



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 01077**

(22) Data de depozit: **28/12/2012**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/09/2020** BOPI nr. **9/2020**

(41) Data publicării cererii:  
**30/10/2013** BOPI nr. **10/2013**

(73) Titular:  
• **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. LAMĂ C,  
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. 47, 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

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**RO125970A0;** Gal, D. Melinte, s.a. "Hybrid  
force-position control for manipulators  
with 4 degrees of freedom", SISOM 2011  
and Session of the Commission of  
Acoustics, Bucharest 25-26 May, pp.  
308-315, [https://www.researchgate.net/profile/Alexandru\\_Gal/publication/268016011\\_HYBRID\\_FORCE-POSITION\\_CONTROL\\_FOR\\_MANIPULATORS\\_WITH\\_4\\_DEGREES\\_OF\\_FREEDOM/links/5538a750cf247b8587d4970.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alexandru_Gal/publication/268016011_HYBRID_FORCE-POSITION_CONTROL_FOR_MANIPULATORS_WITH_4_DEGREES_OF_FREEDOM/links/5538a750cf247b8587d4970.pdf); Raiberg M H, Craig J J (1981),  
"Hybrid position/force control of  
manipulators", ASME nr 1. 126/vol2, iunie  
1981,  
<http://fab.cba.edu/classes/865.15/classes/measurement/hybrid-position-force.pdf>

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



# RO 128910 B1

1           Invenția se referă la o metodă și un dispozitiv pentru controlul extins hibrid forță-poziție  
a mișcării sistemelor robotice și mecatronice, prin aplicarea setului extins din teoria extensiei  
3           în rezolvarea problemei contradictorii de control în forță și/sau în poziție, permițând ca două  
elemente contradictorii, forța și poziția, externe setului clasic de control, prin transformări să  
5           devină un element interior setului, cu rezolvarea contradicției, îmbunătățirea preciziei și  
stabilității mișcării sistemelor robotice și mecatronice. Invenția este destinată controlului hibrid,  
7           în timp real, a poziției traiectoriei de mișcare a sistemelor robotice și mecatronice, conducând  
pe de o parte la creșterea stabilității deplasării roboților pășitori sau a sistemelor mecatronice  
9           mobile pe terenuri plane, cu obstacole sau denivelate, la viteze de mers constante sau variabile  
și sarcini constante sau variabile, iar pe de alta parte în controlul cu precizie ridicată a traiec-  
11          toriei de mișcare a elementului efector pentru roboții industriali, cu aplicații în transportul de  
materiale nucleare, în activități agricole de însămânțare, prășire, aplicații militare în detectarea  
13          minelor, experimente selenare și în general, aplicații pe terenuri neregulate, greu accesibile,  
procese industriale robotizate, aplicații MEMS (micro sisteme electro-mecanice), aplicații NMM  
15          (nano-micri manipulators) de poziționare, inserare, urmărire traiectorie, manipulare obiecte,  
tele-operare.

17          Funcționarea robustă și sigură al roboților și sistemelor mecatronice în contact cu obiec-  
tele în mediul lor este cerința de bază pentru realizarea sarcinilor conform aplicațiilor date.  
19          Controlul stabil al interacțiunii robot-obiect implică o problemă dificilă din punct de vedere tehnic.  
Astfel, pentru controlul de contact numită „adaptarea poziției” este propusă de Whitney (1977)  
21          o metodă simplă 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  
23          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  
25          activ a rigidității aparente a efectorului final al robotului în spațiu cartezian. În această  
metodă poziția de referință este folosită drept comandă pentru a controla forța de contact, și nu  
27          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  
29          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  
31          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  
33          un controler de forță sau rezistență la arcuire, care încorporează un sistem interior de control  
cartezian al poziției.

35          Într-o lucrare similară Hogan (1985, Karen 1986) a introdus „controlul impedanței”, care  
încearcă să stabilească o relație dinamică dorită între poziția efectorului final al robotului și  
37          forța de contact. Această metodologie poate fi adesea implementată fără planificări off-line a  
sarcinii, oferă rezistență în fața incertitudinilor și perturbărilor, și poate oferi o tranziție stabilă  
39          între mișcările constrânse și cele libere (Hogan 1988). Însă, folosind metodologia dispozitivul  
de controlul impedanței pentru mișcarea, dimensiunea forței de contact depinde de traiectoria  
41          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  
43          de referință poate fi realizată înainte de a produce forța de contact dorită. Un dezavantaj  
principal al acestei metode este că, în cazuri particulare unde parametrii mediului nu sunt  
45          cunoscuți exact, sistemul de control impedanța tinde să conducă la performanțe reduse în  
urmărirea forței.

# RO 128910 B1

Raibert, Craig (1981) și Manson (1980) asigură controlul în forță și poziție, atunci când robotul interacționează cu mediul înconjurător, 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 această abordare anumite coordonate carteziane ale efectuatorului final al robotului se află sub control de poziție în timp ce altele se află sub control explicit de forță. Procesarea separată și prelucrarea după legi diferite pentru controlul în poziției și controlul la forță, necesită o pregătire semnificativă a modului de tratare a sarcinilor și un schimb al buclelor de control în implementare; în plus, această metodă 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 cercetărilor 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. Lasky și Hsia descriu un sistem de dispozitivul de control constând într-un dispozitiv de control convențional al impedanței în bucla interioară și un dispozitiv 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 cercetărilor cu aplicații în e-learning, data mining, recunoașteri de imagini, robotică, statistică, management. Teoria setului de extensie este un formalism matematic pentru reprezentarea incertitudinilor ce poate fi considerată 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 forță-poziție, în domeniul roboticii, mecatronicii și al sistemelor de control în timp real aferente.

Dezavantajele soluției dezvoltate de Raibert și Craig, care este principala metodă de control hibrid forță-poziție, constau în faptul că utilizează matrice de selecție  $S_x$  de poziție și  $S_f$  de forță cu valori discrete 0 sau 1, care conduc la instabilități la trecerea de la controlul în poziție la controlul în forță sau invers, cu efecte asupra preciziei de urmărire a mișcării, stabilității sistemului, timpului de răspuns în bucla de control, etc. Unele îmbunătățiri de performanță se pot obține prin procesarea cu metode inteligente de control a erorii de poziție  $\epsilon_x$  și a erorii de forță  $\epsilon_f$ , 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 forță-poziție a mișcării roboților, prin înlocuirea valorilor logice de 0 și 1 din matricele de selecție  $S_x$  și  $S_f$  în funcție de secvențele forță-poziție din logica Canton, cu valori ale distanței extinse și ale funcției de dependență, permițând relaxarea sistemului de control, îmbunătățirea preciziei mișcării și a stabilității sistemelor robotice și mecatronice.

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

- un domeniu standard pozitiv **DSP** cu proiecția pe axa  $x$  de poziție pe intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  corespunzător erorii acceptate în poziție pentru controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic, delimitat pe axa  $x$  de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$

# RO 128910 B1

1 pentru poziție, unde  $a_{ox}$  și  $b_{ox}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de poziție maxime  
acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$  de forță pe intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{fo}$   
3 corespunzător erorii acceptate în forță pentru controlul în forță a mișcării sistemului robotic și  
mecatronic, delimitat pe axa  $f$  de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  pentru forță, unde  $a_{of}$  și  $b_{of}$  sunt erorile  
5 negative respectiv pozitive de forță maxime acceptate;

- un domeniu de tranziție pozitiv **DTP** cu proiecția pe axa  $x$  de poziție pe intervalul de  
7 tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$  corespunzător erorii critice în poziție în care încă mai este posibil  
controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de poziție  
9 în domeniul standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_x, b_x)$  pentru poziție, unde  $a_x$  și  $b_x$  sunt  
erorile de poziție critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$   
11 de forță pe intervalul de tranziție pozitiv de forță  $X_{FCR}$  corespunzător erorii critice în forță în care  
încă mai este posibil controlul în forță a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru  
13 aducerea erorii de poziție în domeniu standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_f, b_f)$  pentru forțe,  
unde  $a_f$  și  $b_f$  sunt erorile de forță critice negative respectiv pozitive maxime acceptate;

