



### FIȘA DISCIPLINEI

#### 1. Date despre program

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1.1 Instituția de învățământ superior | Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București     |
| 1.2 Facultatea                        | Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației                     |
| 1.3 Departamentul                     | Dispozitive, Circuite și Arhitecturi Electronice                           |
| 1.4 Domeniul de studii                | Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale        |
| 1.5 Ciclul de studii                  | Masterat   |
| 1.6 Specializarea                     | Tehnologii Multimedia în Aplicații de Biometrie și Securitatea Informației |

#### 2. Date despre disciplină

|  |   |                       |                   |                        |      |                         |    |
|--|---|-----------------------|-------------------|------------------------|------|-------------------------|----|
| 2.1 Denumirea disciplinei (ro)<br>(en)             | Inteligență artificială II: rețele neurale profunde<br>Artificial Intelligence II: Deep Neural Networks |                       |                   |                        |      |                         |    |
| 2.2 Titularul activităților de curs                | Conf. dr. ing. Horia CUCU, Ș.L. dr. ing. Ana-Antonia NEACȘU   |                       |                   |                        |      |                         |    |
| 2.3 Titularul activităților de seminar / laborator | Ș.L. dr. ing. Ana-Antonia NEACȘU  |                       |                   |                        |      |                         |    |
| 2.4 Anul de studiu                                 | 1   | 2.5 Semestrul         | II                | 2.6. Tipul de evaluare | E    | 2.7 Regimul disciplinei | Ob |
| 2.8 Tipul disciplinei                              | DA  | 2.9 Codul disciplinei | UPB.04.M2.O.20-01 | 2.10 Tipul de notare   | Nota |                         |    |

#### 3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

|  |       |                    |      |                       |     |
|--|-------|--------------------|------|-----------------------|-----|
| 3.1 Număr de ore pe săptămână  | 4     | Din care: 3.2 curs | 2.00 | 3.3 seminar/laborator | 2   |
| 3.4 Total ore din planul de învățământ   | 56.00 | Din care: 3.5 curs | 28   | 3.6 seminar/laborator | 28  |
| Distribuția fondului de timp:  |       |                    |      |                       | ore |
| Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe<br>Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate<br>Pregătire seminarii/ laboratoare/proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri |       |                    |      |                       | 65  |
| Tutorat  |       |                    |      |                       | 0   |
| Examinări  |       |                    |      |                       | 4   |
| Alte activități (dacă există):   |       |                    |      |                       | 0   |
| 3.7 Total ore studiu individual  | 69.00 |                    |      |                       |     |
| 3.8 Total ore pe semestru  | 125   |                    |      |                       |     |
| 3.9 Numărul de credite   | 5     |                    |      |                       |     |

#### 4. Precondiții (acolo unde este cazul)

|                   |   |
|-------------------|---|
| 4.1 de curriculum | Parcursarea următoarelor discipline:<br>– Programarea calculatoarelor<br>– Prelucrarea digitală a semnalelor<br>– Inteligență artificială I: sisteme clasice de învățare automată |
|-------------------|---|



|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 4.2 de rezultate ale învățării | Acumularea următoarelor cunoștințe generale:<br>– concepte fundamentale de programarea calculatoarelor;<br>– tehnici de bază de prelucrare a semnalelor;<br>– algoritmi de bază de învățare automată. |
|--------------------------------|---|

#### 5. Condiții necesare pentru desfășurarea optimă a activităților didactice (acolo unde este cazul)

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 5.1 Curs                          | – Cursul se va desfășura într-o sală dotată cu videoproiector și computer.  |
| 5.2 Seminar/<br>Laborator/Proiect | – Laboratorul și proiectul se vor desfășura într-o sală cu dotare specifică, care trebuie să includă: videoproiector, computer și software specific (Python).<br>– Prezența obligatorie la laboratoare (conform regulamentului studiilor universitare de masterat în UNSTPB). |

