

TEZĂ DE DOCTORAT

SISTEM DE MICROPREHENSIUNE DE ÎNALTĂ DEXTERITATE PENTRU APLICAȚII BIOMEDICALE

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof. univ. dr. Dinu COLȚUC

DOCTORAND:

Ion Valentin GURGU

CUPRINS

INTRODUCERE	9
CAPITOLUL 1.	11
STADIU ACTUAL AL SISTEMELOR DE MICROMANIPULARE AVANSATĂ.....	11
1.1 PRINCIPALELE PRINCIPII DE ACȚIONARE PENTRU MICRO/NANO MANIPULARE	11
1.2 STRUCTURI DE ACTUATOARE PENTRU MICRO/NANO MANIPULARE	12
1.3 ACTUATOARE ELECTROMANGNETICE.....	13
1.4 ACTUATOARE PIEZOELECTRICE.....	13
1.5 CERCETĂRI ACTUALE PRIVIND MANIPULAREA DEXTRĂ.....	14
CAPITOLUL 2.	15
PROIECTAREA, MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI ACTUATOR CU TREI GRADE DE LIBERTATE.....	15
1.1 STRUCTURA PROPUȘĂ ȘI SPECIFICAȚIILE ACTUATORULUI CU TREI GRADE DE LIBERTATE	15
2.2 PROIECTAREA ȘI SIMULAREA ELEMENTULUI MECANIC COMPLIANT.....	15
2.3 ELEMENTUL ELECTROMAGNETIC PENTRU ACȚIONARE ÎN AXELE XY ..	16
2.4 ELEMENTUL PIEZOELECTRIC PENTRU ACȚIONARE ÎN AXA Z.....	18
CAPITOLUL 3.	19
DEZVOLTAREA ȘI CARACTERIZAREA ACTUATORULUI CU TREI GRADE DE LIBERTATE	19
3.1 FABRICAREA ELEMENTULUI MECANIC COMPLIANT PRIN PROTOTIPARE SLM/SLS	19
3.2 ASAMBLAREA ACTUATORULUI 3D	20
3.3 CARACTERIZAREA ACȚIONĂRII ÎN DIRECȚIA Y	21
3.4 CARACTERIZAREA ACȚIONĂRII ÎN DIRECȚIA X.....	21
3.5 CARACTERIZAREA ACȚIONĂRII ÎN DIRECȚIA Z	22
CAPITOLUL 4.	23

PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE MICROMANIPULARE DEXTRĂ	23
4.1 SPECIFICAȚIILE SISTEMULUI DE MICROMANIPULARE DEXTRĂ	23
4.2 SCHEMA BLOC A SISTEMULUI DE MICROMANIPULARE DEXTRĂ	23
4.3 SUBANSAMBLUL MECANIC DE MICROPREHensiUNE CU PATRU ACTUATOARE 3D	24
4.4 CIRCUITUL ELECTRONIC DE COMANDĂ ANALOGICĂ A ACTUATOARELOR 3D	25
4.5 SUBANSAMBLUL DE TRANSPORT PRIN TRANSLAȚIE/ROTAȚIE	25
4.6 CIRCUITUL ELECTRONIC DE COMANDĂ A AXELOR DE TRANSLAȚIE/ROTAȚIE	26
CAPITOLUL 5.	26
PROIECTAREA INTERFEȚEI GESTUALE PENTRU MICROMANIPULARE DEXTRA	26
5.1 INTERFAȚĂ GESTUALĂ PENTRU PILOTARE AVANSATĂ	26
5.2 PRINCIPIUL DETECȚIEI STEREOSCOPICE 3D	27
5.3 METODA PROPUȘĂ DE RECONSTRUCȚIE A COORDONATELOR BAZATE PE MARKERE	27
5.4 STRUCTURA SUBANSAMBLULUI OPTIC PENTRU INTERFAȚA DE PREHensiUNE (DEGETE 3D)	27
5.5 STRUCTURA MECANICĂ PENTRU INTERFAȚA DE TRANSPORT (AXE TRANSLAȚIE/ROTAȚIE)	28
5.6 CIRCUITUL ELECTRONIC DE ACHIZIȚIE COORDONATE TRANSPORT	29
CAPITOLUL 6.	30
ALGORITMI DE COMANDĂ A SISTEMULUI ȘI REZULTATE FUNCȚIONALE	30
6.1 PROGRAMUL MATLAB/SIMULINK PENTRU ACHIZIȚIA STEREOSCOPICĂ A COORDONATELOR DE PREHensiUNE ACTUATOR 3D	30
6.2 PROGRAMUL PENTRU ACHIZIȚIA COORDONATELOR DE TRANSPORT (TRANSLAȚIE/ROTAȚIE) ȘI ALGORITMUL DE PILOTARE A ANSAMBLULUI DE AXE	31
6.3 ÎNCERCĂRI DE MANIPULARE AVANSATĂ	32

CAPITOLUL 7.	33
CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE.....	33
CONCLUZII.....	33
CONTRIBUȚII ORIGINALE	34
DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	36
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	37

Cuvinte cheie: micromanipulare, microprehensiune, griper, actuatoare, piezoelectric, electromagnetic, proiectare, prototipare, actuator 3d, dextră, interfață gestuală, stereoscopie, markere, achiziție, algoritm

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION.....	9
CHAPTER 1. CURRENT STATUS OF ADVANCED MICROMANIPULATION SYSTEMS.....	11
1.1 MAIN PRINCIPLES FOR MICRO / NANO MANIPULATION.....	11
1.2 ACTUATORS STRUCTURES FOR MICRO/NANO MANIPULATION	12
1.3 ELECTROMAGNETIC ACTUATORS.....	13
1.4 PIEZOELECTRIC ACTUATORS.....	13
1.5 ACTUAL RESEARCH ABOUT DEXTEROUS MANIPULATION.....	14
CHAPTER 2. DESIGN, MODELING AND SIMULATION AN ACTUATOR WITH THREE DEGREES OF FREEDOM.....	15
2.1 PROPOSED STRUCTURE AND SPECIFICATIONS FOR AN ACTUATOR WITH THREE DEGREES OF FREEDOM.....	15
2.2 DESIGN AND SIMULATION OF COMPLIANT MECHANICAL ELEMENT.....	15
2.3 ELECTROMAGNETIC ELEMENT FOR XY ACTUATION.....	16
2.4 PIEZOELECTRIC ELEMENT FOR Z ACTUATION.....	18
CHAPTER 3. DEVELOPING AND CHARACTERIZATION OF AN ACTUATOR WITH THREE DEGREE OF FREEDOM.....	19
3.1 MANUFACTURING OF MECHANICAL COMPLIANT ELEMENT USING RAPID PROTOTYPING SLM/SLS.....	19
3.2 3D ACTUATOR ASSEMBLY.....	20
3.3 CHARACTERIZATION OF ACTUATION IN Y DIRECTION.....	21
3.4 CHARACTERIZATION OF ACTUATION IN X DIRECTION.....	21
3.5 CHARACTERIZATION OF ACTUATION IN Z DIRECTION.....	22
CHAPTER 4. DESIGNING AND IMPLEMENTING A SYSTEM FOR DEXTEROUS MICROMANIPULATION.....	23
4.1 SPECIFICATION OF DEXTRA MICROMANIPULATION SYSTEM..	23
4.2 BLOCK SCHEME OF DEXTRA MICROMANIPULATION SYSTEM..	23
4.3 MECHANICAL MICROGRIPPING SUBASSEMBLY WITH FOUR 3D ACTUATORS.....	24
4.4 ANALOGUE ELECTRONIC CONTROL CIRCUIT FOR 3D ACTUATORS.....	25
4.5 TRANSPORT SUBASSEMBLY BY TRANSLATION/ROTATION.....	25

