

**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA**  
**Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică**  
**Școala Doctorală de Științe Inginerești**  
**Departamentul de Automatică, Electronică și Mecatronică**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Dezvoltarea unei structuri robotice pășitoare  
pentru medii structurate și nestructurate**

**-Rezumat-**

**Conducător științific:**

Prof. univ. dr. ing. Mircea Nițulescu

**Doctorand:**

Ing. Sorin Mănoiu – Olaru

**Craiova 2013**

# CUPRINS

---

<b>1</b>	<b>Introducere</b>	<b>1</b>
1.1	Robotica pășitoare hexapodă	3
1.2	Obiective	9
1.3	Organizarea tezei	10
<b>2</b>	<b>Modelarea piciorului robotic</b>	<b>12</b>
2.1	Variante constructive ale piciorului	13
2.1.1	Piciorul mamiferelor	14
2.1.2	Piciorul format din două segmente	15
2.1.3	Piciorul pentagraf	15
2.1.4	Piciorul pantograf	16
2.2	Cinematica piciorului	16
2.2.1	Cinematica directă	16
2.2.2	Cinematica inversă	19
2.2.3	Modelul cinematic al piciorului robotic	20
2.2.4	Poziția centrului de masă al piciorului	24
2.3	Analiza spațiului de operare al piciorului	24
2.4	Modelul dinamic al piciorului	26
2.4.1	Calculul matricelor de transformare de bază	28
2.4.2	Calculul vectorilor de poziție ai elementelor piciorului	29
2.4.3	Calculul vitezelor liniare ale elementelor piciorului	30
2.4.4	Calculul vitezelor unghiulare ale elementelor piciorului	31
2.4.5	Calculul energiei cinetice și potențiale	31
<b>3</b>	<b>Analiza categoriilor fundamentale de obstacole</b>	<b>36</b>
3.1	Obstacolul de tip plan înclinat	37
3.1.1	Deplasarea de-a lungul unui plan înclinat	38
3.1.2	Deplasarea transversală pe planul înclinat	39
3.2	Obstacolul de tip treaptă	41
3.3	Obstacolul de tip prag	43
3.4	Obstacolul de tip șanț	45
3.5	Obstacole cu formă particulară	46
<b>4</b>	<b>Interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod</b>	<b>49</b>
4.1	Editorul Matlab G.U.I.D.E.	50
4.2	Utilitarul Object Browser	51
4.3	Utilitarul Property Inspector	51
4.4	Elementele grafice din componența editorului GUIDE	52
4.4.1	Butonul cu revenire (Push Button)	54
4.4.2	Textul static (Static Text)	54
4.4.3	Căsuțe text editabile (Editable TextBox)	55
4.4.4	Liste (Listbox)	56
4.4.5	Cursorul (Slider)	57
4.4.6	Căsuțele de selecție (Checkbox)	58
4.4.7	Grupuri de obiecte (Panel)	59
4.5	Proprietatea callback	60
4.6	Modelul grafic al robotului hexapod	61
4.7	Interfața grafică pentru controlul robotului hexapod	63
4.7.1	Zona 1. Implementarea cinematicii directe	64
4.7.2	Zona 2. Setarea parametrilor corpului robotic și controlul unui picior	66

4.7.3	Zona 3. Afișarea parametrilor corpului robotului	66
4.7.4	Zona 4. Implementarea cinematicii inverse	67
4.7.5	Zona 5. Setarea parametrilor structurali ai segmentelor piciorului	68
4.7.6	Zona 6. Simularea locomoției peste diferite tipuri de obstacole	68
4.7.7	Zona 7. Afișarea configurației robotului în funcție de parametrii selectați	70
4.8	Interfața grafică de control a piciorului robotului hexapod	72
4.8.1	Modul Offline	72
4.8.2	Modul Online	73
<b>5</b>	<b>Structura hardware a robotului hexapod</b>	<b>74</b>
5.1	Structura mecanică	74
5.2	Platforma Arduino	82
5.2.1	Arduino Mega2560	82
5.2.2	Mediul de programare Arduino IDE	84
5.3	Placa de comandă a servomotoarelor SSC-32	85
5.4	Servomotoarele din articulațiile robotului	87
<b>6</b>	<b>Controlul robotului peste obstacole fundamentale. Rezultate experimentale</b>	<b>90</b>
6.1	Aproximarea unei traiectorii poligonale folosind arce de cerc și curbe Spline	90
6.2	Arhitectura sistemului de conducere al robotului	92
6.3	Controlul unui picior al robotului hexapod	93
6.3.1	Arhitectura sistemului de conducere al unui picior	93
6.3.2	Algoritmul de generare a traiectoriei tălpii piciorului	95
6.3.3	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului	95
6.3.4	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al piciorului	99
6.3.5	Analiza modelului dinamic al piciorului	101
6.4	Analiza stabilității statice	104
6.4.1	Algoritmul simulării	105
6.4.2	Condiția de stabilitate statică	105
6.4.3	Analiza stabilității statice în regim de defect	105
6.4.4	Analiza stabilității statice pe durata deplasării	106
6.5	Controlul robotului pe plan orizontal	107
6.5.1	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	108
6.5.2	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	113
6.6	Controlul robotului pe plan înclinat	117
6.6.1	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	119
6.6.2	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	122
6.7	Controlul robotului pe un obstacol de tip treaptă	126
6.7.1	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	127
6.7.2	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	130
6.8	Controlul robotului peste un obstacol de tip prag	133
6.8.1	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	134
6.8.2	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	138
6.9	Controlul robotului peste un obstacol de tip șanț	142
6.9.1	Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	145
6.9.2	Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	151

