



**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA**

**FACULTATEA DE AUTOMATICĂ,  
CALCULATOARE ȘI ELECTRONICĂ**

**REZUMAT  
TEZĂ DE DOCTORAT**

**SISTEM DE CONTROL 3D  
PENTRU UN ROBOT  
HIPERREDUNDANT**

**Conducător științific: prof.dr.ing. Mircea IVĂNESCU**

**Doctorand: ing. Alice PREDESCU**

**2011**

## **Obiective**

Roboții hiperredundanți reprezintă o clasă nouă de roboți, care a trezit interesul unui număr mare de cercetători științifici din întreaga lume. Față de structurile clasice, proiectate să aibă un număr redus de articulații, conectate în serie prin intermediul unor elemente structurale rigide ce operează într-un spațiu deschis fără constrângeri, roboții hiperredundanți au fost proiectați cu un număr foarte mare de articulații cu un grad de manevrabilitate ridicat, pentru a putea opera în spații cu restricții. Aceste modele robotice sunt utilizate în diverse aplicații cum ar fi operații ce necesită deplasarea pe teren accidentat, în operațiuni de căutare și salvare, în inspecția zonelor înguste din medii industriale precum și în investigații medicale interne.

În prezenta lucrare de doctorat se analizează diverse metode de control ale roboților hiperredundanți existente în literatura de specialitate, se modelează din punct de vedere matematic un sistem robotic hiperredundant și în final se implementează un sistem de teleoperare care permite controlul sistemului robotic de la distanță.

## **Organizarea tezei**

Lucrarea de față este organizată în cinci capitole, un capitol dedicat concluziilor, o anexă și un capitol cuprinzând referințele bibliografice.

**Capitolul 1** – *Roboți hiperredundanți – Noțiuni fundamentale* prezintă o serie de caracteristici ale roboților hiperredundanți, subliniind principalele diferențe față de roboții clasici, urmând o

prezentare a câtorva modele de referință existente în literatura de specialitate. Se realizează apoi o clasificare a roboților hiperredundanți, din punct de vedere morfologic și al construcției. Sunt descrise cele mai utilizate metode de acționare ale sistemelor tentaculare (pneumatice, hidraulice, bazate pe materiale inteligente de tip SMA, lichide ER, mușchi artificiali din polimeri), având în vedere că o acționare electrică clasică nu poate fi folosită datorită greutății suportului mecanic.

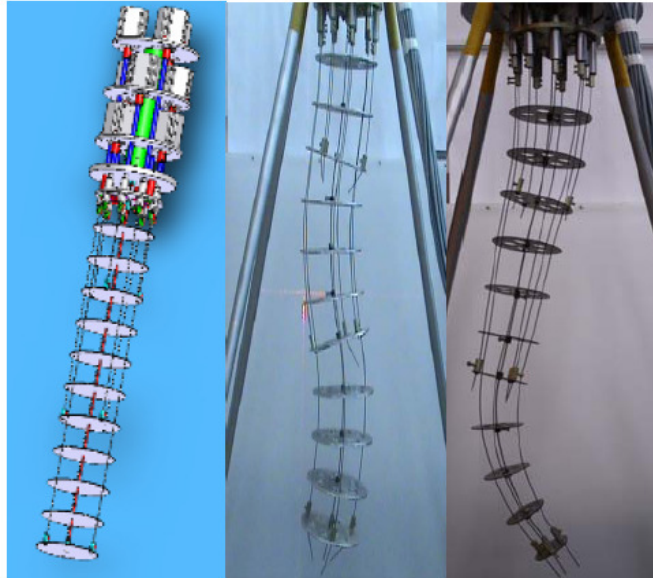
**Capitolul 2 – Modele matematice ale roboților hiperredundanți** are un pronunțat caracter teoretic, prin sintetizarea modelelor matematice ale celor mai importante structuri de roboți hiperredundanți, cât și prin rezumarea unor lucrări reprezentative pentru acest domeniu, studiate de către autoare. Acest capitol reprezintă o bază teoretică utilizată și în alte capitole ale tezei. Modelarea matematică a acestui tip de roboți are în vedere atât abordarea cinematică cât și cea dinamică. Sunt descriși algoritmi care permit implementarea unor controlere de tip convențional PD fără a utiliza modelul matematic complicat al brațului mecanic. Este prezentat un sistem de conducere în implementarea căruia sunt folosite controllere fuzzy și sunt analizate două cazuri distincte: cazul când poziția dorită a brațului robotic este staționară și cazul în care poziția dorită a tentaculului este variabilă în timp. În continuare este analizat controlul cinematic diferențial. Modelul diferențial al unui robot este un model care permite calculul diferențial al coordonatelor operaționale. În funcție de diferențiala coordonatelor generalizate, această dependență se poate scrie printr-o matrice Jacobian. Jacobianul manipulatorului este unul din cele mai importante instrumente în teoria controlului convențional. Ultimul sistem descris este cel de conducere cooperativă unde se pune problema cooperării a

