



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2008 00232

(22) Data de depozit: 27.03.2008

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: 30.04.2013 BOPI nr. 4/2013

(41) Data publicării cererii:
30.10.2009 BOPI nr. 10/2009

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

(72) Inventatori:
• VLĂDĂREANU LUIGE, CALEA CRÂNGAȘI
NR. 48, BL.7, AP.45, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• VELEA LUCIAN MARIUS,
CALEA VĂCĂREȘTI NR. 201, BL.87, AP.48,
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;
• MUNTEANU RADU IOAN,
STR.ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMA C,
SC.2, AP.69, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• CURAJ ADRIAN, STR.MARAMUREȘ
NR.11A, OTOPENI, IF, RO;
• CONONOVICI SERGIU,
PRELUNGIREA GHENȚEA NR.28, BL.C 5,
SC.E, AP.179, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B,
RO;
• SIRETEANU TUDOR,
BD. ALEXANDRU OBREGIA NR.24, BL.R 2,
SC.B, ET.9, AP.81, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• CĂPITĂNU LUCIAN,
STR.SERGEANT MAJOR NEDELEANU ION
NR.5, BL.P 34, SC.2, AP.55, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;

• MUNTEANU MIHAI STELIAN,
STR.ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMA C,
AP.29, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
J.J.KUFFNER JR., S.KAGAMI, M.INABA,
H.INOUE, "GRAPHICAL SIMULATION
AND-HIGH LEVEL CONTROL OF
HUMANOID ROBOTS", IN PROC. 2000
IEEE RSJ INT 1 CONF. ON INTELLIGENT
ROBOTS AND SYSTEMS (IROS 2000),
publicat in 2000, Disponibil la adresa:
http://www.researchgate.net/publication/3882104_Graphical_simulation_and_high-level_control_of_humanoid_robots;
US 6445964 B1; A.C.K.CHOI, D.S.K.CHAN,
A.M.F.YUEN, "APPLICATION OF VIRTUAL
ASSEMBLY TOOLS FOR IMPROVING
PRODUCT DESIGN", THE
INTERNATIONAL JOURNAL OF
MANUFACTURING TECHNOLOGY,
VOL.19, NR.5, PP.377-383, 2002;
H.HIRUKAWA, F.KANEHIRO, S.KAJITA,
K.FUJIWARA, K.YOKOI, K.KANEKO,
K.HARADA, "EXPERIMENTAL
EVALUATION OF THE DYNAMIC
SIMULATION OF BIPED WALKING OF
HUMANOID ROBOTS", PROCEEDINGS OF
THE 2003 IEEE INTERNATIONAL
CONFERENCE ON ROBOTICS &
AUTOMATION, PP.1640-1645, TAIPEI,
TAIWAN, 14-19 SEPTEMBER, 2003

(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV DE CONTROL ÎN TIMP REAL AL ROBOȚILOR PRIN PROIECȚIE VIRTUALĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv pentru controlul, în timp real, cu arhitectura deschisă, al unui robot, cu aplicații în realizarea unui sistem de control pentru un nano/micro/macromanipulator. Metoda conform invenției constă în realizarea proiecției virtuale a structurii mecanice, determinată matematic, pe un terminal grafic al unui computer (TGC), printr-o interfață de control virtual (ICV) a computerului, care permite modelarea matematică pentru reprezentarea grafică a structurii mecanice, și constă în reprezentarea grafică a traiectoriei de mișcare, reale și de referință, pe fiecare axă a elementelor componente și a forțelor, reale și de referință, din articulațiile unei structuri mecanice, reprezentare obținută prin prelucrarea datelor generate de niște traductoare de poziție și de forță, și a semnalelor de referință a poziției (X_R^P) și de forță (X_R^F) pentru sistemul de control, cu generarea de bază/baze de date pentru memorarea eșantionată a semnalelor de intrare, care să permită vizualizarea, în timp real sau în play-back, cu viteza modificată, a detaliilor mișcării structurii mecanice, și dezvoltarea unui sistem de control cu arhitectura deschisă (AOH). Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un modul de interfață de control virtual (ICV), un modul terminal grafic al unui computer (TGC), un număr m de module traductoare de măsură (TM), un număr m de module servoactuator (MS), un număr m de module actuator de sarcină (AS), cuplate la servoactuator (MS), care primesc

semnale de control de la un controlor de sarcină (MCS), un modul controlor de sarcină (MCS), un modul interfață de control multifuncțional (ICMF), care generează semnalele de referință (X_R^P și X_R^F) de poziție și de forță, și un număr de n de interfețe de control funcții (ICF).

Revendicări: 2
Figuri: 2

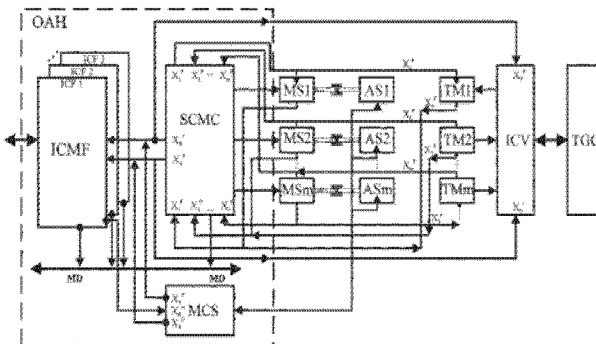


Fig. 1

Examinator: ing. CRISTUDOR DANA



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și motivat, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii hotărârii de acordare a acesteia

RO 123527 B1

1 Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de control în timp real, cu arhitectură
deschisă, al roboților, destinat îmbunătățirii performanțelor de control, cu aplicații în realiza-
3 rea de sisteme de control pentru nano/micro/macro manipolatoare și roboți.

Pentru îmbunătățirea performanțelor în controlul, în timp real, al roboților, sunt cunos-
5 cute mai multe metode și soluții tehnice, numite generic instrumentație virtuală (VI), CAD
(Computer-Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer-Aided
7 Engineering) etc., prin care se realizează un model matematic al sistemului de control, și prin
simulare, pe un computer cu putere de calcul ridicată și numeroase funcții matematice, se
9 testează virtual funcționarea sistemului de control.

Modelările matematice cu proiecțiile geometrice în 3D, dezvoltate în sisteme CAD,
11 pot sta la baza realizării altor funcții în CAE și CAM care să conducă la analize structurale,
analize de asamblare, controlul interfețelor, analize cinematice. Aceste analize cu modele
13 virtuale în 3D pot conduce la studii și simulări ale produselor în diferite condiții de
funcționare, cu posibilitatea redefinirii și optimizării proiectării, fără a avea produsul sau
15 sistemul de control fizic realizat.

Un exemplu de proiectare, utilizând realitatea virtuală, este prezentat în articolul
17 "Virtual assembly using virtual reality techniques", *Computer-Aided Design*, Volume 29, Issue
8, August 1997, pp. 575-584, Sankar Jayaram, Hugh I Connacher, Kevin W Lyons. Realita-
19 tatea virtuală este definită ca utilizarea unui mediu virtual, generat de calculator și hardul
asociat, pentru a furniza iluzia unei prezențe fizice în acel mediu. Realitatea virtuală
21 reprezintă o tehnologie raportată la o extensie naturală a graficii computerizate 3D, cu
dispozitive de intrări și ieșiri avansate, pentru realizarea de prototipuri a unor produse,
23 conducând la noi dezvoltări în domeniul ingineriei asistate de calculator (CAD). Proiectarea
într-un mediu virtual presupune utilizarea unor componente soft (computer tools), pentru a
25 realiza sau asista deciziile ingineresti raportate la proiectare prin analiză, modele predictibile,
vizualizare și prezentare de date, fără prezența fizică a produsului, sistemului de control sau
27 procesului.