<b>7</b>	<b>Controlul robotului pentru escaladarea obstacolelor complexe.</b>	
	<b>Rezultate experimentale</b>	154
7.1	Controlul robotului pe un obstacol de tip scară dreaptă	154
	7.1.1 Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	157
	7.1.2 Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	160
7.2	Controlul robotului pe un obstacol de tip scară în spirală	162
	7.2.1 Rezultate experimentale folosind interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod	164
	7.2.2 Rezultate experimentale obținute cu modelul fizic al robotului	168
<b>8</b>	<b>Concluzii și contribuții personale</b>	171
8.1	Concluzii	171
8.2	Contribuții personale	174
8.3	Direcții de viitor	176
	<b>Bibliografie</b>	177
	<b>Listă de figuri</b>	185

# REZUMAT

Teza de doctorat "**Dezvoltarea unei structuri robotice pășitoare pentru medii structurate și nestructurate**" este rezultatul unei activități susținute de studiu și cercetare.

Această lucrare tratează problema locomoției structurilor robotice cu sustentație pășitoare în medii structurate sau nestructurate aprioric. După explorarea bibliografică pe care am realizat-o, s-au identificat și analizat mai multe structuri robotice din această categorie. Unele dintre ele au făcut obiectul unor cercetări științifice anterioare, altele sunt disponibile pentru achiziționare. Sursa de inspirație a tuturor acestor structuri este în mod cert lumea biologică.

## **Capitolul 1: Introducere**

În capitolul introductiv s-a identificat ca o problemă principală menținerea stabilității structurii robotice pășitoare pe durata deplasării sale. Pentru ca o structură pășitoare să fie stabilă este necesar ca proiecția centrului său de masă să fie în poligonul suport determinat de tălpile picioarelor aflate pe sol la moment respectiv. Forma poligonului suport minimal care asigură stabilitatea este un triunghi (echilibru isostatic). Stabilitatea roboților pășitori se îmbunătățește cu cât numărul picioarelor pe care se sprijină instantaneu robotul este mai mare (echilibru hiperstatic). Un efect direct al acestui aspect este însă scăderea vitezei de deplasare a robotului. Spre deosebire de structurile pășitoare cu un număr mai mic de picioare, roboții hexapozi rămân stabili chiar dacă procesul de locomoție încetează accidental.

Structurile robotice pășitoare sunt folosite cu preponderență în medii nestructurate. În aceste medii se pot identifica 4 categorii fundamentale de obstacole: plan înclinat, treaptă, șanț, prag. O categorie de obstacole cu formă particulară este reprezentată de scări. Complexitatea acestor tipuri de obstacole în raport cu cele anterioare este dată în primul rând de numărul mai mare de parametri asociați. Analiza acestor categorii de obstacole pentru un robot pășitor reprezintă un pas necesar în integrarea unor astfel de structuri în aplicații specifice din sfera serviciilor. Abordarea obstacolelor de tip scară este o temă actuală în literatura de specialitate, unde se întreprind eforturi de cercetare susținute pentru dezvoltarea roboticii mobile pășitoare, sub toate aspectele.

De asemenea, în primul capitol s-au evaluat principalele avantaje și dezavantaje ale roboților pășitori prin raportare la alte clase ale roboticii mobile, respectiv roboții cu sustentație prin roți și cei cu sustentație prin șenile. Tot în acest capitol s-au definit criteriile de performanță impuse structurii robotice hexapode care au făcut obiectul prezentei cercetări. Cele mai importante constrângeri impuse robotului au fost: menținerea corpului său paralel cu solul pe durata locomoției, menținerea unei înălțimi maxime a corpului robotului față de sol.