- un domeniu de tranziție negativă **DTN** care se continuă cu domeniul standard negativ  
15 **DSN** pentru a întregi universal de discurs  $U$ , domenii corespunzătoare erorilor neacceptate în  
poziție în care nu mai este posibil controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic  
17 **SRM** pentru aducerea erorii de poziție în domeniu standard pozitiv și alocarea de valori din  
acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control poziție, cu toate consecințele negative  
19 aferente, delimitat de mulțimea  $(c_x, d_x)$  pentru poziție, unde  $c_x$  și  $d_x$  sunt erorile de poziție  
negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție negativă, și  
21 corespunzător erorii neacceptate în forță în care nu mai este posibil controlul în forță a  
mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de forță în domeniu standard  
23 pozitiv și alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forță,  
cu toate consecințele negative aferente, delimitat de mulțimea  $(c_f, d_f)$  pentru forțe, unde  $c_f$  și  $d_f$   
25 sunt erorile de forță negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție  
negativă;

- un domeniul standard negativ **DSN** care întregește universal de discurs  $U$  și cores-  
29 punde erorilor neacceptate în poziție și forță, universul de discurs  $U$  fiind format din suma tuturor  
acestor domenii prezentate anterior și,

- o matrice de selecție  $S$  formată din două matrici de separare a controlului în poziție  $S_x$   
31 sau forța  $S_f$  pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic **SRM**, în care  
elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  au valoarea 1 pentru controlul în poziție și  
33 valoarea 0 pentru controlul în forță, iar matricea de separare pentru forța  $S_f$  este ortogonal  
complementară față de matricea  $S_x$ ;

- urmată de fazele 2 -7 cu funcționare în timp real, în care,

- în faza 2 se determină conform teoriei extenice, pe fiecare axă de libertate **DOF** a  
37 sistemului robotic și mecatronic (**SRM**), atât distanța extinsă de poziție, notată cu  $\rho(X, X_o)$ , dintre  
semnalele de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematic directă a sistemului mecatronic și  
39 robotic **SRM** de la traductoarele de poziție ale sistemului robotic și mecatronic **SRM** și intervalul  
standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  delimitat pe axa  $x$  de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  și definit  
41 conform fazei 1, cât și distanța extinsă de forță, notată cu  $\rho(F_a, X_{Fo})$ , dintre semnalele traduc-  
toarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic **SRM** și intervalul standard pozitiv al  
43 forței de referință  $X_{Fo}$  delimitat pe axa  $f$  de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  și definit conform fazei anterioare;

- în faza 3, pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic **SRM** cu  
45 distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_o)$  și distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{Fo})$  deja calculate, se deter-  
mină conform teoriei extenice atât funcția de dependență  $K(X, X_o, X_{CR})$  a semnalului de poziție  
47 actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  și intervalul de tranziție

# RO 128910 B1

pozitiv de poziție  $X_{CR}$ , având valoarea maximă  $K(X_o)=M_p$  pe intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  egală cu componenta proporțională de amplificare a regulatorului de poziție și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de poziție actual  $X$  în intervalele  $X_o$  și  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de poziție, cât și funcția de dependență  $K(F_a, X_{Fo}, X_{FCR})$  a semnalului de forță  $F_a$ , față de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{Fo}$  și intervalul de tranziție pozitiv forță  $X_{FCR}$  având valoarea maximă  $K(X_{Fo})=M_f$  pe intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{Fo}$ , egală cu componenta proporțională de amplificare a regulatorului de forță și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de forță actual  $F_a$  în intervalele  $X_{Fo}$  și  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forță;

- în faza 4 pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic **SRM** se înlocuiesc elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de poziție  $K_x$  determinați printr-o transformare extinsă de domeniu pentru poziție prin relația  $K_x = K(X_o) - K(X, X_o, X_{CR})$  obținându-se o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$ , și cvasisimultan se înlocuiesc elementele matricei de selecție pentru forță  $S_f$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de forță  $K_f$  determinați printr-o transformare extinsă de domeniu pentru forță prin relația  $K_f = K(F_o) - K(F_a, X_{Fo}, X_{FCR})$  obținându-se o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru forță  $S_{Kf}$ ;

- în faza 5 cu matricile  $S_{Kx}$  și  $S_{Kf}$  astfel calculate se continuă controlul hybrid forță-poziție prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control poziție-forță hibridă explicit, metoda de control cu accelerație rezolvată sau alte metode similare, pentru a determina semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\epsilon_{Kf}$ ;

- în faza 6 se procesează semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\epsilon_{Kf}$  pe fiecare axă 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 neutrosifică cu generarea și transmiterea semnalului la sistemul robotic și mecatronic **SRM** a erorii de poziție  $\epsilon_p$  pe fiecare axă de libertate **DOF**;

- urmând faza 7 în care traductoarele montate pe sistemul robotic și mecatronic **SRM** transmit semnalele de poziție actuală  $X$  și semnalele de forță  $F_a$  prin care se închide reacția la buclele de control în poziție și forță.

Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că pentru controlul extins hybrid forță-poziție a mișcării sistemelor robotice și mecatronice **SRM**, este alcătuit:

- dintr-un modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP**, care primește semnalele de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului robotic și mecatronic **SRM** de modulul de calcul în coordonate carteziane **MCCC** și intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$ , definit conform metodei invenției, calculează distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_o)$ , conform teoriei extenice prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele de poziție actuală  $X$ , la un interval, în acest caz intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$ , pe care o transmite la modulul de calcul al funcției de dependență de poziție **MCFDP**;

- un modul de calcul al distanței extinse de forță **MCDEF**, care funcționează cvasisimultan cu modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP**, și care primește semnalele traductoarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic **SRM** pe fiecare axă de libertate **DOF** și în funcție de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{Fo}$ , definit conform metodei invenției, calculează distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{Fo})$  conform teoriei extenice

# RO 128910 B1

1 prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele de forță  $F_a$ , la un interval,  
în acest caz intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$ , pe care o transmite la modulul  
3 de calcul al funcției de dependență de forța **MCFDF**;

- un modul de calcul al funcției de dependență pentru poziție **MCFDP** care primește  
5 distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_0)$  de la modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP**  
și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru poziție  $K(X, X_0, X_{CR})$  a  
7 semnalului de poziție actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  și  
intervalul de tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$ , având valoarea maximă  $K(X_0)=M_p$  pe intervalul  
9 standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  egală cu componenta proporțională de amplificare a  
regulatorului de poziție și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului  
11 de poziție actual  $X$  în intervalele  $X_0$  și  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de poziție,  
pe care îi transmite la modulul de transformare extinsă a poziției **MTEXP**;

- un modul de calcul al funcției de dependență pentru forța **MCFDF**, care funcționează  
13 cvasisimultan cu modulul de calcul al funcției de dependență pentru poziție **MCFDP**, și care  
primește distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{F_0})$  de la modul de calcul al distanței extinse de forță  
15 **MCDEF** și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru forța  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$   
17 ) a semnalului de forță  $F_a$  față de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$  și intervalul  
de tranziție pozitiv forța  $X_{FCR}$ , având valoarea maxima  $K(X_{F_0})=M_f$  pe intervalul standard pozitiv  
19 al forței de referință  $X_{F_0}$ , egală cu componenta proporțională de amplificare al regulatorului de  
forță și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor pentru semnalul de forță  
21 actual  $F_a$  în intervalele  $X_{F_0}$  și  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forță, pe care îi  
transmite la modulul de transformare extinsă pentru forța **MTEXF**;

- un modul de transformare extinsă pentru poziție **MTEXP** care primește semnalul de  
23 funcție de dependență pentru poziție  $K(X, X_0, X_{CR})$  de la modulul de calcul al funcției de  
dependență pentru poziție **MCFDP** și înlocuiește elementele matricei de selecție pentru poziție  
25  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de poziție  $K_x$  determinați printr-o transformare  
extinsă de domeniu pentru poziție prin relația  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obținându-se o nouă  
27 matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$ , pe care îi transmite la modulul  
de calcul a erorii de poziție **MCEP**;

- un modul de transformare extinsă pentru forța **MTEXF** care funcționează cvasisimultan  
31 cu modul de transformare extinsă pentru poziție **MTEXP**, și care primește semnalul de funcție  
de dependență pentru forța  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  de la modulul de calcul al funcției de dependență  
33 pentru forța **MCFDF** și înlocuiește elementele matricei de selecție pentru forța  $S_f$  care au  
valoarea 1 cu coeficienții de corelație de forță  $K_f$  determinați printr-o transformare extinsă de  
35 domeniu pentru forța prin relația  $K_f = K(F_0) - K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  obținându-se o nouă matrice de  
selecție cu coeficienți de corelație pentru forța  $S_{Kf}$ , pe care îi transmite la modulul de calcul a  
37 erorii de forță **MCEF**;

