



(11) **RO 130159 B1**

(51) **Int.Cl.**

B25J 9/16 (2006.01),
B25J 13/08 (2006.01),
G05B 19/02 (2006.01),
G06F 3/01 (2006.01)

(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00577**

(22) Data de depozit: **29/07/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/06/2022** BOPI nr. **6/2022**

(41) Data publicării cererii:
30/04/2015 BOPI nr. **4/2015**

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

(72) Inventatori:
• **VLĂDĂREANU LUIGE, STR. GOLOVITA
NR. 34-36, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MUNTEANU RADU IOAN,
STR.ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL.LAMA C,
AP.65, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
• **SHUANG CANG, BOURNEMOUTH
UNIVERSITY, POOL, DORSET, GB, GB;**
• **HONGNIAN YU, BOURNEMOUTH
UNIVERSITY POOL, DORSET, GB;**

• **HONGBO WANG, YANSHAN
UNIVERSITY, QINHUANGDAO, CN;**
• **VLĂDĂREANU VICTOR,
CALEA CRÂNGAȘI NR. 48, BL. 7, ET. 2,
AP. 47, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **HOU ZENG-GUANG, 95
ZHONGGUANGCUN EAST ROAD, BEIJING,
CN;**
• **MELINTE OCTAVIAN,
PIAȚA ALEXANDRU LAHOVARI NR. 1A,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **WANG XIAOJIE, YANSHAN UNIVERSITY,
QINHUANGDAO, CN;**
• **BIA GUIBIN, 95 ZHONGGUANGCUN
EAST ROAD, BEIJING, CN;**
• **FENG YONGFEI, YANSHAN UNIVERSITY,
QINHUANGDAO, CN**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
JP 211056624 (A); KR 20140009737 (A)

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU CONTROLUL ROBOTULUI
HAPTIC PE TERENURI DENIVELATE ȘI MEDII INCERTE**



RO 130159 B1

1 Invenția se referă la o metodă și dispozitiv pentru controlul haptic destinată deplasării și navigării roboților pe terenuri denivelate și medii incerte.

3 În ultimii ani, roboții mobili au căpătat o atenție deosebită în rândul comunității de cercetare precum și în industria producătoare, rezultând o dezvoltare deosebită din punct de vedere hardware și software. Câteva aplicații de mare interes pentru cercetători sunt: activități periculoase de detecție a minelor antipersonal precum și alte dispozitive explozive, activități de supraveghere ("Remotec" a dezvoltat tehnologia "Marauder" care ulterior a condus la realizarea robotului Andros Mark V), activități de salvare în caz de calamități. În urma cutremurelor devastatoare din Japonia a fost dezvoltat un proiect internațional care reunește echipe de renume de cercetare din întreaga lume în realizarea roboților de căutare și salvare sub numele de „RoboCup-Rescue Project”, împărțit în două sub-proiecte unul de simulare multi-agent utilizând robot virtual, și cel de-al doilea axat pe dezvoltarea robotului real.

13 Roboții de control în timp real cu rețele comandate la distanță și capabilități de operatori umani joacă un rol de importanță crescută în medii și zone de hazard sau provocatoare pentru viețile oamenilor expuși la riscuri mari, cum ar fi activități în zone contaminate nuclear, incediu, zone calamitate după cutremure [1-3]. Cercetări enorme au condus la dezvoltarea diferitelor tipuri de roboți cu capacitate de sesizare, transport și manipulare pentru diferite aplicații [4-9]. Roboții actuali se confruntă cu provocări nu numai în operații de căutare și salvare, cum ar fi dezastrul nuclear în Japonia din Martie 2011, dar și în interacțiunea și cooperarea cu oamenii. Dezvoltarea roboților mobili autonomi și controlabili de la distanță, care pot sprijini oamenii pentru a efectua operații de căutare și salvare în mediul contaminat nuclear, incendii sau zone calamitate după cutremure, a devenit o urgență și reprezintă o sarcină complexă [10-12].

25 Sunt cunoscute numeroase metode de control a roboților destinați deplasării și navigării pe terenuri denivelate și medii incerte care să permită îmbunătățirea mobilității și stabilității controlate prin metode inteligente de control: fuzzy [13-15], teoria extensiei [16-20, 23,24], logica neutrosifică (DSmT) [21,22], rețele neuronale [9, 27,28], rețele Petri modelate prin lanțuri Markov [9,25,26], metoda de control hibrid forța-poziție [3, 10, 29-33].

29 Dezavantajele soluțiilor cunoscute constau în faptul că nu se controlează rigiditatea articulațiilor tălpii piciorului și ale articulațiilor segmentelor robotului la detectarea unor denivelări în funcție de harta mediului robot și nu asigură controlul de la distanță a operatorului uman care să vadă harta mediului robot și simultan să simtă amortizarea mișcării piciorului robotului cu scopul de a genera pozițiile carteziene haptice pentru adaptarea mișcării roboților la terenuri denivelate și nestructurate.

35 Problema pe care o rezolvă invenția constă în adaptarea mișcării roboților la terenuri denivelate și nestructurate care să le permită acționarea în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este în pericol.

39 Metoda conform invenției, înlătură dezavantajele de mai sus în vederea adaptării mișcării roboților pe terenuri denivelate și nestructurate pentru intervenții în situații de criză sau dezastre naturale, prin aceea că robotul simte terenul pe care se deplasează prin modificarea rigidității articulațiilor tălpii piciorului și ale articulațiilor segmentelor robotului la detectarea unor denivelări în funcție de rigiditatea asociată K_{xc} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_c pe harta mediului robot, modificare care se produce din momentul atingerii terenului de talpa piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului, moment al atingerii detectat printr-un modul de telemetrie, care conduce succesiv la schimbarea schemei de mers a robotului, schimbarea buclei de control din poziție în forță și permite operatorului uman să controleze de la distanță mișcarea robotului, în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este în pericol, prin doi parametri,

RO 130159 B1

unul vizual și al doilea haptic, respectiv să vadă harta mediului robot și simultan să simtă	1
amortizarea mișcării piciorului robotului la acționarea manetei dispozitivului haptic, acesta	
din urmă generând pozițiile carteziene haptice X_{CH} pentru adaptarea mișcării roboților la	3
terenuri denivelate și nestructurate.	
Harta mediului robotului este generată prin prelucrarea imaginilor de la o cameră	5
CCD, stabilizată, indiferent de direcțiile de mișcare a robotului, prin procesarea semnalelor	
primite de la un traductor gravitațional 3D (TGR3D) și/sau de la o busolă magnetică (TBM),	7
rezultând o interfață a hărții mediului robot tri-dimensional cu imagine stabilă la mișcările	
robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C ,	9
numită rigiditate asociată K_{X_C} .	
Amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului se	11
obține prin comutarea de la controlul în poziție la controlul în forță din momentul atingerii	
terenului de vârful sau partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al	13
segmentului tălpii piciorului.	
Schimbarea schemei de mers a robotului este o soluție tehnică de bio-inspirație de	15
la mersul uman și constă în atingerea terenului cu vârful tălpii piciorului și mișcare de	
amortizare până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate	17
și nestructurate, în raport cu mersul normal care constă în atingerea terenului cu partea	
posterioară a tălpii piciorului și mișcare de amortizare până la contactul complet al	19
segmentului tălpii piciorului pentru terenuri netede.	
Schimbarea buclei de control din poziție în foiță se realizează printr-un modul de con-	21
trol inteligent Σ și constă în controlul traiectoriei de mișcare a robotului în forță din momentul	
atingerii terenului de talpa piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului.	23
Controlul vizual al mișcării robotului de operatorul uman se realizează printr-o hartă	
haptică a mediului robot care este copia interfeței grafice 3D a hărții mediului robotului	25
transmisă la distanță utilizând module de comunicații.	
Controlul haptic al mișcării robotului de operatorul uman se realizează printr-un	27
dispozitiv haptic care permite operatorului uman să simtă amortizarea mișcării piciorului	
robotului și generează pozițiile carteziene de referință ale mișcării robotului numite poziții	29
carteziene haptice X_{CH}^H , pentru adaptarea mișcării roboților pe terenuri denivelate și	
nestructurate.	31
Modulul de telemetrie permite măsurarea distanței la segmentul tălpii piciorului prin	
utilizarea unui dispozitiv optic de scanare sau a unei a doua camere de vedere digitală care	33
împreună cu imaginile procesate de la camera CD1 prin triangulare permite calculul distanței.	
Poziția vârfului piciorului robotului se obține prin cinematica directă aplicată semna-	35
lelor de la traductoarele de poziție ale robotului.	
Rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C pe harta	37
mediului robot se obține prin alocarea fiecărui punct al hărții mediului robotului unui coeficient	
de rigiditate în funcție de rigiditatea mediului, aer sau sol, și identificarea poziției articulației	39
tălpii piciorului robotului X_C pe harta mediului robot, cu transmiterea hărții mediului robotului	
printr-un modul de comunicații WI-FI sau GPS/GPRS la un modul de monitorizare de la	41
distanță pentru operatorii umani.	
Secvențele metodei de control al robotului haptic pe terenuri denivelate și nestruc-	43
turate se realizează în succesiunea prezentată mai jos, respectiv:	
(i) se generează harta mediului robotului prin prelucrarea imaginilor de la o cameră	45
CCD, stabilizată indiferent de direcțiile de mișcare ale robotului prin procesarea semnalelor	
primite de la un traductor gravitațional 3D (TGR3D) și/sau de la o busolă magnetică (TBM)	47
și se măsoară distanța până la deniveare X_{TL} printr-un dispozitiv de telemetrie, cu	
transmiterea semnalului X_{HMR} a hărții mediului robotului printr-un modul de comunicații WI-FI	49
sau GPS/GPRS la un modul de monitorizare de la distanța pentru operatorii umani;	

