



### 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	Electronică Aplicată și Ingineria Informației
1.4 Domeniul de studii	Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale
1.5 Ciclul de studii	Masterat
1.6 Specializarea	Ingineria Informației și a Sistemelor de Calcul

#### 2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei (ro)		Sisteme de calcul de inspirație naturală					
(en)							
2.2 Titularul activităților de curs		Prof. Dr. Radu DOGARU					
2.3 Titularul activităților de seminar / laborator		Prof. Dr. Radu DOGARU					
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	DS	2.9 Codul disciplinei	UPB.04.M2.O.19-09	2.10 Tipul de notare	Nota		

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

3.1 Număr de ore pe săptămână	2.5	Din care: 3.2 curs	1.50	3.3 seminar/laborator	1
3.4 Total ore din planul de învățământ	35.00	Din care: 3.5 curs	21	3.6 seminar/laborator	14
Distribuția fondului de timp:					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					82
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate					
Pregătire seminarii/ laboratoare/proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri					
Tutorat					4
Examinări					4
Alte activități (dacă există):					0
3.7 Total ore studiu individual	90.00				
3.8 Total ore pe semestru	125				
3.9 Numărul de credite	5				

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

4.1 de curriculum	Nu este cazul
4.2 de rezultate ale învățării	Nu este cazul

#### 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 sau prin intermediul platformelor Teams / Moodle .
----------	--



5.2 Seminar/ Laborator/Proiect	Seminarul si proiectul se vor desfășura într-o sală dotată cu videoproiector și computer sau prin intermediul platformelor Teams / Moodle ; Se vor explica o serie de module aplicative disponibile via Moodle (de regula notebook-uri Google Colab sau Kaggle) din perspectiva rezolvarii temei de casa, un proiect aplicativ in domeniul cursului care va certifica competentele studentului.
-----------------------------------	---

**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.)*

Această disciplină a fost propusă în contextul diversificării gamei de tehnologii software disponibile și a cerinței diversificate de aplicații care trebuie rezolvate în condiții de performanță, productivitate și portabilitate. În acest context, recent dezvoltatele metode de inspirație naturală își găsesc o serie de aplicații interesante în modelarea unor fenomene și sisteme pe baza datelor observabile, predicție de date, prelucrări masiv paralele de imagini, tehnici avansate de optimizare.

Disciplina familiarizează studenții cu metodele și tehnicile avansate de „natural computing” (tradus prin sisteme de calcul de inspirație naturală) cu relevanta într-o serie de aplicații ale ingineriei informației (generare de semnale pseudoaleatoare, predicție cu modelare neliniară, recunoașterea și clasificarea semnalelor prin metode din domeniul dinamicii neliniare, senzori inteligenți, optimizare, modelarea unor sisteme complexe, etc). Sunt prezentate cele mai actuale paradigme de inspirație naturală precum și o serie de exemple reprezentative (studii de caz). De asemenea se detaliază aspecte legate de implementarea eficientă a algoritmilor de inspirație naturală pe platforme computaționale diverse (calculator personal, platformă mobilă de tip tableta, acceleratoare cu suport GPU, TPU sau FPGA).

Întrucât disciplina se preda la-un masterat de cercetare, aplicațiile sunt concepute astfel încât studenții să utilizeze modulele informatice care implementează diferiți algoritmi de inspirație naturală pentru realizarea unui studiu complet (familiarizare cu algoritmul, definirea aplicației, definirea și optimizarea arhitecturii de inspirație naturală alese, modelare și simulare, soluție de implementare, rezultate experimentale, evaluarea acestora, comparații și concluzii, inclusiv utilizarea extensivă a referințelor bibliografice). Se vor utiliza în principal platforme „cloud” Google COLAB, Kaggle sau Binder care permit derularea aplicațiilor și în regim on-line. Acest studiu se materializează prin redactarea unui raport la temă de casă sub forma și în condițiile specifice unui articol științific.

