

Corneliu FLOREA      Laura FLOREA

# Inteligență artificială



Editura  
Universității  
Transilvania  
din Brașov

2023

## **EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV**

Adresa: 500091 Brașov,  
B-dul Iuliu Maniu 41A  
Tel: 0268 476050  
Fax: 0268 476051  
E-mail: [editura@unitbv.ro](mailto:editura@unitbv.ro)

**Copyright ©Aurorii, 2023**

**Editură acreditată de CNCSIS  
Adresa nr. 1615 din 29 mai 2002**

### **Referenți științifici:**

**Prof. dr. ing. Mihai Ivanovici**  
Universitatea Transilvania din Brașov

**Prof. dr. ing. Mihai Ciuc**  
Universitatea Națională de Știință și Tehnică Politehnica din București

Ilustrație copertă: Alexandra Liana Stănescu  
Copertă: Mihai Ivanovici

### **Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**FLOREA, CORNELIU**

**Inteligență artificială /** Corneliu Florea, Laura Florea - Brașov :  
Editura Universității "Transilvania" din Brașov, 2023

Conține bibliografie

ISBN 978-606-19-1653-5

I. Florea, Laura

004

# Cuvânt înainte

Mi-a făcut o deosebită plăcere să citesc această carte, în vacanța de vară a acestui an (2023). Mi-am adus aminte de anii de studenție, când citeam pe nerăsuflăte câte un suport de curs sau o carte de specialitate. În plus, cartea de față mi-a clarificat anumite aspecte cu privire la inteligența artificială, de la taxonomie la elemente de detaliu privind suportul matematic al modelelor prezentate.

În opinia mea, atuul principal al cărții îl constituie structurarea acesteia și, implicit, prezentarea modelelor de inteligență artificială în funcție de complexitatea acestora (de la simplu la complex), practic introducând gradual cititorul în universul specific domeniului de inteligență artificială. Astfel, putem înțelege și evoluția domeniului, creându-ne astfel o imagine de ansamblu. Aș mai vrea să evidențiez faptul că noțiunile teoretice sunt însoțite de exemple practice ilustrative.

Contextul în care apare publicată această carte reprezintă un alt element important. Este vorba de proiectul european **AI4AGRI** intitulat “*Romanian Excellence Center in Artificial Intelligence on Earth Observation Data for Agriculture*” 2022-2025. Unul din obiectivele proiectului îl constituie formarea tinerei resurse umane din cercetare în domeniul Observării Terrei și a analizei datelor satelitare cu ajutorul inteligenței artificiale pentru aplicații în agricultură. Astfel, cartea de față constituie un excelent material pentru formarea tinerilor cercetători (nu doar pentru cei direct implicați în cadrul proiectului).

În încheiere, aș vrea să subliniez prezența capitolului final ce oferă o “rețetă” de abordare pragmatică a problemelor posibil de rezolvat cu modele de inteligență artificială. De remarcă, recomandarea cu tentă *leninistă* (în sensul bun al parafrazării cu pricina) pe care autorii o fac: *experimentați, experimentați, experimentați...*

Prof. **Mihai Ivanovici**

Brașov

octombrie 2023



# Prefață

Succesul dramatic la scara istorică și geologică al speciei noastre a fost pus mereu pe seama inteligenței. Nu suntem cei mai puternici, cei mai mari, cei mai răbdători, dar mereu, noi, oamenii am creat unelte și instrumente care să ne ajute. Am descoperit cum se face focul pentru a nu mai suferi de frig; am descoperit unelte pentru ne crește eficiența sau a proteja degetele de vătămări. Acum, viața umană, într-o țară relativ dezvoltată, a atins un nivel de confort și prosperitate de neimaginat cu sute de ani în urmă. Și totuși, aceleași trăsături care ne-au făcut mereu să fim nemulțumiți și să vrem mai mult, ne împing mai departe!

