

Integrarea conceptelor Industriei 4.0 în sistemele de control automat a proceselor

Florin DRAGOMIR,
Universitatea Valahia din Tîrgoviște

Teza de abilitare

REZUMAT

Industria 4.0 reprezintă informatizarea proceselor de fabricație. Desemnată deseori precum o fabrică inteligentă, conectată, aceasta este sinteza unei convergențe între informatizare și internet. De aici vine și prescurtarea IT + OT (pentru tehnologie operațională) în IOT care înseamnă internetul lucrurilor. Internetul lucrurilor (IOT) și volumele mari de date sunt nucleul Industriei 4.0. Lumea virtuală și lumea reală converg. Datele și conectivitatea sunt cele două baze ale sale care duc la creștere și dezvoltare. Astfel, la baza automatizării producției și interconectării proceselor acestea este un sistem integrat de echipamente, mașini, angajați, dispozitive mobile și sisteme IT, toate acestea fiind capabile să comunice între ele.

Astfel, integrarea conceptelor Industriei 4.0 în implementarea unui sistem complet pentru managementul producției (MES – Manufacturing Execution System) reprezintă unul dintre cei mai importanți pași și presupune parcurgerea a 4 etape:

- **Digitalizare** - accesul la date în timp real. Soluția software potrivită face posibilă digitalizarea informației și transmiterea rapidă a acesteia către întregul proces de producție, fie că vorbim de proceduri, schițe tehnice, instrucțiuni, liste pentru materiale sau alte date esențiale.
- **Mobilitate** - conectarea operatorilor la sistemele informatice destinate gestionării proceselor.
- **Automatizare** - organizarea proceselor de producție prin interconectarea utilajelor, mașinilor, echipamentelor și dispozitivelor și conectarea tuturor acestor resurse la soluțiile informatice (sistemele de gestiune și management a stocurilor).
- **Informatizare** - utilizarea unui sistem informatic care să integreze atât resursele fizice (mașini, echipamente, angajați etc), cât și procesele de execuție (controlul proceselor, controlul fluxului de date, asigurarea calității, managementul resurselor, mentenanța echipamentelor, interfațarea cu echipamentele).

Teza de abilitare are titlul „Integrarea conceptelor Industriei 4.0 în sistemele de control automat a proceselor” și reprezintă o sinteză a activității științifice pe care am desfășurat-o după ce am obținut titlul de Doctor în anul 2009. Activitatea mea științifică pe cele trei direcții de aplicabilitate pot spune că reprezintă o experiență în vederea integrării conceptelor Industriei 4.0 în sistemele de control automat a proceselor, astfel:

1. Sisteme inteligente de control în domeniul PD din SER (cu folosirea conceptelor de *digitalizare, mobilitate și informatizare*);
2. Controlul sistemelor mobile autonome (cu folosirea conceptelor de *digitalizare și automatizare*);
3. Linii flexibile de fabricație asistate de sisteme autonome complexe cu folosirea conceptelor de *digitalizare, mobilitate, automatizare și informatizare*);

Teza de abilitare este structurată în patru părți și cuprinde: cele trei direcții de cercetare și un plan de dezvoltare a crierei în viitor.

1. Sisteme inteligente de control în domeniul PD din SER

Estimările referitoare la cantitatea de energie produsă din surse de energie regenerabilă (SER) și a consumului, la un moment dat în viitor, reprezintă pentru sistemul de management energetic integrat informații care contribuie în mod decisiv la gestionarea eficientă a energiei. Plusul de informație adus prin integrarea acestora în rețelele electrice de joasă tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă (PD - SER) optimizează partajarea resurselor între consumatori și atribuie rețelei un “caracter inteligent” (smart grid). Având în vedere beneficiile, de natură economică dar și legate de securitatea rețelei, ce le poate aduce integrarea predicției în tehnicile de control și monitorizare, comunitatea științifică își manifestă din ce în ce mai mult interesul în acest domeniu.

Producerea distribuită (PD) de energie electrică în rețelele de joasă tensiune joacă un rol foarte important în cercetarea actuală la nivel mondial, generând preocupări intense datorită atât efectelor benefice cât și anumitor probleme tehnice care trebuie rezolvate pentru a putea beneficia de respectivele efecte. Mai exact, prin producerea energiei electrice la nivel local se poate compensa pierderea de distribuție pe linii dar totodată un exces de putere poate cauza supratensiuni ce conduc la instabilitatea rețelei

Cercetările efectuate de mine în această direcție înglobează realizările și rezultatele specifice obținute în cadrul proiectului *Sistem inteligent de asistare a deciziilor aplicat în rețelele electrice de joasă tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă*, Cod: PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1616.

