



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII

Universitatea din Craiova

Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică

Ing. Daniela COMAN

ALGORITMI FUZZY PENTRU CONDUCEREA ROBOȚILOR DIN JOCURILE DE TIP FOTBAL

Rezumat al tezei de doctorat

**Conducător științific
Prof. univ. dr. ing. Mircea IVĂNESCU**

CRAIOVA
2008

CUPRINS (extras)

Lista Figurilor	iii
Lista Tabelelor	x
1. Introducere	1
2. Caracteristicile structurii mecanice pentru roboții din jocul de fotbal ..	15
2.1 Caracteristicile structurii mecanice a robotului YSR-A	16
2.1.1 Modelul cinematic al robotului YSR-A	17
2.1.2 Raza de rotație instantanee	20
2.1.3 Analiza traiectoriei circulare	21
2.1.4 Odometria mecanismului diferențial	23
2.1.5 Modelul dinamic al robotului YSR-A	28
2.2 Caracteristicile structurii mecanice a robotului RoboRoos	29
2.2.1 Mecanismul de mișcare omnidirecțional	30
2.2.2 Mecanismul de șutare a mingii	35
2.2.3 Mecanismul de driblare a mingii	37
3. Rețele Petri	39
3.1 Noțiuni introductive	39
3.2 Specificații de proiectare ale rețelelor Petri pentru structurile de conducere	54
3.3 Proiectarea structurilor de conducere prin tehnici de sinteză hibridă	55
3.3.1 Rafinarea operațiilor prin sinteză descendentă	55
3.3.1.1 Prezentarea generală a procedurii de rafinare	55
3.3.1.2 Module standard utilizate în rafinare	57
3.3.2 Atașarea resurselor prin sinteză ascendentă	60
3.3.2.1 Prezentarea generală a procedurii de atașare a resurselor	60
3.4 Proprietăți caracteristice ale structurilor de conducere rezultate din sinteză	71
3.5 Funcțiuni de bază și considerații de proiectare ale controlerului	71
4. Rețele Petri fuzzy	74
4.1 Noțiuni fundamentale privind logica fuzzy	75
4.1.1 Tipuri de funcții de apartenență	77
4.1.2 Restrictori	80
4.1.3 Operații cu mulțimi fuzzy	82
4.1.4 Proprietăți generale ale unui sistem de conducere în logică fuzzy	84
4.2 Concepte privind rețele Petri fuzzy	98
4.3 Rețele Petri pentru reprezentarea regulilor fuzzy (rețele lingvistice)	99
4.4 Rețele Petri fuzzy bazate pe rețele de tranziții și locuri (noduri)	104
4.5 Rețele Petri fuzzy temporale	105

5. Aplicarea rețelelor Petri în arhitectura de conducere a roboților din jocul de fotbal	108
5.1 Arhitectura de conducere a roboților din jocul de fotbal	108
5.2 Modelul controlerului pentru atribuirea rolului	112
5.3 Modelul controlerului pentru robotul fundaș	131
5.4 Modelul controlerului pentru robotul atacant	145
5.5 Modelul controlerului pentru robotul portar	166
6. Controlul mișcării roboților din jocul de fotbal	181
6.1 Metoda câmpului vectorial	181
6.2 Metoda ciclului limită	185
6.2.1 Navigarea folosind metoda ciclului limită	188
6.2.2 Navigarea folosind metoda ciclului limită extinsă	191
6.3 Algoritm de conducere fuzzy a unui robot mobil în jocul de fotbal	194
6.4 Exemple de aplicare a algoritmului de conducere fuzzy pentru diferite traiectorii dorite	198
7. Rezultate experimentale	204
7.1 Implementarea comenzilor cu model de tip rețea Petri și a controlerului în logică fuzzy	204
8. Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare	220
Bibliografie	239

Un domeniu interesant și în curs de dezvoltare, potrivit pentru cercetarea tuturor aspectelor sistemelor inteligente multiagent și ale roboților mobili este cel al roboților fotbaliști.

Teza este organizată pe opt capitole, la care se adaugă Lista figurilor, Lista tabelelor și Bibliografia.

