ARHITECTURA SISTEMELOR DE CALCUL - CURS 0x00

INFORMAȚII ADMINISTRATIVE

Cristian Rusu

CUPRINS

- cadre didactice
- organizare
- evaluare
- structura cursului
- obiectivele cursului
- referințe bibliografice generale

CADRE DIDACTICE

- **Cristian Rusu**
  - curs și seminar
  - contact: cristian.rusu@unibuc.ro
  - pagină web curs: https://cs.unibuc.ro/~crusu/asc/index.html

- **Bogdan Macovei și Ruxandra Bălucea**
  - laborator
  - contact
    - bogdan.macovei.fmi@gmail.com
    - ruxandra.balucea@unibuc.ro

.

ORGANIZARE ȘI EVALUARE

- **organizare:**
  - 2h curs / săptămână
  - 2h seminar / 2 săptămâni
  - 2h laborator / 2 săptămâni

- **evaluare:**
  - 70% examen (online, cu materiale, ultimul curs)
    - doar examenul final se repetă la restanță
  - 30% laborator
    - 2 x 10% două teme (predare în lunile noiembrie și decembrie)
    - 10% evaluare finală la laborator (ultimul laborator)
  - 10% extra
    - proiecte (în grup) discutate la curs, vor fi 3 sau 4

- **condiții de promovare:**
  - peste 50% la laborator, pentru fiercare din cele două criterii separat
    - atenție, dacă acest punctaj nu este îndeplinit laboratorul trebuie refăcut în următorul an universitar
  - peste 50% la examenul final

ORGANIZARE ȘI EVALUARE

- **din cauza pandemiei COVID-19**
- **cursul va fi integral online, prezența nu este obligatorie**
- **laboratorul va fi integral online, prezența obligatorie**
- **seminarul va fi online**
  - începem online
  - în cazul în care valul COVID-19 se termină, putem să ne vedem
  - prezența nu va fi obligatorie, vine doar cine dorește
  - cel puțin un seminar va fi online și înregistrat (pentru cei care nu vor/pot să ajungă fizic)
- **binențeles, ne supunem regulilor statului și universității**

ORGANIZARE ȘI EVALUARE

- **pentru curs/seminar/laborator**
  - vă rog să aveți funcționale microfon/camera video (vrem să comunicăm cu voi, deci avem nevoie să vă vedem și să vă auzim)
  - în timpul activităților vă rog să țineți microfon/camera dezactivate
  - vă vom ruga noi să activați microfon/camera pentru a comunica
  - fiți pregatiti cu hartie/pix pentru a nota idei fundamentale și pentru exerciții (materialele le aveți și electronic, dar unele probleme vor fi lucrate împreună atât la curs cât și la seminar)
  - aveți nevoie de un laptop/computer pentru laborator
- **pentru examen: intră orice e prezentat la curs/seminar/laborator (cu excepția unor slide-uri/concepte care sunt explicit menționate)**

ORGANIZARE ȘI EVALUARE

- **pentru seminar**
  - vor fi exerciții cu noțiunile pe care le întâlnim la curs
  - mereu încerc să vă ofer mai multe probleme decât putem face în cele două ore o dată la două săptămâni
  - ce rămâne, este temă
  - ce nu puteți să faceți puteți întreba la cursul/seminarul următor
  - seminarul ține pasul cu ce facem la curs

- **pentru laborator**
  - multă programare
  - Assembly x86
  - veți vedea și Linux/Git/limbajul C
  - sunt două părți: câte 3 laboratoare fiecare
  - *la curs acoperim teoria de la laborator de abia din săptămâna 6*

- **după aproximativ o lună veți putea evalua dificultatea materiei**

ORGANIZARE ȘI EVALUARE

- **nu mai sunteți la liceu**

- **acum nu mai repetăm același tip de probleme/exerciții**

- **cursul**
  - accentul este pus pe concepte
  - accentul este pus pe a înțelege ce se întâmplă
  - ideea este cel mai imporant lucru

- **seminar și laborator**
  - exerciții cu conceptele de la curs
  - cimentăm ce am văzut la curs
  - aici e multă muncă individuală
  - *vă încurajăm să lucrați împreună și să colaborați pentru a înțelege, dar nu să copiați*

.

