

1. Introducere

- Indicatori de performanță
 - Timpul de execuție
 - Timpul UCP
 - MIPS
 - MFLOPS
- Programe de evaluare a performanțelor
- Legea lui Amdahl

Programe de evaluare a performanțelor

- Programe de evaluare a performanțelor
 - Compararea și sintetizarea performanțelor
 - Evoluția programelor de evaluare a performanțelor
 - SPEC CPU2017

Programe de evaluare a performanțelor

- O măsură a performanței: timpul executării unui set reprezentativ de programe
- Acest timp poate fi:
 - Timpul total de execuție
 - Media aritmetică sau geometrică a timpilor de execuție
- Set de programe reale care sunt reprezentative pentru un anumit mediu → programe de evaluare (“*benchmark*”)

Programe de evaluare a performanțelor

- Programe de evaluare a performanțelor
 - Compararea și sintetizarea performanțelor
 - Evoluția programelor de evaluare a performanțelor
 - SPEC CPU2017

Compararea și sintetizarea performanțelor (1)

- Modul în care se poate sintetiza performanța unui grup de programe de evaluare
- **Exemplu** de situație în care nu se poate defini performanța relativă a două calculatoare A , B

	t_E pe A (s)	t_E pe B (s)
Program 1	1	10
Program 2	1000	100
Timp total	1001	110

Compararea și sintetizarea performanțelor (2)

- Timpul total de execuție
 - Metoda cea mai simplă
 - Calculatorul B este de $1001/110 = 9,1$ ori mai rapid decât A pentru programele 1 și 2
- Media aritmetică a timpilor de execuție

$$MA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{Ei}$$

- t_{Ei} – timpul de execuție al programului i din totalul de n programe din set

Compararea și sintetizarea performanțelor (3)

- Media aritmetică ponderată a timpilor de execuție
 - Utilizare: dacă numărul de execuții ale programelor dintr-un set este diferit
 - Se asignează fiecărui program o pondere p_i → indică frecvența sa de execuție
 - Alegerea ponderilor: pe un calculator de referință timpii de execuție ponderați ai fiecărui program să fie egali

Compararea și sintetizarea performanțelor (4)

- Normalizarea timpilor de execuție față de un calculator de referință
 - Se consideră media timpilor de execuție normalizați
 - Dacă se utilizează **media aritmetică** a timpilor de execuție: rezultatul depinde de alegerea calculatorului de referință
 - **Exemplu** de normalizare și utilizare a mediei aritmetice →

Compararea și sintetizarea performanțelor (5)

- Timpii de execuție a două programe pe calculatoarele A și B, **normalizați față de calculatorul A** → A este mai rapid față de B

	t_E pe A (s)	t_E pe B (s)	t_E pe A normalizat	t_E pe B normalizat
Program 1	1	10	1	10
Program 2	1000	100	1	0,1
Medie aritmetică	500,5	55	1	5,05
Medie geometrică	31,6	31,6	1	1

Compararea și sintetizarea performanțelor (6)

- Timpii de execuție normalizați față de calculatorul $B \rightarrow B$ este mai rapid față de A

	t_E pe A (s)	t_E pe B (s)	t_E pe A normalizat	t_E pe B normalizat
Program 1	1	10	0,1	1
Program 2	1000	100	10	1
Medie aritmetică	500,5	55	5,05	1
Medie geometrică	31,6	31,6	1	1

Compararea și sintetizarea performanțelor (7)

- Media geometrică a timpilor de execuție

$$MG = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n t_{Ei}}$$

- Este independentă de seria datelor utilizate pentru normalizare
- Are proprietatea:

$$\frac{MG(X_i)}{MG(Y_i)} = MG\left(\frac{X_i}{Y_i}\right)$$

Compararea și sintetizarea performanțelor (8)

