



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2012 01077

(22) Data de depozit: 28.12.2012

(41) Data publicării cererii:  
30.10.2013 BOPI nr. 10/2013

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL DE MECANICA SOLIDELOR  
AL ACADEMIEI ROMÂNE,  
STR.CONSTANTIN MILLE NR.15,  
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• VLADAREANU LUIGE, STR. GOLOVITA  
NR. 34, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;  
• CAI WEN, STR. WAIHUAN XI NR. 100  
PANYU DISTRICT, GUANGZHOU, CN;  
• MUNTEANU RADU IOAN,  
STR. ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMĂC,  
SC. 2, AP. 69, CLUJ NAPOCA, CJ, RO;

• YAN CHUNYAN, STR. WAIHUAN XI  
NR. 100, PANYU DISTRICT, GUANGZHOU,  
CN;  
• VLĂDĂREANU VICTOR,  
CALEA CRÂNGAȘI NR. 48, BL. 7, ET. 2,  
AP. 45, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• MUNTEANU RADU ADRIAN,  
STR. ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMA C,  
AP. 69, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;  
• LI WEIHUA, STR. WAIHUAN XI, NR. 100,  
PANYU DISTRICT, GUANGZHOU, CN;  
• SMARANDACHE FLORENTIN,  
705 FURLEY AVE., GALLUP,  
NEW MEXICO, US, US;  
• GAL IONEL ALEXANDRU,  
STR. VULTURILOR NR.51, SC.A, ET.3,  
AP.13, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU CONTROL EXTINS HIBRID  
FORȚĂ-POZIȚIE AL SISTEMELOR ROBOTICE ȘI  
MECATRONICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv pentru controlul extins hibrid forță-poziție a mișcării sistemelor robotice și mecatronice. Metoda conform invenției constă dintr-o primă fază, cu funcționare off-line, în care se definește un univers de discurs U al erorilor de poziție și de forță, urmată de alte șase faze, cu funcționare în timp real, în care se determină distanța extinsă de poziție și forță, după care se determină funcția de dependență K a semnalului de poziție, cât și a semnalului de forță, se realizează o matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție și forță, după care se continuă controlul hibrid forță-poziție, pentru a determina semnalele de eroare de poziție și de forță, se procesează semnalele de eroare, iar în ultima fază semnalele de poziție și de forță sunt transmise de către niște traductoare montate pe un sistem robotic și mecatronic. Dispozitivul conform invenției este alcătuit din module de calcul al distanței extinse de poziție (MCDEP) și de forță (MCDEF), din module de calcul al funcției de dependență pentru poziție (MCFDP) și forță (MCFDF), din module de transformare extinsă pentru poziție (MTEXP) și forță (MTEXF), din module de calcul al erorii de poziție

(MCEP) și de forță (MCEF), un modul inteligent de procesare a erorii (MIPE), un sistem robotic și mecatronic (SRM), și un modul de calcul în coordonate carteziene (MCCC).

Revendicări: 5  
Figuri: 10

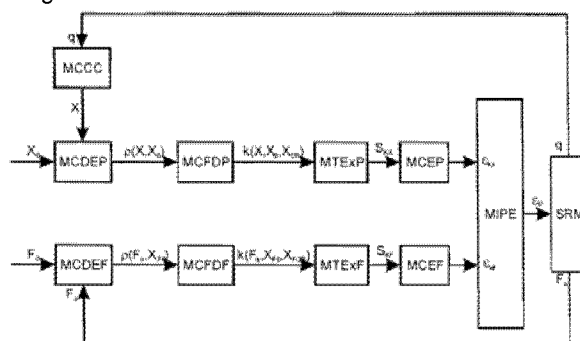


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



## Metoda si dispozitiv pentru control extins hibrid forta-pozitie al sistemelor robotice si mecatronice

Inventia se refera la o metoda si un dispozitiv pentru controlul extins hibrid forta-pozitie a miscarii sistemelor robotice si mecatronice, prin aplicarea setului extins din teoria extensiei in rezolvarea problemei contradictorii de control in forta si/sau in pozitie, permitand ca doua elemente contradictorii, forta si pozitia, externe setului clasic de control, prin transformari sa devina un element interior setului, cu rezolvarea contradictiei, imbunatatirea preciziei si stabilitatii miscarii sistemelor robotice si mecatronice. Inventia este destinata controlului hibrid, in timp real, a pozitiei traiectoriei de miscare a sistemelor robotice si mecatronice, conducand pe de o parte la cresterea stabilitatii deplasarii robotilor pasitori sau a sistemelor mecatronice mobile pe terenuri plane, cu obstacole sau denivelate, la viteze de mers constante sau variabile si sarcini constante sau variabile, iar pe de alta parte in controlul cu precizie ridicata a traiectoriei de miscare a elementului efector pentru robotii industriali, cu aplicatii in transportul de materiale nucleare, in activitati agricole de insamantare, prășire, aplicatii militare in detectarea minelor, experimente selenare și în general, aplicatii pe terenuri neregulate, greu accesibile, procese industriale robotizate, aplicatii MEMS (micro sisteme electro-mecanice), aplicatii NMM (nano-micri manipulators) de pozitionare, inserare, urmarire traiectorie, manipulare obiecte, teleoperare.

Funcționarea robustă și sigură al robotilor si sistemelor mecatronice în contact cu obiectele în mediul lor este cerința de bază pentru realizarea sarcinilor conform aplicatiilor date. Controlul stabil al interacțiunii robot-obiect implică o problemă dificilă din punct de vedere tehnic. Astfel, pentru controlul de contact numită „adaptarea poziției” este propusa de Whitney (1977) o metoda simpla în care forța de contact este folosită pentru a modifica traiectoria poziției de referință a efectorului final al robotului. *Controlul mișcării de rezistență la arcuire*, care este în esență control de forță implicit bazat pe poziție a fost sugerat de Lawrence și Stoughton (1987) și Kazerooni, Waibel, și Kim (1990). Salisbury (1980) a prezentat o metodă de control activ a rigidității aparente a efectorului final al robotului în spațiu cartezian. In aceasta metoda poziția de referință este folosită drept comandă pentru a controla forța de contact, și nu sunt folosite puncte de referință pentru forțe. Pentru aceasta s-au dezvoltat controlere adaptive și neliniare de forță și rezistență la arcuire ce posedă stabilitate superioară și performanță îmbunătățită în comparație cu controlerele convenționale liniare cu amplificare fixă. Controlerele adaptive fac uz de abordare a controlului adaptiv cu model de referință Lyapunov (MRAC), în timp ce controlerele neliniare folosesc criteriul de stabilitate Popov pentru a asigura stabilitate în circuit închis. Aceste îmbunătățiri sunt sub forma unui circuit de reacție extern ce antrenează un controler de forță sau rezistență la arcuire, care încorporează un sistem interior de control cartezian al poziției.

Într-o lucrare semilară Hogan (1985, Karen 1986) a introdus „controlul impedanței”, care încearcă să stabilească o relație dinamică dorita între poziția efectorului final al robotului și forța de contact. Această metodologie poate fi adesea implementată fara planificari off-line a sarcinii, oferă rezistență în fața incertitudinilor și perturbărilor, și poate oferi o tranziție stabilă între mișcările constrânse și cele libere (Hogan 1988). Inșă, folosind metodologia dispozitivul de controlul impedanței pentru mișcarea, dimensiunea forței de contact depinde de traiectoria poziției de referință pentru efectorul final, precum și locația și rigiditatea mediului. În cazul ideal, în care parametrii mediului (de ex. locația și rigiditatea) sunt cunoscute exact, traiectoria poziției de referință poate fi realizată înainte de a produce forța de contact dorită. Un dezavantaj principal al acestei metode este ca, în cazuri particulare unde parametrii mediului nu sunt cunoscuți exact, sistemul de control impedanța tinde să conduca la performante reduse in urmărirea forței.

Raibert, Craig (1981) si Manson (1980) asigura controlul in forta si pozitie, atunci cand robotul interactioneaza cu mediul inconjurator, prin descompunerea în „sub-spațiu de poziție” și „sub-spațiu de forță”. Aceste două subspații corespund direcțiilor de deplasare ale robotului, respectiv liber în mișcare sau constrâns de către mediu. Prin aceasta abordare anumite coordoate carteziene ale efectorului final al robotului se află sub control de poziție în timp ce altele se află sub control explicit de forță. Procesarea separata si prelucrarea dupa legi diferite pentru controlul in pozitiei și controlul al forța, necesită o pregătire semnificativă a modului de tratare a sarcinilor și un schimb al buclilor de control în implementare; în plus, această metoda poate genera probleme de instabilitate mai ales în timpul tranziției între mișcări libere și constrânse.

Există un interes tot mai mare pentru această problemă conform cercetarilor efectuate de Pelletier și Daneshmend 1990; Lacky și Hsia 1991, Chan 1991. Pelletier și Daneshmend prezintă o schemă de dispozitivul de control adaptiv pentru a compensa variațiile rigidității mediului în timpul mișcării utilizând dispozitivul de control al atenuării; însă, ei au descoperit că schema este supusă instabilității. Lacky și Hsia descriu un sistem de dispozitivul de control constând într-un dispozitivul de control convențional al impedanței în bucla interioară și un dispozitivul de control de modificare a traiectoriei în bucla exterioară pentru urmărirea forței, dar schema lor se bazează pe știința și calculul modelului dinamicii manipulanței. Chan dezvoltă o schemă de dispozitivul de control cu structură variabilă pentru dispozitivul de control impedanței rezistente în prezența incertitudinilor parametrilor și a perturbărilor externe; însă această strategie necesită cunoașterea exactă a locației și rigidității mediului pentru a obține dispozitivul de control exact al forței.