RO 130159 B1

1 (ii) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i), poziția articulației tălpii
picioarului X_C în spațiul de mișcare a robotului prin procesarea semnalelor de la traductoarele
3 de poziții unghiulare ale articulațiilor segmentelor robotului și transformarea în spațiul
cartezian prin cinematica directă a robotului;

5 (iii) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i) și (ii) poziția vârfului tălpii
picioarului robotului X_{VF} în spațiul cartezian ținând cont de unghiul între segmentul picioarului
7 robotului și segmentul tălpii robotului prin procesarea semnalelor de la traductorul de
telemetrie sau de la o a doua cameră digitală care împreună cu imaginile procesate de la
9 prima cameră digitală prin triangulare permite calculul distanței, și se detectează momentul
atingerii terenului de vârful tălpii picioarului X_{VF} sau articulația tălpii picioarului X_C până la
11 contactul complet al segmentului tălpii picioarului prin compararea mărimilor X_{TL} cu X_{VF}
respectiv X_{TL} cu X_C ;

13 (iv) se determină rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației tălpii picioarului
 X_C pe harta mediului robot, prin alocarea fiecărui punct al hărții mediului robotului generată
15 în secvența (i) unui coeficient de rigiditate în funcție de rigiditatea mediului, aer sau sol, și
identificarea poziției articulației tălpii picioarului robotului X_C , calculat în secvența (ii), pe harta
17 mediului robot; acesta se calculează ținând cont de mărimea deviației dorite a segmentelor
picioarului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D , cu relația: $\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D$, unde K_w^{-1}
19 este matricea rigidității inverse a deviației segmentelor picioarului robotului ΔX_D la o forță de
contact dorită F_D ;

21 (v) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i), deviația actuală a
segmentelor picioarului robotului datorată forței de contact cu terenul ΔX^F , prin procesarea
23 semnalelor de la traductoarele de forță din articulațiile segmentelor picioarului robotului și se
generează eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F ca diferențe între
25 deviația dorită a segmentelor picioarului robotului ΔX_D determinată în secvența (iv) și deviația
actuală a segmentelor picioarului robotului ΔX^F determinată în această secvență; prin
27 aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea
unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ care trebuie aplicate actuatorilor de acționare ale
29 articulațiilor segmentelor picioarului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D ,
având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul și talpa picioarului robotului;

31 (vi) se comută schema de mers a robotului care constă în atingerea terenului cu
vârful tălpii picioarului și mișcare de amortizare până la contactul complet al segmentului tălpii
33 picioarului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv atingerea terenului cu partea
posteroară a tălpii picioarului și mișcarea de amortizare până la contactul complet al
35 segmentului tălpii picioarului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane;

(vii) se asigură bucla de control în poziție pentru mersul pe teren neted/plat, care este
37 bucla de control în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i) - (vi), permițând controlul
mișcării robotului până la atingerea terenului de talpa picioarului robotului; aceasta constă
39 dintr-un generator de traiectorie al mișcării picioarului robotului în coordonate carteziene
pentru traiectoria dorită, comparată cu poziției actuală a articulației tălpii picioarului X_C în
41 spațiul de mișcare al robotului, determinată în secvența (ii), pentru a se obține eroarea de
poziție în spațiul cartezian ΔX_p ; prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul
43 Jacobianului, se obține eroarea unghiulară $\Delta \Theta_p$; aceasta aplicată actuatorului de acționare
a articulațiilor segmentelor picioarului robotului permite urmărirea traiectoriei mișcării picioarului
45 robotului în poziție;

(viii) se comută controlul de la bucla de control în poziție la bucla de control în forță,
47 pe durata secvenței (iii), din momentul atingerii terenului de talpa picioarului până la contactul
complet al segmentului tălpii picioarului, prin generarea erorii unghiulare datorată forței de

RO 130159 B1

contact $\Delta\Theta_F$, determinată în secvența (v), printr-un modul de control inteligent Σ care asigură comutarea de la eroare de poziție $\Delta\Theta_P$, având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului în condiții de stabilitate și fără suprareglaje;	1
(ix) se generează în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i)-(v), harta haptică a mediului robot printr-un semnal X_{HMR}^H , obținut prin transmiterea la distanță a semnalului X_{HMR} utilizând modulele de comunicații, harta haptică care conține harta mediului robot cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , având ca scop controlul vizual de operatorul uman al mișcării robotului;	3
(x) se generează în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i)-(ix), pozițiile carteziene haptice X_{CH} printr-un dispozitiv haptic acționat de un operator uman care simte, în timpul manipulării manetei dispozitivului haptic, forța de reacție determinată de rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , simultan primind informații vizuale de la harta haptică a mediului robotului; pozițiile carteziene haptice X_{CH} reprezintă pozițiile carteziene de referință pentru generatorul traiectoriei de mișcare a segmentelor piciorului robotului care permit operatorului uman să controleze de la distanță mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este în pericol.	5
Se notează cu X_{CH}^H pozițiile carteziene haptice X_{CH}^H transmise prin modulul de comunicații operator și recepționate de modulul de comunicații robot, respectiv ΔX_F^H și X_{HMR}^H valorile ΔX_F și X_{HMR} transmise prin modulul de comunicații robot și recepționate de modulul de comunicații operator.	7
Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că este alcătuit dintr-un modul cameră digitală 1 montat pe robot, care recepționează din mediu robot imagini 3D și transmite digital imaginea mediului robot la un modul de procesare imagini și la un modul de control imagine de la care primește semnale de control pentru focalizare și zoom optic având ca scop optimizarea imaginii recepționate, un modul de telemetrie montat pe robot, care permite măsurarea distanței la segmentul tălpii piciorului prin utilizarea unui dispozitiv optic de scanare și transmite semnalele de măsură la modulul de control imagine, și/sau un al doilea modul camera digitală 2, montat pe robot, care împreună cu imaginile procesate de la camera CD1 prin triangulare permite calculul distanței, pe care îl transmite la modulul de procesare imagine.	9
Un modul traductor gravitațional 3D, care măsoară accelerația gravitațională pe cele trei direcții carteziene în spațiu a modulului cameră digitală 1, pe care o transmite la modulul de procesare imagini.	11
Un modul traductor busolă magnetică, care măsoară deviația față de nordul magnetic a modulului cameră digitală 1, pe care o transmite la modulul de procesare imagini.	13
Un modul de procesare imagini care primește semnale de la modulul cameră digitală 1 pe care îl procesează în vederea optimizării calității acestuia în funcție de nivelul de iluminare ambiental, de la un modul traductor gravitațional 3D și/sau un modul traductor busolă magnetică pe care le procesează într-un semnal video al mediului robot tri-dimensional cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se suprapune semnalul de distanță la segmentul tălpii piciorului de la modulul de telemetrie și/sau modul cameră digitală 2 pe care le transmite la modulul hartă mediu robot.	15
Un modul de control imagine care primește de la modulul cameră digitală 1 imaginea mediului robot și transmite semnale de control în buclă închisă pentru focalizare și zoom optic la modulul cameră digitală 1 cu scopul de optimizare a imaginii harții mediului robot.	17

RO 130159 B1

1 Un modul traductor poziție unghiulară, care măsoară poziția unghiulară din
articulațiile robotului pe care o transmite modulului de cinematică directă poziție.

