

**Conferința Națională Multidisciplinară
„PROFESORUL ION D. LĂZĂRESCU
FONDATORUL ȘCOLII ROMÂNEȘTI
DE TEORIA AȘCHIERII”
Ediția a VIII-a
Cugir, 13 decembrie 2024**

SISTEM MECATRONIC DE MANIPULARE COMPLIANT CU SIMULARE VR

Daria ORLEA, Dan Cristian NOVEANU

COMPLIANT MECHATRONIC HANDLING SYSTEM WITH VR SIMULATION

Abstract: Gripping and handling are essential operations in the field of technology, and the evolution of unconventional technologies make it possible to develop mechatronic systems that perform micro-manipulation operations. Compliant grippers are devices specially designed for the precise handling of micro objects, so this work aims to achieve a compliant handling system. To visualize the operation of the system, state-of-the-art technology will be used, namely virtual reality.

Keywords: compliant mechanisms, manipulation, virtual reality.

Cuvinte cheie: mecanisme compliante, manipulare, realitate virtuală.

1. Introducere

Robotica este un domeniu în plină dezvoltare care pune accent pe implementarea unor sisteme rezistente și flexibile. Sistemele mecatronice, formate cu mai mulți roboți, au configurații flexibile din punct de vedere spațial și funcționalități avansate, ceea ce le permite să se adapteze mai ușor la medii și misiuni diverse [1].

Sistemele de manipulare, respectiv micromanipulare sunt în continuă expansiune, astfel că datorită dezvoltării domeniului de fabricație aditivă [2], se deschid noi direcții de inovare în domeniul mecanismelor și anume mecanisme compliante care se pretează la miniaturizare.

În ultimul deceniu s-au făcut pași importanți în dezvoltarea realității virtuale, care urmează să se implementeze în cât mai multe domenii de activitate [3], [4].

Miniaturizarea reprezintă tendința de a fabrica produse și dispozitive mecanice, optice și electronice din ce în ce mai mici. Printre aplicații se numără miniaturizarea telefoanelor mobile, a computerelor, a sistemelor pentru chirurgie minim invazivă etc.

Roboții miniaturizați sunt adesea concepuți și construiți pentru sarcini care sunt monotone sau chiar periculoase pentru oameni, cum ar fi producția de rutină și explorarea spațiului.

Datorită evoluției tehnologiilor neconvenționale, mecanismele compliante [5], [6] sunt o alternativă a mecanismelor clasice atunci când dorim miniaturizarea sistemelor tehnice.

2. Mecanisme compliante

Mecanismele compliante reprezintă o categorie inovatoare de structuri mecanice concepute să se deformeze elastic, în mod controlat, pentru a îndeplini funcții specifice, eliminând astfel nevoia de îmbinări rigide și reducând complexitatea mecanismelor tradiționale. Aceste mecanisme utilizează elasticitatea materialelor pentru a absorbi și distribui tensiunile, oferind avantaje semnificative în aplicațiile care necesită precizie și adaptabilitate, cum ar fi robotica și automatizările industriale. Odată cu dezvoltarea tehnologiei, prinderea și manipularea obiectelor au devenit aspecte esențiale în domeniul ingineriei, necesitând soluții din ce în ce mai precise și eficiente. La griperile clasice, erorile de funcționare pot apărea din cauza limitărilor în precizia de prelucrare, frecării dintre componente și rigidității structurilor. Însă, progresul în tehnologiile de fabricație a permis dezvoltarea de mecanisme compliante, care pot compensa aceste neajunsuri și asigura o adaptabilitate mai mare la formele și texturile variate ale obiectelor, fără a compromite precizia sau controlul.

3. Gripare compliantă

Manipularea micro-obiectelor cu ușurință și eficiență a fost larg discutată în literatura recentă [7]. Capacitatea de a efectua experimente pe organisme cu o singură celulă este crucială, deoarece fiecare celulă are propriile sale caracteristici individuale, ceea ce înseamnă că pot exista diferențe semnificative între celule. Aceste diferențe pot fi cauzate de multe motive, inclusiv de daune localizate, mutații, etapele în viața celulei, diferențe în expunerea la semnale externe și multe alte motive. Există câteva probleme pe care le putem identifica cu metodele actuale de manipulare prin contact. Problemele principale pot fi enumerate ca: adeziune datorată legilor de scalare a forței, lipsa unui sistem ușor de înlocuire și modularitate între vârfurile de prindere și, în cele din urmă, structuri micro-complexe care duc la fragilitate și o cantitate mare de actuatori / articulații și dispozitive de fixare. Prima problemă există din cauza legilor de scalare a forței, ceea ce înseamnă că forțele de aderență pot face eliberarea unui obiect extrem de dificilă.