Extenica a fost fondată de Cai Wen în 1983 și succesiv dezvoltată, cu impact deosebit în lumea științifică în ultimii ani prin rezultatele cercetarilor cu aplicații în e-learning, data mining, recunoașterea de imagini, robotica, statistica, management. Teoria setului de extensie este un formalism matematic pentru reprezentarea incertitudinilor ce poate fi considerate ca o extensie a setului teoriei clasice, cu aplicații în numeroase domenii de cercetare. Extenica este o teorie care rezolvă probleme contradictorii, fiind o nouă direcție de cercetare și investigare științifică în soluționarea contradicțiilor, așa cum este cazul controlului forta-pozitie, în domeniul roboticii, mecatronicii și al sistemelor de control în timp real aferente.

**Dezavantajele soluției dezvoltate de Raibert și Craig**, care este principala metoda de control hibrid forta-pozitie, constau în faptul că utilizează matrice de selecție  $S_x$  de pozitie și  $S_f$  de forta cu valori discrete 0 sau 1, care conduc la instabilitati la trecerea de la controlul în pozitie la controlul în forta sau invers, cu efecte asupra preciziei de urmărirea a mișcării, stabilitatii sistemului, timpului de raspuns în bucla de control, etc. Unele îmbunătățiri de performanță se pot obține prin procesarea cu metode inteligente de control a erorii de pozitie  $\epsilon_x$  și a erorii de forta  $\epsilon_f$ , dar reduse în raport cu metoda dezvoltată conform invenției, datorită utilizării de valori discrete în matricea de selecție.

**Problema pe care o rezolvă invenția** constă în soluționarea problemei contradictorii de control hibrid forta-pozitie a mișcării robotilor, prin înlocuirea valorilor logice de 0 și 1 din matricele de selecție  $S_x$  și  $S_f$  în funcție de secvențele forta-pozitie din logica Canton, cu valori ale distanței extinse și ale funcției de dependență, permitând relaxarea sistemului de control, îmbunătățirea preciziei mișcării și a stabilitatii sistemelor robotice și mecatronice.

**Metoda conform invenției înlătură dezavantajele menționate** mai sus prin aceea că pentru controlul hibrid forta-pozitie, **într-o prima fază**, cu funcționare off-line, se definește universul de discurs  $U$ , al erorilor de pozitie și de forta, care conține:

un domeniu standard pozitiv DSP cu proiecția pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referință  $X_0$  corespunzător erorii acceptate în pozitie pentru controlul în pozitie a mișcării sistemului robotic și mecatronic, delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{0x}, b_{0x})$  pentru pozitie, unde  $a_{0x}$  și  $b_{0x}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de pozitie maxime acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$  de forta pe intervalul standard pozitiv al fortei de referință  $X_{F0}$  corespunzător erorii acceptate în forta pentru controlul în forta a mișcării sistemului robotic și mecatronic, delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{0f}, b_{0f})$  pentru forta, unde  $a_{0f}$  și  $b_{0f}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de forta maxime acceptate,

un domeniu de tranziție pozitiv DTP cu proiecția pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul de tranziție pozitiv de pozitie  $X_{CR}$  corespunzător erorii critice în pozitie în care încă mai este posibil controlul în pozitie a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de pozitie în domeniul standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_x, b_x)$  pentru pozitie, unde  $a_x$  și  $b_x$  sunt erorile de pozitie critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$  de forta pe intervalul de tranziție pozitiv de forta  $X_{FCR}$  corespunzător erorii critice în forta în care încă mai este posibil controlul în forta a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de pozitie în domeniu standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_f, b_f)$  pentru forte, unde  $a_f$  și  $b_f$  sunt erorile de forta critice negative respectiv pozitive maxime acceptate,

un domeniu de tranzitie negativa DTN care se continua cu domeniul standard negativ DSN pentru a intregi universal de discurs U, domenii corespunzatoare erorilor neacceptate in pozitie in care nu mai este posibil controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic SRM pentru aducerea erorii de pozitie in domeniu standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control pozitie, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_x, d_x)$  pentru pozitie, unde  $c_x$  si  $d_x$  sunt erorile de pozitie negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa, si corespunzator erorii neacceptate in forta in care nu mai este posibil controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic pentru aducerea erorii de forta in domeniu standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forta, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_f, d_f)$  pentru forte, unde  $c_f$  si  $d_f$  sunt erorile de forta negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa,

un domeniul standard negativ DSN care intregeste universal de discurs U si corespunde erorilor neacceptate in pozitie si forta, universul de discurs U fiind format din suma tuturor acestor domenii prezentate anterior si

o matrice de selectie S formata din doua matrici de separare a controlului in pozitie  $S_X$  sau forta  $S_F$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM, in care elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_X$  au valoarea 1 pentru controlul in pozitie si valoarea 0 pentru controlul in forta, iar matricea de separare pentru forta  $S_F$  este ortogonal complementara fata de matricea  $S_X$ ,

urmata de fazele 2-7 cu functionare in timp real, in care

**in faza 2** se determina conform teoriei extenics, pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM), atat distanta extinsa de pozitie, notata cu  $\rho(X, X_0)$ , dintre semnalele de pozitie actuala X determinate prin cinematic directa a sistemului mecatronic si robotic SRM de la traductoarele de pozitie ale sistemului robotic si mecatronic SRM si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  si definit conform fazei 1, cat si distanta extinsa de forta, notata cu  $\rho(F_a, X_{F_0})$ , dintre semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic SRM si intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$  delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{of}, b_{of})$  si definit conform fazei anterioare,

**in faza 3**, pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM cu distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_0)$  si distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_0})$  deja calculate, se determina conform teoriei extenics atat functia de dependenta  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de pozitie actual X fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_0) = M_p$  pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de pozitie si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de pozitie actual X in intervalele  $X_0$  si  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de pozitie, cat si functia de dependenta  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$  si intervalul de tranzitie pozitiv forta  $X_{FCR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_{F_0}) = M_f$  pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$ , egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de forta si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de forta actual  $F_a$  in intervalele  $X_{F_0}$  si  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forta,

**in faza 4** pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM se inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_X$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de pozitie  $K_x$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie prin relatia  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficientii de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$ , si cvasisimultan se inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru forta  $S_F$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de forta  $K_f$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta prin relatia  $K_f = K(X_{F_0}) - K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficientii de corelatie pentru forta  $S_{K_f}$ ,

**in faza 5** cu matricile  $S_{K_x}$  si  $S_{K_f}$  astfel calculate se continua controlul hybrid forta-pozitie prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control pozitie-fora hibrida explicit, metoda de control cu acceleratie rezolvata sau alte metode similare, pentru a determina semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$ ,

**in faza 6** se proceseaza semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{Kx}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{Kf}$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM prin control PID sau control inteligent cum ar fi metoda de control fuzzy sau metoda de control neutrosfica cu generarea si transmiterea semnalului la sistemul robotic si mecatronic SRM a erorii de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF,

**urmand faza 7** in care traductoarele montate pe sistemul robotic si mecatronic SRM transmit semnalele de pozitie actuala  $X$  si semnalele de forta  $F_a$  prin care se inchide reactia la bucele de control in pozitie si forta.

**Dispozitivul conform inventiei inlatură dezavantajele menționate** prin aceea că pentru controlul extins hibrid forta-pozitie a miscarii sistemelor robotice si mecatronice SRM, este alcătuit:

dintr-un modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP, care primeste semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic SRM de modulul de calcul in coordonate carteziane MCCC si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_o)$ , conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de pozitie actuala  $X$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de pozitie MCFDP,

un modul de calcul al distantei extinse de forta MCDEF, care functioneaza cvasisimultan cu modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP, si care primeste semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic SRM pe fiecare axa de libertate DOF si in functie de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_o})$  conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de forta  $F_a$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de forta MCFDF,

un modul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP care primeste distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_o)$  de la modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_o, X_{CR})$  a semnalului de pozitie actual  $X$  fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_o) = M_p$  pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de pozitie si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de pozitie actual  $X$  in intervalele  $X_o$  si  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de pozitie, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa a pozitiei MTEXP,

un modul de calcul al functiei de dependenta pentru forta MCFDF, care functioneaza cvasisimultan cu modulul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP, si care primeste distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_o})$  de la modul de calcul al distantei extinse de forta MCDEF si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$  si intervalul de tranzitie pozitiv de forta  $X_{FCR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_{F_o}) = M_f$  pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , egala cu componenta proportionala de amplificare al regulatorului de forta si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor pentru semnalul de forta actual  $F_a$  in intervalele  $X_{F_o}$  si  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forta, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa pentru forta MTEXF,

un modul de transformare extinsa pentru pozitie MTEXP care primeste semnalul de functie de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_o, X_{CR})$  de la modulul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP si inlocuieste elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de pozitie  $K_x$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie prin relatia  $K_x = K(X_o) - K(X, X_o, X_{CR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de pozitie MCEP,

un modul de transformare extinsa pentru forta MTEXF care functioneaza cvasisimultan cu modul de transformare extinsa pentru pozitie MTEXP, si care primeste semnalul de functie de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  de la modulul de calcul al functiei de dependenta pentru forta MCFDF si inlocuieste elementele matricei de selectie pentru forta  $S_f$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de forta  $K_f$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta prin relatia

