



UNIVERSITATEA “POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII
ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI
CATEDRA DE TEHNOLOGIE ELECTRONICĂ ȘI FIABILITATE

TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții la controlul inteligent al roboților
autonomi echipați cu sisteme multi-senzori*

*Contributions to intelligent control of autonomous
robots equipped with multi-sensors systems*

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof. univ. dr. Paul ȘCHIOPU

DOCTORAND: Drd. ing. Victor VLĂDĂREANU

București 2014

Cuprins

1. Introducere	1
2. Strategii de control inteligent al roboților autonomi echipați cu sisteme multi-senzor	9
2.1 Strategii de control inteligent al roboților autonomi multi-senzor prin controlul extins	11
2.2 Localizare și cartografiere simultană (SLAM)	31
2.3 Senzor optic laser time-of-flight	33
3. Stabilitatea mișcării roboților autonomi, pe terenuri denivelate și nestructurate, dotați cu sisteme multi-senzor inerțiale	39
3.1. Controlul roboților autonomi prin metoda punctului de moment zero (ZMP)	43
3.2 Controlul robotului haptic pe terenuri denivelate și medii incerte	51
4. Controlul extins multi-senzor al mișcării roboților autonomi	59
4.1 Control extins al echilibrului unui robot umanoid biped echipat cu senzori inerțiali	61
4.2 Controlul extins hibrid forță-poziție (eHFPC) al roboților autonomi	71
4.3 Arhitectura eHFPC cu <i>control explicit</i> utilizând senzori de forță și poziție	79
4.4 Arhitectura eHFPC utilizând controlul dinamic cu accelerație rezolvată	83
5. Navigarea în medii necunoscute și nestructurate a roboților autonomi cu sisteme multi-senzor	89
5.1. Strategie de localizare și cartografiere simultană (SLAM) pentru sisteme multi-senzor folosind lanțuri Markov și aplicații Petri	91
5.2 Algoritm de deplasare în medii necunoscute și nestructurate folosind teoria multidimensională a extenicii	97
5.3. Sistem inteligent de modelare cu rețele neuronale a informației provenite de la un senzor optic laser TOF	107
6. Sisteme inteligente de control extins pentru roboți autonomi dotați cu sisteme multi-senzor de poziționare	115
6.1. Modelarea spațiului de lucru al unui mecanism mecatronic folosind concepte ale extenicii	117
6.2. Control extins pentru actuatori robotice	121
6.3. Control fuzzy cu bază de inferență redusă pentru actuatori robotice	135
6.4. Control inteligent al generării și urmăririi traiectoriei robotului cu sisteme multi-senzor	147
7. Stand de simulare al roboților autonomi dotați cu sisteme multi-senzor	159
8. Concluzii și contribuții originale	175
8.1. Concluzii privind controlul inteligent al mișcării roboților mobili	175
8.2. Contribuțiile originale ale autorului	179
8.3. Lista lucrărilor originale	185
9. Bibliografie	189
10. Anexe	205

Capitolul 2

Strategii de control inteligent al roboților autonomi echipați cu sisteme multi-senzor

2.1.1 Conceptele cheiei ale teoriei extenicii

Pentru a putea manipula rezultatele situațiilor ce reprezintă problemele contradictorii, trebuie să dispunem de o reprezentare, precum și un set de instrumente și un model de mediu în care să facem aceasta. Această secțiune va explica pe scurt baza teoretică a extenicii și va descrie modelul general de gândire într-o problemă de extenică. Cei trei piloni ai teoriei extenicii sunt elementul bazic, mulțimea extinsă și logica extinsă. Teoria extenicii modelează toate componentele unei probleme în elemente, ceea ce oferă baza unui model funcțional al problemei. Acestea sunt numite elemente bazice și constau dintr-un triplet format dintr-un obiect, acțiune sau relație, un posibil număr infinit de caracteristici și valoarea lor corespunzătoare referitor la obiect. În formă matematică numim::

$$B = \begin{pmatrix} O_m & c_{m_1} & v_{m_1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{m_n} & v_{m_n} \end{pmatrix} = (O_m, c_m, v_m) \quad (2.1)$$

un element bazic în teoria extenicii. Litera M înseamnă că acest triplet definește un element material (deși toate elementele bazice sunt similare din punct de vedere al construcției) [67].

Teoria mulțimilor extinse este o teorie nouă care încearcă să descrie schimbarea în natura materiei, astfel luând atât aspecte calitative, cât și cantitative în considerare. Definiția teoretică pentru o mulțime extinsă este următoarea: presupunând că U este un univers de discurs, u este oricare un element în U , k este o aplicație din U la câmpul real I , $T=(T_U, T_k, T_u)$ este o transformare dată, numim:

$$E(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y = k(u) \in I, T_u u \in T_U U, y' = T_k k(T_u u) \in I\} \quad (2.2)$$

o mulțime extinsă a universului de discurs U , $y=k(u)$ funcția de dependență a $E(T)$, și $y'=T_k k(T_u u)$ funcția de extensie a $E(T)$, unde, T_U , T_k și T_u sunt transformări ale universului respectiv U , funcția de dependență k și elementul u

Aceste concepte sunt ilustrate mai departe în Figura 2.1 [67]

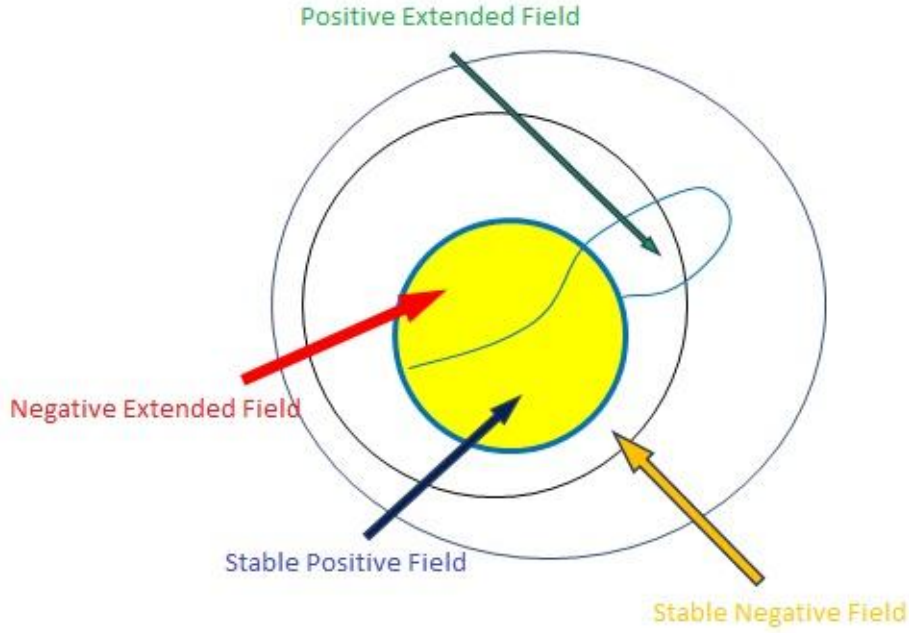


Figura 2.1. Universul de discurs într-o transformare extinsă

Cu scopul de a măsura gradul de compatibilitate sau incompatibilitate într-o problemă dată, teoria extenicii a introdus noțiunea de distanță extinsă. Noi concepte de ‘distanță’ și ‘distanță laterală’ care descriu distanța sunt stabilite, pentru a schimba regula matematică clasică în care distanța dintre un punct și un interval este zero dacă punctul este în interiorul intervalului. Funcția de dependență astfel stabilită poate descrie cantitativ realitatea obiectivă de “diferențiere în aceeași clasificare” și mai departe să descrie procesul de schimbare calitativă și cantitativă. [67].

Distanța extinsă extinde distanța matematică clasică între un punct și un interval pentru a include o valoare diferită de zero pentru punctele din interiorul intervalului. În matematică normală, distanța dintre un punct din interiorul intervalului și interval este întotdeauna nulă, pe când în extenică un punct într-un interval este considerat a avea o distanță negativă față de interval. Presupunând că x este oricare punct în axa reală, și $X = \langle a, b \rangle$ este orice interval în câmp real atunci:

$$\rho(x, X) = \left| x - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} \quad (2.8)$$

este distanța extinsă între punctul x și intervalul $\langle a, b \rangle$, unde $\langle a, b \rangle$ poate fi un interval deschis, un interval închis, sau un interval X pe jumătate deschis, pe jumătate închis. Se poate observa că atunci când punctul este pe marginea intervalului (i.e. $x=a$ sau $x=b$), valoarea la limita intervalului este $\rho(a)=\rho(b)=0$, în timp ce minimul global al distanței extinse este la centrul intervalului, unde valoarea sa este:

$$\rho\left(\frac{a+b}{2}\right) = -\frac{b-a}{2}. \quad (2.9)$$

Capitolul 3

Stabilitatea mișcării roboților autonomi, pe terenuri denivelate și nestructurate, dotați cu sisteme multi-senzor inerțiale

3.1. Controlul roboților autonomi prin metoda punctului de moment zero (ZMP)

În cadrul cercetărilor efectuate s-a dezvoltat o strategie de control dinamic al mersului pentru roboți autonomi folosind ZMP și informații inerțiale [26, 49, 31, 104]. Schema de control cuprinde generarea de modele compliante ale mersului, compensarea ZMP în timp real într-o singură fază- faza de suport, cu controlul amortizării articulației piciorului, controlul unei pășiri stabile și controlul poziției de pășire bazat pe viteza unghiulară a corpului robotului. În acest fel, robotul umanoid devine capabil să se adapteze pe un teren denivelat, printr-un control în timp real, fără să-și piardă stabilitatea în timpul mersului.

3.1.1. Controlul balansului în timp real.

Schema controlului echilibrului în timp real constă în 4 tipuri de bucle de control online, respectiv:

- *Controllerul de amortizare, pentru eliminarea oscilațiilor care apar în faza desuport unic* [26, 49, 82, 107]. Această oscilație este măsurată în principal de senzorul de forță/cuplu care este plasat în articulație ca parte compliantă a structurii de mișcare. S-a adoptat pentru modelarea mișcării robotului ecuația unui pendul simplu inversat cu o articulație în faza cu unic suport.
- *Compensatorul ZMP.* Deoarece bucla de amortizare nu este suficientă pentru menținerea mersului stabil din cauza mișcării ZMP, s-a conceput un compensator ZMP într-o fază, respectiv în faza de suport unic (FSU). ZMP este stabilizat de compensatorul ZMP conform dinamicii ZMP a pendulului simplu inversat cu o articulație corespunzătoare, în care **platforma** se va mișca înapoi și înainte.

