

Programul:	Resurse Umane
Tipul proiectului:	Proiecte de cercetare pentru stimularea constituirii de tinere echipe de cercetare independente
Cod proiect:	PN-II-RU-TE-2014-4-0849

SINTEZA LUCRĂRII,

cuprinzând activitatea desfășurată și rezultatele obținute comparativ cu obiectivele proiectului de cercetare

pentru
- Etapa I (2015) -

Titulul proiectului:

ARHITECTURI MODERNE PENTRU CONTROLUL ATERIZĂRII AERONAVELOR

Etapa I (2015), *Documentație cu privire la aterizarea aeronavelor și proiectarea modelelor analitice ale senzorilor și observerelor multiple*, s-a derulat pe parcursul a 3 luni calendaristice (octombrie - decembrie), perioadă în care s-au realizat toate cele **5 activități**:

- I.1.** Studii de documentare despre dinamica aeronavelor, erorile senzorilor și perturbațiile atmosferice în timpul aterizării aeronavelor.
- I.2.** Studii de documentare despre metodele moderne, optimale și adaptive, pentru controlul zborului aeronavelor la aterizare.
- I.3.** Proiectarea modelelor analitice complexe ale senzorilor.
- I.4.** Proiectarea observerelor multiple pentru mișcările longitudinală și laterală în timpul aterizării.
- I.5.** Construirea paginii web a proiectului – diseminarea rezultatelor.

și s-au îndeplinit toate cele **6 obiective specifice** prevăzute:

- OS1.** Cunoașterea dinamicii aeronavelor, erorilor senzorilor și perturbațiilor atmosferice în timpul aterizării.
- OS2.** Cunoașterea metodelor adaptive și optimale, existente în prezent, pentru controlul aeronavelor la aterizare.
- OS3.** Conceperea modelelor analitice ale senzorilor luând în calcul atât erorile lor deterministe cât și cele stochastice.
- OS4.** Proiectarea unui observer multiplu pentru aterizarea aeronavelor în plan longitudinal.
- OS6.** Proiectarea unui observer multiplu pentru aterizarea aeronavelor în plan lateral-direcțional.
- OS21.** Diseminarea rezultatelor în mediul științific, academic și socio-economic prin proiectarea unei pagini web.

Pe lângă realizarea activităților științifice, membrii echipei de cercetare au urmărit și realizarea activităților administrative și de management prevăzute (elaborarea de rapoarte, distribuire sarcini și urmărire termene de realizare, etc.), care au concurat la finalizarea în bune condiții a acestei etape. Au avut loc, astfel, întâlniri periodice între membrii echipei de cercetare, mai ales în condițiile în care cei doi doctoranzi angrenați în proiect sunt doctoranzi ai Universității „Politehnica” București. De asemenea, echipa de cercetare s-a reunit în complet în două ședințe pentru a analiza activitățile desfășurate până în acel moment și rezultatele obținute, precum și pentru a stabili programul acțiunilor următoare ale fiecărui membru. Fondurile alocate în această etapă atât pentru mobilități, cât și pentru cheltuielile cu personalul, au fost utilizate integral.

În cele ce urmează se vor prezenta sintetic activitatea desfășurată și rezultatele obținute în fiecare din cele cinci activități prevăzute pentru a fi realizate în această etapă.

Activitatea I.1. Studii de documentare despre dinamica aeronavelor, erorile senzorilor și perturbațiile atmosferice în timpul aterizării aeronavelor

Prima dintre cele cinci activități ale Etapei I (3 luni - 2015) are ca scop ducerea la îndeplinire a primului obiectiv al etapei și a vizat, în principal, un studiu bibliografic pentru stabilirea dinamicii aeronavelor în timpul procesului de aterizare, tipurilor de erori ale senzorilor și tipurile de perturbații ce afectează procesul de aterizare a aeronavelor. În studiul bibliografic au fost consultate un număr de 50 referințe (cărți, articole de revistă și de conferință, standarde și diverse site-uri). *Prezentarea detaliată a chestiunilor științifice studiate, precum și a algoritmilor obținuți poate fi descărcată de pe pagina UEFISCDI cu acceptul acestei instituții și a directorului de proiect.*