**6. Obiectiv general** *(Se referă la intențiile profesorilor pentru studenți, la ceea ce studenții vor fi învățați în timpul cursului. Oferă o orientare cu privire la locul cursului în cadrul domeniului științific abordat, precum și la rolul pe care acesta îl are în cadrul specializării studiate. Vor fi descrise de o manieră generală tematicile abordate, justificarea includerii cursului în planul de învățământ al specializării studiate etc.)*

Disciplina oferă o viziune de ansamblu și detaliată a domeniului învățării automate profunde folosind rețele neurale avansate: rețele neurale complet-conectate cu straturi multiple (Multilayer Perceptrons – MLP), rețele neurale convoluționale (Convolutional Neural Networks – CNN), rețele neurale recurente (Recurrent Neural Networks – RNN).

– Abordarea conceptelor și noțiunilor la curs are ca obiect principal dezvoltarea intuiției asupra mecanismelor de antrenare și modurilor de utilizare ale rețelelor neurale profunde, urmărindu-se totodată și o detaliere matematică riguroasă a procesului de antrenare și a modelelor studiate. Sunt prezentate cele mai importante tipuri de rețele neurale profunde pentru probleme de clasificare și regresie (MLP, CNN, RNN), ca și diferite strategii de învățare pentru îmbunătățirea performanțelor sistemelor.

– Laboratorul debutează cu o introducere detaliată în utilizarea platformei Git și a uneltelor de management a resurselor computaționale: medii virtuale (venv), slurm. Următoarele lucrări acoperă implementarea practică a modelelor de rețele neurale profunde studiate la curs, folosind bibliotecile TensorFlow și PyTorch, și utilizarea acestora pentru aplicații specifice de clasificare și regresie pe baza datelor audio și video. Ultima lucrare este organizată sub forma unei competiții de implementare și antrenare a unui sistem de clasificare bazat pe rețele neurale profunde.

– Proiectul se va desfășura pe echipe sau individual și va consta în dezvoltarea, antrenarea și validarea unui model de inteligență artificială bazat pe rețele neurale profunde pentru diferite aplicații multimedia.

**7. Competențe** *(Capacitatea dovedită de a utiliza cunoștințe, aptitudini și abilități personale, sociale și/sau metodologice în situații de muncă sau de studiu și pentru dezvoltarea profesională și personală. Reflectă cerințele angajatorilor.)*



|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Specifice</b>               | <ul style="list-style-type: none"><li>– Demonstrează că deține cunoștințe de bază privind conceptele teoretice și modelele și tehnicile moderne de inteligență artificială și învățare automată folosind rețele neurale profunde.</li><li>– Aplică în practică cunoștințele teoretice dobândite și utilizează medii de simulare pentru analiza și prelucrarea diverselor tipuri de date și de semnale.</li><li>– Aplică metode, tehnici și metodologii standardizate, specifice domeniului inteligenței artificiale și învățării automate folosind rețele neurale, pentru rezolvarea problemelor de clasificare sau regresie, în funcție de natura aplicației.</li><li>– Argumentează și analizează coerent și corect contextul de aplicare a cunoștințelor de bază ale domeniului inteligenței artificiale și învățării automate clasice, utilizând concepte cheie ale disciplinei și metodologia specifică.</li><li>– Comunicare orală și în scris în limba română: utilizează vocabularul științific specific domeniului studiat, în vederea comunicării eficiente și corecte, în scris și oral.</li><li>– Comunicare orală și în scris într-o limbă străină (engleză): demonstrează înțelegerea și aplicarea corectă a vocabularului aferent domeniului studiat, într-o limbă străină.</li></ul> |
| <b>Transversale (generale)</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>– Comunică eficient, în special în timpul orelor de aplicații, coordonându-și eforturile cu ceilalți pentru rezolvarea de situații problemă de complexitate medie.</li><li>– Autonomie și gândire critică: abilitatea de a gândi în termeni științifici, de a căuta și analiza date în mod independent, de a identifica soluții, precum și de a desprinde și prezenta concluzii.</li><li>– Capacitate de analiză și sinteză: prezintă în mod sintetic cunoștințele dobândite, ca urmare a unui proces de analiză sistematică.</li><li>– Respectă principiile de etică academică: în activitatea de documentare citează corect sursele bibliografice utilizate.</li><li>– Pune în practică elemente de inteligență emoțională în gestionarea socio-emoțională adecvată a unor situații din viața academică, demonstrând stăpânire de sine și obiectivitate în luarea deciziilor sau în situații de stres.</li></ul>   |