3 Un modul de cinematică directă poziție care primește semnalele de poziție unghiulară
pe fiecare axă de libertate a segmentelor piciorului robotului de la modulul traductoare poziție
5 unghiulară, utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a structurii
mecanice a robotului, rezultând poziția articulației tălpii piciorului robotului X_C , pe care o
7 transmite la modulul hartă mediu robot.

Un modul hartă mediu robot care primește de la modulul de procesare imagini un
9 semnal video al mediului robot tri-dimensional, se suprapune semnalului de distanță al
poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C recepționat de la modulul de cinematică directă
11 de poziție, le transformă într-o interfață grafică a mediului robotului și, prin procesarea
semnalului de interfață grafică, rezultă o interfață a hartii mediului robot tri-dimensional cu
13 imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii
piciorului robotului X_C , semnal X_{HMR} care îl transmite la un modul comunicații robot, la un
15 modul măsurare denivelare și la un modul rigiditate asociativă.

Un modul măsurare denivelare care primește semnalul de interfață grafică de la
17 modulul hartă mediu robot și îl procesează pentru a măsura distanța X_{TL} la denivelare în
cazul deplasării robotului pe terenuri denivelate sau până la teren în cazul deplasării
19 robotului pe teren plat, pe care îl transmite la modulul detectare contact.

Un modul vârf picior care primește de la modulul de cinematică directă poziția
21 articulației tălpii piciorului robotului X_C și calculează poziția vârfului tălpii piciorului în funcție
de lungimea segmentului piciorului și unghiul dintre ultimul segment al piciorului și segmentul
23 tălpii piciorului, pe care o transmite la modulul detectare contact.

Un modul detectare contact care primește de la modulul măsurare denivelare un
25 semnal de măsură a distanței X_{TL} , de la modulul de cinematică directă poziția articulației tălpii
piciorului robotului X_C și de la modulul vârf picior poziția vârfului tălpii piciorului, pe care le
27 procesează rezultând semnal de comandă al detectării contactului X_{DC} din momentul atingerii
terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului
29 pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu
partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului
31 pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl transmite la modulul de control
inteligent Σ .

Un modul rigiditate asociativă, care primește de la modulul hartă mediu robot semnal
33 X_{HMR} care conține rigiditatea asociată K_{Xc} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , de
35 la modulul vârf picior poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , rezultând deviația dorită
a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D prin aplicarea matricei
37 rigidității inverse K_w^{-1} conform relației $\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D$.

Un modul traductor de forță, care măsoară forțele în articulațiile robotului, pe care îl
39 transmite la modulul de cinematică directă de forță în vederea determinării forței de contact
cu terenul ΔX^F .

Un modul de cinematică directă de forță care primește semnalele de forță pe fiecare
41 axă de libertate ale segmentelor piciorului robotului de la modulul traductor de forță, utilizate
ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a deviației segmentelor piciorului
43 robotului la o forță de contact, rezultând deviația actuală a segmentelor piciorului robotului
datorată forței de contact cu terenul ΔX^F și se generează eroarea de poziție datorată forței
45 de contact cu terenul ΔX^F ca diferențe între deviația dorită a segmentelor piciorului robotului
47 ΔX_D și deviația actuală a segmentelor piciorului robotului ΔX^F .

RO 130159 B1

Un modul de cinematică inversă de forță care primește semnalul de eroare de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX^F , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ care se transmite la modulul de control inteligent Σ cu scopul de a fi aplicat modulului de acționare actuatoare ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D .	1 3 5
Un modul generare traiectorie robot care primește pozițiile carteziene haptice X_{CH} generate de modulul dispozitiv haptic și transmise de modulul de comunicații operator și, în funcție de semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , generează traiectoriile mișcării piciorului robotului în coordonate carteziene X^{CR} pentru traiectoria dorită astfel: asigură atingerea terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv asigură atingerea terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl compară cu poziția actuală a articulației tălpii piciorului X_C în spațiul de mișcare al robotului rezultând eroarea de poziție în spațiul cartezian ΔX_C care se aplică modulului cinematică inversă de poziție.	7 9 11 13 15
Un modul de cinematică inversă de poziție care primește semnalul de eroare de poziție în spațiul cartezian ΔX_C , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară $\Delta \Theta_p$ care se aplică modulului de acționare actuatoare ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru urmărirea traiectoriei în poziție a mișcării piciorului robotului.	17 19 21
Un modulul de control inteligent Σ care primește semnalul de eroare unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ generat de modul de cinematică inversă de forță și semnalul de eroare unghiulară $\Delta \Theta_p$ generat de modulul de cinematică inversă poziție și asigură comutarea, prin semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , de la eroare de poziție $\Delta \Theta_p$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulară datorate forței de contact $\Delta \Theta_F$, având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului în condiții de stabilitate și fără suprareglaje, cu generarea semnalului de eroare.	23 25 27
Un modul acționare actuatoare care este compus din servomotoare de acționare pe fiecare axă de mișcare a robotului, primește semnalul de eroare de la modulul de control inteligent Σ cu acționarea mecanică a actuatorilor robotului pe fiecare axă de mișcare.	29 31
Un modul comunicații robot care recepționează de la modulul hartă mediu robot semnalul X_{HMR} al hărții mediului robot tri-dimensional cu imagine stabilă la mișcările robotului la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și a semnalului de eroare de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F pe care le transmite prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS la modulul comunicații operator cu scopul de a permite monitorizarea mișcării robotului de la distanță de către operatorii umani, și recepționează de la modulul comunicații operator valorile pozițiilor carteziene haptice X_{CH}^H pe care le transmite, ca semnal de referință de poziției X_{CH} pentru controlul mișcării robotului, la modul generare traiectorie robot.	33 35 37 39
Un modul comunicații operator care recepționează de la modulul dispozitiv haptic semnalul poziției carteziene haptice X_{CH}^H pe care îl transmite prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS la modulul de comunicații robot cu scopul de control haptic al robotului de operatorul uman, recepționează prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS de la modulul de comunicații robot semnal X_{HMR} al hărții mediului robot pe care îl transmite ca semnal X_{HMR}^H la modulul hartă haptică și recepționează prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS de la modulul de comunicații robot semnalul de eroare de poziție datorate forței de contact cu terenul ΔX_F pe care îl transmite ca semnal ΔX_F^H la modulul forță haptică.	41 43 45 47

RO 130159 B1

1 Un modul harta haptică care primește semnalul harții mediului robot X_{HMR}^H de la
modul comunicații operator și semnalul poziției carteziene haptice X_{CH}^H de la modulul
3 dispozitiv haptic în scopul generării harții mediului robot cu imagine stabilă la mișcările
robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , având
5 ca scop controlul vizual de operatorul uman a mișcării robotului.