Activitatea I.2. Studii de documentare despre metodele moderne, optimale și adaptive, pentru controlul zborului aeronavelor la aterizare

A doua dintre cele cinci activități ale Etapei I are ca scop ducerea la îndeplinire a celui de-al doilea obiectiv al etapei (**Obiectivul OS2: Cunoașterea metodelor adaptive și optimale, existente în prezent, pentru controlul aeronavelor la aterizare**) și a vizat, în principal, un studiu bibliografic pentru stabilirea metodelor moderne, optimale și adaptive, ce au fost utilizate pentru a controla principalii parametri ce caracterizează mișcarea aeronavelor, atât în plan longitudinal cât și în plan lateral-direcțional, în cadrul procesului de aterizare. De asemenea, au fost identificate principalele bariere (puncte slabe) ale ALS-urilor ce au fost deja proiectate până în zilele noastre, precum și soluții ce ar putea îmbunătăți robustețea și calitatea a acestor sisteme. În studiul

bibliografic au fost consultate un număr de 63 referințe (cărți, articole de revistă și de conferință, standarde și diverse site-uri).

Bariere tehnico-științifice care au împiedicat răspândirea și utilizarea, pe scară largă, a ALS-urilor optimale și adaptive, precum și soluțiile noastre la aceste probleme, ce vor fi puse în practică în prezentul proiect, sunt prezentate mai jos.

Nr.	Bariere tehnico-științifice	Soluțiile noastre la aceste bariere tehnico-științifice
1.	Metodele de proiectare a observatorilor liniare utilizează dinamici liniare – obținute prin liniarizare, luând în calcul un singur regim de funcționare	În cadrul sistemelor optimale și adaptive de control al aeronavelor la aterizare, se vor utiliza observare multiple; acestea vor fi proiectate cu ajutorul modelelor multiple (bazate pe mai multe modele liniare, fiecare dintre ele furnizând informații despre sistem într-un regim de funcționare specific).
2.	Nici un ALS proiectat până azi nu ia în calcul, în dinamica aeronavei, în același timp, toate erorile senzorilor, rafalele și turbulențele atmosferice	Această barieră tehnico-științifică va fi „ridicată”: rafalele (având formă sinusoidală), turbulențele atmosferice (cu model spectral de tip Dryden [45]) și toate erorile senzorilor vor fi modelate, incluse în dinamica aeronavei, implementate software ca <i>blocuri de eroare</i> , influența lor fiind cuantificată împreună cu creșterea robusteții sistemului automat de control al aterizării.
3.	În literatură, sunt considerate doar modele simpliste ale erorilor senzorilor; acestea se bazează pe aproximări forțate, chiar empirice, fiind, deci, inadecvate pentru un studiu complet și complex al ALS-urilor.	În afară de erorile deterministe ale senzorilor (valori fixe), se vor lua în calcul și variațiile acestor erori în funcție de condițiile de utilizare (de ex. variația temperaturii). Se vor concepe modele analitice complexe ale acestor senzori (implementate software) ce vor lua în calcul, pe lângă erorile deterministe, și pe cele stohastice.
4.	Nici un ALS nu utilizează un algoritm care să modifice on-line ponderile tehnicilor de control H_2 și H_∞ în legea de control H_2/H_∞ ; acest lucru poate duce la scăderea acurateții ALS-ului.	Un algoritm din literatura va fi particularizat și utilizat; o constantă (k) va fi modificată on-line astfel încât aeronava să urmărească cu acuratețe traiectoria optimă la aterizare; dacă $k=1$, legea de control este proiectată utilizând doar tehnica H_∞ ; dacă $k=0$, legea de control este proiectată utilizând doar tehnica H_2 ; dacă k este între 0 și 1, cele două tehnici vor avea diferite ponderi nule în legea de control.
5.	Pentru mișcarea liniarizată a aeronavelor, se proiectează ALS-uri separate pentru planurile longitudinal și, respectiv, lateral.	După proiectarea ALS-urilor – planul longitudinal (controlul coborării pe pantă și planării) și ALS-urilor – planul lateral (controlul automat al direcției de zbor), vom concatena cele două subsisteme ale pilotului automat pentru aterizare.
6.	În cadrul sistemelor adaptive de control al zborului la aterizare, rețelele neuronale pot avea dificultăți de adaptare.	Blocuri PCH vor fi proiectate și introduse în noile arhitecturi; acestea vor limita pseudo-controlul (modifică semnalele rețelelor neuronale) și vor „muta înapoi” modelul de referință (introducând o corecție asupra răspunsului modelului de referință în raport cu poziția elementului de execuție). De asemenea, vom concepe o metodă nouă și modernă pentru estimarea on-line a semnalului ce trebuie furnizat de către blocurile PCH utilizând, în acest scop, logica fuzzy.
7.	În cadrul sistemelor de control al aterizării aeronavelor, controllerele sunt sensibile la neliniaritățile actuatorilor.	
8.	Perturbațiile încă influențează semnificativ traiectoria aeronavei la aterizare.	Algoritmi de compensare (bazați pe logica fuzzy) vor fi proiectați și termeni adiționali de compensare vor fi adăugați în structura controllerelor.

