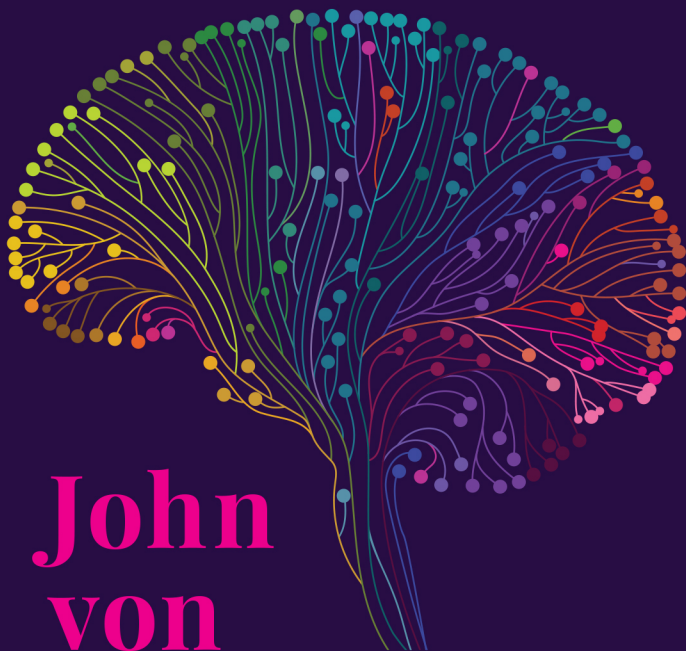


*Cea mai timpurie analiză serioasă a creierului uman,  
din perspectiva unui matematician și pionier în informatică.*

**Ray Kurzweil** “



**John  
von  
Neumann**

**Computerul  
și creierul**



Partea I



# Computerul

Voi începe prin a discuta despre unele dintre principiile care stau la baza clasificării și tehnologiei dispozitivelor de calcul.

Calculatoarele care există în momentul de față se împart în două mari clase: „analogice“ și „digitale“. Această clasificare apare în funcție de modul în care numerele cu care operează calculatorul respectiv sunt reprezentate în interiorul său.

## Procedura analogică

Într-un calculator analogic, fiecare număr este reprezentat de o mărime fizică adecvată, ale cărei valori, măsurate cu o unitate dinainte stabilită, sunt egale cu numărul în discuție. Această mărime poate fi unghiul cu care s-a rotit un anumit disc sau intensitatea unui anumit curent ori valoarea unei anumite tensiuni electrice (relative) etc. Pentru ca dispozitivul să fie capabil să calculeze, adică să opereze cu aceste numere conform unui plan predeterminat, este necesar să fie furnizate părți (sau componente) care să poată realiza operațiile matematice de bază asupra acestor mărimi reprezentative.

### *Operații de bază convenționale*

Prin aceste operații de bază înțelegem de obicei „cele patru operații aritmetice“: adunarea (operația  $x + y$ ), scăderea ( $x - y$ ), înmulțirea (operația  $xy$ ) și împărțirea ( $x/y$ ).

Evident, nu este dificil să se adune sau să se scadă doi curenți, prin suprapunerea lor în direcția paralelă sau antiparalelă. Multiplicarea (a doi curenți) însă este mai complicată, dar există diverse tipuri de componente electrice care realizează această operație. Același lucru este valabil și pentru împărțire (a unui curent la altul). (Pentru înmulțire, la fel ca pentru împărțire – dar nu pentru adunare și scădere –, este desigur esențială unitatea în care este măsurat curentul.)

### *Operații de bază neconvenționale*

O trăsătură chiar remarcabilă a unora dintre calculatoarele analogice, despre care va trebui să vorbesc destul de mult în continuare, este următoarea: uneori, dispozitivul e construit în jurul altor operații matematice „de bază“ decât cele patru operații aritmetice descrise anterior. Astfel, clasicul „analizor diferențial“, care exprimă numere în funcție de unghiurile cu care s-au rotit anumite discuri, acționează după cum urmează: în loc de adunare,  $x + y$ , și scădere,  $x - y$ , se utilizează operațiile  $(x \pm y) / 2$ , deoarece o componentă simplă, „diferențialul“ (aceiași care se folosește și la axul din spate al unui automobil), le produce.

În loc de înmulțire,  $xy$ , se apelează la o procedură cu totul diferită: în analizorul diferențial, toate mărimile apar ca funcție de timp, iar analizorul utilizează o componentă numită „integrator“, care pentru două astfel de mărimi  $x(t)$  și  $y(t)$  va forma integrala („Riemann–Stieltjes“)  $z(t) \equiv \int^t x(t) dy(t)$ .

Scopul acestei scheme presupune trei aspecte:

În primul rând, cele trei operații anterioare, în combinații potrivite, vor reproduce trei dintre cele patru operații de bază obișnuite, și anume adunarea, scăderea și înmulțirea.

În al doilea rând, în combinație cu anumite bucle de „feedback“, ele vor genera și cea de-a patra operație, împărțirea. Nu voi aduce acum în discuție principiul feedbackului, ci voi spune numai că, deși pare a fi un aparat pentru rezolvarea de relații implicite, de fapt este o deosebit de elegantă schemă de iterații în scurtcircuit și aproximări succesive.