Un modul forța haptică care primește semnalul de eroare de poziție datorate forței
7 de contact cu terenul ΔX_F^H și matricea rigidității K_w ambele de la modulul de comunicații
operator, cu generarea forței haptice a robotului F_{HR} care este în corelație cu forța de contact
9 cu terenul prin aplicarea relației $F_{HR} = K_w * \Delta X_F^H$.

Un modul dispozitiv haptic care primește semnalul de forța haptică a robotului F_{HR} de
11 la modulul forța haptică și un semnal de forța F_{OU} datorat acționării de către operatorul uman
a manetei dispozitivului haptic, cu scopul de a permite operatorului uman să simtă în timpul
13 manipulării manetei dispozitivului haptic forța de reacție determinată de rigiditatea asociată
poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție datorată forței de contact
15 cu terenul ΔX_F , simultan operatorul uman primind informații vizuale de la harta haptică a
mediului robotului, și generează în timp real semnalul pozițiilor carteziene haptice X_{CH}^H , care
17 reprezintă pozițiile carteziene de referință pentru generatorul traiectoriei de mișcare a
segmentelor piciorului robotului care permit operatorului uman să controleze de la distanță
19 mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este
în pericol.

21 Invenția prezintă avantajele adaptării mișcării roboților la terenuri denivelate și
nestructurate care să le permită acționarea în situații de criză sau de dezastre naturale în
23 care viața oamenilor este în pericol.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig.1 care
25 prezintă o schemă de principiu a dispozitivului. Dispozitiv pentru controlul robotului haptic
(DCRH) interacționează atât cu un robot (RO), de la care primește semnalele generate de
27 senzorii montați pe robot și acționează actuatorile pe axele de mișcare ale robotului, dar
și cu un operator uman (OU) care primește informațiile vizuale (VHO) de la harta haptică a
29 mediului robotului, cu scopul ca operatorul uman (OU) să simtă, în timpul manipulării cu
mâna (MOU) a manetei dispozitivului haptic, forța de reacție determinată de rigiditatea
31 asociată poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție datorate forței
de contact cu terenul ΔX_F .

33 Dispozitiv pentru controlul robotului haptic (DCRH) este alcătuit din modulele
prezentate mai jos în care un modul de procesare imagini primește semnale de la modulul
35 cameră digitală 1 pe care le procesează în vederea optimizării calității acestuia în funcție de
nivelul de iluminare ambiental, de la un modul traductor gravitațional 3D și/sau un modul
37 traductor busolă magnetică, pe care le procesează într-un semnal video al mediului robot
tri-dimensional cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se suprapune semnalul de
39 distanță la segmentul tălpii piciorului de la modulul de telemetrie și/sau modul cameră digitală
2, pe care le transmite la modulul hartă mediu robot. Modul de control imagine primește de
41 la modulul cameră digitală 1 imaginea mediului robot și transmite semnale de control în bucla
închisă pentru optimizarea parametrilor de focalizare și zoom optic. Cvasisimultan, un modul
43 de cinematică directă de poziție care primește semnalele de poziție unghiulară, pe fiecare
axă de libertate, ale segmentelor piciorului robotului de la modulul traductoare poziție
45 unghiulară, utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a structurii
mecanice a robotului, generează poziția articulației tălpii piciorului robotului X_C , pe care o
47 transmite la modulul hartă mediu robot.

RO 130159 B1

Un modul hartă mediu robot primește de la modulul de procesare imagini un semnal video al mediului robot tri-dimensional la care se suprapune semnalul de distanță al poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C recepționat de la modulul de cinematică directă de poziție, care primește semnalele de poziție unghiulară pe fiecare axă de libertate ale segmentelor piciorului robotului de la modulul traductoare poziție unghiulară, generând o interfață a hărții mediului robot tri-dimensional cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , semnalul X_{HMR} .	1 3 5 7
Un modul detectare contact care primește de la modulul măsurare denivelare un semnal de măsură a distanței X_{TL} , de la modulul de cinematică directă poziția articulației tălpii piciorului robotului X_C și de la modulul vârf picior poziția vârfului tălpii piciorului, pe care le procesează rezultând semnal de comandă al detectării contactului X_{DC} din momentul atingerii terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl transmite la modulul de control inteligent Σ .	9 11 13 15
Un modul rigiditate asociativă primește de la modulul hartă mediu robot semnalul X_{HMR} care conține rigiditatea K_{xc} asociată poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , de la modulul vârf picior poziția articulației tălpii piciorului robotului X_C , rezultând deviația dorită a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D prin aplicarea matricei rigidității inverse K_w^{-1} conform relației $\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D$.	17 19 21
Un modul de cinematică directă de forță care primește semnalele de forță pe fiecare axă de libertate a segmentelor piciorului robotului de la modulul traductor de forță, utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a deviației segmentelor piciorului robotului la o forță de contact, rezultând deviația actuală a segmentelor piciorului robotului datorată forței de contact cu terenul ΔX^F și se generează eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F ca diferență între deviația dorită a segmentelor piciorului robotului ΔX_D și deviația actuală a segmentelor piciorului robotului ΔX^F .	23 25 27
Un modul de cinematică inversă de forță care primește semnalul de eroare de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ care se transmite la modulul de control inteligent Σ cu scopul de a fi aplicat modulului de acționare actuatoare ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D .	29 31 33
Un modul generare traiectorie robot primește pozițiile carteziene haptice X_{CH} generate de modulul dispozitiv haptic și transmise de modulul de comunicații operator și, în funcție de semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , generează traiectoriile mișcării piciorului robotului în coordonate carteziene X^{CR} pentru traiectoria dorită astfel: asigură atingerea terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv asigură atingerea terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl compară cu poziția actuală a articulației tălpii piciorului X_C în spațiul de mișcare al robotului rezultând eroarea de poziție în spațiul cartezian ΔX_C care se aplică modulului cinematică inversă de poziție.	35 37 39 41 43
Un modul de cinematică inversă de poziție care primește semnalul de eroare de poziție în spațiul cartezian ΔX_C , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară $\Delta \Theta_p$ care se aplicată modulului de acționare actuatoare ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru urmărirea traiectoriei în poziție a mișcării piciorului robotului.	45 47 49

RO 130159 B1

1 Un modulul de control inteligent Σ care primește semnalul de eroare unghiulară
datorată forței de contact $\Delta\Theta_F$ generat de modul de cinematică inversă de forța și semnalul
3 de eroare unghiulară $\Delta\Theta_p$ generat de modulul de cinematică inversă poziție și asigură
comutarea, prin semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , de la eroarea de poziție
5 $\Delta\Theta_p$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta\Theta_F$,
având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului
7 robotului în condiții de stabilitate și fără suprareglaje, cu generarea semnalului de eroare.

Un modul acționare actuatoare care este compus din servomotoare de acționare pe
9 fiecare axă de mișcare a robotului, primește semnalul de eroare de la modulul de control
inteligent Σ cu acționarea mecanică a actuatorilor robotului pe fiecare axă de mișcare.

11 Un set de două module de comunicații, modul comunicații operator și modul
comunicații robot, asigură transmiterea datelor la distanță pentru monitorizarea robotului de
13 către operatorul uman.

Un modul hartă haptică primește semnalul hărții mediului robot X_{HMR}^H de la modul
15 comunicații operator și semnalul poziției carteziene haptice X_{CH}^H de la modulul dispozitiv
haptic în scopul generării hărții mediului robot cu imagine stabilă la mișcările robotului, la
17 care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , având ca scop
controlul vizual a mișcării robotului de către operatorul uman.

19 Un modul forță haptică primește semnalul de eroare de poziție datorată forței de
contact cu terenul ΔX_F^H și matricea rigidității K_w , ambele de la modulul de comunicații
21 operator, cu generarea forței haptice a robotului F_{HR} care este în corelație cu forța de contact
cu terenul prin aplicarea relației $F_{HR} = K_w * \Delta X_F^H$.

