

# Integrarea tehnologiilor Industriei 4.0 in domeniile academic si industrial

-Rezumat teză abilitare-

Autor: Constantin-Cătălin DOSOFTEI

Activitățile de cercetare și rezultatele prezentate în această lucrare de abilitare fac parte din activitatea mea de cercetare din ultimii șase ani, când mi-am schimbat focusul de la domeniul tezei mele de doctorat - centrată pe inteligența computațională, către tehnologiile emergente asociate cu Industria 4.0. Această tranziție nu a fost doar o evoluție naturală a intereselor mele academice, ci și o reflectare a experienței mele din sectorul industriei, care mi-a oferit o înțelegere profundă a nevoilor și provocărilor reale ale domeniului.

În timp ce fundația solidă în inteligența computațională mi-a oferit instrumentele și cunoștințele necesare pentru a aborda probleme complexe, expertiza mea din sectorul industrial m-a îndreptat către domeniul în plină expansiune al Industriei 4.0. Acest nou focus a subliniat importanța colaborărilor dintre mediul academic și cel industrial, care au devenit esențiale pentru a stimula inovația și a facilita transpunerea cercetării în aplicații practice.

Prin activitatea de cercetare prezentată în cadrul acestei teze, creez punți între teorie și practică, urmărind aplicarea cercetării academice în soluții pregătite pentru implementarea în domeniul industrial. Explorarea tehnologiilor emergente, cum ar fi roboții mobili autonomi, sistemele cyber-fizice și interacțiunile din realitatea mixtă, reflectă nu doar tendințele tehnologice actuale, dar și dorința mea de a deschide noi oportunități de cercetare-inovare care să aibă impact asupra industriei regionale.

În **capitolul inițial** al acestei teze de abilitare, îmi conturez traiectoria academică și expertiza din domeniul industrial, subliniind angajamentul meu față de domeniul didactic și cercetare. În concordanță cu cerințele unei teze de abilitare, este prezentată lista celor mai semnificative zece lucrări de cercetare.

Capitolul intitulat ”**A patra revoluție industrială - o punte a decalajului dintre mediul academic si industrie**” oferă o perspectivă asupra conceptului de Industrie 4.0, subliniind evoluția sa și relevanța în contextul actual. Industria 4.0 reprezintă nu doar o transformare tehnologică, ci și o oportunitate semnificativă de a consolida și intensifica legăturile dintre mediul academic și cel industrial.

Se evidențiază modul în care Industria 4.0 a evoluat ca un concept multidimensional, integrând diverse tehnologii și procese. Această integrare nu numai că revoluționează în prezent sectorul industrial, dar a creat și o platformă pentru inovație și colaborare interdisciplinară.

Colaborarea dintre mediul academic și cel industrial în contextul Industriei 4.0 este esențială pentru a stimula inovația și a asigura că cercetarea academică este relevantă și aplicabilă în lumea reală. Această simbioză între teorie și practică este crucială pentru a aborda provocările emergente și pentru a dezvolta soluții inovatoare care să răspundă nevoilor actuale ale industriei.

Pentru a obține o perspectivă asupra maturității cercetării academice din România în domeniul Industry 4.0, în cadrul acestui capitol s-au analizat titlurile a 22.811 lucrări publicate, având autori români, în reviste clasificate de WOS în categoriile Q1 și Q2, în toate domeniile. Setul de date a fost extras din baza de date a UEFISCDI, cuprinzând articole științifice propuse pentru premiera în cadrul programului PRECISI a realizărilor științifice în ultimii cinci ani.

Studiul s-a focalizat pe articolele care menționează tehnologiile cheie ale Industry 4.0 în titlurile lor. Scopul a fost de a cuantifica atenția și resursele investite de mediul academic românesc în aceste domenii esențiale, așa cum sunt reprezentate prin publicațiile în reviste de înalt impact, iar rezultatele indică o creștere a interesului pentru tehnologiile Industriei 4.0 în România. Inteligența Artificială (AI) se distinge ca fiind subiectul cu cea mai mare creștere în publicații, urmată de fabricația aditivă. Aceste tendințe subliniază apetitul cercetătorilor români față de domeniul Industrie 4.0 și potențialul lor inovator în transformarea sectorului industrial.

