

ARHITECTURA SISTEMELOR DE CALCUL - CURS 0x06

**SETURI DE INSTRUCȚIUNI, LIMBAJUL DE
ASAMBLARE, ARHITECTURA CALCULATOARELOR**

Cristian Rusu

DATA TRE CUTĂ

- logică secvențială, exemple
- înmulțirea numerelor întregi binare
- împărțirea numerelor întregi binare
- reprezentarea numerelor în virgulă mobilă
- operații cu numerele în virgulă mobilă

CUPRINS

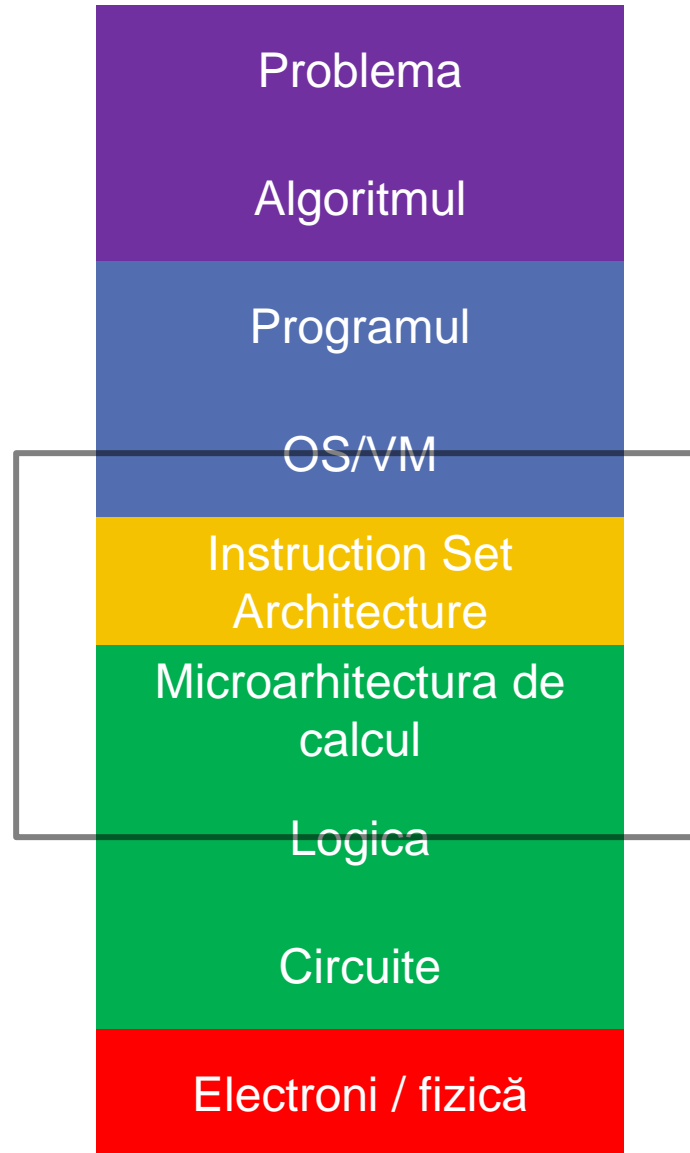
- **Instruction Set Architecture (ISA)**
- **arhitectura de bază a calculatoarelor**

STRUCTURA CURSULUI - UNDE SUNTEM

- **circuite digitale**
 - teoria informației și abstractizarea digitală
 - funcții și circuite logice
- **arhitecturi de calcul**
 - seturi de instrucțiuni
 - limbajul assembly
 - compilatoare
 - pipelining
 - ierarhia memoriei
- **organizarea calculatoarelor**
 - unitatea de procesare centrală
 - performanța calculatoarelor
 - dispozitive periferice și întreruperi
 - calcul paralel

STRUCTURA CURSULUI - UNDE SUNTEM

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

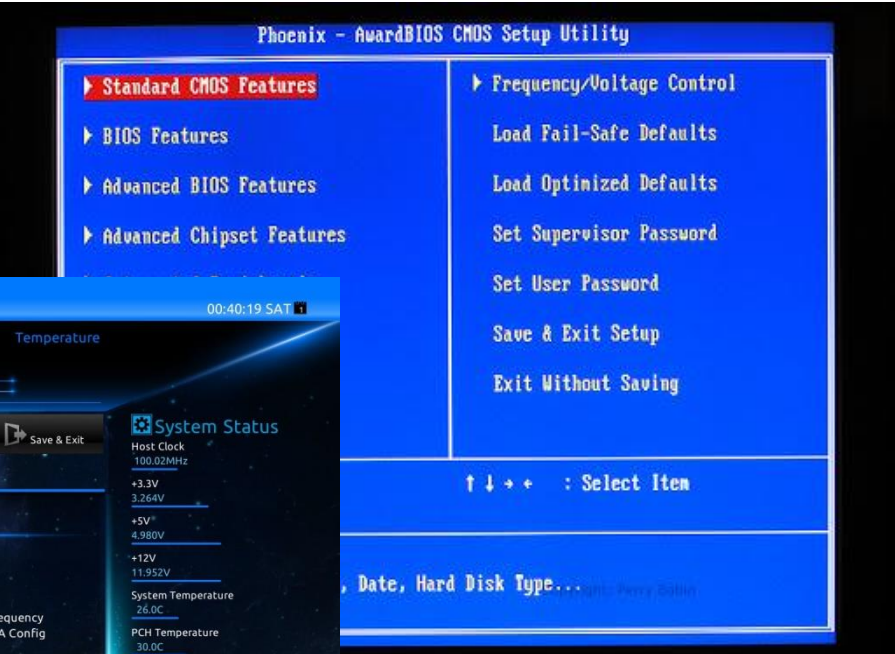


Operații de bază cu sisteme de calcul

- pornirea sistemului
 - în general, un buton de “power on” / “power off” cum funcționează un astfel de buton? atât la pornire cât și la oprire?
 - realizează alimentarea cu electricitate a componentelor
 - **CPU** este activat
 - CPU caută/pornește **BIOS** (Basic Input Output System)
 - testează componentele hardware (RAM, I/O, HD, etc.)
 - BIOS este scris în **ROM** (Read Only Memory) pe placa de bază
 - este scris într-un tip de memorie nevolatilă
 - pentru execuție, BIOS-ul este încărcat în RAM
 - BIOS știe cât e ceasul (**CMOS Real-Time Clock**) și hardware-ul
 - îl accesați automat când porniți calculatorul, fie cu F2 (în general)
 - CPU/BIOS pornesc Boot Code (caută sistemul de operare)
 - sistemul de operare este în general pe HD (poate fi și pe CD, stick)
 - sistemul de operare este încărcat în RAM pentru execuție

Operații de bază cu sisteme de calcul

- BIOS



PhoenixBIOS Setup Utility

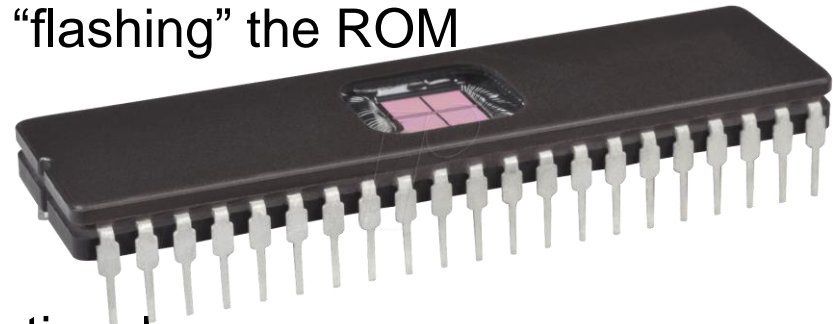
Security	Boot	Exit
[09]:21:30 [09/02/2016]	[1.44/1.25 MB 3 1/2"] [Disabled]	Item Specific Help <Tab>, <Shift-Tab>, or <Enter> selects field.
[None]	[None]	
[CD-ROM]	[None]	
<p>► Secondary Slave</p> <p>► Keyboard Features</p> <p>System Memory: 640 KB Extended Memory: 2096128 KB Boot-time Diagnostic Screen: [Enabled]</p>		

F1 Help ↑↓ Select Item -/+ Change Values F9 Setup Defaults
Esc Exit ←→ Select Menu Enter Select ► Sub-Menu F10 Save and Exit

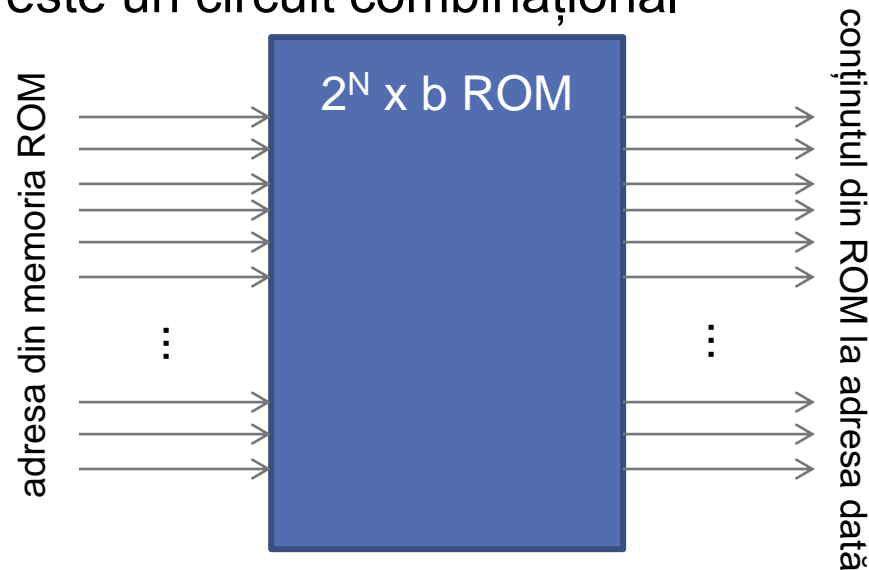
Operații de bază cu sisteme de calcul

- BIOS

- este scris în ROM (Read Only Memory)
- câteodată în Programmable ROM / Erasable Programmable ROM / Electrically Erasable Programmable ROM
- să scriem în ROM: “burning” sau “flashing” the ROM
- este un tip de *firmware*