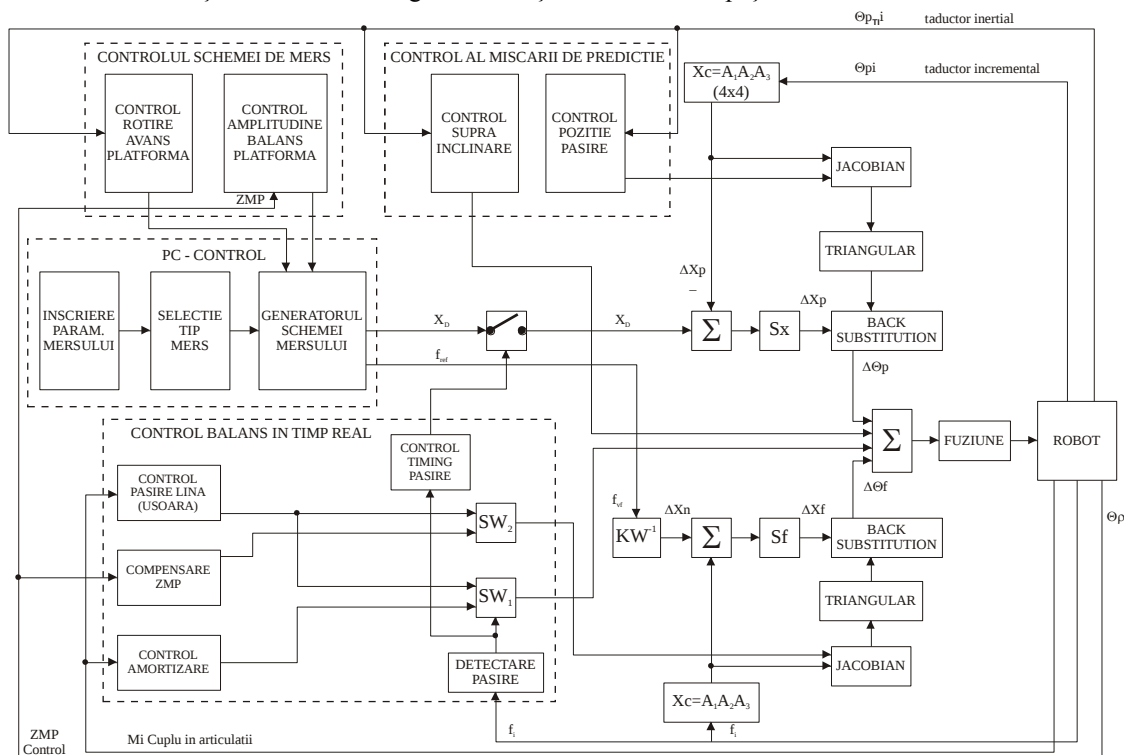


Figura 3.4. Control roboților autonomi prin metoda ZMP și a momentului inerțial

• *Controlul orientării la aterizare.* Pentru o aterizare lină este necesar să se realizeze controlul orientării la aterizare și controlul timing la pasire [15, 26, 27, 49, 78]. Controlul orientării la aterizare (ușoare) se realizează prin integrarea cuplului măsurat pe întreaga durată a pasirii. Un contact stabil se obține prin adaptarea articulațiilor piciorului la suprafața pământului, în cazul întâlnirii unui obstacol care împiedică continuarea mișcării piciorului robotului după o traiectorie normală conform cu schema de mers. Controlul acestei mișcări va conduce la o pasire lină și ușoară.

• *Controllerul timing la pasire.* Controllerul timing al aterizării previne robotul de a fi instabil în timpul aterizării prin modificarea schemei modelului de mers. Astfel, dacă piciorul nu aterizează pe pământ la sfârșitul fazelor 2 și 4, așa cum prevede schema de mers, programul de control al timing din sistemul de control va opri mișcarea până când piciorul ia contact cu solul.

În acest mod mișcarea reală de mers poate urma modelul de mers prescris în ciuda anomaliilor care se ivesc în timpul mersului și a unui teren în pantă sau denivelat.

Capitolul 4

Controlul extins multi-senzor al mișcării roboților autonomi

4.1 Control extins al echilibrului unui robot umanoid biped echipat cu senzori inerțiali

În această parte a tezei este analizată și dezvoltată o metodă de control al echilibrului roboților bipezi aflați în mișcare care se bazează pe utilizarea, prin procesarea informației de la un senzor inerțial de echilibru, a unui indicator de tip extins capabil să previzioneze în timp real punctul de moment nul ZMP (zero moment point), al unui robot umanoid aflat în mișcare. În prima parte a capitolului va fi dezvoltat aparatul matematic care are la bază indicatorul extins și sistemul de ecuații diferențiale care permite determinarea în avans a punctului de moment zero (ZMP).

Algoritmul de control al echilibrului roboților pășitori aflați în mișcare bazat pe utilizarea unui indicator de monitorizare în timp real a centrului de greutate utilizează intens instrumentarul matematic al teoriei extenicii.

4.1.2 Modelarea poziției centrului de greutate

La deplasarea roboților mobili autonomi pe terenuri cu configurație complicată și la stabilitatea acestora este necesar să se cunoască parametrii cinematici ai centrului de greutate al robotului pășitor (Figura 4.2). Vom nota cu $O_xO_yO_z$ sistemul de referință al robotului. Centrul geometric O este definit ca central cercului care trece prin vârfuri, iar $G(x_G, y_G, z_G)$ – centrul de greutate al robotului. Ținând seama de pozițiile X_{pi} , Y_{pi} , Z_{pi} ale picioarelor robotului biped putem să dezvoltăm un model matematic care să exprime caracteristicile cinematice ale centrului de greutate al robotului. Se respectă notațiile Denavit – Hartenberg cu semnificația evidențiată anterior, unde Z_i^j ($i=1,2$, iar $j=1,3$). Notăm cu m_i^j ($i=1,2$, $j=1,3$) masele elementelor mecanismului piciorului. Din modelul cinematic invers se cunosc: θ_{ij} . Sistemul $O_1x_1y_1z_1$ și sistemul $Ox_0y_0z_0$ sunt solidare cu bazinul robotului.

Transformarea coordonatelor punctului de sprijin P_i din sistemul $O_4x_4y_4z_4$ în sistemul $Ox_0y_0z_0$ pentru determinarea poziției poligonului de sprijin în raport cu platforma este dată în ecuația (4.4).

$$\begin{pmatrix} 1 \\ X_{0^i p} \\ Y_{0^i p} \\ Z_{0^i p} \end{pmatrix} = A_0^i \cdot A_1^i \cdot A_2^i \cdot A_3^i \begin{pmatrix} 1 \\ X_4^i p \\ Y_4^i p \\ Z_4^i p \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

Transformarea coordonatelor centrelor de greutate pentru elementele 1, 2, 3 ale mecanismului picioarelor din sistemele proprii în sistemul $Ox_0y_0z_0$ se obține succesiv prin trecerea de un grad de libertate la următorul grad de libertate.

$$\begin{pmatrix} 1 \\ X_{0^i G4} \\ Y_{0^i G4} \\ Z_{0^i G4} \end{pmatrix} = A_0^i \cdot A_1^i \cdot A_2^i \cdot A_3^i \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ X_{4 G4} \\ Y_{4 G4} \\ Z_{4 G4} \end{pmatrix} \quad i=1,2 \quad (4.5)$$

Condiția de stabilitate este ca proiecția verticală a centrului de greutate al sistemului G să se afle pe suprafața de siguranță din interiorul poligonului de sprijin. Se dau $A_0^i, A_1^i, A_2^i, A_3^i$ unde $i=1,2$ pentru robotul pășitor biped.

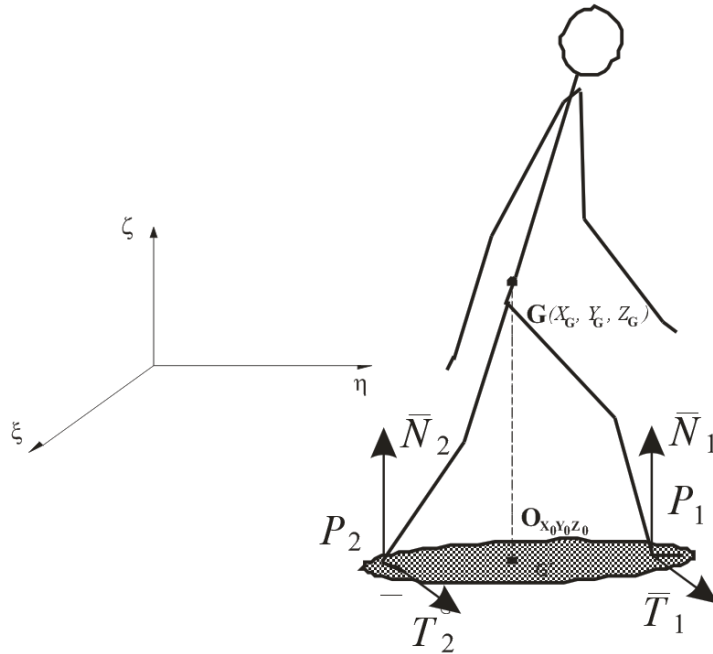


Figura 4.2. Modelarea matematică a centrului de greutate pentru roboți bipezi

Pozițiile centrelor de greutate ale fiecărui element al mecanismului picioarelor în raport cu sistemele proprii sunt cunoscute. Poziția centrului de greutate al robotului este determinată de coordonatele, unde $X^K = \{X, Y, Z\}$ ($k=1,2,3$):

$$X_G^k = \frac{m_0 \cdot X_O^k + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 m_j^i \cdot X_j^k \cdot G_j^i}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 m_j^i} \quad (4.6)$$

Cunoscând poziția centrului de greutate se pot determina prin derivare viteza $\dot{X}_G^k$ și dublă derivare accelerația $\ddot{X}_G^k$.

Capitolul 5

Navigarea în medii necunoscute și nestructurate a roboților autonomi cu sisteme multi-senzor

5.3. Sistem inteligent de modelare cu rețele neuronale a informației provenite de la un senzor optic laser TOF

Referitor la senzorii folosiți pentru achiziționarea informațiilor din mediul robotic, folosiți atât pentru sarcinile de navigare cât și de poziționare și control actuator, se remarcă folosirea unui senzor optic laser bazat pe principiul „Time-of-Flight”, care încorporează avantajele echipamentelor de precizie ridicată cu un cost economic scăzut.

După cum este explicat și în [81], una dintre provocările acestui tip de implementare este legată de procesarea informației primite de la semnalul fotodiodei. Figura 5.24 arată multiplele praguri de tragere folosite asupra semnalului primit.

Există un anumit prag sub care măsurarea semnalului este nesigură, deoarece semnalul este amestecat cu zgomot provenit din mediul înconjurător. Din acest motiv, primul prag de tragere este imediat deasupra nivelului de zgomot, următoarele două urmând la intervale scurte. Aceasta schemă de tragere permite stabilirea pantei ascendente a semnalului și poate fi folosită și pentru verificarea modelului. Aceste trei niveluri vor fi folosite pentru estimarea distanței măsurate de senzor, după cum se va vedea.