În cadrul capitolului cu **geamănul digital** se pleacă de la ideea că această tehnologie este una pivotantă care facilitează o interconectare între lumea fizică și cea digitală. O parte din aspectele prezentate sunt din cadrul primului proiect de cercetare coordonat (intitulat - **Sisteme inteligente pentru Industria 4.0**).

Implementările prezentate în acest capitol subliniază abordări multidisciplinare în dezvoltarea și implementarea DT. Utilizând software-ul Automation Studio, s-a realizat modelarea unui sistem mecatronic, reprezentat de un robot pneumatic cu 3 grade de libertate.

Această modelare a avut ca obiectiv crearea unei geamănului digital al robotului pentru punerea în funcțiune virtuală, evidențiind beneficii precum eficiența în planificare și detecția erorilor în faze incipiente.

Pentru atingerea unor nivele de maturitate superioare ale conceptului de geaman digital, s-au explorat și implementat comunicațiile în timp real între modelul virtual și controlerul real, folosind capabilitățile OPC Server. Această interfață a permis conectarea sistemului simulat cu un automat programabil real, subliniind astfel importanța și potențialul relației dintre lumea fizică și cea virtuală în contextul Industriei 4.0.

Modalitatea de prezentare este una sistemică, procesul de modelare poate fi ușor translatat și către alte softuri, în special cele din categoria *low-level-modelling*. În contextul pandemiei, având deja know-how-ul necesar, s-au modelat câteva standuri fizice din cadrul laboratorului de Acționări Pneumatice și Hidraulice. Acest demers a permis ca, în ciuda restricțiilor impuse de pandemie, studenții să aibă posibilitatea de a studia și experimenta modelele digitale ale acestor standuri. În contextul educațional, laboratoarele virtuale și cele la distanță sunt identificate ca soluții esențiale pentru susținerea activităților didactice, mai ales în era învățării digitale. Acestea oferă un mediu în care studenții și cercetătorii pot experimenta și dobândi cunoștințe despre comisionarea virtuală, integrând atât software, cât și hardware în buclă.

Următorul capitol explorează cercetările în domeniul **roboților mobili autonomi omnidirecționali**, fiind strâns legat de proiectul de cercetare **ROSY-LOGISTIC**, al cărui responsabil am fost, care vizează implementarea practică a acestor tehnologii în sistemele logistice industriale. În cadrul Industriei 4.0, roboții mobili omnidirecționali echipați cu roți Mecanum au devenit esențiali datorită mobilității lor superioare, în special în medii cu obstacole dinamice. Metodologia prezentată în acest capitol subliniază importanța virtualizării și simulării 3D în dezvoltarea și validarea OMRs. S-a introdus o abordare simplificată de modelare și simulare cinematică în Simscape Multibody™, evidențiind patru modele de mișcare esențiale. Această cercetare a pus accent pe crearea unui model de roată Mecanum eficient, care să economisească timp în procesul de simulare și analiză.

Un alt aspect prezentat a fost integrarea Hardware in the Loop (HIL) în dezvoltarea OMRs, cu un accent pe utilizarea Sistemului de Operare ROS și MATLAB-Simulink. Această integrare permite dezvoltarea algoritmilor complecși de navigație autonomă, care sunt ulterior validați pe platforme hardware avansate.

Având în vedere imperfecțiunile mecanice, precum dezalinierea, calibrarea precisă a robotului devine esențială. Pentru abordarea problemei, în cadrul acestui capitol s-a prezentat o metodă extinsă de calibrare care se bazează pe o soluție comercială funcționând cu

ultrasunete, de tip IPS. Însă erorile inerente au necesitat o procesare specială a datelor brute. Soluția adoptată folosește multilaterație, măsurând distanțele dintre baliza mobilă cu ultrasunete și balizele fixe de referință. Această abordare a dus la o estimare a poziției cu un coeficient de încredere crescut. Rezultatele sunt impresionante, cu o reducere a erorii de mișcare de până la de șapte ori. Evaluarea a fost realizată folosind un nod ROS în Matlab-Simulink, interconectat prin Wi-Fi cu noduri ROS ale controlerului de navigare al robotului. Prin această metodologie, se subliniază potențialul unei calibrări precise obținându-se o ajustare majoră a încrederii în poziționarea prin odometrie.