Domeniul inteligenței artificiale, sau AI<sup>1</sup> este unul din instrumentele pe care le folosim pentru a ajunge mai departe. Inteligența artificială încearcă nu doar să înțeleagă mediul înconjurător, ci și să construiască entități inteligente.

AI are origini vechi; idei se pot vedea în lucrările lui Aristotel. Acum peste 100 de ani AI-ul se regăsea, în forme similare cu accepțiunea actuală, în operele de ficțiune ale lui H.G. Wells. Totuși, în practică a durat un pic mai mult. Lucrările serioase au început imediat după al Doilea Război Mondial, iar numele în sine a fost inventat în 1956, paternitatea fiind atribuită lui John McCarthy [40].

Inteligența artificială cuprinde în prezent o mare varietate de subdomenii direcții și nișe, variind de la general (învățare și percepție) la specific, cum ar fi jocul de șah, demonstrarea teoremelor matematice, scrierea, poezia, conducerea unei mașini pe o stradă aglomerată și diagnosticarea bolilor. AI-ul este relevant pentru orice sarcina intelectuală; este cu adevărat un domeniu universal.

În toată această perioadă, evoluția AI a fost neliniară, deși eforturi și progres s-au înregistrat permanent. Perioade de stagnare au alternat cu perioade ulterioare unei descoperiri revoluționare. În momentul de față, din ansamblul direcțiilor care alcatuiesc AI, cel mai vizibil progres îl înregistrează direcția de *machine learning*<sup>2</sup>. De aceea, cea de a treia și cea mai voluminoasă parte va

---

<sup>1</sup>Vom prefera prescutarea cu originea în limba engleză - *Artificial Intelligence*

<sup>2</sup>*Machine learning*, se poate traduce aproximativ prin *învățare automată* sau *învățare cu ajutorul mașinilor de calcul*, dar într-un sens amplu se referă la utilizare tehnicilor de

fi dedicată unui studiu introductiv în această direcție.

În vederea parcurgerii acestei lucrări, vom preciza că are drept punct de plecare curriculum-ul disciplinei denumite “Inteligență Artificială” de la Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, Universitatea Politehnică, București (actualmente Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnică București - UNSTPB). Lucrarea presupune cunoscute noțiuni fundamentale de statistică matematică, de calcul algebric și de programare. Totuși, ea se dorește a fi de sine stătătoare, toți termenii specifici fiind definiți sau explicați.

Sucesiunea subiectelor abordate în lucrarea de față urmărește o linie didactică, de la simplu la complicat, de definiții generale la probleme aplicate. Partea finală, concentrată pe sisteme de învățare automată se suprapune parțial și peste o linie istorică. Totuși, din punct de vedere istoric, mari perioade au fost dominate de rețelele neurale. Pe de altă parte, la momentul de dinaintea consolidărilor rețelelor adânci, acestea nu erau privite drept cele mai puternice sisteme; aceasta onoare revenea mașinilor cu vectori suport și ansamblurilor de arbori.

O altă idee ce trebuie subliniată de la început este că tematica abordată este dinamică. În permanență se dezvoltă algoritmi mai performanți sau, invers, metode presupuse robuste se dovedesc a avea limitări care le împiedică să aibă aplicabilitate practică ridicată. Un exemplu în primul sens este algoritmul de retropropagare prin gradient, care multă vreme a fost considerat inefficient. Două modificări în paralel cu creșterea puterii de calcul l-au transformat într-un element esențial din progresul recent.

Lucrarea de față încearcă să prezinte ideile de bază dintr-o anumită problematică, dar și un sumar al unor soluții propuse în mediul academic, soluții care întrunesc câteva calități: sunt suficient de simple pentru a fi accesibile unui public mai larg, conduc la performanțe rezonabile și scot în evidență particularități ale problemei. Ne propunem să oferim dualitatea specifică unei lucrări ingineresti: suport teoretic riguros, dar și aspecte ce țin de practică.

