

ACADEMIA ROMÂNĂ

Școala de Studii Avansate a Academiei Române

Institutul de Mecanica Solidelor



TEZĂ DE ABILITARE

INGINERIE MECANICĂ

DR. ING. IONEL-ALEXANDRU GAL

BUCUREȘTI

2025

ACADEMIA ROMÂNĂ

Școala de Studii Avansate a Academiei Române

Institutul de Mecanica Solidelor



TEZĂ DE ABILITARE

**Contribuții și cercetări privind dezvoltarea sistemelor de
control în timp-real aplicate în robotică și mecatronică**

INGINERIE MECANICĂ

DR. ING. IONEL-ALEXANDRU GAL

BUCUREȘTI

2025

CUPRINS

Recunoștințe	5
1. Introducere.....	6
2. Contribuții științifice în controlul hibrid poziție/forță	7
2.1. Controlul hibrid poziție/forță al unui robot pășitor	7
2.2. Arhitectura hibridă pe bază de mașină de stări pentru un robot mobil de gestionare a deșeurilor cu un manipulator cu 5 DoF	8
3. Contribuții privind algoritmi de decizie pentru sisteme robotice	9
3.1. Aplicarea teoriei Extenics în controlul roboților pășitori	9
3.2. Decizie pe baza logicii neutrosofice în controlul roboților pășitori ..	10
3.3. Aplicarea logicii neutrosofice în determinarea configurației de prindere a manipuloarelor	10
3.4. Decizie pe bază de mașină de stări finite într-o arhitectură hibridă ..	11
4. Contribuții privind sistemele robotice în medii virtuale	11
4.1. Integrarea roboților mobili în platforma VIPRO.....	11
4.2. Interfața VIPRO pentru controlul sistemelor PLC	12
4.3. Sistem robotic pentru călire prin inducție și geamănul său digital....	12
4.4. Sisteme multi-agent	13
5. Activitate științifică și academică.....	13
5.1. Publicații științifice	14
5.2. Proiecte de cercetare	14
5.3. Activitate didactică	15
5.4. Activitate profesională	15
6. Planuri de dezvoltare profesională, academică și științifică	16
7. Bibliografie selectivă.....	17

Recunoștințe

Doresc să-mi exprim cea mai profundă recunoștință față de cei care m-au sprijinit și m-au însoțit pe parcursul călătoriei complexe și adesea solicitante a carierei mele academice și de cercetare.

În primul rând, aș dori să-i mulțumesc din suflet familiei mele, al cărei sprijin neclintit, răbdare și înțelegere au fost de neprețuit. Echilibrarea cerințelor cercetării și a responsabilităților academice nu este niciodată simplă, iar încurajarea lor a fost esențială pentru a-mi permite să urmez această cale cu dedicare și reziliență.

Sunt profund recunoscător domnului Profesor Dr. Ing. Luige Vlădăreanu, care a fost nu doar coordonatorul tezei mele de doctorat, ci și un mentor și un sprijin pe tot parcursul demersurilor mele academice. Îndrumarea, încurajarea și sprijinul său continuu au avut un impact semnificativ asupra creșterii mele profesionale și dezvoltării mele științifice.

De asemenea, doresc să-mi exprim recunoștința față de colegii mei de la Institutul de Mecanică Solidelor al Academiei Române. Colaborarea, perspectivele și mediul academic stimulant pe care l-au oferit au îmbogățit în mare măsură cercetarea prezentată în această teză și au contribuit în mod semnificativ la evoluția mea ca cercetător științific.

Tuturor celor care au contribuit la această realizare academică, le transmit sincerele mele aprecieri.

1. Introducere

Această teză de abilitare reprezintă o sinteză a activităților mele științifice, profesionale și didactice desfășurate după finalizarea tezei de doctorat, și reflectă o direcție de cercetare susținută în domeniul ingineriei mecanice, cu accent pe robotică și mecatronică. Tema centrală pe care o abordez, este dezvoltarea și validarea unor arhitecturi avansate de control în timp real, integrate cu algoritmi de decizie inteligenți și simulate în medii virtuale, care permit testarea complexă și sigură a sistemelor autonome.

Motivația tezei derivă din provocările contemporane din domeniul roboticii moderne, în care interacțiunea robot-mediul impune sisteme de control adaptabile, capabile să gestioneze incertitudini, variații dinamice și sarcini imprevizibile. Integrarea în timp real a datelor provenite de la senzori multipli, precum și decizia contextuală privind selecția strategiei de control, reprezintă o necesitate în aplicațiile robotice industriale, casnice sau de servicii.

Cercetările prezentate sunt rezultatul activității mele desfășurate în cadrul Institutului de Mecanică Solidă al Academiei Române, și includ contribuții originale în mai multe direcții de vârf. Acestea cuprind: dezvoltarea controlului hibrid poziție/forță pentru roboți mobili și manipolatoare seriale, integrarea logicii fuzzy și neutrosofice în procesele de luare a deciziilor, precum și proiectarea și testarea de medii virtuale și platforme de simulare pentru analiza sistemelor mecatronice.