O altă lucrare "Application of Virtual Assembly Tools for Improving Product", A. C. K.
29 Choi, D. S. K. Chan, M. F. Yuen, *The International Journal of Advanced Manufacturing
Technology*, Issue: Volume 19, Number 5/March. 2002, Friday, March 15, 2002, pp.
31 377-383, ISSN 0268-3768, DOI: 10.1007/s001700200027, prezintă metoda DYNAMO, de
proiectare și investigare într-un mediu virtual, utilizând componente de modelare a corpurilor
33 tridimensionale în SolidWorks.'99, cu fișiere de tip ROBFACE și ROBCAD.

Aceste metode permit accesul la proiectarea și realizarea a numeroase procese și
35 dispozitive industriale: roboți, manipolatoare, mașini unelte, dispozitive de asamblare, linii
de transfer, având drept caracteristică principală dezvoltarea întregii aplicații într-un mediu
37 virtual, a produsului, procesului și sistemului de comandă, modelate matematic prin diferite
funcții de control.

Dezavantajele acestor metode și soluții tehnice constă, în principal, în faptul că
39 modelele matematice de control al roboților sunt proiectate, testate și experimentate utilizând
modele matematice virtuale ale structurii mecanice a robotului și ale sistemului de control,
41 care conțin numai anumiți parametri ai acestora, în cele mai multe cazuri, fără a se ține cont
de corelația între aceștia și influența altor semnale de intrare sau semnale perturbatoare,
43 care apar în sistemul real de control, ceea ce vor conduce la reducerea drastică a
performanțelor după implementarea în sistemul de control real.
45

Problema pe care o rezolvă invenția constă în aceea că permite proiectarea, testarea
47 și experimentarea metodelor de control pe un sistem de control real, cu funcționare on-line,
în absența structurii mecanice, prin proiecție virtuală, permițând astfel îmbunătățirea
49 performanțelor sistemelor de control al roboților, deja realizate fizic.

RO 123527 B1

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele de mai sus, prin aceea că, în scopul îmbunătățirii, performanțele în controlul nano/micro/macro manipuletoarelor și roboților, în absența structurii mecanice, se asigură proiectarea, testarea și experimentarea metodelor de control pe un sistem de control mecatronic, clasic (existent), fără a fi necesară modificarea structurii hardware a acestuia, prin parcurgerea următoarelor faze, în dezvoltarea respectivului sistem de control:	1
i. se realizează proiecția virtuală a structurii mecanice, determinată matematic, pe terminalul grafic al unui computer, printr-o interfață de control virtual a computerului, care permite modelarea matematică, pentru reprezentarea grafică a structurii mecanice, și care constă în reprezentarea grafică atât a traiectoriei de mișcare, reale și de referință, pe fiecare axă a elementelor componente, cât și a forțelor, reale și de referință, din articulațiile structurii mecanice, reprezentare obținută prin: 1. prelucrarea datelor generate de traductoarele de măsură, poziție și forță, cuplate pe actuatoarele robotului, și 2. a semnalelor de referință a poziției și forței. pentru sistemul de control robot;	3 5 7 9 11 13
ii. se generează o bază (baze) de date, pentru memorarea eșantionată a semnalelor de intrare, care să permită vizualizarea, în timp real sau în reluare (play-back), cu viteză modificată, a detaliilor mișcării structurii mecanice;	15 17
iii. dezvoltarea unui sistem de control cu arhitectură deschisă, compus din sistemul de control clasic al robotului, în care generarea traiectoriei de mișcare și a forțelor se face prin metode clasice de control, cum ar fi metoda Denevit-Hartenberg și/sau metoda teach-in, la care se adaugă o interfață de control hibrid poziție - forță;	19 21
iv. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă, prin adăugarea unei interfețe cu funcții de urmărire a unui contur;	23
v. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă, prin adăugarea unei interfețe cu tipul de mers al robotului, cum ar fi mersul tripod la un robot pășitor;	25
vi. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă, prin adăugarea altor interfețe cu metode de control, cum ar fi controlul centrului de greutate, orientarea prin prelucrări de imagini;	27
vii. generarea referințelor de poziție și forță la sistemul de control clasic al robotului, prin schimb de date între interfețele prezentate în secvențele iii - vi, pe baza unor modelări matematice, cum ar fi metoda inferenței datelor, metoda fuzzy;	29 31
viii. funcționarea fără sarcină a servoactuatoarelor robotului, care corespunde deplasării unui robot în stare de imponderabilitate, și repetarea secvențelor ii - vii, până ce performanțele în controlul robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință și mișcările rezultate prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită;	33 35
ix. funcționarea cu sarcină constantă a servoactuatoarelor robotului, comandat de un modul controler de sarcină, și repetarea secvențelor ii - vii, până ce performanțele în controlul robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință și mișcările rezultate prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită;	37 39
x. funcționarea cu sarcină variabilă a servoactuatoarelor robotului, care corespunde unei deplasări reale a unui robot, cu fluctuații de sarcină datorate mediului înconjurător, comandat de modulul controler de sarcină, prin procesarea semnalelor X_R^S cu valori variabile, generate, pe baza unor măsurători anterioare, de modulul de control multifuncțional, în corelație cu referințele de poziție X_R^P și forța X_R^F , cu repetarea secvențelor ii - vii, până ce performanțele în controlul robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință și mișcările rezultate prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită.	41 43 45

