



### 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	Licență
1.6 Specializarea	Microelectronică, Optoelectronică și Nanotehnologii

#### 2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei (ro)		Tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor					
(en)		Advanced Techniques in Digital Signal Processing					
2.2 Titularul activităților de curs		Prof. dr. ing. Dragoș BURILEANU					
2.3 Titularul activităților de seminar / laborator		Ș.L. dr. ing. Șerban MIHALACHE					
2.4 Anul de studiu	4	2.5 Semestrul	I	2.6. Tipul de evaluare	E	2.7 Regimul disciplinei	Ob
2.8 Tipul disciplinei	S	2.9 Codul disciplinei	04.S.07.O.401	2.10 Tipul de notare	Nota		

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

3.1 Număr de ore pe săptămână	4.5	Din care: 3.2 curs	3.00	3.3 seminar/laborator	1.5
3.4 Total ore din planul de învățământ	63.00	Din care: 3.5 curs	42	3.6 seminar/laborator	21
Distribuția fondului de timp:					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate					58
Pregătire seminarii/ laboratoare/proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri					
Tutorat					0
Examinări					4
Alte activități (dacă există):					0
3.7 Total ore studiu individual	62.00				
3.8 Total ore pe semestru	125				
3.9 Numărul de credite	5				

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

4.1 de curriculum	Parcurgerea următoarelor discipline: – Prelucrarea digitală a semnalelor; – Programarea calculatoarelor.
-------------------	--



4.2 de rezultate ale învățării	Acumularea următoarelor cunoștințe generale: – cunoștințe fundamentale de prelucrare digitală a semnalelor (algoritmi și tehnici de bază); – cunoașterea mediului de dezvoltare MATLAB.
--------------------------------	---

**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 calculator.
5.2 Seminar/ Laborator/Proiect	– Laboratorul se va desfășura într-o sală cu dotare specifică, trebuind să includă: calculatoare, videoproiector, software specializat (pachetul MATLAB). – Prezența obligatorie la ședințele de laborator (conform regulamentului studiilor universitare de licență 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.)*

Această disciplină se studiază în cadrul domeniului Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale / specializarea “Microelectronică, optoelectronică și nanotehnologii” și are ca obiectiv studiul unor subiecte avansate din domeniul prelucrării digitale a semnalelor (prelucrare statistică a semnalelor aleatorii, estimare spectrală, filtrare adaptivă, sisteme cu eșantionare multiplă, rețele neuronale artificiale și metode de învățare automată), cu aplicații în comunicații, tehnologia vorbirii și prelucrarea semnalelor audio. Se dorește în primul rând înțelegerea fenomenelor care stau la baza tehnicilor studiate și a utilizării acestora în diverse domenii actuale. Numeroasele exemple și explicațiile detaliate din curs ajută atât la clarificarea unor aspecte teoretice mai dificile, cât și la rezolvarea de aplicații practice și probleme, cu relevanță pentru stimularea procesului de învățare la studenți. De asemenea, aplicațiile de laborator au ca obiectiv însușirea practică a principalelor concepte predate la curs. Aplicațiile realizate includ diverse simulări software utilizând mediul de dezvoltare MATLAB.

Disciplina abordează ca tematică următoarele noțiuni de bază și concepte specifice: semnale aleatorii discrete și răspunsul filtrelor digitale la semnale aleatorii, metode neparametrice și parametrice de analiză spectrală, modelarea semnalelor aleatorii, estimare liniară și filtrul Wiener, filtrare adaptivă, prelucrarea semnalelor cu eșantionare multiplă, analiza și prelucrarea semnalului vocal, aplicații ale tehnologiei vorbirii, tehnici de prelucrare digitală pentru aplicații audio, rețele neuronale artificiale utilizate în prelucrarea semnalelor, inteligență artificială și tehnici de învățare automată. Toate acestea contribuie la transmiterea către studenți a unei viziuni de ansamblu asupra reperelor metodologice și procedurale aferente domeniului studiat.