**8. Rezultatele învățării** (Sunt enunțuri sintetice referitoare la ceea ce un student va fi capabil să facă sau să demonstreze la finalizarea unui curs. Rezultatele învățării reflectă realizările studentului și mai puțin intențiile profesorului. Rezultatele învățării informează studenții despre ceea ce se așteaptă de la ei din punct de vedere al performanței, pentru a obține notele și creditele dorite. Sunt definite în termeni concreți, folosind verbe similare exemplurilor de mai jos și indică ceea ce se va urmări prin evaluare. Rezultatele învățării vor fi astfel redactate încât să fie evidențiată clar relația față de competențele definite la punctul 7.)



|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Cunoștințe</b>                    | <p><i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice.</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Definește corect noțiunile de bază ale domeniului inteligenței artificiale și rețelelor neurale profunde: tipuri de straturi, arhitecturi de rețele clasice, operatori de activare, algoritmi de optimizare, metodologii experimentale, modalități de evaluare ale modelului etc.</li><li>– Descrie în mod corespunzător conceptele și aspectele particulare legate de modelele de învățare bazate pe rețele neurale profunde: arhitecturi complet conectate, convoluționale, recurente etc., precum și avantajele și limitările individuale ale acestora.</li><li>– Evidențiază metodologiile și tehnicile de antrenare și de testare pentru modelele de învățare automată bazate pe rețele neurale profunde.</li><li>– Înțelege principiile de împărțire a seturilor de date și de evaluare a capabilității de generalizare a modelelor de învățare automată.</li><li>– Definește și utilizează elementele de bază legate de analiza și prelucrarea semnalului vocal (reprezentări în domeniile timp și frecvență).</li><li>– Este capabil să utilizeze corect diferitele straturi și mecanisme de învățare adaptate la problema propusă.</li></ul> |
| <b>Aptitudini</b>                    | <p><i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente).</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Selectează și grupează informații relevante într-un context dat, putând astfel să descrie corespunzător diverse aspecte teoretice sau practice ale domeniului inteligenței artificiale și învățării automate.</li><li>– Utilizează argumentat conceptele specifice domeniului inteligenței artificiale și învățării automate, în vederea abordării corecte a unor probleme.</li><li>– Verifică experimental soluțiile identificate pentru rezolvarea practică a unor aplicații legate de prelucrarea datelor și a semnalelor, în particular a semnalului vocal.</li><li>– Formulează concluzii corecte asupra rezultatelor experimentele realizate.</li><li>– Argumentează modul de rezolvare și soluțiile utilizate pentru rezolvarea unor probleme.</li></ul>   |
| <b>Responsabilitate și autonomie</b> | <p><i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale.</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Selectează surse bibliografice potrivite și le analizează.</li><li>– Respectă principiile de etică academică, citând corect sursele bibliografice utilizate.</li><li>– Demonstrează receptivitate pentru contexte noi de învățare.</li><li>– Manifestă colaborare cu ceilalți colegi și cadre didactice în desfășurarea activităților didactice.</li><li>– Demonstrează autonomie în organizarea contextului de învățare și a problemelor de rezolvat.</li><li>– Conștientizează valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei la identificarea de soluții viabile care să rezolve probleme din viața socială și economică.</li><li>– Analizează oportunități de afaceri sau de dezvoltare antreprenorială, pornind de la cunoștințele dobândite în domeniul inteligenței artificiale și învățării automate clasice.</li><li>– Demonstrează abilități de management ale situațiilor din viața reală (de exemplu gestionarea corectă a timpului de învățare).</li></ul>   |

**9. Metode de predare** (Se vor avea în vedere metode care să asigure predarea centrată pe student. Se va descrie modul în care se asigură participarea studenților la stabilirea propriului parcurs de învățare, cum se identifică eventualele rămăneri în urmă și ce măsuri remediale se adoptă în astfel de cazuri.)