**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.)*

Specifice	<p><b>Demonstrează că deține</b> cunoștințe de bază/avansate în domeniul identificării unor metode si tehnologii eficiente din gama de metode cu inspiratie naturala, in contextul rezolvarii unei probleme practice specifice.</p> <p><b>Corelează cunoștințele</b></p> <p><b>Aplică în practică</b> cunoștințele</p> <p><b>Aplică</b> metode și instrumente standardizate, specifice domeniului, pentru realizarea procesului de evaluare și diagnoză a unei situații, în funcție de problemele identificate/raportate, și identifică soluții.</p> <p><b>Argumentează si analizează</b> coerent și corect contextul de aplicare a cunostințelor de bază ale domeniului, utilizând concepte cheie ale disciplinei și metodologia specifica.</p> <p><b>Comunicare orală și în scris în limba română:</b> utilizează vocabularul științific specific domeniului, în vederea comunicării eficiente, în scris și oral.</p> <p><b>Comunicare orală și în scris într-o limba străină (engleză):</b> demonstrează înțelegerea vocabularului aferent domeniului, într-o limbă străină.</p>
-----------	---



<b>Transversale (generale)</b>	<p>Autonomie și gândire critică: abilitatea de a gândi în termeni științifici, de a căuta și analiza date în mod independent, precum și de a desprinde și prezenta concluzii / identifica soluții.</p> <p><b>Capacitate de analiză și sinteză:</b> prezintă în mod sintetic cunoștințele dobândite, ca urmare a unui proces de analiză sistematică.</p> <p><b>Respectă principiile de etică academică:</b> în activitatea de documentare citează corect sursele bibliografice utilizate.</p> <p><b>Pune în practică elemente de inteligență emoțională</b> în gestionarea socio-emoțională adecvată a unor situații din viața reală/academică/profesională, demonstrând stăpânire de sine și obiectivitate în luarea deciziilor sau în situații de stres.</p>
--------------------------------	---

**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> <p>Demonstrează capacitate de utilizare adecvată a noțiunilor specifice disciplinei pentru rezolvarea unei teme specifice</p> <p>Verifică experimental soluții identificate.</p> <p>Rezolvă aplicații practice prin utilizarea sistemelor deja existente și/sau prin dezvoltarea de module software cu contribuții proprii.</p> <p>Identifică soluții și elaborează planuri de rezolvare pe baza instrumentelor pe care le are la dispoziție în cadrul sistemelor studiate.</p> <p>Interpretează adecvat relații de cauzalitate, demonstrând capacitate de analiză și interpretare a diverselor scenarii posibile.</p> <p>Argumentează soluțiile identificate/modurile de rezolvare.</p>
<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> <p>Demonstrează capacitate de utilizare adecvată a noțiunilor specifice disciplinei pentru rezolvarea unei teme specifice</p> <p>Verifică experimental soluții identificate.</p> <p>Rezolvă aplicații practice prin utilizarea sistemelor deja existente și/sau prin dezvoltarea de module software cu contribuții proprii.</p> <p>Identifică soluții și elaborează planuri de rezolvare pe baza instrumentelor pe care le are la dispoziție în cadrul sistemelor studiate.</p> <p>Interpretează adecvat relații de cauzalitate, demonstrând capacitate de analiză și interpretare a diverselor scenarii posibile.</p> <p>Argumentează soluțiile identificate/modurile de rezolvare.</p>



