



(11) RO 125970 A0

(51) Int.Cl.

B25J 9/16 (2006.01),

G05B 19/18 (2006.01),

G06F 17/10 (2006.01)

(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENTIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00052

(22) Data de depozit: 21.01.2010

(41) Data publicării cererii:  
28.01.2011 BOPI nr. 1/2011

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL DE MECANICA SOLIDELOR  
AL ACADEMIEI ROMANE,  
STR. C-TIN MILLE, NR. 15, SECTOR 1,  
BUCHURESTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• VLĂDĂREANU LUIGE,  
CALEA CRÂNGAȘI, NR. 48, BL. 7, AP. 45,  
SECTOR 6, BUCURESTI, B, RO;  
• VELEA LUCIAN MARIUS,  
CALEA VĂCĂREȘTI, NR. 201, BL. 87,  
AP. 48, SECTOR 4, BUCURESTI, B, RO;  
• MUNTEANU RADU ADRIAN,  
STR. ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMA C,  
AP. 29, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;  
• SIRITEANU TUDOR,  
BD. ALEXANDRU OBREGIA, NR. 24,  
BL. R2, AP. 81, SECTOR 4, BUCURESTI, B,  
RO;

• MUNTEANU MIHAI STELIAN,  
STR. ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMA C,  
AP. 29, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;  
• TONT GABRIELA, STR. MAGHERU,  
BL. M7, ET. 2, AP. 1, ORADEA, HARGHITA,  
RO;  
• VLĂDĂREANU VICTOR,  
CALEA CRÂNGAȘI, NR. 48, BL. 7, AP. 45,  
SECTOR 6, BUCURESTI, B, RO;  
• BALĂS CORNEL, CALEA RAHOVEI,  
NR. 325, BL. 13, SC. B, AP. 97, SECTOR 5,  
BUCURESTI, B, RO;  
• TONT DAN GEORGE, STR. MAGHERU,  
BL. M7, ET. 2, AP. 1, ORADEA, BH, RO;  
• MELINTE DANIEL OCTAVIAN,  
STR. PIATA ALEXANDRU LAHOVARI,  
NR. 1A, SC. G, ET. 5, AP. 23, SECTOR 1,  
BUCURESTI, B, RO;  
• GAL IONEL ALEXANDRU,  
STR. VULTURILOR, NR. 51, SC. A, ET. 3,  
AP. 13, SECTOR 3, BUCURESTI, B, RO

## (54) METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU CONTROLUL DINAMIC AL UNUI ROBOT PĂȘITOR

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de control dinamic al unui robot pășitor, destinat controlului în timp real a poziției traiectoriei de mișcare a vârfurilor și articulațiilor picioarelor robotului, forțelor de reacțune și dinamicii mersului robotului, în vederea creșterii stabilității deplasării, cu aplicații în transportul de materiale nucleare, în activitate agricole, în aplicații militare, pentru detectarea minelor, și, în general, în aplicații pe terenuri denivelate, greu accesibile. Metoda conform invenției constă din calcularea erorilor datorate componentelor de poziție și de forță pe axele de libertate ale unui robot pășitor, precum și a erorilor rezultante prin aplicarea unor strategii de control ale mersului dinamic stabil al robotului, unele semnale de eroare fiind controlate digital și multiplexate după două strategii de control, iar un programator de strategii stabilind momentele acțiunii fiecărei strategii de control, în funcție de patru etape ale unui pas complet al robotului

pășitor, și un program de generare a schemei de mers a robotului generând un semnal de referință și un semnal al poziției dorite, astfel că, în final, prin procesarea semnalelor de eroare utilizând fuziunea semnalelor rezultate din programatorul de strategii sau controlul fuzzy, se obțin semnalele de eroare pentru comanda actuatorilor din cadrul structurii robotului pășitor, pe fiecare axă de mișcare. Dispozitivul folosit pentru punerea în aplicare a metodei este alcătuit dintr-un complex de module care au ca scop generarea semnalelor de eroare pe axele robotului, pe fiecare grad de libertate, pentru controlul actuatorilor din structura robotului, care să țină cont de strategiile de control, în scopul creșterii stabilității robotului pășitor.

Revendicări: 18

Figuri: 11

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 inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



RO 125970 A0

## Metoda și dispozitiv pentru controlul dinamic al unui robot pășitor

Invenția se referă la o metodă și un dispozitiv de control dinamic al roboților pășitori, destinat controlului hibrid, în timp real, a poziției traiectoriei de mișcare al vârfurilor și articulațiilor picioarelor robotului, forțelor de reacțiune și a dinamicii mersului roboților pășitori în vederea creșterii stabilității deplasării acestora pe terenuri plane, cu obstacole sau denivelate, la viteze de mers constante sau variabile și sarcini variabile, cu aplicații în transportul de materiale nucleare, în activități agricole de însămânțare, prășire, aplicații militare în detectarea minelor, experimente selenare și în general, aplicații pe terenuri neregulate, greu accesibile.

Pentru controlul dinamic al roboților pășitori sunt cunoscute mai multe metode și dispozitive în care unele tratează numai controlul hibrid poziție -forță al roboților, iar altele controlul dinamicii mersului roboților umanoizi. Referitor la controlul hibrid forță poziție este cunoscută metoda numită „adaptarea poziției” propusă de Whitney. Este o metodă simplă în care forța de contact este folosită pentru a modifica traiectoria poziției de referință a efectuatorului final al robotului. Controlul hibrid poziție forță, dezvoltată de Raibert, Craig și Manson asigura controlul în forță și poziție, atunci când robotul interacționează cu mediul înconjurător, prin descompunerea în „sub-spațiu de poziție” și „sub-spațiu de forță”. Controlul mișcării de rezistență la arcuire, care este în esență control de forță implicit bazat pe poziție a fost aplicat de Lawrence și Stoughton (1987) și Kazerooni, Waibel, și Kim (1990). Salisbury (1980) a prezentat o metodă de control activ a rigidității aparente a efectuatorului final al robotului în spațiu cartezian. 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 controlurile convenționale liniare cu amplificare fixă. Controlurile adaptive fac uz de abordarea controlului adaptiv având ca model de referință Lyapunov (MRAC), în timp ce controlurile neliniare folosesc criteriul de stabilitate Popov, pentru a asigura stabilitate în circuit închis. Controlul impedanței, introdusă de Hogan și Karen, care stabilește o relație dinamică dorită între poziția efectuatorului final al robotului și forța de contact a fost continuată de Pelletier și Daneshmend respectiv Lacky și Hsia. Pelletier și Daneshmend prezintă o schemă a unui dispozitiv de control adaptiv pentru a compensa variațiile rigidității mediului în timpul mișcării utilizând dispozitivul de control al atenuării. Lasky și Hsia descriu un sistem al unui dispozitiv 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. Chan dezvoltă o schemă a unui dispozitiv de control cu structura variabilă pentru dispozitivul de control al impedanței rezistente în prezența incertitudinilor parametrilor și a perturbărilor externe; însă această strategie necesită cunoașterea exactă a locației și rigidității mediului pentru a defini controlul forței. Sunt cunoscute mai multe metode/ strategia de control a dinamicii mersului a roboților umanoizi care se bazează pe generarea modelului de mers lund în considerare traiectoria punctului stabil de moment zero (PMZ) și asigură stabilitatea (echilibrul) robotului prin bucle de control în timp real. Deoarece traiectoria reală ZMP este diferită de traiectoria ZMP dorită, datorită unor perturbări cum ar fi denivelările suprafetei, erorile senzoriale și modelul dinamic imperfect al robotului humanoid, se cer mai multe sisteme de control bazate pe feedback-urile senzoriale. Yamaguchi a studiat generarea online a modelului mersului care să asigure controlul stabilității robotului folosind mișcarea părții superioare a robotului humanoid bazată pe informații PMZ. Kajita (Proceedings of Conference on Robotics and Automation, Taipei, 2003, pg. 1620-1626) a introdus o metodă a generării modelului mersului folosind sisteme de control PMZ pentru generarea de noi referințe. Kagami (Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, 2002, pg. 2557-2562) a folosit o metodă de control compliantă a platformei robot pentru a urmări o traiectorie ZMP dată.

**Dezavantajele acestor soluții constau în** faptul că nu fac o tratare completă a controlului roboților pășitori care să includă atât controlul hibrid poziție-forță cât și controlul dinamicii mișcării acestora. Mai mult metodele de control dinamic se limitează la roboții umanoizi.

**Problema pe care o rezolvă invenția** este că asigură un control complex dinamicii roboților pășitori respectiv, controlul hibrid, în timp real, a poziției traiectoriei de mișcare al vârfurilor și articulațiilor picioarelor robotului, forțelor de reacțiune și controlul dinamicii mersului roboților pășitori în scopul creșterii stabilității deplasării și mobilității.