Al patrulea prag este plasat imediat deasupra nivelului de zgomot pe panta descendentă și este folosit pentru determinarea încheierii semnalului, și deci a timpului total de recepție a unui semnal coerent primit. Această metodologie funcționează bine pentru scanări singulare și/sau simulări de laborator, dar în practică există pericolul ca mai multe semnale returnante (sau chiar și împreună cu zgomot de amplitudine ridicată) să fie interpolate într-un semnal recepționat complex, care ar face informația de la cel de-al patrulea prag nefolositoare. Cele patru praguri sunt detaliate vizual în figura 5.24.

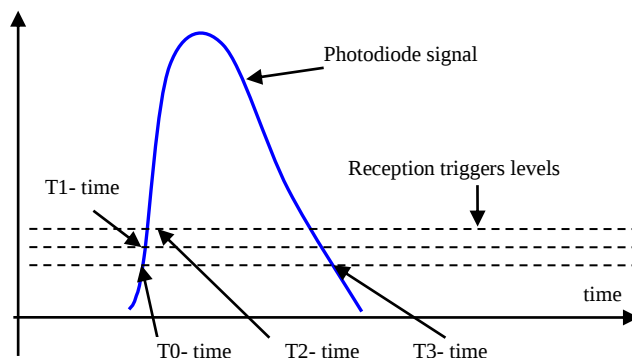


Figura 5.24. Pragurile de tragere aplicate semnalului primit de senzorul TOF

Conform metodologiei de mai sus, distanța măsurată este calculată ca o funcție a informației obținute la primul (T_0) și ultimul (T_3) prag. Presupunând că T_0 este cunoscut, nu există în practică nici o diferență între a cunoaște T_3 și a cunoaște distanța citită de senzor. De aici provine necesitatea de a estima valoarea celui de-al patrulea nivel de tragere (T_3), fiind cunoscute valorile obținute la cele trei praguri anterioare ($T_0 - T_2$).

Modelul final folosit este o rețea neuronală artificială cu pas înainte. Un model de rețea neuronală artificială conține un număr de variabile ascunse (numite neuroni) cărora li se asociază o rețea de ponderi, care sunt îmbunătățite la fiecare iterație până când estimatul lor se găsește într-o toleranță acceptată sau numărul de iterații expiră. Implementarea acestui algoritm a fost făcută folosind secțiunea specializată din softul *Matlab*. Un exemplu al topografiei rețelelor neuronale studiate este disponibil în figura 5.29.

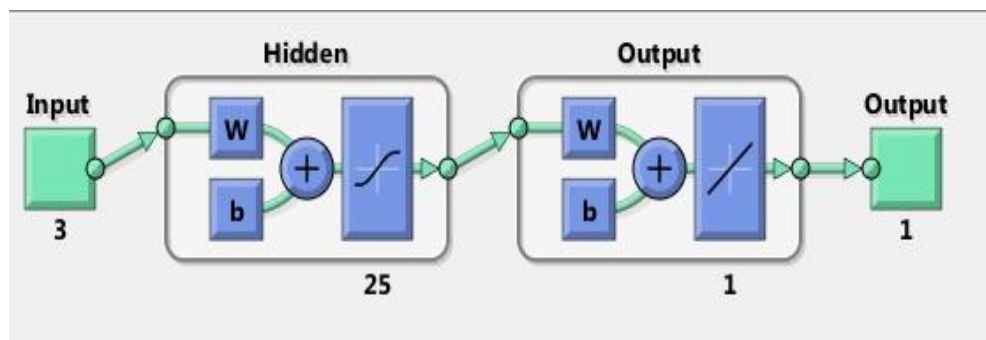


Figura 5.29. Rețea neuronală artificială cu un strat ascuns (25 neuroni)

Din totalitatea informațiilor disponibile, aproximativ 70% dintre exemple sunt folosite pentru antrenarea propriu-zisă a rețelei. Alte 20% sunt folosite pentru contra-validare, un proces ulterior în care ponderile sunt ajustate din nou în baza deviațiilor observate. Restul de 10% este folosit pentru a testa modelul de rețea obținut, oferind astfel o măsură a acurateței estimării și o verificare împotriva supra-aproximării datelor existente.

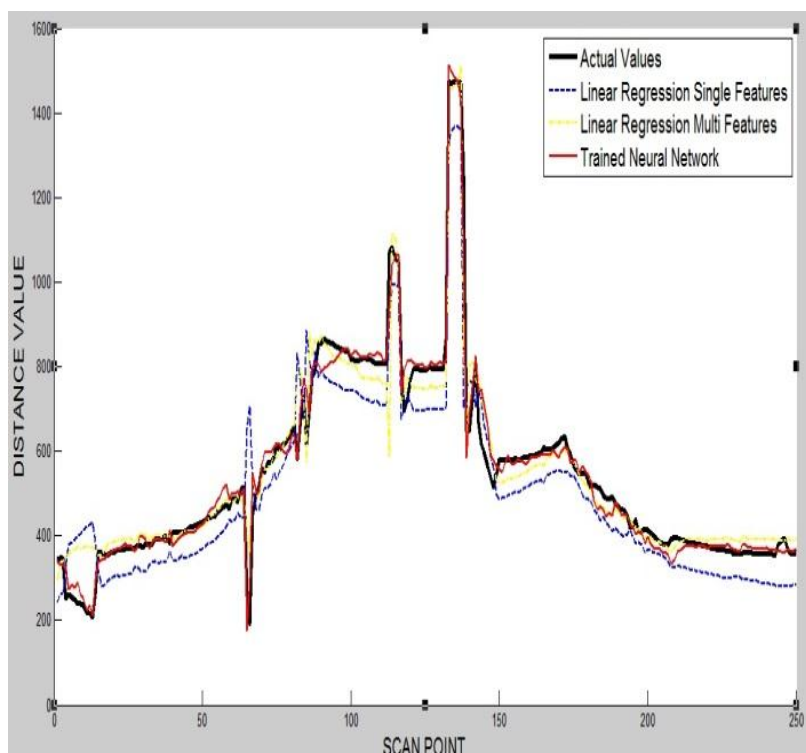


Figura 5.31. Comparație a valorilor reale (negru) și estimate de la toate modelele

Folosind un model de rețea neuronală artificială în *Matlab* pentru datele obținute și antrenând un număr de rețele neuronale de configurații diferite, completate printr-o varietate de modele de regresie liniară, au fost dezvoltate tehnici de estimare pentru compararea cu valorile medii empirice obținute din datele experimentale.

Rezultatele estimărilor parametrice folosind regresia liniară multivariată și rețele neuronale artificiale sunt ilustrate în figura 5.31.

Abordarea propusă folosind rețele Petri și lanțuri Markov oferă o soluție promițătoare pentru dezvoltarea cantitativă a sistemelor de modelare a evenimentelor discrete și stohastice folosite pentru planificarea sarcinilor roboților mobili autonomi cu sisteme multi-senzor. Pentru o înțelegere mai profundă a controlului și a comunicării repartiției de sarcini a roboților mobili autonomi, întregul proces secvențial al evoluției dinamice a evenimentelor discrete poate fi exprimat în variabile lingvistice, în ceea ce privește reprezentarea.

Aceasta poate conduce la modelarea unor relații complexe între parametrii țintă. Mai mult, timpul scurt de execuție va asigura un control rapid în buclă închisă, permițând altor programe să fie executate în timp real, cum ar fi recunoașterea de obiecte, făcând posibil un sistem de control cu o interfață umană flexibilă și intuitivă.

Metoda de învățare prin explorare propusă în acest capitol dispune de câteva calități definitorii: simplitatea de concepție care îi permite o ușoară transpunere în practică, capacitatea de a putea fi aplicat la cât mai multe și variate situații și de asemenea economisirea resurselor de memorie ale computerului care execută aplicația și aportul adus la mărirea vitezei de reacție.

Senzorul oferă procesare în timp real, frecvență înaltă, distanță medie, greutate redusă, preț scăzut, eficiență de consum și are un unghi de scanare larg cu rezoluție suficientă pentru majoritatea aplicațiilor.

Rezultatele primare sunt procesate folosind o rețea neuronală artificială obținută după teste detaliate și compararea diverselor soluții posibile. Aceasta permite implementarea unei soluții software eficiente care să reducă erorile de măsurare.

Rezultatul final este selecționarea unei rețele neuronale artificiale pentru implementare în softul senzorului laser TOF, folosind ponderile antrenate și obținute în cadrul simulării. Această implementare va conduce la rezultate mai coerente obținute mai rapid din datele inițiale și la posibilitatea implementării și testării ulterioare în cadrul unei platforme robotice mobile cu sisteme multi-senzor.

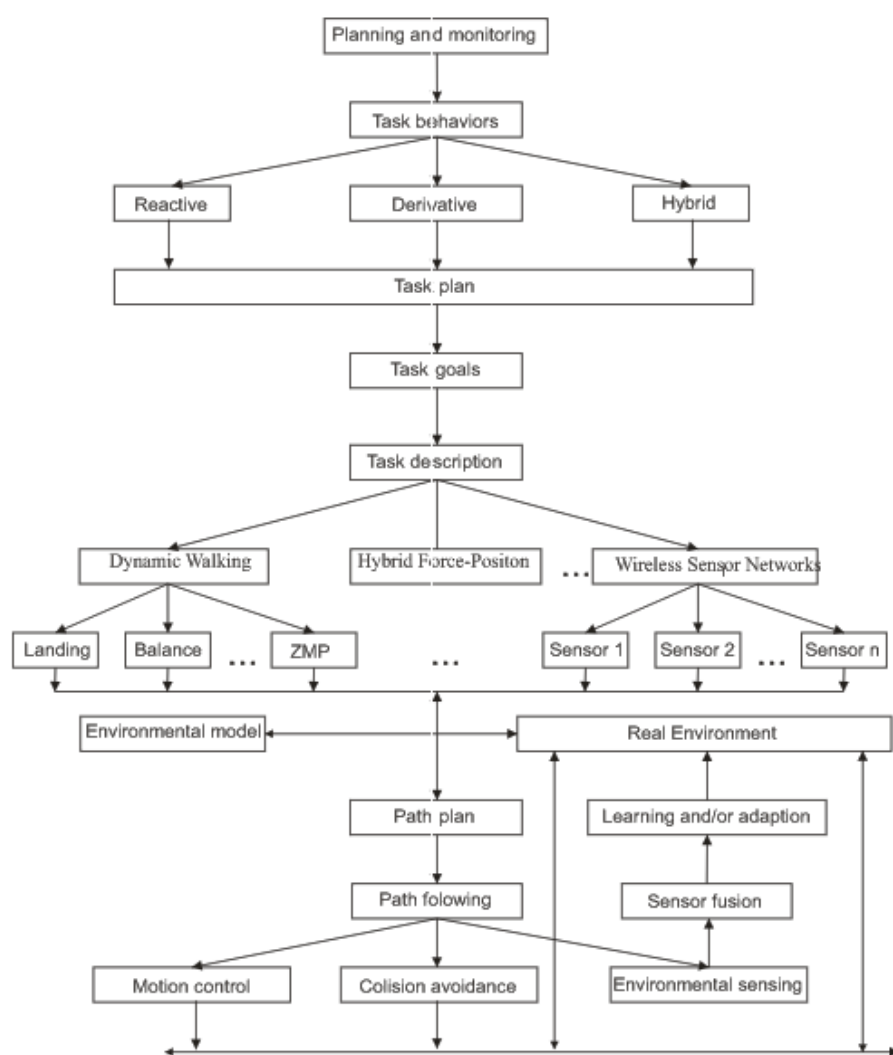


Figura 5.1. Arhitectura sistemului de control pentru un robot mobil multi-senzor

Capitolul 6

Sisteme inteligente de control extins pentru roboți autonomi dotați cu sisteme multi-senzor de poziționare