## **Capitolul 2: Modelarea piciorului robotic**

Elementul fundamental și determinant pentru performanțele unui robot pășitor este piciorul. Cele mai studiate structuri de picioare din lumea biologică care au stat la baza dezvoltării unor picioare robotice sunt cele ale insectelor. Capitolul al doilea tratează majoritatea aspectelor semnificative care țin de piciorul robotic. Pentru picioarele robotului hexapod care a fost studiat aici s-a ales o structură cu trei grade de libertate, la care s-au elaborat modelul cinematic direct și modelul cinematic invers (prin formalismul Denavit – Hartenberg) și modelul dinamic (prin formalismul Euler-Lagrange).

Deși acționările folosite pentru articulațiile fiecărui picior permit o mișcare de rotație cu amplitudinea de  $180^{\circ}$ , domeniul a fost restrâns din considerente legate de construcția mecanică a robotului și limitarea zonelor de intersecție dintre spațiile lor de operare.

## **Capitolul 3: Analiza categoriilor fundamentale de obstacole**

Unul dintre avantajele majore ale structurilor pășitoare față de cele cu sustentație prin roți este în cazul locomoției pe teren accidentat, caracterizată prin lipsa unei suprafețe continue de

contact. Varietatea suprafețelor terestre pe care un robot pășitor le poate traversa este foarte mare, însă obstacolele dispuse pe aceste suprafețe se pot clasifica în patru categorii fundamentale, de tip plan înclinat, treaptă, prag și șanț. În capitolul trei, pe lângă aceste patru categorii fundamentale s-au mai introdus încă două tipuri de obstacole complexe, scara dreaptă și scara în spirală, mai dificil de escaladat și care fac și ele obiectul de studiu al prezentei lucrări.

Toate aceste categorii de obstacole sunt analizate în acest capitol, sunt definiți parametri specifici și sunt evaluate influențele lor asupra strategiilor de locomoție elaborate ulterior.

#### **Capitolul 4: Interfața grafică pentru simularea funcțională a robotului hexapod**

Modelarea matematică și simulările asistate de calculator au devenit o practică uzuală în cercetarea științifică. Aceste instrumente permit studiul evoluției sistemelor reale în diferite condiții, permițând totodată și estimarea performanțelor sistemelor complexe pentru care soluțiile analitice sunt greu de găsit. În capitolul patru este prezentată o parte a limbajului de programare Matlab folosit pentru simularea grafică și comportamentală a robotului hexapod. În acest limbaj s-au implementat modelul cinematic direct, modelul cinematic invers, modelul dinamic al piciorului structurii hexapode, analiza spațiului de operare pentru un picior. De asemenea, în mediul Matlab s-a proiectat o interfață de simulare a robotului hexapod folosind editorul GUIDE. S-a făcut o descriere detaliată a acestui editor și a elementelor grafice folosite pentru realizarea întregii platforme de simulare, a cărei funcționalitate este de asemenea explicitată aici. Această interfață permite simularea deplasării peste obstacole folosind modelele construite anterior pentru robotul hexapod, analiza stabilității în caz de defect intervenit la nivelul unui picior, precum și analiza stabilității robotului pe durata deplasării sale cu diferite strategii de locomoție. Comunicația dintre platforma software și modelul experimental realizat pentru robotul hexapod real se face prin intermediul sistemului său de conducere care a fost construit în jurul plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560 cu microcontroler Atmel – AVR.

#### **Capitolul 5: Structura hardware a robotului hexapod**

Analiza detaliată a simulărilor grafice comportamentale ale robotului peste categoriile de obstacole evidențiate anterior a avut un rol important în dimensionarea modelului experimental al robotului hexapod care a fost proiectat și construit. În capitolul cinci sunt prezentate detaliat etapele parcurse și problemele apărute pe parcursul construcției acestui model experimental. Un punct de plecare al proiectării și construcției a fost analiza critică a câtorva structuri de roboți pășitori care sunt comercializați și la care am avut acces. Dintre toate modelele analizate doar două structuri îndeplineau parțial criteriile impuse cercetării din această lucrare. Cele două structuri robotice comerciale candidate au fost BH3 și A-POD. În final, punctul de plecare al proiectării și construcției unei noi structuri robotice hexapode a fost modelul BH3, disponibil în laboratorul în care mi-am efectuat cercetările. Plecând de la câteva elemente ale structurii BH3 s-au realizat mai întâi modelele CAD ale picioarelor și ale corpului robotului. În procesul de proiectare a modelului experimental al robotului hexapod s-au realizat trei variante succesive, folosind diferite soluții și materiale constructive. Tot în acest capitol este detaliat modul de funcționare al servomotoarelor electrice care echează cele 18 articulații ale robotului. Pe lângă structură mecanică și acționări, robotul hexapod dispune și de un sistem de conducere compus din: placa de dezvoltare Arduino Mega2560 bazată pe un microcontroler Atmel – AVR, placa de comandă a celor 18 servomotoare (SSC-32) realizată de asemenea în jurul unui microcontroler Atmel – AVR, sursa alimentării electrice pentru servomotoare, un afișor LCD și șase senzori de forță. Tot în cadrul acestui capitol este prezentat și mediul de programare Arduino IDE folosit pentru programarea plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560.