23 Un modul dispozitiv haptic primește semnalul de forță haptică a robotului F_{HR} de la
modulul forță haptică și un semnal de forță F_{OU} datorat acționării de către operatorul uman
25 a manetei dispozitivului haptic, cu scopul de a permite operatorului uman să simtă în timpul
manipulării manetei dispozitivului haptic forța de reacție determinată de rigiditatea asociată
27 poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție datorată forței de contact
cu terenul ΔX_F . Simultan, operatorul uman primește informații vizuale de la harta haptică a
29 mediului robotului, și generează în timp real semnalul pozițiilor carteziene haptice X_{CH}^H , care
reprezintă pozițiile carteziene de referință pentru generatorul traiectoriei de mișcare a
31 segmentelor piciorului robotului, permițând operatorului uman să controleze de la distanță
mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este
33 în pericol.

Brevetul propus are la bază numeroase cercetări multidisciplinare cu contribuții de
35 cercetarea fundamentală și capabilitati tehnologie în numeroase domenii din industria
nucleară pentru transport materiale nucleare, asistență medicală pentru persoane
37 handicapate, agricultură și silvicultură, inspecții în zone greu accesibile, etc. Cercetările s-au
realizat de un grup multidisciplinar cu participarea cercetătorilor de la universități din UK,
39 China și România în proiectul "Real-time adaptive networked control of rescue robots-
RABOT", finanțate din programul european FP7 IRSES, FP7-PEOPLE-2012IRSES,
41 2013-2016 și în proiectul "Platforma robot versatilă, inteligentă, portabilă cu sisteme de
control în rețele adaptive pentru roboți de salvare- VIPRO" din programul național PNII,
43 PN-II-PT-PCCA-2013-4, ID2009/2014-2016.

45 Bibliografie

47 1. Robin R. Murphy, "Human-Robot Interaction în Rescue Robotics", IEEE Trans on
Systems, Man, and Cybernetics, Part C, vol.34, no. 2, pp.138-158, 2004. Yu, Proceedings
of the Romanian Academy, Series A, Volume 10, Number 1, 2009.

RO 130159 B1

2. D. Miklic, S. Bogdan and L. Kalinovic (2011), "A Control Architecture for Warehouse Automation - Performance Evaluation in USARSim", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Invited Session "ICRA Robot Challenge: Advancing Research Through Competitions", Shanghai, China, May 9-13, 2011. 1
3. "Real-time adaptive networked control of rescue robots", Project acronym RABOT, 2012-2015, 7th Framework Programme for Research, Project Marie Curie, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), coordinator: Prof. Hongnian YU, Bournemouth University, UK, partners: Prof. Luige Vladareanu, Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Romane, Staffordshire University, UK, Prof. Gao, Shanghai Jiao Tong University, CN, Prof. Zeng-Guang Hou, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, CN, Prof. Hong Bo Wang, Yanshan University, CN. 3
4. Yang Liu, Hongnian Yu, Luige Vladareanu, Shuang Cang, and T. C. Yang, "Trajectory Optimization of a Pendulum-Driven Underactuated Cart", SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, pp 287-299, Bucharest 25-26 May, 2011. 5
5. Sergiu Boris Cononovici, Adrian Curaj, "An Approach to Walking Robots Planning And Control", Proceedings Of The Romanian Academy, Series A, Volume 11, Number 1/2010, pp. 75-82. 7
6. Yang Liu, Hongnian Yu and Luige Vladareanu, An Iterative Learning Control Scheme for the Capsbot, UKACC International Conference on Control 2008, University of Manchester, UK, 2-4 September 2008. 9
7. R. I. Munteanu, L. Vladareanu, O.I. Sandru, I.M. Velea, Hongnian Yu, Methods and device of propulsion without any source of self-energy for mobile systems, etc. OSIM A/00626/07.08.2009. 11
8. M.N.R. Smith, M. Shaker, S. Yue and T. Duckett (2011), "a Thin Middleware for Simulated Robot Vision Applications," ICCSIT International Conference on Computer Science and Information Technology, Chengdu, China, June 2011. 13
9. Vladareanu L., Tont G., Vladareanu V., Smarandache F., Capitanu L., "The Navigation Mobile Robot Systems Using Bayesian Approach through the Virtual Projection Method", International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS 2012), Tokyo, Japan., ISBN 978-1-4577-1690-10, doi by IEEE Conference, 2012, pp.228-233 15
10. L.Vlădăreanu, I.Ion, A.Curaj, Șt.A.Dumitru, Dynamic Stability Improvement of Walking Robots, Field Robotics, Proceedings of the 14th International Conference on Climbing and Walking Robots, Paris, 2011, ISBN-13 978-981-4374-27-9, pp.742-749. 17
11. S. van Noort and A. Visser, "Validation of the dynamics of an humanoid robot in USARSim", Proceedings of the Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop (PerMIS'12), (Edited by Rajmohan Madhavan, Elena R. Messina and Brian A. Weiss), NIST Special Publication 1136, pp. 190-197, National Institute of Standards and Technology, November 2012. 19
12. S.B. Balakirsky and Z. Kootbally, "USARSim/ROS: A Combined Framework for Robotic Control and Simulation", Proceedings of the ASME 2012 International Symposium on Flexible Automation (ISFA 2012), St. Louis, June 18-20, 2012. 21
13. Alexandru Gal, Octavian Melinte, Luige Vladareanu, „PID sliding motion control by using a fuzzy adjustment", The XXIIIst SISOM, Bucharest 30-31 May 2012, to be published. 23
14. Vladareanu L., Vladareanu V., Schiopu P., „Hybrid Force-Position Dynamic Control of the Robots Using Fuzzy Applications", 3-th Edition of the IEEE/IACSIT International conference on Biomechanics, Neurorehabilitation, Mechanical Engineering, Manufacturing Systems, Robotics and Aerospace, ICMERA2012, Bucharest, 26-28 October 2012, pp.8, Invited Paper. 25

RO 130159 B1

- 1 15. F. Smarandache & M. Khoshnevisan, Fuzzy Logic, Neutrosophic Logic, and
Applications, 2003 BISC FLINT-CIBI International Joint Workshop on Soft Computing for
3 Internet and Bioinformatics, University of California - Berkeley, December 15,2003;
- 5 16. Cai Wen. Extension Set and Non-Compatible Problems, Journal of Scientific
Exploration, 1983,(1): 83-97.
- 7 17. Jia Chao, Xiao Shufang, Liu Ning, Application of Extenics Theory to Evaluation
of Turmei Rock Quality, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003-05.
- 9 18. Yang Chunyan, Cai Wen, Extension Engineering, pp. 357, Beijing: Science Press,
2007.
- 11 19. Cai Wen, Shi Yong. Extenics: its sigificance în science and prospects în application
[J], Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(7): 1079-1086.
- 13 20. Florentin Smarandache, Extenics în Higher Dimensions, Institute of Extenics and
Innovation Methods, Guangdong University of Technology, ISBN: 9781599732039.
- 15 21. A short overview on DSMT for Information Fusion, by J. Dezert and F.
Smarandache, Proceedings of IOth International Conference on Fuzzy Theory and
17 Technology (FT&T 2005), Salt Lake City, Utah, USA, July 21-26, 2005.
- 19 22. Applications de la DSMT en pistage et robotique, by J. Dezert, Seminar at
Institute Henri Poincare, 11 Rue Pierre et Mărie Curie, 75005 Paris, France, 22 January, 3-4
p.m., 2008; <http://lastre.asso.fr/aubin/Sem-Viab-cont.html>.
- 21 23. Ovidiu Ilie Șandru, Luige Vlădăreanu, Paul Șchiopii, Victor Vlădăreanu, Alexandra
Șandru, Multidimensional Extenics Theory, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 75, Iss. 1, 2013,
ISSN 1223-7027.
- 23 24. Smarandache Florentin, Vlădăreanu Victor, Applications of Extenics to 2D-Space
and 3D-Space, The 6th Conference on Software, Knowledge, Information Management and
25 Applications, Chengdu, China.Sept. 9-11, 2012 pp.12
- 27 25. L.Vlădăreanu, G.Tonț, H.Yu, D.A.Bucur, The Petri Nets and Markov Chains
Approach for the Walking Robots Dynamical Stability Control, Proceedings of the 2011
International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMEchS), Zhengzhou,
29 China, August 11-13, 2011, ISBN 978-1-4577-1698-0, pp.228-233.
- 31 26. Gabriela Tont, Luige Vlădăreanu, Radu Adrian Munteanu, Dan George Tont,
Fuzzy Petri Net -Based Approach în Modelling Simultaneous Task Assignment for Robotic
System, Recent Advances în Applied Mathematics, ISSN: 1790-2769, ISBN:
33 978-960-474-150-2.
- 35 27. S Cang and H Yu, Novei probability neural network, IEE Proceedings - Vision,
Image and Signal Processing, Voi. 152, No.5, pp.535-544, 2005.
- 37 28. Jimmy Or, A hybrid CPG-ZMP control system for stable walking of a simulated
flexible spine humanoid robot, Neural Networks, Volume 23, Issue 3, April 2010, Pages
452-460, ISSN 0893-6080.
- 39 29. Vlădăreanu L., Capitanu L., „Hybrid Force-Position Systems with Vibration Control
for Improvment of Hip Implant Stability", the 18th Congress of the European Society of
41 Biomechanics, Lisbon, Portugal, July 1st - July 4th, 2012.
- 43 30. Ames, Aaron D. and Cousineau, Eric A. and Powell, Matthew J., Dynamically
stable bipedal robotic walking with NAO via human-inspired hybrid zero dynamics, Beijing,
China, ISBN: 978-1-4503-1220-2, 2012.
- 45 31. Strom, Johannes, Slavov, George, Chown, Eric, Omnidirecțional Walking Using
ZMP and Preview Control for the NAO Humanoid Robot, RoboCup 2009: Robot Soccer
47 World Cup XIII, SN: 978-3-642-11875-3, 2010.