Structura tezei este conformă cu cerințele standard ale unei lucrări de abilitare și este organizată în șapte capitole majore:

- **Capitolul 2** tratează contribuțiile mele în dezvoltarea sistemelor de control hibrid poziție/forță, aplicate atât pe roboți de mers (hexapod) cât și pe manipolatoare seriale.
- **Capitolul 3** analizează introducerea și utilizarea algoritmilor de decizie inteligenți, bazate pe teorii precum Extenics și logica neutrosofică, aplicate în contexte robotice cu grad ridicat de incertitudine.
- **Capitolul 4** explorează realizările mele în medii virtuale, precum dezvoltarea platformei VIPRO, gemenii digitali și sistemele multi-agent.
- **Capitolul 5** este dedicat activității mele științifice și academice, incluzând publicațiile relevante, brevetele de invenție, proiectele de cercetare și activitatea mea didactică.

- **Capitolul 6** schițează direcțiile mele de dezvoltare profesională și științifică, evidențiind intențiile pe care le am privind mentoratul, noi teme de cercetare și extinderea colaborărilor internaționale.
- **Capitolul 7** conține lista completă a surselor bibliografice, care documentează contribuțiile și fundamentele teoretice ale cercetărilor prezentate.

Această lucrare de abilitare nu doar sintetizează realizările mele, ci trasează totodată o direcție coerentă de cercetare aplicativă și fundamentală, într-un domeniu cu impact major asupra automatizării industriale, roboticii autonome și mecatronicii moderne.

2. Contribuții științifice în controlul hibrid poziție/forță

Acest capitol constituie nucleul tezei, prezentând cercetările aprofundate în domeniul controlului robotului bazat pe poziție și forță, cu accent pe arhitecturi hibride ce integrează metode cinematice și dinamice. Contribuțiile se concentrează atât pe dezvoltarea de algoritmi teoretici, cât și pe implementarea practică a acestora în simulări și sisteme reale, abordând provocările fundamentale ale interacțiunii robot-mediu.

2.1. Controlul hibrid poziție/forță al unui robot pășitor

Unul dintre rezultatele principale este proiectarea și testarea unui algoritm de control hibrid aplicat unui robot hexapod cu structură cinematică RRR pentru fiecare picior. Abordarea presupune tratarea individuală a fiecărui membru locomotor, concentrându-se pe urmărirea traiectoriei în spațiul operațional, fără a introduce constrângeri asupra stabilității globale, presupusă deja prin contactul simultan al cel puțin trei picioare cu solul.

- **Controlul cinematic** utilizează relațiile directe și inverse de poziționare în spațiul OXYZ. Au fost derivate ecuații inverse exacte și implementate metode Jacobiene, inclusiv o variantă transpusă pentru a oferi referințe de viteză unghiulară. Prin aceasta, se realizează un control pozițional cu precizie medie, dar cu cerințe computaționale reduse — ideal pentru fazele de deplasare a piciorului în aer.
- **Controlul dinamic** presupune calculul cuplului necesar la fiecare articulație, integrând efectele de inerție, Coriolis și gravitaționale. Sistemul propus combină metodele PID, controlul adaptiv fuzzy, și un regulator de tip Sliding Mode Control (SMC), bazat pe formalismul Euler-Lagrange. Acesta permite o robustețe crescută la perturbații și incertitudini structurale.

- **Arhitectura hibridă** integrează cele două metode anterioare printr-un mecanism de decizie care, în funcție de condițiile dinamice (precum contactul cu solul, detecția forței de contact sau apropierea de obstacole), comută între control cinematic și dinamic. Această adaptabilitate locală este cheia pentru manevre în medii nestructurate sau necunoscute.

Această arhitectură hibridă a fost testată riguros într-un mediu MATLAB Simulink, unde fiecare etapă a mișcării (faza de sprijin, balans, tranziție) a fost simulată cu intrări de referință și evaluată pe baza erorii de poziționare. Sistemul de decizie bazat pe logica neutrosofică asigură selecția optimă a metodei de control pentru fiecare grad de libertate. S-a constatat că în timpul fazei de sprijin, controlul dinamic compensează eficient sarcina proprie și interacțiunea cu solul, în schimb, în fazele de tranziție, erorile observate indică necesitatea unei comutări mai progresive.

Pentru a modela și analiza mai fidel interacțiunile dintre componentele robotului, s-a aplicat o abordare alternativă: modelarea prin grafuri Bond. Această metodologie permite reprezentarea energetică a sistemelor fizice și a fost utilizată pentru simularea unui picior de robot cu două grade de libertate.

Modelul obținut permite integrarea surselor de efort (cuplu motor), elementelor disipative (frece), și a convertoarelor de putere. Prin aceasta, s-a implementat un control de tip Sliding Mode utilizând grafurile Bond, reducând semnificativ incertitudinea în estimarea parametrilor dinamici.

