



Arhitectura sistemelor de calcul

- Prelegerea 2 -

Performanța calculatoarelor

Ruxandra F. Olimid

Facultatea de Matematică și Informatică
Universitatea din București

Cuprins

1. Performanța calculatoarelor
2. Măsurarea performanței
3. Noțiuni primare
 1. Multiplii și submultiplii

Evaluarea calculatoarelor

- Ce înseamnă că un calculator este mai **bun** decât altul?



Evaluarea calculatoarelor

- Evaluarea se poate realiza din punct de vedere al **costurilor**, al **consumului de energie**...

Today, the average annual energy cost to power a modern laptop is about EUR 25. If the energy consumption had remained unchanged since 1971, today's laptops would consume 4,000 times more energy and cost about 100 000 euro per year. At that cost, not many people could afford to operate a home computer...

[Intel'11]

..... dar o sa ne concentrăm asupra **performanței**.

Performanța calculatoarelor

- Ce înseamnă că un calculator este mai **performant** decât altul?



Un exemplu simplu



- Un client care sună la Relații cu clienții este interesat de cât de repede i se rezolvă problema (*timpul de răspuns* la solicitare)
- Departamentul de Relații cu clienții este interesat de *numărul* de clienți mulțumiți (cărora li s-a rezolvat problema) *într-o anumită perioadă* (zi sau lună)



Performanța calculatoarelor

- *Timpul de execuție (timpul de răspuns)*: diferența între începutul și sfârșitul unui eveniment (al rulării unui program, execuției unei comenzi, etc.)
 - ✓ prezintă interes pentru un utilizator
- *Throughput (productivitate)*: cantitatea de servicii prestate într-o unitate de timp
 - ✓ prezintă interes pentru centrele de calcul (datacenter)

Vom continua analiza din punctul de vedere al unui utilizator / programator, deci ne interesează *timpul de execuție* (!)

Performanța calculatoarelor

- *Performanța* unui sistem de calcul (calculator) este invers proporțională cu timpul de execuție (necesar execuției unui test) :
 - ✓ cu cât timpul de execuție este mai scurt, cu atât performanța este mai ridicată
 - ✓ cu cât timpul de execuție este mai lung, cu atât performanța este mai scăzută

$$Perf = \frac{1}{Timp\ exec.}$$

Performanța calculatoarelor

- Calculatorul X este *mai performant* decât calculatorul Y dacă:

$$Perf_X > Perf_Y$$

$$Timp\ exec._X < Timp\ exec._Y$$

- Calculatorul X este *de n ori mai rapid* decât calculatorul Y dacă:

$$Perf_X = n Perf_Y$$

$$n \cdot Timp\ exec._X = Timp\ exec._Y$$

Performanța calculatoarelor

- *Timpul de execuție (al sistemului)* este considerat în general timpul total necesar calculatorului să rezolve o sarcină (când calculatorul este neîncărcat cu alte task-uri), incluzând: accesul la disc, memorie, activități de intrare / ieșire, încărcarea sistemului de operare, execuția CPU...
- *Timpul de execuție CPU (timpul CPU):* timpul consumat cu executarea de către CPU a unei sarcini specifice, care poate fi spart în:
 - ✓ *Timpul CPU utilizator:* timpul necesar execuției programului de către CPU
 - ✓ *Timpul CPU sistem:* timpul necesar pentru execuția unor task-uri de către sistemul de operare pentru programul respectiv (ex. întreruperi de sistem)