4. Proiectare

Acest studiu are ca fundament [1], realizându-se o familie de gripare compliantă care au diferite geometrii pentru cuplele flexibile. Pentru structura mecanică se realizează modelul 3D utilizând softul Solidworks în care se implementează proprietățile de material și parametrii geometrici [8].

În figura 1 este prezentată schița modelului solid al minigriperului de bază cu următoarele dimensiuni de gabarit: 40x91x4 mm, lungimea cuplei flexibile este de 4 mm, lățimea cuplei flexibile este de 2,76 mm.

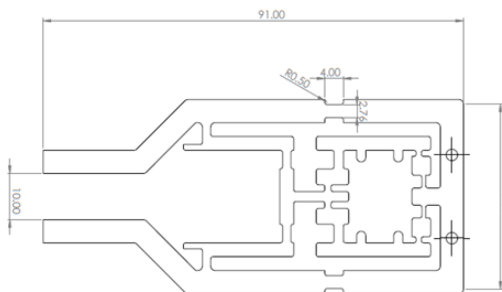


Fig. 1 - Schița mecanismului compliant

În continuare se prezintă modelarea și analiza pentru griperul proiectat, iar rezultatele vor fi prezentate astfel încât să se poată vizualiza o imagine completă asupra distribuției deformațiilor și tensiunilor precum și zonele de interes ale acestora, în urma acționării cu diferiți parametri de intrare.

Minigriperul are următoarele dimensiuni de gabarit: 40x91x4 mm, deschiderea maximă este de 10 mm, lungimea cuplei flexibile este de 4 mm, lățimea cuplei flexibile este de 2,76 mm, raza de racordare 0,5 mm.

După realizarea modelului 3D pentru analiza cu element finit se discretizează conform figurii 2, rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 1.

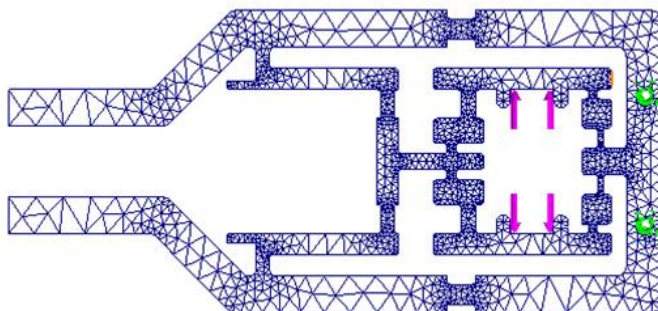


Fig. 2 - Fixare, încărcări și rețea elemente finite

Tabel 1

Număr noduri	100855
Număr elemente	62631

Condițiile la limită impuse griperului ,pentru ca simularea prin MEF să fie cât mai aproape de realitate sunt date de încastrările în zonele de fixare cu șuruburi. Pentru analiza cu element finit se consideră caracteristicile de material conform modelului real având coeficientul $E=2770$ MPa. La aplicarea unei forțe de intrare de 2 N rezultă la ieșire o deplasare maximă de 0.05252 mm conform figurii 3.

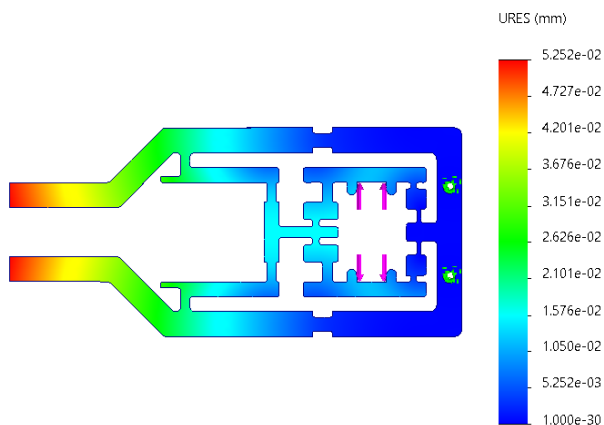


Fig. 3 – Deplasările rezultate în urma simulării

În figura 4 este prezentat rezultatul pentru tensiunile Von Mises în urma analizei cu element finit a minigriperului.