RO 123527 B1

1 Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele menționate, prin aceea că este
alcătuit dintr-un modul de interfață de control virtual, care are m intrări, semnalele de poziție
3 și forță, primite de la m module traductoare de măsură ale actuatorilor și două semnalele
de referință, poziție și forță, primite de la modulul de interfață control multifuncțional, cu rolul
5 de a realiza proiecția virtuală a structurii mecanice pe terminalul grafic de computer și
generarea de bază (baze) de date, pentru memorarea eșantionată a semnalelor de intrare,
7 unde m reprezintă gradele de libertate ale robotului, un modul terminal grafic de computer
primește informațiile de poziție și forță de la modulul de interfață de control virtual și, printr-un
9 program soft, asigură reprezentarea grafică în spațiul de mișcare al robotului, cu rolul de
analiză a mișcării structurii mecanice și reglare a parametrilor de control al sistemului de
11 control mecatronic clasic, un număr de m module traductoare de măsură transformă pozițiile,
pe cele m grade de libertate și forțele în cele m articulații ale robotului, în semnale de
13 măsură, și le transmite la modulul de interfață control virtual, un sistem de control mecatronic
clasic primește semnalele de referință, poziție și forță, de la modulul de interfață control
15 multifuncțional, m semnale de poziții actuale ale structurii mecanice și m semnale, ale forțelor
actuale, în articulațiile structurii mecanice, și transmite m semnale de control al celor m
17 module servoactuator, cu rolul de a asigura controlul în timp real al robotului, un număr
de m module servoactuator, cu rolul de a asigura acționarea structurii mecanice a
19 robotului în faza de implementare, care primesc semnale de control de la sistemul de control
mecatronic clasic, pe care sunt cuplate cele m module traductoare de măsură, și care sunt
21 cuplate rigid de m actuator de sarcină, un număr de m module actuator de sarcină,
cuplate rigid cu cele m module servoactuator, care primesc semnale de control de la un
23 modul controler de sarcină, cu rolul de a asigura funcționarea în sarcină a celor m module
servoactuator, un modul controler de sarcină care primește referința de poziție și forță,
25 precum și un semnal de referință pentru generarea sarcini-modulelor servoactuator, de
la interfața de control multifuncțional, cu rolul de a asigura controlul în timp real și
27 funcționarea în sarcină al celor m module actuator de sarcină, un modul interfață de
control multifuncțional, care generează referințele de poziție și forță la sistemul de control
29 mecatronic clasic, asigură controlul în timp real, controlul priorităților și gestionarea
schimbului de informații între un număr de n interfețe de control funcții, conectate între ele
31 printr-o magistrală de date, cu viteză ridicată de comunicație, la care se adaugă comunicația
cu sistemul de control mecatronic clasic, cu rolul de a asigura, prin interfețele de control,
33 funcții ICF, implementarea diferitelor metode de control suplimentare, față de cele asigurate
de sistemul de control mecatronic clasic, pe baza unor modelări matematice, cum ar fi
35 metoda inferenței datelor, metoda fuzzy, asigurând o arhitectură deschisă în controlul
robotului, un număr de n interfețe de control, funcții care asigură dezvoltarea unui sistem de
37 control cu arhitectură deschisă, prin adăugarea unui număr de n funcții de control
suplimentare față de cele asigurate de sistemul de control mecatronic clasic, comunică între
39 ele, împreună cu modulul de interfață control multifuncțional, printr-o magistrală de date cu
viteză ridicată de comunicație, cu rolul de a permite implementarea a diferite metode de
41 control, cum ar fi controlul hibrid forță-poziție, funcții de urmărire a unui contur, mersul tripod
al unui robot pășitor, respectiv, alte metode de control, cum ar fi controlul centrului de
43 greutate, orientarea prin prelucrări de imagini.

Invenția prezintă avantajul că permite proiectarea, testarea și experimentarea
45 metodelor de control, pe un sistem de control real, al nano/micro/macro manipulatorilor și
roboților, în absența structurii mecanice, cu posibilitatea îmbunătățirii performanțelor, prin
47 proiecția virtuală și analiza mișcării, permițând, în plus, dezvoltarea de noi metode de control,
cum ar fi controlul hibrid forță-poziție, funcții de urmărire a unui contur, mersul tripod al unui

RO 123527 B1

robot pășitor, controlul compliant, controlul centrului de greutate, orientarea prin prelucrări de imagini și alte funcții, fără a fi necesară modificarea structurii hardware a sistemului de control mecatronic clasic. 1
3

Invenția permite dezvoltarea de noi sisteme de control nano/micro/macro manipuloarelor și roboților, cu performanțe mult mai bune, la un preț de cost scăzut și durată de proiectare, realizare, semnificativ redusă. În plus, oferă, inginerilor și proiectanților, posibilitatea de a proiecta cu mult mai multe detalii și rezoluție crescută, a unor părți de complexitate ridicată ale nano/micro/macro manipuloarelor, roboților, și disponibilitate pentru putere de procesare computațională, reprezentare grafică, interfațare metode, modelare matematică, vizualizare la niveluri mult superioare. 5
7
9

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu figurile: 11

- fig. 1, care prezintă o schemă de principiu a dispozitivului;

- fig. 2, care reprezintă un exemplu de proiecție virtuală a unui robot pășitor hexapod. 13

Metoda și dispozitivul conform invenției sunt alcătuite dintr-un modul de interfață de control virtual **ICV**, care are: 1. m intrări, semnalele de poziție X_m^P și forța X_m^F , primite de la m module traductoare de măsură **TM**, unde m reprezintă gradele de libertate ale robotului, 15
2. semnalele de referință poziție X_R^P și forța X_R^F , primite de la modulul de interfață control multifuncțional **ICMF**, cu rolul de a realiza proiecția virtuală a structurii mecanice pe terminalul grafic de computer **TGC** și generarea de bază (baze) de date, pentru memorarea eșantionată a semnalelor de intrare. Un modul terminal grafic de computer **TGC** primește informațiile de poziție X_m^P și forță X_m^F de la modulul de interfață de control virtual **ICV** și, 21
printr-un program soft, asigură reprezentarea grafică, în spațiul de mișcare al robotului, cu rolul de analiză a mișcării structurii mecanice și de reglare a parametrilor de control al sistemului de control mecatronic clasic **SCMC**. 23

Un exemplu de proiecție virtuală este prezentat în fig. 2, în care se calculează, pornind de la unghiurile și dimensiunile segmentelor și ținând cont de starea punctului de sprijin, coordonatele capetelor fiecărui segment al robotului, cu reprezentare grafică, în sistemul de coordonate tridimensionale. Aplicația permite: reprezentarea modelului robotului pășitor într-un sistem de axe tridimensional, cu opțiuni de rotire a camerei virtuale, care privește robotul într-un anumit punct, în jurul acestui punct și, respectiv, de apropiere sau depărtare a camerei de acel punct; controlul manual și automat al robotului pe fiecare axă de mișcare, precum și log-ării mișcărilor acestuia, posibilitatea generării traiectoriei de mișcare, prin încărcarea unui fișier de tip Excel; generarea cu întârziere a mișcării robotului între două seturi de date succesive, ceea ce permite o mult mai bună analiză a detaliilor mișcării picioarelor sau platformei robotului; Aplicația prezentată este dezvoltată în limbajul C, în mediul de dezvoltare Microsoft Visual Studio și folosește bibliotecile de clase DirectX. Modul de lansare în execuție este fie prin pictograma de pe desktop, fie accesând meniul Start-Programs. În final, programul permite salvarea în format Excel a coordonatelor x, y și z, ale vârfurilor fiecărui picior, precum și a coordonatelor x, y și z, ale platformei. 25
27
29
31
33
35
37
39

Un număr de m module traductoare de măsură **TM** transformă pozițiile X_m^P pe cele m grade de libertate și forțele X_m^F în cele m articulații ale robotului în semnale de măsură și le transmite la modulul de interfață control virtual **ICV**. Un sistem de control mecatronic clasic **SCMC** primește semnalele de referință poziție X_R^P și forță X_R^F de la modulul de 41
43

RO 123527 B1

1 interfață control multifuncțional **ICMF**, m semnale de poziții actuale X_m^P ale structurii meca-
nice și m semnale ale forțelor actuale X_m^F , în articulațiile structurii mecanice, și transmite
3 m semnale de control al celor m module servoactuatoriale **MS**, cu rolul de a asigura controlul,
în timp real, al robotului.