<b>Responsabilitate și autonomie</b>	<p><i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale.</i></p> <p><b>Selectează</b> surse bibliografice potrivite și le analizează.</p> <p><b>Respectă principiile de etică academică</b>, citând corect sursele bibliografice utilizate.</p> <p><b>Demonstrează receptivitate</b> pentru contexte noi de învățare.</p> <p><b>Manifestă colaborare</b> cu ceilalți colegi și cadre didactice în desfășurarea activităților didactice</p> <p><b>Demonstrează autonomie</b> în organizarea situației/contextului de învățare sau a situației problemă de rezolvat</p> <p><b>Promovează/contribuie prin soluții noi, aferente domeniului de specialitate</b> pentru a îmbunătăți calitatea vieții sociale.</p> <p><b>Conștientizează valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei</b> la identificarea de soluții viabile/sustenabile care să rezolve probleme din viața socială și economică (responsabilitate socială).</p> <p><b>Aplică principii de etică/deontologie profesională în analiza impactului tehnologic al soluțiilor propuse</b> în domeniul de specialitate asupra mediului înconjurător</p>
--------------------------------------	--

**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.*)

În activitatea de predare vor fi utilizate prelegeri, în baza unor prezentări Power Point sau diferite articole științifice și eventual filmulețe care vor fi puse la dispoziția studenților. Fiecare curs va debuta cu recapitularea capitolelor deja parcurse, cu accent asupra noțiunilor parcurse la ultimul curs.

Prezentările teoretice vor alterna cu module aplicative sub forma de notebook-uri Google Colab sau Kaggle cu evidențierea elementelor specifice care pot fi explorate în dezvoltarea temelor de casa (proiecte aplicative)

Se utilizează imagini și scheme, astfel încât informațiile prezentate să fie ușor de înțeles și asimilat.

Se va pune accent pe exersarea abilităților de ascultare activă și de comunicare, pe mecanisme de construcție a feedback-ului pentru a adapta stilul de predare la modul și nevoie de învățare ale studenților. Se va încuraja comunicarea atât între studenți prin lucrul în echipă, cât și comunicarea deschisă și directă a studenților cu cadrul didactic pentru construirea unui climat favorabil învățării.

## 10. Conținuturi

CURS		
Capitolul	Conținutul	Nr. ore
1	Privire de ansamblu "natural computing". Exemple de aplicații NC (modelare și simulare sisteme complexe, senzori inteligenți, predicția seriilor temporale, algoritmi de optimizare performanți, utilizarea semnalelor complexe - haotice în probleme de telecomunicații).	1