Această activitate a fost desfășurată în cadrul proiectului de cercetare „Sistem inteligent de asistare a deciziilor aplicat în rețelele electrice de joasă tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă (InDeSEn)” alături de cercetători din cadrul Universității Valahia din Târgoviște (UVT), companiei Advanced Technology Systems (ATS) și Universității Politehnica din București (UPB).

Activitatea de cercetare desfășurată a avut drept scop optimizarea consumului și generării de energie într-o rețea de joasă tensiune (RJT) cu producere distribuită din surse de energie regenerabile (PD SER), prin crearea și punerea în aplicare a unui sistem suport de decizie inteligent (InDeS), dedicat unei RJT cu PD SER. Acesta integrează teoria deciziei și concepte ale inteligenței artificiale în acțiunile de monitorizare, supervizare, predicție și control și permite utilizatorilor săi, prin informațiile furnizate, să controleze consumul de energie electrică a dispozitivelor utilizate în vederea reducerii costurilor facturate, emisiilor de carbon, cererii de energie în perioadele de vârf și utilizării eficiente a SER.

Obiectivul principal al proiectului InDeSEn a constat în optimizarea fluxurilor de energie în rețelele de joasă și medie tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă prin dezvoltarea unui prototip al unui sistem inteligent de asistare a deciziei. Producerea distribuită de energie electrică în rețelele de joasă tensiune joacă un rol foarte important în cercetarea actuală la nivel mondial, generând preocupări intense datorită atât efectelor benefice cât și anumitor probleme tehnice care trebuie rezolvate pentru a putea beneficia de respectivele efecte. Mai exact, prin producerea energiei electrice la nivel local se poate compensa pierderea de distribuție pe linii dar totodată un exces de putere poate cauza supratensiuni ce conduc la

instabilitatea rețelei

Aplicatia informatică este accesibilă oricărui utilizator interesat prin intermediul site-ului proiectului (<http://indesen.ats.com.ro/>) și furnizează atât informații cu caracter general referitoare la proiect și la activitățile derulate pe parcursul desfășurării acestuia cât și informații tehnice referitoare la RJT cu PD SER creată și implementată la Universitatea Valahia din Târgoviște, coordonatorul proiectului. Validarea instrumentului software propus, interfațat web, a fost făcută pe acest model experimental de RJT cu PD SER. Caracterul inovator și complexitatea proiectului sunt date de integrarea elementelor de inteligență artificială în predicția consumului de energie și al cantității de energie din SER.

În cadrul acestei direcții de cercetare pot enumera următoarele activități de cercetare și inovare desfășurate de mine:

a. Activitate de cercetare fundamentala privind componentele sistemului inteligent de asistare a deciziei in domeniul PD din SER

- i. Documentare privind aplicarea metodelor si tehnicilor de inteligenta artificiala in controlul retelelor de joasa tensiune cu producere distribuita (PD- SER)
- ii. Documentare privind dezvoltarea metodelor si tehnicilor de predictie privind starile posibile ale functionarii rețelei locale
- iii. Analiza comparativa privind aplicarea metodelor si tehnicilor de monitorizare si control a retelelor de joasa tensiune

b. Modelarea, simularea și proiectarea componentelor hardware modelului functional al sistemului inteligent de asistare a deciziei

- i. Modelarea și simularea generatoarelor fotovoltaice
- ii. Simularea unei rețele electrice de joasă tensiune cu producere din surse fotovoltaice
- iii. Proiectarea componentelor sistemului inteligent de asistare a deciziei in domeniul PD din SER
- iiii. Elaborarea algoritmului de predictie a puterii generate si consumate de fiecare element din RJT cu PD-SER

c. Dezvoltarea unui sistem inteligent suport de decizie

Această activitate de cercetare a fost concretizată prin publicarea de articole și participarea la conferințe internaționale, dintre care menționăm:

Dragomir F., Dragomir O., Minca E. - *A Fuzzy Approach to Intelligent Control of Low Voltage Electrical Networks with Distributed Power from Renewable Resources*, Proceedings of the IEEE International Energy Conference and Exhibition (EnergyCon'10), pg: 606 – 611, 18-22 December 2010, Manama, Bahrain

Dragomir O.E., **Dragomir F.**, Stefan V., Minca E. - *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems as a Strategy for Predicting and Controlling the Energy Produced from Renewable Sources*, Energies, 8(11), pp. 13047-13061, 2015