5 Un exemplu de sistem de control mecatronic clasic **SCMC**, care demonstrează
complexitatea procesului de control al roboților și capabilitatea tehnologica de realizare a
7 modului, este prezentat în continuare. Acesta permite controlul poziției, prin metoda
Denevit-Hartenberg, utilizând transformările cinematice. Pentru realizarea controlului unui
9 robot, se definesc două sisteme de coordonate principale: coordonatele Carteziene și
coordonatele robot. Coordonatele robot reprezintă unghiul între axa de referință pentru
11 fiecare grad de libertate și extensia axei, și sunt generate de traductoarele de măsură
TM1-TMm. Acestea formează coordonatele în care robotul se mișcă cu acționare directă de
13 la servoactuatorialele **MS1-MSm**, ale robotului. Poziția și orientarea fiecărui segment,
raportată la structura axelor robotului, se pot descrie prin transformata Denevit - Hartenber.
15 Pentru determinarea matricei transformărilor, se presupune că axa z, în fiecare cadru
(respectiv, suprafața de mișcare a robotului raportată la axa proprie), este axa de rotație.

17 Conceptual, controlul folosind cinematica directă constă în transformarea
coordonatelor robot actuale, rezultate direct de la traductoarele de măsură a fiecărei axe
19 **TM1-TMm**, la coordonate Carteziene și compararea cu ținta dorită X_R^P a fi atinsă în coor-
donate Carteziene (referința de mișcare). Folosind matricea inversă Jacobiană, se asigură
21 transformarea, din coordonatele Carteziene în coordonate robot, a erorii de poziție, ceea ce
permite generarea erorilor unghiulare, pentru controlul direct al servoactuatorialelor
23 **MS1-MSm**, pe fiecare axă de mișcare. Pentru modelarea matematică, poziția și orientarea
elementului final de acțiune a unui robot cu șase grade de libertate, raportate la coordonatele
25 corespunzătoare axelor de mișcare, sunt date de o matrice în coordonate Carteziene X_C , prin
relația:

$$27 \quad X_C = A_1 * A_2 * A_3 * \dots * A_6$$

29 unde $A_1, A_2, A_3, \dots, A_6$ reprezintă matricea transformatei Denevit-Hartenberg, care asigură
transformarea unui punct din spațiul robot din coordonatele Carteziene curente în coordonate
31 Carteziene ale axei următoare. Eroarea de poziție în coordonate Carteziene este obținută
ca diferență între poziția de referință X_R^P (dorită), generată de modulul de interfață control

33 multifuncțional **ICMF** și poziția curentă $X_1^P, X_2^P, \dots, X_1^P$. Dificultatea în controlul traiec-
toriei robotului constă în aceea că pozițiile generate X_C și eroarea de poziție δX se dau în
35 coordonate Carteziene, în timp ce măsurarea continuă a poziției robotului $\theta_{1,2,\dots,6}$ și eroarea
unghiulară de comandă a actuatorului $\delta\theta_{1,2,\dots,6}$ trebuie date în coordonate robot. Relația între
37 poziția și orientarea elementului efector al robotului, generată în coordonate Carteziene și
unghiurile axelor în coordonate robot $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6$ este:

$$39 \quad x_i = f_i(\theta),$$

41 unde θ este vectorul care reprezintă poziția unghiulară pe toate gradele de libertate,
43 exprimată în coordonate robot. Prin diferențiere, se obține:

$$45 \quad \delta^6 X_6 = J(\theta) * \delta \theta_{1,2,\dots,6}$$

RO 123527 B1

unde $\delta {}^6X_6$ reprezintă aplicarea operatorului diferențial la schimbările liniare și unghiulare ale poziției curente X_C ale 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:

$$a_{ij} = \delta f_{i-1} / \delta \theta_{j-1}$$

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

$$\delta \theta_{1,2,\dots,6} = J^{-1}(\theta) * \delta {}^6X_6$$

Calculul Jacobianului constă în multiplicări consecutive ale matricei X_C , corespunzătoare transformatei Denevit-Hartenberg a robotului. Vectorul erorii unghiulare $\delta \theta$, astfel obținut, este folosit ca un semnal de control direct, pentru acționarea modulelor servoactuatoriale **MS1- MSm**, ale robotului.

În continuare, dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un număr de m module servoactuatoriale **MS**, cu rolul de a asigura acționarea structurii mecanice a robotului în faza de implementare, care primesc semnale de control de la sistemul de control mecatronic clasic **SCMC**, pe care sunt cuplate cele m module traductoare de măsură **TM** și care sunt cuplate rigid de m actuatoriale de sarcină **AS**. De asemenea, un număr de m module actuatoriale de sarcină **AS**, cuplate rigid cu cele m module servoactuatoriale **MS**, primesc semnale de control de la un modul controler de sarcină **MCS**, cu rolul de a asigura funcționarea în sarcină a celor m module servoactuatoriale **MS**. Un modul controler de sarcină **MCS** primește referința de poziție X_R^P și forță X_R^F , precum și un semnal de referință X_R^S , pentru generarea sarcinii modulelor servoactuatoriale **MS**, de la interfața de control multifuncțional **ICMF**, cu rolul de a asigura controlul în timp real și funcționarea în sarcină a celor m module actuatoriale de sarcină **MS**. Pentru funcționarea cu sarcină constantă a servoactuatorialelor robotului, referința X_R^S are o valoare constantă pentru fiecare axă de mișcare a robotului, prestabilită de operator, ceea ce va conduce la o sarcină constantă, în fiecare articulație a robotului. Pentru funcționarea cu sarcină variabilă a servoactuatorialelor robotului, referința X_R^S are valori variabile, generate pe baza unor măsurători anterioare, și sunt în funcție de referința de poziție X_R^P și forță X_R^F .

Un număr de n interfețe de control funcții **ICF**, care asigură un număr de n funcții de control suplimentare față de cele asigurate de sistemul de control mecatronic clasic **SCMC**, comunică între ele, împreună cu modulul de interfața control multifuncțional **ICMF**, printr-o magistrală de date **MD**, cu viteză ridicată de comunicație, cu rolul de a permite implementarea a diferite metode de control, cum ar fi controlul hibrid forță-poziție, funcții de urmărire a unui contur, mersul tripod al unui robot pășitor, respectiv, controlul centrului de greutate, orientarea prin prelucrări de imagini.

Este prezentat, în continuare, un exemplu de funcție de control hibrid forță-poziție al unui robot pășitor hexapod, care demonstrează capabilitatea tehnologică de realizare a modulului. Suprafața generalizată, pe care robotul lucrează, poate fi definită într-un spațiu constrâns (constraint space) cu 18 grade de libertate (DOF), cu constrângeri ale poziției X_C

