

Avaliação de Desempenho, Custo e Eficiência Eenergética de Linguagens de Programação

Discente: Michel Tavares de Oliveira
Orientador: Jean Carlos Teixeira de Araújo

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Maio de 2021



- 1 Motivação
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Relacionados
- 4 Fundamentação teórica
- 5 Materiais, métodos e execução
- 6 Resultados
- 7 Conclusão

1 Motivacao

2 Questões de pesquisa

3 Trabalhos Realacionados

4 Fundamentação teorica

5 Materiais,métodos e execução

6 Resultados

7 Conclusão

Frame Title

- A
- B
- C
- D

- 1 Motivação
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Relacionados
- 4 Fundamentação teórica
- 5 Materiais, métodos e execução
- 6 Resultados
- 7 Conclusão

Questões de pesquisa

- Questão de pesquisa 1. Qual linguagem de programação é mais eficiente energeticamente?
- Questão de pesquisa 2. A linguagem mais rápida, é mais eficiente energeticamente?
- Questão de pesquisa 3. A linguagem que possui menor potência em Watts, foi a mais eficiente?

- 1 Motivacao
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Realacionados**
- 4 Fundamentação teorica
- 5 Materiais,métodos e execução
- 6 Resultados
- 7 Conclusão

Energy Efficiency across Programming Languages: How Do Energy, Time, and Memory Relate?

- A
- B
- C
- D

Energy Efficiency across Programming Languages: How Do Energy, Time, and Memory Relate?

- A
- B
- C
- D

1 Motivacao

2 Questões de pesquisa

3 Trabalhos Realacionados

4 **Fundamentação teorica**

Avaliação de desempenho de sistemas

Green Software

Eficiência energética

Métricas energéticas

5 Materiais,métodos e execução

- Avaliação de desempenho de sistemas
Green Software
Eficiência energética
Métricas energéticas

Avaliação de desempenho de sistemas

- A
- B
- C
- D

- ## 5 Materiais, métodos e execução

Green Software

- A
- B
- C
- D

- ## 5 Materiais, métodos e execução

Eficiência energética

- A
- B
- C
- D

Joule

- É a unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades, utilizada para medir energia mecânica ou térmica
- Na energia mecânica 1 Joule equivale a energia necessária aplicar força 1 Newton por 1 metro
- Na energia termica 1 Joule equivale a energia necessária para aumentar a temperatura da água a 1 grau

Watt

- É a unidade de potencia no Sistema Internacional de Unidades, sendo a potencia media da quantidade de energia em um determinado tempo
- 1 Watt equivale a 1 Joule por segundo, logo, um dispositivo que consome 1 Watt está consumindo um Joule por segundo

$$P = \frac{E}{t} \quad (1)$$

Quilowatt

- É uma unidade de potência referente a 1000 Watts
- Utilizada para medir portencia eletrica em aplicações residenciais e comerciais e industriais

$$\text{Potência em quilowatts (kW)} = \frac{\text{Energia em kilojoules (kJ)}}{\text{Tempo em horas (h)}} \quad (2)$$

Quilowatt-hora

- Referente a energia produzida ou consumida no período de 1 hora

$$\text{Energia total (kWh)} = \text{Potência em Quilowatts (kW)} \times \text{Tempo total em horas (h)}$$

(3)

- Intel RAPL
- Utilitários Linux
- The Computer Language Benchmark Game
- Linguagens de Programação
- Ambiente de testes

- 1 Motivação
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Relacionados
- 4 Fundamentação teórica
- 5 Materiais, métodos e execução

Intel RAPL

Utilitários Linux

The Computer Language Benchmark Game

Linguagens de Programação

Ambiente de testes

Intel RAPL

- Otimizar o gerenciamento energético dos processadores Intel
- Monitoramento de alguns parametros como temperatura, potência e consumo energético
- Foi implementado a nível de hardware a partir da 6ª geração dos processadores Intel
- Segundo Khan et al 2018 [1], a precisão do RAPL é bastante promissora e os valores reportados são precisos suficientemente para prever e modelar sistemas.

RAPL Power Domain

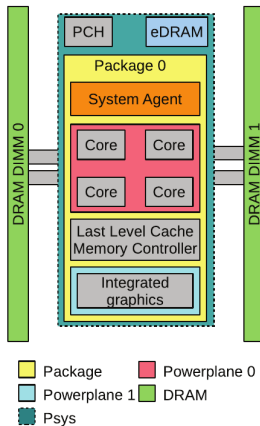


Figure 1: Intel RAPL Power Domains. Fonte: Khan et al 2018 [1]

Contadores de energia e limitações

- Model-Specific Registers (MSRs) são registradores que fornecem acesso a diversas características e funcionalidades nos processadores x86
- MSR_RAPL_POWER_UNIT de 32 bits sem sinal (0 a 4,294,967,295)
- O registrador começa a contar a partir da inicialização do computador
- Quando este valor limite é atingido, o valor do registrador é reinicializado para 0 novamente.
- É de grande importância considerar a reinicialização dos registradores para não obter dados incorretos durante os experimentos

- ## Ambiente de testes

Power Capping Framework

- Ferramenta integrada ao Kernel Linux
- Permite expor informações de energia via *sysfs* exportando informações sistemas de arquivos
- O framework cria de forma automática, uma árvore de diretórios com diversos objetos referente a interface de energia utilizada (The Linux Kernel Archives, 2024).

Árvore de Diretórios Power Capping Framework

```

/sys/devices/virtual/powercap
└─ intel-rapl
    ├── enabled
    ├── intel-rapl:0
    │   ├── constraint_0_max_power_uw
    │   ├── constraint_0_name
    │   ├── constraint_0_power_limit_uw
    │   ├── constraint_0_time_window_us
    │   ├── constraint_1_max_power_uw
    │   ├── constraint_1_name
    │   ├── constraint_1_power_limit_uw
    │   ├── constraint_1_time_window_us
    │   ├── device -> ../../intel-rapl
    │   └── enabled
    └── ...