Rezultatele simulării au indicat o eroare de poziționare mică, în condiții de referință sinusoidală. Introducerea unor perturbații discrete a demonstrat stabilitatea sistemului și capacitatea sa de a atenua efectele acestora. Comparativ cu simulările în MATLAB Simulink, modelul cu grafuri Bond a oferit o mai bună acuratețe în simularea motoarelor electrice și o scalabilitate crescută prin reutilizarea componentelor.

2.2. Arhitectura hibridă pe bază de mașină de stări pentru un robot mobil de gestionare a deșeurilor cu un manipulator cu 5 DoF

În cadrul proiectului de cercetare SIRAMAND, a fost proiectat și implementat un robot mobil autonom, echipat cu un manipulator cu 5 grade de libertate, destinat colectării și sortării automate a deșeurilor. Sistemul integrează o arhitectură hibridă de control poziție/forță bazată pe o mașină de stări finite, care gestionează stările de detecție, apropiere, prindere și ridicare a deșeurilor.

- **Analiza forței de frecare** a fost integrată în strategia de prindere, având un impact major asupra stabilității obiectului manipulat.

- **Controlul hibrid 5DoF** al brațului a fost implementat folosind algoritmi de planificare cinematică și dinamică pentru fiecare segment al mișcării, permițând manevre de colectare eficiente și adaptate obiectelor de diferite mase și forme.

Testele experimentale realizate în condiții reale au validat eficiența arhitecturii, demonstrând capacitatea sistemului de a comuta între moduri de control în funcție de semnalele senzoriale, cu o rată de succes de peste 90% în operațiunile de manipulare.

3. Contribuții privind algoritmi de decizie pentru sisteme robotice

Acest capitol este dedicat cercetărilor privind dezvoltarea și integrarea unor algoritmi de decizie inteligenți în arhitecturile de control robotic. Contextul general este acela al necesității mari de adaptabilitate și autonomie a sistemelor robotice, în special în medii dinamice și nestructurate. Studiile prezentate propun metode inovatoare de integrare a logicii Extenics și a logicii neutrosofice, ambele capabile să gestioneze eficient situații de incertitudine și contradicție, frecvente în interacțiunea robot-senzor-mediul.

3.1. Aplicarea teoriei Extenics în controlul roboților pășitori

Teoria Extenics, dezvoltată pentru a modela și rezolva contradicții în procesele de decizie, a fost adaptată și integrată într-o arhitectură de control hibrid poziție/forță pentru un robot pășitor. Această teorie permite extinderea domeniului de valori acceptabile pentru un parametru decizional, prin construirea de seturi extensibile și conversii între forme incompatibile de date.

În robotică, Extenics a fost utilizată pentru a decide tranziția între regimurile de control (cinematic și dinamic) în funcție de o combinație de condiții senzoriale: proximitate, forță, stabilitate dinamică și erori de poziționare. Prin utilizarea funcțiilor extensibile și a mecanismelor de transformare logică, robotul este capabil să gestioneze eficient contradicțiile dintre necesitatea de precizie pozițională și condițiile de forță impuse de contactul cu solul sau obiectele pe care calcă.

Această integrare a condus la o arhitectură de decizie flexibilă, cu capacitatea de a reconfigura algoritmul de control în timp real, fără a necesita reguli rigide predefinite, ceea ce reprezintă o contribuție majoră în contextul sistemelor autonome.

3.2. Decizie pe baza logicii neutrosofice în controlul roboților pășitori

Logica neutrosofică, dezvoltată de Florentin Smarandache, extinde logica fuzzy clasică prin introducerea a trei componente: adevăr (T), falsitate (F) și incertitudine (I). Această paradigmă este ideală pentru tratarea incertitudinii și a contradicției, caracteristici comune în sistemele senzoriale reale, unde zgomotul, erorile sau conflictele de date sunt frecvente.

În cadrul cercetării, logica neutrosofică a fost aplicată în arhitectura de control hibrid a unui robot hexapod, pentru a decide în timp real comutarea între modulele cinematic și dinamic. Spre deosebire de o logică binară sau fuzzy clasică, logica neutrosofică permite modelarea explicită a incertitudinii — de exemplu, când senzorii de forță indică un posibil contact, dar senzorii de proximitate nu confirmă apropierea de sol.

Un sistem de reguli neutrosofice a fost dezvoltat pentru evaluarea indicatorilor senzoriali și generarea unui „grad de decizie”, utilizat ca factor de selecție. Valorile apropiate de 1 declanșează controlul cinematic, în timp ce valori sub un prag activează controlul dinamic. Acest tip de decizie continuă asigură o tranziție mai lină și robustă între modulele de control, cu performanțe îmbunătățite în medii incerte.

Simulările MATLAB-Simulink au demonstrat eficiența acestui sistem decizional, reducând semnificativ oscilațiile și erorile de poziționare în fazele de comutare între modulele de control.