#### **Capitolul 6: Controlul robotului peste obstacole fundamentale. Rezultate experimentale**

În capitolul al șaselea sunt descrise controlul locomoției robotului peste cele patru categorii fundamentale de obstacole și detalii ale experiențelor efectuate atât prin simulare grafică cât și cu modelul robotului hexapod construit. La începutul capitolului este abordată problema aproximării

traietoriilor poligonale folosind arce de cerc și curbe Spline. Pentru calculul punctelor de pe traiectoria impusă tălpii unui picior se folosește funcția *interparc*, care nu se regăsește în pachetul de funcții de bază Matlab dar se poate obține din site-ul oficial al produsului. Apoi este definită și detaliată arhitectura sistemului de conducere al robotului.

În continuare s-a testat și analizat modul în care punctul caracteristic al tălpii piciorului realizează diferite traiectorii specifice pășirii: traiectorie liniară, traiectorie curbilinie plană și traiectorie curbilinie în spațiu. Aceasta s-a realizat mai întâi în mediul de simulare creat, iar ulterior și prin experiențe reale cu modelul construit al robotului hexapod. Erorile de urmărire cele mai mici s-au înregistrat în cazul traiectoriei curbilinii plane. O altă analiză efectuată asupra configurației piciorului robotic a vizat testarea modelului său dinamic cu editorul SimMechanics, parte componentă a Matlab, pentru determinarea forțelor și momentelor pe care servomotoarele din articulații trebuie să le dezvolte pentru păstrarea stabilității robotului pe traiectorie.

Apoi s-a realizat o analiză a stabilității robotului hexapod în regim de defect intervenit la nivelul articulațiilor unor picioare și pentru secvențele de pășire pe plan orizontal. În cadrul analizei stabilității în regim de defect s-a urmărit comportamentul robotului când una sau mai multe articulații se defectează sau comanda transmisă către acestea nu este îndeplinită corespunzător din diferite motive. În cadrul celei de-a doua analize s-a urmărit modul în care se modifică poligonul suport al robotului în funcție de secvența de pășire aleasă.

După aceea s-a trecut la dezvoltarea și implementarea strategiilor de locomoție pentru fiecare tip de obstacol fundamental. Proiectarea acestor strategii a avut ca principale constrângeri criteriile impuse inițial cercetării, definite în primul capitol. Prima strategie studiată a fost locomoția pe planul orizontal, cazul cel mai simplu de deplasare al robotului. Pentru obstacolul de tip plan înclinat s-a urmărit aceeași procedură ca și pentru mersul pe plan orizontal. Elementul specific al algoritmului proiectat este legat de calculul coordonatelor Z ale tălpiilor picioarelor astfel încât poziționarea acestora să fie corectă și să nu afecteze stabilitatea robotului pe durata deplasării. A fost abordat apoi obstacolul de tip treaptă, pentru care s-a proiectat de asemenea o strategie de locomoție adecvată. Experiențele realizate cu modelul construit al robotului hexapod au relevat necesitatea introducerii unor corecții, care inițial nu au fost identificate prin simulările grafice efectuate. Ele au fost cauzate în principal de funcționarea articulațiilor picioarelor cu valori apropiate de cele limită și au condus în final la ajustarea înălțimii treptei peste care se poate realiza fizic pășirea. Pentru obstacolul de tip prag s-a considerat cazul în care lățimea acestuia nu permite poziționarea simultană a două perechi de picioare. Un element de dificultate care a fost rezolvat este cel în care picioarele plasate pe prag urmează să pășească pe sol. Pentru pășirea lor este necesar ca articulațiile din șold să fie plasate deasupra sau după marginea pragului.

În cazul obstacolului de tip șanț s-au elaborat două strategii de locomoție, funcție de lățimea acestuia. Prima strategie este asemănătoare cu cea a deplasării pe planul orizontal și permite traversarea unui șanț de lățime mică. A doua strategie permite robotului traversarea unui șanț cu o lățime aproape dublă. O observație importantă legată de această strategie este aceea că în anumite secvențe picioarele mijlocii se află plasate deasupra șanțului, nemaifiind deci puncte de sprijin pentru robot. Devine atunci foarte importantă ordinea de mișcare a picioarelor pentru ca robotul să nu-și piardă stabilitatea.