6.4. Control inteligent al generării și urmăririi traectoriei robotului cu sisteme multi-senzor

Aplicația dezvoltată implică conceperea și simularea unui dispozitiv robotic cu trei grade de libertate pentru folosirea pe o platformă robotică autonomă. Referința de urmărire pentru articulațiile unghiulare este dată folosind un model antrenat neuro-fuzzy în locul sistemului cinematic invers uzual. Actuatorele articulațiilor sunt conduse folosind o selecție de controllere de poziție și o comparație pentru rezultatele lor este prezentată. Aceasta se bazează pe concepte investigate anterior, de mare actualitate în domeniu cum ar fi rețele neuro-fuzzy, extensivă și control fuzzy cu bază redusă. Rezultatele prezentate aici fac parte dintr-un efort mai mare de a sprijini elaborarea și dezvoltarea unor roboți de salvare autonomi ca parte dintr-un proiect internațional de cercetare, bazat pe cooperarea interdisciplinară a numeroase domenii diferite.

Piciorul robotic 3D modelat prin *Robo Analyzer* este un mecanism cu trei articulații după cum se vede în figura 6.29. Acestea sunt articulații analoge șoldului, genunchiului și gleznei.

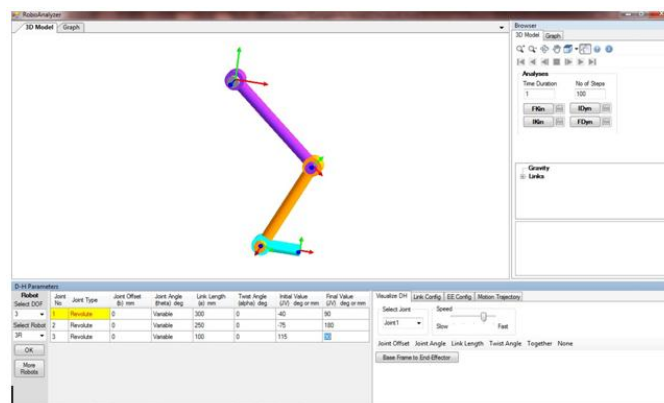


Figura 6.29. Modelul piciorului robotic folosind softul Robo Analyzer

Formulele cinematicii directe, care leagă un set dat de valori unghiulare în spațiul articulației de poziția efectorului final în spațiu cartezian, sunt:

$$\begin{aligned} l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) &= x \\ l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) &= y \end{aligned} \quad (6.5)$$

Folosind formulele de cinematică directă ilustrate mai sus, se obține o vizualizare a spațiului de lucru al robotului, ilustrat în figura 6.30.

În timp ce robotul autonom lucrează în mod evident în spațiu tridimensional, fiecare spațiu de lucru al piciorului robotic poate fi simplificat la un spațiu bidimensional pentru simulare și design. Acesta necesită, totuși, articulații cu cel puțin trei grade de libertate datorită unor considerații legate de modelul de platformă în general, cum ar fi aterizarea lină și controlul fazei de mișcare [8,37]. Aceasta presupune și că cel de- al treilea unghi (θ_3) trebuie controlat separat.

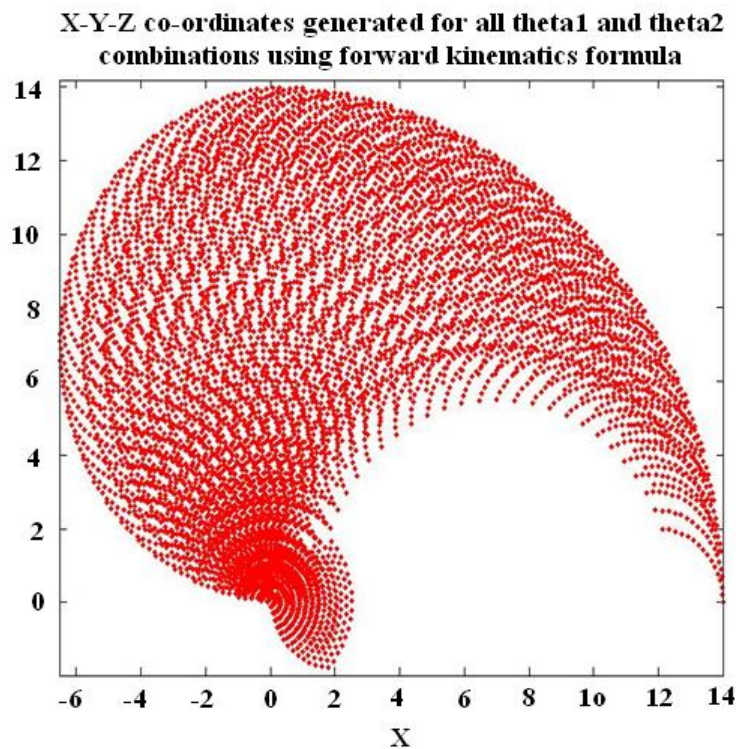


Figura 6.30. Spațiul de lucru robotic generat prin metoda cinematicii directe

Un sistem de inferență adaptativ neuro-fuzzy (ANFIS) este o tehnică de modelare extrem de folositoare pentru sisteme în care legile matematice care le guvernează sunt fie foarte complicate sau complet necunoscute. Un sistem de inferență fuzzy (FIS) este construit cu numărul potrivit de intrări și ieșiri pentru problema dată.

O rețea neuronală este apoi folosită pentru a optimiza parametrii acestui FIS astfel încât să rezulte o eroare minimă raportat la datele de intrare inițiale. Poziția, forma și lățimea funcțiilor membre și regulile de inferență sunt printre parametrii ce se optimizează prin algoritm neuronal. ANFIS este antrenat folosind un număr de exemple generate cu formule de cinematică directă. Acestea sunt evaluate pentru intervalele de valori ale articulațiilor unghiulare cu o rezoluție de 0.1 radian. Figura 6.30 care ilustrează spațiul de lucru robotic constă de fapt în toate exemplele generate pentru

antrenarea acestui algoritm specific de învățare. Unul din avantajele ANIFS este că, pentru puncte situate între exemplele existente, va aproxima rezultatul folosind o combinație de reguli declanșate de cele mai apropiate intrări. Odată ce a fost antrenat, sistemul de inferență fuzzy rezultat poate fi folosit în orice simulare ca un tabel de referință pentru a înlocui funcția unui bloc de cinematică inversă.

Sistemul de picior robotic este testat cu o selecție de controllere posibile, cum ar fi un controller PID reglat manual, un controller cu logică fuzzy clasic, un controller extensiv îmbunătățit (EEC) și un controller fuzzy cu bază redusă.

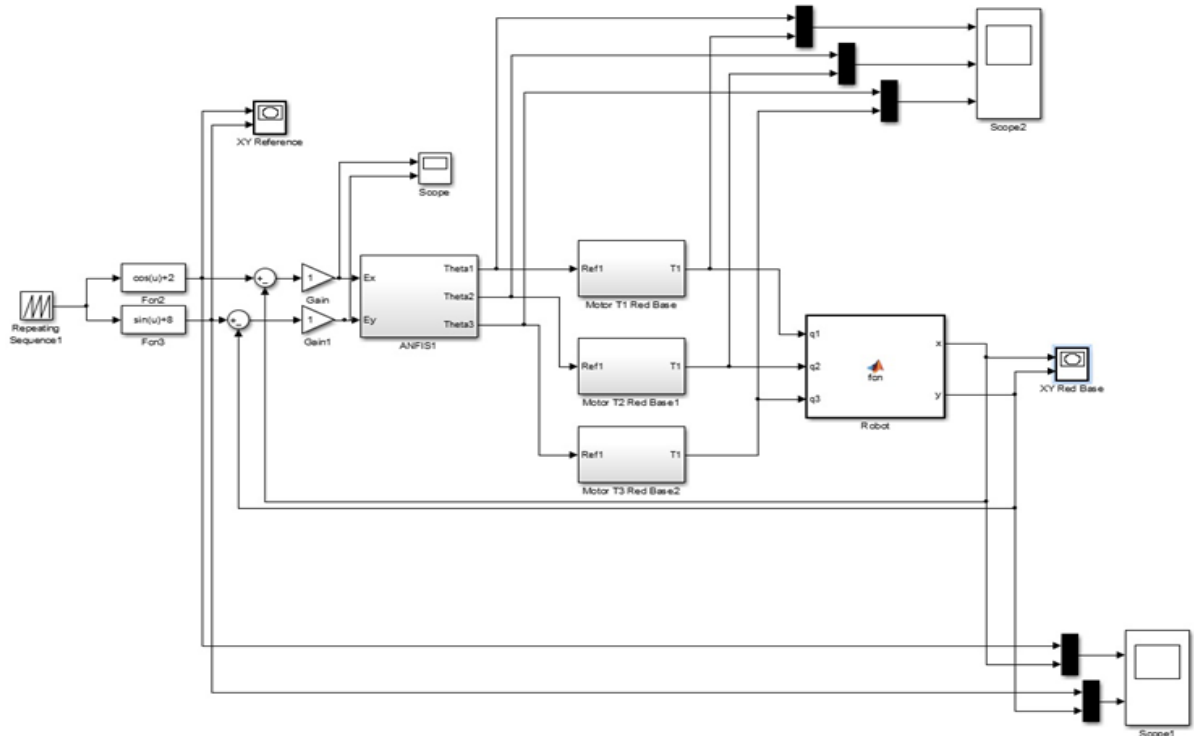


Figura 6.35. Arhitectura sistemului de control al robotului

Controllerul extensiv îmbunătățit folosește norma funcției de dependență din teoria extensivității pentru a determina gradul de compatibilitate a sistemului. După aceasta, calculează transformările corespunzătoare pentru a o aduce în compatibilitate. În practică, acest lucru este obținut folosind un controller fuzzy modificat care permite fiecărui interval de compatibilitate să fie echivalat cu o variabilă lingvistică fuzzy. Aspectul general al EEC este ilustrat în figura 6.36.

