



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00577

(22) Data de depozit: 29.07.2014

(41) Data publicării cererii:
30.04.2015 BOPI nr. 4/2015

(71) Solicitant:
• 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

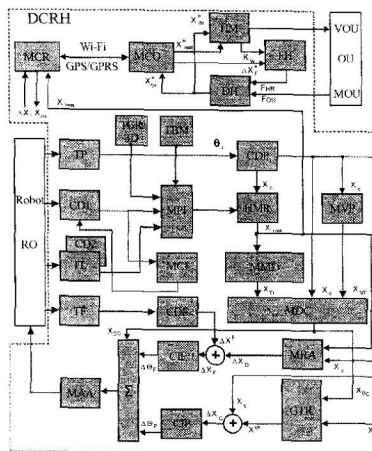
(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU CONTROLUL ROBOTULUI
HAPTIC PĂ TERENURI DENIVELATE ȘI MEDII INCERTE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv pentru controlul haptic, destinate deplasării și navigării roboților pe terenuri denivelate și în medii incerte. Metoda conform invenției constă în parcurgerea următoarelor etape: se generează harta mediului robotului, se calculează poziția articulației și poziția vârfului tălpii piciorului robotului, se determină rigiditatea asociată poziției articulației tălpii piciorului robotului, se calculează deviația actuală a segmentelor piciorului robotului, se comută schema de mers a robotului, se asigură bucla de control în poziție pentru mersul pe teren plat, se comută controlul de la bucla de control în poziție la bucla de control în forță, se generează harta haptică a mediului robot și apoi se generează pozițiile carteziane haptice. Dispozitivul conform invenției cuprinde: un modul cameră digitală (CD1) montat pe robot, ce recepționează imagini 3D și le transmite digital la un modul de procesare imagini și la un modul de control imagine, un modul (TL) telemetrie, ce permite măsurarea distanței la segmentul tălpii piciorului, un al doilea modul cameră digitală (CD2), pentru calculul distanței, un modul traductor gravitațional 3D (TGR3D), pentru măsurarea accelerației gravitaționale pe cele trei direcții carteziane, un modul traductor busolă magnetică (TBM), pentru măsurarea deviației nordului magnetic, un modul traductor poziție unghiulară (TP), ce măsoară poziția unghiulară din articulațiile robotului, un modul cinematică directă poziție (CDP), pentru determinarea poziției articulației, un modul hartă mediu robot, ce transmite poziția articulației tălpii la un modul de

comunicații, la un modul de măsurare denivelare și la un modul de rigiditate asociativă, un modul traductor de forță, ce măsoară forțele în articulațiile robotului, un modul generare traiectorie robot, care primește pozițiile carteziane haptice generate de modulul dispozitiv haptic, un modul acționare actuator, precum și un modul comunicații robot.

Revendicări: 4
Figuri: 1



Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



63

| |
|--|
| OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI |
| Cerere de brevet de invenție |
| Nr. a 2014 cc 577 |
| Data depozit 29-07-2014 |

METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU CONTROLUL ROBOTULUI HAPTIC PE TERENURI DENIVELATE ȘI MEDII INCERTE

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

În ultimii ani, robotii mobili au capatat 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 robotilor 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.

Robotii de control în timp real cu rețele comandate la distanță și capacități 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, incendii, zone calamitate după cutremure [1-3]. Cercetări enorme au condus la dezvoltarea diferitelor tipuri de roboți cu capacități de sesizare, transport și manipulare pentru diferite aplicații [4-9]. Robotii 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 robotilor 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].

Sunt cunoscute numeroase metode de control a robotilor destinate 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 neutrosofică (DSmT) [21,22], rețele neuronale [9, 27,28], rețele Petri modelate prin lanțuri Markov [9,25,26], metoda de control hibrid forta-pozitie [3, 10, 29-33].

Dezavantajele soluțiilor cunoscute constau în faptul că nu se controlează rigiditatea articulațiilor talpii 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 robotilor la terenuri denivelate și nestructurate.

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

Metoda conform invenției, înlătură dezavantajele de mai sus în vederea adaptării mișcării robotilor 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 talpii piciorului și ale articulațiilor segmentelor robotului la detectarea unor denivelări în funcție de rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației talpii 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 talpii 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, unul vizual și al doilea haptic, respectiv să vadă harta mediului robot și simultan să simtă amortizarea mișcării piciorului robotului la acționarea manetei dispozitivului haptic, acesta din urmă generând pozițiile carteziane haptice X_{CH} pentru adaptarea mișcării robotilor la terenuri denivelate și nestructurate,

harta mediului robotului este generată prin prelucrarea imaginilor de la o cameră 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), rezultând o interfață a hărții mediului robot tri-dimensională cu imagine stabilă la mișcările robotului, la care se asociază rigiditatea poziției articulației talpii piciorului robotului X_C , numită rigiditate asociată K_{X_C}

amortizarea mișcării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului se obține prin comutarea de la controlul în poziție la controlul în forță din momentul atingerii terenului de varful sau partea posterioară a talpii piciorului până la contactul complet al segmentului talpii piciorului,

schimbarea schemei de mers a robotului este o soluție tehnică de bio-inspirație de la mersul uman și constă în atingerea terenului cu varful talpii piciorului și mișcare de amortizare până la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, în raport cu mersul normal care constă în atingerea terenului cu partea posterioară a talpii piciorului și mișcare de amortizare până la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri netede,

schimbarea buclei de control din poziție în forță se realizează printr-un modul de control 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 talpii piciorului,

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 transmisă la distanță utilizând module de comunicații,

controlul haptic al mișcării robotului de operatorul uman se realizează printr-un dispozitiv haptic care permite operatorului uman să simtă amortizarea mișcării piciorului robotului și generează pozițiile carteziane de referință ale mișcării robotului numite poziții carteziane haptice X_{CH}^H , pentru adaptarea mișcării robotilor pe terenuri denivelate și nestructurate,



modulul de telemetrie permite masurarea distantei la segmentul talpii piciorului prin utilizarea unui dispozitiv optic de scanare sau a unei a doua camere de vedere digitala care impreuna cu imaginile procesate de la camera CD1 prin triangulare permite calculul distantei, **pozitia varfului piciorului robotului** se obtine prin cinematica directa aplicata semnalelor de la traductoarele de pozitie ale robotului,

rigiditatea asociata K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C pe harta mediului robot se obtine prin alocarea fiecarui punct al hartii mediului robotului unui coeficient de rigiditate in functie de rigiditatea mediului, aer sau sol, si identificarea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C pe harta mediului robot, cu transmiterea hartii mediului robotului print-un modul de comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la un modul de monitorizare de la distanta pentru operatorii umani,