## **Capitolul 7: Controlul robotului pentru escaladarea obstacolelor complexe. Rezultate experimentale**

În capitolul șapte al lucrării sunt studiate două cazuri de obstacole particulare, cu complexitate sporită. Este vorba de obstacolul de tip scară dreaptă și de obstacolul de tip scară în spirală. Escaladarea acestor obstacole necesită strategii de locomoție care conțin mai multe etape destinate ajustării poziționale a robotului, inclusiv pentru corecția ciclică a înălțimii sale cu păstrarea orizontalității corpului, astfel încât procesul să poată continua indiferent de numărul treptelor. În plus, pentru obstacolul scară în spirală s-a proiectat și un algoritm de schimbare ciclică a orientării robotului, fără de care nu ar fi posibilă urcarea. Forma scării în spirală folosită pentru simularea deplasării a fost obținută plecând de la ecuația unei curbe elicoidale.

De notat și faptul că, în urma implementării tuturor algoritmilor în sistemul de conducere al robotului au apărut diferențe între simularea grafică și experiențele cu robotul real. Explicațiile constau în imperfecțiuni constructive datorate prelucrărilor mecanice, jocurilor existente în lanțurile cinematice, particularităților din transmisia comenzilor numerice furnizate de sistemul de conducere al robotului pentru articulații și puterii limitate a servomotoarelor folosite.

### **Capitolul 8: Concluzii și contribuții personale**

Ultimul capitol este dedicat prezentării concluziilor și expunerii principalelor contribuții aduse de prezenta lucrare, în opinia autorului. De asemenea, într-o secțiune specială sunt avansate câteva idei privind direcții de dezvoltare a cercetărilor ulterioare, pornind de la rezultatele obținute până în prezent.

#### **CONCLUZII**

Lucrarea de față se înscrie în tendințele actuale de dezvoltare a roboticii pășitoare. S-a insistat pe elaborarea unor strategii de locomoție și a algoritmilor de control aferenți pentru comanda robotului hexapod construit.

*Capitolele 4, 5, 6 și 7 reprezintă practic rezultatele eforturilor depuse de autorul tezei în ultimii ani, având un grad foarte mare de originalitate.*

În urma implementării tuturor algoritmilor în sistemul de conducere al robotului au apărut diferențe între simularea grafică și experiențele cu robotul real. Explicațiile constau în imperfecțiuni constructive datorate prelucrărilor mecanice, jocurilor existente în lanțurile cinematice, particularităților din transmisia comenzilor numerice furnizate de sistemul de conducere al robotului pentru articulații și puterii limitate a servomotoarelor folosite.

#### **CONTRIBUȚII PERSONALE**

Principalele contribuții aduse la realizarea prezentei lucrări, defalcate pe capitole, sunt următoarele:

- **Capitolul 2** – *Error! Reference source not found.*
  - Elaborarea modelului cinematic direct, folosind algoritmul Denavit – Hartenberg, pentru structura constructivă aleasă a piciorului robotic.
  - Elaborarea modelului cinematic invers pentru piciorul robotului hexapod.
  - Elaborarea modelului dinamic al piciorului folosind metoda Euler-Lagrange
  - Analiza spațiului de operare aferent structurii cinematice a unui picior, cu evidențierea formei și a punctelor semnificative de extrem.
- **Capitolul 3** – *Error! Reference source not found.*
  - Studiul celor patru categorii fundamentale de obstacole (plan înclinat, treaptă, prag și șanț), cu evidențierea principalelor relații dimensionale care trebuie să stea la baza proiectării unor strategii de locomoție adecvate.
  - Studiul obstacolelor cu formă particulară (scară dreaptă și scară în spirală) pentru determinarea relațiilor matematice care cuantifică procesul de locomoție specific unui robot hexapod.
- **Capitolul 4** – *Error! Reference source not found.*
  - Analiza detaliată a editorului GUIDE (MATLAB), cu evidențierea principalelor funcții și blocuri predefinite care pot fi folosite pentru dezvoltarea unei aplicații grafice destinată simulării funcționale și controlului robotului.
  - Proiectarea interfeței destinată analizei funcționale și controlului piciorului robotic.
  - Proiectarea interfeței destinată analizei funcționale și controlului robotului hexapod pentru locomoția sa peste cele 4 categorii principale de obstacole (plan înclinat, treaptă, prag și șanț), cât și pentru obstacolele cu formă particulară (scară dreaptă și scară în spirală).