NU COPIAȚI/PLAGIAȚI

- **pedeapsa pentru copiat nu este doar că veți pica materia**
- **veți fi raportați la comisia de etică și riscați exmatricularea**
- **fără copy/paste la seminar/laborator/teme/test/examen**
- **fără copiat de la colegi (riscați toți)**

STRUCTURA CURSULUI

- **circuite digitale**
  - teoria informației și abstractizarea digitală
  - funcții și circuite logice

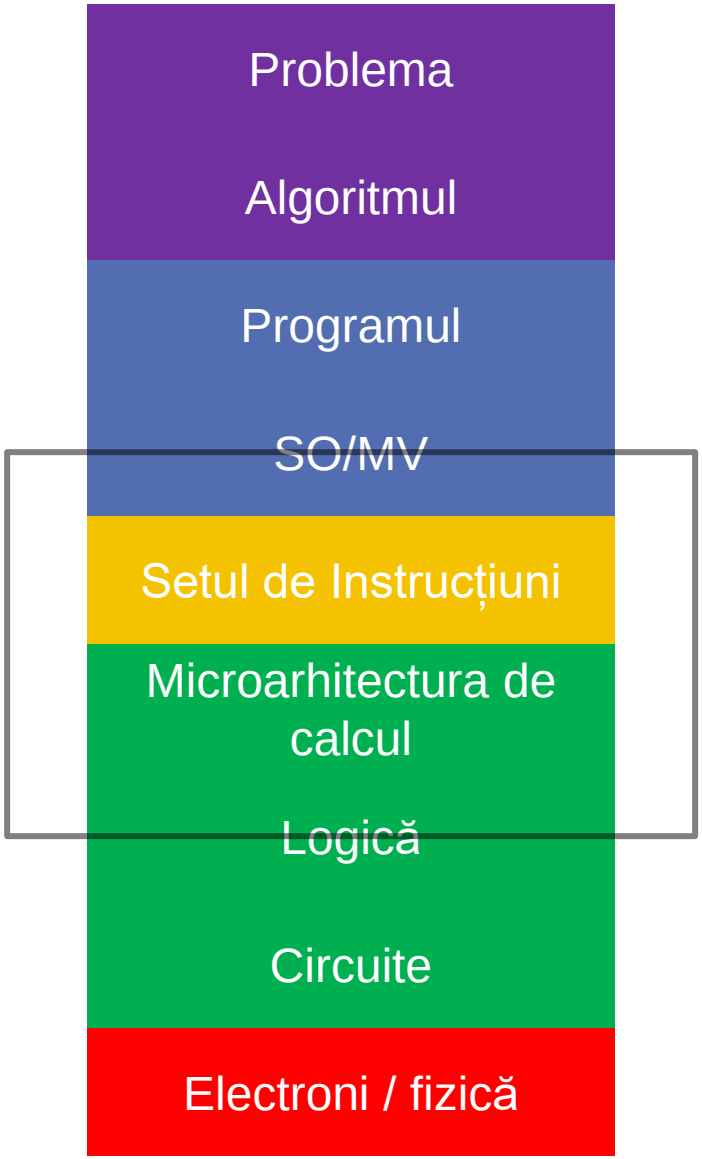
- **arhitecturi de calcul** ← materia acoperită la laborator începe de aici
  - seturi de instrucțiuni
  - limbajul assembly
  - compilatoare
  - pipelining
  - ierarhia memoriei

- **organizarea calculatoarelor**
  - unitatea de procesare centrală
  - performanța calculatoarelor
  - dispozitive periferice și întreruperi
  - calcul paralel

- **potențiale subiecte moderne la curs: RISC-V, WebAssembly, TockOS, hardware pentru machine learning (GPU, TPU, etc.), etc.**

- **laborator: progamare în limbajul Assembly x86**

POZIȚIONAREA CURSULUI



OBIECTIVELE CURSULUI

- **să înțelegeți principile arhitecturii sistemelor de calcul**
  - ce urmărim
  - ce limitări există
  - punerea în balanță a unor criterii de performanță contradictorii
- **să înțelegeți ce există ca tehnologie acum**
  - ce limitări există astăzi
  - ce execută un computer pe care îl programați voi
  - cum puteți optimiza execuția programelor
- **să înțelegeți cum să folosiți ce ați învățat în viitor**
  - design de hardware nou
- **pentru a ne asigura că lucrurile merg bine, veți avea posibilitatea să oferiți feedback (anonim binențeles) la jumătatea cursului**
- **pe parcurs, dacă sunt probleme sau neclarități vă rog sa mi le comunicați (e-mail, la clasă, fie direct sau anonim sau printr-un reprezentant, etc.)**