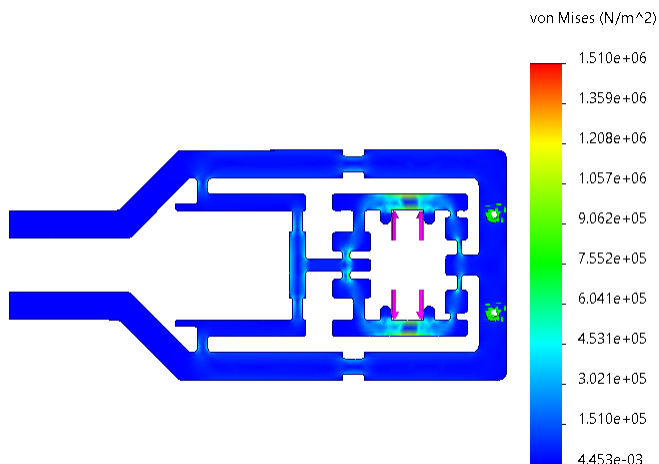


Fig. 4 - Tensiunile Von Mises rezultate în urma simulării

În continuare sunt prezentate modelele realizate în softul Solidworks cu diferite vârfuri de prindere pentru manevrarea probelor de diferite geometrii.

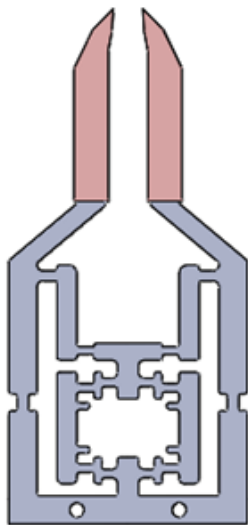


Fig. 5 - Griper cu lamelă lungă fină

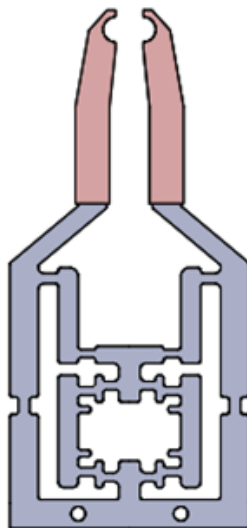


Fig. 6 - Griper cu lamelă lungă concavă

5. Realizare

S-a realizat o variantă de griper obținut prin imprimare 3D, ca și mecanism compliant. Designul este unul modular astfel că vârfurile de prindere pot fi înlocuite ușor și eficient în funcție de piesele de manipulat.

Conform modelelor 3D prezentate anterior se realizează griperele compliante prin fabricație aditivă respectiv imprimare 3D.

Griperul compliant împreună cu vârfurile de prindere au fost pregătite pentru imprimarea 3D conform figurii 7.

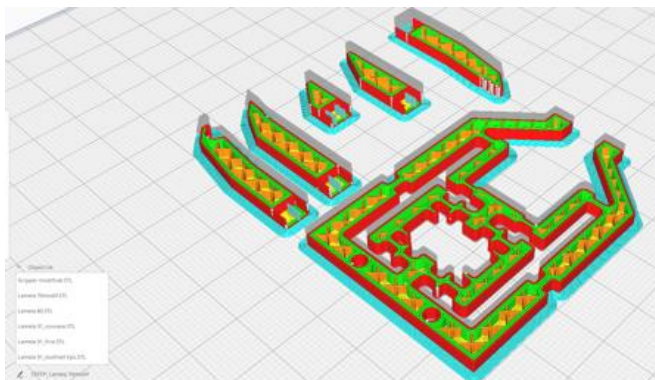
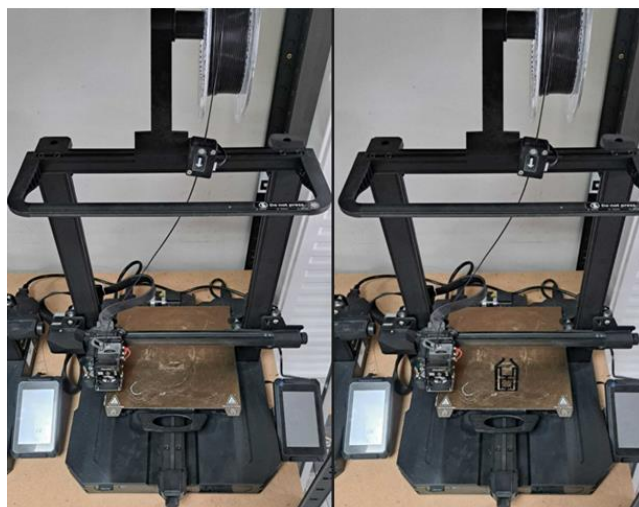