- în general este un circuit combinațional



Operații de bază cu sisteme de calcul

- mai multe sisteme de operare pe același sistem de calcul



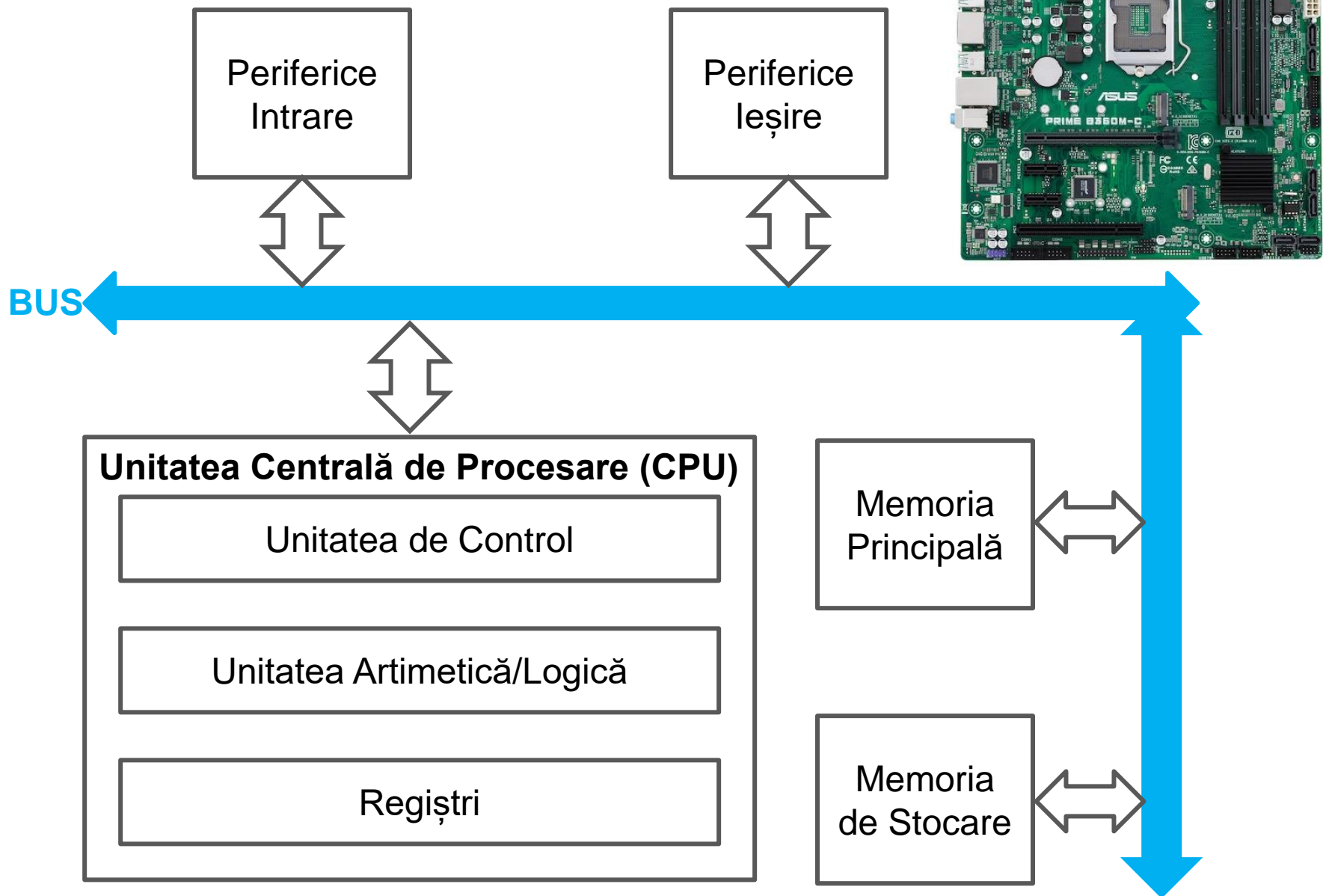
Operații de bază cu sisteme de calcul

- **OS-ul preia controlul de la BIOS**
 - din acest moment doar OS-ul are acces direct la periferice
 - accesul este realizat prin *drivere*
 - OS-ul oferă o imagine abstractizată a memoriei pentru fiecare proces pornit
- din momentul în care OS-ul pornește, sistemul de calcul intră în ciclul obișnuit de procesare (secvența de boot s-a terminat)

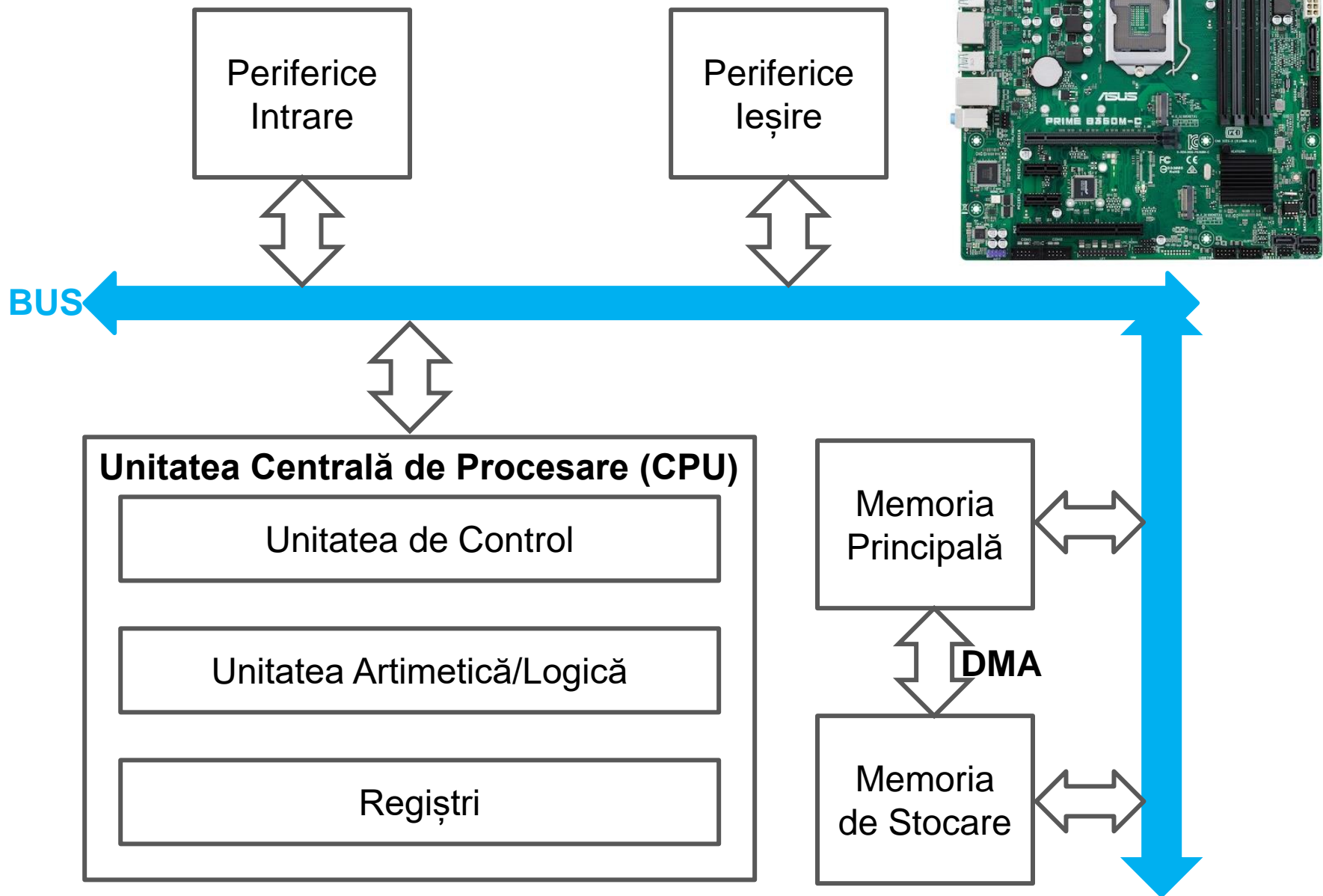
ARHITECTURA DE BAZĂ

- **un sistem de calcul trebuie să fie capabil:**
 - să calculeze
 - să execute instrucțiuni
 - să comunice
 - să transfere biți între componente electronice
 - să stocheze
 - date care să fie folosite de instrucțiuni
 - instrucțiuni pentru execuție