doi sau mai mulți roboți în scopul realizării unei acțiuni comune. Pe lângă problemele complexe ale controlului mișcării fiecărui braț, apar în plus și alte probleme legate de conducerea cooperantă a acestora astfel încât în punctele terminale să fie exercitată o anumită forță ce va putea asigura mișcarea impusă a obiectului-sarcină.

În cadrul **Capitolului 3** – *Controlul roboților hiperredundanți folosind camere video* sunt analizate metode alternative de conducere ale roboților hiperredundanți folosind camere video. Controlul bazat pe imagini sau visual servoing cum este cunoscut în literatura de specialitate este clasificat în funcție de eroarea folosită pentru calcularea legii de control în patru categorii, ce sunt prezentate pe scurt, enumerându-se avantajele și dezavantajele fiecăreia. O atenție deosebită se acordă servocontrolului bazat pe informația vizuală extrasă din imagini, deoarece este o abordare mai simplă, mai rapidă ce reduce întârzierile de calcul, elimină necesitatea interpretării imaginii, elimină erorile datorate modelării senzorului și a calibrării camerei. Această abordare a fost exemplificată și prin două aplicații, una în care controlul se realizează cu ajutorul unei camere fixe externe, cealaltă aplicație folosind două camere fixe externe. Pentru un control mai bun al unui robot hiperredundant este analizată și posibilitatea evitării limitelor articulațiilor și singularitățile cinematice, deoarece în cazul în care o lege de control calculează mișcarea ce depășește limitele robotului, task-ul propus nu poate fi executat. În ultima parte a capitolului este prezentată o altă metodă de conducere a unui manipulator hiperredundant utilizând camere mobile, sistemul robotic fiind compus dintr-un braț robotic trompă de elefant montat pe o bază mobilă. Acest tip de robot este folosit în operații de cautare și salvare.

În **Capitolul 4** – *Modelarea matematică a unui robot hiperredundant tronconic* sunt dezvoltate modelele matematice ale

unui robot hiperredundant tronconic realizat în cadrul Departamentului de Mecatronică al Facultății de Automatică, Calculatoare și Electronică, Universitatea din Craiova. Pentru sistemul robotic studiat este descrisă structura mecanică și sunt prezentate sistemele de control și de acționare.



**Figura 1 Manipulator hiperredundant a) reprezentare în CAD  
b) forma cilindrică c) forma tronconică**

Pentru a facilita modelarea din punct de vedere cinematic și testarea modului de funcționare al sistemului robotic s-a construit un simulator utilizând mediul Matlab.

Tot în cadrul acestui capitol sunt descrise modelele cinematice directe 2D/3D și cinematica diferențială a segmentelor robotului. S-a modelat și simulat controlul segmentelor robotului hiperredundant tronconic. Pentru a observa evoluția lungimilor cablurilor de control ale robotului în cazul 2D/3D și evoluția în timp a lungimilor cablurilor fără întârzieri, sunt prezentate o serie de simulări în Matlab. În finalul capitolului s-a propus o metodă de control a segmentelor în buclă închisă, cu ajutorul unui sistem de vedere artificial ce măsoară înghiurile curente ale curburii segmentelor.