- Implementarea în interfața grafică creată a capacității de testare offline (prin simulare) și online (prin experiențe directe cu modelul experimental construit) a unui picior al robotului.
- **Capitolul 5** – *Error! Reference source not found.*
  - Realizarea mai multor modele CAD (în SolidWorks), necesare în fazele de proiectare și de construcție ale picioarelor robotului hexapod.
  - Realizarea succesivă a mai multor variante fizice pentru picioare (folosind diferite materiale și soluții constructive), testarea lor și evidențierea limitărilor specifice.
  - Realizare mai multor modele CAD pentru corpul robotului hexapod.
  - Construcția mai multor variante fizice pentru corpul robotului, testarea lor, evidențierea problemelor specifice apărute și eliminarea lor succesivă.
  - Proiectarea CAD și construcția modelului experimental final al robotului hexapod.
  - Analiza funcțională, modelarea grafică și construcția tălpilor pentru cele șase picioare, urmărindu-se maximizarea suprafeței de contact cu solul pentru îmbunătățirea stabilității generale în locomoție.
- **Capitolul 6** – *Error! Reference source not found.*
  - Reproiectarea software-ului server-client care asigură comunicația dintre PC și modelul experimental al robotului construit.
  - Proiectarea și construcția sistemului de conducere al robotului realizat în jurul plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560 și a plăcii de comandă a celor 18 servomotoare SSC-32, ambele controlate prin microcontrolere Atmel-AVR.
  - Controlul tălpii piciorului pentru urmărirea unei traiectorii impuse de formă liniară, curbă plană și curbă în spațiu.
  - Elaborarea strategiei de locomoție pentru deplasarea obișnuită pe un plan orizontal precum și a algoritmilor asociați necesari sistemului de conducere al robotului.
  - Elaborarea strategiilor de locomoție pentru toate cele patru categorii fundamentale de obstacole luate în considerație (plan înclinat, treaptă, prag și șanț).
  - Proiectarea tuturor algoritmilor necesari sistemului de conducere al robotului pentru abordarea obstacolelor fundamentale.
  - Analiza critică a tuturor soluțiilor obținute prin simulare grafică și a rezultatelor din experiențele efectuate cu modelul robotului hexapod pentru aceste obstacole.
- **Capitolul 7** – *Error! Reference source not found.*
  - Elaborarea strategiilor de locomoție pentru escaladarea obstacolelor complexe de tip scară dreaptă și de tip scară în spirală.
  - Proiectarea tuturor algoritmilor necesari sistemului de conducere al robotului pentru evoluția normală pe obstacolele scară dreaptă și scară în spirală.
  - Analiza critică a tuturor soluțiilor obținute prin simulare grafică și a rezultatelor din experiențele efectuate cu robotului hexapod la escaladarea obstacolelor de tip scară.

## DIRECȚII DE VIITOR

Din punct de vedere al posibilităților de dezvoltare ulterioară se întrevăd în acest moment trei direcții:

- În ceea ce privește modelul experimental al robotului hexapod ar fi utilă modificarea constructivă a tălpilor atașate picioarelor robotului astfel încât pășirea pe planul înclinat să se facă cât mai corect. Această ar îmbunătăți stabilitatea generală în cadrul tuturor strategiilor de locomoție.
- Pentru controlul mai exact al orizontalității dorite a corpului, ar fi utilă dotarea robotului cu senzori pentru determinarea înclinării sale (accelerometru, înclinometru, module IMU-Inertial Measurement Unit). Atașarea unei camere video și dezvoltarea unui sistem de conducere care să includă facilități de recunoaștere a formelor ar permite identificarea tipului de obstacol, extragerea dimensiunilor acestuia și adoptarea unor strategii de locomoție mai

complexe, bazate pe cele elaborate până în prezent. De asemenea, atașarea unor senzori pentru detecția obstacolelor neprevăzute ar spori gradul de inteligență îmbarcată de care dispune modelul experimental al robotului hexapod.