Primul capitol, intitulat **Introducere**, prezintă o sinteză precum și valorifică un studiu existent în literatura de specialitate, privind stadiul la zi al realizărilor în domeniul roboților din jocurile de fotbal și precizează direcțiile principale de cercetare în domeniu.

Roboții fotbaliști au atras atenția cercetătorilor, nu numai prin latura distractivă pe care aceștia o reprezintă, dar mai ales prin multitudinea de probleme care trebuie rezolvate în timp real. Relevant în sprijinul acestei afirmații este numărul destul de mare al asociațiilor de programatori de roboți fotbaliști, care este în continuă creștere. Astfel au fost amintite următoarele asociații internaționale: RoboCup (The Robot World Cup Initiative) și FIRA (Federation of International Robot-soccer Association) organizând diverse competiții.

Scopul final declarat al RoboCup este ca :

„până în 2050 să dezvolte o echipă de roboți umanoizi total independenți care să învingă echipa câștigătoare a cupei mondiale la fotbal, respectând regulamentul oficial al FIFA”.

Cele două asociații diferă atât prin regulile impuse asupra jocului, cât și asupra roboților.

Realizarea unui sistem de roboți mobili fotbaliști necesită conceperea unui modul de percepere a mediului în timp real, cuplat cu un modul decizional și cu un modul de calcul al traiectoriei. Mai mult, comportamentele robotului pot varia de la comportamente simple, reactive, ca deplasarea spre minge, până la comportamente complexe care să ia în considerare acțiunile și strategiile coechipierilor și adversarilor.

O arhitectură de succes a unui astfel de sistem implică utilizarea unor algoritmi mai complecși de detecție a imaginilor bazate pe echipamente performante, realizarea unui modul cât mai inteligent de evaluare a strategiilor și al controlului navigației, vizând evitarea obstacolelor la un prim nivel și elaborarea unor planuri complexe într-un nivel superior, un sistem de comunicație radio eficient și o platformă hardware fiabilă a roboților.

Componenta de inteligență artificială poate fi implementată în mai multe moduri folosind diverși algoritmi de învățare, predicție, comunicare inter-agent și cooperare. Un aspect important al complexității sistemului de roboți fotbaliști este că aceștia trebuie să controleze nu numai pozițiile proprii, ci și ale mingii, care este un element dinamic pasiv al mediului.

Al doilea capitol, intitulat **Caracteristicile structurii mecanice pentru roboții din jocul de fotbal**, prezintă structura roboților YSR-A dezvoltați de firma Yujin Robotics Co. LTD avuți în vedere în această lucrare precum și structura roboților RoboRoos dezvoltați de Universitatea din Queensland.

În prima parte sunt prezentate soluțiile constructive posibile, soluția constructivă cinematică cu 2 roți motoare și 2 suport dovedindu-se a fi cea optimă pentru robotul YSR-A, apoi este dezvoltat modelul cinematic al robotului YSR-A. De asemenea se determină ecuația cinematică a robotului precum și raza de rotație instantanee iar în funcție de aceasta sunt prezentate diferitele posibilități de mișcare ale robotului.

În continuare este prezentată o analiză a traiectoriei circulare a robotului și odometria mecanismului de mișcare al robotului YSR-A. Se determină curbele caracteristice pentru cele trei componente ale poziției $x(t)$, $y(t)$, $\theta(t)$ precum și traiectoria robotului în sistemul de coordonate XY. De asemenea sunt determinate ecuațiile dinamice ale robotului mobil.

În partea a doua a acestui capitol sunt prezentate caracteristicile mecanice majore ale robotului RoboRoos: sistemul de mișcare omnidirecțional, mecanismul de șutare a mingii precum și mecanismul de driblare a mingii. Sunt prezentate configurațiile posibile pentru mecanismul de mișcare: configurația “Y” cu amplasamentul roților lateral și longitudinal precum și configurația “delta”. Soluția constructivă, cinematică cu 3 perechi de roți având configurația în “Y” iar amplasamentul roților lateral, s-a dovedit a fi cea optimă pentru robotul RoboRoos. Sunt determinate ecuațiile cinematice ale mecanismului de mișcare omnidirecțional. De asemenea se prezintă mecanismul de șutare a mingii fiind acționat de un singur motor de curent continuu atât

pentru a împinge cât și pentru a retrage dispozitivul de lovirea mingii. Sunt prezentate principalele componente ale mecanismului de șutare a mingii, apoi mecanismul de driblare a mingii, ce realizează controlul și mișcarea mingii în terenul de joc fără să piardă posesia ei.

