**fișa disciplinei**

**1. Date despre program**

|  |  |
| --- | --- |
| 1.1 Instituția de învățământ superior/ | Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA din București/ |
| 1.2 Facultatea | **Facultatea de inginerie aerospațială** |
| 1.3 Departamentul | **Ingineria sistemelor aeronautice si management aeronautic „Nicolae Tipei”** |
| 1.4 Domeniul de studii universitare | Inginerie aerospațială |
| 1.5 Programul de studii universitare | Echipamente si instalații de aviație |
| 1.6 Ciclul de studii universitare | Licență |
| 1.7 Limba de predare | Română |
| 1.8 Locația geografică de desfășurare a studiilor | București |

**2. Date despre disciplină**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2.1 Denumirea disciplinei/ Cours title  (ro)  (en) | | | **Navigație inerțială**  **Inertial Navigation** | | | | | | | |
| 2.2 Titularul activităților de curs | | | | | Valentin PANĂ | | | | | |
| 2.3 Titularul activităților de laborator | | | | | Valentin PANĂ | | | | | |
| 2.4 Anul de studiu | 4 | 2.5 Semestrul | | I | | 2.6. Tipul de evaluare | V | | 2.7 Statutul disciplinei | Ob. |
| 2.8 Categoria formativă | | DS | | 2.9 Codul disciplinei | | | | UPB.09.S.08.O.023 | | |

**3. Timpul total** (ore pe semestru al activităților didactice

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.1 Număr de ore pe săptămână | 4 | | Din care: 3.2 curs | | 2 | 3.3 laborator | 2 |
| 3.4 Total ore din planul de învățământ | 56 | | Din care: 3.5 curs/ | | 28 | 3.6 laborator | 28 |
| Distribuția fondului de timp | | | | | | | ore |
| Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe. Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate Pregătire proiect, teme, referate, portofolii și eseuri | | | | | | | 30 |
| Tutorat | | | | | | | 10 |
| Examinări | | | | | | | 4 |
| Alte activități (dacă există): | | | | | | |  |
| **3.7 Total ore studiu individual** | | **44** | |
| 3.8 Total ore pe semestru | | **100** | |
| 3.9 Numărul de credite | | **4** | |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 4.1 de curriculum | Parcurgerea următoarelor discipline: Construcția aparatelor de bord, Introducere în teoria sistemelor dinamice, Elemente de calcul ale aparatelor de bord, Echipamente de bord și navigație aeriană, Fundamente de navigație aeriană. |
| 4.2 de rezultate ale învățării | Cunoașterea aprofundată a următoarelor domenii: Algebra, Analiza, Ec. diferențiale ordinare, Limbaje avansate de programare, Metode numerice in aviație, Mecanica – Cinematica, Statică, Dinamica. |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 5.1 de desfășurare a cursului | Cursul se va desfășura într-o sală dotată cu videoproiector și computer. |
| 5.2 de desfășurare a laboratorului | Laboratorul se va desfășura într-o sală cu dotare specifică, care trebuie să includă rețea de calcul necesara lucrului asistat la modelarea și testarea echipamentelor de navigație inerțială. Software utilizat MATLAB. |

**6. Obiectiv general**

Această disciplină se studiază în cadrul domeniului INGINERIE AEROSPATIALA /specializarea ECHIPAMENTE SI INSTALATII DE BORD și își propune să familiarizeze studenții cu principalele abordări, modele și teorii explicative ale domeniului, utilizate în rezolvarea de aplicații practice și probleme, cu relevanță pentru stimularea procesului de învățare la studenți.

Scopul general este însușirea și aprofundarea cunoștințelor privind metodele, modelele matematice și tehnologiile asociate sistemelor de navigație inerțială, ca suport pentru proiectarea, implementarea și evaluarea acestor sisteme în cadrul aplicațiilor aerospațiale.