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRKE	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a. 210 000 52	
Data depozit ..... 21-01-2010	

**Metoda conform inventiei înălatura dezavantajele menționate mai sus prin aceea că pentru controlul hibrid, în timp real, a poziției traectoriei de mișcare a vârfurilor și articulațiilor picioarelor unui robot păsitor se calculează:**

- (i) eroare datorată componentei de poziție pe axe de libertate robot corespunzătoare articulațiilor picioarelor robotului, care se obține prin înmulțirea matricei erorii de poziție în spațiul de mișcare al robotului, datorate diferenței între traectoria dorită și traectoria reală, determinată prin măsurarea semnalelor de poziție primite de la articulațiile picioarelor robotului aplicate matricei rezultate din cinematica directă a structurii mecanice robot, cu valorile matricei cinematice inverse a structurii mecanice robot, valori matriciale obținute la rândul lor într-un proces simultan cu cel al determinării matricei erorii de poziție în spațiul robot prin procesarea matricei Jacobiene cu valorile reale primite de la articulațiile picioarelor robotului, triangularizarea matricei astfel determinate și realizarea substituției inverse
- (ii) eroarea datorată componentelor de forță pe axe de libertate robot corespunzătoare articulațiilor picioarelor robotului care se obține prin înmulțirea între matricea erorii de poziție în spațiul de mișcare al robotului datorate forței, determinată ca diferență de mișcare între deviația poziției curente, măsurată de sistemul de comandă care generează deviația de poziție pentru axele controlate în forță și deviația în poziție datorată forței reziduale dorite, determinată ca înmulțire între rigiditatea fizică a fiecărui segment de picior corespunzător articulației și forței reziduale dorite pe fiecare axă de libertate a robotului, cu valorile matricei cinematice inverse a structurii mecanice robot, valori matriciale obținute la rândul lor într-un proces simultan, cu cel al determinării matricei erorii de poziție în spațiul robot datorate forței, prin procesarea matricei Jacobiene cu valorile reale primite de la articulațiile picioarelor robotului, triangularizarea matricei astfel determinate și realizarea substituției inverse,

**la care se adauga** erorile determinante prin aplicarea unor strategii de control ale unui mers dinamic stabil al robotului păsitor, cum ar fi:

- (iii) eroarea rezultată din strategia de control al amortizării la păsirea robotului în faza de suport unic, prin modelarea mișcării robotului cu ecuația unui pendul simplu inversat cu o articulație în faza cu unic suport, care se opune forțelor de amortizare ale articulației piciorului.
- (iv) eroarea rezultată din strategia de control de compensare a punctului de moment zero, într-o singură fază, faza de suport unic, datorată mișcării platformei înainte și înapoi conform dinamicii punctului de moment zero, care constă în modelarea matematică a mișcării unui compensator a momentului de punct zero cu ecuația unui pendul simplu inversat
- (v) eroarea rezultată din strategia de control al orientării la aterizare, obținut prin diferența între unghiul de referință al articulației piciorului și unghiul de referință compensat al articulației piciorului calculat prin integrarea cuplului măsurat pe întreaga durată a păsirii cu o constantă de timp data de coeficientul de amortizare la aterizare și rigiditatea păsirii
- (vi) eroarea rezultată din strategia de control amplitudine balans platformă pentru a muta punctul de moment zero, corectat prin măsurarea punctului de moment zero în timpul fiecărui ciclu de mers, realizată prin modelarea amplitudinii balansului lateral al platformei printr-un pendul invers și obținută prinr-un algoritm de compensare a poziției picioarelor care au contact cu solul astfel încât amplitudinea punctului de moment zero actual (măsurată) să poată converge spre punctul de moment zero mediu de referință.
- (vii) eroarea rezultată din strategia de control de rotire/avans platformă care permite ca poziția centrală a platformei să se mute în direcția opusă față de partea înclinată pe planul transversal, astfel încât mișcările de legănare să poată fi bine balansate, cu obținerea vectorului de poziție al platformei prinr-o relație iterativa de integrare a vectorului erorilor unghiulare ale platformei între fazele de support unic, amplificat cu un coeficient de câștig determinat experimental.
- (viii) eroarea rezultată din strategia de control al poziției de aterizare, constă în generarea unor mișcări probabile ale robotului prin prelucrarea unor mișcări anterioare cu rolul de a evita mișcările anormale, are ca scop păsirea spre direcția de cădere, prinr-o mișcare de torsiune a platformei, obținută prin suprapunerea unei legi de mișcare determinate experimental pe mișcarea normală în jurul axei z a piciorului robotului, în care vectorul de poziție al piciorului în faza de aterizare se determină ca o relație iterativa prin adăugarea la vectorul prescris a

poziției de aterizare a unui vector de eroare, obținut prin înmulțirea cu un factor de amplificare între vitezele unghilare medii și vitezele unghiulare stabile a mișcării de avans respectiv de torsionă.

- (ix) eroarea rezultată din strategia de control al aplecării peste marginea de siguranță a robotului, care constă în anticiparea mișcărilor robotului în baza unor informații experimentale statistice, cu respectarea marginilor de stabilitate, prevenirea condițiilor anormale și procesarea unor mișcări adiționale, pentru evitarea acestor instabilități care pot conduce la răsturnarea robotului în cazul deplasării pe un teren denivelat sau a unor forțe externe și permite determinarea în timp real a depășirii marginilor de înclinare spre interior, respectiv exterior, prin integrări iterative ale unghiului de rotire în mișcarea de torsionă a platformei pe o durată  $\tau$  de la startul începerii fiecarei faze de mers, iar dacă are loc depășirea marginilor de înclinare, unghiul de rotire al articulației piciorului este compensat printr-un algoritm predefinit în funcție de valoarea unghiului de rotire în mișcarea de torsionă a platformei,

**în care unele semnale de eroare** sunt controlate digital cu multiplexarea lor după două strategii de control, astfel:

- (x) controlul la detecția unui pas de mișcare robot, în care la detectarea atingerii pământului de către piciorul robotului în fazele de dublu suport, pentru o atingere fără șocuri, are loc multiplexarea semnalului de eroare rezultat din strategia de control al amortizării și semnalul de eroare rezultat din strategia de control de compensare a punctului de moment zero cu semnalul de eroare rezultat din strategia de control al orientării la aterizare, conform etapelor din modulul programator de strategii.
- (xi) controlul repetabilității la aterizare, care evita instabilitățile mișcării robotului la aterizare, prin generarea unui semnal de blocare a schemei de mers dacă piciorul nu ia contact cu pământul la sfârșitul fazelor de suport unic, cu intreruperea semnalului de referință poziție furnizat de generatorul de mers și oprirea comenzi de mișcare a piciorului până cand acesta, în virtutea inerției, ia contact cu pământul,

la care se adaugă două programe:

- (xii) un programator de strategii al momentelor acționării fiecarei strategii de control raportate la 4 etape ale unui pas complet de robot pășitor, cu funcțiile: în etapa 1 se realizează controlul amortizării, controlul compensării punctului de moment zero și controlul aplecării peste marginea de siguranță, în etapa 2 în faza de suport unic are loc controlul amortizării, controlul compensării punctului de moment zero și controlul poziției de aterizare, în etapa 2 în faza de dublu suport are loc controlul orientării la aterizare, controlul ajustării periodice a amplitudinii balansului lateral al platformei, controlul de de rotire/avans platformă și controlul poziției de aterizare, etapa 3 care corespunde etapei 1 și etapa 4 care corespunde etapei 2 din punct de vedere al strategiilor de control active, cu menținerea continuă a semnalelor de eroare datorate compoziției de poziție și compoziției de forță,
- (xiii) un program de generare a schemei de mers a robotului pășitor, generează un semnal de referință forță  $f_{ref}$  și un semnal al poziției de referință (dorită)  $X_D$  conform strategiei de control de rotire/avans platformă și strategiei de control amplitudine balans platformă precum și al unui portofoliu de programe cu scheme de mers predefinit cum ar fi mersul tripod la un robot pășitor hexapod, mersul pas cu pas,
- (xiv) astfel că în final, prin procesarea semnalelor de eroare utilizând fuziunea semnalelor rezultate din programatorul de strategii sau controlul fuzzy se obține semnalul de eroare pentru comanda actuatoarelor structurii robotului pășitor pe fiecare axă de mișcare.

**Dispozitivul conform invenției înălțatură dezavantajele menționate** prin aceea că pentru controlul hibrid, în timp real, a poziției traectoriei de mișcare a vârfurilor și articulațiilor picioarelor unui robot pășitor este alcătuit dintr-un complex de module care au ca scop generarea, în timp real, a unui semnal de eroare pe axele robot  $\epsilon_n$ , pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor RP, pentru controlul actuatoarelor, care să țină cont de strategiile de control ale componentei de poziție, componente de forță și componentelor controlului dinamic cu scopul creșterii stabilității roboților pășitori:

**un modul** programator de strategii MPS primește câte un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pentru semnalele de eroare ale componentelor de poziție  $\Delta\Theta_P$  de la modulul de substituție

inversă a poziției **MSIP** și semnale de eroare ale componentei de forță  $\Delta\Theta_F$  de la modulul de substituție inversă a forței **MSIF**, un semnal de control supra-aplecare **SCSA** de la modulul de control mișcare predictibila **CMP**, un semnal control balans multiplexat **2SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și transmite la ieșire un semnal de eroare de etapa **SEE** și stabilește momentele acțiunarii fiecărei strategii de control raportate la 4 etape ale unui pas complet de robot păsitor conform funcțiilor din metoda de control din prezenta invenție,

**un modul** de fuziune semnale sau fuzzy control **MFSFC** primește un semnal de eroare de etapa **SEE** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și transmite un semnal de eroare pe axele robot  $\varepsilon_n$  pe fiecare grad de libertate al robotului păsitor **RP** prin procesarea acestuia prin metoda de fuziune a semnalelor sau prin metoda de control fuzzy,

