**fișa disciplinei Elemente de CALCUL ALE aparatelor de bord**

**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  (ro)  (en) | | | **Elemente de Calcul ale Aparatelor de Bord**  **Sensors and Algorithms in Avionics** | | | | | | | |
| 2.2 Titularul/ii activităților de curs | | | | | Constantinescu Cristian Emil | | | | | |
| 2.3 Titularul/~~ii activităților de seminar / laborator/~~proiect | | | | | Ene Costin | | | | | |
| 2.4 Anul de studiu | 4 | 2.5 Semestrul | | I | | 2.6. Tipul de evaluare | E | | 2.7 Statutul disciplinei | Ob |
| 2.8 Categoria formativă | | DS | | 2.9 Codul disciplinei | | | | UPB.09.S.07.O.019 | | |

**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 proiect | 2 |
| 3.4 Total ore din planul de învățământ | 56 | | Din care: 3.5 curs | | 28 | 3.6 seminar/laborator/proiect | 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 | | | | | | | 41 |
| Tutorat | | | | | | | x |
| Examinări | | | | | | | 3 |
| Alte activități (dacă există): | | | | | | | x |
| 3.7 Total ore studiu individual | | **44** | |
| 3.8 Total ore pe semestru | | **100[[1]](#footnote-1)** | |
| 3.9 Numărul de credite | | **4[[2]](#footnote-2)** | |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 4.1 de curriculum | Parcurgerea următoarelor discipline:   * Programarea calculatoarelor și limbaje de programare * Ecuații diferențiale * Mecanica, * Echipamente de bord și navigație aeriană. * Calculul aparatelor de bord |
| 4.2 de rezultate ale învățării | Acumularea următoarelor cunoștințe:   * Ecuații diferențiale ordinare, * Mecanica – Cinematica, Statica, Dinamica, * Ecuațiile mișcării aparatelor de zbor. * Un limbaj de programare |

**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. |
| 5.2 de desfășurare a seminarului/laboratorului/ proiectului | Laboratorului de specialitate dotat cu surse de aviație, echipamente de bord si aparate specifice pentru dezvoltare hardware/software (osciloscop, multimetre, calculatoare, microsisteme de calcul etc) |

**6. Obiectiv general**

Cursul își propune să ofere studenților cunoștințele teoretice și practice necesare pentru înțelegerea, modelarea și implementarea sistemelor moderne de determinare a atitudinii utilizate în avionică și navigație. Accentul este pus pe sistemele AHRS (Attitude and Heading Reference System), care integrează senzori inerțiali (giroscoape și accelerometre) și magnetometrici pentru a furniza estimări precise ale orientării unui vehicul aerian. Se studiază atât principiile clasice de funcționare ale giroscoapelor mecanice, cât și tehnologiile moderne bazate pe senzori MEMS și giroscoape optice. Sunt prezentate metode avansate de fuziune a datelor provenite de la mai mulți senzori, inclusiv utilizarea filtrelor complementare și a filtrului Kalman (standard și extins).

Studenții vor învăța să modeleze dinamica senzorilor, să implementeze algoritmi de estimare a atitudinii și să evalueze performanța acestora pe date reale sau simulate. Cursul oferă o bază solidă pentru înțelegerea și dezvoltarea sistemelor de navigație inerțială și a aplicațiilor moderne din domeniul aerospațial.

În plus, studenții vor dezvolta in cadrul proiectului competențe practice esențiale, prin implementarea și testarea soluțiilor teoretice în simulări și realizări fizice.