RO 130159 B1

32. Vlădareanu Luige, et all, Method and device for the real-time control of robots by virtual projection, EPO: A 2008 00232. 1
33. Aaron D. Ames, Eric A. Cousineau, Matthew J. Powell, "Dynamically Stable Bipedal Robotic Walking with NAO via Human-Inspired Hybrid Zero Dynamics", HSCC'12, April 17-19, 2012, Beijing, China. 3 5

Revendicări

1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29
31
33
35
37
39
41
43
45
47

1. Metodă pentru controlul robotului haptic pe terenuri denivelate și medii incerte care permite robotului să simtă terenul pe care se deplasează prin modificarea rigidității articulațiilor tălpii piciorului și ale articulațiilor segmentelor robotului la detectarea unor denivelări și permite operatorului uman să controleze de la distanță mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre natural, în care viața oamenilor este în pericol, prin doi parametri, unul vizual și al doilea haptic, **se caracterizează prin aceea că are în alcătuire etapele:**

(i) se generează harta mediului robotului prin prelucrarea imaginilor de la o cameră digitală (**CD1**), stabilizată indiferent de direcțiile de mișcare ale robotului prin procesarea semnalelor primite de la un traductor gravitațional 3D (**TGR3D**) și se măsoară distanța până la deniveare X_{TL} printr-un dispozitiv de telemetrie (**TL**), cu transmiterea semnalului X_{HMR} a hărții mediului robotului printr-un modul de comunicații robot (**MCR**) tip WI-FI sau GPS/GPRS la un modul de comunicații operator (**MCO**) cu scopul monitorizării de la distanță de operatorii umani;

(ii) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i), poziția articulației tălpii piciorului X_C în spațiul de mișcare al robotului prin procesarea semnalelor de la traductoarele de poziții unghiulare ale articulațiilor segmentelor robotului și transformarea în spațiul cartezian prin cinematica directă a robotului;

(iii) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i) și (ii), poziția vârfului tălpii piciorului robotului X_{VF} în spațiul cartezian, ținând cont de unghiul între segmentul piciorului robotului și segmentul tălpii robotului, prin procesarea semnalelor de la un traductor de telemetrie (**TL**), și se detectează momentul atingerii terenului de vârful tălpii piciorului X_{VF} sau articulația tălpii piciorului X_C până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului prin compararea mărimilor X_{TL} cu X_{VF} respectiv X_{TL} cu X_C ;

(iv) se determină rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C pe harta mediului robot, prin alocarea fiecărui punct al hărții mediului robotului, generată în secvența (i), unui coeficient de rigiditate în funcție de rigiditatea mediului, aer sau sol, și identificarea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , calculat în secvența (ii), pe harta mediului robot; acesta se calculează ținând cont de mărimea deviației dorite a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D , cu relația: $\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D$, unde K_w^{-1} este matricea rigidității inverse a deviației segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D ;

(v) se calculează, în timp real, cvasisimultan cu secvența (i), deviația actuală a segmentelor piciorului robotului datorată forței de contact cu terenul ΔX^F , prin procesarea semnalelor de la traductoarele de forță (**TF**) din articulațiile segmentelor piciorului robotului, și se generează eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F ca diferențe între deviația dorită a segmentelor piciorului robotului ΔX_D determinate în secvența (iv) și deviația actuală a segmentelor piciorului robotului ΔX^F determinată în această secvență, care prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ care trebuie aplicată actuatorilor de acționare a articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D , având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul și talpa piciorului robotului;

(vi) se comută schema de mers a robotului pentru terenuri denivelate și nestructurate, care constă în atingerea terenului cu vârful tălpii piciorului și mișcare de amortizare până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului, cu schema de mers care constă în

RO 130159 B1

atingerea terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului și mișcarea de amortizare până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane;	1 3
(vii) se asigură bucla de control în poziție pentru mersul pe teren neted/plat, care este bucla de control în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i) - (vi), asigurând controlul mișcării robotului până la atingerea terenului de talpa piciorului robotului și constă dintr-un generator de traiectorie al mișcării piciorului robotului în coordonate carteziane pentru traiectoria dorită, comparată cu poziția actuală a articulației tălpii piciorului X_C în spațiul de mișcare a robotului, determinată în secvența (ii), pentru a se obține eroarea de poziție în spațiul cartezian ΔX_p ; prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară $\Delta \Theta_p$; aceasta aplicată actuatorului de acționare a articulațiilor segmentelor piciorului robotului permite urmărirea traiectoriei în poziție a mișcării piciorului robotului;	5 7 9 11 13
(viii) se comută controlul de la bucla de control în poziție la bucla de control în forță, pe durata secvenței (iii), din momentul atingerii terenului de talpa piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului, prin generarea erorii unghiulare datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$, determinată în secvența (v), printr-un modul de control inteligent (Σ), care asigură comutarea de la eroare de poziție $\Delta \Theta_p$, având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului în condiții de stabilitate și fără suprareglaje;	15 17 19
(ix) se generează în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i)-(v), harta haptică a mediului robot printr-un semnal X_{HMR}^H , obținut prin transmiterea la distanță a semnalului X_{HMR} , utilizând modulul de comunicații robot (MCR) și modulul de comunicații operator (MCO), care conține harta mediului robot cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , având ca scop controlul vizual de operatorul uman a mișcării robotului;	21 23 25
(x) se generează în timp real, cvasisimultan cu secvențele (i)-(ix), pozițiile carteziane haptice X_{CH} , printr-un dispozitiv haptic (DH) acționat de un operator uman care simte în timpul manipulării manetei dispozitivului haptic forța de reacție determinată de rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , simultan primind informații vizuale de la harta haptică a mediului robotului. Pozițiile carteziane haptice X_{CH} reprezintă pozițiile carteziane de referință pentru generatorul traiectoriei de mișcare a segmentelor piciorului robotului care permit operatorului uman să controleze de la distanță mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre naturale în care viața oamenilor este în pericol.	27 29 31 33 35
2. Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că , în cadrul etapei (i) de stabilizare a imaginilor de la o cameră digitală (CD1) indiferent de direcțiile de mișcare ale robotului se realizează prin procesarea semnalelor primite de la un traductor gravitațional 3D (TGR3D) și de la o busolă magnetică (TBM).	37 39
3. Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că , în cadrul etapei (iii) de calcul în timp real a poziției vârfului tălpii piciorului robotului X_{VF} , în spațiul cartezian se procesează semnalele de la o a doua cameră digitală (CD2) care, împreună cu imaginile procesate de la prima cameră digitală (CD1) prin triangulare, permite calculul distanței.	41 43
4. Dispozitiv, pentru aplicarea metodei de la revendicarea 1, care permite controlul robotului haptic pe terenuri denivelate și medii incerte, caracterizat prin aceea că are în alcătuire:	45
Modul cameră digitală 1 (CD1) montat pe robot, recepționează din mediu robot imagini 3D și transmite digital imaginea mediului robot la un modul de procesare imagini (MPI) și la un modul de control imagine (MCI) de la care primește semnale de control pentru focalizare și zoom optic având ca scop optimizarea imaginii recepționate.	47 49