Elemente importante în atingerea acestui scop:

* **Înțelegerea fundamentelor teoretice ale navigației inerțiale, incluzând:** ecuațiile de mișcare ale unui punct material în referențiale inerțiale și neinerțiale; principiile de funcționare ale accelerometrelor și giroscoapelor; teoria senzorilor MEMS și opticilor moderne (FOG, RLG).
* **Cunoașterea și clasificarea sistemelor de navigație inerțială, cu accent pe: sistem de navigație inerțială (**INS – Inertial Navigation System) cu platformă stabilizată și INS strap-down.
* **Capacitatea de analiză a performanțelor sistemelor INS, prin:** evaluarea erorilor specifice (drift, bias, deriva giroscopului, erori de scală etc.); înțelegerea mecanismelor de propagare a erorilor; studierea comportamentului sistemelor în scenarii de zbor reale sau simulate.
* **Aplicarea metodelor numerice pentru modelarea și simularea sistemelor INS, prin:**  dezvoltarea de modele matematice în medii de simulare precum MATLAB/Simulink; validarea funcționării senzorilor și a algoritmilor de navigație; proiectarea de scheme funcționale pentru determinarea atitudinii și poziției.
* **Integrarea soluțiilor obținute de sistemul INS cu alte sisteme de navigație**, fuziunea de date prin filtre Kalman și metode hibride INS/GNSS; utilizarea acestor sisteme în arhitecturi moderne de avionică integrată.
* **Dezvoltarea abilităților de proiectare inginerească:** selectării tipurilor adecvate de senzori în funcție de misiunea vehiculului; proiectării de soluții pentru navigație robustă în condiții de perturbații sau pierdere temporară a semnalului GPS; evaluării sistemelor pentru uz operațional în domeniul aerospațial.
* **În cadrul laboratorului,** accentul este pus pe învățarea prin intermediul modelării matematice și a experimentelor**.** Studenții lucrează pe calculator pentru a modela și simula comportamentul senzorilor inerțiali și al sistemelor de navigație, folosind MATLAB/Simulink. Sunt utilizate experimente practice cu ajutorul unui sistem de navigație inerțială specializat astfel încât se pot urmări caracteristicile reale ale soluțiilor de atitudine și poziției, precum si integrarea datelor INS-GPS.