$K_f = K(F_0) - K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{Kf}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de forta MCEF,

un modul de calcul a erorii de pozitie MCEP si un modul de calcul a erorii de forta MCEF, care functioneaza cvasisimultan, si care primesc semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{Kx}$  respectiv semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{Kf}$  de la modulul de transformare extinsa pentru pozitie MTE<sub>x</sub>P respectiv de la modulul de transformare extinsa pentru forta MTE<sub>x</sub>F, realizeaza controlul hybrid forta-pozitie prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control forta-pozitie hibrida explicit, metoda de control cu acceleratie rezolvata sau alte metode similare si transmite semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{Kx}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{Kf}$  la modulul inteligent de procesare a erorii MIPE,

un modul inteligent de procesare a erorii MIPE si care primeste semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{Kx}$  de la modulul de calcul a erorii de pozitie MCEP si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{Kf}$  de la modulul de calcul a erorii de forta MCEF si genereaza eroare de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM prin control PID sau control inteligent cum ar fi metoda de control fuzzy sau metoda de control neutrosofica, si transmite semnalul la sistemul robotic si mecatronic SRM,

un sistem robotic si mecatronic SRM, care primeste eroarea de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF, realizeaza actionarea actuatorilor si genereaza semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  pe care il transmite la modulul de calcul in coordonate carteziene MCCC si de la traductoarele de forta  $F_a$  pe care il transmite la modulul de calcul al distantei extinse de forta MCDEP.

si un modul de calcul in coordonate carteziene MCCC care primeste semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  si genereaza semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic SRM.

**Inventia prezinta avantajele** realizării unei metode avansate de rezolvare a problemei contradictorii de control hybrid forta-pozitie a miscarii robotilor prin aplicarea unui set de extensie care sa permita celor doua elemente contradictorii, forta si pozitia, sa fie controlate simultan in timp, permitand relaxarea sistemului de control, imbunatatirea preciziei miscarii si a stabilitatii robotului. Prin inlocuirea valorilor logice de 0 si 1 din matricele de selectie  $S_x$  si  $S_f$  in functie de secventele forta-pozitie din logica Canton cu valori ale distantei extinse si ale functiei de dependenta se dezvolta o metoda de optimizare al controlului hybrid forta-pozitie care sa asigure precizie de positionare si stabilitate miscarii robotului. Metoda permite obtinerea unor rezultate de nivel ridicat pentru controlul hybrid forta -pozitie prin utilizarea unei transformari extinse avand ca functie de optimizare functia de dependenta bazata pe distanta extinsa, raportata la metoda clasica cu matrice logice de selectie care corespunde logicii Cantor.

**Se da în continuare un exemplu** de realizare a metodei și dispozitivului conform invenției, în legătură cu figura 1, care prezintă domeniile din universul de discurs in functie de erorile de pozitie si erorile de forta, figura 2 care prezintă o schemă de principiu a dispozitivului conform invenției, figura 3 care prezinta relatiile intre intervalele de forta (figura 3a) si intervalele de pozitie (figura 3b), figura 4 care reprezinta matricele de selectie pentru un sistem de control hybrid forta-pozitie, figura 5 care reprezinta arhitectura unui sistem de control forta-pozitie hibrida explicit, figura 6 care reprezinta arhitectura unui sistem de control cu acceleratie rezolvata, figurile 7 care setul de intrari fuzzy al erorilor, figura 8 care reprezinta setul de intrare fuzzy al erori de viteza, figura 9 care reprezinta setul fuzzy al valorilor de forta, figura 10 care reprezinta setul fuzzy al iesirilor.

**Metoda și dispozitivul conform invenției sunt** constituite dintr-o faza cu functionare off-line urmata de alte 6 faze cu functionare in timp real și un complex de module care au ca scop de a rezolva problema contradictorie de control hybrid forta-pozitie a miscarii sistemelor robotice si mecatronice, prin inlocuirea valorilor logice de 0 si 1 din matricele de selectie  $S_x$  si  $S_f$ , in functie de secventele forta-pozitie din logica Canton, cu valori ale ale functiei de dependenta utilizand distanta extinsa si printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie  $S_{Kx}$  respectiv printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta  $S_{Kf}$  se obtine o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie, respectiv o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta care permit determinarea



semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{Kx}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{Kf}$  cu scopul inchiderii buclei de reactie a sistemului de control in pozitie si forta.

Intr-o prima faza, cu functionare off-line, se defineste universul de discurs  $U$ , al erorilor de pozitie si de forta, care contine conform inventiei prezentate in figura 1, domeniile descrise mai jos.

Un domeniu standard pozitiv DSP cu proiectia pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  corespunzator erorii acceptate in pozitie pentru controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic, delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  pentru pozitie, unde  $a_{ox}$  si  $b_{ox}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de pozitie maxime acceptate, si cu proiectia pe axa  $f$  de forta pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F0}$  corespunzator erorii acceptate in forta pentru controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic, delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{of}, b_{of})$  pentru forta, unde  $a_{of}$  si  $b_{of}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de forta maxime acceptate,

Un domeniu de tranzitie pozitiv DTP cu proiectia pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$  corespunzator erorii critice in pozitie in care inca mai este posibil controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic pentru aducerea erorii de pozitie in domeniul standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_x, b_x)$  pentru pozitie, unde  $a_x$  si  $b_x$  sunt erorile de pozitie critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, si cu proiectia pe axa  $f$  de forta pe intervalul de tranzitie pozitiv de forta  $X_{FCR}$  corespunzator erorii critice in forta in care inca mai este posibil controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic pentru aducerea erorii de pozitie in domeniu standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_f, b_f)$  pentru forte, unde  $a_f$  si  $b_f$  sunt erorile de forta critice negative respectiv pozitive maxime acceptate,

Un domeniu de tranzitie negativa DTN care se continua cu domeniul standard negativ DSN pentru a intregi universal de discurs  $U$ , domenii corespunzatoare erorilor neacceptate in pozitie in care nu mai este posibil controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic SRM pentru aducerea erorii de pozitie in domeniu standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control pozitie, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_x, d_x)$  pentru pozitie, unde  $c_x$  si  $d_x$  sunt erorile de pozitie negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa, si corespunzator erorii neacceptate in forta in care nu mai este posibil controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic pentru aducerea erorii de forta in domeniu standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forta, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_f, d_f)$  pentru forte, unde  $c_f$  si  $d_f$  sunt erorile de forta negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa,

Un domeniul standard negativ DSN care intregeste universal de discurs  $U$  si corespunde erorilor neacceptate in pozitie si forta, universul de discurs  $U$  fiind format din suma tuturor acestor domenii prezentate anterior si

O matrice de selectie  $S$  formata din doua matrici de separare a controlului in pozitie  $S_x$  sau forta  $S_f$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic SRM, in care elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_x$  au valoarea 1 pentru controlul in pozitie si valoarea 0 pentru controlul in forta, iar matricea de separare pentru forta  $S_f$  este ortogonal complementara fata de matricea  $S_x$ .

Functionarea in timp real consta in implementarea fazelor 2-7 conform inventiei in schema de principiu a dispozitivului prezentat in figura 2 avand la baza teoria extenics in definirea distantei extinse de pozitie  $\rho(X, X_0)$ , distantei extinse de forta  $\rho(F_a, X_{F0})$ , functiei de dependenta  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de pozitie actual  $X$  fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$  si functiei de dependenta  $K(F_a, X_{F0}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F0}$  si intervalul de tranzitie pozitiv forta  $X_{FCR}$ . Astfel, se realizeaza o transformare extinsa printr-o relatie care include o functie de dependenta extinsa in universul de masura  $U$  prin utilizarea distantei extinse de pozitie  $\rho(X, X_0)$  si a distantei extinse de forta  $\rho(F_a, X_{F0})$ . Referinta pentru teoria extenics este lucrarea: "Extension Engineering", autori Yang Chunyan si Cai Wen, editata in Science Press, Beijing, May 20112.

In continuare se prezinta un exemplu de aplicarea a teoriei extenics conform inventiei. Astfel, considerand universal de discurs din figura 1 si relatiile intre intervalele din figura 3, vom inlocui

valorile logice 1 din matricele  $S_x$  si  $S_f$  cu coeficientii  $K_x$  si  $K_f$  care rezulta din pozitia erorii fata de multimea corespunzatoare domeniului standard pozitiv.