- Rezultatul este același indiferent de calculatorul de referință
- **Avantajele** mediei geometrice:
 - Este independentă de timpii de execuție ai programelor individuale
 - Nu are importanță care calculator este utilizat pentru normalizare
- **Dezavantajul** mediei geometrice:
 - Nu anticipează performanțele

Programe de evaluare a performanțelor

- Programe de evaluare a performanțelor
 - Compararea și sintetizarea performanțelor
 - Evoluția programelor de evaluare a performanțelor
 - SPEC CPU2017

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (1)

- Soluția preferabilă: utilizarea unui set de aplicații reale ca programe de evaluare
- Metricile **MIPS** și **MFLOPS**
- **Programe artificiale sau sintetice de evaluare**
 - Scopul: crearea unor programe în care frecvențele de execuție ale instrucțiunilor sunt aceleași cu cele dintr-un set de programe de evaluare

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (2)

- Programul sintetic *Whetstone*
 - Publicat de *National Physical Laboratory* (NPL), Marea Britanie
 - Bazat pe măsurătorile efectuate asupra aplicațiilor științifice și ingineresti scrise în limbajul **Algol 60**
 - Numit după compilatorul **Whetstone Algol** de la NPL
 - Rescris ulterior în limbajele **Fortran** și **Pascal**
 - Pune accent pe operațiile în VM

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (3)

- Programul sintetic *Dhrystone*
 - Creat pentru evaluarea programelor de sistem
 - Bazat pe un set de măsurători ale frecvențelor de execuție ale instrucțiunilor
 - Nu pune accent pe operațiile în VM
 - Scris inițial în limbajul Ada
 - Convertit ulterior în limbajul C

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (4)

- **Dezavantajele** programelor sintetice
 - Nu reflectă comportamentul programelor reale
 - Optimizările executate de compilator sau prin hardware pot amplifica performanțele acestor programe
 - **Exemplu:** compilatoare care pot elimina 25% din codul programului Dhrystone

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (5)

- Programe nucleu (*kernel*) de evaluare
 - Fragmente de dimensiuni mici, dar solicitante, extrase din programe reale
 - Elaborate pentru evaluarea calculatoarelor performante (supercalculatoare)
 - Exemple: *Livermore Loops* și *Linpack*
 - Utilizate în special pentru evaluarea performanțelor aplicațiilor științifice

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (6)

- Formarea **SPEC** (*Standard Performance Evaluation Corporation*), 1988 
- www.spec.org
- Corporație non-profit
- Elaborează și actualizează seturi standardizate de programe de evaluare **bazate pe programe reale**
- Seturile de programe conțin codul sursă și utilitare pentru generarea rapoartelor de performanță

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (7)

● SPEC89

- Primul set de programe de evaluare (1989)
- Se calcula o singură metrică utilizând media geometrică a timpilor de execuție normalizați față de calculatorul **VAX-11/780**

● SPEC92

- Au fost prevăzute metrici separate pentru calculele cu numere întregi (**SPECINT**) și a celor cu numere în VM (**SPECFP**)

Evoluția programelor de evaluare a performanțelor (8)

- SPEC CPU95, SPEC CPU2000, SPEC CPU2006
- Versiunea curentă: SPEC CPU2017
- SPEC este format din trei grupuri
 - *Open Systems Group* (OSG): programe la nivel de componente și de sistem
 - *High Performance Group* (HPG): programe pentru calcule de înaltă performanță
 - *Graphics Performance Characterization Group* (GPCG): programe pentru subsisteme grafice

Programe de evaluare a performanțelor

- Programe de evaluare a performanțelor
 - Compararea și sintetizarea performanțelor
 - Evoluția programelor de evaluare a performanțelor
 - SPEC CPU2017

SPEC CPU2017 (1)

- A fost dezvoltat de grupul OSG
- Se măsoară performanța UCP, a sistemului de memorie și a generării codului de către compiler
- Timpul necesar executării funcțiilor SO și a operațiilor de I/E este neglijabil
- Conține porțiuni din 43 de aplicații reale în limbajele C, C++ și FORTRAN
- Aplicații portabile pe arhitecturi variate: IA32; AMD64 (x86-64); ARMv8 AArch64; SPARC etc.