Prezentarea detaliată a chestiunilor științifice studiate, precum și a algoritmilor obținuți poate fi descărcată de pe pagina UEFISCDI cu acceptul acestei instituții și a directorului de proiect. Având în vedere cele prezentate mai sus, considerăm că Activitatea I.2 a fost îndeplinită în totalitate, iar obiectivul OS2 asociat acestei activități a fost atins.

Activitatea I.3. Proiectarea modelelor analitice complexe ale senzorilor

Această activitate a fost prevăzută pentru a duce la îndeplinire Obiectivul „*Conceperea modelelor analitice ale senzorilor luând în calcul atât erorile lor deterministe cât și cele stohastice*” din etapa curentă a proiectului. Realizarea acestor modele, în prima fază analitice, a vizat posibilitatea efectuării de studii cu grad de complexitate ridicat în cadrul sistemelor de aterizare, având în vedere faptul că literatura de specialitate nu oferă foarte multe informații legate de influențele erorilor senzorilor utilizați pentru detectarea vitezelor unghiulare și/sau accelerațiilor liniare asupra performanțelor sistemelor pentru controlul aterizării aeronavelor. Subiectul este unul cu atât mai sensibil, cu cât tehnologiile de fabricație a senzorilor inerțiali incluși în navigatorii inerțiali strap-down sau în anumite sisteme automate ambarcate sunt îndreptate din ce în ce în ce mai mult către zona dispozitivelor miniaturizate, realizate cu costuri minime, afectate de erori semnificativ mai mari comparativ cu dispozitivele neminiaturizate, cu performanțe ridicate, dar destul de costisitoare.

Având în vedere diversitatea de mărimi și domenii de aplicabilitate aferente aparatelor de zbor, de la MAV-uri, drone și UAV-uri, până la aeronave militare și civile de transport, mai toate tehnologiile de fabricație aferente senzorilor inerțiali pot concura cu succes la ocuparea unui loc în sistemul de detecție al unui sistem de control automat al aterizării aeronavelor. Acest lucru poate fi constatat printr-o simplă trecere în revistă a tehnologiilor de fabricație a senzorilor inerțiali care pot deservi diversele clase de precizie în navigația aeriană: 1) prima clasă de precizie este încă sub dominația tehnologiilor girometrice cu laser și cu fibră optică și a celor accelerometrice clasice (mecanice), tendința fiind ca girometria cu fibră optică și cea cu interferometrie atomică să înlăture laserul, iar accelerometria interferometrică atomică să intre ușor în această zonă; 2) a doua clasă de precizie este rezervată tehnologiilor girometrice optic-integrate, cu interferometru și fibră optică și cu interferometrie atomică și tehnologiilor accelerometrice clasice (mecanice), cu interferometrie atomică și MEMS; 3) a treia clasă de precizie (echivalentă aplicațiilor standard de navigație) va fi dominată în totalitate de accelerometre MEMS și de girometre optic integrate și cu fibră optică miniaturizate, tehnologii orientate către MOEMS; 4) a patra clasă de precizie (aplicații tactice militare) se preconizează a fi dominată în totalitate de către senzorii accelerometrici și girometrici MEMS și MOEMS; 5) a cincea clasă de precizie, legată de aplicațiile comerciale, înregistrează deja o împărțire a drepturilor între tehnologiile MEMS, MOEMS, NEMS și NOEMS.