- un modul de calcul a erorii de poziție **MCEP** și un modul de calcul a erorii de forță  
39 **MCEF**, care funcționează cvasisimultan, și care primesc semnalele de matrice de selecție cu  
coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$  respectiv semnalele de matrice de selecție cu  
41 coeficienți de corelație pentru forța  $S_{Kf}$  de la modulul de transformare extinsă pentru poziție  
**MTEXP** respectiv de la modulul de transformare extinsă pentru forța **MTEXF**, realizează con-  
43 trolul hibrid forță-poziție prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control  
forță-poziție hibridă explicit, metoda de control cu accelerație rezolvată sau alte metode similare  
45 și transmite semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forță  
 $\epsilon_{Kf}$  la modulul inteligent de procesare a erorii **MIPE**;

# RO 128910 B1

- 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 axă 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 neutrosifică, și transmite semnalul la sistemul robotic și mecatronic **SRM**;

-un sistem robotic și mecatronic **SRM**, care primește eroarea de poziție  $\varepsilon_p$  pe fiecare axă de libertate **DOF**, realizează acționarea actuatorilor și generează semnalele de la traductoarele de poziție actuală  $q$  pe care îi transmite la modulul de calcul în coordonate carteziene **MCCC** și de la traductoarele de forță  $F_a$  pe care îi transmite la modulul de calcul al distanței extinse de forță **MCDEP**;

- și un modul de calcul în coordonate carteziene **MCCC** care primește semnalele de la traductoarele de poziție actuală  $q$  și generează semnalele de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului robotic și mecatronic **SRM**.

Invenția prezintă avantajele realizării unei metode avansate de rezolvare a problemei contradictorii de control hibrid forță-poziție a mișcării roboților prin aplicarea unui set de extensie care să permită celor două elemente contradictorii, forța și poziția, să fie controlate simultan în timp, permițând relaxarea sistemului de control, îmbunătățirea preciziei mișcării și a stabilității robotului. Prin înlocuirea valorilor logice de 0 și 1 din matricele de selecție  $S_x$  și  $S_f$  în funcție de secvențele forță-poziție din logica Canton cu valori ale distanței extinse și ale funcției de dependență se dezvoltă o metoda de optimizare al controlului hibrid forță-poziție care să asigure precizie de poziționare și stabilitate mișcării robotului. Metoda permite obținerea unor rezultate de nivel ridicat pentru controlul hibrid forță - poziție prin utilizarea unei transformări extinse având ca funcție de optimizare funcția de dependență bazată pe distanța extinsă, raportată la metoda clasică cu matrice logice de selecție care corespunde logicii Canton.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a metodei și dispozitivului conform invenției, în legătură cu fig. 1, care prezintă domeniile din universul de discurs în funcție de erorile de poziție și erorile de forță, fig. 2 care prezintă o schemă de principiu a dispozitivului conform invenției, figura care prezintă relațiile între intervalele de forță (fig.3a) și intervalele de poziție (fig.3b), figura care reprezintă matricele de selecție pentru un sistem de control hibrid forță-poziție, fig.5 care reprezintă arhitectura unui sistem de control forță-poziție hibridă explicit, fig.6 care reprezintă arhitectura unui sistem de control cu accelerație rezolvată, fig. 7 care setul de intrări fuzzy al erorilor, fig.8 care reprezintă setul de intrare fuzzy al erorii de viteză, fig. 9 care reprezintă setul fuzzy al valorilor de forță, fig. 10 care reprezintă setul fuzzy al ieșirilor.

Metoda și dispozitivul conform invenției sunt constituite dintr-o fază cu funcționare off-line urmată de alte 6 faze cu funcționare în timp real și un complex de module care au ca scop de a rezolva problema contradictorie de control hibrid forță-poziție a mișcării sistemelor robotice și mecatronice, prin înlocuirea valorilor logice de 0 și 1 din matricele de selecție  $S_x$  și  $S_f$ , în funcție de secvențele forță-poziție din logica Canton, cu valori ale funcției de dependență utilizând distanța extinsă și printr-o transformare extinsă de domeniu pentru poziție  $S_{Kx}$  respectiv printr-o transformare extinsă de domeniu pentru forța  $S_{Kf}$  se obține o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție, respectiv o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru forța care permit determinarea semnalele de eroare de poziție  $\varepsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\varepsilon_{Kf}$  cu scopul închiderii buclei de reacție a sistemului de control în poziție și forță.

# RO 128910 B1

1 Într-o primă fază, cu funcționare off-line, se definește universul de discurs **U**, al erorilor  
de poziție și de forță, care conține conform invenției prezentate în fig. 1, domeniile descrise mai  
3 jos:

5 - un domeniu standard pozitiv **DSP** cu proiecția pe axa x de poziție pe intervalul standard  
pozitiv al poziției de referință  $X_0$  corespunzător erorii acceptate în poziție pentru controlul în  
poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic, delimitat pe axa x de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$   
7 pentru poziție, unde  $a_{ox}$  și  $b_{ox}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de poziție maxime  
acceptate, și cu proiecția pe axa f de forță pe intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F0}$   
9 corespunzător erorii acceptate în forță pentru controlul în forță a mișcării sistemului robotic și  
mecatronic, delimitat pe axa f de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  pentru forță, unde  $a_{of}$  și  $b_{of}$  sunt erorile  
11 negative respectiv pozitive de forță maxime acceptate;

13 - un domeniu de tranziție pozitiv **DTP** cu proiecția pe axa x de poziție pe intervalul de  
tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$  corespunzător erorii critice în poziție în care încă mai este posibil  
controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de poziție  
15 în domeniul standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_x, b_x)$  pentru poziție, unde  $a_x$  și  $b_x$  sunt  
erorile de poziție critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, și cu proiecția pe axa f  
17 de forță pe intervalul de tranziție pozitiv de forță  $X_{FCR}$  corespunzător erorii critice în forță în care  
încă mai este posibil controlul în forță a mișcării sistemului robotic și mecatronic pentru  
19 aducerea erorii de poziție în domeniu standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_f, b_f)$  pentru forță,  
unde  $a_f$  și  $b_f$  sunt erorile de forță critice negative respectiv pozitive maxime acceptate;

21 - un domeniu de tranziție negativă **DTN** care se continuă cu domeniul standard negativ  
**DSN** pentru a întregi universal de discurs **U**, domenii corespunzătoare erorilor neacceptate în  
23 poziție în care nu mai este posibil controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic  
**SRM** pentru aducerea erorii de poziție în domeniu standard pozitiv și alocarea de valori din  
25 acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control poziție, cu toate consecințele negative  
afere, delimitat de mulțimea  $(c_x, d_x)$  pentru poziție, unde  $c_x$  și  $d_x$  sunt erorile de poziție  
27 negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție negativă, și  
corespunzător erorii neacceptate în forță în care nu mai este posibil controlul în forță a mișcării  
29 sistemului robotic și mecatronic pentru aducerea erorii de forță în domeniu standard pozitiv și  
alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forță, cu toate  
31 consecințele negative aferente, delimitat de mulțimea  $(c_f, d_f)$  pentru forță, unde  $c_f$  și  $d_f$  sunt  
erorile de forță negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție  
33 negativă;

35 - un domeniul standard negativ **DSN** care întregește universal de discurs **U** și  
corespunde erorilor neacceptate în poziție și forță, universul de discurs **U** fiind format din suma  
tuturor acestor domenii prezentate anterior și,

37 - o matrice de selecție **S** formată din două matrici de separare a controlului în poziție  $S_x$   
sau forță  $S_f$  pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic **SRM**, în care  
39 elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  au valoarea 1 pentru controlul în poziție și  
valoarea 0 pentru controlul în forță, iar matricea de separare pentru forță  $S_f$  este ortogonal  
41 complementară față de matricea  $S_x$ .

43 Funcționarea în timp real constă în implementarea fazelor 2-7 conform invenției în  
schema de principiu a dispozitivului prezentat în fig.2 având la bază teoria extenics în definirea  
distanței extinse de poziție  $\rho(X, X_0)$ , distanței extinse de forță  $\rho(F_a, X_{F0})$ , funcției de dependență  
45  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de poziție actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de  
referință  $X_0$  și intervalul de tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$  și funcției de dependență  $K(F_a, X_{F0},$   
47  $X_{FCR})$  a semnalului de forță  $F_a$  față de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F0}$  și



intervalul de tranziție pozitiv forța  $X_{FCR}$ . Astfel, se realizează o transformare extinsă printr-o relație care include o funcție de dependență extinsă în universul de măsură  $U$  prin utilizarea distanței extinse de poziție  $\rho(X, X_0)$  și a distanței extinse de forța  $\rho(F_a, X_{F_0})$ . Referința pentru teoria extenics este lucrarea: "Extension Engineering", autori Yang Chunyan și Cai Wen, editată în Science Press, Beijing, May 20112.