În al treilea rând – și aici este adevărata justificare a analizorului diferențial: operațiile sale de bază  $(x \pm y) / 2$  și folosirea integralei sunt, pentru clase largi de probleme, mai economice decât cele aritmetice  $(x + y, x - y, xy, x/y)$ . Mai concret, pentru ca un dispozitiv de calcul să rezolve o problemă matematică complexă, el trebuie să fie „programat“ pentru această sarcină. Aceasta înseamnă că operația complexă de rezolvare a problemei respective trebuie înlocuită printr-o combinație a operațiilor de bază ale dispozitivului. Adeseori, înseamnă ceva și mai subtil: aproximarea

acelei operații – în orice grad dorit (prescris) – prin astfel de combinații. În practică, pentru o clasă dată de probleme, un set de operații de bază s-ar putea să fie mai eficient, adică să permită utilizarea unor combinații mai simple, mai puține decât un alt set de astfel de operații. În particular, pentru sisteme de ecuații cu diferențiale totale – pentru care a fost proiectat inițial analizorul diferențial –, operațiile de bază anterior menționate ale acelui dispozitiv sunt mai eficiente decât operațiile aritmetice de bază semnalate și mai înainte ( $x + y$ ,  $x - y$ ,  $xy$ ,  $x/y$ ).

În continuare, voi trece la categoria calculatoarelor digitale.

## Procedura digitală

Într-un calculator digital zecimal, fiecare număr este reprezentat la fel ca în scrierea convențională de mână sau de tipar, adică sub forma unei secvențe de cifre zecimale (digiți). Fiecare cifră zecimală, la rândul său, este reprezentată printr-un sistem de markeri.

### *Markerii – combinarea și manifestarea lor*

Un marker care poate apărea în zece forme diferite este suficient prin el însuși pentru a reprezenta un digit. Un marker care poate apărea în numai două forme diferite va trebui utilizat astfel încât fiecare digit să corespundă unui

grup întreg. (Un grup de trei markeri cu două valori fiecare permite opt combinații, ceea ce nu este suficient. Un grup de patru astfel de markeri permite 16 combinații; acest lucru este mai mult decât suficient. Prin urmare, pentru formarea unui număr zecimal trebuie folosite grupuri de cel puțin patru markeri. S-ar putea să apară necesitatea utilizării unor grupuri mai mari; a se vedea în continuare.) Un exemplu de marker cu zece valori este impulsul electric care apare pe una din zece linii prestabilite. Un marker cu două valori este impulsul electric care apare pe o singură linie predeterminată, astfel că prezența sau absența lui reprezintă informația („valoarea“ markerului). Un alt posibil marker cu două valori este un impuls electric care poate avea polaritate pozitivă sau negativă. Desigur, există multe alte scheme de markeri la fel de valide.

Voi mai face o singură observație cu privire la markeri. Markerul cu zece valori amintit anterior este în mod clar un grup de zece markeri cu două valori, cu alte cuvinte, este extrem de redundant în sensul menționat anterior. Grupul de dimensiune minimă, construit din patru markeri cu două valori, poate fi de asemenea folosit în același cadru. Să ne gândim la un sistem de patru linii predeterminate, astfel încât impulsurile electrice (simultane) pot apărea în orice combinație a acestora. Asta permite existența a 16 combinații și se poate stipula ca oricare zece dintre ele să corespundă cifrelor zecimale.

A se remarca faptul că acești markeri, care sunt de regulă impulsuri electrice (sau tensiuni ori curenți electrice care

durează atâta timp cât este necesar pentru ca indicația lor să fie validă), trebuie să fie controlați prin întrerupătoare electrice.

### *Tipurile de calculatoare digitale și componentele lor de bază*

Pe parcursul dezvoltării de până acum, au fost folosite succesiv relee electromecanice, tuburi electronice cu vid, diode de cristal, miezuri feromagnetice și tranzistori – unele dintre ele folosite în combinație cu celelalte, altele, folosite de preferință în cadrul componentelor de memorie ale calculatorului (vezi în continuare), iar altele, în afara memoriei (în cadrul componentelor „active“) – dând naștere unui număr la fel de mare de dispozitive digitale.

### *Scheme în paralel și în serie*

Așadar, un număr din interiorul calculatorului este reprezentat printr-o succesiune de markeri cu zece valori (sau grup de markeri), care pot fi aranjați astfel încât să apară simultan în diferite componente ale calculatorului – în *paralel* – sau în succesiune temporală, într-un singur component al acestuia – în *serie*. Dacă acest calculator este construit pentru a gestiona, să spunem, numere zecimale cu douăsprezece poziții, de exemplu, cu șase poziții la stânga virgulei și cu șase la dreapta, atunci va fi nevoie de doisprezece astfel de markeri (sau grupuri de markeri)



în fiecare canal de comunicație al calculatorului destinat transmiterii de numere. (Această schemă poate fi făcută mai flexibilă – și este, la diverse dispozitive – în diferite modalități și grade. Astfel, în aproape toate calculatoarele, poziția punctului zecimal este ajustabilă. Totuși, nu voi discuta mai aprofundat despre aceste probleme aici.)