RO 130159 B1

1 Modul de telemetrie (**TL**) montat pe robot, care permite măsurarea distanței la
segmentul tălpii piciorului prin utilizarea unui dispozitiv optic de scanare și transmite semna-
3 lele de măsură la modulul de control imagine (**MCI**). Pentru calcularea distanței se poate
utiliza și/sau un al doilea modul cameră digitală 2 montat pe robot, care împreună cu
5 imaginile procesate de la camera (**CD1**) prin triangulare, permite calculul distanței la
segmentul tălpii piciorului, cu transmiterea valorilor la modulul de procesare imagine.

7 Modul traductor gravitațional 3D (**TGR3D**), măsoară accelerația gravitațională pe cele
trei direcții carteziene în spațiu a modulului camera digitală 1 (**CD1**), pe care o transmite la
9 modulul de procesare imagini (**MPI**).

11 Modul traductor busolă magnetică (**TBM**), măsoară deviația față de nordul magnetic
a modulului cameră digitală 1 (**CD1**), pe care o transmite la modulul de procesare imagini.

13 Modul de procesare imagini (**MPI**) primește un set de trei semnale, respectiv de la
modulul cameră digitală 1 (**CD1**) pe care îl procesează în vederea optimizării calității
15 acestuia în funcție de nivelul de iluminare ambiental, de la un modul traductor gravitațional
3D (**TGR3D**) și/sau de la modulul traductor busolă magnetică (**TBM**) pe care le procesează
17 într-un semnal video al mediului robot tri-dimensional, cu imagine stabilă la mișcările robo-
tului, la care se suprapune semnalul de distanță la segmentul tălpii piciorului de la modulul
de telemetrie (**TL**) și/sau modul cameră digitală 2 (**CD2**) pe care le transmite la modulul harta
19 mediu robot (**HMR**).

21 Modulul de control imagine (**MCI**) primește de la modulul camera digitală 1 (**CD1**)
imaginea mediului robot și transmite semnale de control în bucla închisă pentru focalizare
și zoom optic la modulul cameră digitală 1 (**CD1**) cu scopul de optimizare a imaginii hărții
23 mediului robot.

25 Modul traductor poziție unghiulară (**TP**), măsoară poziția unghiulară din articulațiile
robotului pe care o transmite modulului de cinematică directă poziție (**CDP**).

27 Modul de cinematică directă poziție (**CDP**), primește semnalele de poziție unghiulară
pe fiecare axă de libertate ale segmentelor piciorului robotului de la modulul traductoare
poziție unghiulară (**TP**), utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a
29 structurii mecanice a robotului, rezultând poziția articulației tălpii piciorului robotului X_c , pe
care o transmite la modulul hartă mediu robot (**HMR**).

31 Modul hartă mediu robot (**HMR**), primește de la modulul de procesare imagini (**MPI**)
un semnalul video al mediului robot tri-dimensional, se suprapune semnalul de distanță al
33 poziției articulației tălpii piciorului robotului X_c recepționat de la modulul de cinematică directă
de poziție (**CDP**), le transformă într-o interfață grafică a mediului robotului și, prin procesarea
35 semnalul de interfață grafică, rezultă o interfață a hărții mediului robot tridimensional cu
37 imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii
piciorului robotului X_c , semnal X_{HMR} pe care îl transmite la un modul comunicații robot (**MCR**),
la un modul măsurare denivelare (**MMD**) și la un modul rigiditate asociativă (**MRA**).

39 Modul măsurare denivelare (**MMD**) primește semnalul de interfață grafică de la
modulul hartă mediu robot (**HMR**) și îl procesează pentru a măsura distanța X_{TL} la denivelare
41 în cazul deplasării robotului pe terenuri denivelate sau până la teren în cazul deplasării
robotului pe teren plat, pe care îl transmite la modulul detectare contact (**MDC**).

43 Modul vârf picior (**MVP**), primește de la modulul de cinematică directă (**CDP**) poziția
articulației tălpii piciorului robotului X_c și calculează poziția vârfului tălpii piciorului în funcție
45 de lungimea segmentului piciorului și unghiul dintre ultimul segment al piciorului și segmentul
tălpii piciorului, pe care o transmite la modulul detectare contact (**MDC**).

RO 130159 B1

Modul detectare contact (**MDC**), primește de la modulul măsurare denivelare (**MMD**) un semnal de măsură a distanței X_{TL} , de la modulul de cinematică directă (**CDP**) poziția articulației tălpii piciorului robotului X_C și de la modulul varf picior (**MVP**) poziția vârfului tălpii piciorului, pe care le procesează rezultând semnal de comandă a detectării contactului X_{DC} din momentul atingerii terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl transmite la modulul de control inteligent (2).

Modul rigiditate asociativă (**MRA**), primește de la modulul hartă mediu robot (**HMR**) semnalul X_{HMR} care conține rigiditatea asociată K_{xc} a poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , de la modulul varf picior (**MVP**) poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , rezultând deviația dorită a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forță de contact dorită F_D prin aplicarea matricei rigidității inverse K_w^{-1} conform relației $\Delta X_D = K_w^{-1} * F_D$.

Modul traductor de forță (**TF**), măsoară forțele în articulațiile robotului, pe care îl transmite la modulul de cinematică directă de forță (**CDF**) în vederea determinării forței de contact cu terenul ΔX^F .

Modul de cinematică directă de forță (**CDF**), primește semnalele de forță pe fiecare axă de libertate a segmentelor piciorului robotului de la modulul traductor de forță (**TF**), utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a deviației segmentelor piciorului robotului la o forță de contact, rezultând deviația actuală a segmentelor piciorului robotului datorate forței de contact cu terenul ΔX^F și se generează eroarea de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F ca diferențe între deviația dorită a segmentelor piciorului robotului ΔX_D și deviația actuală a segmentelor piciorului robotului ΔX^F .

Modul de cinematică inversă de forță (**CIF**) care primește semnalul de eroare de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta \theta_F$ care se transmite la modulul de control inteligent (Σ) cu scopul de a fi aplicat modulului de acționare actuatoare (**MAA**) ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D .

Modul generare traiectorie robot (**GTR**) care primește pozițiile carteziene haptice X_{CH} generate de modulul dispozitiv haptic (**DH**) și transmise de modulul de comunicații operator (**MCO**) și, în funcție de semnalul de comandă a detectării contactului X_{DC} , generează traiectoriile mișcării piciorului robotului în coordonate carteziene X^{CR} pentru traiectoria dorită astfel: asigură atingerea terenului cu vârful tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv asigură atingerea terenului cu partea posterioară a tălpii piciorului până la contactul complet al segmentului tălpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl compară cu poziția actuală a articulației tălpii piciorului X_C în spațiul de mișcare a robotului, rezultând eroarea de poziție în spațiul cartezian ΔX_C , care se aplică modulului cinematică inversă de poziție (**CIP**).