Controlul logic fuzzy cu bază redusă este bazat pe observația că în cele mai multe dintre implementările controlului logic fuzzy, regulile, intrările și ieșirile sunt simetrice față de punctul de origine. Spațiul de inferență fuzzy este apoi pliat pe el însuși, procedeu demonstrat să producă rezultate similare, reducând complexitatea FIS [18]. Există totuși o bandă în jurul axei de simetrie, unde semnul erorii trebuie anticipat, altfel ar duce la ieșiri pozitive și negative de aceeași valoare ce alternează, lucru care ar putea duce la instabilitate.

Acest capitol oferă o vedere de ansamblu în studiile și cercetarea întreprinse pentru a concepe și proiecta sisteme inteligente de control pentru roboți autonomi mobili cu sisteme multi-senzor, culminând cu modelarea un picior robotic folosit pe o platformă autonomă cu mai multe picioare.

Diversele tipuri de control inovativ de actuator au fost prezentate, multe dintre ele fiind contribuții personale, și au fost analizate și exemplificate avantajele și oportunitățile pe care le prezintă. S-a încercat deasemenea sublinierea posibilelor direcții de cercetare viitoare bazată pe inovațiile descrise în acest capitol.

Modelarea spațiului de lucru robotic n-dimensional folosind concepte din teoria extenicii contribuie la constituirea unui nou tip de control inovativ pentru actuatore, concepte similare fiind folosite și pentru controlul extins hibrid forță-poziție într-un capitol anterior.

Avantajele controlului extins se remarcă prin faptul că aceste rezultate au fost obținute fără nevoia de a adauga complexitate, în proiectarea sau implementarea simulării. Arhitectura controllerului este foarte directă, odată ce blocul de interpretare a funcției este stabilit. Proiectarea sistemului de interfață fuzzy este mai complexă decât în cazul SEC, dar nu cu mai mult decât un controller fuzzy obișnuit.

Contrar unei implementări a unui controller fuzzy obișnuit, nu există ajustări complicate ce trebuie aplicate sistemului de inferență fuzzy, în cazul în care un sistem linear s-ar dovedi insuficient, și nu există scheme sau algoritmi complecși necesari pentru a determina parametrii simulării (precum amplificările unei implementări PID). În timp ce locul și limitele mulțimilor extinse setate au nevoie să fie specificate și pot implica unele ajustări fine, optimizarea lor nu este vitală și rezultate perfect viabile pot fi obținute cu valori simple și intuitive (spre exemplu setarea intervalului „Acceptabil” egal cu banda de stabilizare a $\pm 2\%$ din valoarea de referință.)

Studiul arată că un algoritm neuro-fuzzy poate fi folosit pentru modelarea cinematică a unui picior robotic. Odată ce spațiul de lucru al robotului este generat și sistemului de interferență fuzzy îi este permis să învețe prin folosirea unei rețele neurale, acesta poate fi folosit pentru a înlocui sistemul de cinematică inversă și pentru a furniza un mecanism de conversie de referință aproape ideal. Algoritmul nu este costisitor din punct de vedere computațional și oferă rezultate satisfăcătoare chiar și cu un număr limitat de exemple, cum se poate observa din simularea efectuată.

Modelul de simulare a fost apoi construit folosind controllerul ANFIS în mod similar cu un tabel de căutare pentru a furniza referințele necesare pentru tipurile unghiulare de control al actuatorilor. Pentru această sarcină, o selecție de tipuri de control a fost testată, toate anterior optimizate pentru o intrare de referință în treaptă, folosind aceleași motoare care sunt prezentate în simulare. Acest lucru este unul din motivele pentru rezultatele destul de sărace arătate de controlul PID, deoarece favorizează controlul fuzzy mult mai robust.

Tipurile de control au fost testate folosind o referință de urmărire circulară generală pentru sistem. Cele mai bune rezultate au fost obținute de controlul fuzzy cu bază redusă, și într-o măsură mai mică de controlul extins îmbunătățit. Acest lucru va fi investigat în continuare ca parte din modelul general folosit pentru platforma autonomă.

Capitolul 7

Stand de simulare al roboților autonomi dotați cu sisteme multi-senzor

În vederea validării legilor de control inteligent al roboților autonomi echipați cu sisteme multi-senzori s-au realizat experimentări pe standul de simulare finanțat de către Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică în cadrul proiectului de cercetare „Cercetări esențiale și aplicative pentru controlul poziției roboților pășitori HFPC MERO”, ID 005/2007-2010, din programul IDEI [31], care a fost dezvoltat pentru integrarea în platforma de control inteligent al roboților mobili de salvare VIPRO, proiect PCCA 2013 Parteneriate, ID 2009-2013, contract 014/2014 [111] la care autorul este membru în cadrul echipei de cercetare a proiectului în echipa UPB.

Structura sistemului modular de comandă și control a standului de testare a fost concepută având ca obiectiv principal conducerea și achiziția de date de la senzorii din proces. În acest scop are loc, printr-o rețea serială proprie sistemului **PLC** AC500/CS31-ABB, transmiterea comenzilor de la **UC** (unitatea centrală) cu rol de Master, care controlează sistemul **PLC** (Programmable Logical Control), la modulele de intrări/ieșiri ale automatelor programabile cu rol de Slave. Acestea sunt module inteligente echipate cu microprocesoare și reprezintă interfața cu elementele de câmp, aflate de obicei la distanță de UC [146-148].

Controlul, monitorizarea și supervizarea proceselor tehnologice se realizează prin modularizarea fluxului tehnologic și primirea de la acestea a confirmărilor de execuție, a stării traductoarelor, a mărimilor analogice măsurate. Pentru procese complexe cu mai multe unități centrale cu rol de Master, acestea comunică prin rețele de comunicații seriale MODBUS, ETHERNET. Schimbul de date cu sistemul PC supervisor se realizează în general prin magistrala ETHERNET, iar pentru dezvoltarea de programe și interfața om-masina (HMI) se utilizează rețelele ETHERNET sau RS232 [147].

Modulul de configurare a unui sistem scalabil este prezentat în figura 7.1. Modulele de comunicare ale CPU (cuploarele) fac posibilă comunicarea între diferite unități conectate la magistrală. Cuploarele sunt amplasate pe partea stângă a CPU pe același suport numit „**Terminal de bază**”. Comunicația între CPU și cuploare are loc prin magistrale de comunicații ale cuploarelor (interfață cuploare), care este parte integrantă a Terminalului de bază [146].

Interschimbarea datelor este realizată printr-o memorie RAM dublu-port. În funcție de Terminalul de bază folosit, pot funcționa 1, 2 sau 4 cuploare. Nu există restricții în

privața ordinii cuploarelor pentru CPU, și de asemenea nici pentru conexiunea cu cuplorul intern al CPU (ETHERNET sau ARCNET).

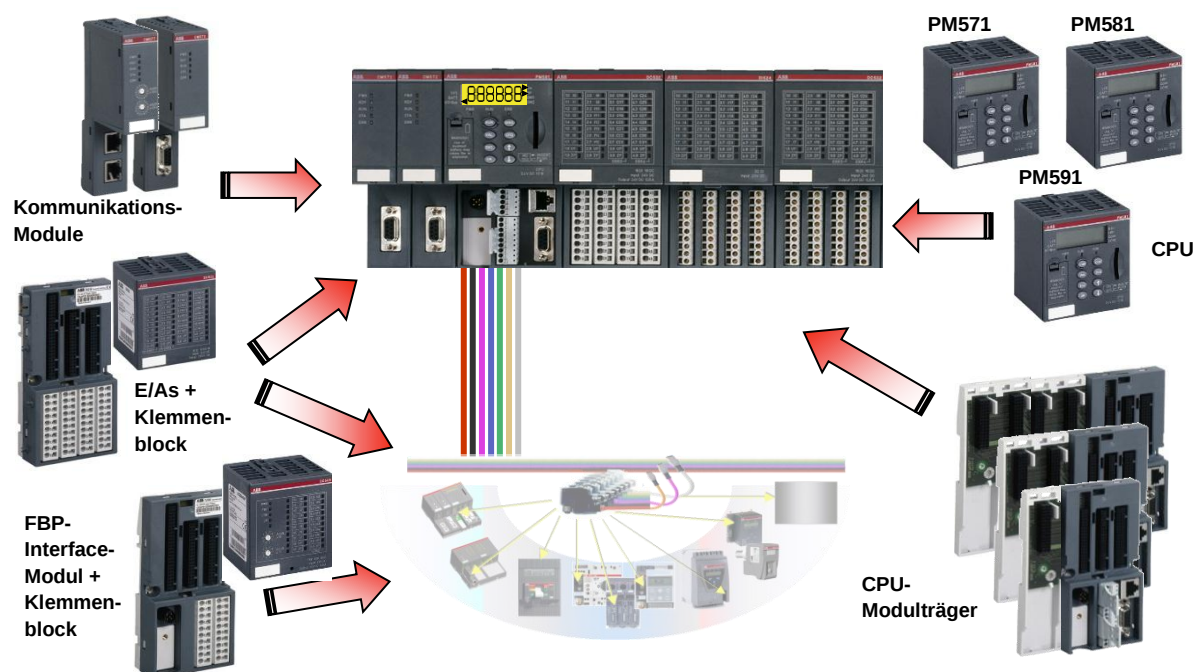


Figura 7.1. Configurare sistem PLC scalabil cu AC500

Structura sistemului are în componență câte o unitate centrală PLC care permite controlul local pentru fiecare dintre cele trei grade de libertate ale piciorului robotului. Modulele de intrări/ieșiri permit achiziția datelor de la traductoare și generează semnalele de referință ale traiectoriei de mișcare la actuator. Senzorii dispozitivului sunt folosiți în două moduri. În controlul poziției, informația obținută de la senzori este utilizată pentru a compensa abaterea din articulațiile roboților, datorită sarcinii create de forțele externe, astfel încât să accentueze aparenta rigiditate a sistemului de articulații ale robotului.

În controlul forței, articulația este folosită ca un senzor de forță astfel încât robotul să fie condus în aceeași direcție ca forța primită de la senzori, permițând ca forța de contact dorită să fie menținută.

Capitolul 8

Concluzii și contribuții personale

8.1. Concluzii privind controlul inteligent al mișcării roboților mobili autonomi echipați cu sisteme multi-senzor

Controlul hibrid forță-poziție care are la bază metoda eHPFC și utilizează logica extenicii și logica fuzzy este o strategie de control de nivel înalt bine adaptată și scalabilă complexității unui sistem mecatronic umanoid. Schema de control hibrid forță-poziție propusă aduce numeroase îmbunătățiri controlului hibrid al roboților mobili pășitori, iar logica extenicii este în multe privințe superioară altor legi de comutare și alegere a metodelor de control pentru fiecare grad de libertate al roboților.

Controlul extins al echilibrului roboților umanoizi bipezi echipați cu senzori inerțiali prezintă o metodă de control inovativă necesară pentru navigarea roboților autonomi în medii necunoscute și nestructurate. Folosind teoria multidimensională a extenicii constituie principalul algoritm generalizat de navigare decizională, bazându-se pe metoda Șandru de calcul pentru normele extenicii multidimensionale.