În continuare se prezintă un exemplu de aplicare a teoriei extenics conform invenției. Astfel, considerând universal de discurs din fig. 1 și relațiile între intervalele din fig. 3, vom înlocui valorile logice 1 din matricele  $S_x$  și  $S_f$  cu coeficienții  $K_x$  și  $K_f$  care rezultă din poziția erorii față de mulțimea corespunzătoare domeniului standard pozitiv. Relația pentru setul de extensie definite de Cai Wen este:

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

pentru un univers de discurs  $U$ , în care  $\varepsilon$  este un element în  $U$ ,  $k$  este o mapare a lui  $U$  la domeniul real,  $T = (T_U, T_k, T_\varepsilon)$  este o transformare,  $y = k(\varepsilon)$  funcția de dependență a lui  $\tilde{E}(T)$ ,  $y' = T_k k(T_U \varepsilon)$  funcția de extensie a lui  $\tilde{E}(T)$ , iar  $T_U, T_k, T_\varepsilon$  sunt transformări ale universului de discurs  $U$  prin funcția de dependență  $k$  și elementul  $\varepsilon$ .

În exemplul prezentat vom considera cazul în care setul de extensie al transformatei depinde de  $\varepsilon$ , transformată  $T_k$  este implementată numai ca element  $\varepsilon$  ceea ce conduce la  $T_U = e$  (matricea unitate  $Id$ ),  $T_k = e$ ,  $T_U = U$  și  $T_k k = k$ , respectiv :

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

Pentru a se determina funcția de dependent în spațial 2D generat de poziție și forța se pleacă de la distanța extinsă definită din 1983 de Prof. Cai Wen, fondatorul Extenics. Funcția de dependență  $k(z)$ , conform Chungyan and Cai, pentru un punct  $z$  care aparține domeniului numerelor reale  $\mathfrak{R}$ ,  $Z_0$  un intervalul standard pozitiv,  $Z$  un domeniu de tranziție pozitiv și  $\hat{Z}$  domeniu de tranziție negative, este generată de relația:

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

Prin substituția lui  $z$  cu punctele care fac obiectul invenției, respectiv pentru poziție cu semnalele de poziție actuală  $X$ , determinate prin cinematic directă a sistemului mecatronic și robotic **SRM** și intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  delimitat pe axa  $x$  de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  și definit conform fazei 1, iar pentru forța cu semnalele traductoarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic **SRM** și intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$  delimitat pe axa  $f$  de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  și definit conform aceleiași faze 1, se obțin funcțiile de dependent pentru poziție respectiv forță.

# RO 128910 B1

1 Metodologia de implementare a acestei metode avansate de control hibrid forță-poziție  
a sistemelor robotice și mecatronice constă în determinarea experimentală a domeniului  
3 standard pozitiv **DSP** și domeniului de tranziție pozitiv **DTP** pentru fiecare component de control,  
se aplică transformarea asupra semnalelor de forță și poziție ținând cont de poziția lor reală față  
5 de domeniului standard pozitiv **DSP**, rezultând o eroare transformată de forță și poziție care  
reprezintă o funcție optimizată pentru controlul hibrid forță-poziție într-o metrică generate de  
7 distanța extinsă și funcția de dependență din teoria extenics în rezolvarea problemelor contra-  
dicatorii. Universul de discurs a fost configurat încat să admită domeniu de tranziție negativă  
9 **DTN**, definit de punctele  $c_x$  și  $d_x$  pentru poziție, respectiv  $c_f$  și  $d_f$  pentru forță, astfel că la tracerea  
de aceste puncte erorile de forță și poziție vor fi limitate pentru a nu conduce la saturarea  
11 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  
13 problema contradictorie de control hibrid forță-poziție a mișcării sistemelor robotice și meca-  
tronice.

15 Astfel, un modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP**, primește semnalele  
de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului robotic și mecatronic **SRM**  
17 de modulul de calcul în coordonate carteziane **MCCC** și intervalul standard pozitiv al poziției de  
referință  $X_o$ , definit conform metodei invenției, calculează distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_o)$ ,  
19 conform teoriei extenics prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele  
de poziție actuală  $X$ , la un interval, în acest caz intervalul standard pozitiv al poziției de referință  
21  $X_o$ , pe care o transmite la modulul de calcul al funcției de dependență de poziție **MCFDP**.

Un exemplul al aplicării matricei de selecție la sistemele de control hibrid forță-poziție  
23 este prezentat în fig.4. Considerând  $X_D$  și  $X_F$  exprimate în coordonate specifice de mediu se pot  
determina matricele de selecție  $S_x$  și  $S_f$ , care sunt matrici diagonale cu 0 și 1 elemente  
25 diagonale, și care satisfac relația:

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

27  $S_x$  și  $S_f$  sunt deduse metodic din constrângeri cinematice impuse de mediu de lucru. Fie  
A și B două matrici de rang cu coloane de rang complet care satisfac relația:

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

29 si corespund spațiului de constrângeri ale dubletului format din unghiuri și articulații, atunci se  
31 pot determina  $S_x$  și  $S_f$  prin relațiile:

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

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

unde de obicei  $\Psi$  este o matrice simetrică, pozitiv definită.

35 Alegând:

$$S_x = A D^t \quad (8)$$

$$S_f = B C^t \quad (9)$$

unde C și D sunt matrice cu rangul coloanelor complet astfel încat:

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

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

41 si

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

43 Se verifică ușor ca, folosind oricare dintre abordările de mai sus,  $S_x$  și  $S_f$  satisfac  
întotdeauna:

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

# RO 128910 B1

Legile de control sunt proiectate pentru a aduce la zero erorile de poziție  $e_x = \Delta\theta_p$  și de forță  $e_f = \Delta\theta_F$ . Pentru un sistem de control ideal, comportamentul robotului este definit de: 1

$$S_x(v_{des}-v)=0, \quad (14) \quad 3$$

$$S_f(f_{des}-f) = 0. \quad (15) \quad 3$$

unde  $v$  este viteza,  $f$  este forța iar indicele "des" specifică parametrul de referință (valoarea dorită). Constrângerea vitezei este singura luată în considerare, rezultând constrângerea poziției ca o consecință. 5  
7

Fie  $T$  și  $W$  matricea cu rang de coloană complet reprezentativă pentru spațiul constrângerilor pentru dubletul unghi și articulație. Ele satisfac relația: 9

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

Notăm  $v_{des}$  și  $v$  vitezele respective a două corpuri 1 și 2. Viteza lor relativă este Span (T), deci: 11

$$v_{des}-v = T\xi \quad (17) \quad 13$$

unde  $\xi$  este un vector liber. Înmulțind la stânga cu  $W^t$  și folosind relația (16), obținem:

$$W^t(v_{des}-v) = 0. \quad (18) \quad 15$$

Presupunem ca avem corpul 2 în contact cu orice fel de mediu. Fie  $f$  forța exercitată de corpul 2 asupra mediului. Aplicăm o forță externă  $f_{des}$ , asupra corpului 2. Cum corpul 2 nu are masă, echilibrul forțelor este dat de: 17

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

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

Cum  $f_r$  este Span (W), înmulțind la stânga cu  $T^t$  obținem: 21

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

Asemănarea dintre ecuațiile (13-15) și (16-18) ne conduce la următoarea concluzie: cu ajutorul controlului hibrid corpurile componente ale unui sistem robotic și mecatronic se comportă ca un corp rigid, fără masă, supus unei forțe externe  $f_{des}$ , conectat printr-o constrângere cinematică ideală de un alt corp a cărui viteză este  $v_{des}$ . Aceasta concluzie ne permite decuplarea forțelor și poziției în matricele de selecție pentru controlul hibrid al sistemelor robotice și mecatronice. 23  
25  
27

Un modul de calcul al distanței extinse de forța **MCDEF**, care funcționează cvasisimultan cu modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP**, și care primește semnalele traductoarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic **SRM** pe fiecare axă de libertate **DOF** și în funcție de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{Fo}$ , definit conform metodei invenției, calculează distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{Fo})$  conform teoriei extenics prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele de forță  $F_a$ , la un interval, în acest caz intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{Fo}$ , pe care o transmite la modulul de calcul al funcției de dependență de forța **MCFDF**. Un modul de calcul al funcției de dependență pentru poziție **MCFDP** care primește distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_o)$  de la modul de calcul al distanței extinse de poziție **MCDEP** și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru poziție  $K(X, X_o, X_{CR})$  a semnalului de poziție actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  și intervalul de tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$ , având valoarea maximă  $K(X_o) = M_p$  pe intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  egală cu componenta proporțională de amplificare a regulatorului de poziție și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de poziție actual  $X$  în intervalele  $X_o$  și  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de poziție, pe care îi transmite la modulul de transformare extinsă a poziției **MTEXP**. 29  
31  
33  
35  
37  
39  
41  
43  
45