**7. Rezultatele învățării**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cunoștințe** | * **Enumeră** principalele tipuri de sisteme de navigație inerțială și clasificările acestora în funcție de arhitectură și aplicație * **Recunoaște** componentele fundamentale ale unui sistem INS (accelerometre, giroscoape, calculatoare de navigație) și explică rolul fiecăruia. * **Explică principiile de funcționare ale sistemelor INS cu și fără platformă (strap-down), incluzând aspecte legate de orientare, poziție și viteză.** * **Compară** diferite tipuri de senzori inerțiali (ex. MEMS vs. FOG), identificând avantajele și limitările fiecăruia. * **Clasifică** erorile caracteristice sistemelor de navigație inerțială și distinge între sursele sistematice și aleatorii ale acestor erori. * **Explică** principiul de integrare INS-GPS și descrie avantajele fuziunii de date în navigația aparatelor de zbor. * **Identifică și descrie** principiile și metodele de bază ale ingineriei aerospațiale. * **Analizează și explică** rezultate teoretice și experimentale, documentație tehnică , fenomene și procese din domeniul aerospațial. |
| **Abilități** | * **Identifică soluții** pentru estimarea poziției și atitudinii vehiculului utilizând datele senzorilor inerțiali. * **Aplică** modele matematice de prelucrare a semnalelor pentru determinarea mărimilor de navigație (poziție, viteză, orientare). * **Propune un plan de rezolvare** pentru integrarea datelor INS-GPS într-un sistem multisenzor și selectează arhitectura de fuziune adecvată. * **Dezvoltă** scheme funcționale pentru un navigator strap-down folosind software de simulare (ex. MATLAB/Simulink). * **Formulează puncte de vedere și concluzii** cu privire la performanța sistemelor INS în condiții de zbor simulate sau reale. * **Anticipează etapele** necesare procesării datelor senzorilor pentru determinarea orientării și poziției în coordonate geografice. * **Adaptează** modelele de navigație în funcție de tipul senzorilor și aplicația specifică. * **Interpretează adecvat relațiile de cauzalitate** dintre erorile senzorilor și deriva pozițională/atitudinală a sistemelor de navigație. * **Operează cu principii și metode de bază** din domeniu și le asociază cu reprezentări grafice specifice domeniului ingineriei aerospațiale. * **Aplică** principii și metode de bază din tehnologiile digitale și rezolvă probleme de complexitate medie asociate reprezentărilor grafice, bazelor de date, modelării și simulării, specifice ingineriei aerospațiale. * **Selectează și aplică** concepte, principii și metode de bază din domeniu pentru calcule specifice unor aplicații aerospațiale. * **Selectează și aplică** criterii, principii și metode de evaluare pentru identificarea, modelarea și experimentarea fenomenelor și proceselor specifice ingineriei aerospațiale, analizează și interpretează rezultatele obținute. * **Elaborează** proiecte profesionale de complexitate medie prin selectarea, combinarea și utilizarea de concepte, principii, metodologii și tehnologii din domeniu. * **Utilizează** cunoștințelor din disciplinele fundamentale ale ingineriei în efectuarea de calcule, demonstrații și aplicații, pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale. * **Utilizează** programe de calcul comerciale și a tehnologiilor digitale pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale, în general, și a celor specifice analizei și proiectării echipamentelor de dirijare, navigație și comandă a aeronavelor, în particular. * **Modelează și** **analizează** dinamica aeronavelor, proiectează sistemele de comandă a zborului, a echipamentelor de stabilizare și reglare automată de la bordul aeronavelor. * **Utilizează și evaluează** performanțele aparatelor de bord și a echipamentelor electrice și hidraulice ale aeronavelor. * **Întreține și inspectează** sistemele și echipamentele de avionică, efectuează diagnoza defectelor și dă soluții de reparare a acestora. * **Selectează, combină și utilizează** cunoștințele, principiile și metodele din științele de bază ale domeniului inginerie aerospațială și asocierea acestora cu scheme funcționale și reprezentări grafice-desen tehnic pentru rezolvarea de sarcini specifice ingineriei aerospațiale si de sistem. |
| **Responsabilitate și autonomie** | * **Selectează și utilizează surse bibliografice relevante** din domeniul ingineriei aerospațiale și al sistemelor de navigație, demonstrând discernământ în evaluarea calității informațiilor. * **Respectă principiile de etică academică,** citând corect sursele bibliografice utilizate. * **Demonstrează autonomie și inițiativă** în realizarea de lucrări științifice originale în domeniul navigației inerțiale * **Demonstrează receptivitate** pentru contexte noi de învățare in domeniul sistemelor de navigație inerțială. * **Manifestă colaborare** cu ceilalți colegi și cadre didactice în desfășurarea activităților didactice. * **Demonstrează autonomie** în organizarea situației/contextului de învățare sau a situației problemă de rezolvat pentru aparatele de zbor. * **Manifestă responsabilitate socială** prin implicarea activă în viața socială studențească/implicare în evenimentele din comunitatea academică. * **Promovează soluții inovatoare și sustenabile pentru utilizarea sistemelor de navigație inerțială în** domenii aplicative, cum ar fi dronele, transportul autonom sau aplicațiile duale (civile/militare). * **Conștientizează valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei aerospațiale** la identificarea de soluții viabile/sustenabile care să rezolve probleme din viața socială și economică (responsabilitate socială). Utilizarea de sisteme de navigație inerțială în cadrul unor aplicații noi precum transportul urban. * **Aplică principii de etică/deontologie profesională în analiza impactului tehnologic al soluțiilor propuse** în domeniul aparatelor de zbor asupra mediului înconjurător. Programe de conversie a tehnologiilor militare la aplicații civile. * Analizează și interpretează oportunități de afaceri/de dezvoltare antreprenorială în domeniul sistemelor de navigație. * **Demonstrează abilități de management** al situațiilor din viața reală gestionând atent timpul aferent fiecărei activități. * **Selectează** și utilizează surse bibliografice specifice domeniului ingineriei aerospațiale. * **Demonstrează autonomie** în învățare pe problematici specifice domeniului ingineriei aerospațiale. * **Execută responsabil sarcinile profesionale**, cu respectarea valorilor și eticii profesionale, în condiții de autonomie restrânsă și asistență calificată, pe baza documentării, raționamentului logic, convergent și divergent, aplicabilității practice, evaluării, autoevaluării și deciziei optime. * **Realizează activități** și desfășoară roluri specifice muncii în echipă pe diferite responsabilități și distribuie de sarcini pentru nivelurile subordonate, pe baza comunicării și dialogului, cooperării, atitudinii pozitive și respectului fată de ceilalți, recunoașterii diversității și multiculturalității, utilizării feed-back-ului pentru îmbunătățirea activității proprii, spiritului de inițiativă și conștientizării limitărilor impuse de echipa de conducere. * **Autoevaluează** obiectiv nevoia de formare profesională continuă și deschiderea către învățarea pe tot parcursul vieții, precum și utilizarea eficientă a abilităților lingvistice, a cunoștințelor de tehnologia informației și a comunicării pentru dezvoltarea personală și profesională, în scopul inserției pe piața muncii și al adaptării la dinamica cerințelor acesteia. |