Secventele metodei de control al robotului haptic pe terenuri denivelate și nestructurate se realizeaza in succesiunea prezentata mai jos, respectiv:

(i) **se genereaza harta mediului robotului** prin prelucrarea imaginilor de la o camera CCD, stabilizata indiferent de directiile de miscare ale robotului prin procesarea semnalelor primite de la un traductor gravitacional 3D (TGR3D) si/sau de la o busola magnetica (TBM) si se masoara distanta pana la deniveare X_{TL} printr-un dispozitiv de telemetrie, cu transmiterea semnalului X_{HMR} a hartii mediului robotului print-un modul de comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la un modul de monitorizare de la distanta pentru operatorii umani,

(ii) **se calculeaza, in timp real, cvasisimultan cu secventa (i), pozitia articulatiei talpii piciorului X_C** in spatiul de miscare a robotului prin procesarea semnalelor de la traductoarele de pozitie unghiulare ale articulatiilor segmentelor robotului si transformarea in spatiul cartezian prin cinematica directa a robotului,

(iii) **se calculeaza, in timp real, cvasisimultan cu secventa (i) si (ii) pozitia varfului talpii piciorului robotului X_{VF}** in spatiul cartezian tinand cont de unghiul intre segmentul piciorului robotului si segmentul talpii robotului prin procesarea semnalelor de la traductorul de telemetrie sau de la o a doua camera digitala care impreuna cu imaginile procesate de la prima camera digitala prin triangulare permite calculul distantei, si **se detecteaza momentul atingerii terenului** de varful talpii piciorului X_{VF} sau articulatia talpii piciorului X_C pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului prin compararea marimilor X_{TL} cu X_{VF} respectiv X_{TL} cu X_C ,

(iv) **se determina rigiditatea asociata K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C** pe harta mediului robot, prin alocarea fiecarui punct al hartii mediului robotului generata in secventa (i) unui coeficient de rigiditate in functie de rigiditatea mediului, aer sau sol, si identificarea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , calculat in secventa (ii), pe harta mediului robot; acesta se calculeaza tinand cont de marimea deviatiei dorite a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forta de contact dorita F_D , cu relatia: $\Delta X_D = K_W^{-1} * F_D$, unde K_W^{-1} este matricea rigiditatii inverse a deviatiei segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forta de contact dorita F_D ,

(v) **se calculeaza, in timp real, cvasisimultan cu secventa (i), deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului** datorata fortei de contact cu terenul ΔX^F , prin procesarea semnalelor de la traductoarele de forta din articulatiile segmentelor piciorului robotului si se



genereaza eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F ca diferente intre deviatia dorita a segmentelor piciorului robotului ΔX_D determinata in secventa (iv) si deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului ΔX^F determinata in aceasta secventa; prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$ care trebuie aplicate actuatorilor de actionare ale articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se mentine forta de contact dorita F_D , avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul si talpa piciorului robotului,

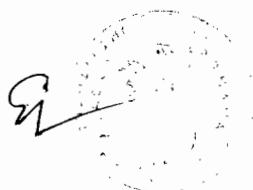
(vi) **se comuta schema de mers a robotului** care consta in atingerea terenului cu varful talpii piciorului si miscare de amortizare pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate si nestructurate, respectiv atingerea terenului cu partea posterioara a talpii piciorului si miscarea de amortizare pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane,

(vii) **se asigura bucla de control in pozitie pentru mersul pe teren neted/plat**, care este bucla de control in timp real, cvasisimultan cu secventele (i) - (vi), permitand controlul miscarii robotului pana la atingerea terenului de talpa piciorului robotului; aceasta consta dintr-un generator de traiectorie al miscarii piciorului robotului in coordonate carteziene pentru traiectoria dorita, comparata cu pozitiei actuala a articulatiei talpii piciorului X_C in spatiul de miscare al robotului, determinata in secventa (ii), pentru a se obtine eroarea de pozitie in spatiul cartezian ΔX_P ; prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara $\Delta \Theta_P$; aceasta aplicata actuatorului de actionare a articulatiilor segmentelor piciorului robotului permite urmarirea traiectoriei miscarii piciorului robotului in pozitie.

(viii) **se comuta controlul de la bucla de control in pozitie la bucla de control in forta**, pe durata secventei (iii), din momentul atingerii terenului de talpa piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului, prin generarea erorii unghiulare datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$, determinata in secventa (v), printr-un **modul de control inteligent Σ** care asigura comutarea de la eroare de pozitie $\Delta \Theta_P$, avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul denivelat si talpa piciorului robotului in conditii de stabilitate si fara suprareglaje;

(ix) **se genereaza in timp real, cvasisimultan cu secventele (i)-(v), harta haptica a mediului robot** printr-un semnal X_{HMR}^H , obtinut prin transmiterea la distanta a semnalului X_{HMR} utilizand modulele de comunicatii, harta haptica care contine harta mediului robot cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , avand ca scop controlul vizual de operatorul uman al miscarii robotului,

(x) **se genereaza in timp real, cvasisimultan cu secventele (i)-(ix), pozitiile carteziene haptice X_{CH}** printr-un dispozitiv haptic actionat de un operator uman care simte, in timpul manipularii manetei dispozitivului haptic, forta de reactie determinata de rigiditatea asociata K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , simultan primind informatii vizuale de la harta haptica a mediului robotului; pozitiile carteziene haptice X_{CH} reprezinta pozitiile carteziene de referinta pentru generatorul traiectoriei de miscare a segmentelor piciorului robotului care permit operatorului



uman sa controleze de la distanta miscarea robotului in situatii de criza sau de dezastre naturale in care viata oamenilor este in pericol.

Se noteaza cu X_{CH} pozitiile carteziane haptice X_{CH}^H transmise prin modulul de comunicatii operator si receptionate de modulul de comunicatii robot, respectiv ΔX_F^H si X_{HMR}^H valorile ΔX_F si X_{HMR} transmise prin modulul de comunicatii robot si receptionate de modulul de comunicatii operator.

Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că este alcătuit **dintr-un modul camera digitala 1** montat pe robot, care receptioneaza din mediu robot imagini 3D si transmite digital imaginea mediului robot la **un modul de procesare imagini** si la un **modul de control imagine** de la care primeste semnale de control pentru focalizare si zoom optic avand ca scop optimizarea imaginii receptionate,

un **modul de telemetrie** montat pe robot, care permite masurarea distantei la segmentul talpii piciorului prin utilizarea unui dispozitiv optic de scanare si transmite semnalele de masura la **modulul de control imagine**,

si/sau un al doilea **modul camera digitala 2**, montat pe robot, care impreuna cu imaginile procesate de la camera CDI prin triangulare permite calculul distantei, pe care il transmite la **modulul de procesare imagine**,

un **modul traductor gravitacional 3D**, care masoara acceleratia gravitacionala pe cele trei directii carteziane in spatiu a modulului camera digitala 1, pe care o transmite la modulul de procesare imagini,

un **modul traductor busola magnetica**, care masoara deviatia fata de nordul magnetic a modulului camera digitala 1, pe care o transmite la modulul de procesare imagini,

un **modul de procesare imagini** care primeste semnale de la **modulul camera digitala 1** pe care il proceseaza in vederea optimizarii calitatii acestuia in functie de nivelul de iluminare ambiental, de la un **modul traductor gravitacional 3D** si/sau un **modul traductor busola magnetica** pe care le proceseaza intr-un semnal video al mediului robot tri-dimensional cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se suprapune semnalul de distanta la segmentul talpii piciorului de la **modulul de telemetrie** si/sau **modul camera digitala 2** pe care le transmite la **modulul harta mediu robot**,

un **modul de control imagine** care primeste de la **modulul camera digitala 1** imaginea mediului robot si transmite semnale de control in bucla inchisa pentru focalizare si zoom optic la **modulul camera digitala 1** cu scopul de optimizare a imaginii hartii mediului robot,

un **modul traductor pozitie unghiulara**, care masoara pozitia unghiulara din articulatiile robotului pe care o transmite modulului de cinematica directa pozitie,

un **modul de cinematica directa pozitie** care primeste semnalele de pozitie unghiulara pe fiecare axa de libertate a segmentelor piciorului robotului de la **modulul traductoare pozitie unghiulara**, utilizate ca semnale de intrare in modelarea cinematica directa a structurii mecanice a robotului, rezultand pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C , pe care o transmite la **modulul harta mediu robot**,

un **modul harta mediu robot** care primeste de la **modulul de procesare imagini** un semnal video al mediului robot tri-dimensional, se suprapune semnalului de distanta al pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C receptionat de la **modulul de cinematica directa**



de pozitie, le transforma intr-o interfata grafica a mediului robotului si, prin procesarea semnalului de interfata grafica, rezulta o interfata a hartii mediului robot tri-dimensional cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , semnal X_{HMR} pe care il **transmite la un modul comunicatii robot**, la un **modul masurare denivelare** si la un **modul rigiditate asociativa**,

un **modul masurare denivelare** care primeste semnalul de interfata grafica de la **modulul harta mediu robot** si il proceseaza pentru a masura distanta X_{TL} la denivelare in cazul deplasarii robotului pe terenuri denivelate sau pana la teren in cazul deplasarii robotului pe teren plat, pe care il transmite la **modulul detectare contact**,

un **modul varf picior** care primeste de la **modulul de cinematica directa** pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C si calculeaza pozitia varfului talpii piciorului in functie de lungimea segmentului piciorului si unghiul dintre ultimul segment al piciorului si segmentul talpii piciorului, pe care o transmite la **modulul detectare contact**,

un **modul detectare contact** care primeste de la **modulul masurare denivelare** un semnal de masura a distantei X_{TL} , de la **modulul de cinematica directa** pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C si de la **modulul varf picior** pozitia varfului talpii piciorului, pe care le proceseaza rezultand semnal de comanda al detectarii contactului X_{DC} din momentul atingerii terenului cu varful talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate si nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu partea posterioara a talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane si il transmite la **modulul de control inteligent Σ** ,

un **modul rigiditate asociativa**, care primeste de la **modulul harta mediu robot** semnal X_{HMR} care contine rigiditatea asociata K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , de la **modulul varf picior** pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , rezultand deviatia dorita a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forta de contact dorita F_D prin aplicarea matricei rigiditatii inverse K_W^{-1} conform relatiei $\Delta X_D = K_W^{-1} * F_D$,

un **modul traductor de forta**, care masoara fortele in articulatiile robotului, pe care il transmite la **modulul de cinematica directa de forta** in vederea determinarii fortei de contact cu terenul ΔX^F ,

un **modul de cinematica directa de forta** care primeste semnalele de forta pe fiecare axa de libertate ale segmentelor piciorului robotului de la **modulul traductor de forta**, utilizate ca semnale de intrare in modelarea cinematica directa a deviatiei segmentelor piciorului robotului la o forta de contact, rezultand deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului datorata fortei de contact cu terenul ΔX^F si se genereaza eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F ca diferente intre deviatia dorita a segmentelor piciorului robotului ΔX_D si deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului ΔX^F ,

un **modul de cinematica inversa de forta** care primeste semnalul de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$ care se transmite la **modulul de control inteligent Σ** cu scopul de a fi aplicat **modulului de**

actionare actuatoare ale articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se mentine forta de contact dorita F_D ,

un **modul generare traictorie robot** care primeste pozitiile carteziene haptice X_{CH} generate de **modulul dispozitiv haptic** si transmise de **modulul de comunicatii operator** si, in functie de semnalul de comanda al detectarii contactului X_{DC} , genereaza trajectoriile miscarii piciorului robotului in coordonate carteziene X^{CR} pentru traectoria dorita astfel: asigura atingerea terenului cu varful talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate si nestructurate, respectiv asigura atingerea terenului cu partea posterioara a talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane si il compara cu pozitiei actuala a articulatiei talpii piciorului X_C in spatiul de miscare al robotului rezultand eroarea de pozitie in spatiul cartezian ΔX_C care se aplica **modulului cinematica inversa de pozitie**,

un **modul de cinematica inversa de pozitie** care primeste semnalul de eroare de pozitie in spatiul cartezian ΔX_C , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara $\Delta \Theta_P$ care se aplica **modulului de actionare actuatoare** ale articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru urmarirea traectoriei in pozitie a miscarii piciorului robotului,