# RO 128910 B1

1 Un modul de calcul al funcției de dependență pentru forța **MCFDF**, care funcționează  
cvasisimultan cu modulul de calcul al funcției de dependență pentru poziție **MCFDP**, și care  
3 primește distanța extinsă de forța  $\rho(F_a, X_{F_0})$  de la modul de calcul al distanței extinse de forța  
**MCDEF** și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru forța  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$   
5 a semnalului de forța  $F_a$  față de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$  și intervalul  
de tranziție pozitiv forța  $X_{FCR}$ , având valoarea maximă  $K(X_{F_0})=M_F$  pe intervalul standard pozitiv  
7 al forței de referință  $X_{F_0}$ , egală cu componenta proporțională de amplificare al regulatorului de  
forță și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor pentru semnalul de forță  
9 actual  $F_a$  în intervalele  $X_{F_0}$  și  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forță, pe care îi  
transmite la modulul de transformare extinsă pentru forța **MTExF**.

11 Un modul de transformare extinsă pentru poziție **MTExP** care primește semnalul de  
funcție de dependență pentru poziție  $K(X, X_0, X_{CR})$  de la modulul de calcul al funcției de  
13 dependență pentru poziție **MCFDP** și înlocuiește elementele matricei de selecție pentru poziție  
 $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de poziție  $K_x$  determinați printr-o transformare  
15 extinsă de domeniu pentru poziție prin relația  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obținându-se o nouă  
matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$ , pe care îi transmite la modulul  
17 de calcul a erorii de poziție **MCEP**. Un modul de transformare extinsă pentru forța **MTExF** care  
funcționează cvasisimultan cu modul de transformare extinsă pentru poziție **MTExP**, și care  
19 primește semnalul de funcție de dependență pentru forța  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  de la modulul de  
calcul al funcției de dependență pentru forța **MCFDF** și înlocuiește elementele matricei de  
21 selecție pentru forța  $S_f$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de forța  $K_f$  determinați  
printr-o transformare extinsă de domeniu pentru forță prin relația  $K_f = K(F_0) - K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$   
23 obținându-se o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru forța  $S_{Kf}$ , pe care îi  
transmite la modulul de calcul a erorii de forța **MCEF**.

25 Un modul de calcul a erorii de poziție **MCEP** și un modul de calcul a erorii de forță  
**MCEF**, care funcționează cvasisimultan, și care primesc semnalele de matrice de selecție cu  
27 coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$  respectiv semnalele de matrice de selecție cu  
coeficienți de corelație pentru forța  $S_{Kf}$  de la modulul de transformare extinsă pentru poziție  
29 **MTExP** respectiv de la modulul de transformare extinsă pentru forța **MTExF**, realizează  
controlul hibrid forță-poziție prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control  
31 poziție-forță hibridă explicit, metoda de control cu accelerație rezolvată sau alte metode similare  
și transmite semnalele de eroare de poziție  $S_{Kx}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forță  
33  $S_{Kf}$  la modulul inteligent de procesare a erorii **MIPE**.

Un exemplu de control extins poziție-forță hibridă explicit este prezentat în fig.5. Pentru a  
35 determina relațiile de control în aceasta situație, împărțim  $\Delta X_p$  deviația măsurată de sistemul de  
comandă în coordonate carteziane în două seturi:

37 -  $\Delta X^F$  - corespunzătoare componentei controlată prin forță și;

39 -  $\Delta X^P$  - corespunzătoare controlului în poziție cu acționare pe axe conform matricelor de  
selecție  $S_f$  și  $S_x$ .

Dacă se consideră numai controlul de poziție pe direcțiile stabilite de matricea de selecție  
41  $S_x$  se pot determina atât mișcările diferențiale dorite ale end-efectorului corespunzătoare controlului  
în poziție din relația:

$$\Delta x_p = K_p \Delta X^p \quad (21)$$

unde  $K_p$  este matricea câștigului, cât și unghiurile mișcării dorite pe axele controlate în poziție:

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

45 În continuare, luând în considerare și controlul forței pe celelalte direcții rămase, relația între  
47 mișcarea unghiulară dorită a end-efectorului și eroarea de forță  $\Delta X_f$  este dată de relația:

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

# RO 128910 B1

unde eroarea de poziție datorată forței  $\Delta X_F$  este diferența de mișcare între  $\Delta X^F$  - deviația poziției curente măsurată de sistemul de comandă care generează deviația de poziție pentru axele controlate în forță și  $\Delta X_D$  -deviația în poziție datorată forței reziduale dorite. 1  
3

Notând  $F_D$  forța reziduală dorită și  $K_w$  rigiditatea fizică se obține relația:

$$\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D \quad (24) \quad 5$$

Astfel,  $\Delta X_F$  se poate calcula din relația:

$$\Delta X_F = K_F (\Delta X_F - \Delta X_D) \quad (25) \quad 7$$

unde  $K_F$  este relația dimensională a matricii de rigiditate.

În final, rezultă variația de mișcare pe axele robot raportate la variația mișcării a end-efectorului după relația: 9

$$\varepsilon_p = \Delta\theta = J^{-1}(\theta) \Delta X_F + J^{-1}(\theta) \Delta X_p \quad (26) \quad 11$$

Un exemplu de control extins poziție-forță cu accelerație soluționată este prezentată în fig.6. Controlul hibrid forță-poziție explicit diferă de controlul rigidității prin modul în care transformarea cinematică este realizată: inversul Jacobian apare în controlul hibrid cu implicații negative în stabilitatea sistemului, față de controlul rigidității în care apare numai Jacobianul transpus. Controlul forței cu accelerația soluționată conduce la o nouă clasă de metode, ce includ atât metoda spațiului operațional cât și controlul în impedanță, conducând la îmbunătățirea proprietăților stabilită în timpul contactului prin introducerea modelului dinamic al robotului respectiv al sistemului mecatronic în legea de control. În schema de control cuplurile active generate de actuatorii sistemelor robotice și mecatronice au rolul de a compensa efectele forțelor gravitaționale, centrifuge și Coriolis, în timp ce bucla de reacție realizează controlul ținând cont de variațiile matricii de inerție. Controlul cu accelerația soluționată este dat de relația: 13  
15  
17  
19  
21  
23

$$\tau = MJ^{-1} \left[ S(x_m^* - Jq) \right] + b + g + J^T (I - S) f^* \quad (27) \quad 25$$

unde: 27

$$x_m^* = \ddot{x}_d + K_v (\dot{x}_d - \dot{x}) + K_p (x_d - x) \quad (28) \quad 29$$

este un termen al unei accelerații care aduce compensarea în avans în raport cu schimbările mișcării pe bucla de control în poziție, reaspectiv  $M$  este matricea de inerție,  $b$  reprezintă cuplul Coriolis și centripet,  $g$  este vectorul cuplului gravitațional și  $f^*$  este vectorul comandă pentru controlul activ al forței. Se obține schema prezentată în fig.6 în care modul de calcul a erorii de poziție (**MCEP**) realizează controlul hibrid forță-poziție utilizând controlul forță-poziție cu accelerație soluționată. S-au utilizat următoarele notații: 31  
33  
35

- $q$  - coordonatele generalizate ale sistemului robotic sau mecatronic, 37
- $\hat{H}(q)$  - matricea momentelor de inerție calculate al sistemului robotic sau mecatronic,
- $\hat{h}(\dot{q}, q)$  - momentele calculate generate de forțele Coriolis și centrifuge, 39
- $\hat{g}(q)$  - momentele calculate generate de forțele gravitaționale,
- $J^T$  - matricea Jacobian raportată la vitezele unghiulare în articulații, 41
- $\ddot{x}_0$  - accelerația de compensare în avans pentru schimbările mișcării pe bucla de control în poziție. 43

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 axă 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 neutrosifică, și transmite semnalul la sistemul robotic și mecatronic **SRM**. 45  
47  
49

# RO 128910 B1

1 Un exemplu al relațiilor care stau la baza controlului hibrid poziție-forță prin controlul  
fuzzy este prezentat mai jos. Sarcina controlerului este de a asigna abaterea măsurată a  
3 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  
5 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  
7 de intrare abaterea în poziție a articulațiilor compliante, rata abaterii în poziție  $\Delta e$  și forța de  
contact  $\Delta f$ . Valorile abaterilor detectate prin senzori sunt cuantificate într-un număr de puncte  
9 corespunzător elementelor universului de discurs, iar apoi valorile sunt alocate drept grade de  
apartenență în câteva subseturi fuzzy.

