



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00008**

(22) Data de depozit: **08.01.2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29.01.2016** BOPI nr. 1/2016

(41) Data publicării cererii:
30.07.2010 BOPI nr. 7/2010

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII -
INCDMTM BUCUREȘTI,
ȘOS.PANTELIMON NR.6-8, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **MĂRGĂRITescu MIHAI,
STR. ALEXANDRU CEL BUN NR.2, BL.T 50,
SC.1, ET.8, AP.27, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **BRIȘAN CORNEL, STR.DOROBANȚILOR
NR.89, BL.X 3, SC.1, AP.5, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO;**
• **PANAITOPOL HORIA,
STR. VATRA LUMINOASĂ NR.28, BL.P 7,
SC.A, AP.1, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 2003/0106230 A1; US 5354158

(54) **SISTEM DE POZIȚIONARE ROBOTIC MULTI HEXAPOD**



RO 125589 B1

1 Invenția se referă la un sistem de poziționare robotic multihexapod, format din două
sau mai multe platforme hexapod tip Stewart-Gough suprapuse. Acestea sunt sisteme de
3 poziționare cu șase grade de libertate, și sunt cunoscute prin precizia și robustețea
poziționării.

5 Primele utilizări practice ale platformelor hexapod tip Stewart-Gough au avut loc după
anul 1965, în domeniul simulatoarelor de zbor. Cele mai noi cercetări vizează realizarea de
7 platforme acționate cu actuatori piezoelectrice, pentru aplicații în domeniul nanodeplasărilor.

Cele mai multe module hexapod existente sunt realizate în două construcții:

9 a) cuplele de pe platforma inferioară (fixă) sunt cuple sferice, care permit trei rotații
ortogonale, iar cuplele de pe platforma superioară (mobilă) sunt cuple cardanice, care permit
11 două rotații ortogonale sau invers; translațiile sunt asigurate de cuple de translație prismatice
(permit doar translația); această soluție prezintă dezavantajul că utilizează două tipuri de
13 cuple de rotație, sferice și cardanice, ceea ce complică astfel construcția;

15 b) cuplele inferioare și superioare sunt cuple cardanice, iar translațiile sunt asigurate
de cuple de translație cilindrice (care permit și o rotație și o translație); dezavantajul acestei
17 soluții este că nu se pot utiliza anumite tipuri de motoare liniare care corespund cinematic
cuplelor prismatice.

19 Principalul dezavantaj al platformelor Stewart-Gough singulare este spațiul de
operare relativ limitat.

21 O astfel de platformă se regăsește în documentul **US 20030106230 A1** și se referă
la un micromanipulator care cuprinde un hexapod prevăzut cu un tip de mecanism paralel,
iar fiecare legătură cinematică a hexapodului cuprinde un motor piezometric liniar.
23 Configurația tehnică obținută prin combinația realizată între mecanismul paralel și motoarele
piezometrice liniare permite mișcarea acesteia cu rezoluția de 10 mm sau mai mare. În plus,
25 fiecare micromanipulator are șase grade de libertate.

27 În documentul **US 5354158** este prezentată o mașină unealtă care conține o pereche
de platforme Stewart-Gough distanțate între ele, prin intermediul a șase picioare, motorizate
și extensibile cu ajutorul unor cilindri hidraulici. Platforma superioară conține o unealtă fixată
29 în axul vertical, iar platforma inferioară conține fixată în axul vertical o piesă de prelucrat.
Lungimea picioarelor poate fi modificată individual, astfel încât poziția platformei și poziția
31 uneltei față de piesa de prelucrat să fie modificate în funcție de cele șase grade de libertate
ale ansamblului.

33 Problema tehnică pe care invenția își propune să o rezolve constă în realizarea unui
sistem de poziționare robotic cu mobilitate extinsă, pentru intervenții în spații greu accesibile.
35 Soluția la această problemă este asigurată de sistemul robotic având caracteristicile tehnice
prezentate în revendicarea independentă 1. Sistemul robotic este format dintr-o structură
37 mecanică ce include sistemul de acționare cu motoare liniare, sistemul de comandă al
mișcărilor și programul de comandă. Structura mecanică este formată din două sau mai
39 multe platforme hexapod identice, suprapuse, numite module hexapod. Numărul de grade
de libertate al sistemului este $6n$, unde n este numărul de module. Dacă se impune condiția
41 ca toate modulele să aibă configurații identice, numărul de grade de libertate al sistemului
se reduce la 6, indiferent de numărul de module.