$$Timp\ exec.(CPU) = Timp\ exec.(CPU_{util}) + Timp\ exec.(CPU_{sist})$$

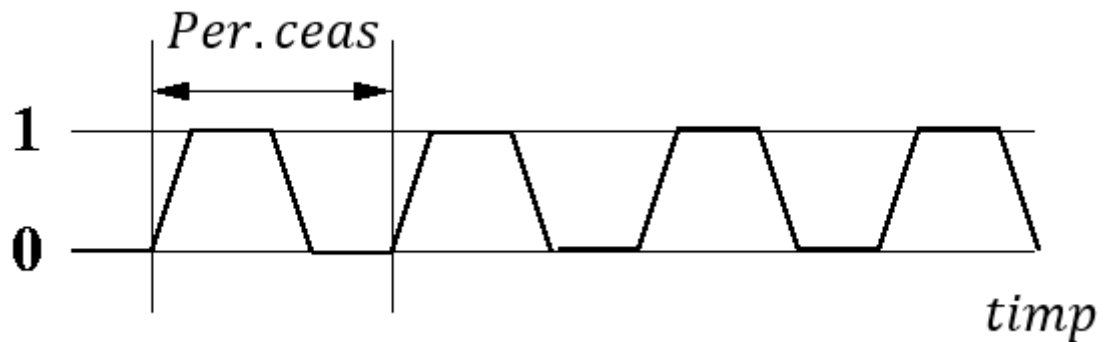
Măsurarea performanței

- Timpul de execuție se măsoară în:
 - ✓ *Secunde (s)*
 - ✓ *Cicli de ceas (tacte de ceas)*
- *Ceasul (CPU)*: funcționează la oscilație constantă și determină când un eveniment se realizează fizic (în hardware)
- De ce am folosi cicli de ceas pentru măsurarea performanței?
 - ✓ Timpul măsurat în secunde depinde de construcția fizică a circuitelor
 - ✓ Timpul măsurat în cicli de ceas nu depinde de construcția fizică, permițând o mai bună comparație dpdv logic

Măsurarea performanței

- *Ceasul (CPU)* este caracterizat de:
 - ✓ *Perioada ceasului*: lungimea (durata) unui tact (a unui ciclu de ceas); unitate de măsură: *secunda*
 - ✓ *Frecvența ceasului*: câte cicluri de ceas se fac în unitatea de timp; unitate de măsură: *Hertz*

$$Per.ceas = \frac{1}{Frecv.ceas}$$



Multiplii si submultiplii [\[Info\]](#)

Măsurarea performanței

The Intel 4004 microprocessor ran at 740 kilohertz; the current 2nd generation of Intel Core processors achieves almost 4 GHz. If the speed of cars had increased at the same pace since 1971, it would take about one second to drive from San Francisco to New York (or from Lisboa in Portugal to Moscow in Russia assuming the car speed in 1971 was 60 miles/hour and the distance between San Francisco and New York is 3 000 miles).

[Intel'11]

Măsurarea performanței

➤ *Întrebare:* Perioada unui ciclu de ceas este de 2ns. Cât este frecvența ceasului?

➤ *Răspuns:*

$$\begin{aligned} Frecv. ceas &= \frac{1}{Per. ceas} = \frac{1}{2 \text{ ns}} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-9} s} = \\ &= 0.5 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 0.5 \text{ GHz} = 500 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Măsurarea performanței



Laptop HP Pavilion 15-AB051NQ, AMD Quad-Core, Memorie 4GB, HDD 500GB, AMD Radeon, Free DOS

[eMAG]



Specificații

Laptop HP Pavilion 15-AB051NQ, AMD Quad-Core, Memorie 4GB, HDD 500GB, AMD Radeon, Free DOS

Cod: 96379

Procesor

Tip procesor:	AMD Quad-Core
Model procesor:	A8-7410
Numar nuclee:	4
Tehnologie procesor:	28 nm
Frecventa procesor:	2200 MHz
Cache:	2048 KB
Turbo Boost pana la:	2500 MHz
Producator procesor:	AMD

Display

Caracteristici speciale display:	HP BrightView
Diagonala (inch):	15.60
Rezolutie:	1366 x 768
Tip display:	Wide

Memorie

Capacitate memorie RAM:	4 GB
Tip memorie:	DDR3
Frecventa:	1600 MHz

Multimedia

Unitati citire/scriere:	DVD RW
Audio:	2 difuzoare integrate
Camera WEB:	HP TrueVision HD
Cititor de carduri:	Da
Carduri suportate:	SD
Tip:	Stereo

Porturi

HDMI:	1
Iesire audio:	1
RJ-45:	1
USB 2.0:	1
USB 3.0:	2

Comunicatii

Retea:	10/100 Mbps
Bluetooth:	v4.0
Wireless:	802.11 a/b/g/n/ac

Alimentare

Baterie:	Li-ion polimer, 4 celule, 4400 mAh
----------	------------------------------------

Măsurarea performanței

➤ *Întrebare:* Frecvența procesorului este 2200MHz. Cât înseamnă în GHz?

➤ *Răspuns:*

$$Frecv.ceas = 2200 \text{ MHz} = 2.2 \text{ GHz}$$

➤ *Întrebare:* Frecvența procesorului este 2200MHz. Cât durează un tact de ceas?

