligned}$$

Esta taxa depende da frequência de operação e do CPI médio das instruções do processador

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Executando uma aplicação X em um processador com frequência de 5 GHz e CPI médio de 0,25

$$Taxa\ de\ execução_X = \frac{Frequência}{CPI_X}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Executando uma aplicação X em um processador com frequência de 5 GHz e CPI médio de 0,25

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\text{Frequência}}{\text{CPI}_X} \\ &= \frac{5 \times 10^9}{0,25} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Executando uma aplicação X em um processador com frequência de 5 GHz e CPI médio de 0,25

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\text{Frequência}}{\text{CPI}_X} \\ &= \frac{5 \times 10^9}{0,25} \\ &= 20 \times 10^9 \text{ instruções/s} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Executando uma aplicação X em um processador com frequência de 5 GHz e CPI médio de 0,25

$$\begin{aligned} \text{Taxa de execução}_X &= \frac{\text{Frequência}}{\text{CPI}_X} \\ &= \frac{5 \times 10^9}{0,25} \\ &= 20 \times 10^9 \text{ instruções/s} \\ &= 20000 \text{ MIPS} \\ &= 20 \text{ GIPS} \end{aligned}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Uma métrica alternativa para avaliar o desempenho é a contabilização do número de operações de ponto flutuante realizadas pelo processador

Avaliação de desempenho

- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Uma métrica alternativa para avaliar o desempenho é a contabilização do número de operações de ponto flutuante realizadas pelo processador
 - ▶ Geralmente é descrita em milhões de operações de ponto flutuante por segundo ou *Millions of Floating-point Operations Per Second* (MFLOPS)

$$MFLOPS = \frac{\# \text{Operações de ponto flutuante}}{\text{Tempo de execução}} \times 10^{-6}$$

Avaliação de desempenho

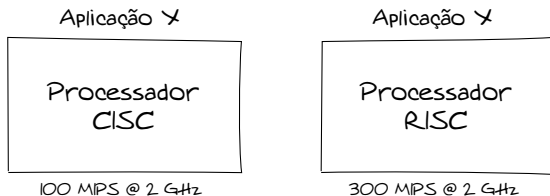
- ▶ Medição de desempenho de sistemas
 - ▶ Uma métrica alternativa para avaliar o desempenho é a contabilização do número de operações de ponto flutuante realizadas pelo processador
 - ▶ Geralmente é descrita em milhões de operações de ponto flutuante por segundo ou *Millions of Floating-point Operations Per Second* (MFLOPS)

$$MFLOPS = \frac{\#Operações\ de\ ponto\ flutuante}{Tempo\ de\ execução} \times 10^{-6}$$

É comumente utilizado na avaliação de desempenho de aplicações científicas, de jogos e de supercomputadores

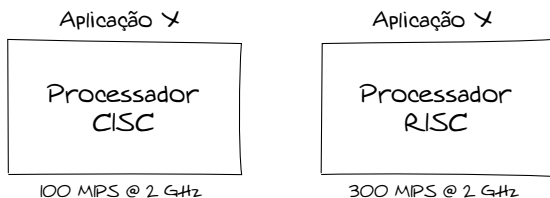
Avaliação de desempenho

- Como avaliar o desempenho de processadores com arquiteturas e repertório de instruções diferentes?



Avaliação de desempenho

- Como avaliar o desempenho de processadores com arquiteturas e repertório de instruções diferentes?



$$\text{Desempenho}_{CISC} \stackrel{?}{<} \text{Desempenho}_{RISC}$$

Avaliação de desempenho

- Realização da operação $A = A + 1$ com todos os dados armazenados na memória principal

```
1  add [A], 1
```

CISC

```
1  l32 r1, [A]  
2  addi r1, r1, 1  
3  s32 [A], r1
```

RISC

Avaliação de desempenho

- Realização da operação $A = A + 1$ com todos os dados armazenados na memória principal

```
1  add [A], 1
```

CISC

```
1  l32 r1, [A]  
2  addi r1, r1, 1  
3  s32 [A], r1
```

RISC

Avaliando o desempenho com a métrica MIPS, o processador RISC pareceria 3 vezes mais rápido que o CISC, entretanto, ambos realizam operações equivalentes no mesmo intervalo de tempo

Avaliação de desempenho

- ▶ A indústria e a academia resolveram desenvolver um conjunto de aplicações de referência (*benchmarks*) para avaliar o desempenho dos sistemas sem dependências tecnológicas de conjuntos de instruções ou de frequência de operação