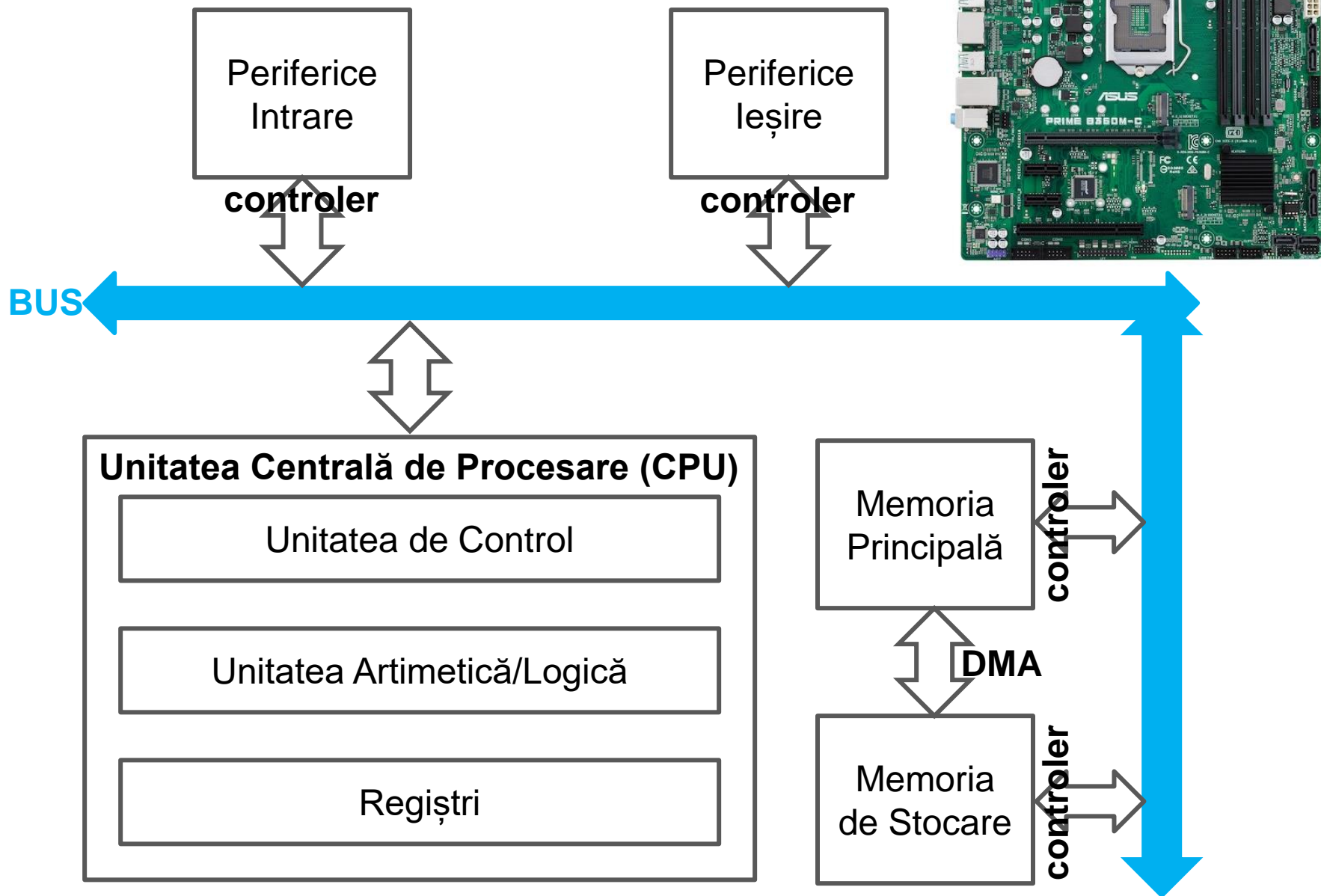
ARHITECTURA DE BAZĂ



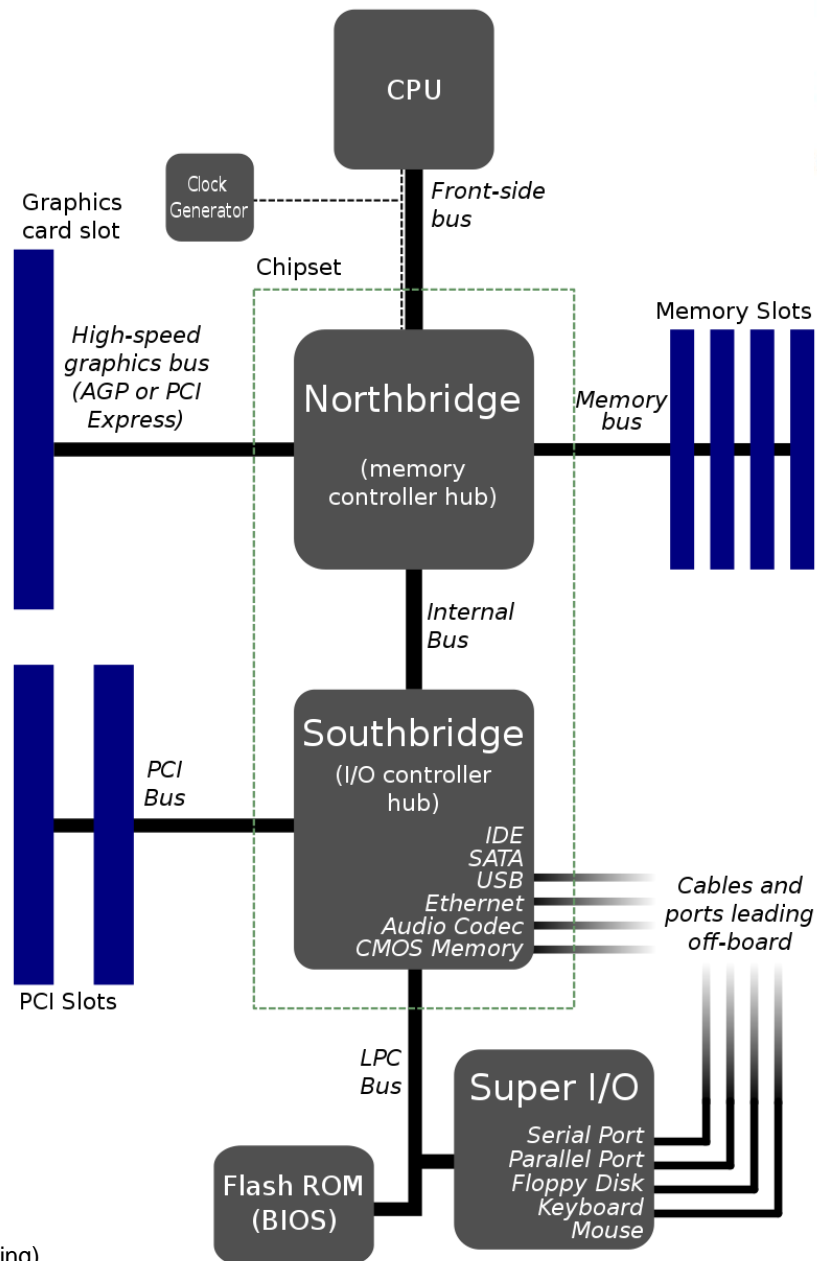
ARHITECTURA DE BAZĂ



ARHITECTURA DE BAZĂ



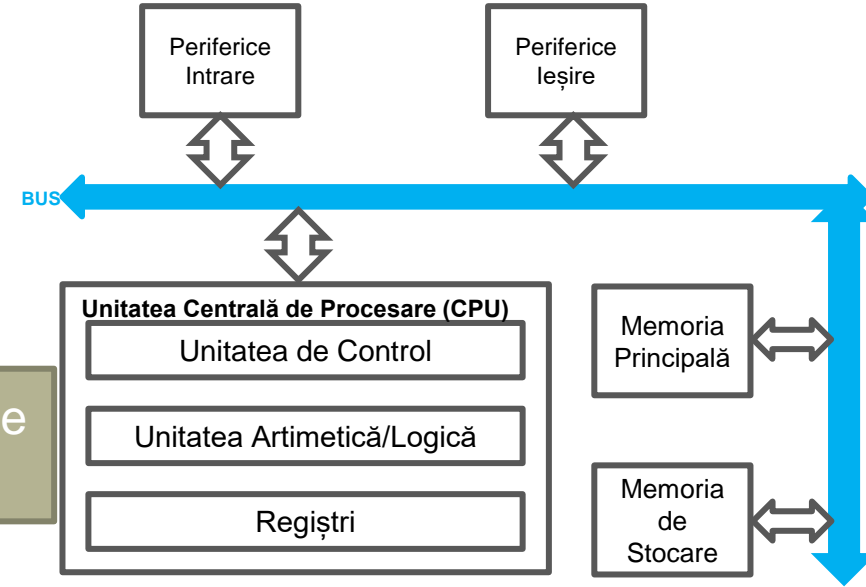
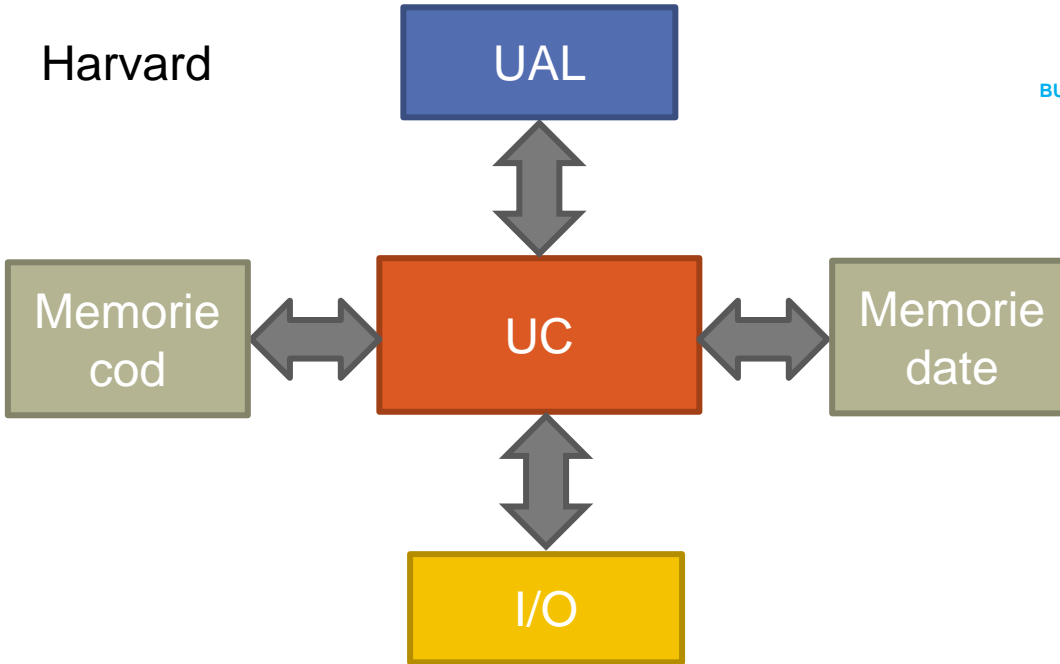
ARHITECTURA DE BAZĂ