43 Sistemul de poziționare robotic multihexapod este compus din module realizate în
următoarea construcție: cuplele inferioare și superioare sunt cuple cardanice, iar arborele
45 motorului este fixat de cupla cardanică superioară prin intermediul unui rulment radial,
motorul liniar fiind echivalent cinematic cu o cuplă prismatică; această soluție simplifică astfel
47 construcția și permite miniaturizarea, comparativ cu soluțiile existente. Din punct de vedere
constructiv, suportul motorului asigură coaxialitatea între cuplajul cardanic inferior și arborele
49 motorului.

RO 125589 B1

Gradul de mobilitate M al modulului hexapod se calculează cu formula: 1

$$M = 6 \cdot n - \sum_{m=1}^5 m \cdot N_m \quad (1) \quad 3$$

unde n este numărul de elemente mobile, iar N_m - numărul de cuple de clasa m . 5

În construcția propusă, modulul de translație se constituie din trei elemente cinematice: 7

- suportul motorului + corpul motorului; 9
- arborele motorului + adaptor arbore motor + inel exterior rulment; 9
- inel interior rulment + adaptor cuplaj cardanic. 9

Astfel, cele 6 picioare reprezintă 18 elemente, iar platforma mobilă, cel de-al 19-lea, adică $n = 19$. Așadar avem următoarele cuple cinematice: 11

- 12 cuple cardanice de clasa 4; 13
- 6 cuple de translație pură (motoarele liniare) de clasa 5; 13
- 6 cuple de rotație (rulmenții) de clasa 5. 15

Gradul de mobilitate devine astfel: 17

$$M = 6 \cdot 19 - (4 \cdot 12 + 5 \cdot 6 + 5 \cdot 6) = 114 - (48 + 30 + 30) = 114 - 108 = 6 \quad (2) \quad 19$$

ceea ce corespunde cu numărul de elemente de acționare al modulului hexapod.

Modulele hexapod se assemblează prin intermediul unor elemente de legătură care sunt concepute și dimensionate astfel încât asigură poziționarea relativă precisă a două module alăturate, unul în raport cu celălalt, permit asamblarea numărului de module hexapod dorit, și asigură coplanaritatea centrelor cuplelor cardanice superioare ce aparțin modulului inferior, și a centrelor cuplelor cardanice inferioare ale modulului superior; aceasta este o condiție ce derivă din modelul teoretic. 21

Dezvoltarea invenției este rezultatul următoarelor premise teoretice: 27

Pentru a defini poziția platformei, se utilizează trei parametri: coordonatele x, y, z ale centrului platformei; pentru a defini orientarea platformei, se introduc trei unghiuri independente (unghiurile lui Euler): 29

- ψ - unghiul de rotație în jurul axei verticale fixe; 31
- θ - unghiul de înclinare al platformei în jurul unei axe orizontale rotite cu unghiul ψ ; 31
- ϕ - unghiul de rotație proprie al platformei în jurul axei perpendiculară în centrul platformei. 33

Pentru a stabili coordonatele vârfurilor hexagoanelor B_{1i} și B_{2i} , $i = 1 \dots 6$, se utilizează o metodă matriceală, cu notațiile: 35

$$[V] = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad [\psi] = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\theta] = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad [\phi] = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad 39$$

$[V]$ fiind vectorul de poziție, iar $[\psi]$, $[\theta]$, $[\phi]$ - matricele de rotație elementare. 43

Se definesc următoarele sisteme de coordonate (fig. 1): sistemul fix $O_0x_0y_0z_0$, sistemul $O_1x_1y_1z_1$ atașat platformei mobile intermediare 1 și sistemul $O_2x_2y_2z_2$ atașat platformei mobile finale 2. 45