- În ceea ce privește interfața de simulare grafică se are în vedere îmbunătățirea algoritmilor proiectați pentru toate tipurile de obstacole analizate, îmbunătățirea comunicației dintre PC și modelul experimental al robotului cu noi funcționalități, simularea comportamentală într-un mediu cu trăsături și caracteristici cât mai reale.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Adam El, Sayed Auf, Möscher F., Litza M., *How the Six-Legged Walking Machine OSCAR Handles Leg Amputations*, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Rome, Italy, 2006.
- [2] Amol Deshmukh, *Robot Leg Mechanisms*, B.Tech. Seminar Report, Department Of Mechanical Engineering Indian Institute Of Technology, India, 2005.
- [3] Appin Knowledge Solutions, *Robotics*, Infinity Science Press LLC, Hingham, Massachusetts, New Delhi, ISBN: 978-1-934015-02-5, 2007.
- [5] Ayers J., Witting J., *Biomimetic Approaches to the Control of Underwater Walking Machines*, Philosophical Transactions of the Royal Society, Series A, vol 365, nr. 1850, pp: 273-295 DOI:10.1098/rsta.2006.1910, ISSN:1471-2962, 2007.
- [6] Barragán, Hernando, *Wiring*, Wiring unknown University de los Andes, Jan 2007, <http://wiring.org.co>.
- [7] Carbone G., Yatsun A., Ceccarelli M., Yatsun S., *Design and Simulation of Cassino Hexapod Robot*, Proceedings of the 13<sup>th</sup> WSEAS International Conference on SYSTEMS, pp:301-307, ISSN: 1790-2769, ISBN: 978-960-474-097-0, 2009.
- [8] Cadets Lento J., Huson Z., *Development of Leg Control Mechanisms for a Radially Symmetric Octopedal Robot*, Proceedings of The National Conference On Undergraduate Research (NCUR), Virginia Military Institute, Washington and Lee University Lexington, Virginia, Aprilie 21 - 23, 2005.
- [9] Cappelletto J., Estévez P., Grieco J. C., Medina-Meléndez W., Fernández-López G., *Gait Synthesis in Legged Robot Locomotion Using a CPG-Based Model*, Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots, ISBN:978-3-902613-15-8, pp: 544, I-Tech, Viena, Austria, Septembrie 2007.
- [11] Clark Haynes G., Rizzi Alfred A., *Gaits and Gait Transitions For Legged Robots*, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, ISSN : 1050-4729, Print ISBN: 0-7803-9505-0, pp:1117-1122, DOI:10.1109/ROBOT.2006.1641859, Mai 2006.
- [13] Dalvand Mohsen M., Moghadam Majid M., *Stair Climber Smart Mobile Robot (MSRox)*, Autonomous Robots, vol.20, no.3, pp:3-14, DOI: 10.1007/s10514-006-5364-4. ISSN: 0929-5593, 2006.
- [14] Davis Timothy A., Kermit Sigmon, *MATLAB Primer – 7<sup>th</sup> Edition*, CHAPMAN & HALL/CRC, ISBN:1-58488-523-8, 2005.
- [16] Dominik Belter, Piotr Skrzypczynski, *A Biologically Inspired Approach to Feasible Gait Learning for a Hexapod Robot*, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol.20, no.1, pp:69-84, DOI:10.2478/v10006-010-0005-7, 2010.
- [17] Duggal S.K., *Surveying, Second Edition*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, vol. 1, ISBN:0-07-053470-5, 2004.
- [19] Figliolini G., Ripa V., *Kinematic Model and Absolute Gait Simulation of a Six-Legged Walking Robot*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference CLAWAR, pp:295-303, Print ISBN: 978-3-540-22992-6, DOI: 10.1007/3-540-29461-9\_87, 2004.
- [21] Gonzalez de Santos P., Garcia E., Estremera J., *Improving Walking-Robot Performances by Optimizing Leg Distribution*, Journal of Autonomous Robots, vol. 23, no. 4, pp:247 – 258, DOI:10.1007/s10514-007-9045-8, ISSN: 0929-5593, 2007.
- [23] Guardabrazo T.A., Gonzalez de Santos P., *Mass Distribution Influence on Power Consumption in Walking Robots*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference CLAWAR, pp:295-303, Print ISBN: 978-3-540-22992-6, Online ISBN: 978-3-540-29461-0, DOI: 10.1007/3-540-29461-9\_50, pp:511-518, 2004.
- [26] Jazar Reza N., *Theory of Applied Robotics. Kinematics, Dynamics, and Control*, Springer, New York, Dordrecht Heidelberg London, Springer Science+Business Media, LLC2006, ISBN: 978-1-4419-1749-2, DOI 10.1007/978-1-4419-1750-8, 2010.
- [32] Krzysztof Walas, Dominik Belter, Andrzej Kasinski, *Control and Environment Sensing System for a Six-Legged Robot*, Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems, vol.2, no.3, pp:26-32, ISSN:1897-8649, 2008.
- [35] Manchester Ian R., Uwe Mettin, Fumiya Iida, Russ Tedrake, *Stable Dynamic Walking Over Uneven Terrain*, International Journal of Robotics Research, vol.30, no.3, pp:265-279, ISSN:0278-3649, DOI: 10.1177/0278364910395339, 2011.