**7. Rezultatele învățării**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cunoștințe** | * Studenții vor putea identifica și explica conceptele fundamentale ale sistemelor de determinare a atitudinii, incluzând teoria senzorilor inerțiali și metodele de integrare. * Vor recunoaște și înțelege funcționarea principalelor tipuri de senzori utilizate în sistemele inerțiale (senzori clasici, optici și MEMS). * Vor putea descrie principiile de bază ale algoritmilor folosiți pentru determinarea atitudinii, inclusiv filtrul Kalman extins. * Vor înțelege procesele de hibridizare a datelor și rolul acestora în îmbunătățirea performanței sistemelor de navigație inerțială. * **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** | * Studenții vor dobândi abilități de aplicare a teoriilor în practică, utilizând tehnici de integrare a datelor și hibridizare a semnalelor pentru a determina cu precizie atitudinea într-un sistem de bord. * Vor fi capabili să aplice algoritmi de estimare a atitudinii, inclusiv filtrul Kalman extins, pentru îmbunătățirea preciziei estimărilor. * Studenții vor putea implementa soluții de calcul și să efectueze simulări pentru evaluarea performanțelor sistemelor de determinare a atitudinii, testându-le în condiții reale și identificând posibile erori sau defecțiuni ale senzorilor. * **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** | * Studenții vor demonstra autonomie în organizarea și gestionarea activităților legate de implementarea și testarea algoritmilor pentru determinarea atitudinii. * Vor adopta un comportament responsabil în contextul lucrului cu sisteme complexe, asigurându-se de calitatea datelor și validitatea soluțiilor tehnice propuse. * Studenții vor învăța să colaboreze eficient în echipe multidisciplinare pentru rezolvarea problemelor legate de integrarea senzorilor și evaluarea performanțelor acestora. * Vor aplica principii de etică profesională, în special în ceea ce privește impactul tehnologiilor asupra siguranței și fiabilității sistemelor de bord. * **Selectează** și utilizează surse bibliografice specifice domeniului. * **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**

În cadrul acestui curs, procesul de predare se va axa pe un mix de metode activ-centrare, care să faciliteze învățarea interactivă și să sprijine dezvoltarea competențelor teoretice și practice ale studenților. Se va pune accent pe aplicabilitatea reală a conceptelor în domeniul avionica, prin integrarea teoriei cu exerciții practice, simulări și studii de caz relevante.

Vor fi utilizate prelegeri interactive, susținute prin prezentări vizuale (PowerPoint) și materiale multimedia, care vor ajuta studenții să înțeleagă fundamentele teoretice ale determinării atitudinii, precum și arhitectura sistemelor de senzori și algoritmi. Aceste sesiuni vor fi urmate de discuții, întrebări și exemple aplicate, pentru a stimula gândirea critică și înțelegerea aprofundată a materialului.

În paralel cu teorie, studenții vor fi implicați în activități practice, inclusiv simulări în MATLAB/Simulink, pentru a experimenta direct cu implementarea algoritmilor de integrare și hibridizare a datelor din senzorii inerțiali. Aceste simulări vor oferi o înțelegere practică a proceselor de determinare a atitudinii și vor permite studenților să aplice tehnici avansate, cum ar fi filtrul Kalman extins, într-un mediu controlat.

Colaborarea și învățarea în echipă vor fi încurajate în timpul cursului, în special în cadrul activităților practice, unde studenții vor rezolva sarcini de grup ce implică integrarea și evaluarea sistemelor de senzorii. Aceste sesiuni de lucru în echipă vor contribui la dezvoltarea abilităților de comunicare și de rezolvare a problemelor, esențiale în ingineria avionica.

Pe parcursul cursului, se vor organiza și feedback-uri periodice pentru a monitoriza progresul studenților și pentru a identifica eventualele lacune în înțelegerea materialului. În caz de dificultăți de învățare, vor fi oferite sesiuni de remediere pentru aprofundarea unor concepte mai dificile sau pentru sprijinirea studenților care întâmpină dificultăți în aplicarea algoritmilor sau în utilizarea instrumentelor de simulare.

În acest fel, procesul de predare va fi adaptat continuu la nevoile de învățare ale studenților, cu scopul de a asigura o învățare activă și aprofundată a metodologiilor avansate de determinare a atitudinii, dar și o înțelegere clară a aplicațiilor din industria avionica.