11 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  
13 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  
15 mediu, Nm -negativ mic, ZO- zero, Pm- pozitiv mic,  $P_M$  - pozitiv mediu, PM - pozitiv mare.

Pentru un anume set de intrări, de exemplu abaterea măsurată, evaluarea regulilor fuzzy  
17 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  
19 de control cu cel mai mare grad de apartenență. Regulile sunt evaluate la intervale egale, în  
același fel ca un sistem de control convențional. Fig. 7-10 prezintă setul funcțiilor de  
21 apartenență pentru intrări și ieșiri.

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

$$27 \quad O \rightarrow o_{crisp} = \frac{\int_U u \cdot \mu_0(u) du}{\int_U u \cdot \mu_0(u) du}$$

29 Pentru un unives de discurs discret al ieșirii U relația de calcul al centrului de greutate se reduce  
31 la relația:

$$33 \quad O \rightarrow o_{crisp} = \frac{\sum_{a_i \in U} a_i \mu_0(o_i)}{\sum_{a_i \in U} \mu_0(o_i)}$$

35 Prin aplicarea controlului logic fuzzy, se obține o trecere lină, cu reducerea discon-  
tinuității, de la controlul în poziție la controlul în forță și poziție.

37 Un sistem robotic și mecatronic **SRM**, care primește eroarea de poziție  $\varepsilon_p$  pe fiecare axă  
de libertate **DOF**, realizează acționarea actualelor și generează semnalele de la  
43 traductoarele de poziție actuală  $q$  pe care îi transmite la modulul de calcul în coordonate  
carteziene **MCCC** și de la traductoarele de forță  $F_a$  pe care îi transmite la modulul de calcul al  
45 distanței extinse de foia **MCDEP**. În final un modul de calcul în coordonate carteziene **MCCC**  
care primește semnalele de la traductoarele de poziție actuală  $q$  și generează semnalele de  
47 poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului robotic și mecatronic **SRM**.

1. Metoda pentru controlul hibrid extins forță-poziție a mișcării sistemelor robotizate și mecatronice, **caracterizează prin aceea că**, pentru controlul hibrid, în timp real, a traiectoriei de mișcare prin aplicarea setului extins din teoria extensiei, sunt parcurse următoarele faze în dezvoltarea respectivului sistem de control:

(i) faza 1, cu funcționare off-line, se definește universul de discurs  $U$ , al erorilor de poziție și de forță, care conține: un domeniu standard pozitiv (**DSP**) cu proiecția pe axa  $x$  de poziție pe intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  corespunzător erorii acceptate în poziție pentru controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic (**SRM**), delimitat pe axa  $x$  de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  pentru poziție, unde  $a_{ox}$  și  $b_{ox}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de poziție maxime acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$  de forță pe intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F0}$  corespunzător erorii acceptate în forță pentru controlul în forță a mișcării sistemului robotic și mecatronic (**SRM**), delimitat pe axa  $f$  de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  pentru forță, unde  $a_{of}$  și  $b_{of}$  sunt erorile negative respectiv pozitive de forță maxime acceptate, un domeniu de tranziție pozitiv (**DTP**) cu proiecția pe axa  $x$  de poziție pe intervalul de tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$  corespunzător erorii critice în poziție în care încă mai este posibil controlul în poziție a mișcării sistemului robotic (**SRM**) și mecatronic pentru aducerea erorii de poziție în domeniul standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_x, b_x)$  pentru poziție, unde  $a_x$  și  $b_x$  sunt erorile de poziție critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, și cu proiecția pe axa  $f$  de forță pe intervalul de tranziție pozitiv de forță  $X_{FCR}$  corespunzător erorii critice în forță în care încă mai este posibil controlul în forță a mișcării sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) pentru aducerea erorii de poziție în domeniul standard pozitiv, delimitat de mulțimea  $(a_f, b_f)$  pentru forțe, unde  $a_f$  și  $b_f$  sunt erorile de forță critice negative respectiv pozitive maxime acceptate, un domeniu de tranziție negativă (**DTN**) care se continuă cu domeniul standard negativ (**DSN**) pentru a întregi universul de discurs  $U$ , domenii corespunzătoare erorilor neacceptate în poziție în care nu mai este posibil controlul în poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) pentru aducerea erorii de poziție în domeniul standard pozitiv și alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control poziție, cu toate consecințele negative aferente, delimitat de mulțimea  $(c_x, d_x)$  pentru poziție, unde  $c_x$  și  $d_x$  sunt erorile de poziție negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție negativă, și corespunzător erorii neacceptate în forță în care nu mai este posibil controlul în forță a mișcării sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) pentru aducerea erorii de forță în domeniul standard pozitiv și alocarea de valori din acest domeniu ar conduce la saturarea buclei de control forța, cu toate consecințele negative aferente, delimitat de mulțimea  $(c_f, d_f)$  pentru forțe, unde  $c_f$  și  $d_f$  sunt erorile de forță negative respectiv pozitive maxime neacceptate ale domeniului de tranziție negativă, un domeniu standard negativ (**DSN**) care întregește universul de discurs  $U$  și corespunde erorilor neacceptate în poziție și forță, universul de discurs  $U$  fiind format din suma tuturor acestor domenii prezentate anterior și în final se definește o matrice de selecție  $S$  formată din două matrici de separare a controlului în poziție  $S_x$  sau forță  $S_f$  pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**), în care elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  au valoarea 1 pentru controlul în poziție și valoarea 0 pentru controlul în forță, iar matricea de separare pentru forță  $S_f$  este ortogonal complementară față de matricea  $S_x$ , urmată de fazele 2 -7 cu funcționare în timp real, în care

(ii) faza 2 se determină conform teoriei extenice, pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**), atât distanța extinsă de poziție, notată cu  $\rho(X, X_0)$ , dintre semnalele de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului robotic și

# RO 128910 B1

1 mecatronic (**SRM**) de la traductoarele de poziție ale sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) și  
intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  delimitat pe axa  $x$  de mulțimea  $(a_{ox}, b_{ox})$  și  
3 definit conform fazei 1, cât și distanța extinsă de forță, notată cu  $\rho(F_a, X_{F_o})$ , dintre semnalele  
traductoarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) și intervalul standard pozitiv  
5 al forței de referință  $X_{F_o}$  delimitat pe axa  $f$  de mulțimea  $(a_{of}, b_{of})$  și definit conform fazei  
anterioare,

7 (iii) faza 3, pe fiecare axa de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) cu  
distanța extinsă de poziție  $p(X, X_o)$  și distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{F_o})$  deja calculate, se  
9 determină conform teoriei extenics atât funcția de dependență  $K(X, X_o, X_{CR})$  a semnalului de  
poziție actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_o$  și intervalul de tranzi-  
11 ție pozitiv de poziție  $X_{CR}$ , având valoarea maximă  $K(X_o) = M_p$  pe intervalul standard pozitiv al  
poziției de referință  $X_o$  egală cu componenta proporțională de amplificare a regulatorului de  
13 poziție și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de poziție actual  
 $X$  în intervalele  $X_o$  și  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de poziție, cât și funcția de  
15 dependență  $K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  a semnalului de forță  $F_a$  față de intervalul standard pozitiv al forței  
de referință  $X_{F_o}$  și intervalul de tranziție pozitiv forță  $X_{FCR}$ , având valoarea maximă  $K(X_{F_o}) = M_f$  pe  
17 intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_o}$ , egală cu componenta proporțională de ampli-  
ficare a regulatorului de forță și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor  
19 semnalului de forță actuală  $F_a$  în intervalele  $X_{F_o}$  și  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei  
de forță,

21 (iv) faza 4 pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) se  
înlocuiesc elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficienții de  
23 corelație de poziție  $K_x$  determinați printr-o transformare extinsă de domeniu pentru poziție prin  
relația  $K_x = K(X_o) - K(X, X_o, X_{CR})$  obținându-se o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație  
25 pentru poziție  $S_{Kx}$ , și cvasisimultan se înlocuiesc elementele matricei de selecție pentru forță  $S_f$  care  
au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de forță  $K_f$  determinați printr-o transformare extinsă de  
27 domeniu pentru forță prin relația  $K_f = K(F_o) - K(F_a, X_{F_o}, X_{FCR})$  obținându-se o nouă matrice de selecție  
cu coeficienți de corelație pentru forță  $S_{Kf}$ ,

29 (v) faza 5 cu matricile  $S_{Kx}$  și  $S_{Kf}$  astfel calculate se continuă controlul extins hybrid  
forță-poziție pentru a determina semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  
31  $\epsilon_{Kf}$ ,

(vi) faza 6 se procesează semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  
33  $\epsilon_{Kf}$  pe fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) prin control PID cu  
generarea și transmiterea semnalului la sistemul robotic și mecatronic (**SRM**) a erorii de poziție  $\epsilon_p$   
35 pe fiecare axă de libertate **DOF**,

(vii) faza 7 în care traductoarele montate pe un sistem robotic și mecatronic (**SRM**) transmit  
37 semnalele de poziție actuală  $X$  și semnalele de forță  $F_a$  prin care se închide reacția la buclele de  
control în poziție și forță.