**8. Metode de predare**

Pornindu-se de la analiza caracteristicilor de învățare ale studenților și de la nevoile lor specifice, procesul de predare pentru disciplina Navigație inerțială valorifică metode didactice centrate pe student, care stimulează implicarea activă, descoperirea, colaborarea și aplicabilitatea practică.

Se utilizează o combinație echilibrată de metode expozitive (prelegere, expunere) și metode interactive-conversative, precum învățarea prin descoperire, demonstrația, modelarea matematică și simularea, completate de metode bazate pe acțiune: exerciții, activități practice și rezolvarea de probleme tehnice.

În cadrul activității de la curs:

Se vor desfășura prelegeri interactive, susținute cu ajutorul unor prezentări PowerPoint ilustrate cu imagini, grafice, diagrame și animații pentru facilitarea înțelegerii conceptelor abstracte;

Fiecare curs va începe prin recapitularea logică a conținutului anterior, punând accent pe conexiunile dintre teme și pe aplicabilitatea practică a noțiunilor;

Se vor folosi filmulețe demonstrative și simulări (acolo unde este posibil), pentru a exemplifica funcționarea sistemelor de navigație inerțială și a senzorilor;

Calculele demonstrative vor fi prezentate secvențial, studenții fiind invitați să completeze etape din algoritm sau să contribuie la identificarea soluțiilor.

În activitatea de laborator:

Studenții vor realiza modelări și simulări numerice ale sistemelor de navigație inerțială folosind medii specializate (ex. MATLAB/Simulink), lucrând și în echipe pentru a stimula cooperarea și învățarea colaborativă;

Se vor rezolva sarcini tehnice, proiecte și studii de caz bazate pe scenarii reale sau simulate;

Va fi încurajată autoevaluarea și reflecția critică, prin discutarea în grup a rezultatelor obținute și prin analiza comparativă a soluțiilor implementate.

Pentru a asigura participarea activă și progresul fiecărui student:

Se va monitoriza ritmul de asimilare a cunoștințelor și se vor oferi sesiuni de clarificare și sprijin în cazul identificării unor rămâneri în urmă;

Studenții vor fi încurajați să aleagă teme de lucru personalizate (în cadrul laboratoarelor), în funcție de interesele proprii sau domeniul de aplicație vizat (aviație civilă, UAV);

Se vor exersa constant abilitățile de ascultare activă și comunicare asertivă, prin lucrul în echipă, dezbateri aplicate și construirea feedbackului constructiv.