RO 123527 B1

1 de-a lungul normalei la această suprafață și constrângeri ale foii F_C de-a lungul tangentelor.
2 Considerând X_C și F_C exprimate în coordonate specifice de mediu, se pot determina
3 matricele de selecție S_x și S_f , care sunt matrice diagonale cu 0 și 1 elemente diagonale, și
4 care satisfac relația: $S_x + S_f = I_d$. Matricea I_d reprezintă matricea unitate cu 1 pe diagonală și
5 0 în rest. Interfețele de control funcții **ICF**, pentru a realiza controlul hibrid forță poziție,
6 împarte în două seturi deviația ΔX_p , măsurată în coordonate Carteziene de sistem de control
7 mecatronic clasic **SCMC**: ΔX^F - corespunzătoare componentei controlate prin forța X_1^F ,
8 $X_2^F \dots X_m^F$ și ΔX^P , corespunzătoare controlului în poziție X_1^P , $X_2^P \dots X_m^P$, cu acționare
9 pe axe, conform matricelor de selecție S_f și S_x . Dacă se consideră numai controlul de poziție
10 X_1^P , $X_2^P \dots X_m^P$, pe direcțiile stabilite de matricea de selecție S_x , interfața de control
11 funcții **ICF** va determina atât mișcările diferențiale dorite în mediul robot, corespunzătoare
12 controlului în poziție, din relația: $\Delta X_p = K_p \Delta X^P$, unde K_p este matricea câștigului, cât și
13 unghiurile mișcării dorite pe axele controlate în poziție:

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

14
15 Luând în considerare și controlul forței pe celelalte direcții rămase, relația între
16 mișcarea unghiulară dorită pe axele robotului și eroarea de forță ΔX_f este dată de relația:

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

17
18 unde eroarea de poziție, datorată forței ΔX_f , este diferența de mișcare între ΔX_f - deviația
19 poziției curente, măsurată de sistemul de control mecatronic clasic **SCMC** și procesată de
20 modulul de interfață control multifuncțional **ICMF** și ΔX_D -deviația în poziție datorată forței
21 reziduale dorită. Notând F_D forța reziduală dorită și K_W rigiditatea fizică, se obține relația: ΔX_D
22 = $K_W^{-1} * F_D$. Astfel, ΔX_f se poate calcula din relația: $\Delta X_f = K_f (\Delta X^F - \Delta X_D)$, unde K_f este relația
23 dimensională a matricei de rigiditate. În final, rezultă variația de mișcare pe axele robot,
24 raportate la variația mișcării în mediul robot, după relația:

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

25
26 Se constată că modulul de interfață control multifuncțional **ICMF** execută, ca procese
27 concurente, cele două moduri de control. De asemenea, traductoarele de măsură **TM1-TMm**
28 sunt folosite în două moduri: în controlul poziției, informația obținută de la traductoare este
29 utilizată pentru a compensa abaterea din articulațiile roboților, datorită sarcinii create de
30 forțele externe, astfel încât să accentueze aparenta rigiditate a sistemului de articulații ale
31 robotului. În controlul forței, articulația este folosită ca un traductor de forță, astfel încât
32 robotul să fie condus în aceeași direcție ca forța primită de la traductori, permițând ca forța
33 de contact dorită să fie menținută.

34 Un alt exemplu se referă la realizarea unei interfețe de control **ICF**, cu funcții de
35 urmărire a unei suprafețe de contur. Roboții pășitori, cu activități de transport pe terenuri
36 accidentate, necesită funcții suplimentare de compliantă, pentru a corecta erorile de
37 poziționare, pentru a relaxa toleranța dintre componente și pentru a absorbi forțele de impact
38 cu elemente din mediul robot. Din aceste considerente, sistemul de automatizare cu
39 arhitectură deschisă **OAH** trebuie să asigure realizarea unei adaptabilități compliantă.

Procesul de urmărire se realizează pe una dintre axele robot, cu controlul forței pe celelalte două axe. Monitorizarea se realizează prin mișcarea de-a lungul piciorului robotului, păstrând contactul în celelalte 2 direcții. Sunt controlate forțele de contact pe direcțiile Z și X, iar deplasarea pe Y este controlată prin poziție. Procesul de monitorizare a deplasării robotului pășitor poate fi împărțit în trei faze: apropiere, căutare și mișcare platformă. Faza de apropiere: robotul se apropie de muchie cu o viteză specificată v_a , cu controlul poziției pe toate axele, conform unui proces de control în poziție. În momentul când un senzor al palpatorului are contact cu suprafața de sprijin, este detectată o forță de contact. Prin intermediul forței detectate, cu ajutorul traductorului de forță, mișcarea în această direcție este oprită, iar sistemul de control va asigura: a. controlul forței în această direcție și b. controlul poziției în toate celelalte direcții. Faza de căutare: la sfârșitul fazei de apropiere, un braț al palpatorului se află în contact cu suprafața de sprijin, iar celalalt braț în proximitatea suprafeței de sprijin. În acest caz, corespunzător fazei de căutare, sistemul de comandă va genera, pentru apropiere, o traiectorie de mișcare perpendiculară, cu o viteză de căutare specificată v_s . Când și această parte a palpatorului se află în contact cu suprafața de sprijin, faza de căutare se încheie și se asignează controlul forței în direcția mersului robotului. Faza de mișcare platformă: când celelalte două faze s-au încheiat, suprafața de sprijin este în contact cu palpatorul piciorului. Din acest moment, începe faza de mișcare platformă, cu forța controlată în direcțiile normale a două suprafețe, iar poziția este controlată în direcția deplasării platformei robotului. Implementarea metodei în sistemul de automatizare cu arhitectură deschisă **OAH** se poate realiza în timp real, fără modificări hard ale sistemului de control mecatronic clasic **SCMV** sau a modulului de interfață de control multifuncțional **ICMF**, fiind suficientă introducerea numai a unei noi interfețe de control funcții **ICF**, sub formă de task, în structura sistemului cu arhitectură deschisă **OAH**. Rolul acestui task este de a genera pozițiile și forțele conform algoritmului de urmărire prezentat. În realizarea interfeței de control **ICF**, cu funcții de urmărire a unei suprafețe de contur, s-a ținut cont că forța de contact trebuie să fie selectată în conformitate cu cerința sarcinii, iar rigiditatea fizică a dispozitivului compliant este diferită pe fiecare direcție de contact, ceea ce determină deviații diferite, din și în jurul fiecărei axe.

În final, un modul interfață de control multifuncțional **ICMF**, care generează referințele de poziție X_R^P și de forță X_R^F la sistemul de control mecatronic clasic **SCMC**, asigură controlul în timp real, controlul priorităților și gestionarea schimbului de informații între un număr de n interfețe de control funcții **ICF**, conectate între ele printr-o magistrală de date **MD** cu viteza ridicată de comunicație, la care se adaugă comunicația cu sistemul de control mecatronic clasic **SCMC**, cu rolul de a asigura, prin interfețele de control funcții **ICF**, implementarea diferitelor metode de control suplimentare față de cele asigurate de sistemul de control mecatronic clasic **SCMC**, formând un sistem cu arhitectură deschisă **OAH**, în controlul robotului. Generarea referințelor de poziție și forță la sistemul de control clasic al robotului se realizează pe baza unor modelări matematice, cum ar fi metoda inferenței datelor, metoda fuzzy.