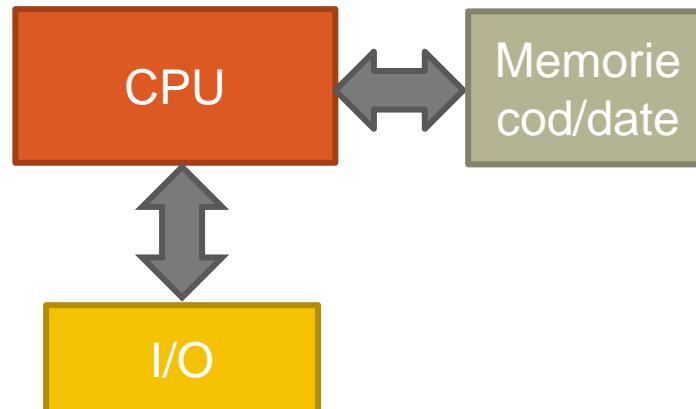
ARHITECTURA DE BAZĂ

- Tipul arhitecturii de calcul

Harvard



von Neumann



calculatoarele recente încep
să nu mai fie von Neumann

ARHITECTURA DE BAZĂ

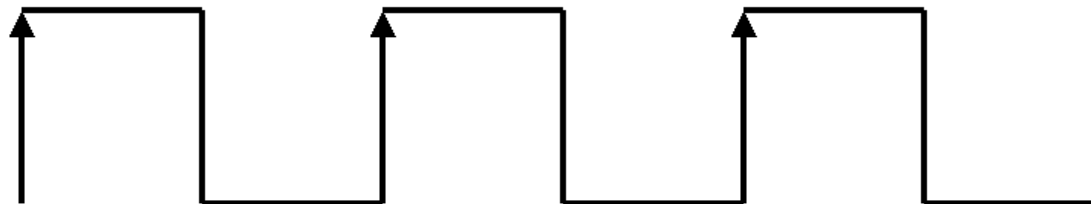
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

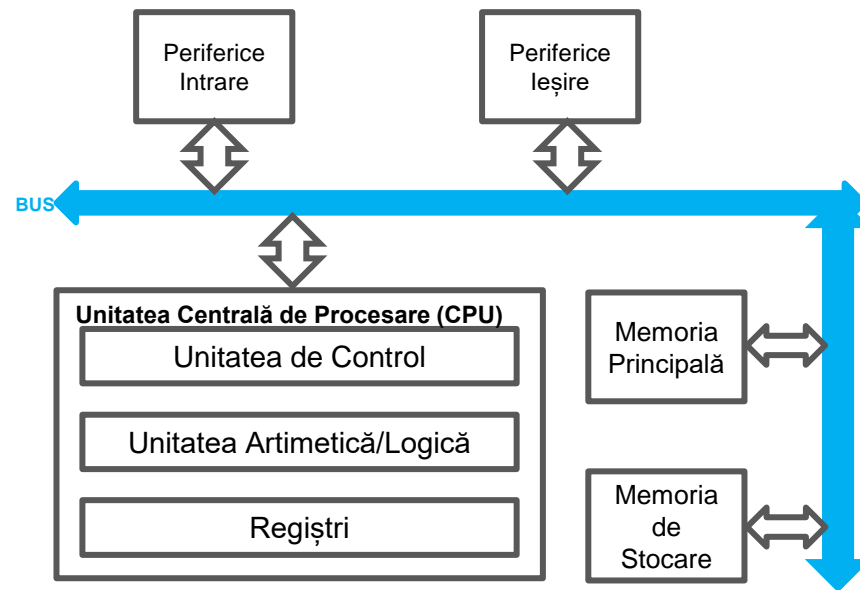
- 5 componente principale:

- **Clock**

- este un circuit special care generează “ceasul”



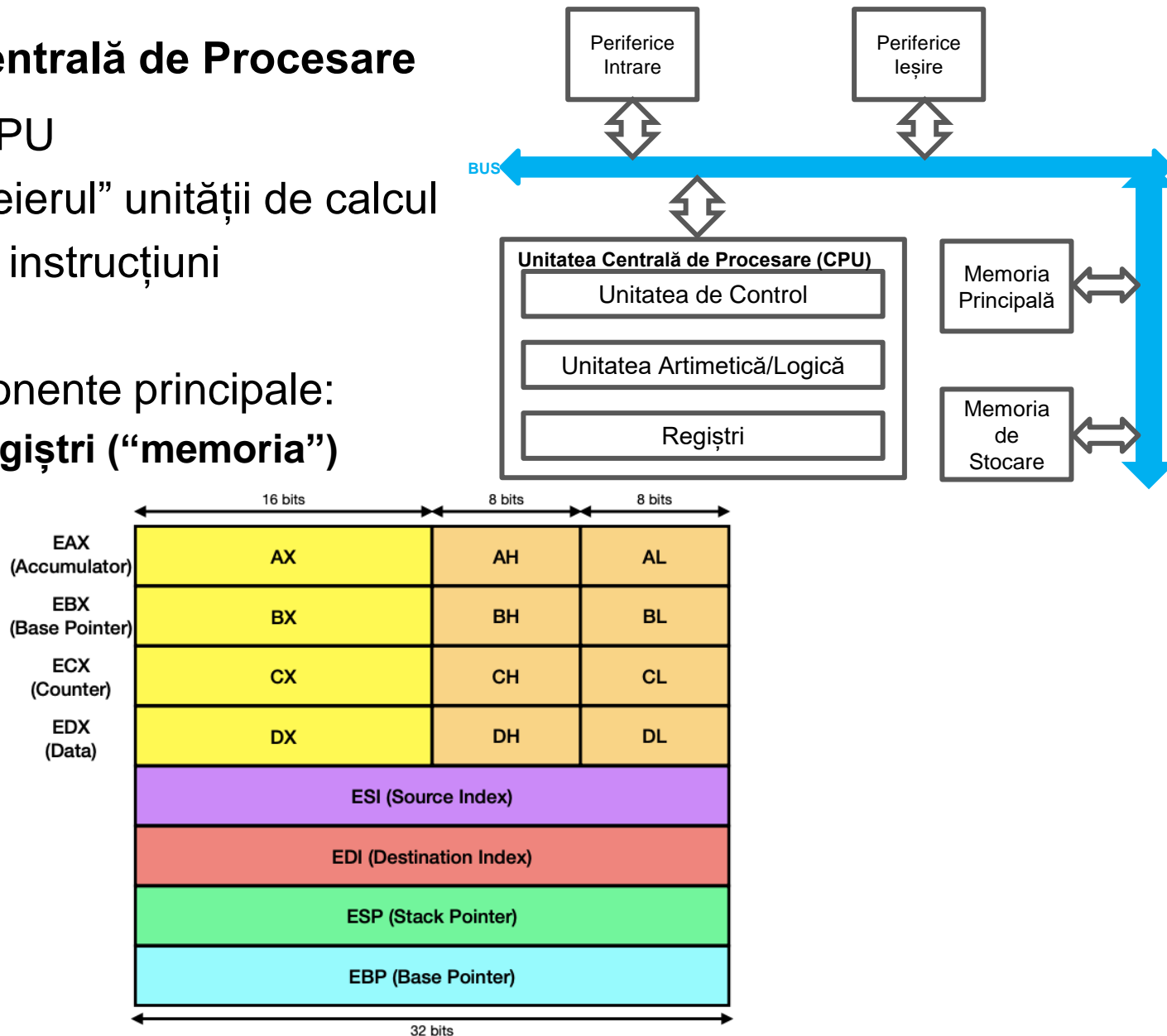
- este frecvența la care operează (calculare și sincronizarea componentelor secvențiale) CPU-ul
 - cu cât este mai mare frecvența, cu atât mai bine (în general)
 - se măsoară în MHz sau GHz