Strategia de localizare și cartografiere simultană modelată cu rețele Petri și lanțuri Markov completează operațional contribuțiile menționate în paragraful precedent prin conceperea unei strategii de localizare/navigare și modelare a sarcinilor robotului autonom care poate fi exprimată formal prin tehnicile Petri pentru rețele de grafuri decizionale și de tranziție.

S-a conceput și dezvoltat prototipul unui echipament cu senzor de optic de orientare și navigare cu cost redus și precizie ridicată, prin prelucrarea cu un model de rețele neuronale artificiale a informațiilor fizice achiziționate inițial de la un senzor optic TOF.

Se studiază și se realizează o analiză profundă a teoriei extenicii privind soluționarea problemelor contradictorii, cu aplicații în controlul în timp real al roboților mobili autonomi și în optimizarea performanțelor roboților prin utilizarea sistemelor multi-senzor. Controlul extins al actuatorilor prezintă îmbunătățiri succesive față de paradigma obișnuită de control, ducând la înlesnirea sarcinilor de concepere și dezvoltare ale controlului pozițional pentru sistemele mecatronice complexe.

Este elaborat, analizat și dezvoltat un nou tip de metodă pentru alcătuirea sistemelor de inferență fuzzy clasice, care permite reducerea la jumătate a complexității unui sistem de inferență fuzzy clasic liniar. În vederea apropierii simulărilor cât mai mult de prototiparea inițială, toate aceste metode sunt testate pe un manipulator mecatronic complex simulat cu generarea poziției de referință de către un sistem de inferență fuzzy optimizat cu rețele neuronale adaptive.

Concluzia generală a cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, constă în faptul că studiile, analizele, strategiile și tehnicile de control prezentate, la care se adaugă soluții inovative și metode originale dezvoltate de autor, contribuie semnificativ la cercetările în domeniul navigării și controlului inteligent al roboților mobili autonomi dotați cu sisteme multi-senzor în medii necunoscute și nestructurate. Astfel, se poate afirma că scopul acestei teze a fost îndeplinit.

Rezultatele obținute permit studii viitoare atât în domeniul mișcării roboților mobili autonomi cu sisteme multi-senzor în prezența obstacolelor, cât și în domenii precum vederea artificială, algoritmi de optimizare inteligenți auto-adaptiv, tehnici de automatizare a inovării și rafinarea controlului extins.

8.2. Contribuțiile originale ale autorului:

Cercetările realizate în cadrul acestei teze de doctorat au condus la dezvoltarea și implementarea unor soluții noi în ceea ce privește controlul inteligent al roboților mobili autonomi echipați cu sisteme multi-senzor, respectiv:

1. *Am realizat un studiu comparativ aprofundat din care a rezultat stadiul actual al cercetărilor* și s-a validat faptul că domeniul de cercetare abordat este unul de interes major, care se regăsește în preocupările marilor universități și centre de cercetare din întreaga lume.
2. *Am conceput, testat și implementat o nouă schemă de control hibrid forță-poziție bazată pe metoda de control în timp real eHFPC* cu aplicarea logicii extenicii în selecția optimă a legilor de control a mișcării robotului, care conduce la creșterea performanțelor mișcării și a îmbunătățirii stabilității roboților mobili autonomi cu sisteme multi-senzor pe terenuri necunoscute și nestructurate.
3. *Am conceput, testat și implementat o strategie de navigare în medii necunoscute și nestructurate a unui robot mobil autonom*, bazată pe norme ale extenicii multi-dimensionale de tip Șandru și un tip de algoritm evolutiv, care conduce la simplificarea sarcinii de navigare și ocolire a obstacolelor.
4. În acest sens, *am modelat strategia de nivel înalt de control și navigare a unui robot autonom multi-senzor* folosind elemente de localizare și cartografiere simultană (SLAM), formalism de rețele Petri și lanțuri probabilistice Markov.
5. *Am conceput, testat și implementat un model de prelucrare a informației provenite de la un senzor optic TOF* bazat pe rețele neuronale adaptive, în urma unui studiu aprofundat al metodelor alternative de procesare a datelor

primare, care a condus la scăderea timpului de citire și îmbunătățirea performanțelor senzorului pentru implementarea într-o aplicație robotică.

6. *Am conceput un model inovativ pentru folosirea normelor extenicii n-dimensionale* de tip Smarandache în generarea și cuantizarea spațiului de lucru robotic pentru poziții de referință.
7. *Am conceput, testat și implementat două tipuri de control extins inovativ*, aplicând norme și principii ale teoriei extenicii în controlul actuatorilor poziționale ale roboților, demonstrând viabilitatea conceptului în practică și contribuind la dezvoltarea domeniului emergent de control extins.
8. *Am conceput, testat și implementat un sistem de inferență fuzzy bazat pe o metodă inovativă* de definire a spațiului de inferență, care conduce la reducerea complexității sistemului păstrând standardul de performanță.
9. *Am conceput, testat și implementat un model de simulare a unui sistem mecatronic complex folosit în dezvoltarea roboților mobili autonomi cu sisteme multi-senzor* pentru operațiuni de salvare, în care am implementat și testat un număr de alternative de control, folosind o aplicație de rețele neuronale combinate cu logică fuzzy pentru generarea referinței multidimensionale de poziție.

Pe baza rezultatelor cercetărilor realizate, **autorul a elaborat, susținut și publicat** un număr de 28 lucrări științifice în domeniul tezei. Din totalul lucrărilor, 12 au fost publicate ca prim autor în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale de prestigiu precum și în reviste de specialitate, 6 lucrări în reviste indexate ISI dintre care una cu factor de impact 2,4, zece lucrări publicate indexate ISI Proceedings, două lucrări publicate în reviste BDI, 10 lucrări în conferințe internaționale indexate BDI.

Vizibilitatea cercetărilor este dovedită prin publicarea în comun a numeroase lucrări cu autori din țară și străinătate de renume, respectiv:

- Prof. Hongnian Yu și Prof. Shuang Cang de la Bournemouth University, UK,
 Prof. Mingcong Deng de la Tokyo University of Agriculture and Technology Japonia,
 Prof. Radu Ioan Munteanu și Prof. Cornel Brișan, de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
 Prof. Ovidiu I. Șandru, de la Universitatea Politehnica București
 Prof. Cai Wen și Prof. Yang Chunyan de la Guangdong University, China,
 Prof. Mircea Boșcoianu de la Academia Forțelor Aeriene din Brașov,
 Prof. Nikos Mastorakis de la Hellenic Naval Academy și directorul executiv al World Scientific and Engineering Academy and Society,
 Prof. Zengguang Hou și Prof. Xiao-Liang Xie de la Chinese Academy of Science,
 Prof. Chenkun Qi, Prof. Xianchao Zhao și Prof. Feng Gao de la Universitate Jiao Tong din Shanghai.
 Prof. Luige Vlădăreanu, Prof. Veturia Chiroiu și Prof. Ligia Munteanu de la

Institutul de mecanica solidelor al Academiei Române,

La această listă se adauga colaborarea stânsă cu Prof. Univ. Paul Șchiopu, validată de lucrări cu impact publicate în conferințe și reviste cu vizibilitate indexate ISI, BDI .

Multe dintre rezultate au fost valorificate prin contracte de cercetare la care autorul a participat, dar și prin brevete de invenție acordate echipelor de cercetare din care am făcut parte.

Nivelul științific ridicat al cercetărilor efectuate a fost accentuat prin colaborări internaționale în cadrul proiectului european FP7, IRSES, RABOT „Real-time adaptive networked control of rescue robots” cu Bournemouth University din UK, coordonator de proiect, partenerii de proiect Staffordshire University din UK, Shanghai Jiao Tong University China, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences China, Yanshan University din China, în care am participat ca membru și am efectuat un stagiu de cercetare de 1 lună la Shanghai Jiao Tong University, universitate aflată printre primele 100 universități din lume, și 1 lună la Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences, China.

De remarcat participarea în echipa de cercetare a proiectului „Cercetări fundamentale și aplicative pentru controlul hibrid forță-poziție al roboților pășitori modulari în sisteme cu arhitectură deschisă”, din programul de cercetare fundamentala programul PNII “Cercetari exploratorii” - IDEI, ID 005/2007-2010, finanțat de ANCS. Pornind de la acest proiect, prin activitatea depusă, am contribuit la realizarea propunerii de proiect “Platformă robot versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de control în rețele adaptive pentru roboți de salvare ” VIPRO, ID2009-2014-2016, finanțată de UEFISCDI, care îmi va permite în viitor dezvoltarea metodelor de control prezentate în teză.

Caracterul inovativ al cercetărilor a fost evidențiat în teză prin utilizarea teoriei extenicii, fondată de Prof. Cai Wen, care are o importanță deosebită în cercetarea științifică deoarece pleacă de la conceptele logicii fuzzy și o extinde introducând și folosind elementele de incertitudine și contradicție extrem de necesare în modelarea tuturor sistemelor și în avansarea domeniului de inteligență artificială. De menționat că împreună cu Prof. Smarandache, de la Universitatea New Mexico Gallup-SUA, și Prof. Vlădăreanu am făcut parte din primul grup de cercetători străini care au efectuat un stagiu de cercetare la Universitatea din Guangdong, în septembrie 2012, cu scopul de a colabora și extinde aplicațiile teoriei extenicii în domeniul controlului și al inteligenței artificiale.

Rezultatele obținute, superioare unor cercetări actuale publicate în reviste recunoscute, indexate BDI sau ISI, sunt relevate în prezenta lucrare prin conceptele originale, validate prin simulări și experimentări, recunoscute pe plan național și internațional prin publicarea rezultatelor cercetărilor în conferințe internaționale la Harvard (SUA), Tokyo (Japonia), Chengdu, Shanghai, Beijing (China), Paris, Atena, București, în reviste indexate în BDI și ISI, dar și prin premii naționale și internaționale, medalii de aur acordate la Expozițiile Internaționale din Zagreb 2008,

Geneva 2008-2014, Moscova 2010, București 2010,2014, Varșovia 2009.

Publicațiile, brevetele, premiile internaționale, medaliile de aur și proiectele de cercetare științifică naționale și internaționale la care am contribuit pe durata programului de pregătire doctorală, **care validează rezultatele cercetărilor**, sunt prezentate în continuare.