Această abordare didactică urmărește să creeze un climat favorabil învățării prin descoperire, în care fiecare student este sprijinit în construcția unui parcurs propriu de învățare, bazat pe înțelegere profundă, aplicabilitate practică și autonomie profesională.

**9. Conținuturi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CURS** | | |
| **Capitolul** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| I | Ecuațiile de mișcare a punctului material in raport cu sistemele de referință inerțiale si neinerțiale  Utilizarea accelerometrelor și girometrelor în cadrul sistemelor de navigație inerțială, Caracteristicile sistemelor de măsurare a accelerației și a vitezei unghiulare.  **Principiile de funcționare ale sistemelor de navigație inerțială** | **18** |
| II | **Tipuri de sisteme de navigație inerțială și caracteristicile acestora**  Sisteme de navigație inerțială fără platforma (Strap-Down). Variante Constructive.  Sisteme de navigație inerțială cu platformă. Variante Constructive.  Erorile sistemelor de navigație inerțială.  Sistem integrate de navigație, inerțial-GPS. | **10** |
|  | **Total:** | **28** |
| **Bibliografie:**   1. **Pană V. Navigație inerțială curs** [**https://archive.curs.upb.ro/2023/course/view.php?id=12729**](https://archive.curs.upb.ro/2023/course/view.php?id=12729) **(Seria EIA - 2023)", MOODLE, 143p** 2. **Aron, I., Lungu, R.-Sisteme de navigatie aerospatiala, Editura Scrisul Romanesc Craiova 1989** 3. **Paul D. Groves - Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Artech House, 2013** 4. **Averil B. Chatfield, Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 1997** | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **LABORATOR** | | |
| **Nr. crt.** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| 1. | **Modelarea senzorilor inerțiali micro-electro-mecanici (MEMS)** | 4 |
| 2. | **Studiul algoritmilor de filtrare a semnalelor generate de către senzorii inerțiali** | 4 |
| 3. | **Implementare schemă de determinare a atitudinii pe baza senzorilor inerțiali** | 4 |
| 4. | **Implementare schemă de determinare a poziției pe baza senzorilor inerțiali** | 4 |
| 5. | **Girometre optoelectronice** | 4 |
| 6. | **Analiza erorilor sistemelor de navigație inerțială** | 4 |
| 7. | **Determinarea soluției de navigație pe baza sistemului inerțial integrat XSENS Mti-G** | 4 |
|  | **Total:** | **28** |
| **Bibliografie:**   1. **Pană V. Navigație inerțială curs** <https://archive.curs.upb.ro/2023/course/view.php?id=12729> **(Seria EIA - 2023)", MOODLE, 143p** 2. **David Titterton, John L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd Edition** | | |

**10. Evaluare**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tip activitate | 10.1 Criterii de evaluare | 10.2 Metode de evaluare | 10.3 Pondere din nota finală |
| 10.4 Curs | Rezolvarea subiectelor de colocviu | Colocviu scris | 20% |
| - Recunoașterea și explicarea corectă a sistemelor de referință inerțiale și neinerțiale; - Capacitatea de a analiza și descrie funcționarea senzorilor de navigație (accelerometre, giroscoape);  - Tipuri de sisteme de navigație inerțială și caracteristicile acestora - Explicarea erorilor inerente sistemelor de navigație și a metodelor de compensare; - Înțelegerea principiilor de integrare INS-GPS. |  |  |
| 10.5 Laborator | Parcurgerea și înțelegerea etapelor de modelare și simulare a unui sistem de navigație inerțială; | Evaluare laborator si alte notari | 60%  20% |
| Aplicarea corectă a metodelor numerice în analiza semnalelor senzorilor inerțiali; |  |  |
| 10.6 Condiții de promovare | | | |
| Obținerea a 50% din punctajul total. | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Data completării | Titular de curs  SL Valentin PANA | Titular de aplicații  SL Valentin PANA |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Data avizării în departament | Director de departament Prof. Teodor-Viorel CHELARU  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |
|  |  | |
| Data aprobării în Consiliul Facultății | Decan Prof. Daniel-Eugeniu CRUNTEANU | |