Capitolul trei, intitulat **Rețele Petri**, este dedicat în întregime abordării rețelelor Petri.

În prima parte sunt prezentate unele noțiuni de bază ce țin de tematica examinată, notațiile și terminologia referitoare la rețelele Petri clasice pentru o orientare mai corectă la descrierea rezultatelor din teză.

Pentru facilitarea înțelegerii noțiunilor introduse în primul paragraf este dată descrierea informală a unui exemplu de proces de trimitere – primire de mesaje printr-un canal unidirecțional. În afară de definiția formală a rețelelor Petri este menționată în mod special regula după care se studiază evoluția unui sistem și anume așa numita regulă de tranziție.

Tot în acest paragraf 1.1 sunt expuse definițiile proprietăților structurale și dinamice de bază ale rețelelor Petri de tip P/T cum ar fi: mărginirea, viabilitatea, accesibilitatea, reversibilitatea definițiile proprietăților structurale, proprietăți ce garantează o bună comportare a sistemului modelat indiferent de modul încă necunoscut de gestionare a tuturor resurselor.

În continuare este prezentată o tehnică binecunoscută de verificare a proprietăților rețelelor Petri și anume tehnica invarianților. Invarianții asociați unei rețele Petri au conotații speciale în cadrul analizei proprietăților comportamentale ale acesteia și constituie, de aceea un instrument des întâlnit. Această metodă este utilizată pentru a demonstra proprietățile dinamice ale rețelelor Petri precum proprietățile de accesibilitate, mărginire, reversibilitate și viabilitate. Un avantaj al invarianților constă în aceea că ei pot fi construiți în timpul fazei de proiectare a sistemului, aceasta ajutând la obținerea unei modelări cât mai eficiente.

În finalul acestui capitol sunt prezentate specificațiile de proiectare ale rețelelor Petri pentru structurile de conducere.

Capitolul 4, intitulat **Rețele Petri fuzzy**, conține două părți.

În prima parte se prezintă cele mai importante mărimi care caracterizează mulțimile fuzzy, diferite tipuri de funcții de apartenență (triunghiulară, gaussiană, trapezoidală, Bell generalizată, respectiv sigmoidă), a căror alegere depinde de aplicațiile în care sunt utilizate. Se amintesc câțiva restrictori, modificatori matematici ai funcțiilor de apartenență pentru termeni lingvistici. Se precizează operațiile efectuabile asupra mulțimilor fuzzy, insistându-se asupra conceptului de normă triunghiulară.

Comparând tipurile de inferență propuse de Mamdani și Sugeno, se poate considera în general că metoda Mamdani este mai intuitivă și deci mai potrivită pentru aplicațiile în care oamenii trebuie să introducă date direct. Un alt avantaj al său constă în lărga răspândire și acceptare de care se bucură. Pe de altă parte, metoda Sugeno este mai eficientă din punct de vedere computațional, se pretează la tehnicile adaptive și de optimizare și este deci mai potrivită pentru analiza bazată pe tehnici matematice.

Deși sunt probleme clasice, ele au fost totuși punctate, în această primă parte, pentru a evidenția aspectele de realizare a inferenței, extrem de necesară atât în aplicarea rețelelor Petri clasice cât și în aplicarea algoritmului de conducere a robotului mobil.

În partea a doua a acestui capitol, se prezintă concepte privind rețelele Petri fuzzy, rețele Petri pentru reprezentarea regulilor fuzzy (rețele lingvistice), rețele Petri fuzzy bazate pe rețele de tranziții și locuri precum și rețelele Petri fuzzy temporale.

Sunt prezentate diverse modele de rețele Petri fuzzy astfel:

- rețele fuzzy Petri cu baton de adevăr în care o tranziție reprezintă o operație de minim, iar un nod o operație de maxim;
- rețelele Petri fuzzy cu regulă de producție fuzzy, unde descrierea cunoștințelor despre regulile de producție este realizată prin valori de adevăr, ca un algoritm de deducție fuzzy;
- cu ramuri fuzzy, unde regula de producție fuzzy este combinată cu batoanele de adevăr fuzzy.