Dragomir O.E., **Dragomir F.**, Stefan V., Minca E. - *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference Systems – an Alternative Forecasting Tool for Prosumers*, Studies in Informatics and Control, Volume 24, Issue 3, pp. 351-360, 2015

Dragomir F., Dragomir O.E., Iliescu S.St., Brezeanu I., Stănescu I. - *Assessment of photovoltaic panels health using a LabView object oriented application*, Proceedings of the 2014 International Conference on Control Engineering and Automation (ICCEA2014), pp. 711-716, 2014

Dragomir O.E., **Dragomir F.**, Radulescu M. - *Matlab Application of Kohonen Self- Organising Map to Classify Consumers' Load Profiles*, Procedia Computer Science, Volume 31, Pages 474–479, 2014

Dragomir F., Dragomir O.E. - *Distributed Power Generation from Renewable Energy Resources*, Proceedings of UKSim-AMSS 6th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation (EMS2012), 14 – 16 November 2012, Valletta, Malta, Page(s): 299 - 304, 2012

2. Controlul sistemelor mobile autonome

Cercetările efectuate de mine în această direcție înglobează realizările și rezultatele specifice obținute în cadrul proiectelor *Sistem inovant microrobotic mobil cu control magnetic imbarcat*, Cod: PN-II-RU-PD-2012-3-0591 și *Sistem microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare (RoBoCell)*, Cod: PN-III-P2-2.1-PED-2016-1675. Toate activitățile au urmărit în primă instanță proiectarea și realizarea practică a unei structuri microrobotice mobile originale, urmate de proiectarea și realizarea unui sistem microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare original.

Sistem microrobotic mobil a fost construit și controlat automat în câmp magnetic. Microrobotul propriu-zis are cu dimensiuni de ordinul a $180 \mu\text{m} \times 250 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ și evoluează într-o arenă de numai 2×3 milimetri.

În cadrul activității de proiectare și realizare a unei structuri microrobotice mobile, activitățile mele de cercetare s-au axat pe:

- a. studiul abordărilor existente relativ la proiectarea și respectiv la metodele de acționare și control a microroboților (Principiile de funcționare ale microroboticii, Posibilitățile de microfabricație)
- b. studii experimentale și teoretice cu privire la proiectarea, simularea și dezvoltarea microrobotului (Simulari în element finit (campuri, dinamica), Proiectarea structurii microrobotului (descrierea funcțională a microrobotului propus), Proiectarea spațiului de lucru (arena), Dezvoltarea microrobotului și a unui spațiu de lucru bi-dimensional format din piste conductoare (arena). Realizarea microrobotului, Realizarea spațiului de lucru (arenei),
- c. testarea sistemului microrobotic (arenei individuale și a ansamblului arena-agent) și proiectarea circuitului electronic de comandă

În cadrul activității de proiectare și realizarea unui sistem microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare, activitățile mele de cercetare s-au axat pe:

- a. studiul sistemelor de micromanipulare pentru aplicații bio-medicale, ale sistemelor microrobotice pentru aplicații bio-medicale și studii privind opțiunile de microfabricare;
- b. proiectarea, simularea și realizarea sistemului microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare. Realizarea algoritmului de control;
- c. testarea sistemului microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare (testarea sistemului realizându-se în laboratoarele Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din București).

Această direcție de cercetare a fost concretizată prin participarea la competiții internaționale de microrobotică, depunerea de brevet de invenție (sistem microrobotic mobil pentru manipularea/sortarea de organisme unicelulare), publicarea de articole și participarea la

conferințe internaționale, dintre care menționăm:

Dragomir F., Ivan I.A., Gurgu I.V., Radulescu N.G., Bucurica I.A., Dulama I.D. – 7 premii I în cadrul concursului Mobile Microrobotics Challenge în anii 2015, 2016, 2017 și 2018. Premiul IEEE Robotics and Automation Society la secțiunile "Autonomous Mobility & Accuracy Challenge", "Microassembly Challenge" și "MMC Showcase & Poster Session Winner". The International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Seattle 2015, Stockholm 2016, Singapore 2017 și Brisbane 2018.