RO 125589 B1

1 Plecând de la poziția și orientarea platformei 2, definită de coordonatele centrului său
 $x_{o_2}^0, y_{o_2}^0, z_{o_2}^0$ în sistemul $O_0x_0y_0z_0$ și unghiurile de orientare $\psi_2^0 = \Psi, \theta_2^0 = \Theta, \varphi_2^0 = \Phi$

3 față de același sistem, trebuie determinați parametri analogi pentru:

- platforma intermediară 1 în raport cu sistemul $O_0x_0y_0z_0: x_{o_1}^0, y_{o_1}^0, z_{o_1}^0$, respectiv,

5 $\psi_1^0, \theta_1^0, \varphi_1^0$;

- platforma finală 2 în raport cu sistemul $O_1x_1y_1z_1: x_{o_2}^1, y_{o_2}^1, z_{o_2}^1$, respectiv,

7 $\psi_2^1, \theta_2^1, \varphi_2^1$.

Pentru un punct oarecare P avem următoarele relații între coordonatele sale exprimate
 9 vectorial $[V_p^0], [V_p^1], [V_p^2]$ în sistemele $O_0x_0y_0z_0, O_1x_1y_1z_1$, respectiv,

$O_2x_2y_2z_2$:

$$11 [V_p^0] = [V_{o_1}^0] + [\psi_1^0] \cdot [\theta_1^0] \cdot [\varphi_1^0] \cdot [V_p^1] \quad (3)$$

$$[V_p^1] = [V_{o_2}^1] + [\psi_2^1] \cdot [\theta_2^1] \cdot [\varphi_2^1] \cdot [V_p^2] \quad (4)$$

$$13 [V_p^0] = [V_{o_2}^0] + [\psi_2^0] \cdot [\theta_2^0] \cdot [\varphi_2^0] \cdot [V_p^2] = [V_{o_2}^0] + [\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi] \cdot [V_p^2] \quad (5)$$

Pentru configurații identice, avem distanțe identice $O_0O_1 = O_1O_2$, adică:

$$15 [V_{o_1}^0] = [V_{o_2}^1] \quad (6)$$

$$\text{și unghiuri identice } \psi_1^0 = \psi_2^1 = \psi, \theta_1^0 = \theta_2^1 = \theta, \varphi_1^0 = \varphi_2^1 = \varphi \quad (7)$$

17 Înlocuind relația (4) în (3) și ținând seama de (6) și (7), obținem:

$$[V_p^0] = [V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot ([V_{o_2}^1] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_p^2]) =$$

$$19 [V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot ([V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_p^2]) = \quad (8)$$

$$[V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_{o_1}^0] + ([\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi])^2 \cdot [V_p^2]$$

21 Ținând seama de relația (5), obținem identitatea:

$$[V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_{o_1}^0] + ([\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi])^2 \cdot [V_p^2] = [V_{o_2}^0] + [\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi] \cdot [V_p^2] \quad (9)$$

23 Dar, particularizând $P = O_2$ în relația (1) și ținând seama de (4), avem

$$[V_{o_2}^1] = [V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_{o_2}^1] = [V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_{o_1}^0] \quad (10)$$

25 Înlocuind relația (10) în (9), obținem

$$([\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi])^2 \cdot [V_p^2] = [\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi] \cdot [V_p^2] \quad (11)$$

27 sau

$$([\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi])^2 = [\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi] \quad (12)$$

29 Rezultă relația finală

$$[\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] = \sqrt{[\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi]} \quad (13)$$

RO 125589 B1

Utilizând aceeași metodă, relația (13) poate fi generalizată pentru un sistem cu n module: 1

$$[\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] = \sqrt[n]{[\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi]} \quad 3$$

Se determină apoi coordonatele punctelor B_{1i} și B_{2i} , $i = 1 \dots 6$:

$$[V_{B_{2i}}^0] = [V_{o_2}^0] + [\Psi] \cdot [\Theta] \cdot [\Phi] \cdot [V_{B_{2i}}^2] \quad (15) \quad 5$$

$$[V_{B_{1i}}^0] = [V_{o_1}^0] + [\psi] \cdot [\theta] \cdot [\varphi] \cdot [V_{B_{1i}}^1] \quad (16) \quad 5$$

Din relațiile (15) și (16) se deduc lungimile picioarelor platformelor, adică mărimile de comandă. 7