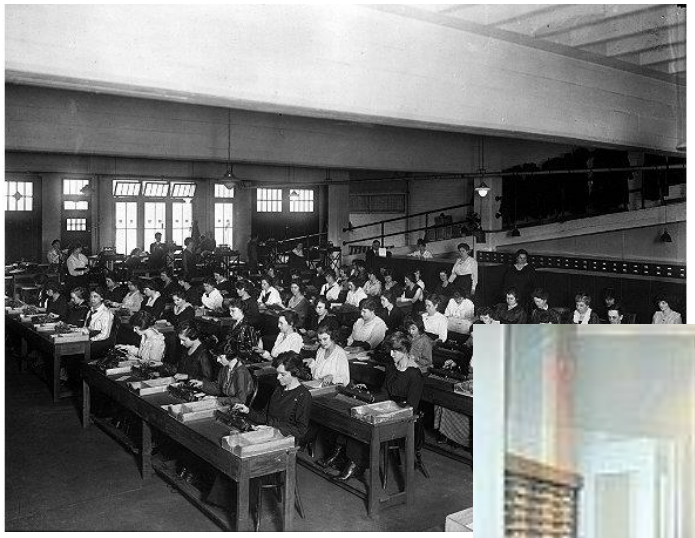
.

OBIECTIVELE CURSULUI

- **să înțelegeți principile arhitecturii sistemelor de calcul**
  - ce urmărim
  - ce limitări există
  - punerea în balanță a unor criterii de performanță contradictorii
- **să înțelegeți ce există ca tehnologie acum**
  - ce limitări există astăzi
  - ce execută un computer pe care îl programați voi
  - cum puteți optimiza execuția programelor
- **să înțelegeți cum să folosiți ce ați învățat în viitor**
  - design de hardware nou
- **pentru a ne asigura că lucrurile merg bine, veți avea posibilitatea să oferiți feedback (anonim binențeles) la jumătatea cursului**
- **pe parcurs, dacă sunt probleme sau neclarități vă rog sa mi le comunicați (e-mail, la clasă, fie direct sau anonim sau printr-un reprezentant, etc.)**

“The purpose of computing is insight, not numbers.” (Richard Hamming)

PROGRESUL TEHNOLOGIC FĂCUT



- înainte de al doilea razboi mondial, 1939, USA
- putere de calcul: 50 operații / secundă

- ENIAC
- 1947 – 1955, USA
- 1000 operații / secundă

- FUGAKU, 2020, Japonia
- core-uri: 7.630.848
- memorie: 5.087.232 GB
- 537.212 trilioane operații / secundă

https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/10/computing-power-used-to-be-measured-in-kilo-girls/280633/
https://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC
https://www.top500.org

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **hardware pentru machine learning (învățare automată)**
- **DeepMind și OpenAI vorbesc despre două lucruri:**
  - algoritmi noi pentru modelare și antrenare
  - “compute” (infrastructura hardware pe care rulează algoritmii)

- **AlphaZero: software bazat de ML**
  - Stockfish (software clasic bazat pe metode de căutare – în principal alpha/beta pruning)
    - 3500 ELO
  - AlphaZero vs Stockfish:
    - +155 -6 =839
  - Magnus Carlsen (campionul mondial actual)
    - < 2900 ELO
  - AlphaZero (alb) vs Stockfish (negru)

https://science.sciencemag.org/content/362/6419/1140.full , https://en.wikipedia.org/wiki/AlphaZero , https://www.youtube.com/watch?v=lFXJWPhDsSY

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **hardware pentru machine learning (învățare automată)**
- **DeepMind și OpenAI vorbesc despre două lucruri:**
  - algoritmi noi pentru modelare și antrenare
  - “compute” (infrastructura hardware pe care rulează algoritmii)