## Finanțare

Activitățile de documentare și redactare a acestui material au fost parțial finanțate prin proiectul AI4GRI, intitulat “Centrul Român de Excelență pentru Inteligență Artificială pe Date de Observare a Pământului pentru Agricultură”. Proiectul AI4AGRI a primit finanțare din programul de cercetare și inovare Horizon Europe al Uniunii Europene în baza acordului de grant nr. 101079136.

---

învățare pentru a construi sisteme inteligente

*This work was partially funded from the AI4AGRI project entitled “Romanian Excellence Center on Artificial Intelligence on Earth Observation Data for Agriculture”. The AI4AGRI project received funding from the European Union’s Horizon Europe research and innovation programme under the grant agreement no. 101079136.*

## **Mulțumiri**

În finalul acestei cuvânt introductiv, dorim să ne exprimăm profunda grațitudine pentru cei ce ne-au sprijinit de-a lungul timpului în activitatea noastră ce a condus la realizarea acestei lucrări!

În primul rând, trebuie să mulțumim domnului profesor universitar Mihai Ivanovici de la Universitatea Transilvania din Brașov pentru sugestiile avute în redactare și pentru sprijinul acordat în vederea publicării. În mod cert, fără contribuția dumnealui, cartea nu ar fi arătat așa.

Trebuie să ne exprimăm recunoștința pentru domnii profesori Mihai Ciuc și Constantin Vertan din Laboratorul de Analiză și Prelucrarea Imaginilor (LAPI) din UNSTPB, care ne-au fost alături cu sfaturi, sprijin și suport din primul an de când am apucat pe drumul unei cariere universitare. Încă ne critică, deci nu și-au pierdut speranța “că va ieși ceva din noi”!

Multe mulțumiri trebuie să primească și mai tinerii noștri colegi Andrei Racovițeanu și Mihai Badea, care s-au preocupat de dublarea cunoștințelor teoretice, din acest volum, de activitate practică. Prin discuțiile avute, ne-au ajutat, în mod cert să înțelegem mai bine fenomenele și procesele, astfel încât sperăm noi, acum le putem explica mai coerent!

În final, trebuie să ne exprimăm grațitudinea pentru conducerea Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, care a avut încredere să ne dea pe mână un curs de Inteligență Artificială când încă eram doar o promisiune. Sperăm că și din perspectiva conducerii facultății, viitorul pare încă și mai promițător!

**Autorii**





# Cuprins

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>I</b>  | <b>Agenți inteligenți și sisteme expert</b>                     | <b>1</b>  |
| <b>1</b>  | <b>Problematika AI. Definiții</b>                               | <b>3</b>  |
| 1.1       | Ce este inteligența artificială? . . . . .                      | 3         |
| 1.1.1     | Istoria AI . . . . .  | 4         |
| 1.1.2     | Testul Turing. Agent inteligent . . . . .                       | 5         |
| 1.2       | Clasificarea sistemelor inteligente . . . . .                   | 7         |
| 1.3       | Mașini reactive . . . . .                                       | 9         |
| 1.4       | Mașini cu memorie limitată . . . . .                            | 11        |
| <b>2</b>  | <b>Sisteme expert</b>   | <b>13</b> |
| 2.1       | Istoria sistemelor expert . . . . .                             | 14        |
| 2.2       | Componentele unui sistem expert . . . . .                       | 15        |
| 2.3       | Tipuri de sisteme expert . . . . .                              | 17        |
| 2.3.1     | Exemplu de sistem expert . . . . .                              | 18        |
| 2.4       | Formalizarea sistemelor expert . . . . .                        | 20        |
| 2.4.1     | Abordări bazate pe logică matematică . . . . .                  | 20        |
| 2.4.2     | Reprezentarea informației într-un sistem de producție . . . . . | 21        |
| <b>II</b> | <b>Abordări statistice și analiză de date</b>                   | <b>23</b> |
| <b>3</b>  | <b>Abordări statistice în inteligență artificială</b>           | <b>25</b> |
| 3.1       | Terminologie . . . . .  | 26        |
| 3.2       | Variabile aleatorii unidimensionale . . . . .                   | 26        |
| 3.2.1     | Probabilitate . . . . .   | 26        |
| 3.2.2     | Funcție de repartiție și densitate de probabilitate . . . . .   | 29        |
| 3.2.3     | Aproximări practice . . . . .                                   | 32        |
| 3.2.4     | Momente statistice . . . . .                                    | 36        |
| 3.2.5     | Inversarea funcției de repartiție . . . . .                     | 38        |
| 3.2.6     | Exemple de variabile aleatorii . . . . .                        | 39        |
| 3.3       | Variabile aleatorii multidimensionale . . . . .                 | 42        |