ARHITECTURA DE BAZĂ

- Unitatea Centrală de Procesare

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni
- 5 componente principale:
 - **registri (“memoria”)**



ARHITECTURA DE BAZĂ

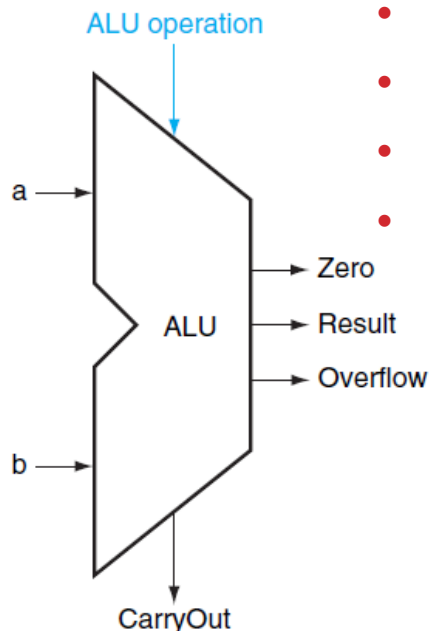
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

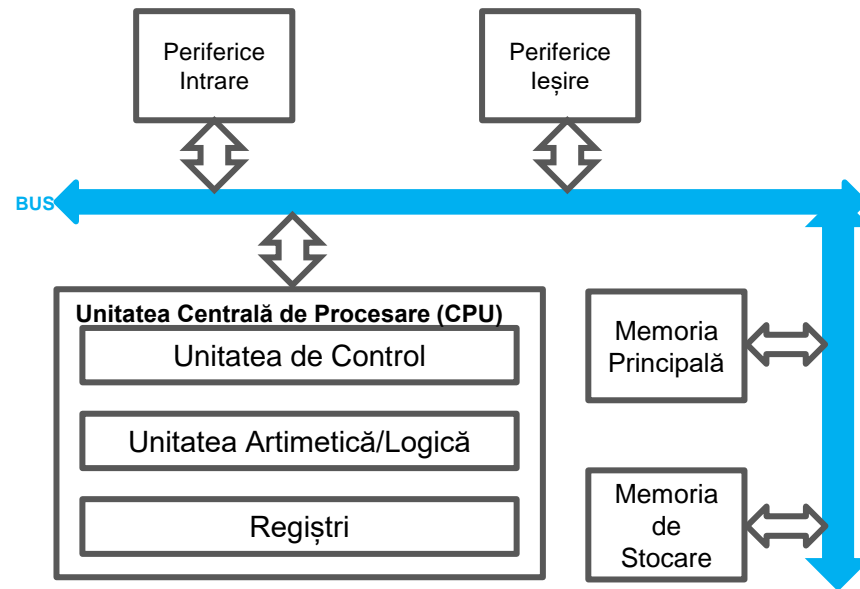
- 5 componente principale:

- **UAL (“operații”)**

- operații aritmetice cu întregi
 - operații logice
 - operații aritmetice cu numere în formatul floating point
 - operații speciale: sqrt, exp, trig



după orice operație, știm
“gratuit” dacă rezultatul a fost
sau nu zero – este folositor?



ARHITECTURA DE BAZĂ

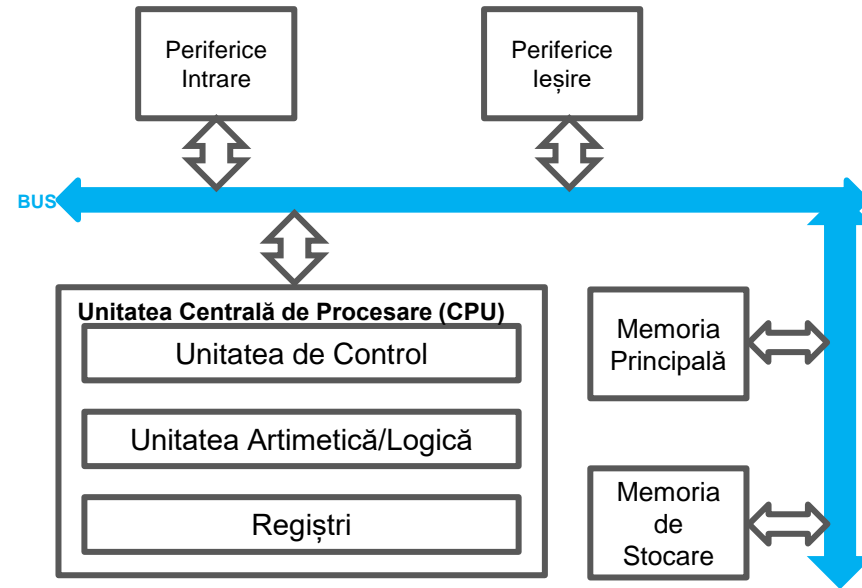
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

- 5 componente principale:

- **BUS**

- CPU are nevoie de șiruri de biți din memoria principală sau cea de stocare
 - CPU are nevoie să scrie înapoi în memorie rezultate
 - CPU coordonează perifericele



ARHITECTURA DE BAZĂ

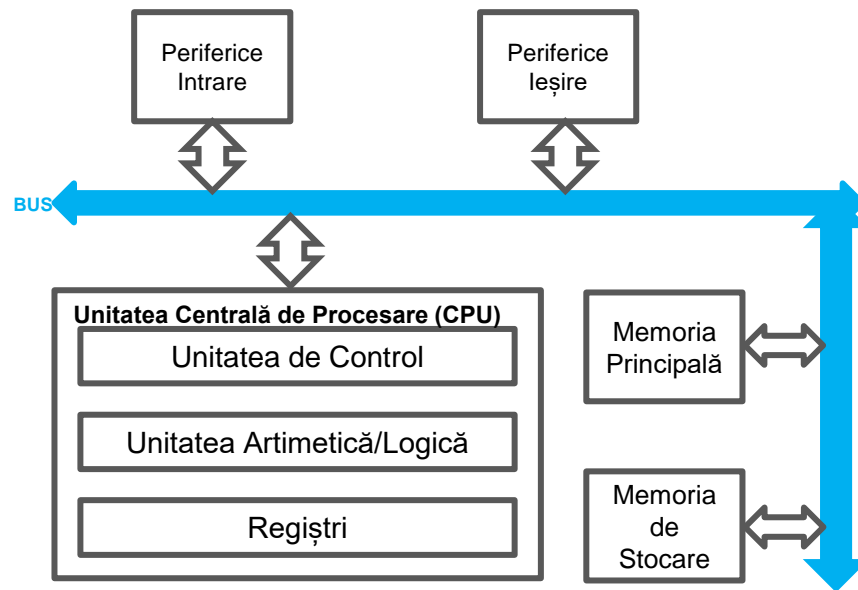
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

- 5 componente principale:

- **UC (“instrucțiunile”)**

- fetch
 - citim din memorie codul care trebuie executat
 - de unde din memorie? Instruction Pointer ne spune
 - decode
 - circuitul “Instruction Decoder” analizează biții citați din memorie ca să “înțeleagă” ce să facă cu ei
 - execute
 - execută instrucțiunea decodată
 - poate duce la schimbarea IP sau la transmiterea ceva pe BUS către memorie
 - calculează următorul IP



ARHITECTURA DE BAZĂ

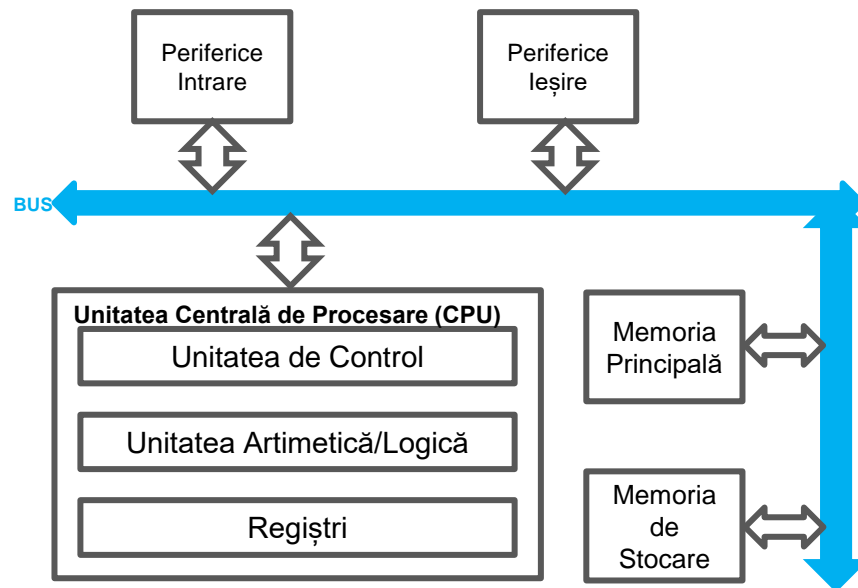
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

- 5 componente principale:

- **UC (“instrucțiunile”)**

- fetch
 - IP = 10011 (locația în memorie de unde să citim biții)
 - după citire, IP este actualizat
 - decode
 - s-a citit “11000110” care este decodat în
 - opcode = 110, operand1 = 00 operand2 = 110
 - de exemplu: 110 = “adună valoarea imediată A la registrul R”, R = 00 este EAX (prin convenție), A = 110 (adică 6)
 - execute
 - trimite $EAX \leftarrow EAX + 6$ la UAL
 - citește rezultatul din UAL și pune-l în registrul EAX