- **AlphaZero: software bazat de ML**
  - Stockfish (software clasic bazat pe metode de căutare – în principal alpha/beta pruning)
    - 3500 ELO
  - DeepMind spune că a antrenat acest algoritm 4 ore (învățat din self-play)
    - da, 4 ore pe platforma lor de calcul
    - un calcul rapid, aproximativ, arată că pe laptop-ul meu aceeași procedură de antrenare ar dura 30 de ani
    - costul? aproximativ 20$ milioane
  - cum scădem costul?
    - algoritmi mai eficienți
    - hardware special, dedicat

https://science.sciencemag.org/content/362/6419/1140.full , https://en.wikipedia.org/wiki/AlphaZero , https://keplerlounge.com/artificial/intelligence/2019/03/24/alpha-go-zero.html

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi
- ce face următorul algoritm?

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi
- ce face următorul algoritm?

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- înmulțește două matrice
- care este complexitatea numerică?

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- ce face varianta B?

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- ce face varianta B?
- cei doi algoritmi sunt echivalenți, matematic

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- ce face varianta B?
- cei doi algoritmi sunt echivalenți, matematic

care algoritm se execută mai rapid?

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- ce face varianta B?
- cei doi algoritmi sunt echivalenți, matematic

pe sistemul meu de calcul varianta B este de 4 ori mai lentă decât varianta A
cum este posibil așa ceva?
care este diferența dintre cele două variante?

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- ce face varianta B?
- cei doi algoritmi sunt echivalenți, matematic

pe sistemul meu de calcul varianta B este de 4 ori mai lentă decât varianta A
cum este posibil așa ceva?
care este diferența dintre cele două variante?
ordinea în care se execută instrucțiunile este foarte importantă

CERINȚELE DE AZI (EXEMPLU)

- **ASC e importantă și pentru software-ul folosit de zi cu zi**
- **ce face următorul algoritm?**

```
# varianta A
for (int i = 0; i < n; ++i)
  for (int j = 0; j < n; ++j)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];

# varianta B
for (int j = 0; j < n; ++j)
  for (int i = 0; i < n; ++i)
     for (int k = 0; k < n; ++k)
        C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

- **înmulțește două matrice**
- **care este complexitatea numerică?**
  - $O(n^3)$
  - $2n^3$ operații
- există un algoritm care calculează rezultatul *C* în $O(n^{2.8074})$
  - din păcate, pe arhitecturile de calcul moderne, acest algoritm este mai lent decât metoda clasică (o formă de varianta A)

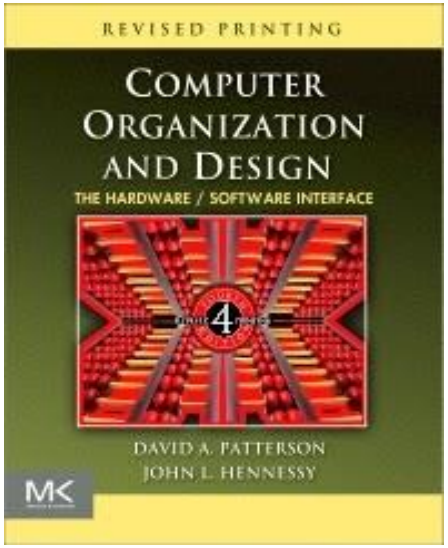
concluzii:

- complexitatea numerică este foarte importantă, dar nu este totul
- ce calculăm matematic și ce putem executa sunt două lucruri diferite
- câteodată progresul în lumea reală este surprinzător și complet neevident

https://en.wikipedia.org/wiki/Strassen_algorithm

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE GENERALE

- D. Patterson and J. Hennessy, Computer Organisation and Design (PH book)



- Chris Terman, 6.004 Computation Structures, MIT, 2017
- MIT Computer Architecture Group: http://groups.csail.mit.edu/cag/

- aceste slide-uri se bazează și pe alte cursuri de ASC la UB (R. Olimid și D. Dragulici)

La sfârșitul fiecarui curs veți avea o listă de referințe specială pentru conținutul acelui curs

.

UN DEMO PENTRU FINAL

- **ce putem face dacă înțelegem arhitectura sistemelor de calcul / assembly / sisteme de operare / tehnologii web?**

- **Doom 3 rulat in browser (demo WebAssembly):**

  http://wasm.continuation-labs.com/d3demo/

.