SPEC CPU2017 (2)

- Îmbunătățiri față de versiunea precedentă:
 - Complexitate și dimensiune crescută a programelor de evaluare
 - Posibilitatea utilizării interfeței de programare **OpenMP** (*Open Multi-Processing*) pentru evaluarea sistemelor paralele
 - Metrică opțională pentru măsurarea consumului de putere
 - Se poate măsura puterea maximă, puterea medie și energia totală consumată (în kJ)

SPEC CPU2017 (3)

- Două tipuri de măsurători
- Măsurarea vitezei de execuție
 - Viteza SPEC: timpul în care se execută toate programele din setul de test o singură dată
 - SPECspeed 2017 Integer; SPECspeed 2017 Floating Point
- Măsurarea ratei
 - Rata SPEC: numărul de programe care pot fi executate într-o unitate de timp (pe oră)
 - SPECrate 2017 Integer; SPECrate 2017 Floating Point

SPEC CPU2017 (4)

- Se calculează **media geometrică** a indicatorilor
- Timpii de execuție sunt raportați la un calculator de referință
 - *Sun Microsystems Sun Fire V490*, cu procesoare **UltraSPARC-IV+** (2,1 GHz)
 - Programele au fost rulate pe acest calculator pentru a stabili un timp de referință
 - Pentru calculatorul de referință, metricile ***SPECspeed2017*** și ***SPECrate2017*** sunt 1

SPEC CPU2017 (5)

- Exemple de programe pentru numere întregi
 - 502.gcc_r: compilator C bazat pe GCC vers. 4.5.0
 - 520.omnetpp_r: simulare discretă a evenimentelor dintr-o rețea Ethernet de 10 Gbiți/s pe baza simulatorului OMNeT++
 - 525.x264_r: compresie video în formatul H.264/MPEG-4 AVC
 - 531.deepsjeng_r: bazat pe programul de șah Deep Sjeng
 - 548.exchange2_r: generator pentru jocul *sudoku*

SPEC CPU2017 (6)

- Exemple de programe pentru numere în VM
 - 508.namd_r: simularea unor sisteme biomoleculare
 - 511.povray_r: trasarea razelor pe baza programului POV-Ray (vers. 3.7)
 - 521.wrf_r: predicția vremii pe baza modelului WRF, vers. 3.6.1
 - 526.blender_r: redare 3D, animație (fundația Blender)
 - 538.imagick_r: prelucrări de imagini

1. Introducere

- Indicatori de performanță
 - Timpul de execuție
 - Timpul UCP
 - MIPS
 - MFLOPS
- Programe de evaluare a performanțelor
- Legea lui Amdahl

Legea lui Amdahl (1)

- Indică creșterea performanței care se poate obține prin îmbunătățirea unei anumite părți a unui calculator
- Îmbunătățirea obținută prin utilizarea unui mod mai rapid de execuție este limitată de fracțiunea de timp în care este utilizat modul mai rapid
- Presupunem că se poate efectua o îmbunătățire a unui calculator

Legea lui Amdahl (2)

- Creșterea vitezei:

$$\Delta v = \frac{P_{imb}}{P_{neimb}}$$

- P_{imb} – performanța obținută utilizând îmbunătățirea
- P_{neimb} – performanța obținută fără utilizarea îmbunătățirii

- sau:

$$\Delta v = \frac{t_{Eneimb}}{t_{Eimb}}$$

Legea lui Amdahl (3)

- Creșterea vitezei depinde de:
 - Frațiunea timpului de execuție al calculatorului original în care se poate utiliza îmbunătățirea:
 $F_{imb} \leq 1$
 - Creșterea vitezei care s-ar obține dacă s-ar utiliza numai noul mod de execuție: $\Delta v_{imb} > 1$
- Timpul de execuție utilizând calculatorul original în modul îmbunătățit: timpul în care se utilizează partea nemodificată + timpul în care se utilizează partea îmbunătățită

