

Avaliação do Desempenho: Metodologias

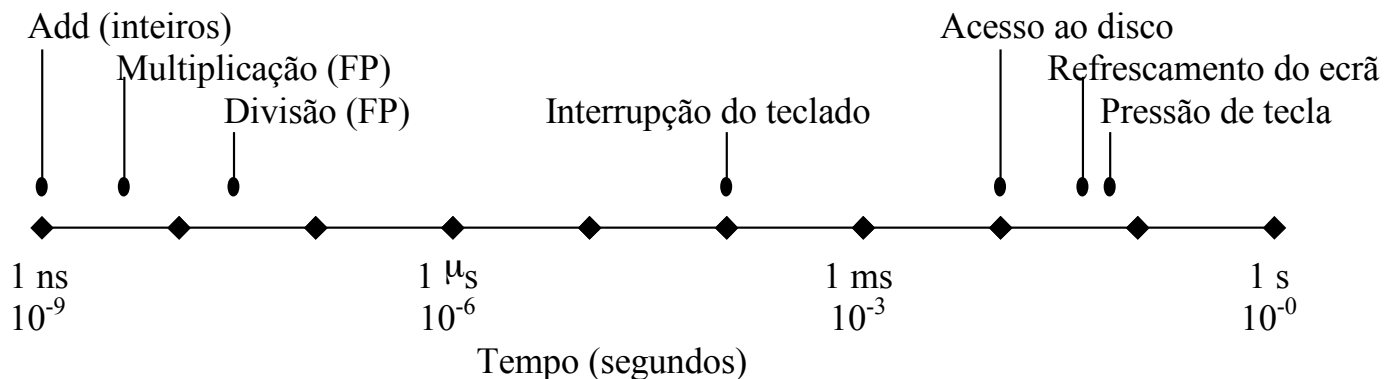
Arquitetura de Computadores

Lic. em Engenharia Informática

João Luís Sobral

Metodologia de Medição de Desempenho

- Princípios
 - Isolar o mais possível factores externos
 - Considerar a sobrecarga (intrusão) do próprio processo de medição
 - Repetir várias vezes a medição
 - Documentar a experiência para que seja reproduzível por outros
 - Equipamento, versão do *software*, estado do sistema, ...
 - Atenção ao relógio usado
 - Precisão: diferença entre o tempo medido e o tempo real
 - Resolução: unidade de tempo entre dois *ticks* do relógio
 - Não é possível medir um evento com duração inferior à resolução do relógio, mas ...
 - Escala de tempos de eventos (máquina com frequência de 1 GHz)



Metodologia de Medição de Desempenho

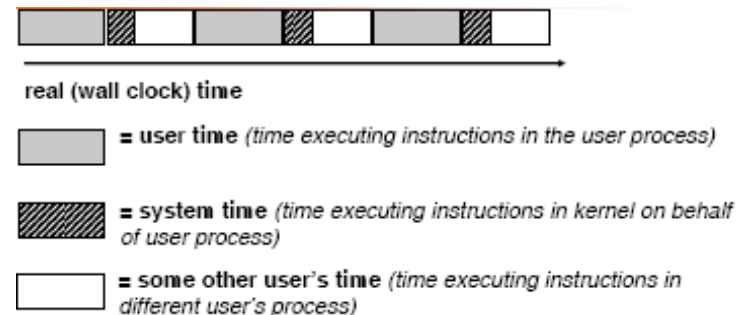
- Qual o tempo a medir?
 - *Wall Time*
 - Tempo decorrido desde o início até ao fim do programa
 - Depende da carga do sistema (E/S, outros processos,...)
 - Tempo de CPU
 - Tempo efetivamente dedicado à execução do programa
 - Menos sensível a outras atividades do sistema
- Dificuldades na medição do tempo
 - Escalonamento de processos (cada 10ms?)
 - Carga introduzida por outros processos (e.g., colector de lixo da JVM)

- Comando `time`

```
time <comando>
```

```
0.820u 0.300s 0:01.32 ...
```

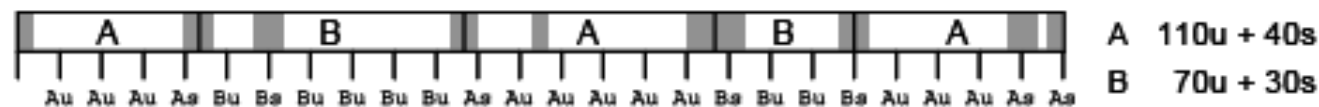
- 0,82 seg em user time
- 0,30 seg em system time
- 1,32 seg de *wall time*



Metodologia Medição de Desempenho

- *User versus system time?*
 - O sistema operativo mantém 2 contadores do tempo de CPU utilizado (por aplicação):
 - Tempo na execução em modo utilizador
 - Tempo na execução em modo “kernel” ou sistema
 - Aos tempos são obtidos por amostragem, em intervalos regulares de tempo