Premiile internaționale, medaliile de aur la expoziții de inovare naționale și internaționale

1. Luige Vlădăreanu, Cai Wen, Munteanu Radu Ioan, Yan Chunyan, **Vlădăreanu Victor**, Munteanu Radu Adrian, Li Weihua, Florentin Smarandache, Ionel Alexandru Gal, **Gold medal and Internațional Prize** of the 42st Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2014, 2-6 April 2014 “*Method and Device for Hybrid Force-Position extended control of robotic and mechatronic systems*”, Patent OSIM A2012 1077/28.12.2012
2. **Luige Vlădăreanu**, Cai Wen, Munteanu Radu Ioan, Yan Chunyan, **Vlădăreanu Victor**, Munteanu Radu Adrian, Li Weihua, Florentin Smarandache, Ionel Alexandru Gal, **Internațional awarded** by the TECHNOPOL Scientific and Technology Association of the Russian Federation, The 42st Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2014, 2-6 April 2014 “*Method and Device for Hybrid Force-Position extended control of robotic and mechatronic systems*”, Patent OSIM A2012 1077/28.12.2012
3. Ovidiu Ilie Șandru, Radu I. Munteanu, Luige Vlădăreanu, Lucian M. Velea, Paul Șchiopu, Mihai S. Munteanu, Alexandra Șandru, Gabriela Tonț, **Victor Vlădăreanu**, Ioan Bacalu, Lucian Stanciu, **Gold medal and internațional Prize of the 39th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2011**, for the patent: *Method and device of propulsion without any source of self-energy for mobile systems*
4. Ovidiu Ilie Șandru, Radu I. Munteanu, Luige Vlădăreanu, Lucian M. Velea, Paul Șchiopu, Mihai S. Munteanu, Alexandra Șandru, Gabriela Tonț, **Victor Vlădăreanu**, Ioan Bacalu, Lucian Stanciu, **Internațional award** awarded by Politehnica University of Hong Kong, **the 39th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2011**, for the patent: *Method and device of propulsion without any source of self-energy for mobile systems*
5. Ovidiu Ilie Șandru, Radu I. Munteanu, Luige Vlădăreanu, Lucian M. Velea, Paul Șchiopu, Mihai S. Munteanu, Alexandra Șandru, Gabriela Tonț, **Victor Vlădăreanu**, Ioan Bacalu, Lucian Stanciu, **Gold Medal** of the 9th a **Internațional Exhibition of Inventions -ARCA 2011, Zagreb, CROAȚIA, 13-15 October 2011**, for the patent: *Method and device of propulsion without any source of self-energy for mobile systems*
6. O.I.Șandru, R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, L.M.Velea, P.Șchiopu, M.S.Munteanu, A.Șandru, G.Tonț, **V.Vlădăreanu**, I.Bacalu, L.Stanciu, **Gold Medal** of ROMANIAN Inventions at 5-th IWIS Exhibition, 3-5 November 2011, Warsaw, Poland, for the patent: *Method and device of propulsion without any*

source of self-energy for mobile systems.

7. L.Vlădăreanu, L.M.Velea, R.A.Munteanu, T.Sireteanu, M.S.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, C.Balas, G.Tont, O.D.Melinte, D.G.Tont, A.I.Gal, **Gold Medal** of the IV-th Internațional Warsaw Invention Show **IWIS 2010**, for the patent: *Method and Device for Walking Robot Dynamic Control*.
8. L.Vlădăreanu, L.M.Velea, R.A.Munteanu, T.Sireteanu, M.S.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, C.Balas, G.Tont, O.D.Melinte, D.G.Tont, A.I.Gal, **Gold medal and internațional Prize of the 38th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2010**, for the patent: *Method and Device for Walking Robot Dynamic Control*.
9. L.Vlădăreanu, L.M.Velea, R.A.Munteanu, T.Sireteanu, M.S.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, C.Balas, G.Tont, O.D.Melinte, D.G.Tont, A.I.Gal, **Internațional Award and Diploma** of Internațional Warsaw Inventions Show **IWIS**, Association of Polish Inventors and Rational, în **the 38th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2010**, for the patent: *Method and Device for Walking Robot Dynamic Control*.
10. L.Vlădăreanu, L.M.Velea, R.A.Munteanu, T.Sireteanu, M.S.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, C.Balas, G.Tont, O.D.Melinte, D.G.Tont, A.I.Gal, **Medal and internațional Prize** of The X Moscow Internațional Salon Of Innovations and Investments, September 2010, Moscow, Russia, for the patent: *Method and Device for Walking Robot Dynamic Control*.
11. R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, O.Șandru, L.M.Velea, H.Yu, N.Mastorakis, G.Tont, E.Diaconescu, R.A.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, A.Șandru, **Special Prize, în Recognition of Meritorious Achievements for the Innovative Invention**, Isfahan University of Technology, Robotic Center, Republic of Iran, în **The 38th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2010**, for the patent: A00626/07.08.09: *Method and Device for Driving Mobil Inertial Robots*.
12. R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, O.Șandru, L.M.Velea, H.Yu, N.Mastorakis, G.Tont, E.Diaconescu, R.A.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, A.Șandru, **Gold Medal with mention and Internațional Prize of the 38th Internațional Exhibition of Inventions of Geneva 2010**, for the patent: A00626/07.08.09: *Method and Device for Driving Mobil Inertial Robots*.
13. R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, O.Șandru, L.M.Velea, H.Yu, N.Mastorakis, G.Tont, E.Diaconescu, R.A.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, A.Șandru, **Gold medal** of The X Moscow Internațional Salon Of Innovations And Investments, September 2010, Moscow, Russia, for the patent: *Method and Device for Driving Mobil Inertial Robots*.
14. O.I.Șandru, R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, L.M.Velea, P.Șchiopu, M.S.Munteanu, A.Șandru, G.Tont, **V.Vlădăreanu**, I.Bacalu, L.Stanciu., **Internațional awarded** by the **TECHNOPOL** Scientific and Technology Association of the Russian Federation, Moscow, în The Belgian Internațional Trade Fair for Technological Innovation, EUREKA, Bruxelles, November 2010,

for the patent: *Method and device of propulsion without any source of self-energy for mobile systems*.

15. R.I.Munteanu, L.Vlădăreanu, O.Șandru, L.M.Velea, H.Yu, N.Mastorakis, G.Tont, E.Diaconescu, R.A.Munteanu, **V.Vlădăreanu**, A.Șandru, **Gold Medal with Mention** of the IV-th Internațional Warsaw Invention Show **IWIS 2010**, for the patent: *Method and Device for Driving Mobil Inertial Robots*

Invenții OSIM și EPO:

1. **„Method and device for dynamic control of a walking robot”** Publication no.: **EP2384863**, App. No.: 10464006.5/EP10464006, PATENT: OSIM A/00052/21.01.2010, authors: Luige Vlădăreanu, Lucian Marius Velea, Radu Adrian Munteanu, Tudor Sireteanu, Mihai Stelian Munteanu, Gabriela Tont, **Victor Vlădăreanu**, Cornel Balas, D.G. Tont, Octavian Melinte, Alexandru Gal
2. **“Method and Device for Hybrid Force-Position extended control of robotic and mechatronic systems”**, PATENT: OSIM A2012 1077/28.12.2012, authors: Luige Vlădăreanu, Cai Wen, R.I.Munteanu, Yan Chuyan, **Victor Vlădăreanu**, Weihua Li, Radu Adrian Munteanu, Florentin Smarandache, Alexandru Gal.
3. **Real-time control method and control device for an actuator**, Vlădăreanu Luige, Velea Lucian Marius, Munteanu Radu Adrian, Munteanu Mihai Stelian, **Vlădăreanu Victor**, Velea Alida Lia Mariana, Moga Daniel, Publication no.: EP2077476, App no.: 08464013.5/EPO 08464013

Proiecte de cercetare în programe naționale și internaționale de cercetare științifică:

1. Membru în proiectul FP7: *“Real-time adaptive networked control of rescue robots”*, acronim RABOT, 2012-2015 of the 7th Framework Program for Research, Project Marie Curie, Internațional 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
2. Membru în proiectul național: PNII PT PCCA 2013 4 ID2009, *“Versatile Intelligent Portable Robot Platform using Adaptive Networked Control Systems of Rescue Robots”*, Coordonator – Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy
3. Membru în proiectul național: PNII PT PCCA 2011-2014-3.1-0190, Contract 190/2012 *“Reconfigurable haptic interfaces for the modeling of dynamic contact”* *“Interfete haptice reconfigurabile utilizate în reproducerea contactului dinamic”*, Coordonator – Institute of Solid Mechanics of Romanian Academy
4. Membru în echipa de cercetare a: *“Essential and Applied Research for HFPC MERO Walking Robot Position Control”*, ID 005/2007-2010, IDEAS Program, coordinator NCSR, financed by Național Authority for Scientific Research.
5. Membru în echipa de cercetare a: *“Real time modular and configurable automation system for decentralized systems”* Project, ID 11/2007-2010, IDEAS Program, coordinator NCSR, financed by Național Authority for Scientific Research

6. Membru în echipa de cercetare a: “Real time modular and configurable automation system for distributed systems”, ID 127/2007-2010, IDEAS Program, coordinator NCSR, financed by Național Authority for Scientific Research.
7. Participare la proiectul de cercetare aplicativă: „Electrical Motors Test Bench”, beneficiar Universitatea tehnică Cluj-Napoca.
8. Membru în echipa de cercetare a: “Hydrostatic servo-actuator for planes”, Acronym SAHA, Contract no. 81-036 / 18.09.2007-2010, Partnership Program, coordinator CNMP, financed by Național Authority for Scientific Research.

8.3. Lista lucrărilor originale

Lucrări științifice în reviste cotate ISI:

1. **Vlădăreanu V.**, Șandru I., Sensors Fusion for Modelling and Wear Control of Artificial Joint, accepted for publication în J. of Biomechanics, S077, Elsevier, ISSN 0021-9290, ISI Indexed, Impact Factor 2.4
2. Șandru, O.I., Vlădăreanu, L., Șchiopu, P., **Vlădăreanu, V.**, Șandru, A., Multidimensional extenics theory, UPB Scientific Bulletin 2013, Series A: Applied Mathematics and Physics, 75 (1), pp. 3-12, ISSN 1223-702
3. Vlădăreanu L., **Vlădăreanu V.**, Șchiopu P., „Hybrid Force-Position Dynamic Control of the Robots Using Fuzzy Applications”, 3-rd Edition of the IEEE/IACSIT International conference on Biomechanics, Neurorehabilitation, Mechanical Engineering, Manufacturing Systems, Robotics and Aerospace, ICMERA2012, Bucharest, 26-28 October 2012, pp.8, Invited Paper
4. Munteanu L., Brisan C., Dumitriu D., Vasiu R.V., Chiroiu V., Melinte O., **Vlădăreanu V.**, On the modeling of the tire/road dynamic contact, Transportation Research part C: Emerging Technologies 2013 ISSN 0968-090X
5. Dumitriu D., Munteanu L., Brisan C., Chiroiu V., Vasiu R.V., Melinte O., **Vlădăreanu V.**, On the continuum modeling of the tire/ road dynamic contact, CMC: Computers, Materials & Continua, 2013, IF 0,972 ISSN 1546-2218.
6. **Vlădăreanu V.**, Șchiopu P., Vlădăreanu L., Theory And Application Of Extension Hybrid Force-Position Control În Robotics, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 75, Iss.2, 2013, ISSN 1223-702