– Cursurile sunt predate într-o manieră interactivă, fiind încurajată participarea activă a studenților. Sunt folosite atât metode clasice de predare (prelegerea și expunerea), utilizând prezentări PowerPoint prin intermediul mijloacelor multimedia, cât și interactive, bazate pe întrebări – răspunsuri și feedback-ul studenților, adaptând permanent demersul pedagogic la posibilitățile de asimilare și învățare a studenților (prin repetarea suplimentară a anumitor noțiuni și concepte, dacă acest lucru se dovedește necesar).

Fiecare curs debutează cu recapitularea succintă a capitolelor anterioare, cu accent asupra noțiunilor parcurse la ultimul curs. Prezentările utilizează numeroase imagini și scheme, astfel încât informațiile prezentate să fie cât mai ușor de înțeles și asimilat. Se lucrează împreună cu studenții un număr de exerciții sau probleme.

Materialele complete de curs sunt disponibile în format electronic pe platforma Moodle a facultății.

– Predarea cunoștințelor în cadrul orelor de laborator și de proiect se bazează pe comunicarea orală și explicarea detaliată a metodelor utilizate și a rezultatelor obținute, într-o manieră permanent interactivă. Studenții implementează și evaluează independent aceleași probleme prin utilizarea calculatorului și a mediului software. Aplicațiile realizate îi ajută pe studenți în dezvoltarea unor relații optime de comunicare într-un climat favorabil învățării prin descoperire.

Materialele de laborator și de proiect sunt disponibile studenților sub formă electronică pe platforma Moodle a facultății.

## 10. Conținuturi

| CURS      |   |         |
|-----------|---|---------|
| Capitolul | Conținutul  | Nr. ore |
| 1         | “Inteligență artificială și rețele neurale profunde – Introducere” – Scurt istoric. Stadiul domeniului în prezent. Rezultate remarcabile. Probleme și aspecte etice   | 2       |
| 2         | “Paradigme și principii particulare în rezolvarea sarcinilor de clasificare și regresie prin învățare automată” – Clasificare vs. Regresie. Probleme fundamentale întâmpinate în procesul de antrenare. Reguli de procesare pentru baze de date   | 5       |
| 3         | “Rețele neurale complet-conectate” – Principii, tipuri de straturi. Modelare matematică și elemente de algebră liniară. Tehnici de Optimizare. Algoritmul de propagare inversă a erorilor (backpropagation). Algoritmul de minimizare după gradient (gradient descent). Funcții de activare | 9       |
| 4         | “Rețele neurale convoluționale” – Concepte teoretice. Modelare matematică. Reducerea dimensionalității prin straturi de agregare. Avantaje și limitări. Utilizarea în cadrul învățării supervizate și în cadrul învățării nesupervizate. Exemple  | 4       |
| 5         | “Rețele neurale recurente” – Concepte teoretice. Modelare matematică. Avantaje și limitări. Lanțuri de celule cu memorie de scurtă durată (LSTM). Celule recurente limitate. Exemple  | 4       |
| 6         | “Strategii de învățare” – Concepte teoretice. Adaptarea dinamică a ratei de învățare. Tehnici de antrenare pentru baze de date reduse și pentru baze de date cu distribuție neuniformă a claselor. Avantaje și limitări. Exemple  | 4       |
|           | <b>Total:</b>   | 28      |