Relatia pentru setul de extensie definite de Cai Wen este:

$$\tilde{E}(T) = \{(\varepsilon, y, y') | \varepsilon \in U, y = k(\varepsilon) \in I; T_\varepsilon \varepsilon \in T_U U, y' = T_k k(T_\varepsilon \varepsilon) \in I\} \quad (1)$$

pentru un univers de discurs  $U$ , in care  $\varepsilon$  este un element in  $U$ ,  $k$  este o mapare a lui  $U$  la domeniul real,  $T=(T_U, T_k, T_\varepsilon)$  este o transformare,  $y=k(\varepsilon)$  functia de dependenta a lui  $\tilde{E}(T)$ ,  $y' = T_k k(T_\varepsilon u)$  functia de extensie a lui  $\tilde{E}(T)$ , iar  $T_U, T_k, T_\varepsilon$  sunt transformari ale universului de discurs  $U$  prin functia de dependenta  $k$  si elementul  $\varepsilon$ .

In exemplul prezentat vom considera cazul in care setul de extensie al transformatei depinde de  $\varepsilon$ , transformata  $T_k$  este implementata numai ca element  $\varepsilon$  ceea ce conduce la  $T_U=e$  (matricea unitate Id),  $T_k=e$ ,  $T_U U=U$  si  $T_k k=k$ , respectiv :

$$\tilde{E}(T) = \tilde{E}(T_\varepsilon) = \{(\varepsilon, y, y') | \varepsilon \in U, y = k(\varepsilon) \in I; T_\varepsilon \varepsilon \in U, y' = k(T_\varepsilon \varepsilon) \in I\} \quad (2)$$

Pentru a se determina functia de dependent in spatial 2D generat de pozitie si forta se pleaca de la distanta extinsa definita din 1983 de Prof. Cai Wen, fondatorul Extenics. Functia de dependent  $k(z)$ , conform Chungyan and Cai, pentru un punct  $z$  care apartine domeniului numerelor reale  $\mathfrak{R}$ ,  $Z_0$  un interval standard pozitiv,  $Z$  un domeniu de tranzitie pozitiv si  $\hat{Z}$  domeniu de tranzitie negative, este generata de relatia:

$$k(z) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\rho(z, Z)}{D(z, Z_0, Z)}, & D(z, Z_0, Z) \neq 0, z \in Z \\ -\rho(z, Z_0) + 1, & D(z, Z_0, Z) = 0, z \in Z_0 \\ 0, & D(z, Z_0, Z) = 0, z \notin Z_0, z \in Z \\ \frac{\rho(z, Z)}{D(z, Z, \hat{Z})}, & D(z, Z, \hat{Z}) \neq 0, z \in \mathfrak{R} - Z \\ -\rho(z, \hat{Z}) - 1, & D(z, Z, \hat{Z}) = 0, z \in \mathfrak{R} - Z \end{array} \right\} \quad (3)$$

Prin substitutia lui  $z$  cu punctele care fac obiectul inventiei, respectiv pentru pozitie cu semnalele de pozitie actuala  $X$ , determinate prin cinematic directa a sistemului mecatronic si robotic SRM si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{0x}, b_{0x})$  si definit conform fazei 1, iar pentru forta cu semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic SRM si intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$  delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{0f}, b_{0f})$  si definit conform aceleiasi faze 1, se obtin functiile de dependent pentru pozitie respectiv forta.

**Metodologia de implementare** a acestei metode avansate de control hibrid forta-pozitie a sistemelor robotice si mecatronice consta in determinarea experimentală a domeniului standard pozitiv DSP si domeniului de tranzitie pozitiv DTP pentru fiecare component de control, se aplica transformarea asupra semnalelor de forta si pozitie tinand cont de pozitia lor reala fata de domeniului standard pozitiv DSP, rezultand o eroare transformata de forta si pozitie care reprezinta o functie optimizata pentru controlul hibrid forta-pozitie intr-o metrica generate de distanta extinsa si functia de dependenta din teoria extenics in rezolvarea problemelor contradictorii. Universul de discurs a fost configurat incat sa admita domeniu de tranzitie negativa DTN, definit de punctele  $c_x$  si  $d_x$  pentru pozitie, respectiv  $c_f$  si  $d_f$  pentru forta, astfel ca la tracerea de aceste puncte erorile de forta si pozitie vor fi limitate pentru a nu conduce la saturarea regulatorului, cu toate efectele negative care ar decurge din acest fenomen.



**Dispozitivul este constituit dintr-un complex de module** care au ca scop de a rezolva problema contradictorie de control hibrid forta-pozitie a miscarii sistemelor robotice si mecatronice

Astfel, un modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP, primeste semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic SRM de modulul de calcul in coordonate carteziene MCCC si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_0)$ , conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de pozitie actuala  $X$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de pozitie MCFDP.

Un exemplu al aplicarii matricei de selectie la sistemele de control hibrid forta-pozitie este prezentat in figura 4. Considerand  $X_D$  si  $X_F$  exprimate in coordonate specifice de mediu se pot determina matricele de selectie  $S_x$  si  $S_f$ , care sunt matrici diagonale cu 0 si 1 elemente diagonale, si care satisfac relatia:

$$S_x + S_f = I_d \quad (4)$$

$S_x$  si  $S_f$  sunt deduse metodic din constrangeri cinematice impuse de mediu de lucru. Fie  $A$  si  $B$  doua matrici de rang cu coloane de rang complet care satisfac relatia:

$$A * B = 0 \quad (5)$$

si corespund spatiului de constrangeri ale dubletului format din unghiuri si articulatii, atunci se pot determina  $S_x$  si  $S_f$  prin relatiile:

$$S_x = (A^t \Psi A)^{-1} A^t \Psi \quad (6)$$

$$S_f = (B^t \Psi^{-1} B)^{-1} B^t \Psi^{-1} \quad (7)$$

unde de obicei  $\Psi$  este o matrice simetrica, pozitiv definita.

Alegand:

$$S_x = AD^t \quad (8)$$

$$S_f = BC^t \quad (9)$$

unde  $C$  si  $D$  sunt matrici cu rangul coloanelor complet astfel incat:

$$\text{rang}([AC]) = 6 \quad (10)$$

$$\text{rang}([DB]) = 6 \quad (11)$$

si

$$[AC]^t [DB] = Id_6. \quad (12)$$

Se verifica usor ca, folosind oricare dintre abordarile de mai sus,  $S_x$  si  $S_f$  satisfac intotdeauna:

$$\text{rang}(S_x) + \text{rang}(S_f) = 6 \quad \text{si} \quad S_x^t S_f = 0. \quad (13)$$

Legile de control sunt proiectate pentru a aduce la zero erorile de pozitie  $e_x = \Delta \theta_p$  si de forta  $e_f = \Delta \theta_f$ . Pentru un sistem de control ideal, comportamentul robotului este definit de:

$$S_x (v_{des} - v) = 0, \quad (14)$$

$$S_f (f_{des} - f) = 0. \quad (15)$$

unde  $v$  este viteza,  $f$  este forta iar indicele "des" specifica parametrul de referinta (valoarea dorita). Constrangerea vitezei este singura luata in considerare, rezultand constrangerea pozitiei ca o consecinta.

Fie  $T$  si  $W$  matricea cu rang de coloana complet reprezentativa pentru spatiul constrangerilor pentru dubletul unghi si articulatie. Ele satisfac relatia:

$$\text{rang}(W) + \text{rang}(T) = 6 \quad \text{si} \quad W^t T = 0. \quad (16)$$

Notam  $v_{des}$  si  $v$  vitezele respective a doua corpurilor 1 si 2. Viteza lor relativa este  $\text{Span}(T)$ , deci:

$$v_{des} - v = T\xi \quad (17)$$

unde  $\xi$  este un vector liber. Inmultind la stanga cu  $W'$  si folosind relatia (16), obtinem:

$$W^t (v_{des} - v) = 0. \quad (18)$$

Presupunem ca avem corpul 2 in contact cu orice fel de mediu. Fie  $f$  forta exercitata de corpul 2 asupra mediului. Aplicam o forta externa  $f_{des}$  asupra corpului 2. Cum corpul 2 nu are masa, echilibrul fortelor este dat de:

$$f_{des} + f_r - f = 0 \quad (19)$$

unde  $f_r$  este reactiunea corpului 1 asupra corpului 2.

Cum  $f_r$  este  $Span(W)$ , inmultind la stanga cu  $T^t$  obtinem:

$$T^t (f_{des} - f) = 0. \quad (20)$$

Asemanarea dintre ecuatiile (13-15) si (16-18) ne conduce la urmatoarea concluzie: cu ajutorul controlului hibrid corpurile componente ale unui sistem robotic si mecatronic se comporta ca un corp rigid, fara masa, supus unei forte externe  $f_{des}$ , conectat printr-o constrangere cinematica ideala de un alt corp a carui viteza este  $v_{des}$ . Aceasta concluzie ne permite decuplarea fortelor si pozitiei in matricele de selectie pentru controlul hibrid al sistemelor robotice si mecatronice.