2	<p>Partea I.1. Sisteme dinamice neliniare : Motivația și istoricul studiului sistemelor neliniare dinamice: prezentarea generală a aplicațiilor specifice - generare secvențe pseudoaleatoare, predicție, filtrare neliniară, modelarea unor sisteme etc.. ; Concepte fundamentale: sistem dinamic, variabile de stare, soluții, timp discret și continuu, diagrame de bifurcație, considerente de modelare și simulare în platforme computaționale diverse, modele sincrone și asincrone. ; Traietorii, orbite, atractori, bazine de atracție, teorema Takens, modelare cu rețele neurale recurente; Comportamente dinamice neliniare: echilibru, oscilații periodice, oscilații complexe (haotice). Prezentarea unor aplicații. ; Metode pentru estimarea dimensiunii spațiului de reconstrucție, conexiuni cu teoria algoritmică a informației, aplicații în identificarea și modelarea neliniară. Exponenți Lyapunov, modalități practice de calcul; Teoreme de analiză a dinamicii în jurul echilibrelor, circuite analogice cu dinamica complexă; Fenomene emergente: Sincronizarea și controlul sistemelor cu dinamica complexă. Aplicații (articole comentate); Modelarea neurală a sistemelor dinamice neliniare, aplicații. Memorii asociative – bazate pe relaxare (simulator mem. Hopfield + teoria aici) și pe fenomene haotice (model Freeman). Principiul "reservoir computing", rețele neurale cu ecouri (ESN) aplicații specifice în identificarea și clasificarea seriilor temporale.</p>	6
3	<p>Partea I.2) sisteme celular neliniare (CNN); Principii și probleme fundamentale, aplicații. Topologii, vecinătăți. Dinamica în timp continuu și discret, clasificări (automate celulare, rețele celular neliniare, rețele de tip „small-worlds”, o trecere în revistă a principalele modele utilizate). Prezentarea aplicațiilor specifice: modelare și simulare în diferite domenii, prelucrări de imagini, senzori inteligenți, alte aplicații.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Automate celulare, taxonomii celulă, definirea și implementarea celulelor, gena asociată unei celule, relația între gena și comportamentul dinamic al automatului celular; Descriptori de complexitate pentru automate celulare ("transient length", "clustering", "growth exponent") ;Caracterizarea fenomenelor dinamice în automate celulare (metoda Chua vs. metoda Wolfram); Universalitate computațională în automate celulare; Aplicații ale automatelor celulare în criptografie și în modelare.</li> <li>- Rețele celular neuronale (CNN). Modelul CNN standard -implementari că senzor inteligent, aplicații specifice. Teoreme fundamentale CNN, condiții de stabilitate, proiectarea genei (șablon conectare cu vecinii) în sistemele CNN. Aplicații în prelucrări de imagini, prezentarea bibliotecii cu gene predefinite pentru prelucrări elementare de imagini.</li> <li>- Emergenta computațională - metode pentru identificarea fenomenelor emergente: a) În sisteme reacție-difuzie (teoria activității locale); b) În automate celulare binare - metoda propagării incertitudinii.</li> </ul> <p>Soluții și probleme specifice privind implementare automatelor și rețelelor celular neliniare: Software, FPGA, GPU etc.</p>	6
4	<p>Partea II - algoritmi de optimizare de inspirație naturală: Principii generale ale algoritmilor de optimizare, teorema "no free lunch", Algoritmi de gradient. Probleme "benchmark" (pentru evaluarea și compararea algoritmilor), criterii în compararea algoritmilor de oprimizare. Metode de inspiartaie naturală de tip "single agent" : Simulated annealing (SA), Alopex, Nonlinear Simplex etc. Aplicații. Metode multi-agent. Metode "swarm intelligence"; Sisteme de tip "ANT Colonies" (ACO) , Sisteme autoimune (AIS), alte tipuri de sisteme de insp. naturală</p>	6



5	Partea III - rețele neliniare complexe, modelarea sistemelor complexe. Topologii și modele de rețele de interconectare, sisteme "Small Worlds", modelare cu logica fuzzy, hărți cognitive (FCM), aplicații; Viața artificială, autopoiesis; Alte concepte de inspirație naturală: P-systems, membrane computing, Monte-Carlo Tree Search; Descriptori pentru analiza și modelarea sistemelor complexe, Medii software pentru modelare și simulare (de ex. Netlogo).	2
<b>Total:</b>		21

**Bibliografie:**

1. DOGARU Radu, Sisteme de calcul de inspiratie naturala (SCIN), suport de curs electronic, <https://curs.upb.ro/2023>
2. Bibliografie actualizata la zi (in cadrul cursului Moodle)
3. Radu Dogaru, (2003) Universality and Emergent Computation in Cellular Neural Networks, World Scientific, 260 pages, ISBN 981-238-102-3.
4. Radu Dogaru, Ioana Dogaru, Alexandru Gacsádi, Ioan Gavriluț, Structura și Dinamica Retelelor Dinamice Complexe: Rețele Neliniare Celulare, Editura Matrix-ROM, 2013, ISBN 978-973-755-947-0, 174 pagini.
5. Dogaru R., Systematic design for emergence in cellular nonlinear networks – with applications in natural computing and signal processing, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008, ISBN: 978-3-540-76800-5, 165 pagini.
6. R. Dogaru, curs "Natural Computing", curs invitat semestrul II 2005,2006 - T.U. Darmstadt (Germania).
7. Yaneer Bar-Yam, Dynamics of Complex Systems – disponibil <https://necsi.edu/dynamics-of-complex-systems>
8. Leandro N. De Castro, Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, and Applications (Chapman & Hall/CRC Computer & Information Science Series), 2008.