un **modul de control inteligent Σ** care primeste semnalul de eroare unghiulara datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$ generat de **modul de cinematica inversa de forta** si semnalul de eroare unghiulara $\Delta \Theta_P$ generat de **modulul de cinematica inversa pozitie** si asigura comutarea, prin semnalul de comanda al detectarii contactului X_{DC} , de la eroare de pozitie $\Delta \Theta_P$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulara datorate fortei de contact $\Delta \Theta_F$, avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul denivelat si talpa piciorului robotului in conditii de stabilitate si fara suprareglaje, cu generarea semnalului de eroare

un **modul actionare actuatoare** care este compus din servomotoare de actionare pe fiecare axa de miscare a robotului, primeste semnalul de eroare de la **modulul de control inteligent Σ** cu actionarea mecanica a actualelor robotului pe fiecare axa de miscare,

un **modul comunicatii robot** care receptioneaza de la **modulul harta mediu robot** semnalul X_{HMR} al hartii mediului robot tri-dimensional cu imagine stabila la miscarile robotului la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si a semnalului de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F pe care le transmite prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la **modulul comunicatii operator** cu scopul de a permite monitorizarea miscarii robotului de la distanta de catre operatorii umani, si receptioneaza de la modulul comunicatii operator valorile pozitiilor carteziene haptice X_{CH}^H pe care le transmite, ca semnal de referinta de pozitiei X_{CH} pentru controlul miscarii robotului, la modul generare traictorie robot,

un **modul comunicatii operator** care receptioneaza de la modulul dispozitiv haptic semnalul pozitiei carteziene haptice X_{CH}^H pe care il transmite prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la modulul de comunicatii robot cu scopul de control haptic al robotului de operatorul uman, receptioneaza prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS de la modulul de comunicatii robot semnal X_{HMR} al hartii mediului robot pe care il transmite ca semnal X_{HMR}^H la modulul harta haptica si receptioneaza prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS de la modulul de comunicatii

robot semnalul de eroare de pozitie datorate fortei de contact cu terenul ΔX_F pe care il transmite ca semnal ΔX_F^H la modulul forta haptica,

un **modul harta haptica** care primeste semnalul hartii mediului robot X_{HMR}^H de la modul comunicatii operator si semnalul pozitiei carteziene haptice X_{CH}^H de la modulul dispozitiv haptic in scopul generarii hartii mediului robot cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , avand ca scop controlul vizual de operatorul uman a miscarii robotului,

un **modul forta haptica** care primeste semnalul de eroare de pozitie datorate fortei de contact cu terenul ΔX_F^H si matricea rigiditatii K_W ambele de la modulul de comunicatii operator, cu generarea fortei haptice a robotului F_{HR} care este in corelatie cu forta de contact cu terenul prin aplicarea relatiei $F_{HR} = K_W * \Delta X_F^H$,

un **modul dispozitiv haptic** care primeste semnalul de forta haptica a robotului F_{HR} de la modulul forta haptica si un semnal de forta F_{OU} datorat actionarii de catre operatorul uman a manetei dispozitivului haptic, cu scopul de a permite operatorului uman sa simta in timpul manipularii manetei dispozitivului haptic forta de reactie determinata de rigiditatea asociata pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , simultan operatorul uman primind informatii vizuale de la harta haptica a mediului robotului, si genereaza in timp real semnalul pozitiiilor carteziene haptice X_{CH}^H , care reprezinta pozitiiile carteziene de referinta pentru generatorul traiectoriei de miscare a segmentelor piciorului robotului care permit operatorului uman sa controleze de la distanta miscarea robotului in situatii de criza sau de dezastre naturale in care viata oamenilor este in pericol.

Invenția prezintă avantajele adaptarii miscarii robotilor la terenuri denivelate si nestructurate care sa le permita actionarea in situatii de criza sau de dezastre naturale in care viata oamenilor este in pericol.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătura cu fig.1 care prezintă o schemă de principiu a dispozitivului. Dispozitiv pentru controlul robotului haptic (DCRH) interactioneaza atat cu un robot (RO), de la care primeste semnalele generate de senzorii montati pe robot si actioneaza actuatorile pe axele de miscare ale robotului, dar si cu un operator uman (OU) care primeste informatiile vizuale (VHO) de la harta haptica a mediului robotului, cu scopul ca operatorul uman (OU) sa simta, in timpul manipularii cu mana (MOU) a manetei dispozitivului haptic, forta de reactie determinata de rigiditatea asociata pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si eroarea de pozitie datorate fortei de contact cu terenul ΔX_F .

Dispozitiv pentru controlul robotului haptic (DCRH) este alcatuit din modulele prezentate mai jos in care un **modul de procesare imagini** primeste semnale de la **modulul camera digitala 1** pe care le proceseaza in vederea optimizarii calitatii acestuia in functie de nivelul de iluminare ambiental, de la un **modul traductor gravitacional 3D** si/sau un **modul traductor busola magnetica**, pe care le proceseaza intr-un semnal video al mediului robot tri-dimensional cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se suprapune semnalul de distanta la segmentul talpii piciorului de la **modulul de telemetrie** si/sau **modul camera digitala 2**, pe care le transmite la **modulul harta mediu robot**. **Modul de control imagine**



primește de la **modulul camera digitala 1** imaginea mediului robot și transmite semnale de control în bucla închisă pentru optimizarea parametrilor de focalizare și zoom optic. Cvasisimultan, un **modul de cinematica directă de poziție** care primește semnalele de poziție unghiulară, pe fiecare axă de libertate, ale segmentelor piciorului robotului de la **modulul traductoare poziție unghiulară**, utilizate ca semnale de intrare în modelarea cinematică directă a structurii mecanice a robotului, generează poziția articulației talpii piciorului robotului X_C , pe care o transmite la **modulul harta mediu robot**.

Un **modul harta 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 talpii 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 talpii piciorului robotului X_C , semnalul X_{HMR} .

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 talpii piciorului robotului X_C și de la **modulul varf picior** poziția varfului talpii piciorului, pe care le procesează rezultând semnal de comandă al detectării contactului X_{DC} din momentul atingerii terenului cu varful talpii piciorului până la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate și nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu partea posterioară a talpii piciorului până la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane și îl transmite la **modulul de control inteligent Σ** .

Un **modul rigiditate asociativă** primește de la **modulul harta mediu robot** semnalul X_{HMR} care conține rigiditatea K_{X_C} asociată poziției articulației talpii piciorului robotului X_C , de la **modulul varf picior** poziția articulației talpii 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 $\Delta X_D = K_W^{-1} * F_D$.