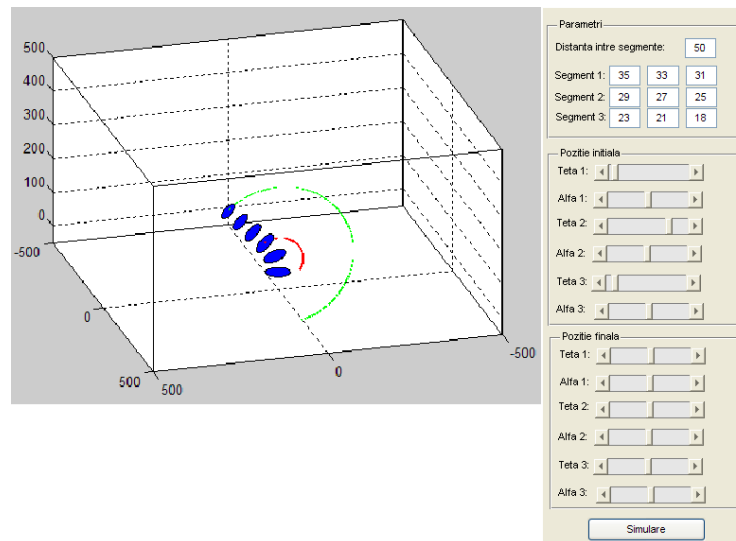


Figura 2. Interfața grafică a simulatorului robotului hiperredundant

În **Capitolul 5** Sistem de tele-operare pentru un robot hiperredundant s-a proiectat un sistem de tele-operare pentru conducerea unui manipulator hiperredundant compus din trei segmente, permițând astfel operatorului uman controlul formei manipulatorului de la distanță.

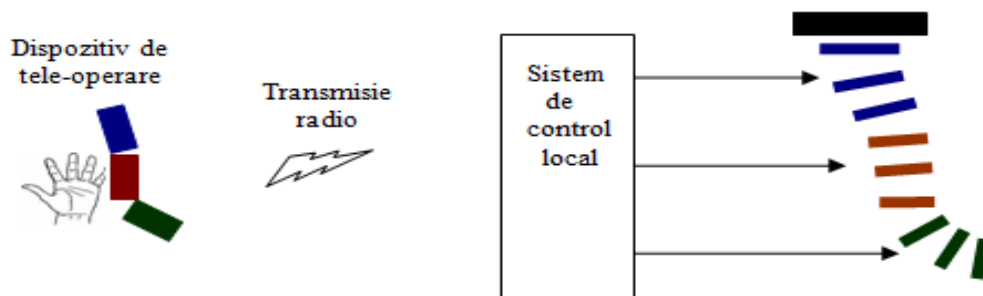
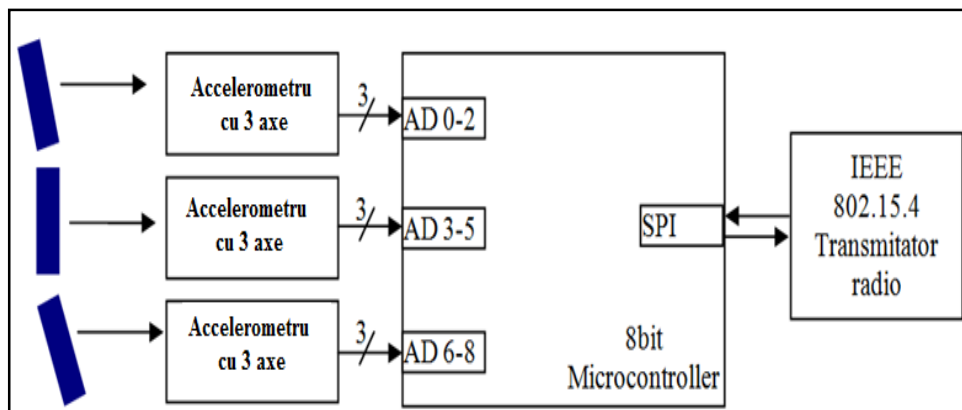