4.6 ELECTRONIC CONTROL CIRCUIT FOR TRANSLATION/ROTATION AXIS.....	26
CHAPTER 5. GESTURE INTERFACE DESIGN FOR DEXTEROUS MICROMANIPULATION.....	26
5.1 GESTURE INTERFACE FOR ADVANCE PILOTING.....	26
5.2 STEREOSCOPIC 3D DETECTION PRINCIPLE.....	27
5.3 PROPOSED METHOD OF RECONSTRUCTION OF COORDINATES BASED ON MARKER.....	27
5.4 OPTICAL SUBASSEMBLY STRUCTURE FOR PREHENSION INTERFACE (3D FINGERS).....	27
5.5 MECHANICAL STRUCTURE FOR TRANSPORT INTERFACE (TRANSLATION/ROTATION AXIS).....	28
5.6 ACQUISITION ELECTRONIC CIRCUIT FOR COORDINATES OF TRANSPORT.....	29
CHAPTER 6. CONTROL ALGORITHMS OF THE SYSTEM AND FUNCTIONAL RESULTS.....	30
6.1 MATLAB/SIMULINK PROGRAMME FOR STEREOSCOPIC ACQUISITION OF PREHENSION COORDINATES (3D ACTUATOR).....	30
6.2 PROGRAMME FOR TRANSPORT ACQUISITION COORDINATES (TRANSLATION/ROTATION) AND PILOTING ALGORITHM OF AXIS ASSEMBLY.....	27
6.3 ADVANCED MANIPULATION ATTEMPTS.....	32
CHAPTER 7. CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES.....	33
CONCLUSIONS.....	33
ORIGINAL CONTRIBUTIONS.....	34
FUTURE REASEARCH DIRECTIONS.....	36
REFERENCES.....	37

Keywords: micromanipulation, micro prehension, gripper, actuators, piezoelectric, electromagnetic, design, prototyping, 3D actuator, dextre, gestural interface, stereoscopy, markers, acquisition algorithm

INTRODUCTION

The paper presents the design, realization and characterization of mechanical, electronics and control components which form a complex system.

The ultimate aim of this work is to develop a micromanipulation stations that has elements and assemblies witch allow dexter manipulation with a high degree of complexity, applicable in medicine and microtechnology.

The PhD thesis entitled "***High dexterity microprehension sistem for biomedical applications***" is divided into seven chapters as follows:

❖ The first chapter ***presents the current stage of advanced micromanipulation systems***. In the subchapter are treated the following aspects: actuation principles for micro/nano manipulation, actuator structures for micro/nano manipulation, electromagnetic actuators, piezoelectric actuators, actual researches on dexterous manipulation.

❖ The second chapter presents ***The design, modeling and simulation of an actuator with three degrees of freedom***. This chapter is divided into five subchapters, which treats the steps of achieving an actuator with three degrees of freedom.

❖ In Chapter 3 - ***Development and characterization actuator with three degrees of freedom*** are described fabrication

techniques of the elements which form the actuator with three degrees of freedom and the characterization thereof.

❖ In Chapter 4 - *Designing and implementing a system for micromanipulation dexterous* was performed design and assembly of micromanipulation station.

❖ Chapter 5, entitled *Designing gestural interface for dexterous micromanipulation* contains six subchapter describing the steps of realization of the command interface.

❖ In Chapter 6 - *System control algorithms and functional results* are presented acquisition programs, control programs, micromanipulation station parametering procedure and results obtained after an micromanipulation operation.

❖ The paper concludes with Chapter 7 - *Conclusions and perspectives* in which are presented original results obtained during the stages of making micromanipulation station.

INTRODUCERE

În lucrare este prezentat procesul de proiectare, realizare și caracterizare a componentelor mecanice, electronice și de control care formează un sistem complex.

Obiectivul lucrării este realizarea unei stații de micromanipulare ce dispune de elemente și ansambluri care îi permit o manipulare dextră cu un grad de complexitate ridicat, cu aplicabilitate în medicină și microtehnologie.

Prezenta lucrare de doctorat cu titlul ***“Sistem de microprehensiune de înaltă dexteritate pentru aplicații biomedicale”*** este structurată pe șapte capitole după cum urmează:

❖ Primul capitol, prezintă **Stadiul actual al sistemelor de micromanipulare avansată**. În subcapitole sunt tratate următoarele aspecte: principii de acționare pentru micro/nanomanipulare, structuri de actuatore pentru micro/nanomanipulare, actuatore electromagnetice, actuatore piezoelectrice, cercetări actuale privind manipularea dextră.

❖ Cel de-al doilea capitol prezintă **Proiectarea, modelarea și simularea unui actuator cu trei grade de libertate**. Acest capitol este împărțit în cinci subcapitole, care tratează etapele de realizare a unui actuator cu trei grade de libertate.

❖ În capitolul 3 – **Dezvoltarea și caracterizarea actuatorului cu trei grade de libertate**, sunt descrise tehnicile de fabricare a elementelor care formează actuatorul cu trei grade de libertate și caracterizarea acestuia.

❖ În capitolul 4 – **Proiectarea și implementarea unui sistem de micromanipulare dextră** s-a realizat proiectarea și asamblarea stației de micromanipulare.

❖ Capitolul 5 cu titlul **Proiectarea interfeței gestuale pentru micromanipulare dextră** conține șase subcapitole în care sunt prezentate etapele de realizare ale interfeței de comandă.

❖ În capitolul 6 – **Algoritmii de comandă a sistemului și rezultate funcționale** sunt prezentate programele de achiziție, control, procedura de parametrizare a stației de micromanipulare și rezultate obținute în urma unei operații de micromanipulare.