39 2. Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că, în cadrul etapei (v) pentru  
a determina semnalele de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\epsilon_{Kf}$  se aplică metoda  
41 de control cu accelerație rezolvată.

43 3. Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că, în cadrul etapei (vi) pentru  
procesarea semnalelor de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\epsilon_{Kf}$  în vederea  
generării erorii de poziție  $\epsilon_p$  pe fiecare axă de libertate **DOF** se aplica metoda de control fuzzy.

45 4. Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că, în cadrul etapei (vi) pentru  
procesarea semnalelor de eroare de poziție  $\epsilon_{Kx}$  și semnalele de eroare de forță  $\epsilon_{Kf}$  în vederea  
47 generării erorii de poziție  $\epsilon_p$  pe fiecare axă de libertate **DOF** se aplica metoda de control  
neutrosifică.



# RO 128910 B1

5. Dispozitiv, pentru aplicarea metodei pentru controlul extins hibrid forță-poziție a mișcării sistemului robotic și mecatronic de la revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** are în alcătuire: 1

- un modul de calcul al distanței extinse de poziție (**MCDEP**), care primește semnalele de poziție actuală  $X$  determinate prin cinematica directă a sistemului mecatronic și robotic (**SRM**) de modulul de calcul în coordonate carteziene (**MCCC**) și intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$ , calculează distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_0)$ , conform teoriei extenics prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele de poziție actuală  $X$ , la un interval, în acest caz intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$ , pe care o transmite la modulul de calcul al funcției de dependență de poziție (**MCFDP**); 3 5 7 9

- un modul de calcul al distanței extinse de forță (**MCDEF**), care funcționează cvasisimultan cu modulul de calcul al distanței extinse de poziție (**MCDEP**), și care primește semnalele traductoarelor de forță  $F_a$  ale sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) pe fiecare axă de libertate **DOF** și în funcție de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$ , definit conform metodei invenției, calculează distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{F_0})$  conform teoriei extenics prin care se definește distanța de la un punct, în acest caz semnalele de forță  $F_a$ , la un interval, în acest caz intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$ , pe care o transmite la modulul de calcul al funcției de dependență de forță (**MCFDF**); 11 13 15 17

- un modul de calcul al funcției de dependență pentru poziție (**MCFDP**) care primește distanța extinsă de poziție  $\rho(X, X_0)$  de la modulul de calcul al distanței extinse de poziție (**MCDEP**) și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru poziție  $K(X, X_0, X_{CR})$  a semnalului de poziție actual  $X$  față de intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  și intervalul de tranziție pozitiv de poziție  $X_{CR}$ , având valoarea maximă  $K(X_0) = M_p$  pe intervalul standard pozitiv al poziției de referință  $X_0$  egală cu componenta proporțională de amplificare al regulatorului de poziție și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de poziție actual  $X$  în intervalele  $X_0$  și  $X_{CR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de poziție, pe care îi transmite la modulul de transformare extinsă pentru poziție (**MTEXP**); 19 21 23 25 27

- un modul de calcul al funcției de dependență pentru forță (**MCFDF**), care funcționează cvasisimultan cu modulul de calcul al funcției de dependență pentru poziție (**MCFDP**), și care primește distanța extinsă de forță  $\rho(F_a, X_{F_0})$  de la modulul de calcul al distanței extinse de forță (**MCDEF**) și determină conform teoriei extenics funcția de dependență pentru forță  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  a semnalului de forță  $F_a$  față de intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$  și intervalul de tranziție pozitiv forță  $X_{FCR}$ , având valoarea maximă  $K(X_{F_0}) = M_f$  pe intervalul standard pozitiv al forței de referință  $X_{F_0}$ , egală cu componenta proporțională de amplificare al regulatorului de forță și limitată inferior la valoarea 0 ceea ce corespunde valorilor semnalului de forță actual  $F_a$  în intervalele  $X_{F_0}$  și  $X_{FCR}$  pentru a nu conduce la saturarea buclei de forță, pe care îi transmite la modulul de transformare extinsă pentru forță (**MTEXF**); 29 31 33 35 37

- un modul de transformare extinsă pentru poziție (**MTEXP**) care primește semnalul de funcție de dependență pentru poziție  $K(X, X_0, X_{CR})$  de la modul de calcul al funcției de dependență pentru poziție (**MCFDP**) și înlocuiesc elementele matricei de selecție pentru poziție  $S_x$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de poziție  $K_x$  determinați printr-o transformare extinsă de domeniu pentru poziție prin relația  $K_x = K(X_0) - K(X, X_0, X_{CR})$  obținându-se o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{K_x}$ , pe care îi transmite la modulul de calcul a erorii de poziție (**MCEP**); 39 41 43

- un modul de transformare extinsă pentru forță (**MTEXF**) care funcționează cvasisimultan cu modulul de transformare extinsă pentru poziție (**MTEXP**), și care primește semnalul de funcție de dependență pentru forță  $K(F_a, X_{F_0}, X_{FCR})$  de la modulul de calcul al 45 47

# RO 128910 B1

1 funcției de dependență pentru forța (**MCDFD**) și înlocuiesc elementele matricei de selecție  
2 pentru forța  $S_F$  care au valoarea 1 cu coeficienții de corelație de forța  $K_f$  determinați printr-o  
3 transformare extinsă de domeniu pentru forța prin relația  $K_f = K(F_o) - K(F_a, X_{Fo}, X_{FCR})$  obținându-se  
4 o nouă matrice de selecție cu coeficienți de corelație pentru forța  $S_{Kf}$ , pe care îi transmite la  
5 modulul de calcul a erorii de forța (**MCEF**);  
6 - un modul de calcul a erorii de poziției (**MCEP**) și un modul de calcul a erorii de forța  
7 (**MCEF**), care funcționează cvasisimultan, și care primesc semnalele de matrice de selecție cu  
8 coeficienți de corelație pentru poziție  $S_{Kx}$  respectiv semnalele de matrice de selecție cu  
9 coeficienți de corelație pentru forța  $S_f$  de la modulul de transformare extinsă pentru poziție  
10 (**MTEXP**) respectiv de la modulul de transformare extinsă pentru forța (**MTEXF**), realizează  
11 controlul hybrid forță-poziție prin metodele cunoscute de control, cum ar fi metoda de control  
12 poziție-forță hibridă explicit, metoda de control cu accelerație rezolvată sau alte metode similare  
13 și transmite semnalele de eroare de poziție  $S_{Kx}$  respectiv transmite semnalele de eroare de forța  
14  $\epsilon_{Kf}$  la modulul inteligent de procesare a erorii (**MIPE**);  
15 - un modul inteligent de procesare a erorii (**MIPE**) și care primește semnalele de eroare  
16 de poziție  $\epsilon_{Kx}$  de la modulul de calcul a erorii de poziție (**MCEP**) și semnalele de eroare de forța  
17  $\epsilon_{Kf}$  de la modulul de calcul a erorii de forța (**MCEF**) și generează o eroare de poziție  $\epsilon_p$  pe  
18 fiecare axă de libertate **DOF** a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**) prin control PID sau con-  
19 trol inteligent cum ar fi metoda de control fuzzy sau metoda de control neutrosific, și transmite  
20 semnalul la sistemul robotic și mecatronic (**SRM**);  
21 - un sistem robotic și mecatronic (**SRM**), care primește o eroare de poziție  $\epsilon_p$  pe fiecare  
22 axă de libertate **DOF**, realizează acționarea actuatorilor și generează semnalele de la  
23 traductoarele de poziție actuală  $q$  pe care le transmite la modulul de calcul în coordonate  
24 carteziane (**MCCC**) și de la traductoarele de forță  $F_a$  pe care le transmite la modulul de calcul  
25 al distanței extinse de forța (**MCDEF**) și un modul de calcul coordonate carteziane (**MCCC**) care  
26 primește semnalele de la traductoarele de poziție actuală  $q$  și generează semnalele de poziție  
27 actuală  $X$  determinate prin cinematic directă a sistemului robotic și mecatronic (**SRM**).