Figura 3 . Structura sistemului de tele-operarea a robotului hiperredundant

Dispozitivul de tele-operare este compus din trei segmente ce controlează distant cele trei segmente ale manipulatorului hiperredundant. Datele legate de pozițiile de înclinare ale dispozitivului

sunt transmise către sistemul de conducere local al robotului folosind unde radio. Controlul segmentelor robotului hiperredundant se realizează cu ajutorul unor accelerometre pe trei axe MMA7260Q, capacitive construite în microtehnologie, proiectate cu un filtru trece jos unipolar. Fiecare accelerometru este asociat unui segment al brațului robotic, ce este controlat distant. Înclinarea segmentului controlat este calculată prin determinarea unghiului de înclinare al accelerometrului corespunzător.



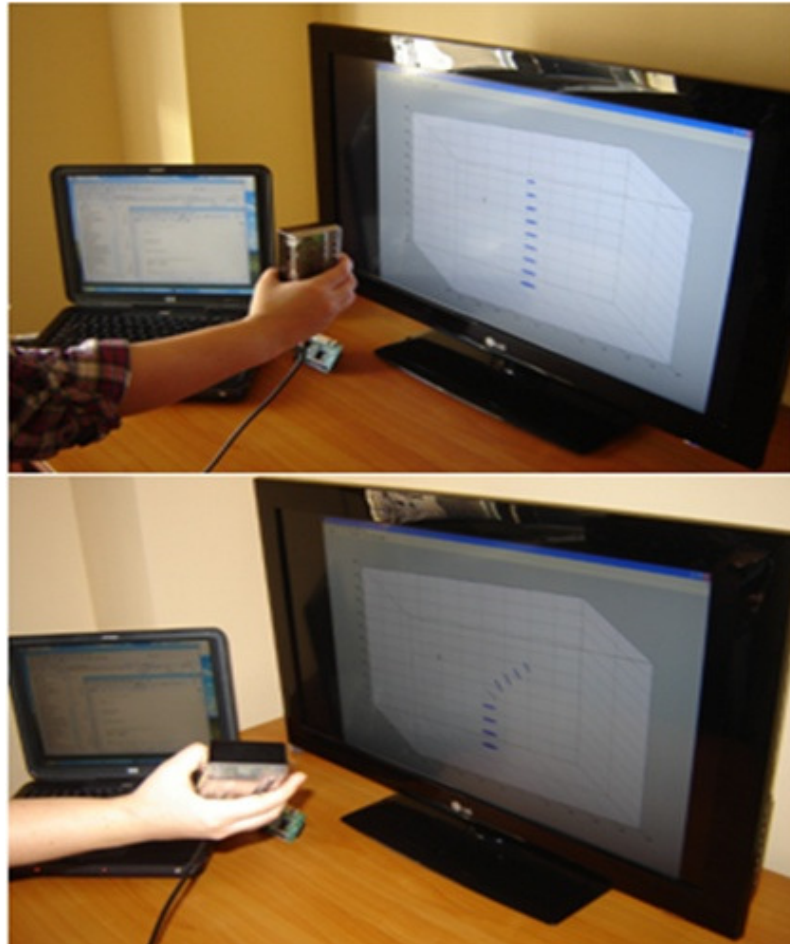
**Figura 4. Structura dispozitiv de tele-operare**

Accelerometrele au fost integrate din punct de vedere software pentru a transfera datele către sistemul de control local. Pentru transmiterea datelor (unghiurile de înclinare) către sistemul de control local al robotului este folosit un sistem de comunicație wireless.

Implementarea sistemului de comunicație este realizată folosind standardul de comunicație IEEE 802.15.4. Rețeaua în cazul sistemului de tele-operare propus este compusă dintr-un coordonator conectat la calculatorul local care controlează robotul și trei noduri terminale, fiecare conectat la un segment al dispozitivului de tele-operare.