**un modul** de substituție inversă a poziției **MSIP** primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului păsitor **RP** corespunzător matricei triangulare de poziție de la modulul de triangulizare matrice de poziție **MTMP**, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare matricei de poziție Jacobiene de la modulul matricei de poziție Jacobiene **MMPJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiene, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului păsitor **RP**,

**un modul** al matricei de poziție **MMPJ**, care în funcție de etapa din pasul complet al robotului păsitor **RP**, generată de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare poziției în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematica directă a poziției **MCCDP** și semnalul de control poziție aterizare **SCPA** de la modulul de control mișcare predictibila **CMP**, calculează în timp real matricea de poziție Jacobiana și transmite aceste valori la modulul de triangulizare a matricei de poziție **MTMP**,

**un modul** sumator de poziție **MSP** primește valorile matricei de poziție în spațiul de mișcare robot  $X_P$ , pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematica directă a poziției **MCCDP** și poziția de referință (dorită)  $X_D$  corespunzătoare semnalului **1SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și calculează eroarea de poziție în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP** că diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modulul matricei de selecție poziție **MMSP**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a poziției **MSIP** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în poziție, stabilite de modulul programator de strategii **MPS**,

**un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție **MCCDP** primește poziția pe axele robot  $\Theta_{Pni}$  de la traducătoarele incrementale de poziție, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția în spațiul de mișcare robot  $X_P$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de poziție **MSP**

**un modul** de substituție inversă a forței **MSIF** primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului păsitor **RP** corespunzător matricei triangulare de forță de la modulul de triangulizare matrice de forță **MTMF**, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare matricei de forță Jacobiene de la modulul matricei de forță Jacobiene **MMFJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiene, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului păsitor **RP**,

**un modul** al matricei de forță **MMFJ**, care în funcție de etapa din pasul complet al robotului păsitor **RP**, generată de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare forței în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematica directă a forței **MCCDF** și semnalul de control **2SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**, calculează în timp real matricea de forță Jacobiana și transmite aceste valori la modulul de triangulizare a matricei de forță **MTMF**,

**un modul** sumator de forță **MSF** primește valorile matricei de poziție datorate forței  $X_F$  în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematica directă a forței **MCCDF** și forța de referință (dorită)  $X_{DF}$  de la modulul de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** și calculează eroarea de poziție datorate forței în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP** că diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modulul matricei de selecție forță **MMSF**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a forței **MSIF** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în forță stabilite de modulul programator de strategii **MPS**,

**un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție datorate forței **MCCDF** primește forțele  $f_i$  din articulațiile robotului, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția datorată

forței în spațiul de mișcare robot  $X_F$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de forță **MSF**,

**un modul** de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** primește un semnal de referință forță  $f_{ref}$  de la generatorul schemei de mers **GSM** și generează, în timp real, un semnal al forței de referință (dorită)  $X_D$  determinată ca înmulțire între rigiditatea fizică a fiecărui segment de picior corespunzător articulației și forța reziduală dorită pe fiecare axă de libertate a robotului pe care îl transmite la un modul sumator de forță **MSF**,

**un modul** de control balans în timp real **CBTR** primește un semnal al punctului de moment zero (**PMZ**) de la robotul păsitor **RP** și de la momentele din articulațiile robotului  $M_i$  pe fiecare axă de mișcare a robotului și conform metodei de control din prezență inventie generează un semnal de control al amortizării **SCA**, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero **SC-PMZ** și un semnal de control al orientării la aterizare **SCOA** la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**

**un modul** de control al schemei de mers **CSM** primește un semnal de la traductorul de inerție **TINL** care măsoară poziția unghiulară și viteza platformei, un semnal al punctului de moment zero **PMZ** și conform metodei de control din prezență inventie generează un semnal de control de rotire/avans platforma **SCRA** și un semnal de control amplitudine balans platforma **SCAB** la generatorul schemei de mers **GSM**,

**un modul** de control al mișcării predictibile **CMP** primește un semnal de la traductorul de inerție **TINL** și un semnal de la traductorul de înclinare **TINC** care măsoară înclinarea și accelerarea piciorului față de terenul pe care pășește robotul și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control al poziției de aterizare **SCSA** la un modul sumator de poziție **MSP** și un semnal de control al aplecării **SCPA** peste marginea de siguranță a robotului păsitor **RP** la un modul al matricei de poziție **MMPJ**,

**un modul** de generare a schemei de mers **GSM** primește un semnal de control de rotire/avans platforma **SCRA** și un semnal de control amplitudine balans platforma **SCAB** de la un modul de control al schemei de mers **CSM** și conform metodei de control din prezenta inventie, precum și al unui portofoliu de programe cu scheme de mers predefinit cum ar fi mersul tripod la un robot păsitor hexapod, mersul pas cu pas, generează un semnal de un semnal de referință forță  $f_{ref}$  la un modul de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** și un semnal al poziției de referință (dorită)  $X_D$  la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**,

**un modul** de control repetabilitate la aterizare **CRA** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor **RP**, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta inventie generează la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** un semnal de blocare a schemei de mers dacă piciorul nu ia contact cu pământul la sfârșitul fazelor de suport unic, cu întreruperea semnalului de referință de poziție furnizat de generatorul de mers și oprirea comenzi de mișcare a piciorului, până acesta, în virtutea inerției, ia contact cu pământul,

**un modul** de control la detecția unui pas de mișcare robot **DPR** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor **RP**, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta inventie generează la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** un semnal la detectarea atingerii pământului de către piciorul robotului în fazele de dublu suport cu multiplexarea semnalului de eroare rezultat din strategia de control al amortizării și semnalul de eroare rezultat din strategia de control de compensare a punctului de moment zero cu semnalul de eroare rezultat din strategia de control al orientării la aterizare conform etapelor din modulul programator de strategii **MPS**,

**un modul** de control digital cu multiplexare **MUX** primește trei semnale analogice respectiv un semnal de control al amortizării **SCA**, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero **SC-PMZ** și un semnal de control al orientării la aterizare **SCOA** de la un modul de control balans în timp real **CBTR**, multiplexare de două semnale primite de la un modul de control repetabilitate la aterizare **CRA** și de la un modul de controlul la detecția unui pas de mișcare robot **DPR**, și conform programatorului de strategii **MSP** generează trei semnale de control balans multiplexat **1SCBMx-3SCBMx**

**Invenția prezintă avantajele** realizării unui control dinamic al roboților păsitori, prin control cvasi-simultan hibrid, în timp real, al poziției traectoriei de mișcare al vârfurilor și articulațiilor picioarelor robotului, forțelor de reacțiune și a dinamicii mersului roboților păsitori, cu creșterea stabilității deplasării acestora pe terenuri plane, cu obstacole sau denivelate, la viteze de mers

constante sau variabile și sarcini variabile, cu aplicații în transportul de materiale nucleare, în activități agricole de însămânțare, prășire, aplicații militare în detecarea minelor, experimente selenare și în general, aplicații pe terenuri denivelate, greu accesibile.

**Se dă în continuare un exemplu** de realizare a metodei și dispozitivului conform invenției, în legătură cu figura 1, care prezintă o schemă de principiu a dispozitivului și figura 2 care prezintă etapele unui pas complet de robot pășitor.

**Metoda și dispozitivul conform invenției sunt** constituite din 14 strategii de control și un complex de module care au ca scop generarea, în timp real, a unui semnal de eroare pe axele robot  $\epsilon_n$  pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor RP pentru controlul actuatorilor care să țină cont de strategiile de control al componentei de poziție, componente de forță și componentelor controlului dinamic cu scopul creșterii stabilității roboților pășitori.

**Un modul** programator de strategii MPS primește câte un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pentru semnalele de eroare ale componentelor de poziție  $\Delta\Theta_p$  de la modulul de substituție inversă a poziției MSIP și semnale de eroare ale componente de forță  $\Delta\Theta_F$  de la modulul de substituție inversă a forței MSIF, un semnal de control supra-aplecare SCSA de la modulul de control mișcare predictibilă CMP, un semnal control balans multiplexat 2SCBMx de la modulul cu control digital cu multiplexare MUX și transmite la ieșire un semnal de eroare de etapa SEE și stabilește momentele acționarii fiecărei strategii de control raportate la 4 etape ale unui pas complet de robot pășitor conform funcțiilor din metoda de control prezentată în figura 2.

**Un modul** de fuziune semnale sau fuzzy control MFSFC primește un semnal de eroare de etapă SEE de la modulul cu control digital cu multiplexare MUX și transmite un semnal de eroare pe axele robot  $\epsilon_n$  pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor RP prin procesarea acestuia prin metoda de fuziune a semnalelor sau prin metoda de control fuzzy.

Un exemplu al relațiilor care stau la baza controlului hibrid poziție-forță prin controlul fuzzy este prezentat mai jos și pleacă de la considerentul de a asigura viteza pe fiecare axă pentru abaterea dată în direcția corespunzătoare intr-un mod euristic în care un operator uman ar putea efectua inserarea. Sarcina controlerului este de a asigna 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 viteza 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 compliante  $e$ , rata abaterii în poziție  $\Delta e$  și forța de contact  $\Delta f$ . Valorile abaterilor detectate prin senzori sunt cuantificate intr-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, 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<sub>M</sub> – negativ mediu, N<sub>m</sub> – negativ mic, ZO-zero, P<sub>m</sub> – pozitiv mic, P<sub>M</sub> – pozitiv mediu, PM – pozitiv mare.