➤ *Răspuns:*

$$Per.ceas = \frac{1}{Frecv.ceas} = \frac{1}{2.2 \cdot 10^9 \text{ Hz}} \simeq 0.45 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 0.45 \text{ ns}$$

Măsurarea performanței

- *Timpul de execuție* poate fi exprimat în funcție de *numărul de cicli CPU executați* și *perioada (durata) unui ciclu*:

$$Timp\ exec. = nr.\ cicli\ CPU \cdot Per.\ ceas$$

- *Timpul de execuție* poate fi exprimat în funcție de *numărul de cicli CPU executați* și *frecvența unui ciclu*:

$$Timp\ exec. = \frac{nr.\ cicli\ CPU}{Frecv.\ ceas}$$

Măsurarea performanței

- *Întrebare:* Un program rulează 10s pe calculatorului X, care are frecvența 4GHz. Același program necesită de 1.2 ori mai mulți cicli de ceas pe calculatorul Y. Care este frecvența minimă a calculatorului Y pentru ca să fie considerat mai performant?

- *Răspuns:*

Calculatorul X este mai performant dacă timpul său de execuție este mai mic:

$$Timp\ exec._X = \frac{Nr.\ cicli\ CPU_X}{Frecv.\ ceas_X} > \frac{Nr.\ cicli\ CPU_Y}{Frecv.\ ceas_Y} = Timp\ exec._Y$$

Înlocuind, obținem:

$$10s = \frac{Nr.\ cicli\ CPU_X}{4 \cdot 10^9 Hz} > \frac{1.2 \cdot Nr.\ cicli\ CPU_X}{Frecv.\ ceas_Y} = Timp\ exec._Y$$

$$Frecv.\ ceas_Y > 4.8GHz$$

Măsurarea performanței

➤ *Întrebare:* Care este frecvența minimă a calculatorului din întrebarea precedentă, dacă timpul de execuție pe acest calculator trebuie să fie cel mult 6 secunde?

➤ *Răspuns:*

Numărul de cicli necesari la execuția pe calculatorul X este:

$$10s = \frac{Nr.cicli\ CPU_X}{4 \cdot 10^9 Hz} \Rightarrow Nr.cicli\ CPU_X = 40 \cdot 10^9$$

Înlocuind în relațiile precedente obținem:

$$Timp\ exec._Y = \frac{1.2 \cdot Nr.cicli\ CPU_X}{Frecv.ceas_Y} < 6s$$

$$Frecv.ceas_Y \geq \frac{1.2 \cdot 40 \cdot 10^9}{6} = 8GHz$$

Măsurarea performanței

- *Timpul de execuție* depinde de *numărul de instrucțiuni*:

$$Timp\ exec. = Nr.instr \cdot CPI \cdot Per.ceas$$

unde *CPI* este numărul mediu de *Cicli Per Instrucțiune*

- Am considerat numărul total de cicli ca fiind numărul de instrucțiuni înmulțit cu numărul mediu de cicli per instrucțiune:

$$Nr.cicli\ CPU = Nr.instr \cdot CPI$$

- Mai exact este să se folosească numărul mediu de cicli de ceas pentru fiecare tip de instrucțiune

Măsurarea performanței

- *Întrebare:* Pe un calculator se implementează 2 programe distincte (A și B), care folosesc pentru rezolvarea unei probleme numărul de instrucțiuni indicat. Fiecare tip de instrucțiune necesită un anumit număr de cicluri de ceas. Care program este mai rapid ?

Program	Nr. de instr.	
	adunare	înmulțire
A	2	2
B	4	1

Instr.	CPI
adunare	1
înmulțire	3

Măsurarea performanței

- *Răspuns:* Se calculează numărul de cicli necesar pentru execuția fiecărui program

$$Nr.cicli\ CPU = Nr.instr_{(+)} \cdot CPI_{(+)} + Nr.instr_{(*)} \cdot CPI_{(*)}$$

$$Nr.cicli\ CPU_A = 2 \cdot 1 + 2 \cdot 3 = 8$$

$$Nr.cicli\ CPU_B = 4 \cdot 1 + 1 \cdot 3 = 7$$

Cum programele rulează pe același calculator, perioada de ceas este aceeași și deci programul B este mai rapid.

Observați că performanța nu este dată de numărul total de instrucțiuni (programul B conține 5 instrucțiuni și este mai rapid decât programul A care conține doar 4 instrucțiuni), ci depinde și de complexitatea acestora.