O altă realizare prezentată în acest capitol este implementarea unui controler predictiv. Strategia de control a mișcării OMR se bazează pe un algoritm de optimizare neliniară cu un optimizator secvențial cvadratic, având o toleranță la constrângeri de  $1.0e-3$  și o toleranță la optimalitate de  $1.0e-4$ . Scopul este de a naviga robotul pe cea mai scurtă cale, evitând obstacolele și limitând mișcarea OMR în funcție de restricțiile actuatorului. Rezultatele simulării, bazate pe date reale, demonstrează o precizie ridicată în controlul poziției, cu o eroare de regim stabil sub 1%, și o optimizare eficientă, evidențiată de evoluția funcției de cost și de timpul rapid de rulare.

În contextul dezvoltării modelului experimental și a prototipurilor experimentale a roboților din cadrul proiectului ROSY-Logistic, o importantă parte din cercetarea realizată nu a putut fi diseminată din perspectiva condițiilor stipulate în acordul de confidențialitate semnat cu partenerul industrial și a depunerii aplicației pentru brevet. Însă, partea de implementare a soluției de siguranță a fost diseminată în cadrul unei nconferințe internaționale și prezentată în această teză. Soluția inovatoare constă în adaptarea orizontului de urmărire în funcție de viteza și direcția de deplasare a robotului. Acest mecanism permite robotului să ajusteze dinamic câmpul său vizual și să reacționeze în mod corespunzător la obstacolele din mediul înconjurător. Avantajele acestei abordări sunt multiple. În primul rând, adaptarea orizontului de urmărire în funcție de viteza robotului îi permite acestuia să anticipeze obstacolele înainte de a ajunge la ele, oferind astfel un timp de reacție mai mare. De asemenea, ajustarea orizontului de urmărire în funcție de direcția de deplasare permite robotului să se concentreze pe zonele cele mai relevante ale mediului, optimizând astfel resursele de calcul și energia consumată.

Acest capitol, care nu numai din perspectiva volumului dar mai ales a rezultatelor cercetării, reprezintă punctul de greutate al acestei teze, oferă o privire detaliată asupra dezvoltării, modelării și validării roboților mobili omnidirecționali în contextul cerințelor Industriei 4.0, rezultatele prezentate fiind esențiale pentru avansarea cercetării și implementării OMRs în medii industriale complexe.

Cercetarea prezentată în cadrul capitolului alocat **realității mixte** evidențiază o abordare imersivă a interacțiunii sincrone cu geamănul digital tridimensional al unor sisteme mecatronice dintr-o perspectivă holografică. Prin crearea unui mediu virtual în Unity 3D și implementarea acestuia pe ochelarii Hololens2, se oferă o reprezentare detaliată a spațiului de lucru și a zonei de siguranță a robotului. Aceasta nu doar că facilitează o înțelegere mai profundă a modului în care robotul navighează și interacționează cu mediul său, dar și transformă modul în care studenții abordează și înțeleg roboții.

Unul dintre cele mai impresionante aspecte ale acestei cercetări este introducerea meniului holografic interactiv care permite utilizatorilor să comande robotul în mod manual, oferind o interfață intuitivă și dinamică. Mai mult, prin integrarea Photon SDK se extinde această interacțiune, creând un mediu virtual partajat, permițând mai multor utilizatori să interacționeze cu robotul în timp real, indiferent de locația lor fizică.

Un aspect important este implementarea comunicației în timp real dintre holograma robotului și controlerul robotului real, asigurându-se o coerență și o sincronizare perfectă între lumea virtuală și cea fizică. Video-streaming-ul în timp real adaugă un alt strat de complexitate, permițând experților tehnici/profesorilor să monitorizeze și să intervină în acțiunile celorlalți participanți.

Hologramele 3D, oferind o imersiune profundă, percepție spațială detaliată și o interactivitate crescută, reprezintă un instrument esențial pentru dezvoltarea de aplicații de laborator inovatoare, concepute special pentru a răspunde nevoilor și așteptărilor nativilor digitali, stimulându-le curiozitatea și dorința de explorare în domeniul cercetării.

În **capitolul final** conturez obiectivele pe termen mediu pentru activitățile academice și de cercetare și prezint o foaie de parcurs strategică pentru eforturile viitoare, subliniind intenția de a continua direcțiile de cercetare prezentate în această teză de abilitare.