Un modul de calcul al distantei extinse de forta MCDEF, care functioneaza cvasisimultan cu modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP, si care primeste semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic SRM pe fiecare axa de libertate DOF si in functie de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_0})$  conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de forta  $F_a$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de forta MCFDF,

Un modul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP care primeste distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_0)$  de la modul de calcul al distantei extinse de pozitie MCDEP si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de pozitie actual  $X$  fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_0) = M_P$  pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de pozitie si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de pozitie actual  $X$  in intervalele  $X_0$  si  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de pozitie, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa a pozitiei MTEXP,

Un modul de calcul al functiei de dependenta pentru forta MCFDF, care functioneaza cvasisimultan cu modulul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP, si care primeste distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_0})$  de la modul de calcul al distantei extinse de forta MCDEF si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$  si intervalul de tranzitie pozitiv forta  $X_{FCR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_{F_0}) = M_F$  pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$ , egala cu componenta proportionala de amplificare al regulatorului de forta si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor pentru semnalul de forta actual  $F_a$  in intervalele  $X_{F_0}$  si  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forta, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa pentru forta MTEXF,

Un modul de transformare extinsa pentru pozitie MTEXP care primeste semnalul de functie de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_0, X_{CR})$  de la modulul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie MCFDP si inlocuieste elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de pozitie  $K_x$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie prin relatia  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de pozitie MCEP,

Un modul de transformare extinsa pentru forta MTEXF care functioneaza cvasisimultan cu modul de transformare extinsa pentru pozitie MTEXP, si care primeste semnalul de functie de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  de la modulul de calcul al functiei de dependenta pentru forta MCFDF si



inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru forta  $S_F$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de forta  $K_f$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta prin relatia  $K_f = K(F_0) - K(F_a, X_{F0}, X_{FCR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{Kf}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de forta MCEF,

Un modul de calcul a erorii de pozitie MCEP si un modul de calcul a erorii de forta MCEF, care functioneaza cvasisimultan, si care primesc semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{Kx}$  respectiv semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{Kf}$  de la modulul de transformare extinsa pentru pozitie MTEXP respectiv de la modulul de transformare extinsa pentru forta MTEXF, realizeaza controlul hibrid forta-pozitie prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control pozitie-fora hibrida explicit, metoda de control cu acceleratie rezolvata sau alte metode similare si transmite semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{Kx}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{Kf}$  la modulul inteligent de procesare a erorii MIPE.

Un exemplu de de control extins pozitie-fora hibrida explicit este prezentat in figura 5. Pentru a determina relatiile de control in aceasta situatie, impartim  $\Delta X_p$  deviatia masurata de sistemul de comanda in coordonate Carteziene in doua seturi:  $\Delta X^F$  - corespunzatoare componentei controlata prin forta si  $\Delta X^P$  - corespunzatoare controlului in pozitie cu actionare pe axe conform matricelor de selectie  $S_f$  si  $S_x$ .

Daca se considera numai controlul de pozitie pe directiile stabilite de matricea de selectie  $S_x$  se pot determina atat miscarile diferentiale dorite ale end-efectorului corespunzatoare controlului in pozitie din relatia:

$$\Delta X_p = K_p \Delta X^P \quad (21)$$

unde  $K_p$  este matricea castigului, cat si unghiurile miscarii dorite pe axele controlate in pozitie:

$$\Delta \theta_p = J^{-1}(\theta) * \Delta X_p \quad (22)$$

In continuare, luand in considerare si controlul fortei pe celelalte directii ramase, relatia intre miscarea unghiulara dorita a end-efectorului si eroarea de forta  $\Delta X_f$  este data de relatia:

$$\Delta \theta_f = J^{-1}(\theta) * \Delta X_f \quad (23)$$

unde eroarea de pozitie datorata fortei  $\Delta X_f$  este diferenta de miscare intre  $\Delta X^F$  - deviatia pozitiei curente masurata de sistemul de comanda care genereaza deviatia de pozitie pentru axele controlate in forta si  $\Delta X_D$  - deviatia in pozitie datorata fortei reziduale dorite.

Notand  $F_D$  forta reziduala dorita si  $K_w$  rigiditatea fizica se obtine

relatia: 
$$\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D \quad (24)$$

Astfel,  $\Delta X_f$  se poate calcula din relatia:

$$\Delta X_f = K_f (\Delta X^F - \Delta X_D) \quad (25)$$

unde  $K_f$  este relatia dimensionala ai matricii de rigiditate.

In final, rezulta variatia de miscare pe axele robot raportate la variatia miscarii a end-efectorului dupa relatia:

$$\epsilon_p = \Delta \theta = J^{-1}(\theta) \Delta X_f + J^{-1}(\theta) \Delta X_p \quad (26)$$

Un exemplu de de control extins pozitie-fora cu acceleratie solutionata este prezentata in figura 6. Controlul hibrid forta-pozitie explicit difera de controlul rigiditatii prin modul in care transformarea cinematica este realizata: inversul Jacobian apare in controlul hibrid cu implicatii negative in stabilitatea sistemului, fata de controlul rigiditatii in care apare numai Jacobianul transpus. Controlul fortei cu acceleratia solutionata conduce la o noua clasa de metode, ce includ atat metoda spatiului operational cat si controlul in impedanta, conducand la imbunatatirea proprietatilor de stabilita in timpul contactului prin introducerea modelului dinamic al robotului respectiv al sistemului mecatronic in legea de control. In schema de control cuplurile active generate de actuatorile sistemelor robotice si mecatronice au rolul de a compensa efectele fortelor gravitationale,

centrifuge și Coriolis, în timp ce bucla de reacție realizează controlul ținând cont de variațiile matricei de inerție. Controlul cu accelerația soluționată este dat de relația:

$$\tau = MJ^{-1}[S(x_m^* - \dot{J}\dot{q}) + b + g + J^T(I - S)f^*] \quad (27)$$

unde:

$$x_m^* = \ddot{x}_d + K_v(\dot{x}_d - \dot{x}) + K_p(x_d - x) \quad (28)$$

este un termen al unei accelerații care aduce compensarea în avans în raport cu schimbările mișcării pe bucla de control în poziție, respectiv  $M$  este matricea de inerție,  $b$  reprezintă cuplul Coriolis și centripet,  $g$  este vectorul cuplului gravitațional și  $f^*$  este vectorul comanda pentru controlul activ al forței. Se obține schema prezentată în figura 6 în care modul de calcul a erorii de poziție (MCEP) realizează controlul hibrid forța-poziție utilizând controlul forța-poziție cu accelerație soluționată. S-au utilizat următoarele notații:  $q$  - coordonatele generalizate ale sistemului robotic sau mecatronic,  $\hat{H}(q)$  - matricea momentelor de inerție calculate al sistemului robotic sau mecatronic,  $\hat{h}(\dot{q}, q)$  momentele calculate generate de forțele Coriolis și centrifuge,  $\hat{g}(q)$  - momentele calculate generate de forțele gravitaționale,  $J^T$  - matricea Jacobian raportată la vitezele unghiulare în articulații,  $\ddot{x}_0$  - accelerația de compensare în avans pentru schimbările mișcării pe bucla de control în poziție.

Un modul inteligent de procesare a erorii MIPE și care primește semnalele de eroare de poziție  $\varepsilon_{Kx}$  de la modulul de calcul a erorii de poziție MCEP și semnalele de eroare de forță  $\varepsilon_{Kf}$  de la modulul de calcul a erorii de forță MCEF și generează eroare de poziție  $\varepsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic și mecatronic SRM prin control PID sau control inteligent cum ar fi metoda de control fuzzy sau metoda de control neutrosofică, și transmite semnalul la sistemul robotic și mecatronic SRM.

Un exemplu al relațiilor care stau la baza controlului hibrid poziție-forță prin controlul fuzzy este prezentat mai jos. Sarcina controlerului este de a asigura abaterea măsurată a variabilelor fuzzy, cum ar fi „pozitiv mare” (PM), și de a evalua regulile de decizie prin inferență, astfel încât în final să poată stabili valoarea variabilei de ieșire, de exemplu viteză ca variabilă **fuzzy**, care urmărește cel mai bine parametrul controlat. Forma regulii de decizie și a variabilelor **fuzzy** folosite în luarea deciziei depind de problema controlului specific. Se consideră ca date de intrare abaterea în poziție a articulațiilor  $\varepsilon$ , rata abaterii în poziție  $\Delta \varepsilon$  și forța de contact  $\Delta f$ . Valorile abaterilor detectate prin senzori sunt cuantificate într-un număr de puncte corespunzător elementelor universului de discurs, iar apoi valorile sunt alocate drept grade de apartenență în câteva subseturi fuzzy.

Relația dintre intrări, de exemplu abaterile măsurate, sau ieșiri, ca de exemplu vitezele, forțele și gradul de apartenență poate fi definită în conformitate cu experiențele operatorului și cerințele sarcinii. Se definesc în mod empiric funcțiile de apartenență pentru toate elementele de intrare și ieșire. S-au ales valorile fuzzy după cum urmează: NM – negativ mare,  $N_M$  – negativ mediu,  $N_m$  – negativ mic, ZO- zero, Pm– pozitiv mic,  $P_M$  – pozitiv mediu, PM – pozitiv mare.

Pentru un anumit set de intrări, de ex. abaterea măsurată, evaluarea regulilor **fuzzy** produce un set **fuzzy** de grade de apartenență pentru acțiuni de control. Pentru a lua o acțiune concretă trebuie aleasă una dintre aceste valori. În această aplicație, a fost selectată valoarea de control cu cel mai mare grad de apartenență. Regulile sunt evaluate la intervale egale, în același fel ca un sistem de control convențional. Figurile 7-10 prezintă setul funcțiilor de apartenență pentru intrări și ieșiri.