În continuare, este prezentat un exemplu de modelare matematică, care demonstrează capabilitatea tehnologică de realizare a modulului de interfață de control multifuncțional **ICMF**. Acesta constă într-un control fuzzy a mai multor interfețe de control funcții **ICF**. Într-un caz simplificat, considerăm o interfață de control funcții în poziție $X_1^P, X_2^P, \dots, X_m^P$ și altă interfață de control funcții în forță $X_1^F, X_2^F, \dots, X_m^F$, pe două niveluri de decizie diferite, pentru a determina viteza de deplasare a palpatorului (labei) piciorului unui robot. Controlul fuzzy pe

RO 123527 B1

1 două sau mai multe niveluri de decizie are baze de reguli multiple, unde rezultatul unei
inferențe a bazei de reguli este transmis la următorul nivel. În acest mod, dimensiunile cele
3 mai importante ale inferenței pot fi grupate în seturi mai mici și combinate cu regulile de
bază. În structura fuzzy astfel definită, rezultatele bazei de reguli ale controlului de poziție
5 **P** sunt transmise la baza de reguli de control poziție forță **PF**. Această structură este similară
cu o structură ierarhizată a reguletoarelor bazate pe caracteristice. În termenii controlului,
7 bazat pe caracteristicile funcțiilor de poziționare, **P** este de nivel înalt și asigură controlul
sistemului cu arhitectură deschisă **OAH**. Când apar perturbări dinamice sau sunt generate
9 comenzi, funcția principală este forța. În general, aceasta controlează sistemul, pentru a
evita instabilitățile. Controlul returnează baza de funcții **P**, când dinamica sistemului se
11 stabilizează. Ideea de bază a controlerului este de a asigura viteza pe fiecare axă pentru
abaterea dată în direcția corespunzătoare într-un mod euristic, în care un operator uman ar
13 putea asigura deplasarea robotului pe suprafețe de sprijin denivelate. Sarcina modulului de
interfață de control multifuncțional **ICMF** este, în acest caz, de a asigura abaterea măsurată
15 a variabilelor fuzzy, cum ar fi pozitiv mare (**PM**), și de a evalua regulile de decizie prin
inferența, astfel încât, în final, să poată stabili valoarea variabilei de ieșire, de exemplu,
17 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
19 specific. Se consideră abaterea în poziție a articulațiilor compliante **e**, rata abaterii în poziție
 Δe și forța de contact Δf , ca date de intrare. Valorile abaterilor detectate prin traductoare de
21 măsură **TM1-TMm** sunt cuantificate, în modulul de interfață de control multifuncțional **ICMF**,
într-un număr de puncte corespunzător elementelor universului de discurs, iar apoi valorile
23 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,
25 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
27 valorile fuzzy, după cum urmează: **NM** - negativ mare, **N_M** - negativ mediu, **N_m** - negativ mic,
ZO - zero, **P_m** - pozitiv mic, **P_M** - pozitiv mediu, **PM** - pozitiv mare. Din analiza bazei de reguli,
29 s-a observat că bucla de reacție în forță este în funcție de rezultatele inferenței din controlul
fuzzy al componentei **P**. Baza de reguli **P** poate fi ușor modificată de la o bază de reguli
31 tipică, liniară, permițând 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
33 s-a stabilizat, ceea ce înseamnă că atât eroarea, cât și schimbările termenilor de eroare,
corespund domeniului **ZO**. Pentru un anume set de intrări, de exemplu, abaterea măsurată,
35 evaluarea regulilor fuzzy produce un set fuzzy de grade de apartenență pentru acțiunile de
control generate de modulul de interfață de control multifuncțional **ICMF**. Pentru a lua o
37 acțiune concretă, trebuie aleasă una dintre aceste valori. S-a selectat valoarea de control cu
cel mai mare grad de apartenență. Regulile sunt evaluate la intervale egale, în același fel ca
39 un sistem de control convențional. Rezultatul inferenței logice reprezintă tot valori fuzzy, care
se aplică modulului de defuzificare. Defuzificarea reprezintă o transformare a valorilor fuzzy,
41 definită pe universul de discurs al ieșirii, într-o valoare numerică. Această procesare este
necesară, deoarece controlul, în cazul reguletoarelor fuzzy, se face numai cu valori cript.
43 Alegând ca metodă de defuzificare metoda centrului de greutate a ariei, calculul ieșirilor
defuzificate sunt date de relația:

45

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

47

49

RO 123527 B1

Pentru un univers de discurs discret al ieșirii U , relația de calcul al centrului de greutate se reduce la relația:

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

Alegerea unui univers de discurs discret permite folosirea interferențelor de control multifuncțional **ICMF**, pentru generarea variabilelor fuzzy de ieșire cu un timp de procesare redus. Prin aplicarea controlului logic fuzzy, se obține o trecere lină, fără discontinuități, de la controlul în poziție la controlul în forță și poziție. Mai mult, se obține un răspuns rapid al buclei de control, iar instabilitățile sunt practic eliminate.

Brevetul propus are la bază numeroase cercetări multidisciplinare, cu contribuții de cercetarea fundamentală și capabilități tehnologice în numeroase domenii: industria nucleară pentru transport materiale nucleare, asistență medicală pentru persoane handicapate, agricultură și silvicultură, inspecții în zone greu accesibile, nano-micro tehnologii etc. Sistemul de control, în timp real, cu arhitectură deschisă **OAH**, a roboților, asigură flexibilitate, răspuns rapid, precizie în atingerea țintelor și repetabilitate în execuția programelor de mișcare ale robotului, cu eliminarea completă a sistemelor închise care conțin scheme dedicate unei anumite aplicații. Dezvoltări ulterioare în vederea creșterii performanțelor sau suplimentari cu funcții noi sunt asigurate numai prin modificări de programele soft, aferente interfețelor de control funcții **ICF**, din sistemul cu arhitectură deschisă **OAH**. Exemplele de module descrise vor să arate capabilitatea tehnologică de realizare atât a modulelor, cât și a dispozitivului de control, în timp real, al roboților, prin proiecție virtuală.

Revendicări

1
3 1. Metodă de control, în timp real, al roboților, prin proiecție virtuală, **caracterizată**
5 **prin aceea că**, în vederea îmbunătățirii performanțelor în controlul nano/micro/macro
7 manipuletoarelor și roboților, în absența structurii mecanice, se asigură proiectarea, testarea
și experimentarea metodelor de control pe un sistem de control mecatronic clasic (**SCMC**),
fără a fi necesară modificarea structurii hardware a acestuia, prin parcurgerea următoarelor
faze, în dezvoltarea respectivului sistem de control:

9 i. se realizează proiecția virtuală a structurii mecanice, determinată matematic, pe
terminalul grafic de computer (**TGC**), printr-o interfață de control virtual (**ICV**), care permite
11 modelarea matematică, pentru reprezentarea grafică a structurii mecanice, și care constă
în reprezentarea grafică atât a traiectoriei de mișcare, reale și de referință, pe fiecare axă a
13 elementelor componente, cât și a forțelor, reale și de referință, din articulațiile structurii
mecanice, reprezentare obținută prin: 1. prelucrarea datelor $X_1^P, X_2^P \dots X_m^P$ și $X_1^F,$
15 $X_2^F \dots X_m^F$, generate de traductoarele de măsură (**TM1-TMm**), de poziție și de forță, cupla-
te pe actuatorii robotului, și 2. a semnalelor de referință a poziției X_R^P și forței X_R^F ,
17 pentru sistemul de control robot;

19 ii. se generează o bază (baze) de date, pentru memorarea eșantionată a semnalelor
de intrare, $X_1^P, X_2^P \dots X_m^P$ și $X_1^F, X_2^F, \dots X_m^F$, care să permită vizualizarea, în timp
real sau în reluare (play-back), cu viteza modificată, a detaliilor mișcării structurii mecanice;