3.3. Aplicarea logicii neutrosofice în determinarea configurației de prindere a manipuloarelor

Un alt caz de utilizare a logicii neutrosofice a fost identificarea configurației optime de prindere a unui obiect de către un manipulator robotic. În această situație, incertitudinea provine din estimarea incompletă a formei, masei și poziției obiectului.

S-a definit o funcție de decizie neutrosofică care integrează următorii factori:

- estimarea masei obiectului,
- poziția relativă a centrului de masă,
- forța de contact prevăzută,
- distribuția presiunii în zona de prindere,
- nivelul de încredere al senzorilor implicați.

Sistemul calculează o decizie tridimensională (T, I, F) pentru fiecare configurație posibilă, selectând-o pe cea cu cel mai mare grad de probabilitate. Testele în simulare și pe un manipulator real au confirmat faptul că această

metodă gestionează eficient incertitudinile senzorilor de contact și permite o prindere stabilă cu o rată de succes ridicată în scenarii neconvenționale.

3.4. Decizie pe bază de mașină de stări finite într-o arhitectură hibridă

Un alt element cheie al arhitecturii de control a fost integrarea deciziei în cadrul unei mașini de stări finite. Mașina de stări gestionează stările succesive ale robotului (identificare obiect, apropiere, prindere, ridicare, plasare), iar la fiecare tranziție este evaluată o funcție de decizie care determină strategia de control aplicabilă.

În combinație cu logica neutrosifică, mașina de stări devine un instrument flexibil de automatizare a comportamentului robotului, permițând adaptarea în timp real la variații de context, erori sau situații neprevăzute. De exemplu, o stare de „ambiguitate” poate genera o strategie de întârziere a acțiunii până la confirmarea informației senzoriale.

Această arhitectură hibridă de decizie contribuie la creșterea autonomiei sistemelor robotice și la scăderea dependenței de programare explicită, transformând robotul într-un agent capabil de reacții contextuale inteligente.

4. Contribuții privind sistemele robotice în medii virtuale

Acest capitol sintetizează activitatea desfășurată în domeniul dezvoltării de medii virtuale aplicate în robotică și mecatronică, cu scopul de a asigura un cadru eficient pentru proiectare, testare, validare și instruire. Mediile virtuale permit simularea realistă a interacțiunilor complexe dintre componente mecanice, senzoriale, de control și de comunicație, eliminând riscurile și costurile asociate prototipurilor fizice. În plus, aceste soluții sprijină implementarea conceptului de „geamă digital” (Digital Twin), în care un model virtual actualizat în timp real reflectă comportamentul unui sistem fizic.

4.1. Integrarea roboților mobili în platforma VIPRO

Platforma VIPRO (Versatile Intelligent Portable Robot) a fost dezvoltată ca un cadru unificat pentru simularea și controlul roboților mobili, având funcționalități de integrare a datelor senzoriale, control în timp real, vizualizare 3D și comunicare cu sistemele fizice de tip PLC. Aceasta reprezintă un ecosistem virtual inteligent, destinat experimentelor, instruirii și evaluării algoritmilor de control în scenarii variate.

În cadrul VIPRO, am implementat o serie de modele de roboți mobili, integrați cu senzori virtuali (de proximitate, video, forță) și actuatori. Platforma

oferă suport pentru definirea unor scenarii complexe, cu obstacole, terenuri variate și obiective multiple, fiind utilizată pentru evaluarea comportamentului algoritmilor de navigare, evitare de obstacole și control hibrid poziție/forță.

4.2. Interfața VIPRO pentru controlul sistemelor PLC

Un modul special al platformei VIPRO este interfața de conectare și control pentru sisteme PLC, care permite simularea logicii industriale de automatizare. Aceasta a fost utilizată pentru a testa scenarii realiste în care un robot mobil execută sarcini coordonate cu un lanț tehnologic automatizat.

Interfața permite:

- comunicarea bidirecțională cu PLC-uri reale sau simulate,
- configurarea grafică a sistemului (butoane, senzori, actuatori virtuali),
- vizualizarea fluxului logic și a stărilor sistemului.

Această funcționalitate este esențială pentru testarea controlului în buclă închisă și dezvoltarea de sisteme virtual-fizice în contextul Industriei 4.0. Scenariile testate au inclus roboți colaborativi ce preiau obiecte de pe benzi transportoare, roboți mobili care livrează componente între stații de lucru și sisteme de inspecție automatizată.

4.3. Sistem robotic pentru călire prin inducție și geamănul său digital

Un alt exemplu de integrare a roboticii cu mediile virtuale îl reprezintă dezvoltarea unui sistem mecatronic destinat călirii prin inducție. Sistemul include:

- un braț robotizat cu 6 grade de libertate,
- un generator de câmp electromagnetic pentru inducție,
- un ansamblu de senzori pentru temperatură, poziție și curent.

Pentru acest sistem, am dezvoltat un model virtual complet (geamăn digital), care simulează atât dinamica mișcării robotului, cât și distribuția câmpului termic și comportamentul materialului tratat. Modelul integrează:

- parametri termici și electromagnetici ai piesei,
- legile de mișcare și viteza de avans a robotului,
- feedback-ul din senzorii reali și virtuali.