Sistemul de poziționare robotic multihexapod, conform invenției, prezintă următoarele avantaje: 9

- permite extinderea spațiului de operare, adică mărirea deplasărilor și înclinărilor platformei finale; 11

- poate fi comandat astfel încât să realizeze poziționarea și orientarea platformei utile prin șase parametri de comandă, indiferent de numărul de module hexapod, impunând condiția ca toate modulele hexapod să aibă configurații geometrice identice la un moment dat. 15

Se prezintă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției pentru două module hexapod, în legătură cu fig. 2...5, ce reprezintă: 17

- fig. 2, vedere a unui sistem de poziționare robotic dublu hexapod; 17

- fig. 3, vedere a unui modul hexapod; 19

- fig. 4, secțiune axială printr-un modul de translație (picior al modulului hexapod);

- fig. 5, detaliu al secțiunii axiale prin modulul de translație în zona cuplei de rotație. 21

Sistemul de poziționare robotic dublu hexapod este format din modulele hexapod 1 identice, din trei elemente de legătură 2 dispuse la 120° , fixate cu șuruburile 3 și 4; fiecare modul hexapod este compus dintr-o platformă fixă 5 și una mobilă 6, unite prin șase picioare de lungime variabilă, numite module de translație 7. 23

Fiecare modul de translație este compus din motorul electric liniar 8, montat pe suportul 9, din adaptorul 10 pe care se fixează rulmentul radial 11, montat în caseta 12; modulul de translație este fixat pe platforma fixă 5 și pe platforma mobilă 6 prin intermediul a două cuplaje cardanice 13, respectiv, 14. Suportul 9 asigură coaxialitatea între arborele motorului liniar 8 și cuplurile cardanice 13 și 14. Elementele de legătură 2 asigură coplanaritatea centrelor cuplurilor cardanice superioare 14, ce aparțin modulului inferior, și a centrelor cuplurilor cardanice inferioare 13 ale modulului superior. 31

Sistemul de poziționare robotic multihexapod poate fi comandat astfel încât să realizeze poziționarea și orientarea suprafeței utile a prin numai șase parametri de comandă, indiferent de numărul de module hexapod 1; acest lucru se realizează prin impunerea condiției ca toate modulele hexapod să aibă configurații geometrice identice la un moment dat, ceea ce se obține prin utilizarea relației 14 în algoritmul de comandă. 33

35

37

RO 125589 B1

1

Revendicări

3

1. Sistem de poziționare robotic multihexapod, compus dintr-o multitudine de module hexapod (1) identice, care au în componență o platformă inferioară fixă (5) și o platformă superioară mobilă (6), platformele (5, 6) fiind legate între ele prin intermediul a șase module de translație (7), cuprinzând o cuplă cardanică inferioară (13), fixată pe platforma inferioară fixă (5), o cuplă cardanică superioară (14), fixată pe platforma superioară mobilă (6), și un motor electric liniar (8), montat pe un suport (9), care asigură coaxialitatea între arborele motorului liniar (8) și cuplele cardanice (13, 14), **caracterizat prin aceea că** modulele hexapod (1) sunt asamblate între ele intercalat, astfel încât platforma inferioară fixă (5) a modulului superior este poziționată sub platforma superioară mobilă (6) a modulului anterior, prin intermediul a trei elemente de legătură (2), dispuse la 120°, și al unor șuruburi (3, 4) care asigură coplanaritatea centrelor cuplelor cardanice superioare (14), care aparțin modulului hexapod inferior, și a centrelor cuplelor cardanice inferioare (13), care aparțin modulului hexapod superior următor.

9

11

13

15

17

19

2. Sistem conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** poziționarea și orientarea platformei mobile superioare (6), din componența ultimului modul hexapod (1), este realizată prin utilizarea unui program de calcul cu șase parametri de comandă, și prin impunerea condiției ca toate modulele hexapod (1) să prezinte inițial configurații geometrice identice.