Avaliação de desempenho

- ▶ A indústria e a academia resolveram desenvolver um conjunto de aplicações de referência (*benchmarks*) para avaliar o desempenho dos sistemas sem dependências tecnológicas de conjuntos de instruções ou de frequência de operação
 - ▶ Estas aplicações são escritas em linguagens de programação de alto nível, como C ou C++, podendo ser compiladas para diferentes arquiteturas

Avaliação de desempenho

- ▶ A indústria e a academia resolveram desenvolver um conjunto de aplicações de referência (*benchmarks*) para avaliar o desempenho dos sistemas sem dependências tecnológicas de conjuntos de instruções ou de frequência de operação
 - ▶ Estas aplicações são escritas em linguagens de programação de alto nível, como C ou C++, podendo ser compiladas para diferentes arquiteturas
 - ▶ Devem ser representativas para algum domínio da computação, como cálculo numérico, inteligência artificial ou processamento de imagem

Avaliação de desempenho

- ▶ A indústria e a academia resolveram desenvolver um conjunto de aplicações de referência (*benchmarks*) para avaliar o desempenho dos sistemas sem dependências tecnológicas de conjuntos de instruções ou de frequência de operação
 - ▶ Estas aplicações são escritas em linguagens de programação de alto nível, como C ou C++, podendo ser compiladas para diferentes arquiteturas
 - ▶ Devem ser representativas para algum domínio da computação, como cálculo numérico, inteligência artificial ou processamento de imagem
 - ▶ É esperada uma distribuição ampla com código fonte aberto e resultados mensuráveis, para fins de comparação dos resultados gerados

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Domínios × métricas de avaliação
 - ▶ Processamento de vídeo: taxa de quadros (fps)

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Domínios × métricas de avaliação
 - ▶ Processamento de vídeo: taxa de quadros (fps)
 - ▶ Serviços: tempo de resposta ou latência (s)

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Domínios × métricas de avaliação
 - ▶ Processamento de vídeo: taxa de quadros (fps)
 - ▶ Serviços: tempo de resposta ou latência (s)
 - ▶ Sistemas embarcados: potência consumida (Wh)

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Domínios × métricas de avaliação
 - ▶ Processamento de vídeo: taxa de quadros (fps)
 - ▶ Serviços: tempo de resposta ou latência (s)
 - ▶ Sistemas embarcados: potência consumida (Wh)
 - ▶ Telecomunicações e redes: taxa de transferência (bps)
 - ▶ ...

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Algoritmos sintéticos
 - ▶ São algoritmos criados para explorar um conjunto de operações que são utilizadas em diversas aplicações
 - ▶ As implementações são focadas em estabelecer estatísticas sobre as operações e os comportamentos

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Algoritmos sintéticos
 - ▶ São algoritmos criados para explorar um conjunto de operações que são utilizadas em diversas aplicações
 - ▶ As implementações são focadas em estabelecer estatísticas sobre as operações e os comportamentos

Dhrystone
DMIPS
Aritmética inteira

Whetstone
WIPS
Aritmética de ponto flutuante

Os resultados gerados só permitem avaliar o desempenho e não possuem nenhuma utilidade

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Dhrystone
 - ▶ Criado por Reinhold P. Weicker em 1984
 - ▶ Simples + Fácil utilização + Código aberto
 - ▶ A métrica fornece uma relação entre quantas iterações das funções e procedimentos foram realizadas durante o tempo de execução do software

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Dhrystone
 - ▶ Criado por Reinhold P. Weicker em 1984
 - ▶ Simples + Fácil utilização + Código aberto
 - ▶ A métrica fornece uma relação entre quantas iterações das funções e procedimentos foram realizadas durante o tempo de execução do software

1 *DMIPS* = 1757 *iterações*



DEC VAX 11/780

@

1 *MIPS*

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Whetstone
 - ▶ Criado pelo Laboratório Nacional de Física do Reino Unido em Whetstone no ano de 1972
 - ▶ Focado em avaliar o desempenho das operações aritméticas em ponto flutuante, através da métrica de *Whetstone Instructions Per Second* (WIPS)
 - ▶ Cerca de metade do seu tempo de execução é consumido executando funções de bibliotecas matemáticas, como seno e cosseno

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Dhrystone × Whetstone

Arquitetura	DMIPS	MWIPS
Intel Core 2 E8400	12,41	23,29
AMD Phenom II X4 965	27,25	44,19
Intel Core i7 980X	72,08	108,56

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Deficiências dos algoritmos sintéticos
 - ▶ Como os algoritmos utilizados são sintéticos, as estruturas de códigos descritas não são usualmente utilizados em situações reais