Rezultatul inferenței logice reprezintă tot valori fuzzy care se aplică modului de defuzificare. Defuzificarea reprezintă o transformare a valorilor fuzzy definită pe universul de discurs al ieșirii într-o valoare numerică. Aceasta procesare este necesară deoarece controlul în cazul reguletoarelor fuzzy se face numai cu valori cript. Alegând ca metoda de defuzificare metoda centrului de greutate a ariei, calculul ieșirii defuzificate este dat de relația:

$$O \rightarrow o_{crisp} = \frac{\int_U u \cdot \mu_0(u) du}{\int_U \mu_0(u) du}$$

Pentru un unives de discurs discret al iesirii U relatia de calcul al centrului de greutate se reduce la relatia:

$$O \rightarrow o_{crisp} = \frac{\sum_{a_i \in U} a_i \mu_0(o_i)}{\sum_{a_i \in U} \mu_0(o_i)}$$

Prin aplicarea controlului logic fuzzy, se obtine o trecere lina, cu reducerea discontinuitati, de la controlul in pozitie la controlul in forta si pozitie.

Un sistem robotic si mecatronic SRM, care primeste eroarea de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF, realizeaza actionarea actuatorilor si genereaza semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  pe care il transmite la modulul de calcul in coordonate carteziene MCCC si de la traductoarele de forta  $F_a$  pe care il transmite la modulul de calcul al distantei extinse de forta MCDEP.

In final un modul de calcul in coordonate carteziene MCCC care primeste semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  si genereaza semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic SRM.

## Revendicări

1. Metoda pentru controlul hibrid extins forta-pozitie a miscarii sistemelor robotizate si mecatronice, **caracterizează prin aceea că** pentru controlul hibrid, în timp real, a traiectoriei de mişcare prin aplicarea setului extins din teoria extensiei in rezolvarea problemei contradictorii de control in forta si/sau in pozitie, sunt parcurse urmatoarelor faze in dezvoltarea respectivului sistem de control:

(i) **faza 1**, cu functionare off-line, se defineste universul de discurs  $U$ , al erorilor de pozitie si de forta, care contine: **un domeniu standard pozitiv (DSP)** cu proiectia pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  corespunzator erorii acceptate in pozitie pentru controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic (SRM), delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  pentru pozitie, unde  $a_{ox}$  si  $b_{ox}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de pozitie maxime acceptate, si cu proiectia pe axa  $f$  de forta pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{Fo}$  corespunzator erorii acceptate in forta pentru controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic (SRM), delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{of}, b_{of})$  pentru forta, unde  $a_{of}$  si  $b_{of}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de forta maxime acceptate, **un domeniu de tranzitie pozitiv (DTP)** cu proiectia pe axa  $x$  de pozitie pe intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$  corespunzator erorii critice in pozitie in care inca mai este posibil controlul in pozitie a micarii sistemului robotic (SRM) si mecatronic pentru aducerea erorii de pozitie in domeniul standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_x, b_x)$  pentru pozitie, unde  $a_x$  si  $b_x$  sunt erorile de pozitie critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, si cu proiectia pe axa  $f$  de forta pe intervalul de tranzitie pozitiv de forta  $X_{FCR}$  corespunzator erorii critice in forta in care inca mai este posibil controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic (SRM) pentru aducerea erorii de pozitie in domeniul standard pozitiv, delimitat de multimea  $(a_f, b_f)$  pentru forte, unde  $a_f$  si  $b_f$  sunt erorile de forta critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, **un domeniu de tranzitie negativa (DTN)** care se continua cu domeniul standard negativ (DSN) pentru a intregi universul de discurs  $U$ , domenii corespunzatoare erorilor neacceptate in pozitie in care nu mai este posibil controlul in pozitie a micarii sistemului robotic si mecatronic (SRM) pentru aducerea erorii de pozitie in domeniul standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control pozitie, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_x, d_x)$  pentru pozitie, unde  $c_x$  si  $d_x$  sunt erorile de pozitie negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa, si corespunzator erorii neacceptate in forta in care nu mai este posibil controlul in forta a micarii sistemului robotic si mecatronic (SRM) pentru aducerea erorii de forta in domeniul standard pozitiv si alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forta, cu toate consecintele negative aferente, delimitat de multimea  $(c_f, d_f)$  pentru forte, unde  $c_f$  si  $d_f$  sunt erorile de forta negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranzitie negativa, **un domeniul standard negativ (DSN)** care intregeste universul de discurs  $U$  si corespunde erorilor neacceptate in pozitie si forta, universul de discurs  $U$  fiind format din suma tuturor acestor domenii prezentate anterior si in final se defineste o matrice de selectie  $S$  formata din doua matrici de separare a controlului in pozitie  $S_X$  sau forta  $S_F$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM), in care elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_X$  au valaorea 1 pentru controlul in pozitie si valaorea 0 pentru controlul in forta, iar matricea de separare pentru forta  $S_F$  este ortogonal complementara fata de matricea  $S_X$ , urmata de fazele 2-7 cu functionare in timp real, in care

(ii) **faza 2** se determina conform teoriei extenics, pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM), atat distanta extinsa de pozitie, notata cu  $\rho(X, X_o)$ , dintre semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic (SRM) de la traductoarele de pozitie ale sistemului robotic si mecatronic (SRM) si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  delimitat pe axa  $x$  de multimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  si definit conform fazei 1, cat si distanta extinsa de forta, notata cu  $\rho(F_a, X_{Fo})$ , dintre semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic (SRM) si intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{Fo}$  delimitat pe axa  $f$  de multimea  $(a_{of}, b_{of})$  si definit conform fazei anterioare,

(iii) **faza 3**, pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM) cu distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_o)$  si distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{Fo})$  deja calculate, se determina conform teoriei extenics atat functia de dependenta  $K(X, X_o, X_{CR})$  a semnalul de pozitie actual  $X$  fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$ ,



avand valoarea maxima  $K(X_o)=M_p$  pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$  egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de pozitie si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de pozitie actual  $X$  in intervalele  $X_o$  si  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de pozitie, cat si functia de dependenta  $K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$  si intervalul de tranzitie pozitiv forta  $X_{FCR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_{F_o})=M_f$  pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , egala cu componenta proportionala de amplificare a regulatorului de forta si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de forta actual  $F_a$  in intervalele  $X_{F_o}$  si  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forta,

(iv) **faza 4** pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM) se inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de pozitie  $K_x$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie prin relatia  $K_x = K(X_o) - K(X, X_o, X_{CR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$ , si cvasisimultan se inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru forta  $S_f$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de forta  $K_f$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta prin relatia  $K_f = K(F_o) - K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{K_f}$ ,

(v) **faza 5** cu matricile  $S_{K_x}$  si  $S_{K_f}$  astfel calculate se continua controlul extins hybrid forta-pozitie prin metoda de control pozitie-fora hibrida explicit pentru a determina semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$ ,

(vi) **faza 6** se proceseaza semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM) prin control PID cu generarea si transmiterea semnalului la sistemul robotic si mecatronic (SRM) a erorii de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF,

(vii) **faza 7** in care traductoarele montate pe robotic si mecatronic (SRM) transmit semnalele de pozitie actuala  $X$  si semnalele de forta  $F_a$  prin care se inchide reactia la buclele de control in pozitie si forta.

2. Metodă, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (v) pentru a determina semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  se aplica metoda de control cu acceleratie rezolvata.

3. Metodă, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (vi) pentru procesarea semnalelor de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  in vederea generarii erorii de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF se aplica metoda de control fuzzy.

4. Metodă, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (vi) pentru procesarea semnalelor de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  in vederea generarii erorii de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF se aplica metoda de control neutrosifica.

5. Dispozitiv, pentru aplicarea metodei de la revendicarea 1, controlul extins hybrid forta-pozitie a miscarii sistemului robotic si mecatronic, **caracterizat prin aceea că** are în alcătuire:

un modul de calcul al distantei extinse de pozitie (MCDEP), care primeste semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului mecatronic si robotic (SRM) de modulul de calcul in coordonate carteziane (MCCC) si intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_o)$ , conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de pozitie actuala  $X$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_o$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de pozitie (MCFDP),

un modul de calcul al distantei extinse de forta (MCDEF), care functioneaza cvasisimultan cu modulul de calcul al distantei extinse de pozitie (MCDEP), si care primeste semnalele traductoarelor de forta  $F_a$  ale sistemului robotic si mecatronic (SRM) pe fiecare axa de libertate DOF si in functie de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , definit conform metodei inventiei, calculeaza distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_o})$  conform teoriei extenics prin care se defineste distanta de la un punct, in acest caz semnalele de forta  $F_a$ , la un interval, in acest caz intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_o}$ , pe care o transmite la modulul de calcul al functiei de dependenta de forta (MCFDF),

un modul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie (MCFDP) care primeste distanta extinsa de pozitie  $\rho(X, X_0)$  de la modulul de calcul al distantei extinse de pozitie (MCDEP) si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de pozitie actual  $X$  fata de intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$  si intervalul de tranzitie pozitiv de pozitie  $X_{CR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_0)=M_p$  pe intervalul standard pozitiv al pozitiei de referinta  $X_0$ , egala cu componenta proportionala de amplificare al regulatorului de pozitie si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor emnalului de pozitie actual  $X$  in intervalele  $X_0$  si  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de pozitie, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa pentru pozitie (MTEXP),