Analizând baza de reguli se observă că bucla de reacție în forță este în funcție de rezultatele inferenței din controlul fuzzy al componentei P. Cele două baze de reguli sunt prezentate în figurile 3 și 4. Baza de reguli P este ușor modificată de la o bază de reguli tipică liniară permitând înlocuirea tuturor valorilor Zero (ZO) cu excepția centrului bazei de reguli. În această manieră, baza de reguli P va trece pe valoarea ZO numai când sistemul s-a stabilizat, ceea ce înseamnă că atât eroarea cât și schimbări ale termenilor de eroare corespund domeniului ZO. Pentru un anume 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 5-8 prezintă setul funcțiilor de apartenență pentru intrări și ieșiri.

**Un modul** de substituție inversă a poziției MSIP primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor RP corespunzător matricei triangularizate de poziție de la modulul de triangularizare matrice de poziție MTMP, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare

matricei de poziție Jacobiene de la modulul matricei de poziție Jacobiene **MMPJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiene, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului păsitor **RP**.

**Un modul** al matricei de poziție **MMPJ**, care în funcție de etapa pasului complet de robot păsitor **RP** generat de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare poziției în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul de calcul al cinematicii directe a poziției **MCCDP** și semnalul de control poziție aterizare **SCPA** de la modulul de control mișcare predictibilă **CMP**, calculează în timp real matricea de poziție Jacobiană și transmite aceste valori la modulul de triangularizare a matricei de poziție **MTMP**.

Pentru a exemplifica modul de calcul în timp real al matricei de poziție Jacobiene, matricea triangularizată, matricea de substituție inversă și matricea Jacobiană inversă, considerăm că unghiurile în coordonatele robot ( $\theta_c$ ) sunt transformate în coordonate Carteziene ( $X_c$ ) prin transformata Denevit-Hartenberg cu matricele de transformare:

$${}^j P = {}^j A_{j+1} \cdot {}^{j+1} P \quad (1)$$

unde s-au notat:  $\theta_j$  - unghiul în coordonate axiale,  $d_j$  - distanța reziduală (offset),  $a_j$  - lungimea axială,  $\alpha_j$  - rotirea,  ${}^j P$ ,  ${}^{j+1} P$  reperează un punct în sistemul de coordonate ale axei  $j$  respectiv al axei robot  $j+1$ . Eroarea de poziție în coordonate Carteziene este obținută ca diferență între poziția de referință (dorită) și poziția curentă. Dificultatea în controlul traiectoriei robotului constă în aceea că pozițiile generate  $X_C$  și eroarea de poziție  $\delta X$  se dău în coordonate Carteziene în timp ce măsurarea continuă a poziției robotului  $\theta_{1,2,\dots,n}$  și eroarea unghiulară de comandă a actuatorului  $\delta\theta_{1,2,\dots,n}$  trebuie date în coordonate robot. Relația între poziția și orientarea elementului efector al robotului generată în coordonate Carteziene și unghiurile axelor în coordonate robot  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  este:

$$x_i = f_i \cdot (\theta), \quad (2)$$

unde  $\theta$  este vectorul care reprezintă poziția unghiulară pe toate gradele de libertate exprimat în coordonate robot. Prin diferențiere se obține pentru  $n=6$ :

$$\delta^6 X_6 = J(\theta) \cdot \delta\theta_{1,2,\dots,6} \quad (3)$$

unde  $\delta^6 X_6$  reprezintă aplicarea operatorului diferențial la schimbările liniare și unghiulare ale poziției curente  $X_C$  a elementului efector exprimat în coordonate Carteziene iar  $\delta\theta_{1,2,\dots,6}$  reprezintă aplicarea operatorului diferențial la setul de unghiuri exprimate în coordonate robot.  $J(\theta)$  este matricea Jacobiană în care elementele  $a_{ij}$  satisfac relația:

$$a_{ij} = \frac{\delta \cdot f_i}{\delta \theta_{j-1}}, \quad (4)$$

unde  $i,j$  corespund vectorilor  $x$  respectiv  $\theta$ . Matricea Jacobiană inversă transformă poziția curentă din coordonate Carteziene  $\delta^6 X_6$  respectiv  $\delta X$  în eroare unghiulară corespunzătoare coordonatelor robot  $\delta\theta$  conform relației:

$$\delta\theta_{1,2,\dots,6} = J^{-1}(\theta) \cdot \delta^6 X_6 \quad (5).$$

Calculul Jacobianului constă în multiplicări consecutive ale matricei  $X_C$  corespunzătoare transformației Denevit-Hartenberg a manipulatorului. Metoda eliminărilor Gaussiene asigură o implementare eficientă în calculul matricei inverse. Metoda constă în reducerea matricei  $J(\theta)$  la o formă triangulară superioară și calcularea erorii  $\delta\theta$  în coordonate robot folosind substituția inversă. Vectorul erorii unghiulare  $\delta\theta$  este folosit ca un semnal de control direct pentru acționarea actuatoroarelor robotului.

**Un modul** sumator de poziție **MSP** primește valorile matricei de poziție în spațiul de mișcare robot  $X_P$ , pe fiecare grad de libertate, de la modulul de calcul al cinematicii directe a poziției **MCCDP** și poziția de referință (dorită)  $X_D$  corespunzător semnalului **1SCBMx** de la modulul cu control digital

cu multiplexare **MUX** și calculează eroarea de poziție în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP** ca diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modulul matricei de selecție poziție **MMSP**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a poziției **MSIP** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în poziție stabilite de modulul programator de strategii **MPS**.

**Un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție **MCCDP** primește poziția pe axele robot  $\Theta_{Pni}$  de la traductoarele incrementale de poziție, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția în spațiul de mișcare robot  $X_P$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de poziție **MSP**.

**Un modul** de substituție inversă a forței **MSIF** primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului păsitor **RP** corespunzător matricei triangulare de forță de la modulul de triangulare matrice de forță **MTMF**, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare matricei de forță Jacobiene de la modulul matricei de forță Jacobiene **MMFJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiene, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului păsitor **RP**.

**Un modul** al matricei de forță **MMFJ**, care în funcție de etapa pasului complet de robot păsitor **RP** generat de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare forței în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul de calcul al cinematicii directe a forței **MCCDF** și semnalul de control **2SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**, calculează în timp real matricea de forță Jacobiană și transmite aceste valori la modulul de triangulare a matricei de forță **MTMF**.

**un modul** sumator de forță **MSF** primește valorile matricei de poziție datorate forței  $X_F$  în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul de calcul al cinematicii directe a forței **MCCDF** și forță de referință (dorită)  $X_{DF}$  de la modulul de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** și calculează eroarea de poziție datorată forței în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP** ca diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modulul matricei de selecție forță **MMSF**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a forței **MSIF** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în forță stabilite de modulul programator de strategii **MPS**.

**Un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție datorate forței **MCCDF** primește forțele  $f_i$  din articulațiile robotului, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția datorată forței în spațiul de mișcare robot  $X_F$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de forță **MSF**.

**Un modul** de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** primește un semnal de referință forță  $f_{ref}$  de la generatorul schemei de mers **GSM** și generează, în timp real, un semnal al forței de referință (dorită)  $X_{DF}$  determinată ca înmulțire între rigiditatea fizică a fiecarui segment de picior corespunzător articulației și forță reziduală dorită pe fiecare axă de libertate a robotului pe care îl transmite la un modul sumator de forță **MSF**.

Un exemplu de modelare pentru controlul hibrid forță-poziție este prezentat în continuare. Astfel, un sistem de comandă hibrid poziție-forță realizează în mod normal controlul simultan al poziției și al forței. Pentru a determina relațiile de control în această situație, împărțim  $\Delta X_P$  deviația măsurată de sistemul de comandă în coordonate Carteziene în două seturi:  $\Delta X^F$  - corespunzătoare componentei controlată prin forță și  $\Delta X^P$  - 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  $S_x$  se pot determina atât mișările diferențiale dorite ale elementului final de execuție corespunzătoare controlului în poziție din relația:

$$\Delta X_P = K_P \Delta X^P, \quad (6)$$

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

$$\Delta \theta_P = J^{-1} (\theta) * \Delta X_P \quad (7).$$

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

$$\Delta \theta_F = J^{-1} (\theta) * \Delta X_F, \quad (8)$$

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

$$\Delta X_D = K_W^{-1} * F_D \quad (9).$$

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

$$(10) \Delta X_F = K_F (\Delta X^F - \Delta X_D),$$

unde  $K_F$  este relația dimensională a matricii de rigiditate. În final, rezultă variația de mișcare pe axele robot raportate la variația mișcării la elementul de execuție după relația:

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

**Un modul de control balans în timp real CBTR** primește un semnal al punctului de moment zero (PMZ) de la robotul păsitor RP și de la momentele din articulațiile robotului  $M_i$  pe fiecare axă de mișcare a robotului și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control al amortizării SCA, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero SC-PMZ și un semnal de control al orientării la aterizare SCOA la modulul cu control digital cu multiplexare MUX.