❖ Lucrarea se încheie cu capitolul 7 – **Concluzii și perspective** în care sunt prezentate rezultatele originale obținute pe parcursul etapelor de realizare a stației de micromanipulare.

CAPITOLUL 1.

STADIU ACTUAL AL SISTEMELOR DE MICROMANIPULARE AVANSATĂ

1.1 Principalele principii de acționare pentru micro/nano manipulare

În literatura de specialitate cele mai des întâlnite principii de acționare care stau la baza sistemelor de micro/nano manipulare sunt: termic, piezoelectric, electrostrictiv, electromagnetic, electrostatic și cu memoria formei.

Sistemele de microgripare sunt clasificate după cum urmează:

Microgripere cu acționare integrată.

Această categorie înglobează toate microgriperele la care acționarea este integrată în structura mecanică a microgriperului. În general aceste microgripere sunt cele de tip MEMS [10].

Microgripere cu acționare din exterior.

Aceste tipuri de microgripere sunt formate dintr-un sistem de prehensiune cu terminale de execuție [17] și un sistem de acționare extern [18].

Microgriperele nemecanice

Sunt sisteme de prehensiune care nu au mecanisme de mișcare. Cel mai des întâlnit este griperul cu vacuum, prinderea obiectelor realizându-se prin absorbția lor cu un tub de vacuum [22] [23].

Microgriperele pasive

Un concept foarte interesant și destul de nou îl reprezintă microgriperele pasive, aceste sisteme nu dispun de un control activ care să le deschidă sau închidă. Atât griperul cât și componentele au o structură deformabilă astfel creându-se o forță de închidere [26].

1.2 Structuri de actuatore pentru micro/nano manipulare

Sistemul de acționare al unui microgriper cuprinde totalitatea elementelor energetice și mecanice prin care se obține forța necesară pentru realizarea deplasărilor specifice.

Tabel 1.1. Transformarea energiei și actuatori specifici [28]

Energie electrică	Câmpuri electrice și magnetice externe	Electromotor
		Electromagnet
	Forțe moleculare interne	Actuatore feroelectrice
		Actuatore magnetostrictive
Energie fluidică	Forțe de presiune realizate pneumatic	Actuatore piezoelectrice
		Sistem cu presiuni mai mari decât presiunea atmosferică
	Forțe de presiune realizate hidraulic	Sistem cu presiuni mai mici decât presiunea atmosferică
		Motoare hidraulice
Energie termică	Dilatare termică	Bimetal termic
		Actuator bazat pe dilatare termică
	Efectul de memorie a fomei	Aliaje cu memorie uni-sens
		Aliaje cu memorie dublu-sens
Energie chimică	Presiune din electroliză	Acționări electrochimice
	Presiune din explozie	Acționări pirotehnice

1.3 Actuatore electromagnetice

Actuatorul electromagnetic (ca și în cazul actuatorului piezoelectric) transformă energia electrică în deplasare fizică cu o precizie ridicată și zgomot redus.

Actuatorele electromagnetice se împart în două tipuri:

- actuatore electromagnetice liniare;
- actuatore electromagnetice circulare.

Ambele actuatore electromagnetice au în construcția lor două componente: un magnet permanent și o bobină sau o configurație de mai multe bobine.

1.4 Actuatore piezoelectrice

Actuatorul piezoelectric transformă un semnal electric într-o deplasare fizică controlată cu precizie micrometrică și chiar nanometrică. În cazul în care deplasarea actuatorului este împiedicată, o forță utilizabilă (forța de blocare), se va dezvolta în structura acestuia [29].

Există mai multe tipuri de actuatore piezoelectrice din punct de vedere constructiv, dintre care remarcăm:

- actuatore tip stivă (stack)
- actuatore de flexiune tip placă

Din punct de vedere al deplasării pe care o realizează, există cinci tipuri de actuatorele piezoelectrice:

- 1) Actuatore piezoelectrice care au o deplasare longitudinală.
- 2) Actuatore piezoelectrice care au o deplasare cu efect de forfecare.

- 3) Actuatoare piezoelectrice tubulare.
- 4) Actuatoare piezoelectrice de contractare, care au o deplasare transversală.
- 5) Actuatoare piezoelectrice care au deplasare cu efect de îndoire.

1.5 Cercetări actuale privind manipularea dextră

Manipularea dextră în aria roboticii implică folosirea mai multor manipuloare, sau elemente de prehensiune care pot conlucra în vederea prinderii și manipulării obiectelor. De obicei problema manipulării se învâрте în jurul obiectului care urmează să fie manipulat; cum ar trebui să acționeze și ce forță trebuie să se exercite asupra obiectului [30].

Primul pas în mișcarea unui obiect dint-un punct în altul, folosind degete robotizate, presupune formularea problemei pentru manipularea dextră.

Problema stabilește cadrul pentru determinarea forțelor/cuplurilor de acționare, necesare pentru a produce deplasarea obiectului.

CAPITOLUL 2.

PROIECTAREA, MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI ACTUATOR CU TREI GRADE DE LIBERTATE

1.1 Structura propusă și specificațiile actuatorului cu trei grade de libertate

Pentru a realiza deplasări cu un grad ridicat de complexitate, structura propusă trebuie să satisfacă o serie de cerințe.

Scopul cercetării este de a realiza un ansamblu care să permită operații de micromanipulare, caracterizare de organisme microbiologice și microasamblare cu un grad de complexitate ridicat față de actualele sisteme.

2.2 Proiectarea și simularea elementului mecanic compliant

Proiectarea CAD presupune digitizarea elementului mecanic în format 2D sau 3D, astfel oferind o perspectivă realistă asupra acestuia. Digitizarea presupune introducerea dimensiunilor elementului mecanic la scară reală (1:1). Majoritatea programelor CAD dispun și de unelte de simulare care dau rezultate foarte apropiate de rezultatele reale, astfel se evită realizarea de piese rebut.

Pentru a obține un rezultat satisfăcător din prima prototipare, elementul mecanic compliant a fost supus unei simulări.

Pentru a rula o simulare cât mai precisă trebuie să cunoaștem proprietățile materialului din care se va realiza elementul. Acestea sunt puse la dispoziție de către producător:

Tabel 2.1. Proprietățile aliajului de cobalt-crom

Denumire material și compoziție	Proprietate	Valoare	Unitate de măsură [Metric (MKS)]
Cobalt-Crom Wirebond C (Co, Cr, W, Mo, Fe, Si, Ce)	modul elastic	2141391	kgf/cm ²
	coeficientul Poisson	0.3	N/A
	densitatea	0.0085	Kg/cm ³
	rezistență la tracțiune	6934.028	Kg/cm ²
	coeficient de expansiune termic	0.0014	/°C

Pentru a determina forța necesară care trebuie aplicată în punctele specifice elementului mecanic compliant, s-a realizat un experiment din care a rezultat forța generată de bobina folosită în montajul final.