Geamănul digital permite optimizarea procesului în faza de proiectare, ajustarea parametrilor în funcție de material și condiții externe, precum și prevenirea defectelor prin simulări predictive. Sistemul a fost validat experimental, demonstrându-se o corelație ridicată între modelul virtual și rezultatele reale ale tratamentului termic.

4.4. Sisteme multi-agent

În cadrul cercetării au fost abordate și sisteme robotice distribuite de tip multi-agent, în care mai mulți roboți cooperează pentru realizarea unor sarcini comune. Aceste sisteme implică provocări legate de comunicare, coordonare, rutare și decizie distribuită.

Contribuțiile includ:

- **Protocol de comunicație pentru rutare distribuită** – a fost dezvoltat un protocol eficient pentru rutarea datelor într-o rețea de agenți mobili, capabil să evite coliziunile și blocajele, și să mențină conectivitatea rețelei chiar în condiții de topologie variabilă.
- **Sistem de control la sol (Ground Control System)** – o interfață unificată care permite monitorizarea în timp real a tuturor agenților, afișarea traiectoriilor, vizualizarea comunicației între noduri și intervenții manuale de la distanță.
- **Prototip de agent autonom** – s-a realizat un prototip funcțional de agent mobil, capabil să își adapteze comportamentul în funcție de starea altor agenți și de sarcina distribuită.

Aceste realizări demonstrează aplicabilitatea abordării multi-agent în domenii precum supravegherea autonomă, intervenții în medii periculoase sau agricultură de precizie. Simulările efectuate cu platforma VIPRO și testările practice au confirmat robustețea algoritmilor distribuiți și scalabilitatea soluției propuse.

5. Activitate științifică și academică

Capitolul 5 sintetizează realizările mele în activitatea științifică, didactică și profesională desfășurată după obținerea titlului de doctor. Acestea acoperă un spectru larg de contribuții: publicații de prestigiu, proiecte de cercetare internaționale și naționale, activitate didactică constantă și implicare în structuri academice și de evaluare.

5.1. Publicații științifice

Pe parcursul carierei mele de cercetător științific, am publicat peste 80 de lucrări științifice, dintre care mai mult de 60 după obținerea titlului de doctor. Dintre acestea, 34 sunt în calitate de autor principal. Temele abordate includ: controlul hibrid forță-poziție, sisteme de decizie fuzzy și neutrosofice, roboți mobili, control distribuit, sisteme multi-agent și gemeni digitali pentru sisteme robotice și mecatronice.

Publicațiile sunt indexate în baze de date internaționale precum Web of Science, Scopus și Google Scholar. Indicii scientometrici relevanți sunt:

- **Web of Science:** 17 articole indexate, H-index 5, 61 citări (54 fără autocitare);
- **Scopus:** 24 articole, H-index 6, 125 citări;
- **Google Scholar:** 225 citări totale, H-index 8, i10-index 7.

5.2. Proiecte de cercetare

Am fost implicat activ în peste 10 proiecte de cercetare competitive, finanțate din surse naționale (PN-III, POC) și internaționale (H2020, Horizon Europe), în calitate de membru, coordonator tehnic sau lider de echipă. Dintre cele mai relevante proiecte se remarcă:

- **iMARS (2024–2028):** Sisteme robotice multi-agent inteligente pentru intervenții de urgență (MSCA-Horizon);
- **CONSOLE (2023–2026):** dezvoltarea software-ului rezilient în contextul securității cibernetice (Digital Europe);
- **SMOOTH:** sisteme robotice inteligente pentru intervenții în incendii (H2020-MSCA-RISE);
- **MultiMonD2:** monitorizarea calității apei Dunării cu ajutorul sistemelor multi-agent.
- **VIPRO:** Dezvoltarea unei platforme versatile, portabile pentru controlul roboților mobili în rețele adaptive
- **HEYT HROB:** Cercetari privind tehnologia cheie pentru roboti de reabilitare

Proiectele au permis testarea și validarea experimentelor, precum și dezvoltarea de noi arhitecturi de control și modele simulate.

5.3. Activitate didactică

Activitatea didactică a fost desfășurată în paralel cu cercetarea, având o contribuție substanțială la formarea tinerilor specialiști în robotică, programare și sisteme de control automat:

- Am predat, începând cu 2017, în cadrul laboratoarelor de programare și limbaje de programare la Facultatea ETTI – Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București.
- Din 2017 am coordonat anual studenți în stagii de practică în cadrul laboratorului de Robotică și Mecatronică din cadrul IMSAR.

- Am supervizat lucrări de licență pe teme aplicative precum „Platforme web cu autentificare biometrică” și „Roboți autonomi pentru explorare”.
- Sunt membru în comisii de evaluare și îndrumare doctorală din cadrul IMSAR pentru teze care tratează subiecte precum: sisteme de control inteligent al vectorilor pentru roboți mobili autonomi și sisteme inteligente de suport decizional în controlul vectorial în timp real.