Gurgu I.V., **Dragomir F.**, Radulescu N.G., Dulama I., Bucurica I.A., Ivan M.E. - *Mobile micro-robotic system for manipulating unicellular organisms comprises a motion arena supported by a platform*, Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM), **Patent Number(s):**RO132431-A0, **Derwent Primary Accession Number:** 2018-24701J, **Derwent Class Code(s):** [P62](#) (Hand tools, cutting (B25, B26).), **International Patent Classification:** [B81B-005/00](#); [B25J-007/00](#)

Dragomir F., Ivan I.A., Gurgu I.V., Radulescu N.G., Bucurica I.A., Dulama I.D. - *Cosmol simulation of electromagnetic field required for a microrobot actuation*, Journal of Science and Arts, 2(43), pp. 523-529, 2018

Dragomir F., Dragomir O.E. - *Microrobotics: Present, Challenges, Perspectives*, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (RoBio2014), pp. 1904 – 1909, 2014, Bali, Indonesia

3. Linii flexibile de fabricație asistate de sisteme autonome complexe

Cercetările efectuate de mine în această direcție (conexă cu "Controlul sistemelor mobile autonome") înglobează realizările obținute în cadrul proiectului *Conducerea inteligentă și distribuită a 3 sisteme autonome complexe integrate în tehnologii emergente pentru asistare personală medico-socială și deservire de linii de fabricație flexibilă de precizie (CIDSACTEH)*, Proiectul component 4: *Modelarea, simularea și conducerea în timp real a liniilor de fabricație asistate de sisteme autonome complexe (SAC-ARP, SAC-VAM) integrate în tehnologii hibride de fabricație flexibilă de precizie, de laborator (linii de mecatronică) și industriale, pentru produse reutilizabile*, Cod: PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0290 (proiect de cercetare aflat în derulare).

Cercetările efectuate în cadrul acestei direcții de cercetare au condus la realizarea modelelor și colectarea rezultatelor de simulare pentru linii de fabricație flexibilă de precizie, integrate în tehnologii hibride de fabricație, de asamblare/dezasamblare (A/D) cu sisteme autonome complexe (SAC) integrate în tehnologii de deservire. Modelul generalizat a fost particularizat pentru linia de fabricație flexibilă aflată în laboratorul Universității Valahia din Târgoviște. Modelul particularizat este compus din 5 posturi de lucru. Linia de fabricație flexibilă este deservită de un Sistem Autonom Complex - Asistent Robotic Personal (SAC-ARP) echipat cu manipulator și un Sistem Autonom Complex - Vehicul autonom multidirecțional (SAC-VAM) destinat transportului reperului procesat.

Valorificând rezultatele modelării și simulării, s-a proiectat postul de dezasamblare, precum și platforma robotica de manipulare, destinată fabricației flexibile. În final, se pot livra soluțiile tehnice pentru realizarea obiectivelor de flexibilitate și reversibilitate a fabricației: proiectul tehnic de execuție a modulelor suplimentare, precum și proiectul sistemului suplimentar de senzori distribuiți și sisteme servoing vizuale.

În cadrul acestei direcții de cercetare pot enumera următoarele activități de cercetare și

inovare desfășurate de mine:

- a. Proiectarea și implementarea structurii de conducere a dezasamblării în post dedicat
- b. Proiectarea și implementarea structurii de conducere automatizată a fabricației flexibile pe o linie mecatronică dedicată;
- c. Realizarea compatibilității hardware între linia de fabricație flexibilă LA/D și deplasare/transport/manipulare a SAC;
- d. Integrarea în structura de conducere a liniilor de fabricație flexibilă de precizie, a structurilor de conducere complexe SAC și a configurațiilor distribuite de senzori și sisteme servoing;
- e. Conducerea în timp real a liniilor de fabricație flexibilă de precizie de asamblare și dezasamblare;

Această activitate de cercetare a fost concretizată prin publicarea de articole și participarea la conferințe internaționale, dintre care menționăm:

Dragomir F., Mincă E., Dragomir O.E., Filipescu A. - *Modelling and Control of Mechatronics Lines Served by Complex Autonomous Systems*, Sensors, Vol. 19, Issue 15, Article Number 3266,

Minca E., Filipescu A., Coanda H.G., **Dragomir F.**, Dragomir O.E., Filipescu A. - *Extended Approach for Modelling and Simulation of Mechatronics Lines Served by Collaborative Mobile Robots*, Proceedings of the International Conference on System Theory, Control and Computing – ICSTCC 2018, Page(s):335 – 341, 2018

Dragomir F., Caramida M.S., Dragomir O.E., Minca E. - *Towards neural control of the mobile robots*, Journal of Science and Arts, Vol. 19, Issue 2, pp. 529-540, 2019

Minca E., Coanda H.G, **Dragomir F.**, Dragomir O. Filipescu A. - *Cycle time optimization of a reversible A/DML served by a mobile robotic system*, Proceedings of the 19th International Conference on System Theory, Control and Computing, (ICSTCC), pp. 99 – 104, 2015

4. Perspective de dezvoltare a activitatilor de cercetare

Cercetarile științifice ulterioare vor viza în primul rând aspecte de complementaritate în raport cu direcțiile de cercetare prezentate anterior.