În bobină s-a injectat un curent maxim de $\pm 300\text{mA}$ care a generat un câmp electromagnetic, opus câmpului generat de magnetul permanent împingându-l, cu o forță de $0,08\text{Kg}$.

Rezultatele obținute din simulare validează funcționarea corespunzătoare a elementului mecanic compliant.

2.3 Elementul electromagnetic pentru acționare în axe XY

Elementul electromagnetic este format din doi magneți permanenți cu diametrul de 5mm și o bobină cu miez feromagnetic pentru acționarea elementului mecanic compliant pe axa Y. Pentru acționarea elementului mecanic compliant pe axa X s-a folosit același model de bobină și un magnet cu diametru de 4mm, forța dezvoltată

fiind suficientă pentru a pune în mișcare subelementele flexibile ale elementului mecanic compliant.

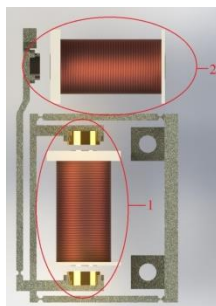


Figura 2.1. Elementele electromagnetice pentru acționare în axele XY

Pentru realizarea deplasărilor necesare operațiilor de micromanipulare, caracterizare de organisme microbiologice și microasamblare, elementul mecanic necesită o serie de acționări pe cele trei axe.

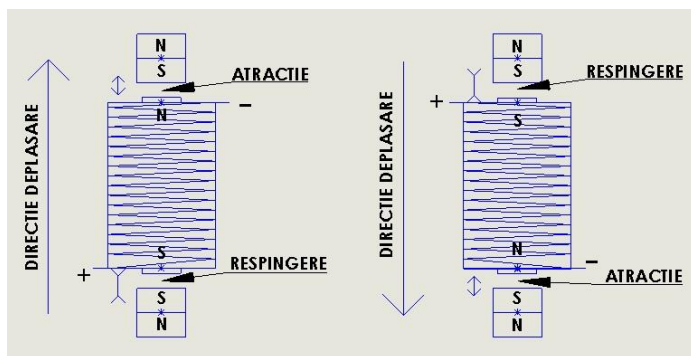


Figura 2.2. Principiul de funcționare al elementului de acționare electromagnetic

Liniile de câmp magnetic sunt linii închise, spre deosebire de cele de câmp electric care pornesc din sarcinile electrice pozitive și se termină în sarcinile negative.

2.4 Elementul piezoelectric pentru acționare în axa Z

Materialul utilizat la construcția elementelor piezo este o piezoceramică de tip PSI-5H4E (echivalentul pentru PZT-5H) cu o grosime de 130 μ m.

Elementul piezoelectric este format dintr-un sandwich bimorf de două plăcuțe piezoceramice cu electrozi de nichel.

Datele caracteristice ale elementului piezoelectric bimorf analizat sunt prezentate în tabelul 2.2.

Tabel 2.2. Caracteristici ale elementului piezoelectric bimorf

Caracteristică	Simbol	Valoare	Unitate măsură
Coeficient piezoelectric	d_{31}	-320E-12	m/V
Lungime elementului piezo	L	0.020	m
Grosime lamelă piezoceramică	h_p	0.00013	m
Grosimea stratului adeziv	h_g	0.000015	m
Lățimea elementului piezo	W	0.0015	m
Coeficient de elasticitate PZT	S_{11p}^E	15.6E-12	m ² /N
Coeficient de flexare al adezivului	S_{11g}^E	2.415E-10	m ² /N

Simularea a fost făcută pentru elementul piezoelectric bimorf simplu (caracteristica trasată cu roșu), respectiv pentru elementul piezoelectric bimorf care are în componența sa și stratul de adeziv (caracteristica trasată cu albastru).

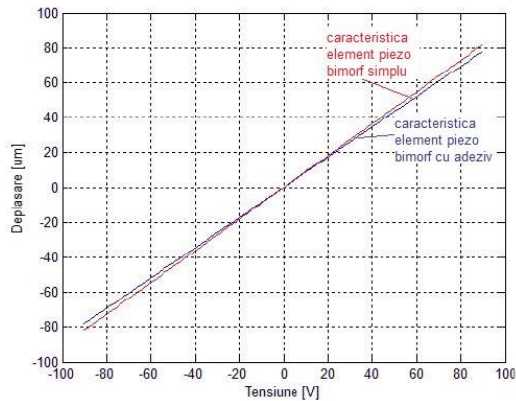


Figura 2.3. Simularea deplasării în raport cu tensiunea pentru un element PZT simplu și pentru un element PZT cu strat de adeziv

CAPITOLUL 3. DEZVOLTAREA ȘI CARACTERIZAREA ACTUATORULUI CU TREI GRADE DE LIBERTATE

3.1 Fabricarea elementului mecanic compliant prin prototipare SLM/SLS

Pentru a obține o structură cu rezistență mecanică ridicată și abateri foarte mici, elementului mecanic compliant a fost realizat din CoCr prin tehnologia SLM/SLS (selective laser meltin / selective laser sintering).

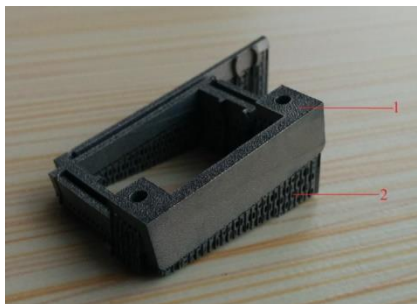


Figura 3.1. 1 – Element mecanic compliant; 2 – suport susținere

3.2 Asamblarea actuatorului 3D

Următoarea etapă constă în asamblarea elementelor care compun actuatorul cu trei grade de libertate.

În primă fază s-au montat magneții pe elementul mecanic compliant.

În ce-a de doua fază, elementul mecanic cu magneții montați, se fixează pe o placă PCB care servește ca bază de susținere.

Ultima fază constă în centrarea și lipirea elementelor electromagnetice, actuatorelor piezoelectrice și elementelor de tip end-effector.

Actuatorul piezoelectric a fost montat pe suportul brațului compliant, special construit.

Elementele de tip end-effector au fost lipite cu adeziv pe bază de parafină, lipitura fiind temporară.

Montajul final dispune de două actuatore 3D complet asamblate, formând un sistem de micro-prehensiune cu șase grade de libertate.