**9. Conținuturi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CURS** | | |
| **Capitolul** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| I | **Sisteme de Referință și Reprezentarea Atitudinii**   * Sisteme de coordonate utilizate în aviație * Reprezentarea atitudinii:   + unghiuri Euler,   + matricea cosinusurilor directori (DCM)   + cuaternionii * Ecuațiile de propagare * Metode de determinare a atitudinii fără propagare. Algoritmi de tip TRIAD. | **4** |
| II | **Modelarea și funcționarea giroscoapelor**   * Giroscopul clasic: ecuațiile lui Euler și formele modificate * Construcția giroscopului clasic de viteză unghiulară * Giroorizontul, centrala de cap și verticală | **4** |
| III | **Tehnologia senzorilor MEMS**   * Elemente mecanice și electrice ale senzorilor MEMS * Construcția accelerometrelor MEMS * Construcția giroscoapelor MEMS * Giroscoape optice: principiul girolaserului | **4** |
| IV | **4. Estimarea Atitudinii: Algoritmi și Filtrare**   * Estimarea atitudinii folosind filtre complementare. * Filtrul Madgwick. * Estimarea atitudinii folosind filtrarea Kalman:   + Filtrul Kalman standard: algoritm, implementare, proprietăți   + Filtrul Kalman extins (EKF)   + Formulări posibile ale algoritmului de propagare. | **2** |
|  | **Total:** | **28** |
| **Bibliografie:**   1. Constantinescu Cristian Emil, Elemente de Calcul ale Aparatelor de Bord, suport de curs electronic, <https://curs.upb.ro/2024/course/view.php?id=5011> 2. Aron, I. Aparate de bord pentru aeronave 3. Noureldin, A. - Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration, Springer, 2013 4. Longhurst, G – Instrumentation & Electronics, CLICK2PPSC Ltd, 2001 5. Titterton, D.H., Weston, J.L. Strapdown Inertial Navigation Technology, ed. 2, IEE press, 2007 6. Mohinder S., Angus P., Chris G. - Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration, Wiley, 2020 7. Acar, C., Shkel, A. – MEMS Vibratory Gyroscopes, Springer, 2009 8. Eubank, R.L. – A Kalman Filter primer, CHAPMAN & Hall/CRC 2006 9. Rogers, R.M. – Applied Mathematics in integrated navigation systems, ed. 2, AIAA 2003 10. Dickmann, K – Laser Gyro, Laserzentrum FH Munster, MEOS, 2006 | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **~~LABORATOR/ SEMINAR/~~PROIECT** | | |
| **Nr. crt.** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| 1. | Analiza, sinteza si implementarea practica a unui sistem AHRS folosind senzori MEMS si diverși algoritmi de integrare. Lucru in echipa asistat la rețeaua din laboratorul de specialitate. Dezvoltare hardware si software. | 28 |
|  | **Total:** | **28** |
| Bibliografie:   1. Constantinescu Cristian Emil, Elemente de Calcul ale Aparatelor de Bord, suport de curs electronic, <https://curs.upb.ro/2024/course/view.php?id=5011> 2. Aron, I. Aparate de bord pentru aeronave 3. Eubank, R.L. – A Kalman Filter primer, CHAPMAN & Hall/CRC 2006 4. Rogers, R.M. – Applied Mathematics in integrated navigation systems, ed. 2, AIAA 2003 5. Margolis, M. – Arduino Cookbook, O'Reilly Media, 2014 6. Antunes, S. - DIY Instruments for Amateur Space, Maker Media, Inc, 2013 | | |

**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 | Examen scris tip grila. | 50% |
| 10.5 ~~Seminar/laborator/~~proiect | Realizarea fizica si implementarea algoritmilor pentru AHRS. Prezentarea in echipa a proiectului realizat. | Verificări pe parcurs, prezentare si verificare proiectelor | 50% |
| 10.6 Condiții de promovare | | | |
| Punctajul final se face prin adunarea punctajelor din evaluarea de proiect cu cel de la examenul final. Condiția de promovare este de minim 50 de puncte. | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Data completării  08/07/2025 | Titular de curs | Titular de aplicații |
|  | Conf.dr.ing. CONSTANTINESCU Cristian Emil | As.dr,ing. ENE Costin |
|  |  |  |
| Data avizării în departament | Director de departament  Prof.dr.ing. Teodor-Viorel CHELARU | |
|  |  | |
| Data aprobării în Consiliul Facultății | Decan  Prof.dr.ing Daniel CRUNȚEANU | |

1. *Se va calcula ținând cont că se acordă un credit pentru volumul de muncă care îi revine unui student cu frecvență la zi pentru a echivala 25 de ore de pregătire pentru dobândirea rezultatelor învățării.* [↑](#footnote-ref-1)
2. Se va completa conform planului de învățământ. [↑](#footnote-ref-2)