Activitatea de față a vizat realizarea de modele analitice de eroare pentru senzorii girometrici și accelerometrici incluși în dispozitivul hardware care oferă date în timp real sistemelor pentru controlul aterizării aeronavelor. Analiza literaturii de

specialitate, dar și experiența echipei de cercetare dobândită în proiectele anterioare legate de dezvoltarea numerică și experimentală de navigatori inerțiali strap-down, a condus la necesitatea modelării ambelor categorii de erori care afectează acești senzori: erorile deterministe și erorile stochastice. S-a recurs la elaborarea de noi modele analitice, deoarece modelele analitice standardizate (în special cele IEEE) sunt extrem de greoaie, cu posibilități reduse de implementare software care să ofere o bună reproductibilitate a caracteristicilor reale ale senzorilor, ăi, ceea ce este cel mai important, acestea sunt caracterizate de un grad redus de aplicabilitate de la o categorie de senzori la alta, cum ar fi de exemplu, modelarea senzorilor girometrici MEMS cu efect Coriolis și cea a senzorilor girometrici miniaturizați, cu fibră optică. S-a urmărit astfel modelarea analitică a celor mai des întâlnite erori, dar și a celor mai importante dintre acestea, cu scopul de a avea în final posibilitatea de a le implementa și genera software fără a încarca subrutinele aferente acestora cu bucle de calcul inutile, care să conducă la întârzieri majore și chiar la blocaje atunci când este simulat numeric un sistem de control al aterizării în complet. Extrem de important în această modelare este faptul că s-a considerat posibilitatea de a decupla foarte ușor canalele de eroare între ele, astfel încât la implementarea software și includerea modelelor în schemele de simulare ale controlului aterizării să se poată studia atât efectele fiecărui tip de erori, cât și efectele suprapunerii diferitelor tipuri de erori asupra performanțelor sistemelor de control al aterizării aeronavelor. *Prezentarea detaliată a chestiunilor științifice studiate, precum și a algoritmilor obținuți poate fi descărcată de pe pagina UEFISCDI cu acceptul acestei instituții și a directorului de proiect.*

Activitatea I.4. Proiectarea observerelor multiple pentru mișcările longitudinală și laterală în timpul aterizării aeronavelor

A patra dintre cele cinci activități ale Etapei I are ca scop proiectarea unei structuri de observer multiplu care să permită estimarea stării aeronavelor în timpul procesului de aterizare. Observerul multiplu ce se va obține trebuie să aibă un caracter de generalitate ridicat astfel încât să poată fi utilizat atât pentru mișcarea aeronavelor în plan longitudinal, cât și pentru cea în plan lateral-direcțional în timpul celor trei etape principale ale aterizării. Activitatea I.4 presupune, deci, ducerea la îndeplinire a obiectivelor specifice **OS4** (*Proiectarea unui observer multiplu pentru aterizarea aeronavelor în plan longitudinal*) și **OS6** (*Proiectarea unui observer multiplu pentru aterizarea aeronavelor în plan lateral-direcțional*). Observerul multiplu este de tip Akhenak și este dedicat sistemelor neliniare cu intrări necunoscute ce influențează atât vectorul de stare cât și vectorul de ieșire. Scopul estimatorului de stare este acela de a estima vectorul de stare și vectorul intrărilor necunoscute, rezultând astfel o micșorare a numărului de senzori necesari în sistem. *Prezentarea detaliată a chestiunilor științifice studiate, precum și a algoritmilor obținuți poate fi descărcată de pe pagina UEFISCDI cu acceptul acestei instituții și a directorului de proiect.*