Modul de cinematică inversă de poziție (**CIP**), primește semnalul de eroare de poziție în spațiul cartezian ΔX_C , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obține eroarea unghiulară $\Delta \theta_p$ care se aplică modulului de acționare actuatoare (**MAA**) ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru urmărirea traiectoriei în poziție a mișcării piciorului robotului.

RO 130159 B1

1 Modulul de control inteligent (Σ) care primește semnalul de eroare unghiulară
datorată forței de contact $\Delta\Theta_F$, generat de modul de cinematică inversă de forța (**CIF**) și
3 semnalul de eroarea unghiulară $\Delta\Theta_p$, generat de modulul de cinematică inversă poziție (**CIP**)
și asigură comutarea, prin semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , de la eroare
5 de poziție $\Delta\Theta_p$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulară datorate forței de
contact $\Delta\Theta_F$, având ca efect amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa
7 piciorului robotului în condiții de stabilitate și fără suprareglaje, cu generarea semnalului de
eroare.

9 Modul acționare actuator (MAA) este compus din servomotoare de acționare pe
fiecare axa de mișcare a robotului și primește semnalul de eroare de la modulul de control
11 inteligent (Σ) cu acționarea mecanică a actuatorilor robotului pe fiecare axă de mișcare.

13 Modul comunicații robot (**MCR**), recepționează de la modulul hartă mediu robot
(**HMR**) semnalul X_{HMR} al hărții mediului robot tri-dimensional, cu imagine stabilă la mișcările
robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și a
15 semnalului de eroare de poziție datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , pe care le transmite
prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS la modulul comunicații operator (**MCO**) cu scopul de
17 a permite monitorizarea mișcării robotului de la distanță de către operatorii umani, și
recepționează de la modulul comunicații operator (**MCO**) valorile pozițiilor carteziene haptice
19 X_{CH}^H pe care le transmite, ca semnal de referință de poziției X_{CH} pentru controlul mișcării
robotului, la modul generare traiectorie robot (**GTR**).

21 Modul comunicații operator (**MCO**) care recepționează de la modulul dispozitiv haptic
(**DH**) semnalul poziției carteziene haptice X_{CH}^H pe care îl transmite prin comunicații WI-FI sau
23 GPS/GPRS la modulul de comunicații robot (**MCR**), cu scopul de control haptic al robotului
de operatorul uman, recepționează prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS de la modulul de
25 comunicații robot (**MCR**) semnalul X_{HMR} al hărții mediului robot pe care îl transmite ca semnal
 X_{HMR}^H la modulul hartă haptică (**HM**) și recepționează prin comunicații WI-FI sau GPS/GPRS
27 de la modulul de comunicații robot (**MCR**) semnalul de eroare de poziție datorată forței de
contact cu terenul ΔX_F pe care îl transmite ca semnal ΔX_F^H la modulul forță haptică (**FH**).

29 Modul hartă haptică (**HM**) care primește semnalul hărții mediului robot X_{HMR}^H de la
modul comunicații operator (**MCO**) și semnalul poziției carteziene haptice X_{CH}^H de la modulul
31 dispozitiv haptic (**DH**) în scopul generării hărții mediului robot cu imagine stabilă la mișcările
robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C , având
33 ca scop controlul vizual al mișcării robotului de către operatorul uman.

35 Modul forță haptică, primește semnalul de eroare de poziție datorată forței de contact
cu terenul ΔX_F^H și matricea rigidității K_w ambele de la modulul de comunicații operator (**MCO**),
cu generarea forței haptice a robotului F_{HR} , care este în corelație cu forța de contact cu
37 terenul, prin aplicarea relației $F_{HR} = K_w * \Delta X_F^H$.

39 Modul dispozitiv haptic, primește semnalul de forță haptică a robotului F_{HR} de la
modulul forță haptică (**FH**) și un semnal de forță F_{OU} datorat acționării de către operatorul
uman a manetei dispozitivului haptic (**DH**), cu scopul de a permite operatorului uman să
41 simtă în timpul manipulării manetei dispozitivului haptic (**DH**) forța de reacție determinată de
rigiditatea asociată poziției articulației tălpii piciorului robotului X_C și eroarea de poziție
43 datorată forței de contact cu terenul ΔX_F , simultan operatorul uman primind informații vizuale
de la harta haptică a mediului robotului (**HMR**), și generează în timp real semnalul pozițiilor
45 carteziene haptice X_{CH}^H , care reprezintă pozițiile carteziene de referință pentru generatorul
trajectoriei de mișcare (**GTR**) a segmentelor piciorului robotului, care permit operatorului
47 uman să controleze de la distanță mișcarea robotului în situații de criză sau de dezastre
naturale în care viața oamenilor este în pericol.

RO 130159 B1

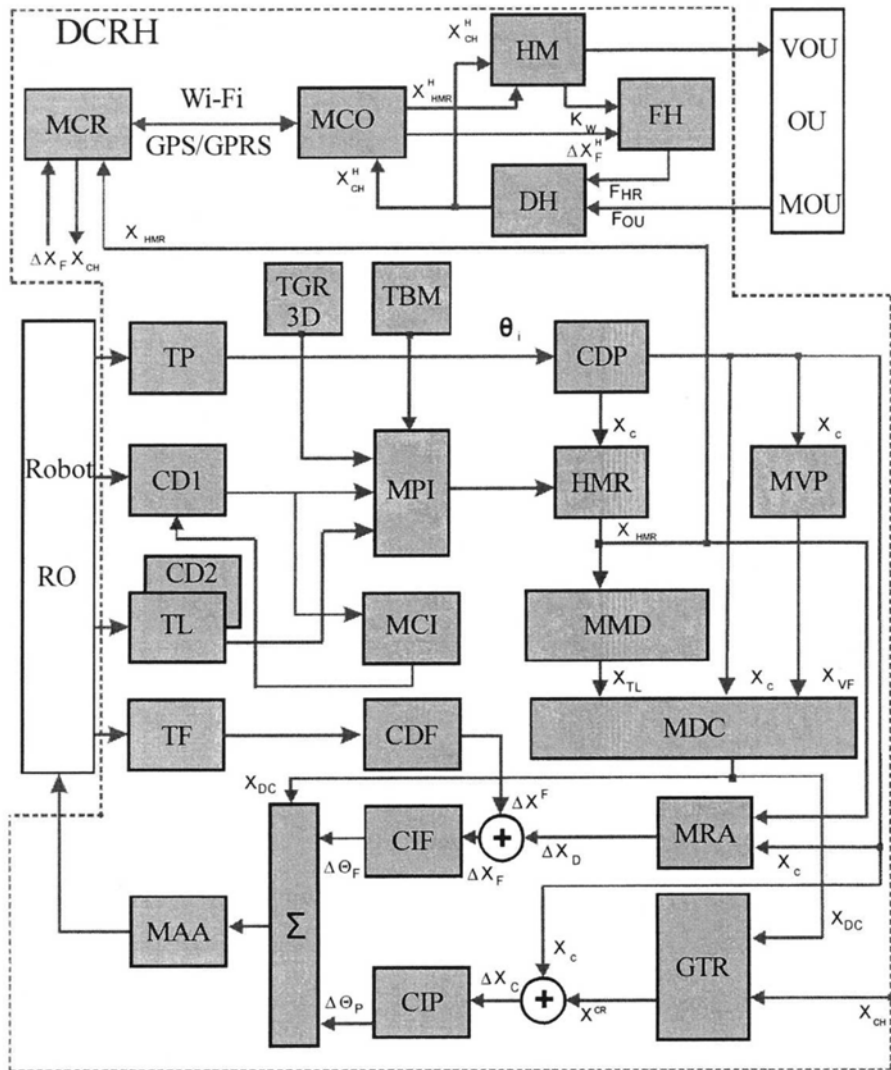
(51) Int.Cl.

B25J 9/16 (2006.01);

B25J 13/08 (2006.01);

G05B 19/02 (2006.01);

G06F 3/01 (2006.01)



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 276/2022