Lucrări științifice în reviste indexate în reviste BDI

7. **Vlădăreanu V.**, Tonț G., Vlădăreanu L., Smarandache F., The Navigation of Mobile Robots în Non-Stationary and Non-Structured Environments, Int. Journal of Advance Mechatronic Systems International Journal of Advanced Mechatronic Systems 01/2013; 5(4):232- 243. DOI: 10.1504/IJAMECHS.2013.057663, ISSN online: 1756-8420, ISSN print: 1756-8412, Excellence în Research for Australia (ERA): Journal list 2012 , Scopus (Elsevier)
8. Vasiu R.V., Melinte O., **Vlădăreanu V.**, Dumitriu D., On the response of the

car from road disturbances, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Série de Mécanique Appliquée, nr.3, 2013 ISSN: 0035-4074

Lucrări științifice internaționale indexate ISI

9. **Vlădăreanu V.**, Schiopu P., Cang S and Yu H, “Reduced Base Fuzzy Logic Controller for Robot Actuators”, Applied Mechanics and Materials Vol. 555 (2014) pp 249-258© (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.555.249, indexata ISI
10. **Vlădăreanu V.**, Schiopu P, Deng M., Yu H., “ Intelligent Extended Control of the Walking Robot Motion” Proceedings of the 2014 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Kumamoto, Japan, August 10-12, 2014, pg. 489-495, ISBN 978-1-4799-6380-5, 2014 IEEE, ISI Proceedings
11. **Vlădăreanu V.**, Smarandache F., Vlădăreanu L., Extension Hybrid Force-Position Robot Control în Higher Dimensions, International Conference Optimisation of the Robots and Manipulators Applied Mechanics and Materials Vol. 332 (2013) pp 260-269, (2013) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.332.260
12. Vlădăreanu L., Șandru O.I., **Vlădăreanu V.**, The Robot Real Time Control using the Extenics Multidimensional Theory, Recent Advances în Robotics, Aeronautical and Mechanical Engineering (MREN), Athens 2013
13. **Vlădăreanu V.**, Tonț G., Șchiopu P., Bayesian Approach of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) în a Wireless Sensor Networks Navigation for Mobile Robots în Non- Stationary Environments, Recent Advances în Robotics, Aeronautical and Mechanical Engineering (MREN), Athens 2013
14. Tonț G., **Vlădăreanu V.**, Risk-Based Approach în Availability Management for Dynamical Complex Systems, Recent Advances în Robotics, Aeronautical and Mechanical Engineering (MRME), Dubrovnik 2013
15. Vlădăreanu L., Șchiopu P., **Vlădăreanu V.**, Extenics Theory Applied to Robotics, Mathematical Applications în Science and Mechanics (MATHMECH), Dubrovnik 2013
16. Vlădăreanu L., **Vlădăreanu V.**, Șchiopu P. , Hybrid Force-Position Dynamic Control of the Robots Using Fuzzy Applications, ICMEERA, Applied Mechanics and Materials Vol. 245 (2013) pp 15-23 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland ISBN 978-3-03785-554-6
17. **Vlădăreanu V.**, Schiopu P., Șandru O.I. and Vlădăreanu L., “Advanced Intelligent Control Methods în Open Architecture Systems for Cooperative Works on 4 Nano-Micro-Manipulators Platform”, ISI Proceedings
18. **Vlădăreanu V.**, Schiopu P., Cang S, Yu H, Deng M., “Enhanced Extenics Controller for Real Time Control of Rescue Robot Actuators”, UKACC 10th International Conference on Control (CONTROL 2014), Loughborough, U.K., 9th - 11th July 2014, acceptata spre publicare la IFAC (International Federation of Automatic Control), ISI Proceedings

Lucrări științifice internaționale indexate BDI

19. **Vlădăreanu V.**, Deng M., Schiopu P., “Robots Extension Control using Fuzzy Smoothing”, Proceedings of the 2013 Internațional Conference on Advanced Mechatronic Systems, Luoyang, China, September 25-27, 2013, pg. 511-516, ISBN 978-0-9555293-9-9, IEEE indexed
20. Șandru O.I., Vlădăreanu L., Șandru A., **Vlădăreanu V.**, Stanciu C.L., Stamin C., Serbanescu C., Genetic Algorithm For Learning Automata, SISOM 2013, Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 21-22 May 2013
21. Dumitriu D., Melinte O., **Vlădăreanu V.**, Simularea interacțiunii verticale dintre autovehicul și drum folosind CARSIM, A 37-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Acustică și Vibrații CNMSAV XXXVII Chișinău, MD-2070, Republica Moldova, 6-8 Iunie 2013
22. Dumitriu D., Melinte D., **Vlădăreanu V.**, Half-Car Vertical Dynamics Using Carsim Software, Advanced Engineering În Mechanical Systems (ADEMS 2013)
23. **Vlădăreanu, V.**, Moga R, Schiopu P, Vlădăreanu L “Multi-Sensors Systems Using Semi-Active Control for Monitoring and Diagnoses of the Power Systems”, 2nd IFAC Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Systems, 2013, Volume # 2 | Part# 1, IFAC, Elsevier, Digital Object Identifier (DOI), 10.3182/20130522-3-RO-4035.00044, pg.78-83, ISBN: 978-3-902823-32-8,
24. **Vlădăreanu V.**, Șandru O., Șchiopu P., Șandru A., Vlădăreanu L., Extension Hybrid Force-Position Control of Mechatronics Systems, First Internațional Symposium of Extenics, Beijing 2013
25. Șandru O., Vlădăreanu L., Șchiopu P., **Vlădăreanu V.**, Șandru A., New Progress În Extenics Theory, First Internațional Symposium of Extenics, Beijing 2013
26. Șandru O., Vlădăreanu L., Șchiopu P., Toma A., Șandru A., **Vlădăreanu V.**, Stanciu L., Extenics Model for Equilibrium Control of Bipedal Robots, First Internațional Symposium of Extenics, Beijing 2013
27. Șandru O.I., Vlădăreanu L., Schiopu P., Șandru A., **Vlădăreanu V.**, “Applications of the Extension Theory în Machine Learning Field”, Proceedings of the 2013 Internațional Conference on Advanced Mechatronic Systems, Luoyang, China, September 25-27, 2013, pg. 524-529, ISBN 978-0-9555293-9-9, IEEE indexed
28. Vlădăreanu, L., Tont, G., **Vlădăreanu, V.**, Smarandache, F., Capitanu, L., The Navigation Mobile Robot Systems Using Bayesian Approach Through The Virtual Projection Method, The 2012 Internațional Conference on Advanced Mechatronic Systems, pp. 498-503, 6pg. ISSN: 1756-8412, 978-1-4673-1962-1, INSPEC Accession Number: 13072112, 18-21 Sept. 2012, Tokyo

Capitolul 9

Bibliografie

- [59] Fisher W.D., Mujtaba M.S. - Hybrid Position/Force Control: A Correct Formulation, The International Journal of Robotics Research, Vol. 11, No. 4, August 1992, pp. 299-311.
- [63] Willis, M.J., 'Proportional-Integral-Derivative Control', Dept. of Chemical and Process Engineering, Newcastle University, 1999, <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/pid/pid.pdf>
- [65] Cai Wen. Extension Set and Non-Compatible Problems, Journal of Scientific Exploration, 1983, (1): 83-97
- [66] Yang Chunyan, Cai Wen, Extension Engineering, Beijing: Science Press, 2007
- [67] Jia Chao, Xiao Shufang, Liu Ning, Application of Extenics Theory to Evaluation of Tunnel Rock Quality, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003-05
- [68] Cai Wen, Shi Yong. Extenics: its significance in science and prospects in application[J] , Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(7):1079-1086
- [69] Yang Chunyan. The Methodology of Extenics, Extenics: Its Significance in Science and Prospects in Application[C]. The 271th Symposium's Proceedings of Xiangshan Science Conference, 2005, 12: 35-38
- [70] Guan Feng-Xu, Wang Ke-Jun. Study on Extension Control Strategy of Pendulum System, Journal Of Harbin Institute Of Technology, 2006, 38(7): 1146-1149.
- [72] Fuzzy Logic, Neutrosophic Logic, and Applications, F. Smarandache & M. Khoshnevisan, 2003 BISC FLINT-CIBI International Joint Workshop on Soft Computing for Internet and Bioinformatics, University of California - Berkeley, December 15, 2003;
- [80] M. Serbanescu, M. Iliescu, M. Lazar, C. Ciufudean, "Development of 2D, Ultra-Simple, Low-Cost, Optical Range TOF ScanLaser", Proceedings of the 5th International Conference on Circuits, Systems, Control, Signals (CSCS '14), pg. 91-96, ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-960-474-374-2, Salerno, Italy, June, 2014

- [83] An C.H., Hollerbach J.M., The Role of Dynamic Models in Cartesian Force Control of Manipulators, The International Journal of Robotics Research, Vol.8, No.4, August 1989, pg. 51-71
- [113] Zadeh, L.A., 'Fuzzy Sets', Information and Control, no. 8, 1965
- [115] Takagi, T., Sugeno, M., 'Fuzzy identification of systems and its application to modelling and control' IEEE Trans. Syst., Man and Cybern., vol. SMC-15, 1985
- [116] Thomas, D.E., Armstrong-Helouvry, B., 'Fuzzy Logic Control – A Taxonomy of Demonstrated Benefits', Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 3, Mar. 1995
- [117] Ying-Chen Lee, Nobuyoshi Terashima, An extenics-based intelligent distance learning system, [J] IJCSNS:International Journal of Computer Science and Network Security, 2011, 11(5):57-63.
- [118] Cai Wen, The extension set and non-compatible problem, Science Exploration (in Chinese), 1983, 3(1): 83.
- [121] S Cang and H Yu, Novel probability neural network, IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, Vol.152, No.5, pp.535-544, 2005.
- [122] Luige Vlădăreanu, "Dynamical Stability Control for the Compliant Walking Robots", 11th International Conference on Dynamical Systems and Control (CONTROL'12), pp.8, Keynote Lecture
- [123] Cai Wen. Extension Set and Non-Compatible Problems [J]. Journal of Scientific Exploration, 1983, (1): 83-97
- [134] Jantzen, J., 'Foundations of Fuzzy Control', John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2007
- [135] Khalil Shihab, Simulating ATM Switches Using Petri Nets", pp.1495-1502, WSEAS Transactions on Computers, Issue 11, Volume 4, 2005
- [136] Boscoianu, M, Molder C., Arhip J., Stanciu M.I., Improved automatic number plate recognition system, Proceedings of International Conference on Mathematical Methods, Computational Techniques, Non Linear Systems, Intelligent Systems, Corfu, Greece, Oct 20-22, 2008, ISBN, ISSN 1790-2769, p 234-239
- [144] Byrne, J.P., 'GA-optimization of a fuzzy logic controller', Master's Thesis, School of Electronic Engineering, Dublin City University, 2003
- [148] Kennedy, J., Eberhart, R., 'Particle Swarm Optimization', Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, vol. IV, 1995
- [149] Gaing, Z.L., 'A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System', IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, no. 2, Jun. 2004