**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 prelucrarea statistică a semnalelor aleatorii, analiză spectrală, filtrare adaptivă, tehnici de analiză și prelucrare a semnalelor vocale și audio, utilizarea metodelor de învățare automată în prelucrarea semnalelor.</li><li>– Aplică practic cunoștințele teoretice dobândite și utilizează medii de simulare pentru analiza și prelucrarea digitală a semnalelor.</li><li>– Aplică metode și instrumente standardizate, specifice domeniului PDS, pentru realizarea procesului de evaluare a unei situații, în funcție de problemele de rezolvat și identifică soluții.</li><li>– Argumentează și analizează coerent și corect contextul de aplicare a cunoștințelor avansate de PDS, utilizând concepte cheie ale disciplinei și metodologia specifică.</li><li>– Comunicare orală și în scris în limba română: utilizează vocabularul științific specific domeniului PDS, 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 prelucrării semnalelor, 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 studiat.</li><li>– Descrie în mod corespunzător conceptele fundamentale și mărimile caracteristice prelucrării statistice a semnalelor aleatorii discrete.</li><li>– Evidențiază și folosește corespunzător metodele de analiză spectrală și estimare liniară studiate.</li><li>– Înțelege principalele clase de probleme în filtrarea adaptivă și le aplică în rezolvarea diverselor probleme practice.</li><li>– Definește și utilizează adecvat noțiunile de decimare și interpolare.</li><li>– Înțelege conceptele legate de descrierea semnalului vocal la nivel acustic și fonetic și reprezentarea acestuia în timp și frecvență.</li><li>– Înțelege și descrie corect diversele aplicații actuale ale tehnologiei vorbirii.</li><li>– Descrie diverse tehnici de prelucrare digitală utilizate în studiourile audio profesionale, putând evidenția corect modalitățile de implementare a acestora.</li><li>– Clasifică adecvat metodele de învățare automată și descrie posibilitățile de utilizare a rețelelor neuronale artificiale în prelucrarea semnalelor.</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 de PDS.</li><li>– Utilizează argumentat conceptele PDS în vederea abordării corecte a unor probleme.</li><li>– Verifică experimental soluțiile identificate pentru rezolvarea practică a unei aplicații PDS.</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 PDS.</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 și se discută împreună cu aceștia temele de casă aferente capitolelor cursului.

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

– Predarea cunoștințelor în cadrul orelor de laborator 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 sunt disponibile studenților sub formă electronică pe platforma Moodle a facultății.

## 10. Conținuturi

CURS		
Capitolul	Conținutul	Nr. ore
1	“Prelucrarea statistică a semnalelor” – Introducere. Semnale aleatorii continue; parametri statistici fundamentali. Semnale aleatorii discrete; teorema Wiener–Khintchine. Răspunsul filtrelor digitale la semnale aleatorii	4
2	“Analiză spectrală și estimare parametrică pentru semnale aleatorii discrete” – Metode de analiză spectrală: metode neparametrice; modelarea semnalelor aleatorii, metode parametrice de analiză spectrală. Algoritmi de optimizare – concepte generale. Estimare liniară; filtrul Wiener	6
3	“Filtrare adaptivă” – Concepte de bază. Algoritmi adaptivi: LMS, NLMS. Clase de probleme în filtrarea adaptivă: identificarea sistemelor, modelarea inversă, predicția, suprimarea interferențelor; aplicații. Tehnici de filtrare adaptivă utilizate în reducerea ecoului acustic în comunicațiile telefonice	6
4	“Prelucrarea semnalelor cu eșantionare multiplă” – Generalități. Principiul decimării cu un factor întreg. Principiul interpolării cu un factor întreg. Conversia frecvenței de eșantionare printr-un factor rațional	4
5	“Analiza și prelucrarea semnalului vocal” – Producerea și percepția vorbirii. Descrieri la nivel acustic și fonetic. Reprezentări în domeniile timp și frecvență. Variabilitatea semnalului vocal. Principiul predicției liniare în tehnologia vorbirii; vocoderul LPC. Alte aplicații ale tehnologiei vorbirii: recunoașterea automată a vorbirii; sinteza vorbirii pornind de la text; sisteme inteligente de dialog om – mașină; sisteme biometrice bazate pe recunoașterea vorbitorului; expertiza criminalistică a vocii și vorbirii	10
6	“Tehnici de prelucrare digitală și procesoare de semnal pentru aplicații audio” – Sisteme digitale de înregistrare – redare pe compact disc. Tehnici de prelucrare digitală utilizate în studiourile profesionale: controlul volumului și mixare, modificarea gamei dinamice, filtrare și egalizare, obținerea unor efecte speciale; modelarea reverberației. Implementarea tehnicilor audio digitale cu procesoare de semnal	6
7	“Rețele neuronale artificiale și învățare automată. Aplicații în prelucrarea semnalelor” – Introducere; utilizarea rețelelor neurale în prelucrarea semnalelor. Trăsături caracteristice; paradigme; principii de învățare. Prelucrare adaptivă utilizând rețele neurale; sisteme adaptive neliniare. Inteligență artificială; tehnici de machine learning. Rețele neurale – prezent și perspective	6
	<b>Total:</b>	42



**Bibliografie:**

1. D. Burileanu, *Tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor*, suport de curs disponibil electronic pe platforma Moodle a facultății de ETTI: <https://curs.upb.ro/>
2. D. Burileanu, Ș. Mihalache, *Prelucrarea digitală a semnalelor: concepte fundamentale, tehnici avansate, aplicații*, MATRIX ROM, București, 2022, ISBN: 978-606-25-0767-1.
3. D.G. Manolakis, V.K. Ingle, *Applied Digital Signal Processing: Theory and Practice*, Cambridge University Press, 2011.
4. S.V. Vaseghi, *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*, Ed. a 4-a, John Wiley & Sons, 2008.
5. Z.M. Hussain, A.Z. Sadik, P. O'shea, *Digital Signal Processing: An Introduction with MATLAB and Applications*, Springer, 2014.
6. U. Zolzer, *Digital Audio Signal Processing*, Ed. a 3-a, John Wiley & Sons, 2022.

