

Fórmulas para Avaliação de Desempenho de Processadores

11/2020

Sumário

1	Fundamentos	2
1.1	Taxa e período do <i>clock</i>	2
1.2	Tempo de execução	2
1.3	Prefixos de unidades do SI e IEC	2
2	<i>Speedup</i>	3
2.1	<i>Speedup</i> calculado com modelo de referência	4
3	Ciclos por Instrução (CPI)	4
3.1	Cálculo do CPI médio	4
3.2	Instruções por ciclo (IPC)	5
4	Equação de Desempenho do Processador	5
5	Lei de Amdahl	5

Essa obra tem a licença Creative Commons “CC0 1.0 Universal”.



1 Fundamentos

1.1 Taxa e período do *clock*

$$taxa\ do\ clock = \frac{1}{período\ do\ clock}$$

1.2 Tempo de execução

Em sistemas modernos, processadores geralmente trabalham em várias tarefas simultaneamente. Isso faz com que o tempo aparente de execução de um programa não necessariamente reflita o seu custo computacional ou o desempenho do processador para aquela tarefa. Portanto, considere duas definições:

Tempo real ou decorrido. O tempo total para executar a tarefa específica, de início a fim.

Tempo de CPU. Apenas o tempo em que o processador computa, excluindo tempo de execução de outras tarefas ou espera por recursos, eventos externos e interação do usuário.

O tempo de execução a ser tratado nas próximas seções pode ser um destes, a depender do contexto. Em geral, o tempo de CPU é usado, com exceção de casos em que haja interesse em analisar o desempenho multitarefas do processador.

1.3 Prefixos do Sistema Internacional de Unidades (SI) e *International Electrotechnical Commission* (IEC)

A comunidade científica, por meio do Sistema Internacional, criou prefixos (constantes numéricas) para facilitar a representação de magnitudes muito grandes ou muito pequenas.

Era comum usar-se os prefixos do SI para potências de 2, dada a proximidade entre $10^3 = 1000$ e $2^{10} = 1024$. No entanto, essa diferença cresce exponencialmente conforme as potências aumentam, tornando os prefixos do SI inconvenientes e imprecisos nesse contexto. Por exemplo, existe um erro de apenas 2,4% entre 2^{10} e 10^3 , porém o erro sobe para 15,3% entre 2^{60} e 10^{18} .

Por esse motivo, houve um esforço (atual padrão IEC 80000-13) pela *International Electrotechnical Commission* para convencionar constantes úteis no contexto da tecnologia da informação. A tabela 1 mostra os prefixos mais usados.

Há situações em que é preferível usar um conjunto de prefixos ao outro, devido à natureza dos valores tratados. Por exemplo:

SI	IEC
<ul style="list-style-type: none">• Grandezas das ciências da natureza• Largura de banda• Taxa de transferência• Tempo	<ul style="list-style-type: none">• Capacidade de armazenamento

Tabela 1: Prefixos do SI vs. IEC.

SI			IEC		
Nome	Símbolo	Valor	Nome	Símbolo	Valor
yocto	y	10^{-24}	—	—	—
zepto	z	10^{-21}	—	—	—
atto	a	10^{-18}	—	—	—
femto	f	10^{-15}	—	—	—
pico	p	10^{-12}	—	—	—
nano	n	10^{-9}	—	—	—
micro	μ	10^{-6}	—	—	—
mili	m	10^{-3}	—	—	—
kilo	k	10^3	kibi	Ki	2^{10}
mega	M	10^6	mebi	Mi	2^{20}
giga	G	10^9	gibi	Gi	2^{30}
tera	T	10^{12}	tebi	Ti	2^{40}
peta	P	10^{15}	pebi	Pi	2^{50}
exa	E	10^{18}	exbi	Ei	2^{60}
zetta	Z	10^{21}	zebi	Zi	2^{70}
yotta	Y	10^{24}	yobi	Yi	2^{80}

DICAS

Caso esteja curioso: a letra *i* em *Ki*, *Mi* etc. vem de *binary*.

Quer um conselho? Não precisa pronunciar os nomes como a IEC definiu, apenas use os símbolos corretos.