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 .

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 actuator** ale articulațiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se menține forța de contact dorită F_D .

Σ



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

Un **modul de cinematica inversa 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 miscării piciorului robotului.

Un **modulul de control inteligent Σ** care primește semnalul de eroare unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$ generat de **modul de cinematica inversa de forță** și semnalul de eroare unghiulară $\Delta \Theta_P$ generat de **modulul de cinematica inversa poziție** și asigură comutarea, prin semnalul de comandă al detectării contactului X_{DC} , de la eroarea de poziție $\Delta \Theta_P$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulară datorată forței de contact $\Delta \Theta_F$, având ca efect amortizarea miscării la contactul între terenul denivelat și talpa piciorului robotului în condiții de stabilitate și fără supraeglaje, cu generarea semnalului de eroare.

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 actualelor robotului pe fiecare axă de mișcare.

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

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

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 comunicatii operator, cu generarea forței haptice a robotului F_{HR} care este în corelație cu forța de contact cu terenul prin aplicarea relației $F_{HR} = K_W * \Delta X_F^H$.

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 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 poziției articulației talpii 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 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 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 în pericol.

Brevetul propus are la bază numeroase cercetări multidisciplinare cu contribuții de cercetare fundamentală și capacități tehnologice în numeroase domenii din industria nucleară pentru transport materiale nucleare, asistență medicală pentru persoane 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, China și România în proiectul "Real-time adaptive networked control of rescue robots- RABOT", finanțate din programul european FP7 IRSES, FP7-PEOPLE-2012_IRSES, 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, PN-II-PT-PCCA-2013-4, ID2009/2014-2016.

Bibliografie

1. Robin R. Murphy, "Human-Robot Interaction in 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
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.
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), coordonator: Prof. Hongnian YU, Bournemouth University, UK, parteneri: Prof. Luige Vladareanu, Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române, 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
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. 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
6. Yang Liu, Hongnian Yu and Luige Vladareanu, An Iterative Learning Control Scheme for the Capsobot, UKACC International Conference on Control 2008, University of Manchester, UK, 2-4 September 2008.
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



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.
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
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.
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.
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.
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.
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
15. F. Smarandache & M. Khoshnevisan, Fuzzy Logic, Neutrosophic Logic, and Applications, 2003 BISC FLINT-CIBI International Joint Workshop on Soft Computing for Internet and Bioinformatics, University of California - Berkeley, December 15, 2003;
16. Cai Wen. Extension Set and Non-Compatible Problems, Journal of Scientific Exploration, 1983, (1): 83-97
17. Jia Chao, Xiao Shufang, Liu Ning, Application of Extenics Theory to Evaluation of Tunnel Rock Quality, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003-05.
18. Yang Chunyan, Cai Wen, Extension Engineering, pp. 357, Beijing: Science Press, 2007
19. Cai Wen ,Shi Yong. Extenics: its sigificance in science and prospects in application[J], Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(7):1079-1086.
20. Florentin Smarandache, Extenics in Higher Dimensions, Institute of Extenics and Innovation Methods, Guangdong University of Technology, ISBN: 9781599732039.
21. A short overview on DSMT for Information Fusion, by J. Dezert and F. Smarandache, Proceedings of 10th International Conference on Fuzzy Theory and Technology (FT&T 2005), Salt Lake City, Utah, USA, July 21-26, 2005.
22. Applications de la DSMT en pistage et robotique, by J. Dezert, Seminar at Institute Henri Poincaré, 11 Rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris, France, 22 January, 3-4 p.m., 2008; <http://lastre.asso.fr/aubin/Sem-Viab-cont.html>



23. Ovidiu Ilie Șandru, Luige Vlădăreanu, Paul Șchiopu, Victor Vlădăreanu, Alexandra Șandru, Multidimensional Extenics Theory, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 75, Iss. 1, 2013, ISSN 1223-7027
24. Smarandache Florentin, Vladareanu Victor, Applications of Extenics to 2D-Space and 3D-Space, The 6th Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications, Chengdu, China.Sept. 9-11, 2012 pp.12
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, China, August 11-13, 2011, ISBN 978-1-4577-1698-0, pp.228-233.
26. Gabriela Tont, Luige Vlădăreanu, Radu Adrian Munteanu, Dan George Tont, Fuzzy Petri Net -Based Approach in Modelling Simultaneous Task Assignment for Robotic System, Recent Advances in Applied Mathematics, ISSN: 1790-2769, ISBN: 978-960-474-150-2.
27. S Cang and H Yu, Novel probability neural network, IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, Vol.152, No.5, pp.535-544, 2005.
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
29. Vladareanu L., Capitanu L., „Hybrid Force-Position Systems with Vibration Control for Improvement of Hip Implant Stability”, the 18th Congress of the European Society of Biomechanics, Lisbon, Portugal, July 1st – July 4th, 2012
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.
31. Strom, Johannes, Slavov, George, Chown, Eric, Omnidirectional Walking Using ZMP and Preview Control for the NAO Humanoid Robot, RoboCup 2009: Robot Soccer World Cup XIII, SN: 978-3-642-11875-3, 2010
32. Vladareanu Luige, et all, Method and device for the real-time control of robots by virtual projection, EPO: A 2008 00232.
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.



REVENDICARI

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 talpii 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 naturale, 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 **camera 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 denivelare 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 talpii 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 varfului talpii piciorului robotului X_{VF}** în spațiul cartezian, ținând cont de unghiul între segmentul piciorului robotului și segmentul talpii robotului, prin procesarea semnalelor de la un **traductor de telemetrie (TL)**, și **se detectează momentul atingerii terenului** de varful talpii piciorului X_{VF} sau articulația talpii piciorului X_C până la contactul complet al segmentului talpii piciorului prin compararea marimilor X_{TL} cu X_{VF} respectiv X_{TL} cu X_C ,

(iv) **se determină rigiditatea asociată K_{X_C} poziției articulației talpii 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 talpii 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

unghiulara datorata fortei de contact $\Delta\Theta_F$ care trebuie aplicata actuatorilor de actionare a articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se mentine forta de contact dorita F_D , avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul si talpa piciorului robotului,

(vi) **se comuta schema de mers a robotului** pentru terenuri denivelate si nestructurate, care consta in atingerea terenului cu varful talpii piciorului si miscare de amortizare pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului, cu schema de mers care consta in atingerea terenului cu partea posterioara a talpii piciorului si miscarea de amortizare pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane,

(vii) **se asigura bucla de control in pozitie pentru mersul pe teren neted/plat**, care este bucla de control in timp real, cvasisimultan cu secventele (i) - (vi), asigurand controlul miscarii robotului pana la atingerea terenului de talpa piciorului robotului si consta dintr-un generator de traiectorie al miscarii piciorului robotului in coordonate carteziene pentru traiectoria dorita, comparata cu pozitia actuala a articulatiei talpii piciorului X_C in spatiul de miscare a robotului, determinata in secventa (ii), pentru a se obtine eroarea de pozitie in spatiul cartezian ΔX_P ; prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara $\Delta\Theta_P$; aceasta aplicata actuatorului de actionare a articulatiilor segmentelor piciorului robotului permite urmarirea traiectoriei in pozitie a miscarii piciorului robotului.