**Un exemplu de strategie de control al amortizării** la păsirea robotului păsitor în faza de suport unic, prin modelarea mișcării robotului cu ecuația unui pendul simplu inversat cu o articulație în faza cu unic support, care se opune forțelor de amortizare ale articulației piciorului, este prezentat în fig. 9, care conduce la relațiile:

$$T = mgl\theta - ml^2\ddot{\theta} = K(\theta - u) \quad (12)$$

$$u_c = u - k_d \hat{\dot{\theta}} \quad (13),$$

unde  $\alpha = K/ml^2$  – g/l,  $\beta = K/ml^2$ ,  $k_d$  este amplificarea de control a amortizării,  $u_c$  este un unghi al articulației compensate,  $l$  este distanța de la pământ la centrul masei,  $m$  este masa echivalentă,  $u$  este unghiul articulației de referință,  $\theta$  este valoarea actuală a unghiului articulației datorate compliantei,  $K$  este rigiditatea piciorului,  $T$  este cuprul măsurat și  $g$  este accelerația datorată gravitației. Prin modelare se obține schema de control din figura 10.

Un exemplu al strategiei de control de compensare a punctului de moment zero, într-o singură fază, faza de suport unic, datorată mișcării platformei înainte și înapoi conform dinamicii punctului de moment zero, care constă în modelarea matematică a mișcării unui compensator a momentului de punct zero cu ecuația unui pendul simplu inversat, conduce la relația:

$$Y_{ZMP} = Y_{platforma} - \frac{l}{g} \ddot{Y}_{platforma} \quad (14)$$

unde  $Y_{platforma}$  este deplasarea laterală a platformei,  $l$  este distanța de la pământ la centru,  $g$  este accelerația datorată gravitației și  $Y_{ZMP}$  este  $Z_{MP}$  lateral.

Diagrama bloc a controlului ZMP în bucla de reacție este prezentată în figura 11 în care  $ZMP_{ref}$  este referința ZMP,  $C(s)$  este compensatorul și  $G(s)$  este funcția de transfer,  $u_{platforma}$  și  $u_{comp}$  reprezintă deplasarea prescrisă și respectiv, deplasarea compensatorie a platformei pe planul transvers.

Strategia de control al orientării la aterizare se obține prin diferența între unghiul de referință al articulației piciorului și unghiul de referință compensat al articulației piciorului calculat prin integrarea cuprului măsurat pe întreaga durată a păsirii cu o constantă de timp dată de coeficientul de amortizare la aterizare și rigiditatea păsirii, conform relației

$$u_c = u + \frac{T(s)}{C_L s + K_L} \quad (15),$$

unde  $T$  este cuprul măsurat,  $C_L$  este coeficientul de amortizare,  $K_L$  este rigiditatea,  $u$  este unghiul de referință al articulației piciorului și  $u_c$  este unghiul de referință compensat al articulației piciorului.

**Un modul de control al schemei de mers CSM** primește un semnal de la traductorul de inerție TINL care măsoară poziția unghiulară și viteza platformei, un semnal al punctului de moment zero PMZ și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control de rotire/avans platformă SCRA și un semnal de control amplitudine balans platformă SCAB la generatorul schemei de mers GSM,

Strategia de control de rotire/avans platformă permite ca poziția centrală a platformei să se mute în direcția opusă față de partea înclinată pe planul transversal, astfel încât mișările de legănare

să poată fi bine balansate, cu obținerea vectorului de poziție al platformei printr-o relație iterativa de integrare a vectorului erorilor unghiulare ale platformei între fazele de suport unic, amplificat cu un coeficient de câștig determinat experimental.

Strategia de control amplitudine balans platformă pentru a muta punctul de moment zero, corectat prin măsurarea punctului de moment zero în timpul fiecărui ciclu de mers se realizează prin modelarea amplitudinei balansului lateral al platformei prin un pendul invers și obținută prin un algoritm de compensare a poziției picioarelor care au contact cu solul astfel încât amplitudinea punctului de moment zero actual (măsurată) să poată converge spre punctul de moment zero mediu de referință. Modelarea mișcării robotului păsitor în această situație se poate realiza cu relația:

$$Y_{ZMP} = Y_{platforma} - \frac{l}{g} \ddot{Y}_{platforma} \quad (16)$$

cu aceleași notații ca în relația (14) cu diferența că se referă la deplasarea laterală a platformei robotului păsitor.

**Un modul** de control al mișcării predictibile **CMP** primește un semnal de la traductorul de inerție **TINL** și un semnal de la traductorul de înclinare **TINC** care măsoară înclinarea și accelerarea piciorului față de terenul pe care păsește robotul și conform metodei de control din prezenta invenție generează un semnal de control al poziției de aterizare **SCSA** la un modul sumator de poziție **MSP** și un semnal de control al aplecării **SCPA** peste marginea de siguranță a robotului păsitor **RP** la un modul al matricei de poziție **MMPJ**.

Strategia de control al poziției de aterizare, constă în generarea unor mișcări probabile ale robotului prin prelucrarea unor mișcări anterioare cu rolul de a evita mișcările anormale, are ca scop păsirea spre direcția de cădere, printr-o mișcare de torsionă a platformei, obținută prin suprapunerea unei legi de mișcare determinate experimental pe mișcarea normală în jurul apei z a piciorului robotului, în care vectorul de poziție al piciorului în fază de aterizare se determină ca o relație iterativă prin adăugarea la vectorul prescris a poziției de aterizare a unui vector de eroare, obținut prin înmulțirea cu un factor de amplificare între vitezele unghiulare medii și vitezele unghiulare stabile a mișcării de avans respectiv de torsionă.

Strategia de control al aplecării peste marginea de siguranță a robotului, care constă în anticiparea mișcărilor robotului în baza unor informații experimentale statistice, cu respectarea marginilor de stabilitate, prevenirea condițiilor anormale și procesarea unor mișcărilor adiționale, pentru evitarea acestor instabilități care pot conduce la răsturnarea robotului în cazul deplasării pe un teren denivelat sau a unor forțe externe și permite determinarea în timp real a depășirii marginilor de înclinare spre interior, respectiv exterior, prin integrarea iterativă a unghiului de rotire în mișcarea de torsionă a platformei pe o durată  $\tau$  de la startul începerii fiecărei faze de mers, iar dacă are loc depășirea marginilor de înclinare, unghiul de rotire al articulației piciorului este compensat prin un algoritm predefinit în funcție de valoarea unghiului de rotire în mișcarea de torsionă a platformei.

Legea controlului aplecării pentru piciorul drept unghiul de rotire prescris al articulației piciorului se determină după relațiile:

Dacă:  $\int_{Fazal,s}^{Fazal,\tau} \theta_r^{tors} dt > V_{inclinare,ext}$ , la înclinarea spre exterior și  $\int_{Fazal,s}^{Fazal,\tau} \theta_r^{tors} dt < V_{inclinare,int}$ , la înclinarea

$$\theta_{m,r}^{R-unghi}(t) = \theta_r^{R-unghi}(t) + A_R(M_R) \sin\left(2\pi \frac{t_c}{\tau'}\right) (grade) \left(0 \leq t_c \leq \frac{\tau'}{2}\right), \quad (17)$$

unde:  $M_R = \int_{Fazal,s}^{Fazal,\tau} \theta_r^{tors} dt$  (grade),  $V_{inclinare,ext} = 20$ ,  $V_{inclinare,int} = 0$ ,  $V_{inclinare,ext}$  și  $V_{inclinare,int}$  sunt valorile în care apar salturi ale valorilor înclinărilor spre exterior și respectiv spre interior,  $\tau'$  este durata controlului aplecării,  $\theta_r^{tors}$  este unghiul de rotire în mișcarea de torsionă,  $A_R$  este amplitudinea compensării sinusoidale și  $\theta_{m,r}^{R-unghi}$  este unghiul de rotire prescris al articulației piciorului.

**Un modul de generare a schemei de mers GSM** primește un semnal de control de rotire/avans platformă SCRA și un semnal de control amplitudine balans platformă SCAB de la un modul de control al schemei de mers CSM și conform metodei de control din prezenta invenție, precum și al unui portofoliu de programe cu scheme de mers predefinit cum ar fi mersul tripod la un robot păsitor hexapod, mersul pas cu pas, generează un semnal de referință forță  $f_{ref}$  la un modul de calcul al matricei de rigiditate MCMR și un semnal al poziției de referință (dorită)  $X_D$  la modulul cu control digital cu multiplexare MUX.

**Un modul de control repetabilitate la aterizare CRA** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor RP, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta invenție generează la modulul cu control digital cu multiplexare MUX un semnal de blocare a schemei de mers dacă piciorul nu ia contact cu pământul la sfârșitul fazelor de suport unic, cu intreruperea semnalului de referință de poziție furnizat de generatorul de mers și oprirea comenzi de mișcare a piciorului până acesta, în virtutea inerției, ia contact cu pământul.

**Un modul de control la detecția unui pas de mișcare robot DPR** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor RP, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta invenție generează la modulul cu control digital cu multiplexare MUX un semnal la detectarea atingerii pământului de către piciorul robotului în fazele de dublu suport cu multiplexarea semnalului de eroare rezultat din strategia de control al amortizării și semnalul de eroare rezultat din strategia de control de compensare a punctului de moment zero cu semnalul de eroare rezultat din strategia de control al orientării la aterizare conform etapelor din modulul programator de strategii MPS.