ARHITECTURA DE BAZĂ

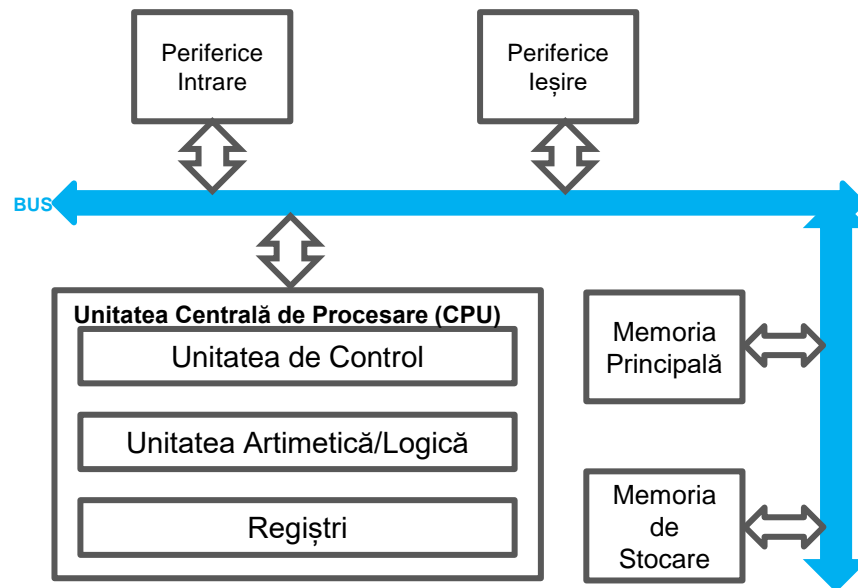
- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni

- 5 componente principale:

- **UC (“instrucțiunile”)**

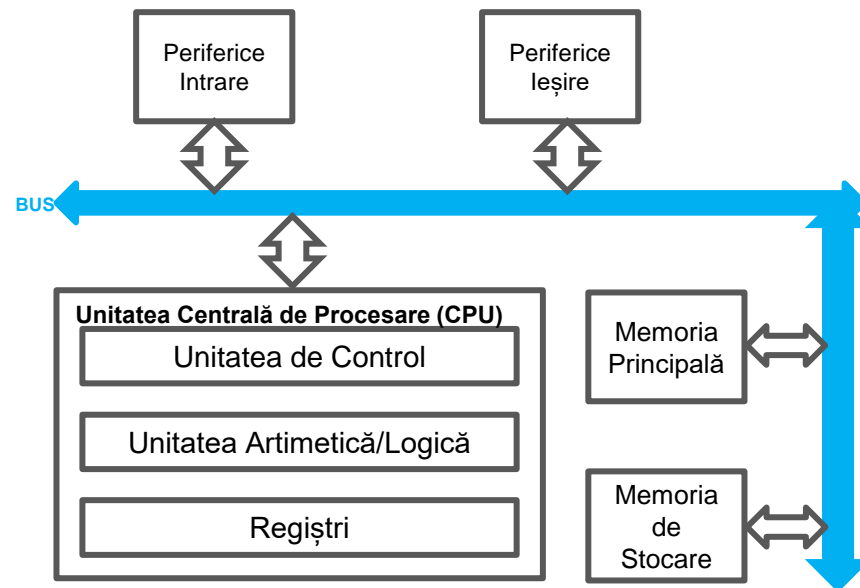
- fetch
 - IP = 10011 (locația în memorie de unde să citim biții)
 - după citire, IP este actualizat
 - decode
 - s-a citit “1110011” care este decodat în
 - opcode = 111, operand1 = 00 operand2 = 11
 - de exemplu: 111 = “adună registrul A la registrul R”, R = 00 este EAX, A = 11 este EDX (prin convenție)
 - execute
 - trimite $EAX \leftarrow EAX + EDX$ la UAL
 - citește rezultatul din UAL și pune-l în registrul EAX



ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni
- 5 componente principale:
 - **UC (“instrucțiunile”)**

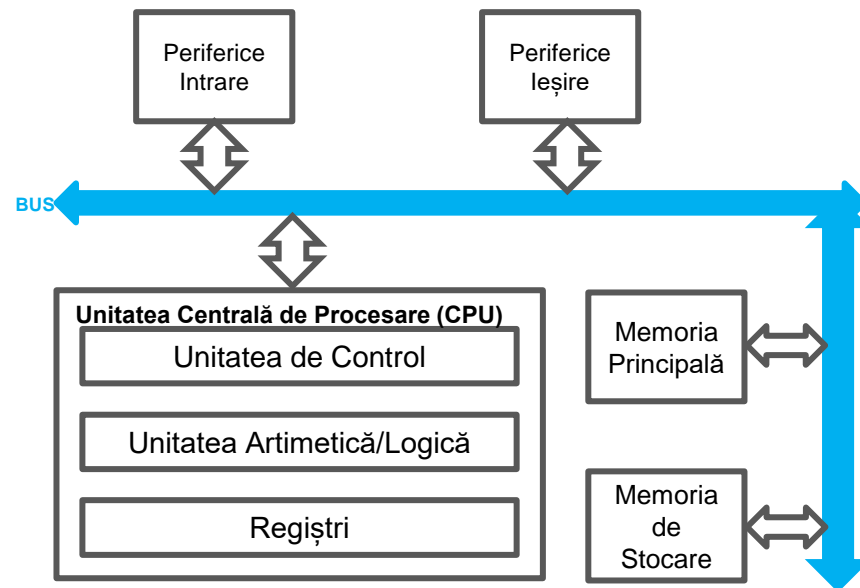


IF – Instruction Fetch (citirea din memorie a instrucțiunilor)
ID – Instruction Decode (circuit secvențial care decodează)
EX – Execute (execuția propriu-zisă)
MEM – Memory Access (orice access memorie)
WB – Write Back (scrie rezultatul înapoi în memorie)

ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Unitatea Centrală de Procesare**

- a.k.a. CPU
- este “creierul” unității de calcul
- execută instrucțiuni
- 5 componente principale:
 - **Clock**
 - **registri (“memoria”)**
 - **UAL (“operații”)**
 - **BUS**
 - **UC (“instrucțiunile”)**



PROCESOR

Producator procesor	Intel®
Tip procesor	i9
Model procesor	9880H
Arhitectura	Coffee Lake
Numar nuclee	8
Frecventa nominala	2.3 GHz
Cache	16384 KB
Frecventa Turbo Boost	4.8 GHz
Tehnologie procesor	14 nm
Procesor grafic integrat	Intel® UHD Graphics 630

ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Memoria Principală**

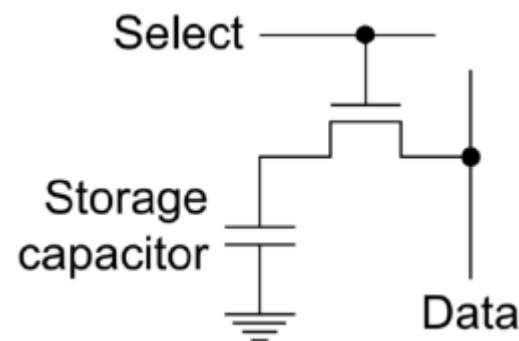
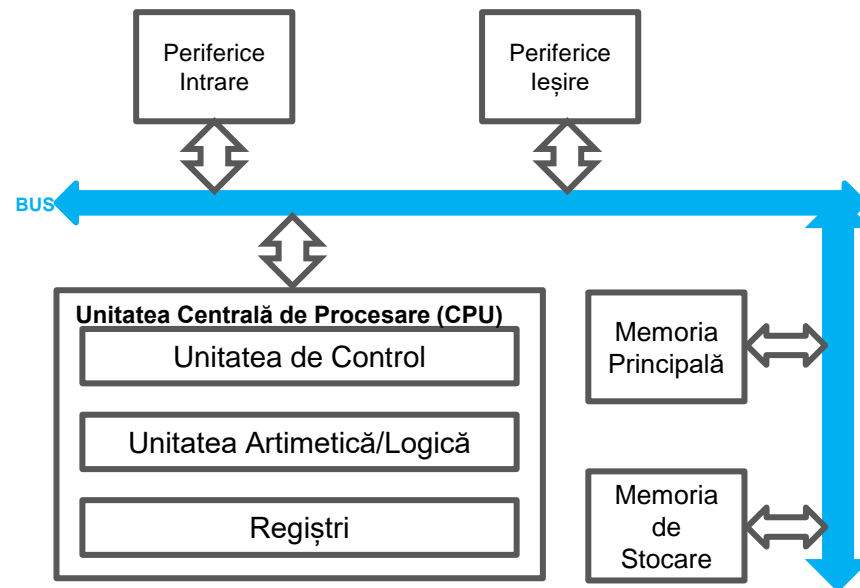
- conține cod și date
- este volatilă

- **Static RAM (SRAM)**

- bazată pe flip-flops
- rapid
- scump
- regiștrii din CPU sunt de același tip

- **Dynamic RAM (DRAM)**

- fiecare bit este reprezentat de o combinație tranzistor + condensator
- condensatoarele suferă de leakage (scurgeri de tensiune)
- DRAM trebuie actualizat o dată fiecare câteva zeci de ms



de ce este DRAM mai ieftin decât SRAM?

are DRAM niște dezavantaje în comparație cu SRAM?