(viii) **se comuta controlul de la bucla de control in pozitie la bucla de control in forta**, pe durata secventei (iii), din momentul atingerii terenului de talpa piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului, prin generarea erorii unghiulare datorata fortei de contact $\Delta\Theta_F$, determinata in secventa (v), printr-un **modul de control inteligent (Σ)**, care asigura comutarea de la eroarea de pozitie $\Delta\Theta_P$, avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul denivelat si talpa piciorului robotului in conditii de stabilitate si fara suprareglaje;

(ix) **se genereaza in timp real, cvasisimultan cu secventele (i)-(v), harta haptica a mediului robot** printr-un semnal X_{HMR}^H , obtinut prin transmiterea la distanta a semnalului X_{HMR} , utilizand **modulul de comunicatii robot (MCR)** si **modulul de comunicatii operator (MCO)**, care contine harta mediului robot cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , avand ca scop controlul vizual de operatorul uman a miscarii robotului,

(x) **se genereaza in timp real, cvasisimultan cu secventele (i)-(ix), pozitiile carteziene haptice X_{CH}** , printr-un **dispozitiv haptic (DH)** actionat de un operator uman care simte in timpul manipularii manetei dispozitivului haptic forta de reactie determinata de rigiditatea asociata K_{X_C} pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , simultan primind informatii vizuale de la harta haptica a mediului robotului. Pozitiile carteziene haptice X_{CH} reprezinta pozitiile carteziene de referinta pentru generatorul traiectoriei de miscare a segmentelor piciorului robotului care permit operatorului uman sa controleze de la distanta miscarea robotului in situatii de criza sau de dezastre naturale in care viata oamenilor este in pericol.

2. **Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (i) de stabilizare a imaginilor de la o **camera digitală (CD1)** indiferent de directiile de miscare



ale robotului se realizeaza prin procesarea semnalelor primite de la un **traductor gravitacional 3D (TGR3D)** si de la o **busola magnetica (TBM)**.

3. **Metodă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că**, în cadrul etapei (iii) de calcul in timp real a **pozitiei varfului talpii piciorului robotului X_{VF}** , in spatiul cartezian se proceseaza semnalele de la o a doua **camera digitala (CD2)** care, impreuna cu imaginile procesate de la prima **camera digitala (CD1)** prin triangulare, permite calculul distantei.

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:**

Modul camera digitala 1(CD1) montat pe robot, receptioneaza din mediu robot imagini 3D si transmite digital imaginea mediului robot la un **modul de procesare imagini (MPI)** si la un **modul de control imagine (MCI)** de la care primeste semnale de control pentru focalizare si zoom optic avand ca scop optimizarea imaginii receptionate.

Modul de telemetrie (TL) montat pe robot, care permite masurarea distantei la segmentul talpii piciorului prin utilizarea unui dispozitiv optic de scanare si transmite semnalele de masura la **modulul de control imagine (MCI)**. Pentru calcularea distantei se poate utiliza **si/sau un al doilea modul camera digitala 2** montat pe robot, care impreuna cu imaginile procesate de la camera CD1 prin triangulare, permite calculul distantei la segmentul talpii piciorului, cu transmiterea valorilor la **modulul de procesare imagine**.

Modul traductor gravitacional 3D (TGR3D), masoara acceleratia gravitacionala pe cele trei directii carteziene in spatiu a modulului camera digitala 1 (CD1), pe care o transmite la modulul de procesare imagini (MPI).

Modul traductor busola magnetica (TBM), masoara deviatia fata de nordul magnetic a modulului camera digitala 1 (CD1), pe care o transmite la modulul de procesare imagini.

Modul de procesare imagini (MPI) primeste un set de trei semnale, respectiv de la **modulul camera digitala 1(CD1)** pe care il proceseaza in vederea optimizarii calitatii acestuia in functie de nivelul de iluminare ambiental, de la un **modul traductor gravitacional 3D (TGR3D)** si/sau de la **modulul traductor busola magnetica (TBM)** pe care le proceseaza intr-un semnal video al mediului robot tri-dimensional, cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se suprapune semnalul de distanta la segmentul talpii piciorului de la **modulul de telemetrie (TL)** si/sau **modul camera digitala 2 (CD2)** pe care le transmite la **modulul harta mediu robot (HMR)**.

Modulul de control imagine (MCI) primeste de la **modulul camera digitala 1 (CD1)** imaginea mediului robot si transmite semnale de control in bucla inchisa pentru focalizare si zoom optic la **modulul camera digitala 1 (CD1)** cu scopul de optimizare a imaginii hartii mediului robot.

Modul traductor pozitie unghiulara (TP), masoara pozitia unghiulara din articulatiile robotului pe care o transmite modulului de cinematica directa pozitie (CDP).

Modul de cinematica directa pozitie (CDP), primeste semnalele de pozitie unghiulara pe fiecare axa de libertate ale segmentelor piciorului robotului de la **modulul traductoare pozitie unghiulara (TP)**, utilizate ca semnale de intrare in modelarea cinematica directa a



structurii mecanice a robotului, rezultand pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C , pe care o transmite la **modulul harta mediu robot (HMR)**.

Modul harta mediu robot (HMR), primeste de la **modulul de procesare imagini (MPI)** un semnalul video al mediului robot tri-dimensional, se suprapune semnalul de distanta al pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C receptionat de la **modulul de cinematica directa de pozitia (CDP)**, le transforma intr-o interfata grafica a mediului robotului si, prin procesarea semnalul de interfata grafica, rezulta o interfata a hartii mediului robot tri-dimensional cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , semnal X_{HMR} pe care il transmite la un **modul comunicatii robot (MCR)**, la un **modul masurare denivelare (MMD)** si la un **modul rigiditate asociativa (MRA)**.