În continuare sunt prezentate rețele Petri fuzzy lingvistice. Metodele fuzzy aplicate la rețele Petri permit simplificarea regulilor. Dacă în sistemele fuzzy fiecare regulă este verificată la un moment dat de timp, dacă este utilizată, în rețeaua Petri fuzzy se folosește o informație structurală și se verifică numai o submulțime de reguli, și deci apare o economie de timp de calcul.

Contrar cu rețelele Petri fuzzy de tip lingvistic sunt prezentate rețelele Petri fuzzy bazate pe rețele de tranziții și locuri (noduri) în care se operează cu funcții de apartenență. Acest concept de rețea Petri fuzzy permite ca în noduri să se găsească simultan mai multe batoane, iar tranzițiile pot cauza fluxuri diferite de date. Deci diferite stadii de îndeplinire a procesului de conducere pot fi evaluate după numărul de batoane în noduri.

În finalul capitolului sunt prezentate rețelele Petri fuzzy temporale prin introducerea criteriul “timpului” în rețelele Petri fuzzy. O tranziție temporală necesită un timp pentru transferul batoanelor de la nodul de intrare la cel de ieșire.

Așadar, folosirea conceptelor fuzzy în automatizarea diverselor procese permite utilizarea cunoștințelor despre proces, exprimate lingvistic în reguli de conducere. Rețelele Petri fuzzy sunt utilizate eficient în structuri de modele pentru procese în paralel și de tip asincron. Rețelele Petri fuzzy pot fi folosite pentru reprezentarea regulilor fuzzy la sistemele de conducere fuzzy și deci pot fi considerate ca modele pentru scopuri de simulare și conducere a proceselor.

În capitolul cinci intitulat *Aplicarea rețelelor Petri în arhitectura de conducere a roboților din jocul de fotbal* este prezentată, în patru etape, utilizarea rețelele Petri în arhitectura de conducere a roboților din jocul de fotbal, definindu-se topologia fiecărei rețele Petri pentru stabilirea rolului fiecărui robot, conform situației de joc precum și pentru stabilirea acțiunii fiecărui robot în rolul atribuit.

În prima etapă este modelat controlerul pentru atribuirea rolului fiecărui robot în funcție de situația de joc iar în următoarele trei etape sunt modelate controlerul pentru fiecare rol atribuit: robot fundaș, robot atacant și robot portar.

În ceea ce privește modelul de tip rețea Petri al controlerului pentru atribuirea rolului, acesta a trebuit să surprindă într-o topologie cât mai sintetică strategia echipei.

Modelul de tip rețea Petri al controlerului pentru robotul fundaș a trebuit să surprindă într-o topologie cât mai sintetică situațiile posibile pentru robotul fundaș și anume:

- robotul fundaș se află în spatele mingii;
- robotul fundaș lovește mingea;
- robotul fundaș se află în poziție de autogol;
- robotul fundaș este în contact cu mingea în spatele său.

În ceea ce privește modelul de tip rețea Petri al controlerului pentru robotul atacant, acesta a fost conceput astfel încât topologia acestuia să conțină următoarele situații în care se poate afla robotul atacant, astfel:

- robotul atacat se află în spatele mingii;
- robotul atacant lovește mingea;
- robotul atacant este în contact cu mingea în spatele său.

În ultima etapă s-a realizat modelul de tip rețea Petri pentru controlerul robotului portar, acesta fiind proiectat pentru a reacționa la situațiile caracterizate de distanța dintre poarta proprie și mingea astfel încât robotul portar să poată blocheze mingea sau să o lovească departe de propria poartă.

Controlerul robotului portar a fost proiectat pentru a reacționa la situațiile caracterizate de distanța dintre poarta proprie și mingea. Au fost considerate trei situații:

- distanță îndepărtată,
- distanță medie,
- în zona porții.

„Distanță îndepărtată” a fost considerată distanța dintre poartă și mingea de aproximativ 50 pixeli, „distanță medie” de 20 pixeli iar „în zona porții” distanța este sub 20 pixeli.