### *Operațiile de bază convenționale*

Până acum, operațiile unui calculator digital s-au bazat întotdeauna pe cele patru operații aritmetice. În ceea ce privește bine-cunoscutele proceduri care se folosesc, ar trebui spuse următoarele:

În primul rând, adunarea: spre deosebire de procesele fizice care mediază acest proces în calculatoarele analogice (vezi anterior), această operație este controlată aici de reguli cu caracter strict și logic – cum se formează sume digitale, când se produce un transport\* și cum trebuie repetate și combinate aceste operații. Natura logică a sumei digitale devine și mai clară atunci când se folosește sistemul binar (mai degrabă decât cel zecimal). Într-adevăr, tabla binară a adunării ( $0 + 0 = 00$ ,  $0 + 1 = 1 + 0 = 01$ ,  $1 + 1 = 10$ ) poate fi exprimată astfel: cifra binară care reprezintă suma este 1 dacă cele două numere zecimale însumate diferă, iar în caz contrar este 0; cifra binară transportată este 1

---

\* Acea cifră pe care o „șinăm minte“ (o reportăm) când adunăm pe hârtie. (*N. red.*)

dacă ambele numere zecimale sunt 1, iar în caz contrar este 0. Din cauza posibilei prezențe a unei cifre binare transportate, de fapt este nevoie de o tablă binară a adunării pentru trei termeni ( $0 + 0 + 0 = 00$ ,  $0 + 0 + 1 = 0 + 1 + 0 = 1 + 0 + 0 = 01$ ,  $0 + 1 + 1 = 1 + 0 + 1 = 1 + 1 + 0 = 10$ ,  $1 + 1 + 1 = 11$ ), iar acest lucru poate fi exprimat după cum urmează: cifra-sumă este 1 dacă numărul de cifre 1 din numerele zecimale adunate (inclusiv transportul) e impar (1 sau 3), iar în caz contrar este 0; transportul este 1 dacă numărul de cifre 1 din numerele zecimale adunate (inclusiv transportul din poziția precedentă) formează majoritatea (2 sau 3), iar în caz contrar este 0.

În al doilea rând, scăderea: structura logică a acesteia este foarte asemănătoare cu cea a adunării. Chiar poate fi – și de obicei este – redusă la operația anterioară, adunând descăzutul la complementul față de doi al scăzătorului.

În al treilea rând, în ceea ce privește înmulțirea: caracterul logic este și mai evident – iar structura mai complicată – decât în cazul adunării. Produsele (înmulțitorului) cu fiecare cifră a deînmulțitului sunt întâi formate (de obicei, realizate pentru toate cifrele zecimale posibile cu ajutorul diferitelor scheme de adunare), iar apoi sunt adunate împreună (prin suprapunerea cifrelor corespunzătoare în mod potrivit). Din nou, în sistemul binar caracterul logic este încă și mai transparent, și mai evident. Din moment ce singurele cifre zecimale posibile sunt 0 și 1, un produs digital (al deînmulțitului) (cu înmulțitorul) este omis pentru 0 și este înmulțitorul însuși pentru 1.

Toate acestea se aplică la produsele dintre factori pozitivi. În cazul în care ambii factori pot avea și semnul minus, și semnul plus, intervin noi reguli logice care controlează cele patru situații care pot apărea.

În al patrulea rând, în ceea ce privește împărțirea: structura logică este comparabilă cu cea a înmulțirii, cu excepția faptului că acum intervine un șir de scăderi repetate, cu aproximări, cu reguli logice specifice (pentru formarea numerelor zecimale ce reprezintă câțul) în diferitele situații alternative care pot apărea și care trebuie rezolvate conform unei scheme seriale, repetitive.

În concluzie: toate aceste operații diferă acum radical de procesele fizice utilizate de calculatoarele analogice. Toate sunt modele de acțiuni alternative, organizate în secvențe extrem de repetitive și guvernate de reguli stricte și logice. Mai ales în cazul înmulțirii și împărțirii, aceste reguli au un caracter logic destul de complex. (Acest lucru ar putea să nu fie extrem de clar din cauza lungii și aproape instinctivei noastre familiarități cu ele, dar dacă ne străduim să observăm lucrurile în totalitatea lor, gradul lor de complexitate devine evident.)

## Controlul logic

În afară de capacitatea de a executa singur operațiile de bază, un dispozitiv de calcul trebuie să le poată efectua



*O remarcabilă exemplificare a perspicacității, clarității – în fond, a genialității lui John von Neumann.*

## **Mathematical Reviews**

*Până la von Neumann, domeniul informaticii și cel al neuroștiințelor erau două insule fără nicio punte între ele.*

**Ray Kurzweil**

*Această carte este o lectură obligatorie pentru orice tânăr informatician, dar poate fi citită și recită de toți cei care apreciază uimitoarea forță a observației atente și obiective.*

**David Ferrucci**