Modul masurare denivelare (MMD) primeste semnalul de interfata grafica de la **modulul harta mediu robot (HMR)** si il proceseaza pentru a masura distanta X_{TL} la denivelare in cazul deplasarii robotului pe terenuri denivelate sau pana la teren in cazul deplasarii robotului pe teren plat, pe care il transmite la **modulul detectare contact (MDC)**.

Modul varf picior (MVP), primeste de la **modulul de cinematica directa (CDP)** pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C si calculeaza pozitia varfului talpii piciorului in functie de lungimea segmentului piciorului si unghiul dintre ultimul segment al piciorului si segmentul talpii piciorului, pe care o transmite la **modulul detectare contact (MDC)**.

Modul detectare contact (MDC), primeste de la **modulul masurare denivelare (MMD)** un semnal de masura a distantei X_{TL} , de la **modulul de cinematica directa (CDP)** pozitia articulatiei talpii piciorului robotului X_C si de la **modulul varf picior (MVP)** pozitia varfului talpii piciorului, pe care le proceseaza rezultand semnal de comanda a detectarii contactului X_{DC} din momentul atingerii terenului cu varful talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate si nestructurate, respectiv din momentul atingerii terenului cu partea posterioara a talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane si il transmite la **modulul de control inteligent (Σ)**.

Modul rigiditate asociativa (MRA), primeste de la **modulul harta mediu robot (HMR)** semnalul X_{HMR} care contine rigiditatea asociata K_{X_C} a pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , de la **modulul varf picior (MVP)** pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , rezultand deviatia dorita a segmentelor piciorului robotului ΔX_D la o forta de contact dorita F_D prin aplicarea matricei rigiditatii inverse K_W^{-1} conform relatiei $\Delta X_D = K_W^{-1} * F_D$.

Modul traductor de forta (TF), masoara fortele in articulatiile robotului, pe care il transmite la **modulul de cinematica directa de forta (CDF)** in vederea determinarii fortei de contact cu terenul ΔX^F .

Modul de cinematica directa de forta (CDF), primeste semnalele de forta pe fiecare axa de libertate a segmentelor piciorului robotului de la **modulul traductor de forta (TF)**, utilizate ca semnale de intrare in modelarea cinematica directa a deviatiei segmentelor piciorului robotului la o forta de contact, rezultand deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului datorate fortei de contact cu terenul ΔX^F si se genereaza eroarea de pozitie datorata fortei de

contact cu terenul ΔX_F ca diferente intre deviatia dorita a segmentelor piciorului robotului ΔX_D si deviatia actuala a segmentelor piciorului robotului ΔX^F .

Modul de cinematica inversa de forta (CIF) care primeste semnalul de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$ care se transmite la **modulul de control inteligent (Σ)** cu scopul de a fi aplicat **modulului de actionare actuatoare (MAA)** ale articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru a se mentine forta de contact dorita F_D .

Modul generare traiectorie robot (GTR) care primeste pozitiile carteziene haptice X_{CH} generate de **modulul dispozitiv haptic (DH)** si transmise de **modulul de comunicatii operator (MCO)** si, in functie de semnalul de comanda a detectarii contactului X_{DC} , genereaza traiectoriile miscarii piciorului robotului in coordonate carteziene X^{CR} pentru traiectoria dorita astfel: asigura atingerea terenului cu varful talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru terenuri denivelate si nestructurate, respectiv asigura atingerea terenului cu partea posterioara a talpii piciorului pana la contactul complet al segmentului talpii piciorului pentru mersul robotului normal pe terenuri plane si il compara cu pozitia actuala a articulatiei talpii piciorului X_C in spatiul de miscare a robotului, rezultand eroarea de pozitie in spatiul cartezian ΔX_C , care se aplica **modulului cinematica inversa de pozitie (CIP)**.

Modul de cinematica inversa de pozitie (CIP), primeste semnalul de eroare de pozitie in spatiul cartezian ΔX_C , iar prin aplicarea modelului cinematici inverse, cum ar fi inversul Jacobianului, se obtine eroarea unghiulara $\Delta \Theta_P$ care se aplica **modulului de actionare actuatoare (MAA)** ale articulatiilor segmentelor piciorului robotului pentru urmarirea traiectoriei in pozitie a miscarii piciorului robotului.

Modulul de control inteligent (Σ) care primeste semnalul de eroare unghiulara datorata fortei de contact $\Delta \Theta_F$, generat de **modul de cinematica inversa de forta (CIF)** si semnalul de eroarea unghiulara $\Delta \Theta_P$, generat de **modulul de cinematica inversa pozitie (CIP)** si asigura comutarea, prin semnalul de comanda al detectarii contactului X_{DC} , de la eroare de pozitie $\Delta \Theta_P$, pentru mersul pe teren neted/plat, la eroarea unghiulara datorate fortei de contact $\Delta \Theta_F$, avand ca efect amortizarea miscarii la contactul intre terenul denivelat si talpa piciorului robotului in conditii de stabilitate si fara suprareglaje, cu generarea semnalului de eroare.

Modul actionare actuatoare (MAA) este compus din servomotoare de actionare pe fiecare axa de miscare a robotului si primeste semnalul de eroare de la **modulul de control inteligent (Σ)** cu actionarea mecanica a actuatoarelor robotului pe fiecare axa de miscare.

Modul comunicatii robot (MCR), receptioneaza de la **modulul harta mediu robot (HMR)** semnalul X_{HMR} al hartii mediului robot tri-dimensional, cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si a semnalului de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , pe care le transmite prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la **modulul comunicatii operator (MCO)** cu scopul de a permite monitorizarea miscarii robotului de la distanta de catre operatorii umani, si receptioneaza de la **modulul comunicatii operator (MCO)** valorile pozitiiilor carteziene

9

Handwritten mark

haptice X_{CH}^H pe care le transmite, ca semnal de referinta de pozitie X_{CH} pentru controlul miscarii robotului, la **modul generare traictorie robot (GTR)**.