**Bibliografie:**

1. H. Cucu, A. Neacșu, *Inteligență artificială II: rețele neurale profunde*, suport de curs electronic pe platforma Moodle a facultății de ETTI: <https://curs.upb.ro/>
2. P.J. Olver, C. Shakiban, *Applied Linear Algebra*, 2nd Edition, Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2018, ISBN: 978-3-319-91040-6.
3. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2016, ISBN: 978-0-262-03561-3.
4. J. Gu, Z. Wang, J. Kuen et al., “Recent Advances in Convolutional Neural Networks”, *Pattern Recognition*, Elsevier, Vol. 77, pp. 354-377, Mai 2018.
5. A. Sherstinsky, “Fundamentals of Recurrent Neural Network (RNN) and Long Short-Term Memory (LSTM) Network”, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 404: 132306, Martie 2020.
6. A. Gotmare, N.S. Keskar, C. Xiong, R. Socher, “A Closer Look at Deep Learning Heuristics: Learning rate restarts, Warmup and Distillation”, *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Representations*, Vancouver, Canada, Mai 2018.

**LABORATOR**

| Nr. crt. | Conținutul   | Nr. ore |
|----------|--|---------|
| 1        | Protecția muncii. Introducere în utilizarea platformei Git și a uneltelor de management a resurselor computaționale: medii virtuale (venv), slurm      | 2       |
| 2        | Implementarea unui sistem de clasificare folosind rețele neurale profunde complet-conectate – implementare manuală în Python                           | 2       |
| 3        | Implementarea unui sistem de clasificare folosind rețele neurale profunde complet-conectate – implementare folosind bibliotecile TensorFlow și PyTorch | 2       |
| 4        | Implementarea unui sistem de clasificare folosind rețele neurale convoluționale folosind o bibliotecă la alegere (TensorFlow sau PyTorch)              | 2       |
| 5        | Implementarea unui sistem de regresie folosind rețele neurale recurente folosind o bibliotecă la alegere (TensorFlow sau PyTorch)                      | 2       |
| 6        | Competiție de implementare a unui sistem de clasificare folosind rețele neurale profunde   | 2       |
| 7        | Colocviu final   | 2       |
|          | <b>Total:</b>  | 14      |

**PROIECT**

| Nr. crt. | Conținutul  | Nr. ore |
|----------|---|---------|
| 1        | Dezvoltarea, antrenarea și validarea unui model de inteligență artificială bazat pe rețele neurale pentru diferite aplicații multimedia | 12      |
| 2        | Predarea și susținerea raportului de proiect  | 2       |
|          | <b>Total:</b>   | 14      |



### Bibliografie:

1. A. Neacșu, *Inteligență artificială II: Rețele neurale profunde – Platforme de laborator*, disponibile în format electronic pe platforma Moodle a facultății ETTI: <https://curs.upb.ro/>
2. A. Neacșu, *Inteligență artificială II: Rețele neurale profunde – Îndrumar de proiect*, disponibile în format electronic pe platforma Moodle a facultății ETTI: <https://curs.upb.ro/>
3. \*\*\*, *scikit-learn – Machine Learning in Python*, documentație și manual de utilizare, disponibile în format electronic: <https://scikit-learn.org/stable/>
4. \*\*\*, *NumPy*, documentație și manual de utilizare, disponibile în format electronic: <https://numpy.org/doc/>
5. \*\*\*, *pandas documentation*, documentație și manual de utilizare, disponibile în format electronic: <https://pandas.pydata.org/docs/>
6. \*\*\*, *Tensorflow documentation*, documentație și manual de utilizare, disponibile în format electronic: <https://www.tensorflow.org/>
7. \*\*\*, *PyTorch documentation*, documentație și manual de utilizare, disponibile în format electronic: <https://pytorch.org/docs>