2 *Speedup*

LEMBRE-SE

speedup é uma medida que varia de acordo com o código executado.

$$speedup_{A/B} = \frac{\text{tempo de execução}_B}{\text{tempo de execução}_A} \quad (1)$$

Lê-se *speedup* de *A* com relação a *B*. Alternativamente:

$$\text{tempo de execução}_A = \frac{\text{tempo de execução}_B}{speedup_{A/B}}$$

Dada a natureza do cálculo do *speedup*, existe também a seguinte propriedade.

$$speedup_{A/B} = \frac{1}{speedup_{B/A}}$$

2.1 Speedup calculado com modelo de referência

Considere dois processadores, A e B , e um programa P . Deseja-se saber o valor de $speedup_{A/B}$ para P , mas não se sabe os tempos de execução do programa em ambos os processadores.

No entanto, existe um processador, X , tal que $speedup_{A/X}$ e $speedup_{B/X}$ para P são conhecidos. Nesta situação, pode-se aproveitar a seguinte propriedade.

$$\begin{aligned} speedup_{A/B} &= \frac{\text{tempo de execução}_B}{\text{tempo de execução}_A} \\ &= \frac{\text{tempo de execução}_X}{speedup_{B/X}} \times \frac{speedup_{A/X}}{\text{tempo de execução}_X} \\ &= \frac{speedup_{A/X}}{speedup_{B/X}} \end{aligned}$$

Isso significa que o $speedup$ de um processador com relação a outro pode ser obtido com apenas os respectivos $speedups$ destes com relação a um terceiro processador qualquer.

3 Ciclos por Instrução (CPI)

LEMBRE-SE

O CPI varia de acordo com o tipo de instrução executada.

$$n^o \text{ de ciclos gastos} = n^o \text{ de instruções executadas} \times CPI \quad (2)$$

3.1 Cálculo do CPI médio

LEMBRE-SE

O CPI médio varia de acordo com o código executado.

Considere:

- C_i : n^o de instruções do tipo i executadas
- CPI_i : n^o de ciclos gastos com uma instrução do tipo i
- $n^o \text{ de ciclos gastos} = \sum_{\forall i} (C_i \times CPI_i)$
- $n^o \text{ de instruções executadas} = \sum_{\forall i} C_i$

$$CPI = \frac{n^o \text{ de ciclos gastos}}{n^o \text{ de instruções executadas}} = \frac{\sum_{\forall i} (C_i \times CPI_i)}{\sum_{\forall i} C_i}$$

Note que a equação acima é apenas a média ponderada dos CPI de cada tipo de instrução, onde os pesos são as proporções (%) de cada tipo de instrução no código executado.

3.2 Instruções por ciclo (IPC)

Além do CPI, pode-se também analisar o desempenho considerando a razão IPC. A escolha é meramente arbitrária, e por vezes uma alternativa pode ser mais intuitiva que a outra.

As equações mudam um pouco com IPC, mas basta lembrar que este é o inverso do CPI.

$$IPC = \frac{1}{CPI}$$

4 Equação de Desempenho do Processador

LEMBRE-SE

Um processador pode executar vários trechos de código ao mesmo tempo, sejam do seu programa ou não. Portanto, o tempo de CPU não inclui a execução de outros programas nem a espera por dispositivos de entrada e saída.

$$\begin{aligned} tempo_{CPU} &= n^o \text{ de ciclos gastos} \times \text{período do clock} \\ &= \frac{n^o \text{ de ciclos gastos}}{\text{taxa do clock}} \end{aligned} \quad (3)$$

Substituindo a equação 2 em 3, obtemos

$$\begin{aligned} tempo_{CPU} &= n^o \text{ de instruções executadas} \times CPI \times \text{período do clock} \\ &= \frac{n^o \text{ de instruções executadas} \times CPI}{\text{taxa do clock}} \end{aligned} \quad (4)$$

5 Lei de Amdahl

Considere:

- $f \in [0, 1]$: fração do tempo de execução original afetada pela melhoria
- p : proporção da melhoria em comparação com o mesmo trecho da execução original

$$\begin{aligned} tempo \text{ com melhoria} &= tempo \text{ sem melhoria}_{\text{não afetado}} + \frac{tempo \text{ sem melhoria}_{\text{afetado}}}{\text{proporção da melhoria}} \\ &= tempo \text{ sem melhoria} \times (1 - f) + \frac{tempo \text{ sem melhoria} \times f}{p} \end{aligned} \quad (5)$$

Manipulando-se a equação 5 com o tempo de execução original, encontramos uma nova equação.

$$speedup = \frac{1}{(1 - f) + \frac{f}{p}} \quad (6)$$