3.3 Caracterizarea acționării în direcția Y

În figurile de mai jos se arată modul de funcționare al elementului de acționare electromagnetic montat pe structura elementului mecanic compliant.

Pentru a determina deplasările pe care brațul compliant le poate efectua, s-au realizat o serie de experimente.

Pentru a determina caracteristica curent-deplasare a articulației paralelogram, s-au făcut o serie de încercări aplicând un semnal de tip sinusoidal cu o frecvență de 0.1Hz și amplitudine de 140mA.

Deplasarea s-a determinat pentru ambele articulații de tip paralelogram ale ansamblului cu șase grade de libertate (actuador dreapta/actuador stanga).

Tabel 3.1.

Caracterizarea sintetică a acționării electromagnetice pentru ambele brațe de tip paralelogram

Caracterizarea acționării electromagnetice	Amplitudinea semnalului aplicat, curent I[mA]	Semnal recuperat, deplasare d[μm]	Caracteristica de acționare, pantă [μm/mA]	Eroarea de histerezis maximă $\epsilon_{\max}[\%]$	Eroarea de liniaritate maximă $\epsilon_{\max}^{\text{lin}}[\%]$
Braț dreapta	± 70	± 114.19	1.63	3.96	2.51
Braț stânga	± 70	± 102.30	1.46	3.37	2.14

3.4 Caracterizarea acționării în direcția X

Pentru punerea în mișcare a brațului compliant (direcție de deplasare pe axa X), ca și în cazul articulației paralelogram s-a folosit un element de acționare electromagnetic – magnet.

Tabel 3.2.

Caracterizarea sintetică a acționării electromagnetice pentru ambele brațe
compliance

Caracterizarea acționării electromagnetice	Amplitudin ea semnalului aplicat, curent $I[\text{mA}]$	Semnal recupera t, deplasar e $d[\mu\text{m}]$	Caracteristi ca de acționare, pantă $[\mu\text{m}/\text{mA}]$	Eroarea de histerezi s maximă $\epsilon_{\text{max}}[\%]$	Eroarea de liniaritat e maximă $\epsilon_{\text{lin}}_{\text{max}}[\%]$
Braț dreapta	± 70	± 88.64	1.26	2.77	3.66
Braț stânga	± 70	± 74.72	1.06	2.94	2.94

3.5 Caracterizarea acționării în direcția Z

Pentru a determina deplasarea actuatorului piezoelectric pe direcția Z, ca și în cazul actuatorilor electromagnetice s-a folosit același aparat de măsură. În cazul elementului piezoelectric a fost aplicată o tensiune de $\pm 80\text{V}$.

Tabel 3.3. Caracterizarea sintetică a acționării pentru actuatorile
piezoelectrice

Caracterizare a acționării piezoelectric e	Amplitudine a semnalului aplicat, tensiune $U[\text{V}]$	Semnal recuperat , deplasar e $d[\mu\text{m}]$	Caracteristic a de acționare, pantă $[\mu\text{m}/\text{V}]$	Eroarea de histerezi s maximă $\epsilon_{\text{max}}[\%]$	Eroarea de liniaritat e maximă $\epsilon_{\text{lin}}_{\text{max}}[\%]$
Braț dreapta	± 80	± 51.98	0.59	13.83	7.95
Braț stânga	± 80	± 51.61	0.59	14.01	7.81

CAPITOLUL 4.

PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE MICROMANIPULARE DEXTRĂ

4.1 Specificațiile sistemului de micromanipulare dextră

În figura 4.1. sunt evidențiate subansamblurile care formează sistemul de micromanipulare dextră: 1 – Bază pentru fixare; 2,3 – subansamblu de transport prin translație/rotație; 4 – elemente de reglare a actuatorilor 3D; 5 – actuatori 3D; 6 – videomicroscop.

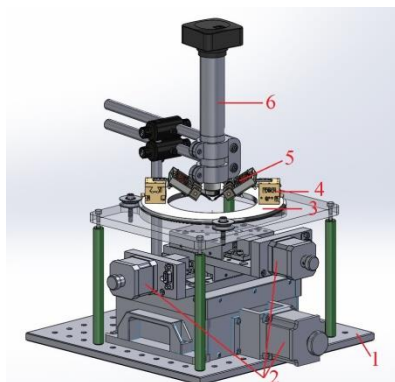


Figura 4.1. Sistemul de micromanipulare dextră

4.2 Schema bloc a sistemului de micromanipulare dextră

În vederea realizării sistemului de micromanipulare dextră, elementele proiectate și realizate vor fi asamblate într-un sistem experimental. Aceste elemente sunt de natură mecanică, electronică, optică și software. În figura 4.2. este prezentată schema bloc a sistemului de micromanipulare dextră.

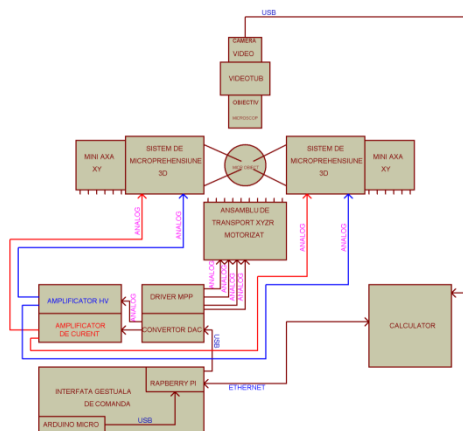


Figura 4.2. Schema bloc de principiu a sistemului de micromanipulare dextră

4.3 Subansamblul mecanic de microprehensiune cu patru actuatore 3D

Pentru a atinge un grad de complexitate, din punct de vedere al manipulării, cât mai ridicat sistemul de micromanipulare dispune de un subansamblu mecanic de microprehensiune cu patru actuatore 3D. S-a ales această configurație, întocmai pentru a putea reproduce la scară micro, prinderea unui obiect între degete.

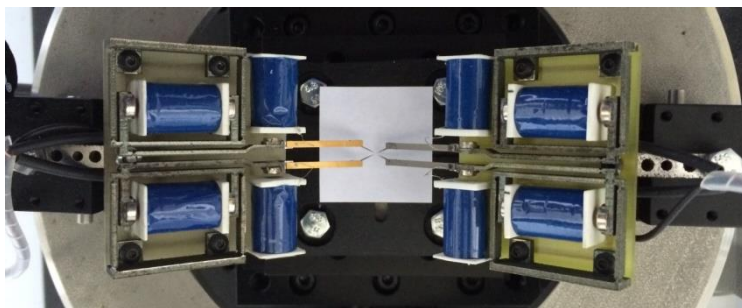


Figura 4.3. Actuatore 3D asamblate în oglindă

4.4 Circuitul electronic de comandă analogică a actuatorilor 3D

Cele patru actuatore 3D dispun de acționare electromagnetică respectiv acționare piezoelectrică.