21 iii. dezvoltarea unui sistem de control cu arhitectură deschisă (**OAH**), compus din
sistemul de control clasic (**SCMC**) al robotului, în care generarea traiectoriei de mișcare și
23 a forțelor se face prin metode clasice de control, cum ar fi metoda Denevit-Hartenberg și/sau
metoda teach-in, la care se adaugă o interfață de control hibrid poziție - forță;

25 iv. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă (**OAH**), prin adăugarea
unei interfețe cu funcții de urmărire a unui contur;

27 v. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă (**OAH**), prin adăugarea
unei interfețe cu tipul de mers al robotului, cum ar fi mersul tripod la un robot pășitor;

29 vi. dezvoltarea sistemului de control cu arhitectură deschisă (**OAH**), prin adăugarea
interfețelor pentru controlul centrului de greutate, și orientarea prin prelucrări de imagini;

31 vii. generarea referințelor de poziție X_R^P și forța X_R^F la sistemul de control clasic
al robotului (**SCMC**) prin schimb de date între interfețele de control funcții (**ICF1-ICF_n**),
33 prezentate în secvențele iii - vi, pe baza unor modelări matematice, cum ar fi metoda
inferenței datelor, metoda fuzzy;

35 viii. funcționarea fără sarcină a modulelor servoactuatori (**MS1-MSm**) ale robotului,
care corespunde deplasării unui robot în stare de imponderabilitate, și repetarea secvențelor
37 ii - vii, efectuând simultan metodele de control în timp real, până ce performanțele în controlul
robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință X_R^P și mișcările rezultate $X_1^P,$
39 $X_2^P, \dots X_m^P$ prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită;

41 ix. funcționarea cu sarcină constantă a modulelor servoactuatori (**MS1-MSm**) ale
robotului, comandat de un modul controler de sarcină (**MCS**) și repetarea secvențelor ii - vii,
efectuând simultan metodele de control în timp real, până ce performanțele în controlul

RO 123527 B1

robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință X_R^P și mișcările rezultate X_1^P , 1
 $X_2^P \dots X_m^P$ prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită;

x. funcționarea cu sarcină variabilă a modulelor servoactuatoriale (**MS1-MSm**) ale 3
robotului, care corespunde unei deplasări reale a unui robot, cu fluctuații de sarcină datorate 5
mediului înconjurător, comandat de modulul controler de sarcină (**MCS**), prin procesarea 7
semnalelor X_R^S , cu valori variabile generate, pe baza unor măsurători anterioare, de modulul 9
de control multifuncțional (**ICMF**), în corelație cu referințele de poziție X_R^P și forță X_R^F , cu 11
repetarea secvențelor ii - vii, efectuând simultan metodele de control în timp real, până ce 13
performanțele în controlul robotului, respectiv, erorile între mișcările de referință X_R^P și 15
mișcările rezultate $X_1^P, X_2^P, \dots, X_m^P$ prin proiecție virtuală, intră în gama de erori dorită.

2. Dispozitiv de control, în timp real, al roboților, prin proiecție virtuală, **caracterizat** 11
prin aceea că, în vederea îmbunătățirii performanțelor în controlul nano/micro/macro 13
manipulatoarelor și roboților, în absența structurii mecanice, este alcătuit dintr-un modul de 15
interfață de control virtual (**ICV**), care are m intrări, semnalele de poziție X_m^P și forță X_m^F , primite 17
de la m module traductoare de măsură (**TM**) și două semnale de referință, poziție X_R^P și forță 19
 X_R^F , primite de la modulul de interfață control multifuncțional (**ICMF**), cu rolul de a realiza 21
proiecția virtuală a robotului pe terminalul grafic de computer (**TGC**) și generarea de bază 23
(baze) de date, pentru memorarea eșantionată a semnalelor de intrare, unde m reprezintă 25
gradele de libertate ale robotului și semnalele de referință, un modul terminal grafic de computer 27
(**TGC**) primește informațiile de poziție X_m^P și forță X_m^F de la modulul de interfață, de control 29
virtual (**ICV**), și printr-un program soft, asigură reprezentarea grafică în spațiul de mișcare 31
al robotului, cu rolul de analiză a mișcării structurii mecanice și reglare a parametrilor de control 33
al sistemului de control mecatronic clasic (**SCMC**), un număr de m module, traductoare de 35
măsură (**TM**), transformă pozițiile X_m^P , pe cele m grade de libertate și forțele X_m^F , în cele 37
 m articulații ale robotului, în semnale de măsură și le transmite la modulul de interfață control 29
virtual (**ICV**), un sistem de control mecatronic clasic (**SCMC**) care primește semnalele de 31
referință poziție X_R^P și forță X_R^F de la modulul de interfață control multifuncțional (**ICMF**), 33
 m semnale de poziții actuale X_m^P , ale structurii mecanice și m semnale ale forțelor actuale X_m^F 35
în articulațiile structurii mecanice și transmite m semnale de control al celor m module 37
servoactuatoriale (**MS**), cu rolul de a asigura controlul, în timp real, al robotului, un număr de 29
 m module servoactuatoriale (**MS**), cu rolul de a asigura acționarea structurii mecanice a robotului, 31
în faza de implementare, care primesc semnale de control de la sistemul de control mecatronic 33
clasic (**SCMC**), pe care sunt cuplate cele m module traductoare de măsură (**TM**) și care sunt 35
cuplate rigid de m actuatoriale de sarcină (**AS**), un număr de m module actuatoriale de sarcină 37
(**AS**), cuplate rigid cu cele m module servoactuatoriale (**MS**), care primesc semnale de control 29
de la un modul controler de sarcină (**MCS**), cu rolul de a asigura funcționarea în sarcină a 31
celor m module servoactuatoriale (**MS**), un modul controler de sarcină (**MCS**) care primește 33
referința de poziție X_R^P și forță X_R^F , precum și un semnal de referință X_R^S , pentru generarea 35
37

RO 123527 B1

1 sarcinii modulelor servoactuator (MS), de la interfața de control multifuncțional (ICMF), cu
rolul de a asigura controlul, în timp real, și funcționarea, în sarcină, a celor m module actuator
3 de sarcină (MS), un modul interfață de control multifuncțional (ICMF), care generează referințele
de poziție X_R^P și de forță X_R^F , la sistemul de control mecatronic clasic (SCMC), asigură
5 controlul în timp real, controlul priorităților și gestionarea schimbului de informații între un număr
de n interfețe de control funcții (ICF), conectate între ele printr-o magistrală de date (MD) cu
7 viteză ridicată de comunicație, la care se adaugă comunicația cu sistemul de control mecatronic
clasic (SCMC), cu rolul de a asigura, prin interfețele de control funcții (ICF), implementarea
9 metodelor de control suplimentare față de cele asigurate de modulul de control mecatronic
clasic (SCMC), formând un sistem cu arhitectură deschisă (OAH) în controlul robotului, un
11 număr de n interfețe de control funcții (ICF), care asigură un număr de n funcții de control
suplimentare față de cele asigurate de modulul de control mecatronic clasic (SCMC), comunică
13 între ele, împreună cu modulul de interfață control multifuncțional (ICMF), printr-o magistrală
de date (MD) cu viteză ridicată de comunicație, cu rolul de a permite implementarea metodelor
15 de control hibrid forță-poziție, funcțiilor de urmărire a unui contur, mersul tripod al unui robot
pășitor, controlul centrului de greutate, orientarea prin prelucrări de imagini.