Măsurarea performanței

Componenta (hardware sau software)	Parametrii influențați	Info.
Algoritm	nr. de instrucțiuni CPI	Algoritmul determină nr. de instr. din codul sursă, deci nr. de instr. în limbaj mașina executat de procesor. Algoritmul determină și tipul de instrucțiuni executate, care pot fi de complexitate diferită, deci CPI distinct.
Limbaj de programare	nr. de instrucțiuni CPI	Instrucțiunile programului sursă sunt traduse în instrucțiuni în limbaj mașină, deci numărul de instrucțiuni este influențat de alegerea limbajului de programare. Analog, influențează complexitatea instrucțiunilor (ex. abstractizarea induce o valoare CPI mai mare)
Compiler	nr. de instrucțiuni CPI	Eficiența compilerului influențează nr. de instr. și CPI, acesta fiind cel care realizează traducerea din limbaj de programare în limbaj mașină.
Arhitectura și setul de instrucțiuni	nr. de instrucțiuni CPI perioada de ceas	Arhitectura și setul de instrucțiuni afectează instrucțiunile necesare pentru realizarea unei anumite funcționalități, costul în ciclul al fiecărei instrucțiuni, precum și perioada ceasului procesorului.

Măsurarea performanței

- *MIPS (Millions Instruction per Second)* reprezintă rata de execuție a instrucțiunilor și este o alternativă la evaluarea performanței prin timpul de execuție:

$$MIPS = \frac{Nr. \text{ intr}}{Timp \text{ exec.} \cdot 10^6}$$

- MIPS nu ia în calcul tipuri diferite de instrucțiuni (ex. complexitatea instrucțiunilor), ceea ce **poate conduce la rezultate eronate (!)**
- **Atenție!** Nu confundați cu **MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages)**

Măsurarea performanței

- Practic, performanța unui calculator se evaluează prin:
 - ✓ simularea încărcării uzuale (*workload*) prin aplicații rulate în general (de către utilizatori) la frecvențele relative
 - ✓ rularea unor programe specifice, de test, pentru măsurarea performanței (*benchmarks*)

[<http://www.spec.org/>]

- Timpul total de execuție este o medie (cel mai corect **ponderată**) a timpilor de execuție a programelor rulate la evaluare

Măsurarea performanței

- *Întrebare:* Timpul de execuție a 2 programe (A și B) pe 2 calculatoare diferite (X și Y) este reprezentat mai jos. De câte ori este mai rapid calculatorul X decât calculatorul Y?

Program	Calc.X	Calc.Y	Frecv.de exec.
A	800s	400s	80%
B	200s	600s	20%

Măsurarea performanței

- *Răspuns:* Dacă se consideră doar timpul total de execuție total, atunci calculatoarele necesită același timp de execuție, deci sunt considerate la fel de performante:

$$Timp\ exec.X = 800 + 200 = 1000s$$

$$Timp\ exec.Y = 400 + 600 = 1000s$$

Corect se ține cont de frecvența de rulare a programelor și se obține:

$$Timp\ exec.X = 800 \cdot 80/100 + 200 \cdot 20/100 = 680s$$

$$Timp\ exec.Y = 400 \cdot 80/100 + 600 \cdot 20/100 = 440s$$

În concluzie, calculatorul Y este mai rapid.

Multiplii si submultiplii

S.I.(Sistemul International):

Prefix	Simbol	Valoare (decimal)
Deca	K	10^1
Hecto	H	10^2
Kilo	K	10^3
Mega	M	10^6
Giga	G	10^9
Tera	T	10^{12}
Peta	P	10^{15}
Exa	E	10^{18}
Zetta	Z	10^{21}
Yotta	Y	10^{24}

Prefix	Simbol	Valoare (decimal)
Deci	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Mili	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}
Zepto	z	10^{-21}
Yokto	y	10^{-24}

Multiplii si submultiplii

IEC (International Electrotechnical Commission); standardul IEC 80000-13 (2008)

Prefix	Simbol	Valoare (decimal)
Kibi	Ki	2^{10}
Mebi	Mi	2^{20}
Gibi	Gi	2^{30}
Tebi	Ti	2^{40}
Pebi	Pi	2^{50}
Exbi	Ei	2^{60}
Zebi	Z	2^{70}
Yobi	Y	2^{80}

Because the SI prefixes strictly represent powers of 10, they should not be used to represent powers of 2. Thus, one kilobit, or 1 kbit, is 1000 bit and not 2^{10} bit = 1024 bit. To alleviate this ambiguity, prefixes for binary multiples have been adopted by the International Electrotechnical Commission (IEC) for use in information technology.

[NIST, Physical Measurement Laboratory

<http://physics.nist.gov/cuu/Units/prefixes.html>]

[Intel'11] INTEL – Fun Facts, INTEL® 4004 PROCESSOR CELEBRATES 40TH ANNIVERSARY (2011)
<http://newsroom.intel.com/docs/DOC-2383>

[eMAG]
www.emag.ro

Imaginile au fost preluate de la
<http://cute-pictures.blogspot.ro/2011/08/75-free-stock-images-3d-human-character.html>