Pentru acționarea electromagnetică s-a folosit, în montajul electronic, opt amplificatoare în configurație transconductanță.

Pentru acționarea piezoelectrică s-a folosit un driver compus din patru amplificatoare de înaltă tensiune.

Pentru comanda amplificatoarelor de înaltă tensiune și amplificatoarelor de curent s-a utilizat un convertor digital-analog model DC2025A-A.

4.5 Subansamblul de transport prin translație/rotație

Pentru o poziționare cât mai precisă a probei în aria de lucru a celor patru actuatore 3D, s-a realizat un subansamblu compus din trei axe de translație în configurație XYZ.

Platformele au fost asamblate, astfel rezultând suansamblul de transport prin translație respectiv rotație ca în figura de mai jos.

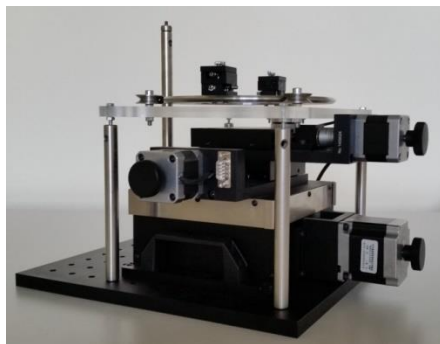


Figura 4.4. Subansamblul de transport prin translație/rotație

4.6 Circuitul electronic de comandă a axelor de translație/rotație

Pe lângă elementele mecanice, sistemul are în componența sa și circuite electronice. Aceste circuite au rolul de a prelucra semnalele de comandă și control. Controlul motoarelor s-a realizat cu drivere model DRV8825.

Folosind o placă de extindere model RAMPS au fost conectate cele patru drivere.

CAPITOLUL 5. PROIECTAREA INTERFEȚEI GESTUALE PENTRU MICROMANIPULARE DEXTRA

5.1 Interfață gestuală pentru pilotare avansată

Datorită complexității sistemului, interfețele clasice (joystick-uri, manete cu butoare) nu îndeplineau condițiile necesare, prin urmare s-a recurs la o fuziune de senzori.

Pentru a realiza deplasări pe axele $XY\Theta$ interfața de comandă a fost echipată cu senzori de detecție a câmpului magnetic, pentru axa Z s-a folosit un set de două pedale cu elemente rezistive variabile (potențiometre) iar pentru deplasările actuatorilor 3D interfața a fost echipată cu un sistem video stereoscopic (detecție 3D).

5.2 Principiul detecției stereoscopice 3D

Detecția video stereoscopică presupune utilizarea unui sistem format din două camere video și patru markeri[65],[66].

Comparând cele două imagini informația despre distanța relativă poate fi obținută sub forma unei hărți de disparitate care codifică diferența în coordonatele orizontale ale punctelor din imagine.

5.3 Metoda propusă de reconstrucție a coordonatelor bazate pe markere

Detecția markeri-lor se face folosind algoritmi de interpretare a formelor.

Algoritmul calculează aria cercurilor mari și fixează centrul acestora, după care calculează aria punctelor mici și mari, și le numără, astfel algoritmul face diferența între markere.

Pentru reconstrucția coordonatelor, algoritmul calculează distanța de la centrul markerului până la centrul imaginilor achiziționate de camere.

5.4 Structura subamsamblului optic pentru interfața de prehensiune (degete 3D)

Subamsamblul optic este format din două camere web cu focus manual, astfel încât să permită reglarea distanței focale în așa fel încât detecția markerilor să fie făcută cât mai precisă[67].

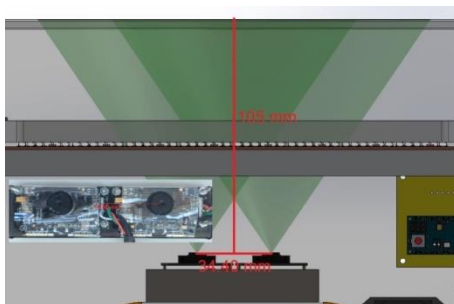


Figura 5.1. Paralaxa dintre obiectivele camerelor și distanța până la planul markerelor

Sistemul de iluminare este compus dintr-o bandă cu leduri de înaltă densitate cu o luminozitate de 1440 lm. Banda a fost montat pe un suport intermediar care face ca lumina să fie difuză.

5.5 Structura mecanică pentru interfața de transport (axe translație/rotație)

Structura mecanică pentru controlul axelor de transport este formată din patru elemente flexibile care sunt fixate pe suportul intermediar al iluminatorului. Datorită elasticității pe care o au, platforma mobilă pe care sunt fixați cei doi suporturi pentru magneți, se poate deplasa în direcțiile dorite.

Suportii pentru magneti sunt fixați de platforma pentru poziționarea mâinilor, astfel formând un sistem mobil. Suportii au fost poziționați în așa fel încât magneții să fie centrați și la distanțe egale față de senzori.

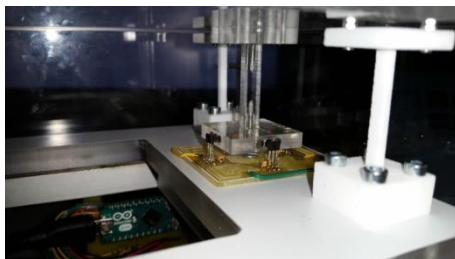


Figura 5.2. Suportul pentru magneți (realizare practică) și element flexibil

5.6 Circuitul electronic de achiziție coordonate transport

Achiziția coordonatelor de transport s-a făcut cu opt senzori Hall liniari cu efect de câmp model A1302. Senzorii Hall sunt mici dispozitive care sunt activați de un câmp magnetic extern.

Tensiune de ieșire a senzorului Hall folosit în interfață are un interval de la 2,48V-0,09V pentru polaritate N. Având în vedere că axele XY execută o deplasare bidirecțională tensiunea de la ieșirea senzorului Hall trebuie mediată. Prin urmare valoarea medie calculată este de 1,19V. Crescând sau descrescând această valoare, axele XY se vor deplasa în direcția dorită.

Pentru deplasarea axelor XY am folosit 8 senzori Hall dispuși ca în figura de 5.3.