**Un modul cu control digital cu multiplexare MUX** primește trei semnale analogice respectiv un semnal de control al amortizării SCA, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero SC-PMZ și un semnal de control al orientării la aterizare SCOA de la un modul de control balans în timp real CBTR, multiplexare de două semnale primite de la un modul de control repetabilitate la aterizare CRA și de la un modul de controlul la detecția unui pas de mișcare robot DPR, și conform programatorului de strategii MSP generează trei semnale de control balans multiplexat 1SCBMx-3SCBMx

## Revendicări

1. Metoda pentru controlul dinamic al unui robot pășitor, **caracterizează prin aceea că** pentru controlul hibrid, în timp real, a poziției traectoriei de mișcare a vârfurilor și articulațiilor picioarelor unui robot pășitor are în alcătuire o serie de 14 sevențe prin care se calculează:

- (i) eroarea datorată componentei de poziție ( $\Delta\Theta_P$ ) pe axe de libertate robot corespunzătoare articulațiilor picioarelor robotului pășitor ( $RP$ ) care se obține prin înmulțirea matricei erorii de poziție ( $X_P$ ) în spațiul de mișcare al robotului, datorate diferenței intre traectoria dorită și traectoria reală, determinată prin măsurarea semnalelor de poziție primite de la articulațiile picioarelor robotului pășitor, ( $RP$ ) aplicate matricei rezultante din cinematica directă a structurii mecanice robot, cu valorile matricei cinematice inverse a structurii mecanice robot, valori matriciale obținute la rândul lor într-un proces simultan cu cel al determinării matricei erorii de poziție în spațiul robot, prin procesarea matricei Jacobiene cu valorile reale primite de la articulațiile picioarelor robotului, triangularizarea matricei astfel determinate și realizarea substituției inverse
- (ii) eroarea datorată componentelor de forță ( $\Delta\Theta_F$ ) pe axe de libertate robot corespunzătoare articulațiilor picioarelor robotului ( $RP$ ) care se obține prin înmulțirea intre matricea erorii de poziție în spațiul de mișcare al robotului datorate forței, determinată ca diferență de mișcare intre deviația poziției curente, măsurată de sistemul de comandă, care generează deviația de poziție pentru axele controlate în forță și deviația în poziție datorată forței reziduale dorite, determinată ca înmulțire intre rigiditatea fizică a fiecărui segment de picior, corespunzător articulației și forței reziduale dorite pe fiecare axă de libertate a robotului, cu valorile matricei cinematice inverse a structurii mecanice robot, valori matriciale obținute la rândul lor într-un proces simultan, cu cel al determinării matricei erorii de poziție în spațiul robot datorate forței, prin procesarea matricei Jacobiene cu valorile reale primite de la articulațiile picioarelor robotului, triangularizarea matricei astfel determinate și realizarea substituției inverse,

**la care se adaugă** erorile determinate prin aplicarea unor strategii de control ale unui mers dinamic stabil al robotului pășitor ( $RP$ ), cum ar fi:

- (iii) eroarea rezultată din strategia de control al amortizării (SCA), la pășirea robotului pășitor ( $RP$ ) în faza de suport unic, prin modelarea mișcării robotului cu ecuația unui pendul simplu inversat, cu o articulație în faza cu unic support, care se opune forțelor de amortizare ale articulației piciorului.
- (iv) eroarea rezultată din strategia de control de compensare a punctului de moment zero (SC-PMZ), într-o singură fază, faza de suport unic, datorată mișcării platformei înainte și înapoi conform dinamicii punctului de moment zero, care constă în modelarea matematică a mișcării unui compensator a momentului de punct zero cu ecuația unui pendul simplu inversat
- (v) eroarea rezultată din strategia de control al orientării la aterizare (SCOA), obținut prin diferență între unghiu de referință al articulației piciorului și unghiu de referință compensat al articulației piciorului, calculat prin integrarea cuplului măsurat pe întreaga durată a pășirii cu o constantă de timp dată de coeficientul de amortizare la aterizare și rigiditatea pășirii.
- (vi) eroarea rezultată din strategia de control amplitudine balans platformă (SCAB) pentru a muta punctul de moment zero, corectat prin măsurarea punctului de moment zero în timpul fiecărui ciclu de mers, realizată prin modelarea amplitudinii balansului lateral al platformei printr-un pendul invers și obținută printr-un algoritm de compensare a poziției picioarelor care au contact cu solul, astfel încât amplitudinea punctului de moment zero actual (măsurată) să poată converge spre punctul de moment zero mediu de referință.
- (vii) eroarea rezultată din strategia de control de rotire/avans platformă (SCRA) care permite ca poziția centrală a platformei să se mute în direcția opusă față de partea înclinată pe planul transversal, astfel încât mișcările de legănare să poată fi bine balansate, cu obținerea vectorului de poziție al platformei, printr-o relație iterativa de integrare a vectorului erorilor

unghiulare ale platformei, intre fazele de support unic, amplificat cu un coefficient de câstig determinat experimental.

- (viii) eroarea rezultată din strategia de control al poziției de aterizare (**SCPA**), constă în generarea unor mișcări probabile ale robotului păsitor (**RP**) prin prelucrarea unor mișcări anterioare cu rolul de a evita mișcările anormale, are ca scop pășirea spre direcția de cădere, printr-o mișcare de torsiune a platformei, obținută prin suprapunerea unei legi de mișcare determinate experimental, pe mișcarea normală în jurul axei z a piciorului robotului, în care vectorul de poziție al piciorului, în faza de aterizare, se determină ca o relație iterativa, prin adăugarea la vectorul prescris a poziției de aterizare a unui vector de eroare, obținut prin înmulțirea cu un factor de amplificare intre vitezele unghiulare medii și vitezele unghiulare stable a mișcării de avans respectiv de torsiune.
- (ix) eroarea rezultată din strategia de control al aplecării peste marginea de siguranță a robotului (**SCSA**), care constă în anticiparea mișcărilor robotului păsitor (**RP**), în baza unor informații experimentale statistice, cu respectarea marginilor de stabilitate, prevenirea condițiilor anormale și procesarea unor mișcări adiționale, pentru evitarea acestor instabilități care pot conduce la răsturnarea robotului, în cazul deplasării pe un teren denivelat sau a unor forțe externe și permite determinarea în timp real a depășirii marginilor de înclinare spre interior, respectiv exterior, prin integrări iterative ale unghiului de rotire în mișcarea de torsiune a platformei pe o durată  $\tau$  de la startul inceperei fiecărei faze de mers, iar dacă are loc depășirea marginilor de înclinare, unghiul de rotire al articulației piciorului este compensat printr-un algoritm predefinit în funcție de valoarea unghiului de rotire în mișcarea de torsiune a platformei,

**în care unele semnale de eroare** sunt controlate digital cu multiplexarea lor după două strategii de control, astfel:

- (x) controlul la detecția unui pas de mișcare robot (**DPR**), în care la detectarea atingerii pământului de către piciorul robotului păsitor (**RP**), în fazele de dublu suport, pentru o atingere fără șocuri, are loc multiplexarea semnalului de eroare rezultat din strategia de control al amortizării și semnalul de eroare rezultat din strategia de control de compensare a punctului de moment zero, cu semnalul de eroare rezultat din strategia de control al orientării la aterizare, conform etapelor din modulul programator de strategii.
- (xi) controlul repetabilității la aterizare (**CRA**), care evită instabilitățile mișcării robotului păsitor (**RP**) la aterizare, prin generarea unui semnal de blocare a schemei de mers, dacă piciorul nu ia contact cu pământul la sfârșitul fazelor de suport unic, cu intreruperea semnalului de referință poziție furnizat de generatorul de mers și oprirea comenzi de mișcare a piciorului până cand acesta, în virtutea inerției, ia contact cu pământul,

la care se adauga două programe:

- (xii) un programator de strategii (**MPS**) al momentelor acționarii fiecărei strategii de control raportate la 4 etape ale unui pas complet de robot păsitor (**RP**), cu funcțiile: în etapa 1 se realizează controlul amortizării, controlul compensării punctului de moment zero și controlul aplecării peste marginea de siguranță, în etapa 2 în faza de suport unic are loc controlul amortizării, controlul compensării punctului de moment zero și controlul poziției de aterizare, în etapa 2 în faza de dublu suport are loc controlul orientării la aterizare, controlul ajustării periodice a amplitudinii balansului lateral al platformei, controlul de rotire/avans platformă și controlul poziției de aterizare, etapa 3 care corespunde etapei 1 și etapa 4 care corespunde etapei 2, cu menținerea continuă a semnalelor de eroare datorate componentei de poziție și componentei de forță,
- (xv) un program de generare a schemei de mers (**GSM**) a robotului păsitor (**RP**), generează un semnal de referință forță ( $f_{ref}$ ) și un semnal al poziției de referință ( $X_D$ ) conform strategiei de control de rotire/avans platformă și strategiei de control amplitudine balans platformă precum și al unui portofoliu de programe cu scheme de mers predefinit cum ar fi mersul tripod la un robot păsitor hexapod, mersul pas cu pas,
- (xvi) astfel că în final, prin procesarea semnalelor de eroare utilizând fuziunea semnalelor rezultate din programatorul de strategii se obține semnalul de eroare pentru comanda actuatoarelor structurii robotului păsitor (**RP**) pe fiecare axă de mișcare.