Modul comunicatii operator (MCO) care receptioneaza de la **modulul dispozitiv haptic (DH)** semnalul pozitiei carteziene haptice X_{CH}^H pe care il transmite prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS la **modulul de comunicatii robot (MCR)**, cu scopul de control haptic al robotului de operatorul uman, receptioneaza prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS de la **modulul de comunicatii robot (MCR)** semnalul X_{HMR} al hartii mediului robot pe care il transmite ca semnal X_{HMR}^H la **modulul harta haptica (HM)** si receptioneaza prin comunicatii WI-FI sau GPS/GPRS de la **modulul de comunicatii robot (MCR)** semnalul de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F pe care il transmite ca semnal ΔX_F^H la **modulul forta haptica(FH)**.

Modul harta haptica (HM) care primeste semnalul hartii mediului robot X_{HMR}^H de la **modul comunicatii operator (MCO)** si semnalul pozitiei carteziene haptice X_{CH}^H de la **modulul dispozitiv haptic (DH)** in scopul generarii hartii mediului robot cu imagine stabila la miscarile robotului, la care se asociaza rigiditatea pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C , avand ca scop controlul vizual al miscarii robotului de catre **operatorul uman**.

Modul forta haptica, primeste semnalul de eroare de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F^H si matricea rigiditatii K_W ambele de la **modulul de comunicatii operator (MCO)**, cu generarea fortei haptice a robotului F_{HR} , care este in corelatie cu forta de contact cu terenul, prin aplicarea relatiei $F_{HR} = K_W * \Delta X_F^H$.

Modul dispozitiv haptic, primeste semnalul de forta haptica a robotului F_{HR} de la **modulul forta haptica (FH)** si un semnal de forta F_{OU} datorat actionarii de catre **operatorul uman** a manetei **dispozitivului haptic (DH)**, cu scopul de a permite **operatorului uman** sa simta in timpul manipularii manetei **dispozitivului haptic (DH)** forta de reactie determinata de rigiditatea asociata pozitiei articulatiei talpii piciorului robotului X_C si eroarea de pozitie datorata fortei de contact cu terenul ΔX_F , simultan operatorul uman primind informatii vizuale de la **harta haptica a mediului robotului (HMR)**, si genereaza in timp real semnalul pozitiilor carteziene haptice X_{CH}^H , care reprezinta pozitiile carteziene de referinta pentru **generatorul traictorie de miscare (GTR)** a segmentelor piciorului robotului, care permit **operatorului uman** sa controleze de la distanta miscarea robotului in situatii de criza sau de dezastre naturale in care viata oamenilor este in pericol.

Handwritten signature

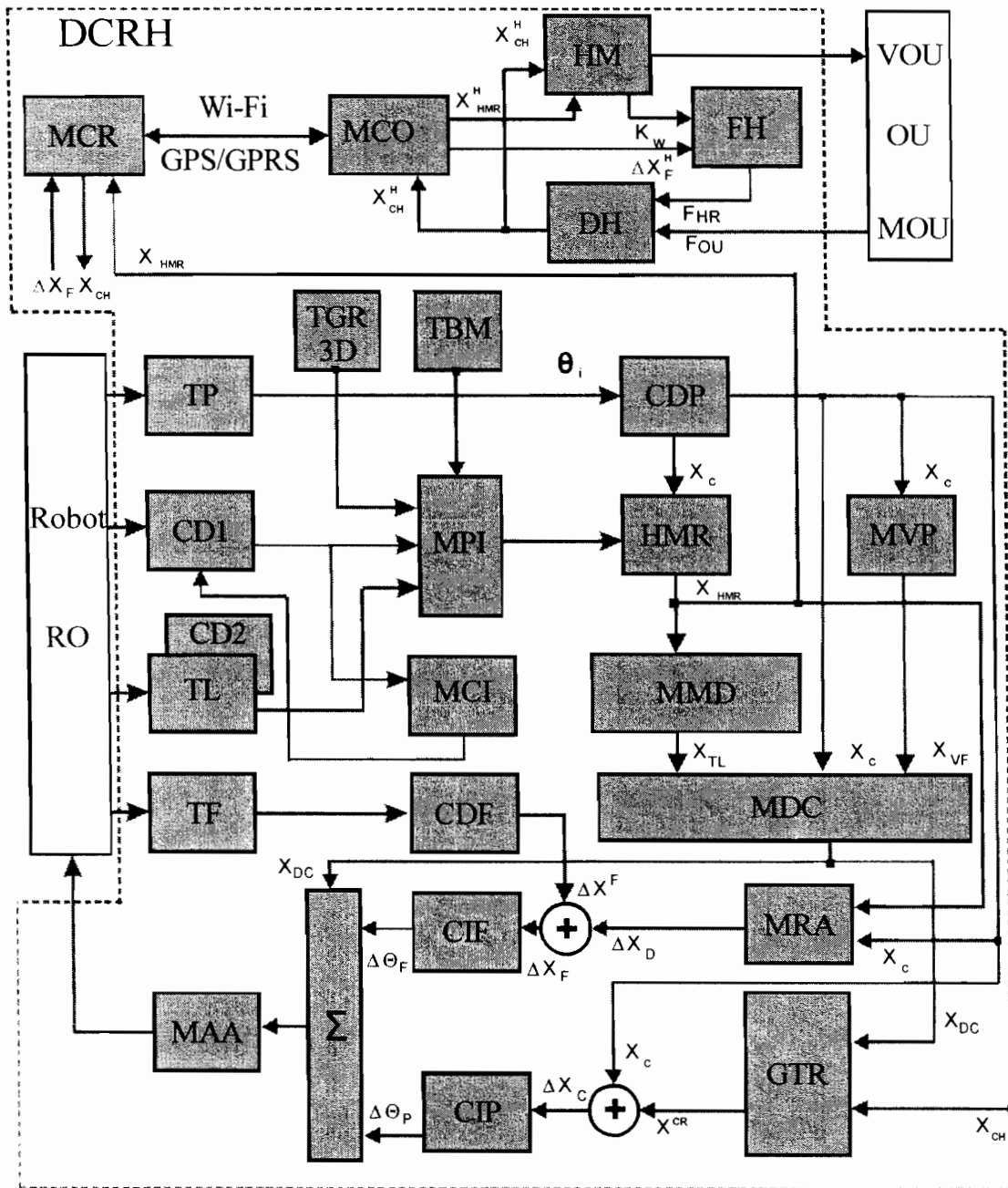


Fig.1 Schemă de principiu a dispozitivului pentru controlul robotului haptic pe terenuri denivelate și medii incerte

Cy