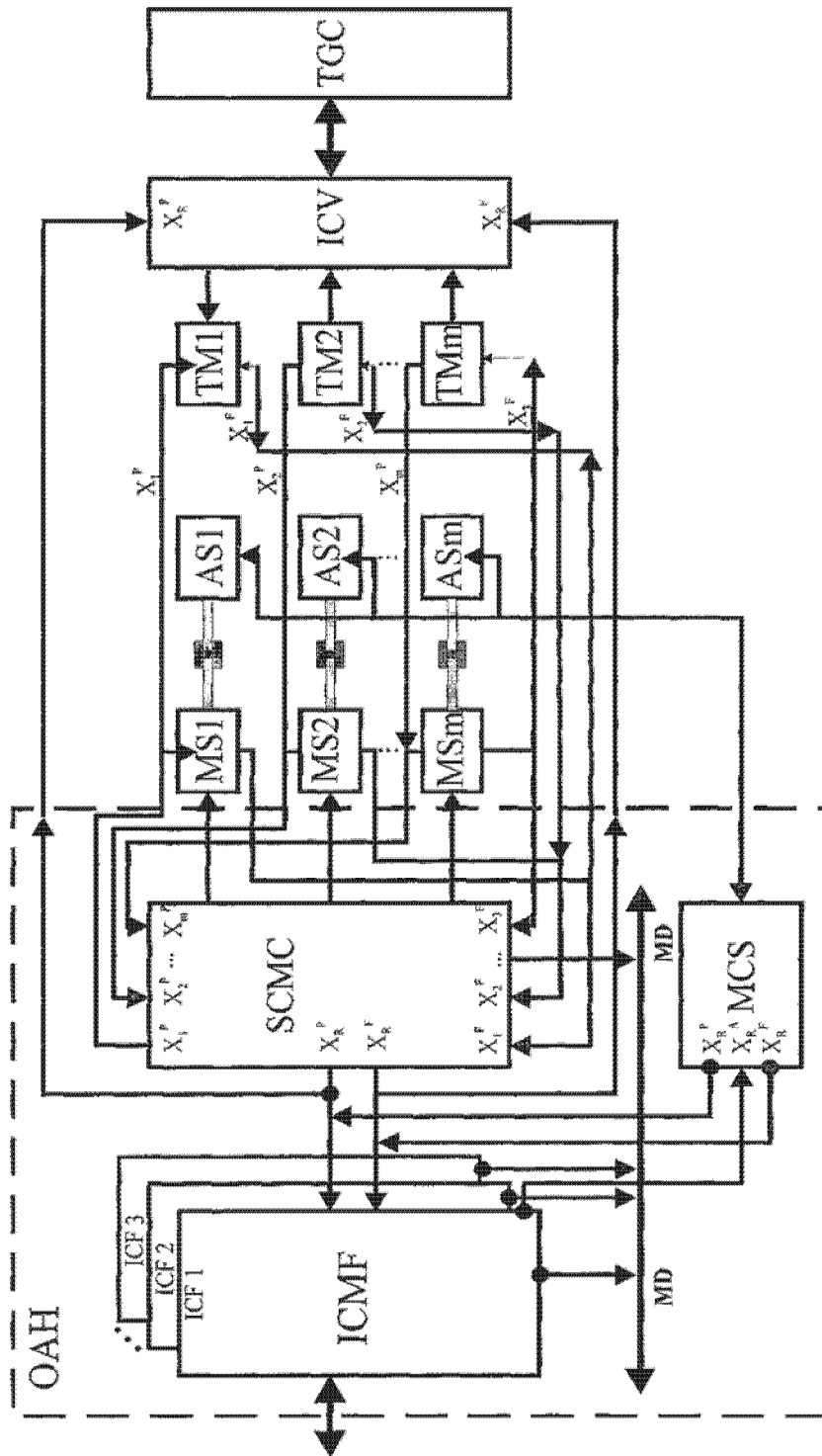


Fig. 1

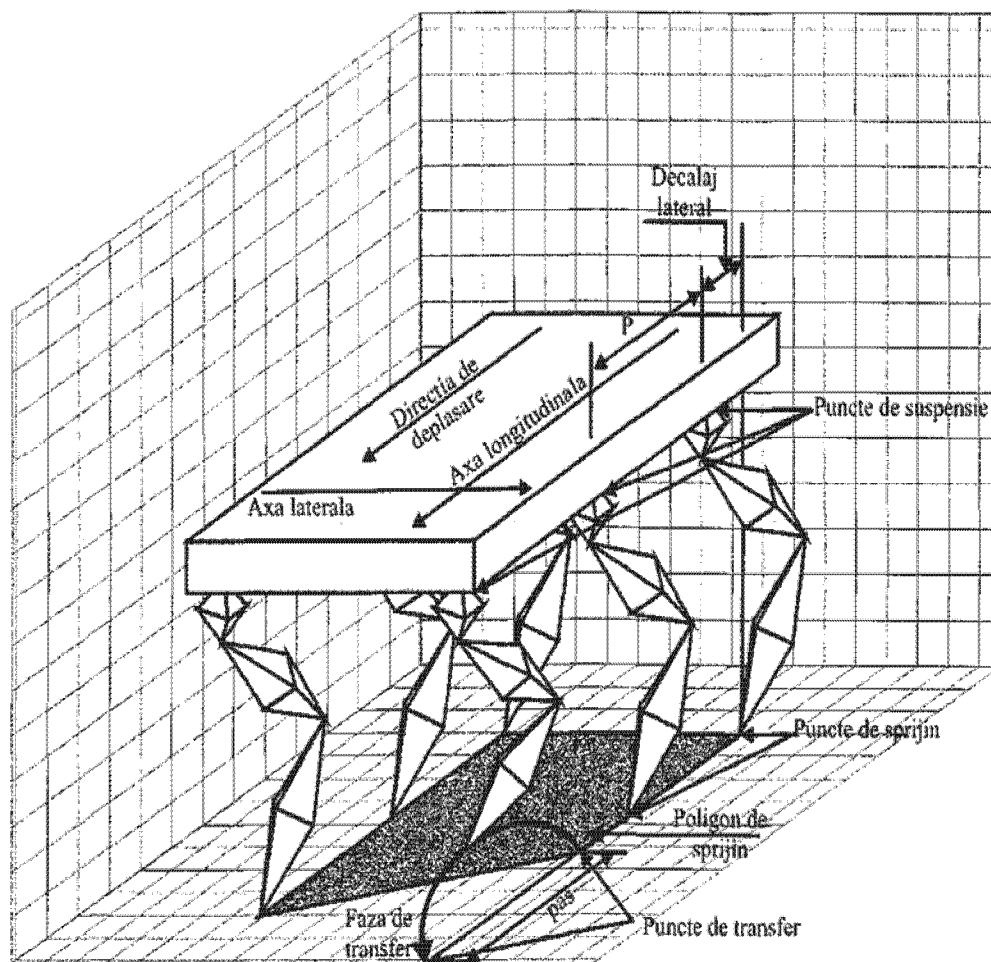


Fig. 2



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 312/2012