Legea lui Amdahl (4)

$$t_{E\ nou} = t_{E\ init} (1 - F_{imb}) + \frac{t_{E\ init}}{\Delta v_{imb}} \cdot F_{imb}$$

● Rezultă:

$$t_{E\ nou} = t_{E\ init} \left((1 - F_{imb}) + \frac{F_{imb}}{\Delta v_{imb}} \right)$$

● Creșterea totală a vitezei este:

$$\Delta v_{tot} = \frac{t_{E\ init}}{t_{E\ nou}} = \frac{1}{(1 - F_{imb}) + \frac{F_{imb}}{\Delta v_{imb}}}$$

Legea lui Amdahl (5)

● Exemplul 1.4

- Presupunem că se îmbunătățesc instrucțiunile de calcul în virgulă mobilă
 - Acestea se vor executa de două ori mai rapid
 - Numai 10% din instrucțiuni sunt instrucțiuni de calcul în virgulă mobilă
 - Care este creșterea totală a vitezei?
- Legea lui Amdahl este o indicație a modului în care trebuie să se distribuie resursele

Legea lui Amdahl (6)

● Exemplul 1.5

- Presupunem că se poate îmbunătăți viteza de execuție a unei unități centrale de 5 ori, costul crescând de 5 ori
- UCP se utilizează în 50% din timp, iar în rest așteaptă pentru o operație de I/E
- Costul UCP este $1/3$ din costul calculatorului
- Întrebarea este dacă creșterea vitezei UCP de 5 ori reprezintă o investiție rentabilă din punct de vedere al raportului cost / performanță

Rezumat (1)

- Pentru a sintetiza performanța unui grup de programe de evaluare se pot utiliza diferite **metrici**
 - De obicei, se utilizează **media geometrică a timpilor de execuție normalizați** față de un calculator de referință
- **Programele artificiale (sintetice)** de evaluare încearcă să emuleze comportamentul programelor reale
 - Exemple: **Whetstone, Dhrystone**

Rezumat (2)

- Programele nucleu (*kernel*) de evaluare se pot utiliza pentru evaluarea performanței supercalculatoarelor
 - Exemple: Livermore Loops, Linpack
- SPEC CPU2017: pachet de programe pentru evaluarea performanței UCP, a memoriei și a generării codului de către compilator
 - Colecții: SPECspeed2017 (Integer, FP); SPECrate2017 (Integer, FP)
 - Măsurarea vitezei de execuție: viteza SPEC
 - Măsurarea ratei: rata SPEC

Rezumat (3)

- **Legea lui Amdahl** indică creșterea vitezei care se poate obține dacă se îmbunătățește o parte a unui calculator
 - **Factori** de care depinde creșterea vitezei: **fracțiunea de timp** în care se poate utiliza îmbunătățirea; **creșterea vitezei** obținute dacă îmbunătățirea s-ar utiliza permanent
 - Poate indica modul în care trebuie distribuite resursele pentru a îmbunătăți raportul cost/performanță

Noțiuni, cunoștințe (1)

- Metrice pentru sintetizarea performanței unui grup de programe de evaluare
- Media aritmetică ponderată a timpilor de execuție
- Timp de execuție normalizați față de un calculator de referință
- Avantaje și dezavantaje ale mediei geometrice a timpilor de execuție
- Programe artificiale (sintetice) de evaluare a performanțelor

Noțiuni, cunoștințe (2)

- Programe nucleu de evaluare a performanțelor
- Setul de programe de evaluare SPEC CPU2017
- Măsurători efectuate de setul de programe de evaluare SPEC CPU2017
- Viteza SPEC
- Rata SPEC
- Legea lui Amdahl
- Factorii de care depinde creșterea vitezei în legea lui Amdahl