(a) Interval Timings



(b) Actual Times



Example

Metodologia de Medição de Desempenho

- Repetir a medição várias vezes (5-10 vezes) melhora a fiabilidade da medição
 - Analisar o desvio padrão (e.g., variações entre medições)
- Como combinar o resultado das várias medições?
 - Média
 - Valores muito alto/baixos influenciam a média
 - Melhor medição
 - Valor obtido nas condições ideais
 - Média das K-melhores medições
 - Média das k melhores execuções vezes
 - Mediana
 - Mais robusto a variações nas medições

Metodologia Medição de Desempenho

- Opções para medição do tempo
 - `gettimeofday()`
 - Retorna o número de segundos desde 1-Jan-1970
 - Usa “Timer” ou o contador dos ciclos (depende da plataforma)
 - Resolução no melhor caso de 1 micro-segundo (10^{-6} segundos)
 - Time (linha de comando)
 - Apenas usável para medições $\gg 1$ seg
 - Contador de ciclos de relógio
 - Usa o contador de ciclos de relógio do próprio processador
 - Mede o *wall time*
 - Resolução muito elevada
 - Igual ao período do relógio (Tcc)
 - Utilizar para medições $\ll 1$ s

Metodologia Medição de Desempenho

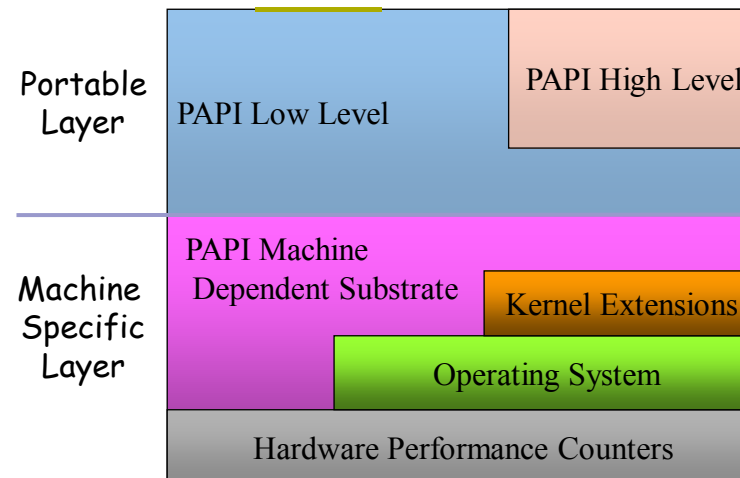
- Contadores de desempenho
 - Lógica incluída nos processadores (modernos) para contagem de eventos específicos
 - Atualizados a cada ciclo de relógio
 - Vantagens:
 - Não intrusivos / baixa sobrecarga (estão embutidos no próprio hardware)
 - Elevada resolução (relógio do processador)
 - Fraquezas:
 - Específicos de cada processador / não existe um “standard”
 - Não são apropriados para serem usados por um utilizador “comum”
 - Contabilizados por processador:
 - Sensíveis à carga no sistema / migração de processos entre “cores”

Metodologia Medição de Desempenho

- Contadores de desempenho
 - Eventos típicos
 - Ciclos de relógio / instruções
 - Instruções de vírgula flutuante
 - Instruções sobre valores inteiros (add, sub, etc)
 - *Load/stores*
 - *Cache misses* (L1, L2, etc)
 - Métricas derivadas ajudam a correlacionar o comportamento da aplicação com um ou vários componentes do *hardware*
 - Exemplos: CPI; instruções por *load/store* ; *cache hit rate*
 - Valores abaixo de um patamar aceitável numa dessas métricas indicam pontos de potencial otimização

Metodologia Medição de Desempenho

- **Performance Application Programming Interface**
 - Interface de alto nível para acesso aos contadores de desempenho
 - Suporta vários sistemas operativos:
 - Usa o suporte em Linux para acesso aos contadores (kernel posterior a 2.6.31)
 - Inclui rotinas para contagem de tempo e para obter informação sobre o sistema
 - <http://icl.cs.utk.edu/papi/>
 - Arquitetura:



Metodologia Medição de Desempenho

- Performance **A**pplication **P**rogramming **I**nterface

- Exemplo de contadores disponíveis

•	PAPI_L1_DCM	0x80000000	Yes	No	Level 1 data cache misses
•	PAPI_L1_ICM	0x80000001	Yes	No	Level 1 instruction cache misses
•	PAPI_L2_DCM	0x80000002	Yes	Yes	Level 2 data cache misses
•	PAPI_L2_ICM	0x80000003	Yes	No	Level 2 instruction cache misses
•	PAPI_L1_TCM	0x80000006	Yes	No	Level 1 cache misses
•	PAPI_L2_TCM	0x80000007	Yes	No	Level 2 cache misses
•	PAPI_L1_LDM	0x80000017	Yes	No	Level 1 load misses
•	PAPI_L1_STM	0x80000018	Yes	No	Level 1 store misses
•	PAPI_L2_LDM	0x80000019	Yes	Yes	Level 2 load misses
•	PAPI_L2_STM	0x8000001a	Yes	No	Level 2 store misses
•	PAPI_BR_CN	0x8000002b	Yes	No	Conditional branch instructions
•	PAPI_BR_TKN	0x8000002c	Yes	No	Conditional branch instructions taken
•	PAPI_BR_NTK	0x8000002d	Yes	No	Conditional branch instructions not taken
•	PAPI_BR_MSP	0x8000002e	Yes	No	Conditional branch instructions mispredicted
•	PAPI_BR_PRC	0x8000002f	Yes	Yes	Conditional branch instructions correctly predicted
•	PAPI_TOT_IIS	0x80000031	Yes	No	Instructions issued
•	PAPI_TOT_INS	0x80000032	Yes	No	Instructions completed
•	PAPI_FP_INS	0x80000034	Yes	No	Floating point instructions
•	PAPI_LD_INS	0x80000035	Yes	No	Load instructions
•	PAPI_SR_INS	0x80000036	Yes	No	Store instructions
•	PAPI_BR_INS	0x80000037	Yes	No	Branch instructions
•	PAPI_VEC_INS	0x80000038	Yes	No	Vector/SIMD instructions (could include integer)
•	PAPI_RES_STL	0x80000039	Yes	No	Cycles stalled on any resource
•	PAPI_TOT_CYC	0x8000003b	Yes	No	Total cycles
•	PAPI_FML_INS	0x80000061	Yes	No	Floating point multiply instructions
•	PAPI_FDV_INS	0x80000063	Yes	No	Floating point divide instructions
•	PAPI_FP_OPS	0x80000066	Yes	No	Floating point operations
•	PAPI_VEC_SP	0x80000069	Yes	No	Single precision vector/SIMD instructions
•	PAPI_VEC_DP	0x8000006a	Yes	No	Double precision vector/SIMD instructions

Metodologia Medição de Desempenho

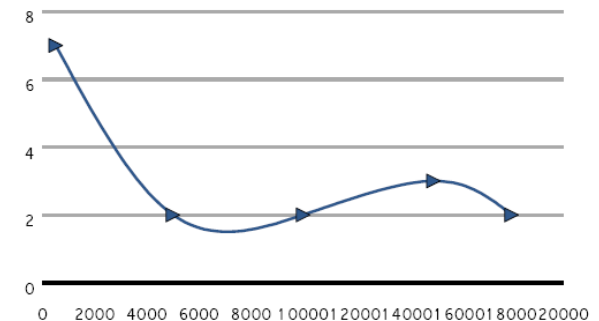
- **Performance Application Programming Interface**
 - Limitações
 - Disponível apenas para alguns SO (Linux com kernel posterior a 2.6.31)
 - É suportado em hardware virtualizado (e.g. VMware) mas as medições são de pior qualidade:
 - A camada de software de virtualização introduz sobrecarga
 - Não é fácil correlacionar as métricas de baixo nível com características das aplicações

Metodologia Medição de Desempenho

- Apresentação dos resultados
 - Apresentar os resultados de forma compacta

Tempos de Execução				
Operações	Nº de Clientes no Ficheiro			
	5000	10000	15000	18000
Carregar Dados	10.019 ms	20.881 ms	32.027 ms	40.992 ms
Inserir Cliente	7.100 μ s	7.400 μ s	8.800 μ s	9.500 μ s
Procura por Nome	0.360 μ s	0.380 μ s	0.400 μ s	0.430 μ s
Procura por Nif	0.020 μ s	0.020 μ s	0.020 μ s	0.020 μ s
Percorrer Estrutura	0.092 ms	0.232 ms	0.470 ms	0.673 ms

- Colocar legendas nas tabelas e gráficos



- Atenção à extrapolação de valores
 - Diferenciar os valores medidos dos valores extrapolados (por exemplo, ligar os pontos medidos a tracejado)

- Atenção às escalas dos gráficos

- Podem induzir conclusões erradas:

- E.g., não utilizar incrementos constantes no eixo do X
 - Não representar o 0



Metodologia Medição de Desempenho

- Erros comuns
 - Não documentar as condições da experimentação / incluir detalhes irrelevantes
Temperatura do processador: Esteve sempre contida no intervalo $[48^{\circ}\text{C}, 54^{\circ}\text{C}]$,
 - Não repetir a experiência
 - Atenua os efeitos do SO, colector de lixo, etc
 - Incluir E/S no tempo das medições
 - Leituras do disco
 - Incluir “printf”
 - Não considerar a resolução e a sobrecarga da leitura do relógio
 - Inserção numa lista **demora 0???**
 - **Solução:** Medir o tempo de várias operações
 - Não “aquecer” a “cache” (e o JIT, no caso de Java)

Procurar	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
NIF										

**1 microsegundo
é a resolução do
relógio!**