2. Metodă, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (xiv) de procesare a semnalelor de eroare rezultate din programatorul de strategii se aplică controlul fuzzy pentru comanda actuatoarelor structurii robotului pășitor (**RP**) pe fiecare axă de mișcare

3. Dispozitiv, pentru aplicarea metodei de la revendicarea 1, care permite controlul dinamic al unui robot pășitor, **caracterizat prin aceea că** are în alcătuire:

- (i) **un modul** programator de strategii **MPS** primește câte un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pentru semnalele de eroare ale componentelor de poziție  $\Delta\Theta_p$  de la modulul de substituție inversă a poziției **MSIP** și semnale de eroare ale componentei de forță  $\Delta\Theta_f$  de la modulul de substituție inversă a forței **MSIF**, un semnal de control supra-aplecare **SCSA** de la modulul de control mișcare predictibilă **CMP**, un semnal control balans multiplexat **2SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și transmite la ieșire un semnal de eroare de etapă **SEE** și stabilește momentele acționarii fiecărei strategii de control raportate la 4 etape ale unui pas complet de robot pășitor (**RP**) conform funcțiilor din metoda de control din prezenta inventie,
- (ii) **un modul** de fuziune semnale sau fuzzy control **MFSFC** primește un semnal de eroare de etapă **SEE** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și transmite un semnal de eroare pe axele robot  $\epsilon_n$  pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor **RP** prin procesarea acestuia prin metoda de fuziune a semnalelor sau prin metoda de control fuzzy,
- (iii) **un modul** de substituție inversă a poziției **MSIP** primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor **RP** corespunzător matricei triangularizate de poziție de la modulul de triangularizare matrice de poziție **MTMP**, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare matricei de poziție Jacobiene de la modulul matricei de poziție Jacobiene **MMPJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiane, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului pășitor **RP**,
- (iv) **un modul** al matricei de poziție **MMPJ**, care în funcție de etapa din pasul complet al robotului pășitor **RP**, generat de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare poziției în spațiul de mișcare al robotului pășitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematică directă a poziției **MCCDP** și semnalul de control poziție aterizare **SCPA** de la modulul de control mișcare predictibila **CMP**, calculează în timp real matricea de poziție Jacobiana și transmite aceste valori la modulul de triangularizare a matricei de poziție **MTMP**,
- (v) **un modul** sumator de poziție **MSP** primește valorile matricei de poziție în spațiul de mișcare robot  $X_p$ , pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematică directă a poziției **MCCDP** și poziția de referință (dorită)  $X_d$  corespunzătoare semnalului **1SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** și calculează eroarea de poziție în spațiul de mișcare al robotului pășitor **RP** ca diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modulul matricei de selecție poziție **MMSP**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a poziției **MSIP** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în poziție stabilite de modulul programator de strategii **MPS**,
- (vi) **un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție **MCCDP** primește poziția pe axele robot  $\Theta_{Pmi}$  de la traductoarele incrementale de poziție, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția în spațiul de mișcare robot  $X_p$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de poziție **MSP**
- (vii) **un modul** de substituție inversă a forței **MSIF** primește un semnal pe fiecare grad de libertate al robotului pășitor **RP** corespunzător matricei triangularizate de forță de la modulul de triangularizare matrice de forță **MTMF**, care la rândul său primește semnalele corespunzătoare matricei de forță Jacobiene de la modulul matricei de forță Jacobiene **MMFJ**, și care realizează împreună calculul matricei inverse Jacobiane, în timp real, pe toate gradele de libertate ale robotului pășitor **RP**,
- (viii) **un modul** al matricei de forță **MMFJ**, care în funcție de etapa din pasul complet al robotului pășitor **RP** generat de modulul programator de strategii **MPS**, primește valorile corespunzătoare forței în spațiul de mișcare al robotului pășitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematică directă a forței **MCCDF** și semnalul de control

**2SCBMx** de la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**, calculează în timp real matricea de forță Jacobiana și transmite aceste valori la modulul de triangularizare a matricei de forță **MTMF**,

- (ix) **un modul** sumator de forță **MSF** primește valorile matricei de poziție datorate forței  $X_F$  în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP**, pe fiecare grad de libertate, de la modulul calcul cinematică directă a forței **MCCDF** și forță de referință (dorită)  $X_{DF}$  de la modulul de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** și calculează eroarea de poziție datorată forței în spațiul de mișcare al robotului păsitor **RP** ca diferență între cele două semnale de intrare, pe fiecare axă de mișcare robot, pe care o transmite la modul matricei de selecție forță **MMSF**, care la rândul său transmite aceste valori la modulul de substituție inversă a forței **MSIF** numai pe axele pe care urmează să se asigure controlul în forță stabilită de modulul programator de strategii **MPS**,
- (x) **un modul** de calcul al cinematicii directe de poziție datorate forței **MCCDF** primește forțele  $f_i$  din articulațiile robotului, pe fiecare axă  $n$  de mișcare a robotului, calculează în timp real poziția datorată forței în spațiul de mișcare robot  $X_F$ , pe fiecare grad de libertate, pe care o transmite la un modul sumator de forță **MSF**,
- (xi) **un modul** de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** primește un semnal de referință forță  $f_{ref}$  de la generatorul schemei de mers **GSM** și generează, în timp real, un semnal al forței de referință (dorită)  $X_{DF}$  determinată ca înmulțire între rigiditatea fizică a fiecarui segment de picior corespunzător articulației și forța reziduală dorită pe fiecare axă de libertate a robotului pe care îl transmite la un modul sumator de forță **MSF**,
- (xii) **un modul** de control balans în timp real **CBTR** primește un semnal al punctului de moment zero (**PMZ**) de la robotul păsitor **RP** și de la momentele din articulațiile robotului  $M_i$  pe fiecare axă de mișcare a robotului și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control al amortizării **SCA**, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero **SC-PMZ** și un semnal de control al orientării la aterizare **SCOA** la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**
- (xiii) **un modul** de control al schemei de mers **CSM** primește un semnal de la traductorul de inerție **TINL** care măsoară poziția unghiulară și viteza platformei, un semnal al punctului de moment zero **PMZ** și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control de rotire/avans platformă **SCRA** și un semnal de control amplitudine balans platformă **SCAB** la generatorul schemei de mers **GSM**,
- (xiv) **un modul** de control al mișcării predictibile **CMP** primește un semnal de la traductorul de inerție **TINL** și un semnal de la traductorul de înclinare **TINC** care măsoară înclinarea și accelerarea piciorului față de terenul pe care păsește robotul și conform metodei de control din prezenta inventie generează un semnal de control al poziției de aterizare **SCSA** la un modul sumator de poziție **MSP** și un semnal de control al aplecării **SCPA** peste marginea de siguranță a robotului păsitor **RP** la un modul al matricei de poziție **MMPJ**,
- (xv) **un modul** de generare a schemei de mers **GSM** primește un semnal de control de rotire/avans platformă **SCRA** și un semnal de control amplitudine balans platformă **SCAB** de la un modul de control al schemei de mers **CSM** și conform metodei de control din prezenta inventie, precum și al unui portofoliu de programe cu scheme de mers predefinit cum ar fi mersul tripod la un robot păsitor hexapod, mersul pas cu pas, generează un semnal de un semnal de referință forță  $f_{ref}$  la un modul de calcul al matricei de rigiditate **MCMR** și un semnal al poziției de referință (dorită)  $X_D$  la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX**,
- (xvi) **un modul** de control repetabilitate la aterizare **CRA** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor **RP**, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta inventie generează la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** un semnal de blocare a schemei de mers dacă piciorul nu ia contact cu pământul la sfârșitul fazelor de suport unic, cu întreruperea semnalului de referință de poziție furnizat de generatorul de mers și oprirea comenzi de mișcare a piciorului până acesta, în virtutea inerției, ia contact cu pământul,
- (xvii) **un modul** de controlul la detecția unui pas de mișcare robot **DPR** primește semnalele de forță  $f_i$  de la robotul păsitor **RP**, pe fiecare axă de mișcare, și conform metodei de control din prezenta inventie generează la modulul cu control digital cu multiplexare **MUX** un semnal la detectarea atingerii pământului de către piciorul robotului în fazele de dublu

suport cu multiplexarea semnalului de eroare rezultat din strategia de control al amortizării și semnalul de eroare rezultat din strategia de control de compensare a punctului de moment zero, cu semnalul de eroare rezultat din strategia de control al orientării la aterizare conform etapelor din modulul programator de strategii **MPS**,

- (xviii) **un modul** de control digital cu multiplexare **MUX** primește trei semnale analogice respectiv un semnal de control al amortizării **SCA**, un semnal de control de compensare a punctului de moment zero **SC-PMZ** și un semnal de control al orientării la aterizare **SCOA**, de la un modul de control balans în timp real **CBTR**, multiplexare de două semnale primite de la un modul de control repetabilitate la aterizare **CRA** și de la un modul de controlul, la detecția unui pas de mișcare robot **DPR**, și conform programatorului de strategii **MSP**, generează trei semnale de control balans multiplexat **1SCBMx- 3SCBMx**