**LABORATOR**

Nr. crt.	Conținutul	Nr. ore
1	Semnale deterministe discrete: DFT, filtrare digitală. Semnale aleatorii discrete: reprezentări, mărimi statistice	3
2	Elemente de analiză spectrală pentru semnale aleatorii. Estimare liniară: filtrul Wiener	3
3	Filtre adaptive: algoritmi LMS și NLMS, aplicații	3
4	Sisteme cu eșantionare multiplă: decimare, interpolare, modificarea frecvenței de eșantionare printr-un factor rațional, aplicații	3
5	Tehnici de prelucrare digitală a semnalelor în domeniul audio: aplicații de prelucrare a semnalelor audio și vocale	3
6	Probleme suplimentare pentru aplicații avansate de prelucrare digitală a semnalelor	3
7	Colocviu final	3
	<b>Total:</b>	21

**Bibliografie:**

1. Ș. Mihalache, D. Burileanu, *Tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor – Platforme de laborator*, disponibile în format electronic pe platforma Moodle a facultății de ETTI: <https://curs.upb.ro/>
2. Ș. Mihalache, D. Burileanu, *Prelucrarea digitală a semnalelor: aplicații fundamentale și avansate folosind MATLAB*, MATRIX ROM, București, 2024, ISBN: 978-606-25-0933-0.
3. D. Burileanu, Ș. Mihalache, *Prelucrarea digitală a semnalelor: concepte fundamentale, tehnici avansate, aplicații*, MATRIX ROM, București, 2022, ISBN: 978-606-25-0767-1.

**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 privind diverse tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor. Cunoașterea modului de aplicare a teoriei la probleme specifice de implementare.	Examen în sesiunea de examene (evaluare scrisă)	50%
	Cunoașterea noțiunilor teoretice fundamentale privind diverse tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor. Cunoașterea modului de aplicare a teoriei la probleme specifice de implementare.	Lucrare în timpul semestrului (evaluare scrisă)	10%
11.5 Seminar/laborator/proiect	Înțelegerea algoritmilor și tehnicilor de prelucrare utilizate în domeniu. Cunoașterea modului de simulare și de implementare practică (pe calculator) a metodelor studiate, cu ajutorul unui mediu de dezvoltare evoluat (MATLAB).	Evaluare continuă (evaluare practică și orală)  Colocviu final de laborator (evaluare practică și scrisă)	40%
11.6 Condiții de promovare			
– Obținerea a minimum 50% din punctajul total. – Realizarea obligațiilor caracteristice activității de laborator (participarea la lucrările planificate și susținerea colocviului final).			

## 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)

În ultimele două decenii, domeniul prelucrării digitale a semnalelor (PDS) a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă, atât din punct de vedere teoretic, cât și tehnologic. Cerințele din ce în ce mai mari ale pieței pentru produse ce utilizează tehnici PDS se explică prin avantajul fundamental al utilizării puterii calculului numeric pentru manipularea matematică a semnalelor și prin faptul că producătorii de circuite integrate digitale oferă astăzi circuite ieftine și deosebit de performante ce pot implementa eficient funcții complexe de prelucrare. Privită ca un domeniu de vârf al începutului de secol și mileniu, PDS solicită în mod constant ingineri cu solide cunoștințe teoretice și practice. Disciplina răspunde concret cerințelor actuale de dezvoltare și evoluție a economiei europene în domeniul Ingineriei Electronice, oferind pentru acest domeniu cunoștințe avansate de prelucrare digitală a semnalelor: metode moderne utilizate în prelucrarea statistică a semnalelor aleatorii, filtrare adaptivă, rețele neuronale artificiale și metode de învățare automată, tehnici de prelucrare a semnalelor audio și vocale etc. În contextul progresului actual al tehnologiei informației și dispozitivelor electronice, domeniile de activitate vizate sunt extrem de numeroase: comunicații, inginerie medicală, aparatură de instrumentație, cercetarea spațiului cosmic, tehnologii multimedia, electronică de consum, robotică și interfețe inteligente om-mașină, mașini autonome, tehnologii biometrice, expertiză criminalistică a înregistrărilor digitale audio/video etc.

Se asigură astfel studenților competențe adecvate cu necesitățile calificărilor actuale și o pregătire științifică și tehnică moderne, de calitate și competitive, 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. Posibیلی angajatori vizează atât mediul academic (profil



**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București**

**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și**


**Tehnologia Informației**



didactic și de cercetare), cât și mediul de cercetare-dezvoltare din instituțiile de stat și private care utilizează metode și tehnici avansate de prelucrare digitală a semnalelor.

Conținutul disciplinei este în mare măsură similar cu cel al disciplinelor cu aceleași obiective predate în universități din Uniunea Europeană și este actualizat și adaptat continuu în urma consultărilor cu reprezentanții mediului de afaceri.

Data completării	Titular de curs	Titular(i) de aplicații
09.09.2022	Prof. dr. ing. Dragoș BURILEANU	Ș.L. dr. ing. Șerban MIHALACHE

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 