5.4. Activitate profesională

Pe lângă activitățile științifice și didactice, autorul are o implicare susținută în evaluarea proiectelor și a graturilor, dar și în structuri instituționale:

- Evaluator în cadrul programelor: Infrastructuri mari de cercetare și inovare (POC), Digitalizare și Creștere inteligentă (PCIDIF), NATO-DIANA;
- Recenzor pentru reviste științifice internaționale (Sensors, Applied Sciences);
- Membru în comitetul științific și evaluator pentru conferința SISOM (2019–prezent);
- Participare la activități instituționale: membru în Consiliul Științific IMSAR (din 2017), secretar științific al Consiliului Științific IMSAR (din 2019).

Activitatea prolifică a fost recunoscută prin numeroase distincții internaționale, inclusiv:

- Medalii de aur, argint și premii speciale la Salonul Internațional de Invenții de la Geneva (2010, 2014, 2016, 2017);
- Premii la târguri de invenții din Varșovia;
- Premii de excelență pentru reprezentarea României la târguri de invenție;
- Diplome de inovație pentru brevete de invenție.

Aceste realizări confirmă impactul major pe care l-am avut în avansarea cercetării aplicate în robotică și automatizări.

6. Planuri de dezvoltare profesională, academică și științifică

Acest capitol îmi reflectă viziunea strategică privind evoluția carierei academice și științifice după obținerea abilitării, prin consolidarea cercetării în robotică și sisteme inteligente, implicarea în cadrul școlii doctorale și implicarea în rețele internaționale.

Intenționez să îmi continui direcțiile principale de cercetare, cu accent pe:

- **Algoritmi inteligenți de decizie**, bazați pe logică fuzzy și neutrosifică, aplicați în controlul sistemelor robotice hibride;
- **Control avansat în timp real**, cu implementare pe sisteme mecatronice și arhitecturi hibride poziție/forță;
- **Roboți mobili și multi-agent**, cu aplicații în intervenții de urgență, logistică autonomă și inspecție distribuită;
- **Gemeni digitali (Digital Twins)** pentru simularea și validarea sistemelor robotice în medii virtuale.

Aceste direcții vor fi abordate atât prin proiecte de cercetare fundamentale și aplicative, cât și prin integrarea acestora în infrastructura educațională și experimentală a laboratorului de Robotică și Mecatronică al Institutului de Mecanica Solidelor al Academiei Române.

Un obiectiv central al dezvoltării post-abilitare este implicarea directă în școala doctorală din cadrul SCOSSAR. Aceasta va fi orientată către tematici precum:

- Sisteme inteligente distribuite,
- Control avansat în robotică,
- Sisteme mecatronice adaptive,
- Realitate virtuală și augmentată aplicată în inginerie.

În acest context, îmi propun atragerea de doctoranzi motivați și susținerea acestora prin proiecte competitive, parteneriate internaționale și mentorat științific. Se va pune accent pe cercetarea aplicativă, inovare, dar și publicarea în reviste de prestigiu și participarea activă la conferințe internaționale.

Voi continua extinderea colaborărilor internaționale deja inițiate cu universități și institute de cercetare de prestigiu, precum:

- **Edinburgh Napier University** (Marea Britanie),
- **Fudan University** și **Yanshan University** (China),
- **University of New Mexico (SUA)**,
- **Institute of Automation** (Academia Chineză de Științe).

Scopul acestor parteneriate este participarea la proiecte de cercetare comune, mobilități pentru doctoranzi și postdoctoranzi, co-publicații științifice și workshopuri tematice. O direcție specifică este implicarea continuă în proiecte Horizon Europe și MSCA, în domenii precum robotică, securitate cibernetică și sisteme distribuite inteligente.

Îmi propun să contribui la transferul de cunoștințe și tehnologii către industrie, prin:

- **Participarea la proiecte de inovare aplicată**, în parteneriat cu IMM-uri și companii din zona IT, automatizări și robotică industrială;

- **Dezvoltarea de platforme educaționale și de simulare open-source**, cu aplicații în robotică și mecatronică;
- **Sprijinirea înființării de spin-off-uri** tehnologice și inițiative de tip start-up în domeniul controlului inteligent și al roboticii autonome.

Toate aceste activități sunt menite să sprijine dezvoltarea unei comunități științifice active, axate pe interdisciplinaritate, internaționalizare și impact aplicativ.

Concluzii

Teza de abilitare reflectă o activitate științifică solidă și coerentă, axată pe dezvoltarea unor soluții originale pentru controlul și decizia în robotică, cu aplicații directe în industrie, medii nestructurate și domeniul academic. Prin integrarea controlului hibrid, a algoritmilor de decizie inteligenți și a simulărilor virtuale, contribuțiile mele se încadrează în tendințele moderne ale roboticii avansate.