|                             |  |            |
|-----------------------------|--|------------|
| 3.3.1                       | Distribuții condiționate . . . . .   | 47         |
| 3.4                         | Simulare statistică . . . . .  | 48         |
| 3.4.1                       | Proces Markov . . . . .  | 48         |
| 3.4.2                       | Simulare Monte Carlo . . . . .   | 52         |
| <b>III Machine Learning</b> |  | <b>59</b>  |
| <b>4</b>                    | <b>Problematika în învățare automată</b>                                   | <b>61</b>  |
| 4.1                         | Rolul în inteligența artificială . . . . .                                 | 61         |
| 4.2                         | Componentele unui sistem de învățare automată . . . . .                    | 62         |
| 4.2.1                       | Datele . . . . .   | 66         |
| 4.2.2                       | Modelul . . . . .  | 73         |
| 4.2.3                       | Funcția obiectiv . . . . .   | 74         |
| 4.2.4                       | Tipuri de sisteme de învățare . . . . .                                    | 75         |
| 4.3                         | Performanța unui sistem de învățare automată . . . . .                     | 77         |
| 4.3.1                       | Metrici pentru clasificare . . . . .                                       | 78         |
| 4.3.2                       | Metrici pentru regresie . . . . .  | 82         |
| 4.3.3                       | Deplasarea și varianța unui predictor . . . . .                            | 83         |
| 4.4                         | Capacitatea unui model . . . . .   | 83         |
| 4.5                         | Limite ale învățării automate . . . . .                                    | 88         |
| <b>5</b>                    | <b>Clasificare non-parametrică</b>   | <b>91</b>  |
| 5.1                         | Regula “Cel mai apropiat vecin” . . . . .                                  | 93         |
| 5.1.1                       | Clasificatorul NN . . . . .  | 93         |
| 5.1.2                       | Mozaicare Voronoi . . . . .  | 97         |
| 5.1.3                       | Cel mai apropiat vecin în regresie . . . . .                               | 98         |
| 5.1.4                       | Varianta parametrică . . . . .   | 99         |
| <b>6</b>                    | <b>Optimizare numerică</b>   | <b>101</b> |
| 6.1                         | Formulare matematică . . . . .   | 104        |
| 6.1.1                       | Derivata unei funcții, gradientul vectorial și matricea hessiană . . . . . | 107        |
| 6.2                         | Modelul unui algoritmi de optimizare . . . . .                             | 111        |
| 6.3                         | Optimizarea funcțiilor cu o singură variabilă . . . . .                    | 112        |
| 6.3.1                       | Căutare dihotomă . . . . .   | 113        |
| 6.3.2                       | Căutare cu secțiunea de aur . . . . .                                      | 114        |
| 6.3.3                       | Căutare pe baza numerelor lui Fibonacci . . . . .                          | 116        |
| 6.4                         | Optimizarea funcțiilor cu o variabile multidimensionale . . . . .          | 118        |
| 6.4.1                       | Metode bazate pe gradient . . . . .  | 118        |
| 6.4.2                       | Metode de tip Newton . . . . .   | 121        |
| 6.5                         | Optimizare cu constrângeri . . . . .                                       | 124        |