### 11. Evaluare

| Tip activitate   | 11.1 Criterii de evaluare   | 11.2 Metode de evaluare   | 11.3 Pondere din nota finală |
|--|---|---|------------------------------|
| 11.4 Curs  | Cunoașterea noțiunilor teoretice fundamentale legate de inteligență artificială și rețele neurale profunde. Cunoașterea modului de aplicare a teoriei la rezolvarea unor probleme specifice domeniului.   | Examen scris în sesiunea de examene.  | 40%                          |
| 11.5 Seminar/laborator/proiect   | Înțelegerea modelelor și tehnicilor fundamentale de inteligență artificială și învățare automată bazată pe rețele neurale. Cunoașterea modului de simulare și de implementare practică (pe calculator) a metodelor și tehnicilor studiate, cu ajutorul unor medii de programare evaluate. | Colocviu final de laborator (test pe calculator).                             | 30%                          |
|  | Dezvoltarea unui model de inteligență artificială bazat pe rețele neurale pentru diferite aplicații multimedia.   | Prezentarea orală a proiectului în ultima ședință alocată acestei activități. | 30%                          |
| 11.6 Condiții de promovare   |   |   |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Obținerea a 50% din punctajul total.</li> <li>– Realizarea obligațiilor caracteristice activității de laborator (participarea la lucrările planificate).</li> </ul> |   |   |                              |

**12. Coroborarea conținutului disciplinei cu așteptările reprezentanților angajatorilor și asociațiilor profesionale reprezentative din domeniul aferent programului, precum și cu stadiul actual al cunoașterii în domeniul științific abordat și practicile în instituții de învățământ superior din Spațiul European al Învățământului Superior (SEIS)**



Rețelele neurale profunde reprezintă o ramură esențială a inteligenței artificiale, având un impact semnificativ în diverse domenii. Aceste rețele, inspirate de structura creierului uman, sunt compuse din straturi multiple de unități numite neuroni artificiali. Importanța lor derivă din capacitatea de a învăța reprezentări complexe ale datelor prin antrenamentul pe seturi mari de date.

Una dintre principalele utilități ale rețelelor neurale profunde este în domeniul vederii artificiale. Ele au revoluționat recunoașterea obiectelor, clasificarea imaginilor și detectarea de caracteristici complexe în timp real. Această abilitate este crucială în dezvoltarea vehiculelor autonome, monitorizarea securității și într-o gamă largă de aplicații medicale. În domeniul procesării limbajului natural, rețelele neurale profunde au transformat modul în care calculatoarele înțeleg și produc limbajul. Sisteme precum traducerea automată, rezumarea textului și analiza sentimentelor beneficiază de capacitățile acestor rețele, facilitând comunicarea și accesul la informație în moduri eficiente.

Pe scurt, rețelele neurale profunde au devenit coloana vertebrală a revoluției în inteligența artificială, aducând beneficii semnificative în numeroase domenii. Capacitatea lor de a modela relații complexe în date, de a înțelege contextul și de a realiza sarcini specifice le face instrumente indispensabile în progresul tehnologic și în rezolvarea problemelor complexe ale societății.

Se asigură astfel absolvenților competențe adecvate cu necesitățile calificărilor actuale și o pregătire științifică și tehnică modernă, de calitate și competitivă, care să le permită angajarea rapidă după absolvire, disciplina fiind perfect încadrată în politica Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, atât din punctul de vedere al conținutului și structurii, cât și din punctul de vedere al aptitudinilor și deschiderii internaționale oferite studenților. Posibili angajatori vizează atât mediul academic (profil didactic și de cercetare), cât și mediul de cercetare-dezvoltare din instituțiile de stat și private care utilizează (sau intenționează să folosească) sisteme bazate pe inteligență artificială.

Data completării

Titular de curs

Titular(i) de aplicații

09.09.2022

Conf. dr. ing. Horia CUCU

Ș.L. dr. ing. Ana-Antonia NEACȘU

Data avizării în departament

Director de departament

31.10.2024

Prof. Dr. Claudiu DAN

Data aprobării în Consiliul Facultății

Decan

01.11.2024

Prof. Dr. Mihnea Udrea