un modul de calcul al functiei de dependenta pentru forta (MCFDF), care functioneaza cvasisimultan cu modulul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie (MCFDP), si care primeste distanta extinsa de forta  $\rho(F_a, X_{F_0})$  de la modulul de calcul al distantei extinse de forta (MCDEF) si determina conform teoriei extenics functia de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  a semnalului de forta  $F_a$  fata de intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$  si intervalul de tranzitie pozitiv forta  $X_{FCR}$ , avand valoarea maxima  $K(X_{F_0})=M_f$  pe intervalul standard pozitiv al fortei de referinta  $X_{F_0}$ , egala cu componenta proportionala de amplificare al regulatorului de forta si limitata inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de forta actual  $F_a$  in intervalele  $X_{F_0}$  si  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forta, pe care il transmite la modulul de transformare extinsa pentru forta (MTEXF),

un modul de transformare extinsa pentru pozitie (MTEXP) care primeste semnalul de functie de dependenta pentru pozitie  $K(X, X_0, X_{CR})$  de la modul de calcul al functiei de dependenta pentru pozitie (MCFDP) si inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru pozitie  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de pozitie  $K_x$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru pozitie prin relatia  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de pozitie (MCEP),

un modul de transformare extinsa pentru forta (MTEXF) care functioneaza cvasisimultan cu modulul de transformare extinsa pentru pozitie (MTEXP), si care primeste semnalul de functie de dependenta pentru forta  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  de la modulul de calcul al functiei de dependenta pentru forta (MCFDF) si inlocuiesc elementele matricei de selectie pentru forta  $S_f$  care au valoarea 1 cu coeficientii de corelatie de forta  $K_f$  determinati printr-o transformare extinsa de domeniu pentru forta prin relatia  $K_f = K(F_0) - K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  obtinandu-se o noua matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{K_f}$ , pe care il transmite la modulul de calcul a erorii de forta (MCEF),

un modul de calcul a erorii de pozitei (MCEP) si un modul de calcul a erorii de forta (MCEF), care functioneaza cvasisimultan, si care primesc semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru pozitie  $S_{K_x}$  respectiv semnalele de matrice de selectie cu coeficienti de corelatie pentru forta  $S_{K_f}$  de la modulul de transformare extinsa pentru pozitie (MTEXP) respectiv de la modulul de transformare extinsa pentru forta (MTEXF), realizeaza controlul hibrid forta-pozitie prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control pozitie-fora hibrida explicit, metoda de control cu acceleratie rezolvata sau alte metode similare si transmite semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  la modulul inteligent de procesare a erorii (MIPE),

un modul inteligent de procesare a erorii (MIPE) si care primeste semnalele de eroare de pozitie  $\epsilon_{K_x}$  de la modulul de calcul a erorii de pozitei (MCEP) si semnalele de eroare de forta  $\epsilon_{K_f}$  de la modulul de calcul a erorii de forta (MCEF) si genereaza o eroare de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF a sistemului robotic si mecatronic (SRM) prin control PID sau control inteligent cum ar fi metoda de control fuzzy sau metoda de control neutrosofica, si transmite semnalul la sistemul robotic si mecatronic (SRM),

un sistem robotic si mecatronic (SRM), care primeste o eroare de pozitie  $\epsilon_p$  pe fiecare axa de libertate DOF, realizeaza actionarea actuatorilor si genereaza semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  pe care le transmite la modulul de calcul in coordonate carteziene (MCCC) si de la traductoarele de forta  $F_a$  pe care le transmite la modulul de calcul al distantei extinse de forta (MCDEF) si un modul de calcul coordonate carteziene (MCCC) care primeste semnalele de la traductoarele de pozitie actuala  $q$  si genereaza semnalele de pozitie actuala  $X$  determinate prin cinematica directa a sistemului robotic si mecatronic (SRM).

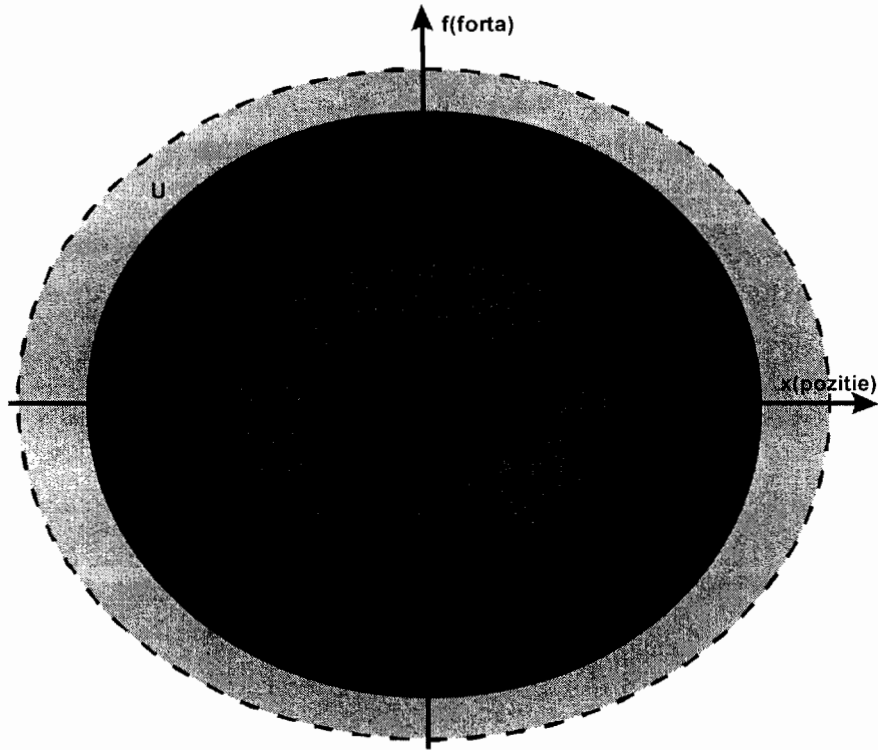


Fig. 1. Domenii ale universului de discurs in functie de erorile de pozitie si erorile de forta

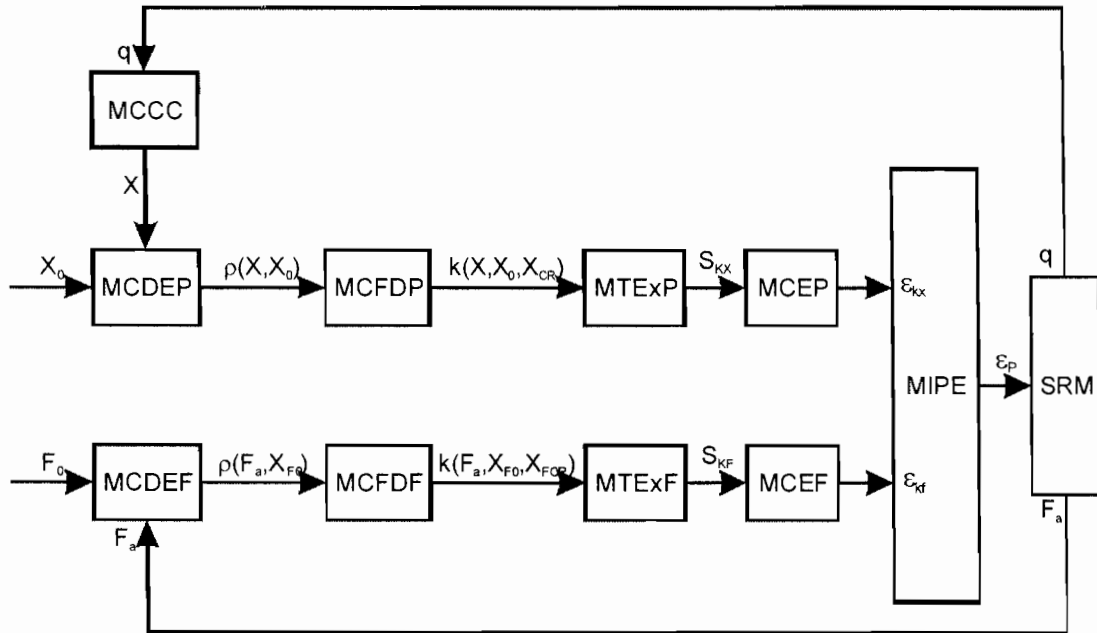


Fig. 2. Schema de principiu a dispozitivului

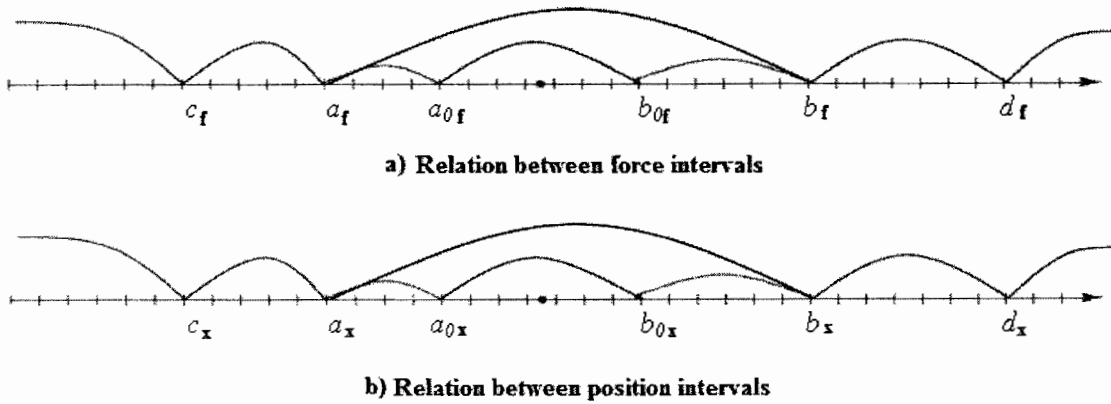


Figura 3. Relatiile intre intervalele de forta (figura 3a) si intervalele de pozitie (figura 3b)