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Deficiências dos algoritmos sintéticos
 - ▶ Como os algoritmos utilizados são sintéticos, as estruturas de códigos descritas não são usualmente utilizados em situações reais
 - ▶ Devido a sua concepção artificial e previsível, as técnicas de otimização dos compiladores são capazes de ampliar o desempenho obtido

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Deficiências dos algoritmos sintéticos
 - ▶ Como os algoritmos utilizados são sintéticos, as estruturas de códigos descritas não são usualmente utilizados em situações reais
 - ▶ Devido a sua concepção artificial e previsível, as técnicas de otimização dos compiladores são capazes de ampliar o desempenho obtido
 - ▶ Por ser uma aplicação pequena, grande parte dos acessos realizados para buscar instruções e dados estarão disponíveis na cache

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Algoritmos reais
 - ▶ São algoritmos baseados em problemas reais de diversas áreas, como multiplicação de matrizes, busca, processamento e ordenação de dados
 - ▶ O foco da implementação é incorporar os algoritmos em um contexto real de utilização

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Algoritmos reais
 - ▶ São algoritmos baseados em problemas reais de diversas áreas, como multiplicação de matrizes, busca, processamento e ordenação de dados
 - ▶ O foco da implementação é incorporar os algoritmos em um contexto real de utilização

CoreMark

Busca
Ordenação
Operações com matrizes
Máquina de estados
CRC

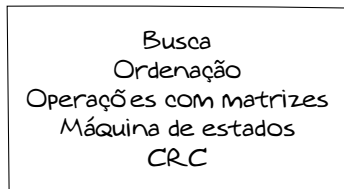
SPEC

Aritmética inteira
Operações de ponto flutuante
Máquina virtual Java
Aplicações na nuvem
⋮

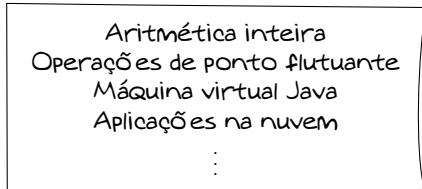
Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ Algoritmos reais
 - ▶ São algoritmos baseados em problemas reais de diversas áreas, como multiplicação de matrizes, busca, processamento e ordenação de dados
 - ▶ O foco da implementação é incorporar os algoritmos em um contexto real de utilização

CoreMark



SPEC



Os resultados gerados servem como métrica para avaliação do desempenho e podem fornecer informações relevantes para análise do usuário

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ CoreMark
 - ▶ Desenvolvido por Shay Gal-On da EEMBC em 2009
 - ▶ O objetivo principal de sua criação foi de transformar em um padrão para a indústria e substituir o Dhrystone
 - ▶ Combina as vantagens do Dhrystone com a utilização de algoritmos reais que fornecem uma métrica padronizada para avaliação de desempenho

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ CoreMark
 - ▶ Desenvolvido por Shay Gal-On da EEMBC em 2009
 - ▶ O objetivo principal de sua criação foi de transformar em um padrão para a indústria e substituir o Dhrystone
 - ▶ Combina as vantagens do Dhrystone com a utilização de algoritmos reais que fornecem uma métrica padronizada para avaliação de desempenho

1 *iteração dos algoritmos*



1 *CoreMark*

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ *Standard Performance Evaluation Corporation* (SPEC)
 - ▶ É uma organização fundada em 1988 e tem como objetivo a criação a manutenção de um conjunto de aplicações de referência padronizadas
 - ▶ Possui diversas áreas de atuação, como sistemas de código aberto e computação de alto desempenho

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ *Standard Performance Evaluation Corporation* (SPEC)
 - ▶ É uma organização fundada em 1988 e tem como objetivo a criação a manutenção de um conjunto de aplicações de referência padronizadas
 - ▶ Possui diversas áreas de atuação, como sistemas de código aberto e computação de alto desempenho

$$Desempenho = \frac{Tempo_{Referência}}{Tempo_{Sistema}}$$

Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ *Standard Performance Evaluation Corporation* (SPEC)
 - ▶ É uma organização fundada em 1988 e tem como objetivo a criação a manutenção de um conjunto de aplicações de referência padronizadas
 - ▶ Possui diversas áreas de atuação, como sistemas de código aberto e computação de alto desempenho

$$\begin{aligned} \text{Desempenho} &= \frac{\text{Tempo}_{\text{Referência}}}{\text{Tempo}_{\text{Sistema}}} \\ &= \frac{\text{Tempo}_{\text{Referência}}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Tempo}_i} \end{aligned}$$