```

Figure 2: Árvore de Diretórios Power Capping Framework

- Interface entre o usuário e o sistema operacional
- O Shell é uma ferramenta essencial quando o foco é ter mais controle sobre o sistema operacional (RAYMOND, 2003)
- Funciona como um intermediário entre usuário e SO
- Essa interação pode ocorrer de forma iterativa e não iterativa

Shell Script

- É uma linguagem de script voltada para automatização de tarefas em sistemas operacionais, sendo ela interpretada por um interpretador Shell
- Permite realizar diversas tarefas executando apenas um arquivo de script
- O interpretador analisa linha por linha e executa os comandos encontrados de forma sequencial
- Bastante útil ao executar diversos comandos, assim como a possibilidade de realização de tarefas repetitivas e automáticas

Bash

- Bash é um shell desenvolvido por Brian Fox no Projeto GNU
- Atualmente é o Shell padrão de diversas distribuições Linux, como Ubuntu, Debian e Manjaro.

GNU Time

- Utilizada para medir tempo e recursos consumidos por uma aplicação durante sua execução
- Utilização é bastante simples, com opções salvar a saída dos resultados em arquivo de texto

```
/usr/bin/time ./meu_programa > output.txt
```

- ## Ambiente de testes

The Computer Language Benchmark Game

- É um projeto de software livre que fornece um repositório com uma variedade de algoritmos simples que podem ser implementados em diversas linguagens de programação
- Um web site que centraliza todos os dados sobre códigos fontes, execução de teste e resultados
- O projeto fornece, além do código fonte, informações sobre compilação e execução dos algoritmos

CLBG Benchmarks

Benchmarks	Descrição
fannkuch-redux	Acesso indexado a minúsculas sequências inteiras
n-body	Dupla precisão para cálculo de N-body
spectral-norm	Autovalor usando o método da potência
pidigits	Streaming de aritmética de precisão arbitrária
regex-redux	Combina DNA e substitui por padrões mágicos
fasta	Gerar e escrever sequências aleatórias de DNA
k-nucleotide	Atualiza hashtable e sequências de k-nucleotídeos
reverse-complement	Complemento reverso de sequências de DNA
binary-trees	Aloca e desaloca muitas árvores binárias
mandelbrot	Gera um conjunto de Mandelbrot em arquivo de bitmap portátil

- Intel RAPL
- Utilitários Linux
- The Computer Language Benchmark Game
- Linguagens de Programação**
- Ambiente de testes

Linguagens de Programação

Linguagem	Versão	Compilador Open Source (Ubuntu 22.04)
Ada	10.5.1	GNAT GPL Compiler
C	11.4.0	GCC
C#	7.0.115	Mono
C++	11.4.0	GCC
Chapel	1.29.0	Chapel Compiler
Dart	3.2.6	Dart SDK
Erlang	26.2.2	Erlang OTP
F#	7.0.115	F# Compiler
Fortran	11.4.0	GFortran
Go	1.18.1	Go Compiler
Haskell	8.8.4	GHC Haskell Compiler
Java	19.0.2	OpenJDK
Javascript	18.19.0	V8
Julia	1.9.3	Julia Compiler
Lua	5.3.0	LuaJIT
OCaml	4.13.1	OCaml Compiler
Perl	5.34.1	Perl Compiler
Php	8.2.15	PHP Compiler
Python	3.10.12	Python Interpreter
Racket	8.2.0	Racket Compiler
Ruby	3.0.2	Ruby Compiler
Rust	1.75.0	Rustc Compiler
Swift	5.9.0	Swift Compiler

- 1 Motivação
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Relacionados
- 4 Fundamentação teórica
- 5 Materiais, métodos e execução

Intel RAPL

Utilitários Linux

The Computer Language Benchmark Game

Linguagens de Programação

Ambiente de testes

Hardware

Especificação	Descrição
Modelo	Intel® Core™ i5-10210U
Geração	10ª Geração
Codinome	Comet Lake
Nº de núcleos	4
Threads	8
Frequência base	1.60 GHz
Frequência turbo max	4.20 GHz
Cache	6 MB Intel® Smart Cache
Litografia	14 nm
TDP	15 W

Hardware

Especificação	Descrição
Memória DRAM	8GB (Dual Channel)
Frequência da Memória DRAM	2666MHz
Tipo de Memória DRAM	DDR4
Armazenamento Interno	256GB
Tipo do Armazenamento Interno	PCIe NVMe M.2
Potência Máxima da Fonte de Alimentação	45W

Sistema Operacional

Especificação	Descrição
Distribuição	Ubuntu
Versão	22.04 LTS
Codinome	Jammy Jellyfish
Ambiente de desktop	KDE Plasma
Kernel	Linux 5.15
Arquitetura	x86 64 bits
Tipo de instalação	Desktop

- 1 Motivacao
- 2 Questões de pesquisa
- 3 Trabalhos Realacionados
- 4 Fundamentação teorica
- 5 Materiais,métodos e execução
- 6 Resultados
- 7 Conclusão

Frame Title

- A
- B
- C
- D

- A
- B
- C
- D

- [1] Kashif Nizam Khan et al. "RAPL in Action: Experiences in Using RAPL for Power Measurements". In: *ACM Trans. Model. Perform. Eval. Comput. Syst.* 3.2 (2018). ISSN: 2376-3639. DOI: 10.1145/3177754. URL: <https://doi.org/10.1145/3177754>.

EOF