7. Bibliografie selectivă

1. Ionel-Alexandru Gal, Alexandra-Cătălina Ciocîrlan, and Luige Vlădăreanu. "The Hybrid Position/Force Walking Robot Control Using Extenics Theory and Neutrosophic Logic Decision." *Sensors* 22, no. 10 (2022): 3663.
2. Ionel Alexandru Gal, Radu Ioan Munteanu, Octavian Melinte, and Luige Vladareanu. "A new approach of sliding motion robot control using bond graph." In 2013 8TH International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), pp. 1-6. IEEE, 2013, Editura Printech, ISSN: 2068-7966, București, România, doi: 10.1109/ATEE.2013.6563515, WOS:000332928500169
3. Ionel-Alexandru Gal, Alexandra-Cătălina Ciocîrlan, and Mihai Mărgăritescu. "State machine-based hybrid position/force control architecture for a waste management mobile robot with 5DOF manipulator." *Applied Sciences* 11, no. 9 (2021): 4222.
4. Vladareanu, Victor, Paul Schiopu, and Luige Vladareanu. "Theory and application of extension hybrid force-position control in robotics." *University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin-Series A-Applied Mathematics and Physics* 76, no. 3 (2014): 43-54.
5. Vladareanu, Luige, Victor Vladareanu, Hongnian Yu, Daniel Mitroi, and Alexandra-Catalina Ciocîrlan. "Intelligent control interfaces using Extenics multidimensional theory applied on VIPRO platforms for developing the IT INDUSTRY 4.0 concept." *IFAC-PapersOnLine* 52, no. 13 (2019): 922-927.
6. "Autonomous robotic systems for waste management in the context of the smart city", acronym: SIRAMAND, PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0086, contract no. 22 PCCDI /2018, 2018-2020, Coordinator: National Research-Development Institute

- for Mechatronics and Measurement Technique (INCDMTM, Bucharest), Project coordinator: M. Mărgăritescu, Partner 1: Cluj Napoca Technical University (UTCN, partner coordinator C. Brișan), Partner 2: IMSAR, Partner coordinator IMSAR: Dan Dumitriu. Ionel-Alexandru Gal, member in the project at IMSAR.
7. Pop, Nicolae, Luige Vladareanu, Ileana Nicoleta Popescu, Constantin Ghiță, Ionel-Alexandru Gal, Shuang Cang, Hongnian Yu, Vasile Bratu, and Mingcong Deng. "A numerical dynamic behaviour model for 3D contact problems with friction." *Computational Materials Science* 94 (2014): 285-291.
8. Ionel-Alexandru Gal, Luige Vladareanu, Florentin Smarandache, Hongnian Yu, and Mincong Deng. "Neutrosophic Logic Approaches Applied to" RABOT" Real Time Control." *Neutrosophic Theory and Its Applications. Collected Papers 1* (2014): 55.
9. Ionel-Alexandru Gal, Luige Vladareanu, Radu A. Munteanu, Oana Chenaru, Gelu Florea, And Catalin-Eugen Simion. "3D Modeling of Mobile Robots in Virtual Reality Environment using Blender and Unity Applications, Integrated in VIPRO Platform.", *ACTA ELECTROTECHNICA*, Volume 58, Number 1-2, 2017, Special Issue, ISSN 2344-5637, ISSN-L 1841-3323.
10. "Real-time adaptive networked control of rescue robots", acronym RABOT, FP7 IRSES RABOT project no. 318902/2012-2016, 2012-2015, 7th Framework Program for Research, Project Marie Curie, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), coordinator: Staffordshire University, UK , partners : Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy, Bournemouth University UK, Shanghai Jiao Tong University CN, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences CN, Yanshan University CN, Prof. Hongnian Yu, UK – coordinator de proiect , Prof. Luige Vladareanu coordinator IMSAR. Ionel-Alexandru Gal, member in the project at IMSAR.
11. Ionel-Alexandru Gal, Danut Bucur, and Luige Vladareanu. "DSmT decision-making algorithms for finding grasping configurations of robot dexterous hands." *Symmetry* 10, no. 6 (2018): 198.
12. Ionel-Alexandru Gal, Luige Vladareanu, and Hongnian Yu. "Applications of neutrosophic logic approaches in 'RABOT' real time control." In *Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM05*. 2013.
13. "Versatile, intelligent, portable robot platform with control systems in adaptive networks for rescue robots", acronym VIPRO, 2014-2016, PN-II-PT-PCCA-2013-4-2009, Coordinator: Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy, coordinator Prof. Luige Vladareanu, Ionel-Alexandru Gal – project member at IMSAR, funded by UEFISCDI.
14. Vladareanu L, Munteanu R I, Sireteanu T, Albu E, Vladareanu V, Munteanu R A, Cononovici B S, Iliescu M, Melinte O, Ionel-Alexandru Gal, Mitroi D, Chenaru O. „Method and device for developing control interfaces for mechatronic systems in virtual reality environment”. Patent Number: RO131524-A0. Derwent Primary Accession Number: 2016-73518X.