**PROIECT**

Nr. crt.	Conținutul	Nr. ore
1	Sisteme dinamice neliniare simple - Functia logistica, influenta parametrilor asupra comportamentelor dinamice . Prezentarea cerintelor pentru temele de casa.	2
2	Evaluarea complexitatii unui semnal prin utilizarea exponentilor Lyapunov. Modelarea sistemelor dinamice neliniare folosind rețele neurale artificiale. Dinamica in sisteme sincrone si asincrone.	2
3	Aplicatii ale rețelelor echo state networks (ESN) pentru identificarea sistemelor dinamice neliniare pe baza seriilor temporale.	2
4	Automate celular elementare; simulari cu evidentierea fenomenelor emergente si a clasificarilor Chua respectiv Wolfram.	2
5	Analiza si identificarea fenomenelor emergente in rețele celular neliniare reactie-difuzie prin metoda activitatii locale.	2
6	Modelarea cu automate celulare a fenomenelor de propagare ( pe baza <a href="https://github.com/radu-dogaru/fast-fhn-rd-cnn-simulators">https://github.com/radu-dogaru/fast-fhn-rd-cnn-simulators</a> )	2
7	Algoritmi de optimizare de tip "swarm intelligence": PSO (particle swarm optimization), diferite implementari.	2
<b>Total:</b>		14



**Bibliografie:**

1. DOGARU Radu, Sisteme de calcul de inspirație naturală (SCIN), suport de curs electronic, <https://curs.upb.ro/2023>
2. Bibliografia cursului și specific aplicațiilor actualizată la zi (în cadrul cursului Moodle)
3. Documentație și suport pentru utilizarea platformelor cloud Google COLAB [https://colab.research.google.com/?utm\\_source=scs-index](https://colab.research.google.com/?utm_source=scs-index) și Kaggle <https://www.kaggle.com/>

**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; Cunoașterea modului de aplicare a teoriei la probleme specifice de programare; Analiza comparată a tehnicilor și metodelor cu inspirație naturală.	Quiz (test grila) cu întrebări formulate astfel încât să verifice capacitatea studentului de a selecta cunoștințele adecvate unei situații practice.	30%
11.5 Seminar/laborator/proiect	Existența unei aplicații funcționale de modelare și simulare pe o temă aleasă de student din tematica disciplinei și care să dovedească capacitatea de a folosi instrumentele și tehnologiile discutate pentru o problemă practică și de a expune rezultatele în formatul sistematic acceptat de comunitatea științifică.	Referat sub forma unui articol științific care se va evalua inclusiv prin interacțiunea cu studentul.	70%
11.6 Condiții de promovare			
Conform regulamentului ETTI: Obținerea a 50% din punctajul total			

**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)**

-Prin activitățile desfășurate, studenții dezvoltă abilități de a oferi soluții unor probleme privind realizarea unor aplicații eficiente care utilizează algoritmi de inspirație naturală specifici diversității de situații întâlnite în practica activității de cercetare.

-În dezvoltarea conținutului disciplinei s-au avut în vedere cunoștințe / aspecte / fenomene descrise de literatura de specialitate / cercetările proprii publicate / prezentate

- Cursul are un conținut similar cursurilor desfășurate la universități de prestigiu (ex: <http://www.drps.ed.ac.uk/21-22/dpt/cxinf11007.htm>)

- Prin tema de casă individuală se urmărește dezvoltarea abilităților absolventului de a gestiona situații practice cu care se poate confrunța în viața reală în scopul creșterii contribuției acestuia la îmbunătățirea mediului socio-economic



**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București**  
**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și**  
**Tehnologia Informației**



20.09.2024

Prof. Dr. Radu DOGARU

Prof. Dr. Radu DOGARU

Data avizării în departament

Director de departament

29.10.2024

Conf. Dr. Bogdan Cristian FLOREA

Data aprobării în Consiliul Facultății

Decan

17.10.2024

Prof. Dr. Mihnea Udrea