Pentru testarea dispozitivului de tele-operare în timp real este folosit simulatorul robotului hiperredundant în mediul MATLAB.

Simulatorul MATLAB primește datele de la dispozitivul de tele-operare al manipulatorului folosind interfața USB.

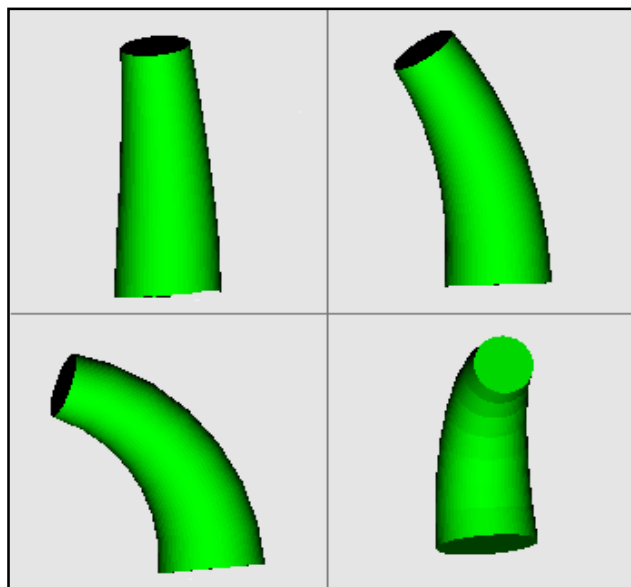


**Figura5. Imagine din timpul simulării**

Pentru o mai bună înțelegere a modului de funcționare al robotului hiperredundant în lumea reală este creat și un model 3D al brațului în mediul VRML. Modelul VRML folosește ca date de intrare, informațiile rezultate din simulările MATLAB, forma robotului este afișată într-un browser ce suportă VRML.

În Anexa 1 a acestei lucrări este descrisă structura aplicației software a simulatorului 3D în mediul VRML.





*Figura 6. Imagini din timpul simulării 3D a robotului hiperredundant in mediul VRLM*

## **Contribuții**

Contribuțiile personale aduse în această teză pot fi sintetizate astfel:

- o investigare completă a caracteristicilor structurilor robotice hiperredundante existente în literatura de specialitate;
- prezentarea sintetică a metodelor de acționare a sistemelor robotice hiperredundante;
- studiul modelelor cinematice, dinamice și diferențiale ale unui robot hiperredundant;
- prezentarea sintetică a unei metode de conducerea cooperativă a roboților hiperredundanți;
- prezentarea sintetică a unor metode fuzzy de conducere a roboților hiperredundanți;

- analiza unor metode alternative de control ale roboților hiperredundanți folosind camere video și identificarea avantajelor și dezavantajele folosirii acestor metode;
- dezvoltarea modelelor matematice ale unui robot hiperredundant tronconic:
  - a fost construit un simulator, utilizând mediul Matlab;
  - au fost create modelele cinematice 2D și 3D ;
  - s-a modelat și simulat controlul segmentelor robotului hiperredundant tronconic;
  - s-a determinat modelul cinematic diferențial al segmentelor;
  - s-au realizat o serie de simulări în Matlab pentru exemplificarea rezultatelor modelelor calculate;
  - a fost propusă o metodă de control a segmentelor în buclă închisă, cu ajutorul unui sistem de vedere artificial ce măsoară unghiurile curente ale curburii segmentelor;
- proiectarea unui sistem de tele-operare pentru conducerea unui manipulator hiperredundant:
  - au fost integrate accelerometrele din punct de vedere software pentru a transfera datele către sistemul de control;
  - s-a implementat un sistem de comunicație wireless folosind standardul IEEE 802.15.4;
  - s-a dezvoltat un algoritm de conducere pentru atingerea unei poziție dorite în cazul 2D;
  - s-a simulat în timp real funcționarea sistemului propus folosind simulatorul MATLAB;
  - s-a construit un model 3D al robotului hiperredundant folosind mediul VRML.