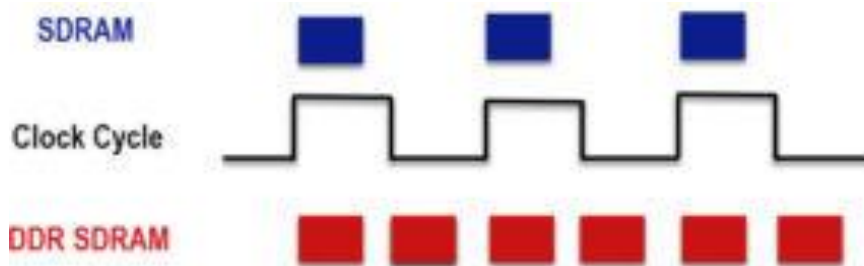
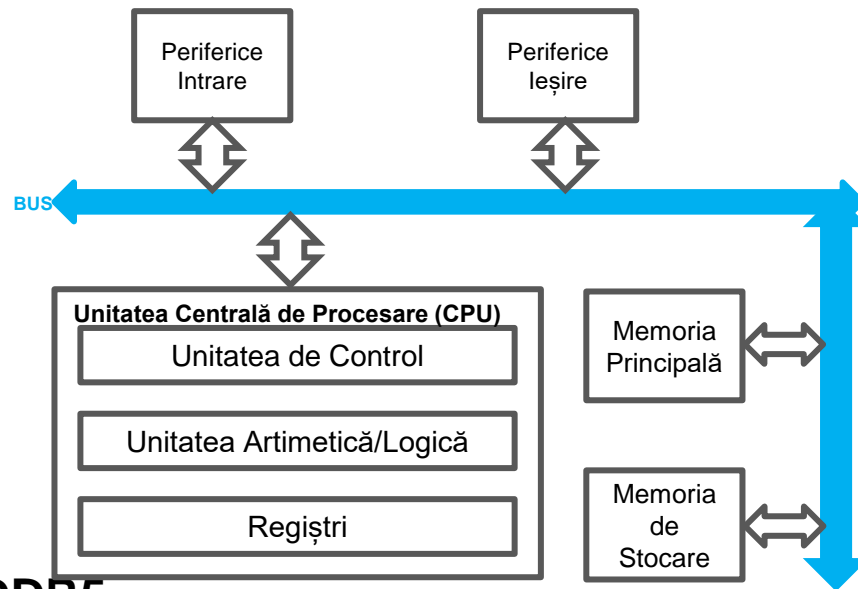
ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Memoria Principală**

- conține cod și date
- este volatilă

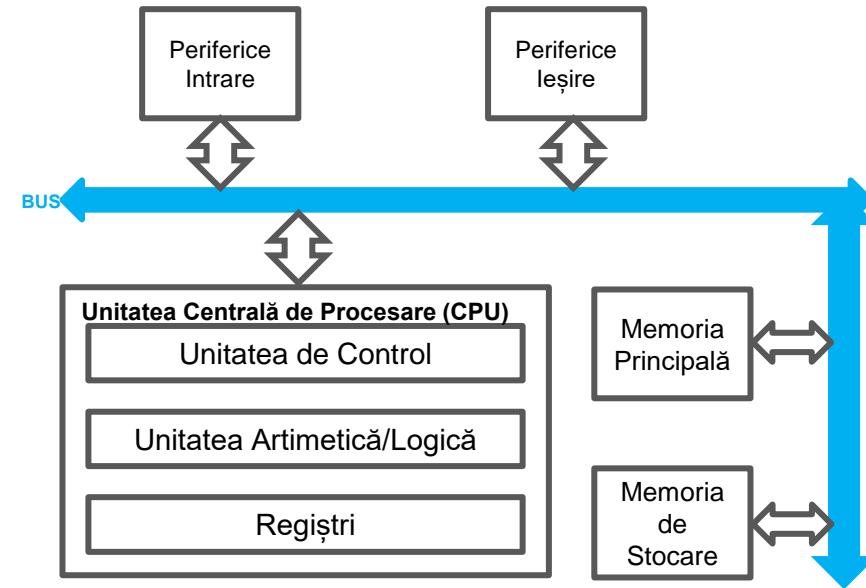
- **DDR RAM**

- Double Data Rate RAM
- DDR1/DDR2/DDR3/DDR4/DDR5
- performanța este definită de:
 - capacitate
 - dacă au un sistem intern de corectarea erorilor (ECC)
 - timpi de acces (în cât timp de la comanda de citire de biți din RAM avem datele disponibile?, timpul de refresh)
 - consumul de energie



ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Memoria Principală**
 - conține cod și date
 - este volatilă
- ce avem azi?



DDR4 Specs

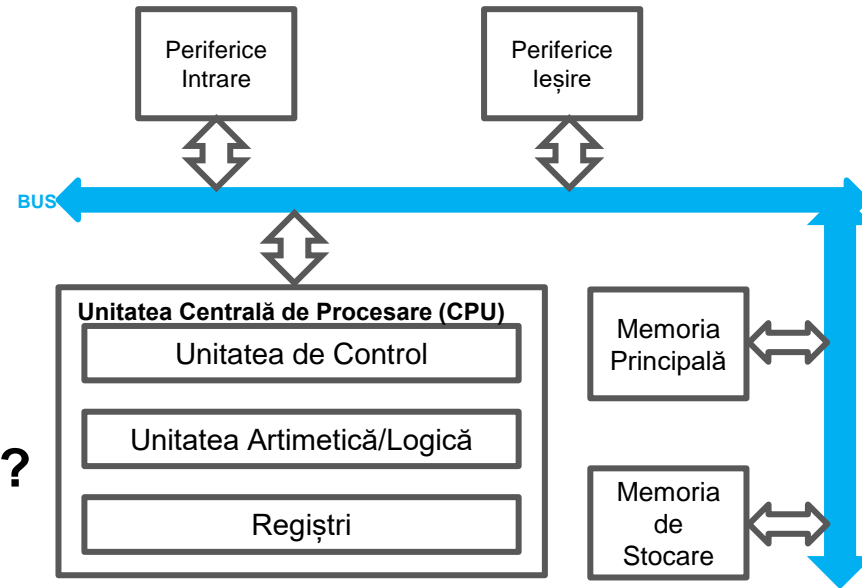
MHz

Friendly name	Industry name	Peak Transfer Rate	Data transfers/second (in millions)
DDR4-2400	PC4-19200	19200 MB/s	2400
DDR4-2666	PC4-21300	21300 MB/s	2666
DDR4-2933	PC4-23400	23400 MB/s	2933
DDR4-3000	PC4-24000	24000 MB/s	3000
DDR4-3200	PC4-25600	25600 MB/s	3200
DDR4-3600	PC4-28800	28800 MB/s	3600
DDR4-4000	PC4-32000	32000 MB/s	4000
DDR4-4400	PC4-35200	35200 MB/s	4400

fiecare transferă 64
biți deodată

ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Memoria Principală**
 - **conține cod și date**
 - **este volatilă**
- **ce ne interesează la memorie?**



MEMORIE

Capacitate memorie	32 GB
Tip memorie	DDR4
Numar sloturi	4
Sloturi ocupate	2
Frecventa	2666 MHz
Capacitate memorie maxima suportata	128 GB

ARHITECTURA DE BAZĂ

- **Memoria de Stocare**

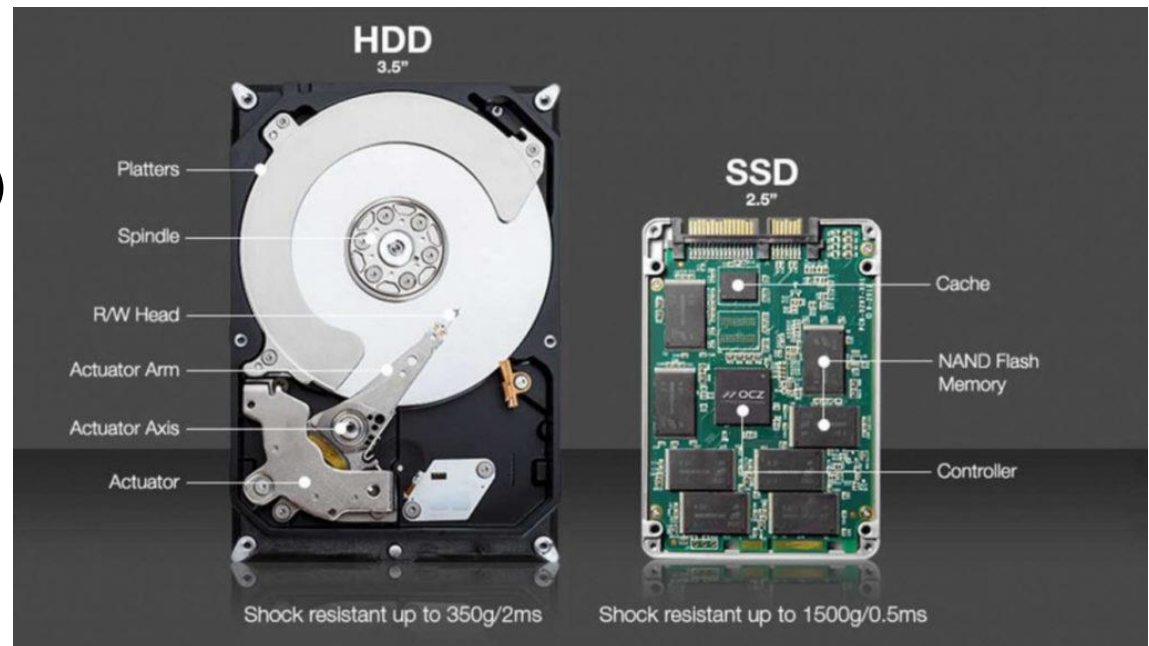
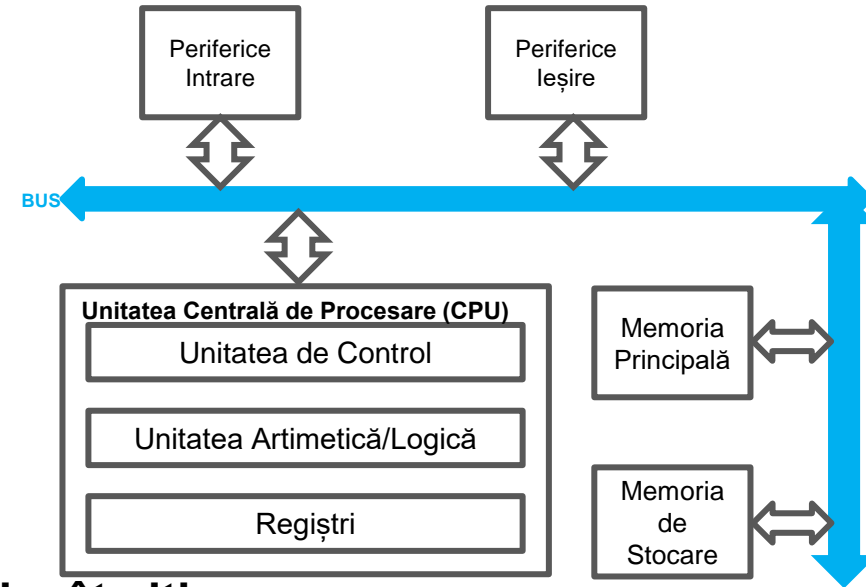
- conține cod și date
- este nevolatilă