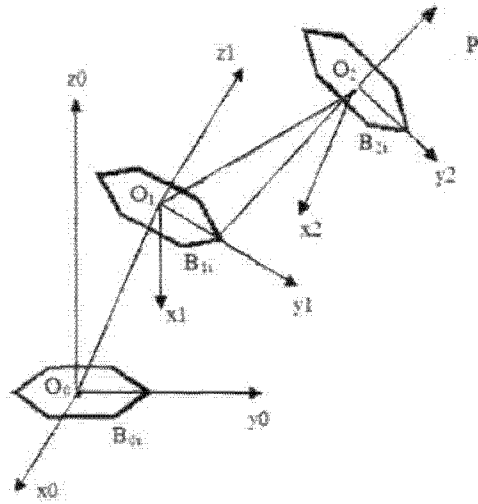


Fig. 1

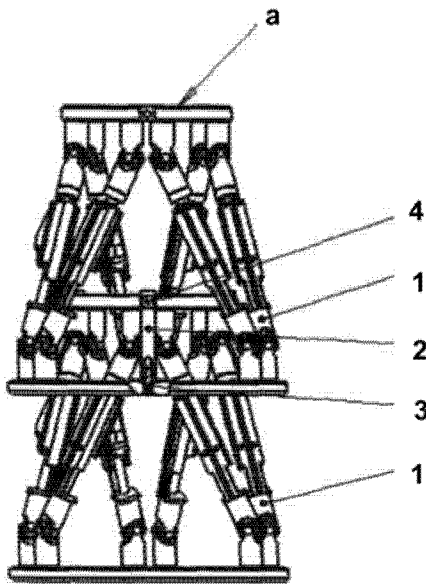


Fig. 2

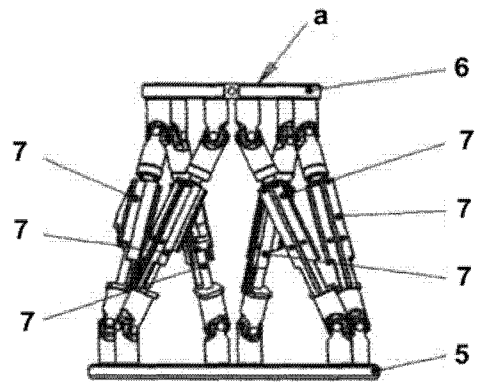


Fig. 3

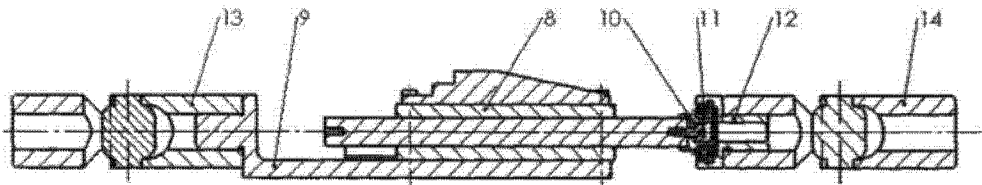


Fig. 4

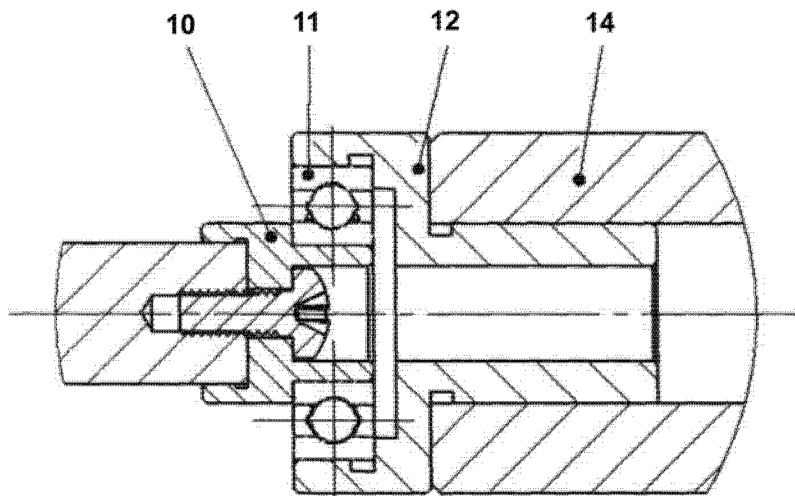


Fig. 5