- [37] Martin Görnerand, Gerd Hirzinger, *Analysis and Evaluation of the Stability of a Biologically Inspired, Leg Loss Tolerant Gait for Six-and Eight-Legged Walking Robots*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, Alaska, USA, pp:4728-4735, ISBN:978-1-4244-5040-4, 2010.
- [38] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, Stoian Viorel, *Hexapod Robot. Mathematical Support for Modeling and Control*, Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on System Theory Control and Computing, Sinaia, Romania, vol.1, pp:329-335, ISSN: 2068-0465, ISBN:978-973-621-322-9, 2011.
- [39] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *Basic Walking Simulations and Gravitational Stability Analysis for a Hexapod Robot using Matlab*, Annals of University of Craiova, vol.8(35), no.1, pp:44-56, ISSN:1841-0626, Editura Universitaria, Craiova, Romania, 2011.
- [40] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *The Modelling of the Hexapod Mobile Robot Leg and Associated Interpolated Movements While Stepping*. Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on System Theory Control and Computing, Sinaia, Romania, ISSN: 2068-0465, ISBN:978-606-834-848-3, Octombrie, 2012.
- [41] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *Hexapod Robot Leg Dynamic Simulation and Experimental Control Using Matlab*, Procc of 14<sup>th</sup> IFAC Symposium Information Control Problems on Manufacturing INCOM, Bucuresti, Romania, vol.14, no.1, pp:895-899, DOI:10.3182/20120523-3-RO-2023.00335, 2012.
- [42] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *Hexapod Robot Locomotion Over Typical Obstacles*, Proceedings of Automation Quality and Testing Robotics AQTR 2012, Cluj Napoca, Romania, pp:422-427, ISBN: 978-1-4673-0701-7, Mai 2012.
- [43] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *Matlab Simulation Interface for Locomotion Analysis of a Hexapod Robot Structure*, Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on System Theory Control and Computing, ICSTCC 2012, Sinaia, Romania, ISSN: 2068-0465, ISBN:978-606-834-848-3, Octombrie, 2012.
- [44] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Mircea Nițulescu, *Matlab Simulator for Gravitational Stability of a Hexapod Robot*, Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics, Editura CEFIN, Bucuresti, Romania, no 39, pp:157-162, ISSN: 1584-5982, 2011.
- [45] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Nițulescu Mircea, *Hexapod Robot. Virtual Models for Preliminary Studies*, Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on System Theory Control and Computing, ICSTCC 2011, Sinaia, Romania, vol.1, pp:335-341, ISSN: 2068-0465, ISBN:978-973-621-322-9, Octombrie, 2011.
- [46] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Mircea Nițulescu, *Stability Analysis Software Platform Dedicated for a Hexapod Robot*, Proceedings of 18<sup>th</sup> International Conference on Control Systems and Computer Science, CSCS-18, Bucuresti, Romania, vol.1, pp:385-390, ISSN: 2066-4451, 2011.
- [47] **Mănoiu – Olaru Sorin**, Mircea Nițulescu, *Stability Analysis Software Platform Dedicated For A Hexapod Robot*, Advances in Intelligent Control Systems and Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, Germania, vol.187, pp:143-156, ISSN: 2194-5357, 2013.
- [56] Pinto Carla M.A., Diana Rocha, Santos Cristina P., *Hexapod Robots: New CPG Model for Generation of Trajectories*, Journal of Numerical Analysis, Industrial and Applied Mathematics, vol.7, no.1-2, pp: 15-26, ISSN:1790-8140, 2012.
- [58] Reas Casey, Fry Ben, *Processing.org: A Networked Context for Learning Computer Programming*, ACM SIGGRAPH, 2005.
- [59] Register Andy H., *A Guide to MATLAB Object-Oriented Programming*, Chapman & Hall/CRC, ISBN-13: 978-1-58488-911-3, 2007.
- [60] Roger Quinn, Toy Ritzmann, Stephen Philips, Randall Beer, Steven Garverick, Matthew Birch, *Biologically-Inspired Micro-Robots: Volume 1, Robots Based On Crickets*, Tehnical Report, Case Western Reserve University, Cleveland, OH 44106-7222, Mai 2005.
- [61] Roland Nourbakhsh, Illah R. Siegwart, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, England, ISBN 0-262-19502-X, 2004.
- [66] Thiago Augusto Ferreira, Armando Carlos de Pina Filho, Aloísio Carlos de Pina, *Modelling A Hexapod Robot by Means of CAD Techniques*, The 9<sup>th</sup> Brazilian Conference on Dynamics, Control, and their Application, DINCON'10, June, 2010.
- [68] Vidoni R., Gasparetto A., *Efficient Force Distribution and Leg Posture for a Bio-Inspired Spider Robot*, Robotics and Autonomous Systems, vol. 59, pp:142-150, ISSN: 0921-8890, DOI: 10.1016/j.robot.2010.10.001, 2011.
- [76] Funcția interparc: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34874-interparc>
- [84] Pagina oficială a editorului Matlab – GUIDE: <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>
- [85] Pagina oficială a programului SOLIDWORKS: [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)
- [88] Pagina oficială a plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [91] Programul Matlab – SimMechanics: <http://www.mathworks.com/products/simmechanics/>
- [101] Robotul hexapod BH3: <http://www.lynxmotion.com/c-33-bh3.aspx>
- [119] Senzorul de forță circular: [http://www.robofun.ro/senzori/forta/senzor\\_apasare\\_circular](http://www.robofun.ro/senzori/forta/senzor_apasare_circular)
- [120] Servocontrolerul SSC – 32: <http://www.lynxmotion.com/p-395-ssc-32-servo-controller.aspx>