După realizarea construcției grafice a fiecărei rețele de comandă, s-a realizat transpunerea acesteia în formalismul matematic specific, în așa fel încât structura realizată să fie regăsită în totalitate și utilizată în evidențierea dinamicii interne a modelului.

Rezultatele obținute în urma verificării matematice prin metoda invarianților asociați tranzițiilor și a celor corespunzători pozițiilor după calculul matricii de incidență a fiecărei rețele au fost validate prin simulări efectuate cu software-ul Petri Net Toolbox în mediul MATLAB. A fost validată în acest fel atât topologia fiecărei rețele, evoluția (dinamica acestora), cât și proprietățile structurale și comportamentale.

S-au evidențiat cu această ocazie o serie de atribute ale modelului: simplitatea acestuia, compactitatea, portabilitatea și în același timp flexibilitatea structurii sale. Nu în ultimul rând s-a arătat modul în care rețelele construite se pot constitui în entități de tip obiect în cadrul unor arhitecturi ierarhizate.

De asemenea, opțiunile speciale ale software-ului Petri Net Toolbox, care îi conferă o mare capacitate de analiză pe lângă o animație ce permite identificarea marcajului după execuția fiecărei tranziții și o observare mai ușoară a comportamentului dinamic al rețelei, au făcut posibilă reprezentarea evoluției indicatorilor globali de performanță asociați pozițiilor respectiv tranzițiilor fiecărei rețele pentru diverși parametri de simulare.

În capitolul șase, intitulat ***Controlul mișcării roboților din jocul de fotbal***, se prezintă și se analizează în prima parte două strategii de conducere a roboților și anume conducerea roboților folosind metoda câmpului vectorial și metoda ciclului limită iar în partea a doua este dezvoltat un algoritm de conducere fuzzy a robotului mobil în jocul de fotbal care să asigure evoluția robotului mobil pe traiectoria obținută în etapa de planificare

Conducerea roboților mobili într-un mediu dinamic este o problemă deosebit de complexă datorită relațiilor matematice (cinematice și dinamice) neliniare între diferitele mărimi care caracterizează starea robotului și modul de descriere a mediului în care acesta evoluează.

Probleme deosebite apar la interacțiunea dintre cele trei elemente fundamentale într-o astfel de acțiune și anume robotul mobil, mediul și scopul (doleanțele de comportament).

Sunt nenumărate cercetările care au ca scop realizarea funcționării automate a unui robot inserat într-un mediu real, parțial și aproximativ cunoscut, în care robotul trebuie să ia decizii în funcție de evoluția mediului.

Ca în orice problemă de conducere a roboților mobili sunt parcurse două etape:

1. Determinarea traiectoriei dorite.
2. Asigurarea evoluției robotului pe traiectoria planificată.

Traectoria dorită este obținută folosind metoda câmpului vectorial și metoda ciclului limită.

Metoda câmpului vectorial reprezintă o modificare a câmpului potențial, robotul mobil putându-se deplasa în raport cu forța rezultantă compusă dintr-o forță atractivă generată de țintă (poziția dorită) și o forță repulsivă generată de obstacolele ce trebuie evitate.

Metoda ciclului limită generează o traiectorie pe care un robot o urmează pentru a evita posibile multiple obiecte aflate în mișcare, în timp ce se deplasează în timp real către o poziție țintă folosind caracteristicile ciclului limită ale unei funcții neliniare de ordinul doi ce modelează mișcarea sa.

Metoda câmpului de vectori unitari și metoda ciclului limită garantează ieșirea din minimul local și este eficientă în evitarea coliziunii cu obstacole aflate în mișcare.

În partea a doua a acestui capitol este dezvoltat algoritmul de conducere fuzzy a robotului mobil în jocul de fotbal care să asigure evoluția robotului mobil pe traiectoria obținută în etapa de planificare.

Se propune o structură de conducere fuzzy, care să țină cont de tronsonul traiectoriei dorite pe care evoluează robotul, adaptarea funcțiilor de apartenență făcându-se în funcție de mediul de evoluție. Pentru structura de conducere fuzzy, s-au încercat variante cu 25, 32 și 72 de reguli, dar s-a optat pentru structura cu 25 de reguli, avându-se în vedere reducerea timpul de calcul.