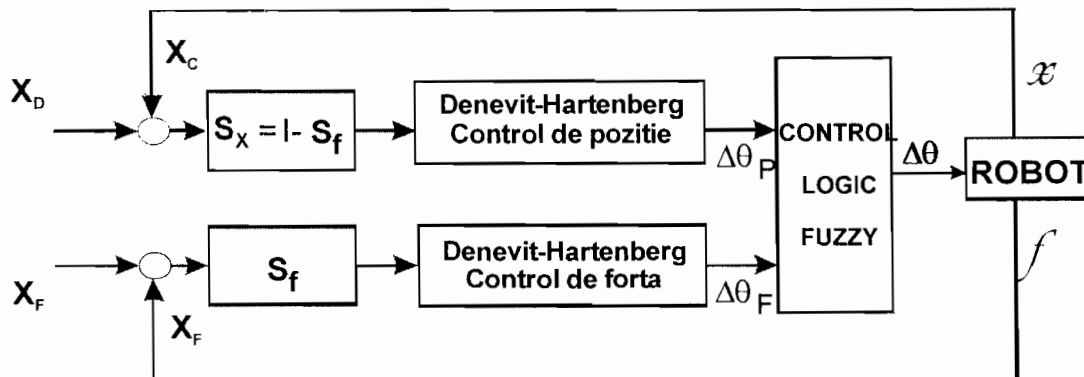


Figura 4. Matricele de selectie pentru un sistem de control hibrid forta-pozitie

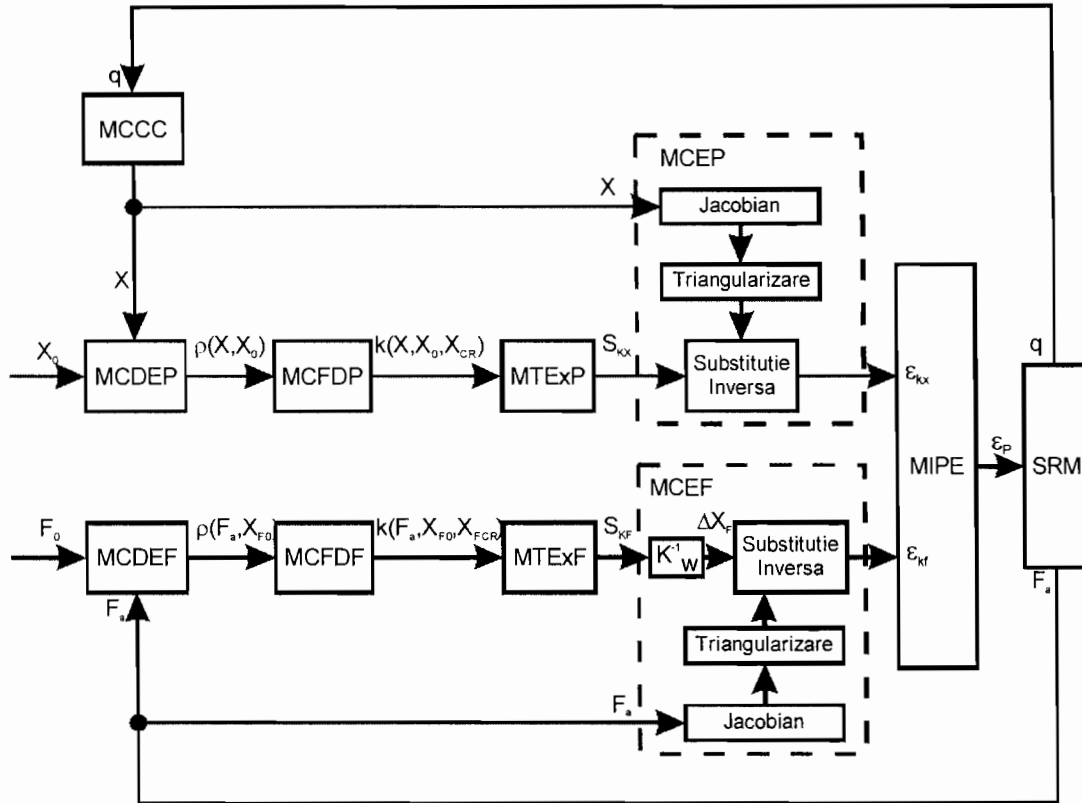


Figura 5. Arhitectura sistemului de control forta-pozitie hibrid explicit

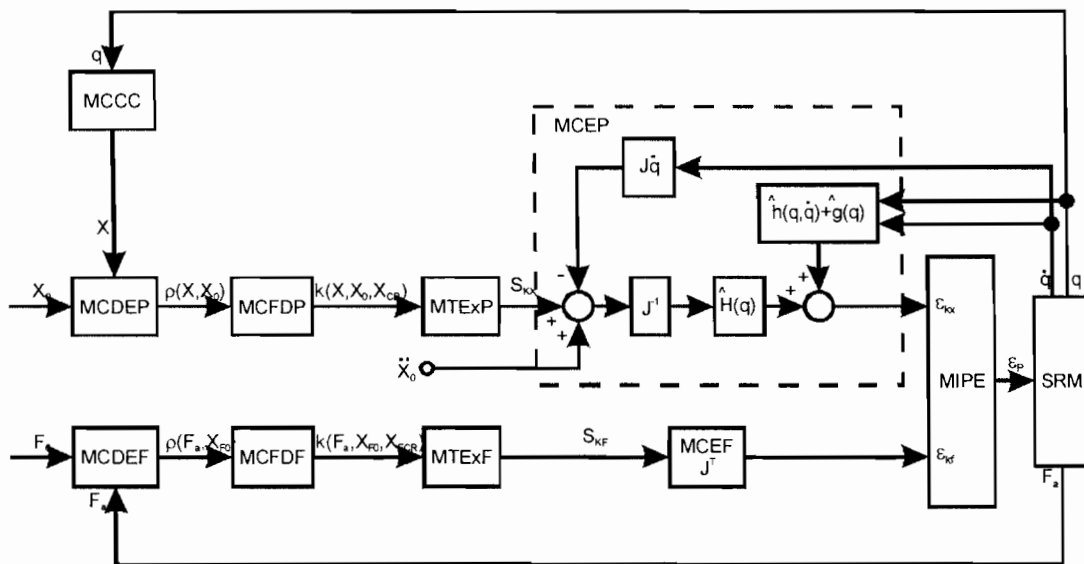


Figura 6. Arhitectura sistemului de control forta-pozitie cu acceleratie rezolvata

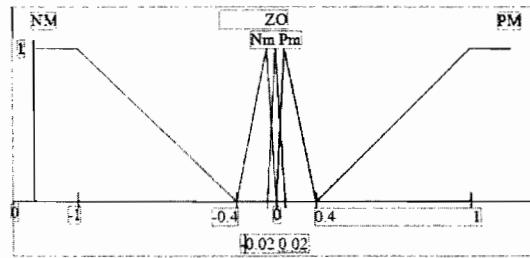


Figura 7. Setul de intrari fuzzy al erorilor

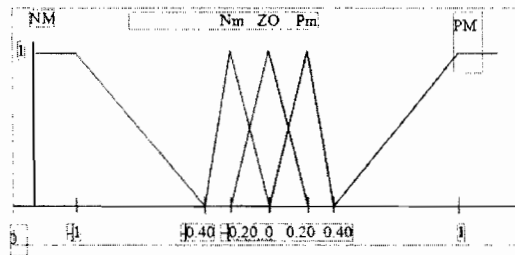


Figura 8. Setul de intrare fuzzy al erori de viteza

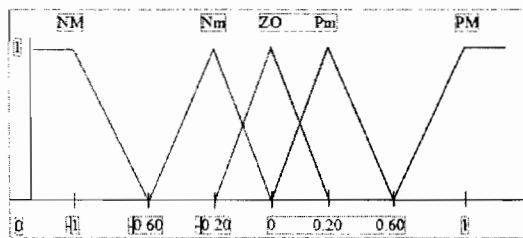


Figura 9. Setul fuzzy al valorilor de forta

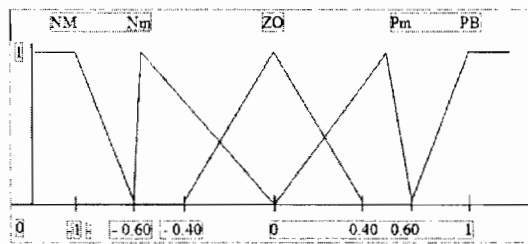


Figura 10. Setul fuzzy al iesirilor.