În direcția de cercetare ”*Sistemelor inteligente de control în domeniul PD din SER*” intenționez depunerea unei noi propuneri, în conexiune cu tematica, în cadrul competiției Horizon 2020. Continuarea cercetărilor desfășurate pe această direcție va permite în continuare îmbunătățirii infrastructurii hardware a RJT cu PD-SER.

În direcția de cercetare ”*Controlul sistemelor mobile autonome*” intenționez continuarea dezvoltării sistemului microrobotic realizat în cadrul proiectelor de cercetare MicRoMag și RoBoCell și depunerea de noi proiecte, în cadrul competițiilor naționale (Tinere echipe, Proiect experimental demonstrativ, Parteneriate, etc.) și/sau europene (Horizon 2020).

În direcția de cercetare ”*Linii flexibile de fabricație asistate de sisteme autonome complexe*” intenționez continuarea și finalizarea activităților de cercetare din cadrul proiectului de cercetare CIDSACTEH. Sistemul robotic autonom va avea asociate modele cinematice și dinamice pentru care se vor proiecta algoritmi de conducere avansați, specifici sistemelor neliniare (sliding-mode și backstepping). Acești algoritmi vor asigura robustețea la perturbații și incertitudini parametrice și de model. Sistemele roboțice autonome echipate cu manipolatoare roboțice vor deservei linii de fabricație flexibile de asamblare respectiv prelucrare pentru a le face reversibile, adică să fie capabile să facă și dezasamblare, respectiv

reprelucrare. Pentru sistemele roboțice se vor elabora algoritmi de conducere în regim colaborativ, ceea ce reprezintă implementarea conceptelor teoretice dezvoltate anterior.

Colaborari științifice

În prezent, sunt afiliat la Departamentul de Automatică Informatică și Inginerie Electrică din cadrul Facultății de Inginerie Electrică, Electronică și Tehnologia Informației (*DAIIE-FIEETI*) unde imi desfasor activitatea didactica si la grupul de cercetare din cadrul Departamentului de Cercetare Energie-Mediu din cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară (*DCEM-ICSTM*).

Tematica generoasă a domeniilor de cercetare abordate in activitatea mea stiintifica mi-a permis colaborarea cu echipe de cercetători de la *Universitatea Politehnică din București*, *Universitatea "Franche-Comté" din Besançon*, *Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică*, *Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA*, *Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați* și *Universitatea din Craiova*.

Toate colaborările în care sunt implicat în mod activ s-au derulat și se derulează în cadrul proiectelor de cercetare câștigate prin competiții naționale, și ne-au permis obținerea unor **rezultate cu componente de originalitate**:

Dintre acestea mentionez pe cele mai semnificative in celel ce urmeaza

- controlul rețelelor electrice de joasă tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă – cercetare in colaborare cu Universitatea Politehnică din București, colectivul coordonat de prof. dr. ing Sergiu Stelian Iliescu (având ca finalitate teza mea de doctorat)
- sisteme inteligente de asistare a deciziilor aplicat în rețelele electrice de joasă tensiune cu producere distribuită din surse de energie regenerabilă - cercetare in colaborare cu Departamentul de Automatică și Informatică Industrială, Facultatea de Automatică și Calculatoare, Universitatea "Politehnica" din București
- modelarea inteligentă a dinamicii producție/consum energie regenerabilă - cercetare in colaborare cu Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică
- sistem microrobotic mobil cu control magnetic – cercetare in colaborare cu Departamentul MIMENTO de la Institutul FEMTO – ST, Besançon, Franta
- sisteme robotice autonome destinate asistenței medico-sociale și deservirii unor procese de fabricație - cercetare in colaborare cu Departamentul de Automatică și Inginerie Electrică, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, Departamentul de Automatică și Informatică Industrială, Facultatea de Automatică și Calculatoare, Universitatea "Politehnica" din București și *Universitatea din Craiova*.

Rezultatele obtinute si domeniile de competenta mi-au permis, in acelasi timp, colaborarea cu mediul privat :

- Advanced Technology Systems (ATS) – în domeniul sisteme inteligente de asistare a deciziilor;
- ICPE SA - în domeniul producerii distribuite din surse de energie regenerabila;
- Electro-Total București, Departamentul Automatizari Industriale - în domeniul sisteme robotice autonome destinate asistenței medico-sociale și deservirii unor procese de fabricație.