Prin intermediul mediului MATLAB, s-a demonstrat că robotul pornește dintr-o poziție inițială oarecare, urmărește ținta fără să-și piardă controlul, indiferent dacă traiectoria este simplă sau cu bucle.

În capitolul șapte intitulat *Rezultate experimentale* este prezentat un studiu al evoluției roboților în jocurile de tip fotbal folosind funcții și proceduri concepute de autoare în limbajul C.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute atât prin simulări cât și prin implementarea pe sistemul real, privind controlul mișcării în timp real, a confirmat fezabilitatea și robustețea sistemului de conducere fuzzy propus.

Punctul de plecare în dezvoltarea arhitecturii de comandă bazate pe modelul de referință de tip Rețea Petri l-a constituit observația referitoare la corespondența dintre pozițiile acestuia și stările în care se găsește sistemul fizic real, precum și asocierea tranzițiilor evenimentelor externe care îl pilotează. Aceasta a fost, de altfel, paradigma care a stat la baza elaborării modelelor prezentate în capitolul cinci și care este în directă corespondență cu realitatea.

S-au comparat rezultatele obținute în urma simulării modelelor obținute prin aplicarea formalismului rețelelor Petri cu cele reale.

Analiza comparativă a acestor rezultate a confirmat acuratețea modelelor propuse, validând în acest fel întreaga metodologie elaborată pentru construcții de acest tip și recomandând totodată formalismul Rețelelor Petri ca instrument eficient de analiză și comandă pentru categorii variate de sisteme.

În capitolul opt intitulat *Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare* se face o trecere în revistă a rezultatelor obținute, subliniindu-se principalele contribuții originale și perspectivele de implementare în rețelele Petri a adversarului precum și aplicarea logicii fuzzy în rețelele Petri pentru atribuirea rolului, pentru robotul atacant respectiv fundaș.

Într-o cercetare viitoare, pornind de la acest studiu, se va realiza o extensie pentru varianta când echipa este formată din cinci roboți.

CURRICULUM VITAE

Nume: COMAN
Prenume: DANIELA
Data de naștere: 30 iulie 1973
Adresa: Str. Matei Vasilescu, nr. 38, Drobeta Turnu Severin, România
Starea civilă: căsătorită, 1 copil
Naționalitatea: Română
Locul de muncă: Universitatea din Craiova, Facultatea de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice
Funcția: Șef lucrări
Tel.: +40252 -317403 (personal); +40252-333431(facultate)
Fax: +40252-317219
E-mail: amdcoman@yahoo.com

Studii:

- 1996: Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Departamentul: Mecatronică, Specializarea: Roboți industriali;
1991: Liceul „TRAIAN”, Drobeta Turnu Severin.

Specializări și calificări:

- 2007: Curs postuniversitar de specializare: „Informatică Tehnică”, Universitatea din Craiova, Facultatea de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Drobeta Turnu Severin, România;
2005: Curs postuniversitar de specializare: „Proiectarea și fabricația asistate de calculator”, Universitatea din Craiova, Facultatea de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Drobeta Turnu Severin, România;
1996: Institutul Universitar de Tehnologie Béthune, Universitatea Artois, Franța, Specializarea: Roboți industriali;
1996: Universitatea “Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi, Departamentul: Management.

Experiența profesională:

- 2007 – prezent: șef lucrări, Catedra de Inginerie, Facultatea de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Universitatea din Craiova;
2003 – 2007: asistent universitar, Departamentul “Științe Aplicate” Facultatea de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, , Universitatea din Craiova;
1997 – 2003: inginer, Serviciul Marketing, Șantierul Naval "Severnav" Drobeta Turnu Severin;
1996 – 1997: profesor debutant, Colegiul "Traian", Drobeta Turnu Severin.

Experiența științifică:

- 3 cărți;
- 20 lucrări științifice;
- 8 contracte de cercetare științifice.

Discipline predate: Roboți și manipolatoare; Bazele proiectării asistate de calculator; Programarea calculatoarelor și limbaje de programare.

Apartenența la societăți științifice și profesionale:

- Societatea Română de Automatică și Informatică Tehnică, SRAIT;
- Societatea de Robotică din România, SRR.