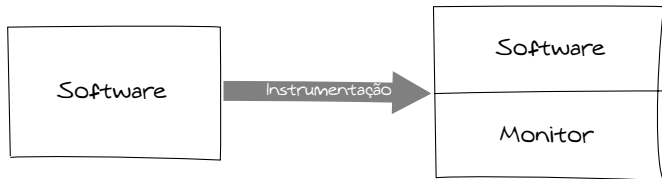
Avaliação de desempenho

- ▶ Aplicações de referência (*benchmarks*)
 - ▶ CoreMark × SPEC CPU 2006

Arquitetura	CoreMark	SPEC CPU 2006
Intel Core 2 E8400	20628,00	23,50
AMD Phenom II X4 910	24828,46	16,10
Intel Core i7-2600	99562,34	46,40

Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica de perfil (*software profiling*)
 - ▶ É uma técnica de instrumentação do código fonte para análise das propriedades dinâmicas do software, como alocação de memória e tempo de execução das funções e dos procedimentos



Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica de perfil (*software profiling*)
 - ▶ É uma técnica de instrumentação do código fonte para análise das propriedades dinâmicas do software, como alocação de memória e tempo de execução das funções e dos procedimentos



É feita a otimização do software com as estatísticas e informações obtidas

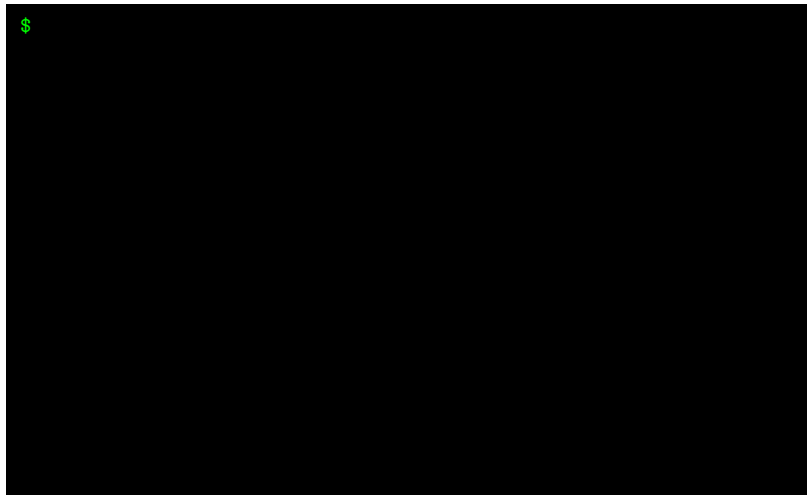
Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ Aplicação de exemplo

```
1 // Tipos inteiros de tamanho fixo
2 #include <stdint.h>
...
26 // Função principal
27 int main() {
28     // Variáveis auxiliares
29     uint64_t fat = 0, fib = 0;
30     // 10000 iterações
31     for(uint32_t i = 0; i < 10000; i++) {
32         // Chamadas de funções
33         fat = fat + fatorial(i);
34         fib = fib + fibonacci(i);
35     }
36     // Retorno sem erros
37     return 0;
38 }
```

Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)



Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)

```
$ gcc -Wall -g -pg exemplo.c -o exemplo.bin
```

Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)

```
$ gcc -Wall -g -pg exemplo.c -o exemplo.bin  
$ time ./exemplo.bin
```

Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)

```
$ gcc -Wall -g -pg exemplo.c -o exemplo.bin
$ time ./exemplo.bin

real 0m1.838s
user 0m1.838s
sys 0m0.000s
```


Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)

```
$ gcc -Wall -g -pg exemplo.c -o exemplo.bin
$ time ./exemplo.bin
real 0m1.838s
user 0m1.838s
sys 0m0.000s
$ gprof exemplo.bin
```

Avaliação de desempenho

- ▶ Análise dinâmica (*software profiling*)
 - ▶ GNU Profiler (gprof)

```
$ gcc -Wall -g -pg exemplo.c -o exemplo.bin
$ time ./exemplo.bin

real 0m1.838s
user 0m1.838s
sys 0m0.000s
$ gprof exemplo.bin
Flat profile:

Each sample counts as 0.01 seconds.
 %   cumulative   self           self      total
time  seconds    seconds   calls   us/call  us/call  name
 55.10      0.33      0.33    10000    32.51    32.51  fatorial
 42.18      0.57      0.25    10000    24.89    24.89  fibonacci
  4.30      0.60      0.03             0.00     0.00  frame_dummy
.
.
.
$
```