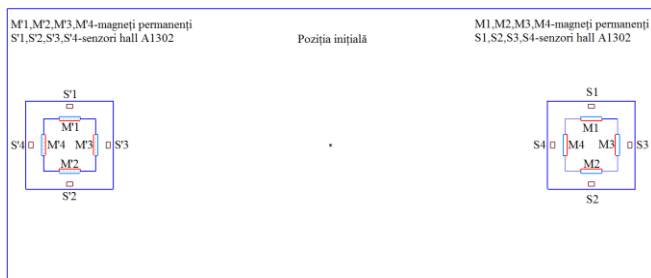


Figura 5.3. Dispunerea senzorilor Hall și a magneților

Pentru a putea efectua mișcări de rotație singura variantă este dublarea senzorilor, astfel încât prin deplasare compusă a doi senzori axa de rotație începe să se deplaseze.

Pentru axa de translație Z, ca și sistem de control s-a realizat un ansamblu pedalier. Acest ansamblu este format din trei pedale, două pentru axa de translație Z și una care are rolul de a arma/dezarma întreg sistemul de micromanipulare, ca și senzori s-au folosit potențiometre glisante, cu o rezistență de 10k Ω .

CAPITOLUL 6.

ALGORITMI DE COMANDĂ A SISTEMULUI ȘI REZULTATE FUNCȚIONALE

6.1 Programul Matlab/Simulink pentru achiziția stereoscopică a coordonatelor de prehensiune actuator 3D

Sistemul video stereoscopic este format din elemente hardware și elemente de prelucrare software. Elementele hardware se împart în două categorii: elemente de captură (camere video 3D/stereoscopice) și elemente de procesare (calculatoare, microcontrolere și minicalculatoare).

Pentru a reduce costurile, actualul sistem de achiziție stereoscopică este format din două camere microsoft HD 3000 pentru captură 3D și pentru procesare s-a folosit un RaspberryPi de ultimă generație. Ca mediu de dezvoltare software s-a utilizat o versiune de MatLab educațională.

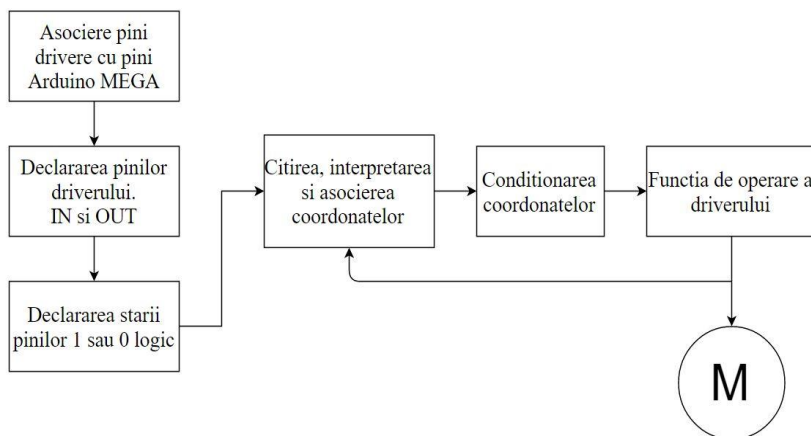
Folosind utilitarul Simulink de care dispune mediul de dezvoltare, s-a realizat un modul de achiziție și procesare.

6.2 Programul pentru achiziția coordonatelor de transport (translație/rotație) și algoritmul de pilotare a ansamblului de axe

Controlul axelor de translație/rotație s-a realizat cu senzori Hall model A1301. Având în vedere că senzorii au ieșire analogică, pentru conversie în valori digitale s-a utilizat un microcontroler ArduinoMicro.

Pentru pilotarea ansamblului de axe s-a utilizat un modul Ramps 1.4 cu patru drivere (drv8825) de comandă a motoarelor pas cu pas. Acest modul este construit să conlucreze cu o placă Arduino MEGA 2560.

Algoritmul de pilotare a ansamblului de axe a fost dezvoltat în ArduinoIDE. De la microcontrolerul ArduinoMico sunt preluate valorile de comandă. Acestea sunt înglobate în aloritmul de pilotare sub formă de funcții de comandă.



6.3 Încercări de manipulare avansată

Pentru realizarea experimentelor au fost interconectate toate subelementele care formează sistemul de micromanipulare.

Sistemul de micromanipulare realizat a fost testat într-o aplicație demonstrativă ce a constatat în prinderea și manipularea unor obiecte din material ceramic, cu formă regulată și dimensiuni de $80 \div 150\mu\text{m}$.

Pe parcursul operațiilor de micromanipulare, s-a constatat că prinderea și manipularea acestor obiecte sunt operații complexe, care nu ridică probleme semnificative.

În figura 6.2. sunt prezentate o serie de imagini din timpul experimentului, imagini ce surprind etape din timpul micromanipulării unor obiecte cu dimensiuni de $80 \div 150\mu\text{m}$.

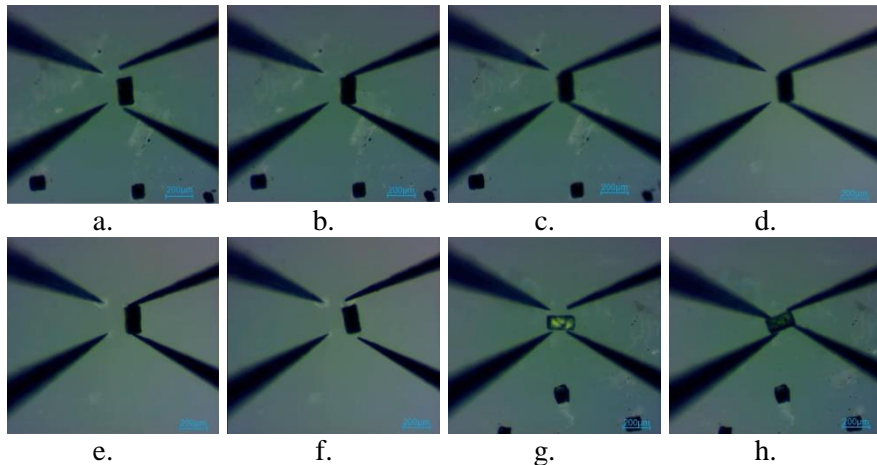


Figura 6.5. Secvențe din timpul operațiilor de micromanipulare
a)-centrarea și poziționarea brațelor; b)-prinderea micro-obiectului; c)-ridicarea micro-obiectului de pe suprafața semiadezivă; d)-deplasarea micro-obiectului în poziția aleasă; e,f)-eliberarea micro-obiectului pe suprafața semiadezivă; g)-poziționarea celor patru brațe în jurul micro-obiectului în vederea manipulării colaborativă; h)-realizarea unei rotații în plan orizontal (micromanipulare colaborativă)

CAPITOLUL 7.

CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Concluzii

Lucrarea tratează subiecte ce aparțin următoarelor subdomenii ale mecatronicii: **mecanică** – proiectarea CAD a elementelor mecanice ce formează sistemul de microprehensiune, simularea deformărilor și a deplasărilor, prototiparea elementelor prin tehnologie SLM/SLS, măsurători și calibrări; **fizică** – descrierea efectului electromagnetic și a efectului piezoelectric; **știința materialelor** – materiale folosite la realizarea elementelor mecanice, materiale piezoelectrice, materiale biocompatibile; **electronică** – electronică de comandă și control, senzori, condiționarea semnalelor; **automatică** – programe de achiziție și control a sistemului.

Obiectivele propuse au fost îndeplinite cu succes, printre acestea enumerându-se:

➤ Fabricarea unui actuator cu trei grade de libertate, acționarea acestuia, în plan orizontal, pe direcția X și Y realizându-se electromagnetic, iar în plan vertical pe direcția Z făcându-se piezoelectric;

➤ Realizarea a două subansambluri 3D monolitice, formate din două actuatoare cu câte trei grade de libertate, rezultatul fiind două sisteme de microprehensiune cu șase grade de libertate fiecare, fapt care duce la rotirea parțială a micro-obiectului în spațiu 3D;

➤ Realizarea unei interfețe gestuale care să permită controlul individual al fiecărui actuator ce intră în componența stației de micromanipulare;

➤ Realizarea unei stații cu multiple grade de libertate pentru micromanipularea obiectelor de dimensiuni submilimetrice cu aplicații în biologie și tehnologia microfabricației;

Contribuții originale

Contribuțiile autorului pot fi sintetizate după cum urmează:

- Am realizat documentare despre sistemele mecatronice și de micromanipulare, prin studierea materialelor de specialitate;

- Am realizat cercetări privind stadiul actual al sistemelor de micromanipulare cu mai mult de două grade de libertate și a structurilor mecanice compliante, în urma cărora s-a optat pentru realizarea unor elemente complexe din pulberi de CoCr cu trei grade de libertate;

- Am efectuat o serie de teste și măsurători în urma cărora am determinat caracteristicile de performanță a elementelor de acționare;

- Datele obținute în urma testelor au fost prelucrate și ulterior folosite în simularea diverselor elemente care alcătuiesc sistemul de microprehensiune;

- Am realizat întregul proces de producție al elementelor mecanice compliante pornind cu proiectarea, simularea, optimizarea, prototiparea și finalizând cu asamblarea lor.

- Am stabilit caracteristicile electrice și dimensiunile gabaritice pentru elementele de acționare electromagnetice, calculând și forțele de interacțiune dintre magnetii permanenți și mizul bobinelor, rezultând distanța dintre ele.

- Am realizat asamblarea finală a actuatorilor 3D, rezultând un sistem de microprehensiune cu șase grade de libertate;

- Pentru controlul individual am realizat o interfață gestuală, concepută într-un mod original, care permite acționarea fiecărui braț de pe actuatorile 3D, folosind un set de markere și un sistem optic de recunoaștere videostereoscopic (3D), iar pentru acționarea sistemului de transport prin translație/rotație am folosit o configurație de opt senzori de detecție a câmpului magnetic. Pentru controlul axei Z de transport prin translație și activarea/dezactivarea stației, am realizat un sistem pedalier;

- Pentru prelucrarea datelor de la sistemul optic și de la senzorii de detecție al câmpului magnetic, folosind utilitarul *Simulink* din programul MatLab am realizat un program de detecție și reconstrucție a coordonatelor;

Direcții viitoare de cercetare

Chiar dacă obiectivul a fost atins – **realizarea unui sistem de microprehensiune de înaltă dexteritate** – cercetarea și dezvoltarea nu s-a oprit aici. Viitoarele direcții de cercetare și dezvoltare includ următoarele sarcini:

- Dezvoltarea unor algoritmi de autocorecție pentru interfața de comandă, având ca scop îmbunătățirea controlului;
- Dezvoltarea unui algoritm pentru controlul în buclă închisă, pentru aplicații de sortare de microobiecte;
- Integrarea unor senzori de forță în vederea manipulării de micro-obiecte foarte fragile, care necesită controlul forței de prindere;
- Integrarea în interfața de comandă a unor senzori care să ofere un feedback de forță;
- Adaptarea unor terminale care să permită operații de manipulare în mediu lichid;
- Depunerea unui proiect de transfer tehnologic către piață.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [10] Bong-Seok Kim, Joon-ShikPark, ByoungHunKang, ChanwooMoon, *Fabrication and property analysis of MEMS micro-gripper for robotic micro-manipulation*, 2012, pp 50-56, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, vol 28
- [17] Joel Agnus, David Heriban, Michael Gauthier, Valerie Petrini. *Silicon End-Effectors For Microgripping Tasks*, **Precision Engineering**, vol. 33, no. 4, pp. 542-548, 2009
- [18] Arvid Bergander, Walter Driesen, Thierry Varidel, Jean-Marc Breguet. *Development of Miniature Manipulators for Applications in Biology and Nanotechnologie*, 2003, **proceeding of Microrobotics for Biomanipulation Workshop, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'03)**, pp 11-35
- [22] Wolfgang Zesch, Markus Brunner, Ariel Weber, *Vacuum Tool for Handling Microobjects with a Nanorobot*, 1997, **Robotics and Automation**, pp 1761-1766, doi:10.1109/ROBOT.1997.614405
- [23] Dae jong Jang, Duk-young Chong, Samsung Electronics Co.. **OPTICAL PICKUP ACTUATOR**, Patent No. US 7, 006, 307 B2 28.02.2006
- [26] N. Dechev, W. L. Cleghorn, J. K. Mills. *Microassembly of 3-D microstructures using a compliant, passive microgripper*, 2004, **Journal of Microelectromechanical Systems**, pp 176-189, vol 13, doi: 10.1109/JMEMS.2004.825311
- [28] ***<http://webbut.unitbv.ro/Carti%20on-line/BSM/BSM/capitol5.pdf>
- [29] Slawomir Jakiela, Jan Zaslona and Jacek A. Michalski. *Square Wave Driver for Piezoceramic Actuators*, **Actuators** **2012**, 1, 12-20; doi:10.3390/act1010012
- [30] Allison M. Okamura, Niels Smaby and Mark R. Cutkosky. *An Overview of Dexterous Manipulation*, 2000, **Robotics and Automation**, pp255-262, vol 1, doi: 10.1109/ROBOT.2000.844067
- [65] ***<http://www.mathworks.com/products/computer-vision/features.html?requestedDomain=www.mathworks.com>
- [66] Christian Kollmitzer, *Object Detection and Measurement Using Stereo Images*, 2012, **Multimedia Communication, Services and Security**