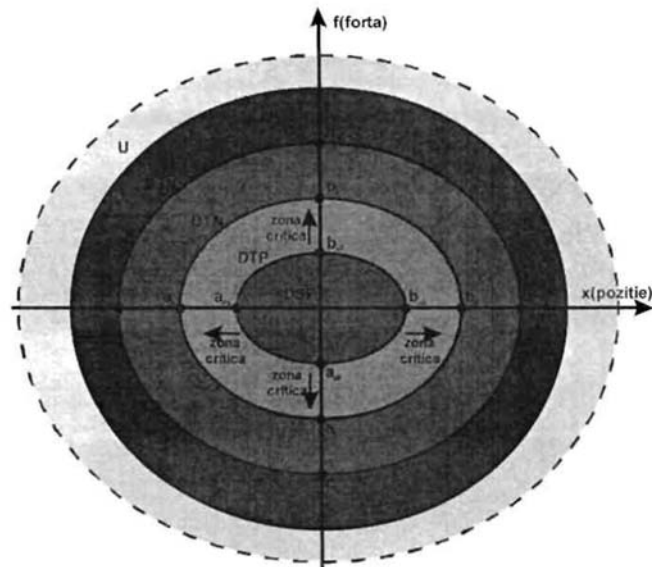


Fig. 1

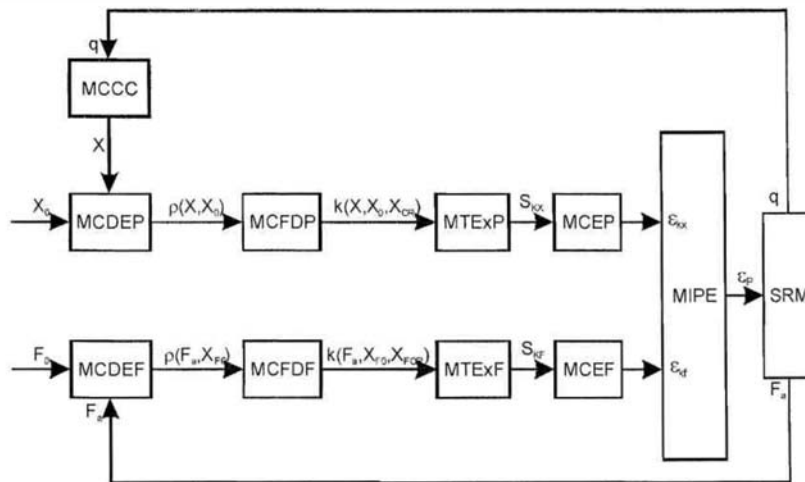


Fig. 2

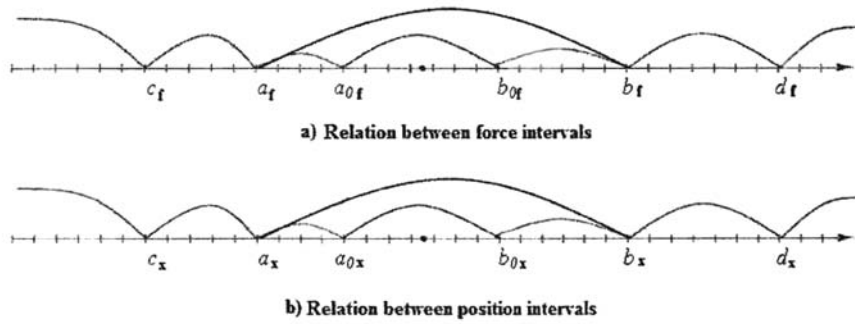


Fig. 3

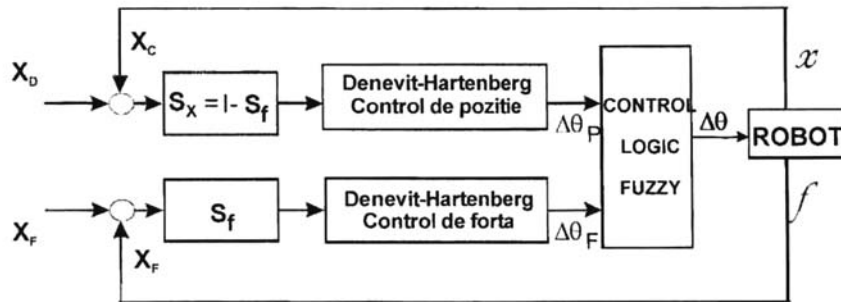


Fig. 4

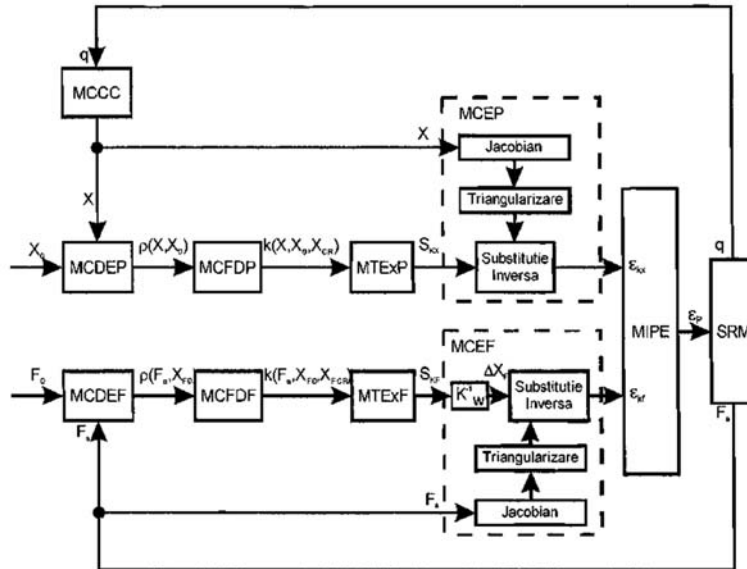


Fig. 5

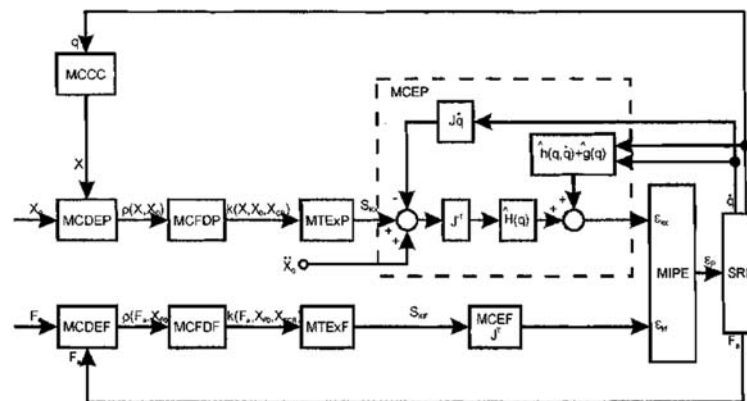
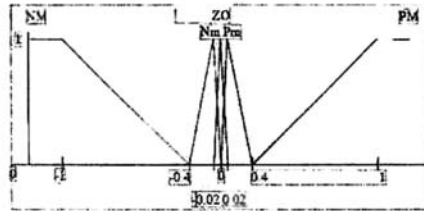


Fig. 6

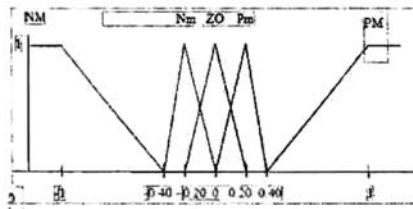
(51) Int.Cl.

**B25J 9/16** (2006.01),

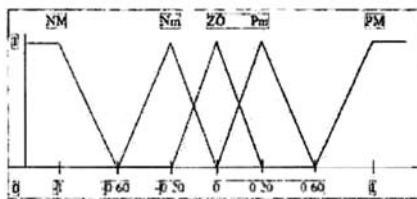
**G05B 19/042** (2006.01)



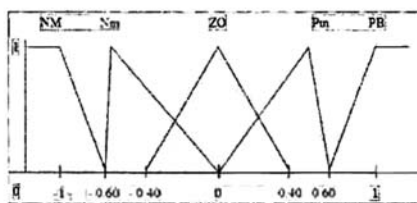
**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**