- **SSD (Solid State Disks)**

- e memorie flash, rapidă
- azi, e scumpă
- scrierea e mult mai lentă decât citirea

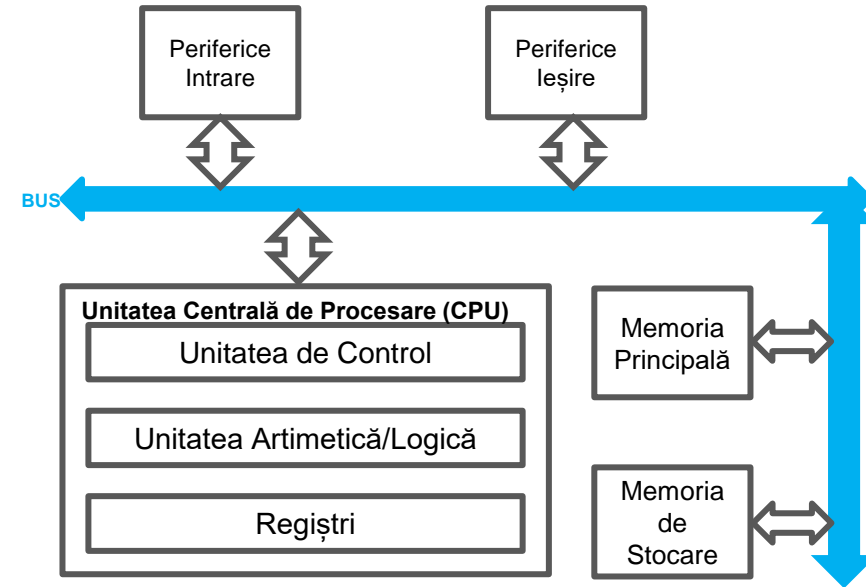
- **HDD (Hard Disks)**

- mecanic

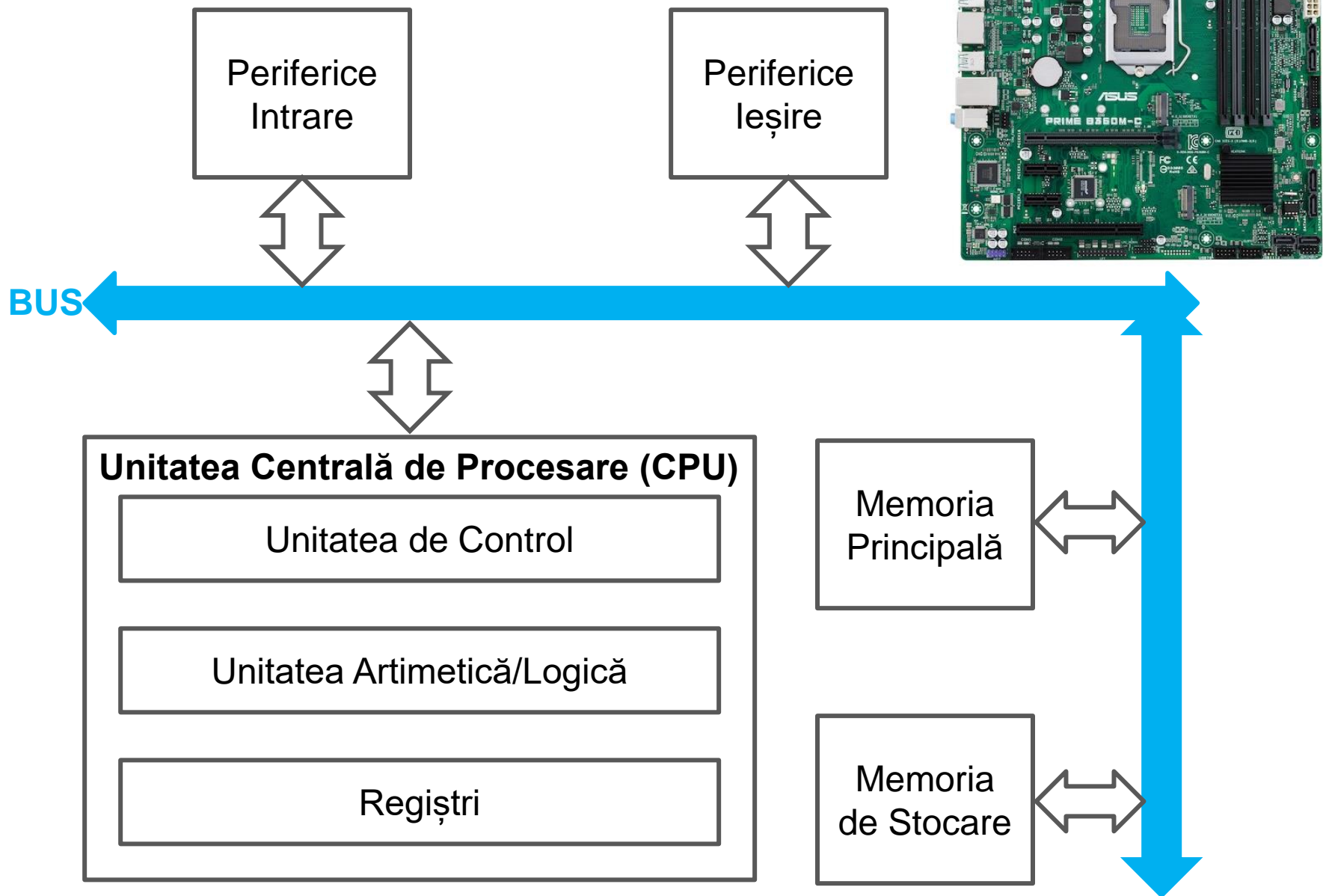


ARHITECTURA DE BAZĂ

- **BUS**
 - conectează CPU/memorie
 - proprietăți
 - capacitatea (bandwidth)
 - viteza (MHz)



ARHITECTURA DE BAZĂ



un astfel de sistem poate executa doar *cod mașină*

CE AM FĂCUT ASTĂZI

- arhitectura de bază a calculatoarelor
- Instruction Set Architecture (ISA)

DATA VIITOARE ...

- continuăm discuția despre arhitectura de bază a calculatoarelor
- de la cod sursă la cod mașină

LECTURĂ SUPLIMENTARĂ

- **PH book**
 - 2.5 Representing Instructions in the Computer
 - 4.1 – 4.4 The Processor
- **Ben Eater, Designing a 7-segment hex decoder,**
<https://www.youtube.com/watch?v=7zffjsXqATg>
- **Ben Eater, Using an EEPROM to replace combinational logic,**
<https://www.youtube.com/watch?v=BA12Z7gQ4P0>
- **Crash Course Computer Science (o descriere grafică intuitivă, corectă):**
 - How Computers Calculate - the ALU,
<https://www.youtube.com/watch?v=1l5ZMmrOfnA&list=PLH2l6uzC4UEW0s7-KewFLBC1D0l6XRfye&index=6>
 - Registers and RAM,
<https://www.youtube.com/watch?v=fpnE6UAfbtU&list=PLH2l6uzC4UEW0s7-KewFLBC1D0l6XRfye&index=7>
 - The Central Processing Unit (CPU),
<https://www.youtube.com/watch?v=FZGugFqdr60&list=PLH2l6uzC4UEW0s7-KewFLBC1D0l6XRfye&index=8>
 - Instructions & Programs,
<https://www.youtube.com/watch?v=zltgXvg6r3k&list=PLH2l6uzC4UEW0s7-KewFLBC1D0l6XRfye&index=9>