Activitatea I.5. Construirea paginii web a proiectului – diseminarea rezultatelor

Activitatea a fost prevăzută pentru a duce la îndeplinire cel de-al șaselea obiectiv al etapei. Aceasta s-a desfășurat pe întreaga durată a etapei și s-a concretizat prin realizarea unei pagini web în limba română (http://www.elth.ucv.ro/~mlungu/ro/TINERE_ECHIPE-48) și în limba engleză (http://www.elth.ucv.ro/~mlungu/en/YOUNG_TEAMS-50), care reflectă stadiul actual al proiectului.

Conceperea modelelor analitice ale senzorilor luând în calcul atât erorile lor deterministe cât și cele stochastice, proiectarea unui observer multiplu pentru aterizarea aeronavelor în planele longitudinal și lateral-direcțional, precum și o documentare foarte buna cu privire la geometria aterizării, dinamica aeronavelor la aterizare, erorile senzorilor, perturbațiile atmosferice ce apar în timpul aterizării și metodele adaptive și optimale, existente în prezent, pentru controlul aeronavelor la aterizare au permis echipei proiectului de cercetare să elaboreze 3 articole ce privesc chestiunile prezentate mai sus. Două dintre articole au fost trimise spre recenzie și publicare la 2 reviste ISI (*Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control - Transactions of ASME* și *Neurocomputing Journal*) și la o conferință IEEE (*17th IEEE International Charpathian Control Conference, 26 May - 1 June, 2016, Slovacia*). Mai jos sunt prezentate titlurile celor 3 articole, precum și un mic rezumat a acestora. Articolul trimis la revista ISI *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control - Transactions of ASME* a fost acceptat la publicare; acesta a apărut deja în varianta online (doi:10.1115/1.4032028).

- Lungu, R., Lungu, M., *Design of Automatic Landing Systems using the H-inf Control and the Dynamic Inversion*. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control (Transactions of ASME), DOI:10.1115/1.4032028, ISSN: 0022-0434, e-ISSN: 1528-9028 (**ISI Journal**).
- Lungu, R., Lungu, M., *Adaptive Flight Control Law Based on Neural Networks and Dynamic Inversion for Micro Aerial Vehicles*. Neurocomputing Journal, vol. 171, pag. 471-481, 2016, ISSN: 0925-2312 (**ISI Journal**).
- Lungu, R., Lungu, M., Tutunea, D., *The Control of Aircraft Landing using the Dynamic Inversion and the H-inf Control*. 17th IEEE International Charpathian Control Conference (**ISI Proceedings**), 26 May - 1 June, 2016, Slovacia.

De menționat este și faptul că o parte dintre informațiile obținute în urma acestei etape a proiectului au fost utilizate pentru perfecționarea cursului *Controlul automat al zborului aeronavelor la aterizare* de la forma de învățământ Master, la Universitatea din Craiova.

Având în vedere realizarea totală a activităților din cadrul Etapei I: **Documentație cu privire la aterizarea aeronavelor și proiectarea modelelor analitice ale senzorilor și observerelor multiple**, considerăm că toate cele 5 activități specifice ale etapei au fost îndeplinite în totalitate și toate cele 6 obiective specifice ale etapei I au fost atinse.

Îndeplinirea tuturor obiectivelor fixate inițial ale acestei etape crează premisele rezolvării cu succes a următoarei etape a proiectului, „**Proiectarea, validarea și optimizarea ALS-ului optimal**”, etapa II – 2016.