15. Vladareanu L, Munteanu R I, Sireteanu T, Dumitrache I, Iliescu M, Cononovici B S, Vladareanu V, Munteanu R A, Melinte O, Ionel-Alexandru Gal, Barbu V, Munteanu M S, Mitroi D, Moisescu M, Chenaru O, Ionel M, Sacala I S, Florea G. „Method and device for hybrid speed-position control with applications in intelligent control platforms”. Patent Number: RO131780-A0. Derwent Primary Accession Number: 2017-272243.
16. Joint Laboratory of Intelligent Rehabilitation Robot project, KY201501009, Collaborative research agreement between Yanshan University, China and Romanian Academy by IMSAR, RO. Ionel-Alexandru Gal, member in the project at IMSAR
17. “Environmentally friendly and durable metal constructions through efficient manufacturing technologies TOP MetEco AMBIENT”, 2016-2018, SMIS 105188-975, contract nr. 107/09-09-2016, Domeniul proiectului: Eco-Nano-Tehnologii si Materiale, coordinator Prof. Luige Vladareanu, Ionel-Alexandru Gal project member, funded by UEFISCDI Romania.
18. Vladareanu Luige, Munteanu Radu Ioan, Sireteanu Tudor, Albu Eugen, Vladareanu Victor, Munteanu Radu Adrian, Cononovici Boris Sergiu, Iliescu Mihaiela, Melinte Octavian, Ionel-Alexandru Gal, Mitro Daniel-Marian, Cheranu Oana. "Metoda si Dispozitiv pentru Dezvoltarea in Mediul Realitatii Virtuale a Interfetelor de Control Sisteme Mecatronice". Titular: Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române. Număr cerere brevet OSIM: a2016 00174/10.03.2016
19. Vladareanu L, Munteanu R I, Sireteanu T, Albu E, Vladareanu V, Munteanu R A, Cononovici B S, Iliescu M, Melinte O, Ionel-Alexandru Gal, Mitroi D, Chenaru O. „Method and device for developing control interfaces for mechatronic systems in virtual reality environment”. Patent Number: RO131524-A0. Derwent Primary Accession Number: 2016-73518X.
20. “SMart rObOTs for fire-fIgHting”, acronim SMOOTH, 2017-2021, Funded by European Union under H2020-MSCA-RISE-2016-734875 - Stimulating innovation by means of cross-fertilisation of knowledge, coordinator: Bournemouth University, UK , partners: Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy, Robotnik Automation SLL Spain, Stimpex SA Romania, Cedrat Technologies SA France, Prof. Hongnian Yu, UK project coordinator, Prof. Luige Vladareanu partner coordinator at IMSAR, Ionel-Alexandru Gal project member at IMSAR.
21. Ionel-Alexandru, Gal, Vladareanu Luige, and Shuang Cang. "Virtual simulation of a mechanical structure with 5DOF for induction hardening using 3D." International Journal of Engineering and Technology (UAE) 7, no. 2 (2018): 114-118. BOOK ch. 2018 - Advanced Intelligent Robot Control Interfaces for the Virtual Reality Simulation Applied to the Induction Hardening Process
22. Multi-agent intelligent systems platform for water quality monitoring on the Romanian sector of the Danube and Danube Delta, acronym MultiMonD2, PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-063, 2018-2020. Partners: Academia Fortelor Aeriene "Henri Coanda" Brasov; Institutul National De Cercetare-Dezvoltare Aerospatiale "Elie

- Carafoli" - I.N.C.A.S. Bucharest; Academia Navala "Mircea cel Batran"; Universitatea "Dunarea de Jos"; Politechnical University of Bucharest; Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy; Ministry of National Defense through the Scientific Research Center for CBRN Defense and Ecology. Prof. Luige Vladareanu project coordinator from IMSAR, Ionel-Alexandru Gal project member.
23. Platformă versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de control în timp real al roboților, authors Ionel-Alexandru Gal, Daniel-Octavian Melinte, Alexandra-Cătălina Ciocîrlan, editors: Luige Vlădăreanu, Victor Vlădăreanu. Publisher PIM, ISBN: 978-606-13-8387-0, 164 pages, year of publishing 2024.
 24. Vladareanu L, Cai W, Munteanu R I, Yan C, Vladareanu V, Munteanu R A, Li W, Smarandache F, Ionel-Alexandru Gal. „Method and device for the extended hybrid force-position control of robotic and mechatronic systems” Patent Number: RO128910-A0. Derwent Primary Accession Number: 2013-U41455.
 25. Ionel-Alexandru Gal, Munteanu Radu Ioan, Vladareanu Luige, Cai Wen, Yan Chunyan, Vlădăreanu Victor, Munteanu Radu Adrian, Li Weihua, Smarandache Florentin. "Metodă și dispozitiv pentru control extins hibrid forță-poziție al sistemelor robotice și mecatronice" ("Method and device for the extended hybrid force-position control of robotic and mechatronic systems"). Titular: IMSAR. Numar brevet OSIM: 00128910; BOPI 9/2020.