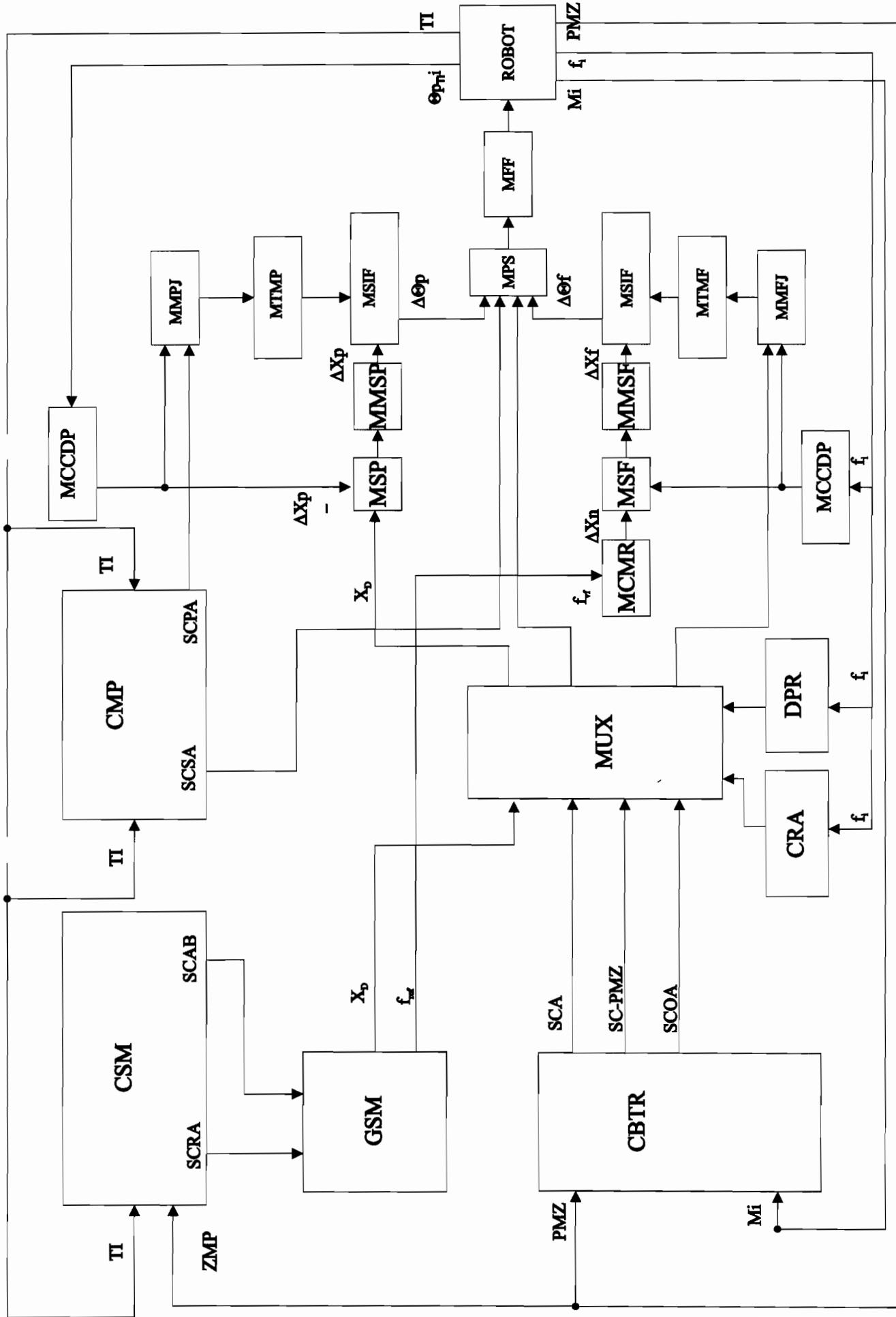


Fig. 1. Schema de principiu a dispozitivului



Fig. 2. Etapele unui pas complet de robot pasitor

$\Delta e$

		NM	Nm	ZO	Pn	P <sub>M</sub>	PM
	NM	NM	NM	NM	Nm	Nm	PM
e	NM	NM	NM	NM	Pm	Pm	PM
	NM	NM	Nm	Nm	Pm	P <sub>M</sub>	PM
	Nm	NM	Nm	Nm	Pm	P <sub>M</sub>	PM
	ZO	NM	Nm	ZO	Pn	P <sub>M</sub>	PM
	Pm	NM	Pm	Pm	PM	PM	PM
	P <sub>M</sub>	Nm	Pm	P <sub>M</sub>	PM	PM	PM
	PM	Pm	P <sub>M</sub>	PM	PM	PM	PM

Fig. 3. Baza de reguli  $P$

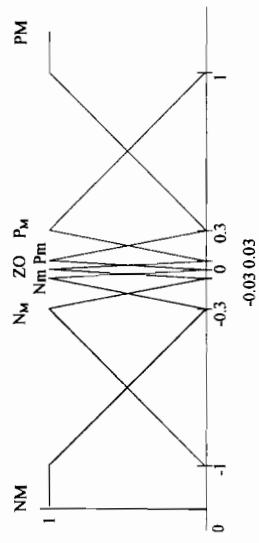


Fig. 5. Setul de intrari fuzzy al erorilor

$\Delta f$

		NM	Nm	ZO	Pm	P <sub>M</sub>	PM
	NM	NM	NM	NM	Nm	Nm	PM
	NM	NM	NM	Nm	Nm	Nm	PM
	Nm	NM	NM	Nm	Nm	Nm	PM
	ZO	NM	NM	Nm	Nm	ZO	Pm
	Pm	NM	Pm	Pm	PM	Pm	PM
	P <sub>M</sub>	Nm	Pm	P <sub>M</sub>	PM	P <sub>M</sub>	PM
	PM	Pm	P <sub>M</sub>	PM	PM	PM	PM

Fig. 4. Baza de reguli  $PF$

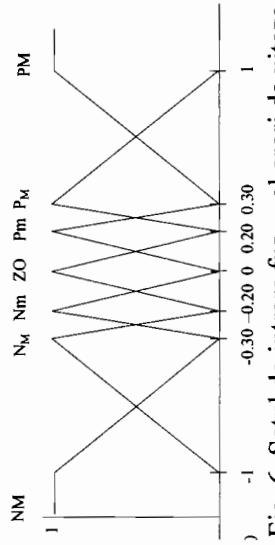


Fig. 6. Setul de intrare fuzzy al erori de viteza

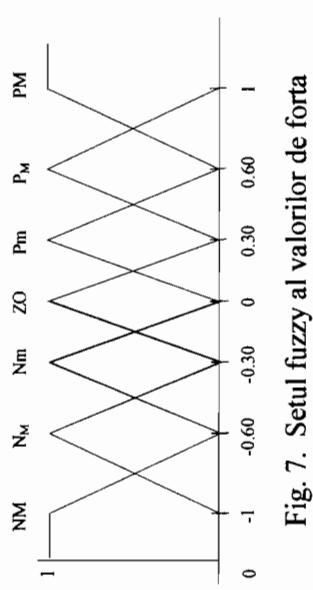


Fig. 7. Setul fuzzy al valorilor de forta

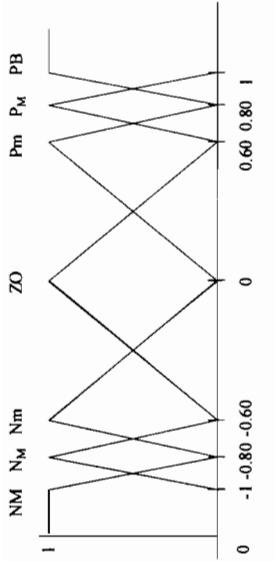


Fig. 8. Setul fuzzy al iesirilor.

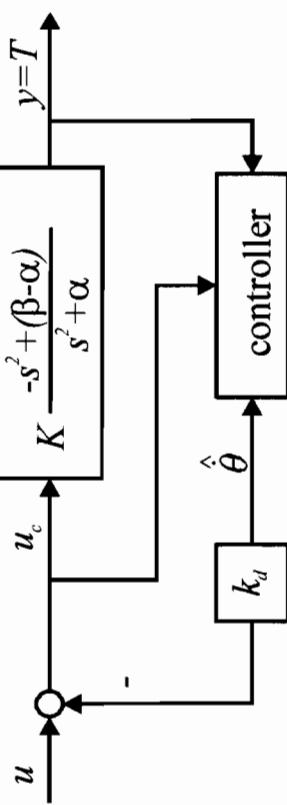


Fig. 10. Schema de control a amortizarii balansului

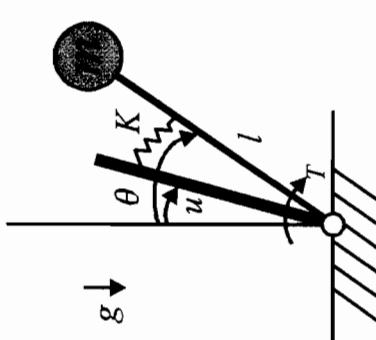


Fig. 9. Modelarea miscarii robotului pasitor in strategia de control a amortizarii

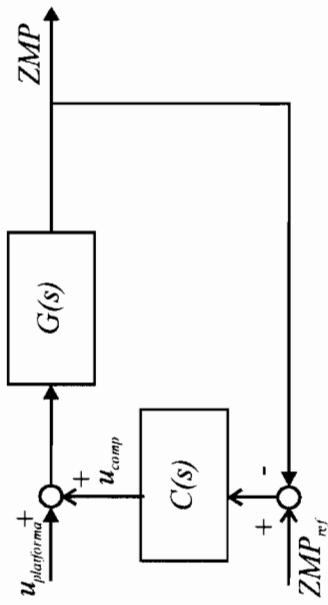


Fig. 11. Controlul ZMP in buclau de reactie