Fig. 7 - Pregătirea pentru fabricație

În figura 8.a se prezintă echipamentul prin care s-a fabricat griperul compliant, iar în figura 8.b prototipul rezultat.



a) Imprimare 3D

b) Modelul final imprimat

Fig. 8 - Prototip

În continuare se prezintă modelul final al griperului imprimat cu diferite vârfuri de prindere.



Fig. 9 - Griper compliant cu diferite modele de „pensete” atașate

Pe baza studiilor teoretice, referitoare la particularitățile sistemelor de micromanipulare, se proiectează un sistem cu un griper compliant. Sistemul de micromanipulare a fost conceput ca un braț robotic. Acesta este acționat cu 3 servomotoare, iar griperul compliant este acționat cu un actuator piezoelectric.

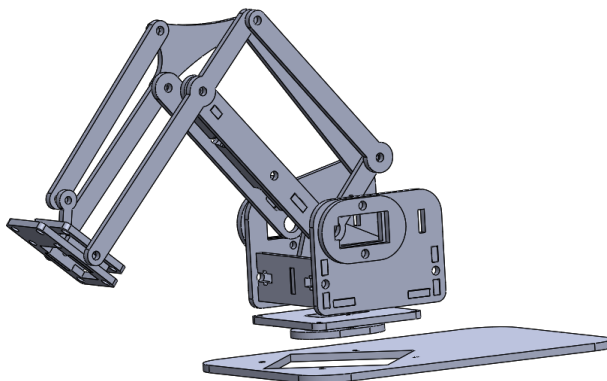


Fig. 10 - Modelul 3D al brațului robotic

În continuare se integrează griperul compliant cu actuatorul piezoelectric și cele trei servomotoare.

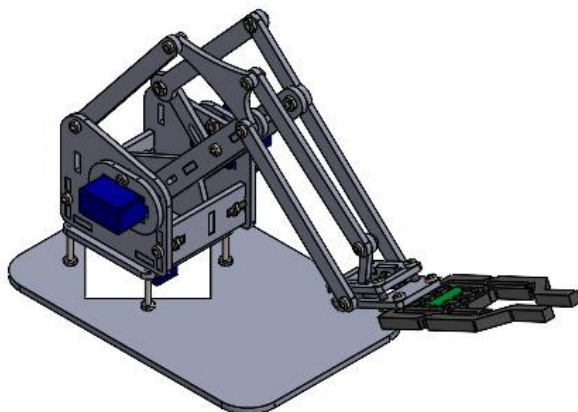


Fig. 11 - Modelul 3D al brațului robotic cu griper

Asamblarea sistemului de manipulare este prezentată în figura 12 unde 1 reprezintă partea fixă, 2 reprezintă partea mobilă, iar 3 reprezintă griperul compliant.

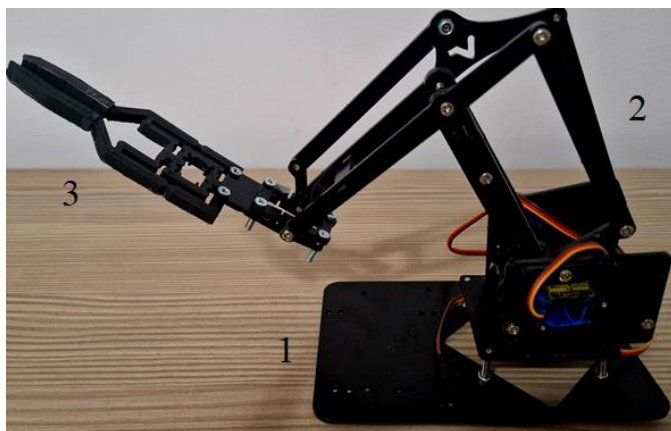


Fig. 12 - Sistem de manipulare

În continuare se prezintă simularea unei mișcări a brațului robotic folosind realitatea virtuală deoarece se consideră că aceasta poate ajuta în procesul cognitiv pentru a vizualiza și a înțelege mult mai eficient modul de funcționare a unui dispozitiv robotizat.

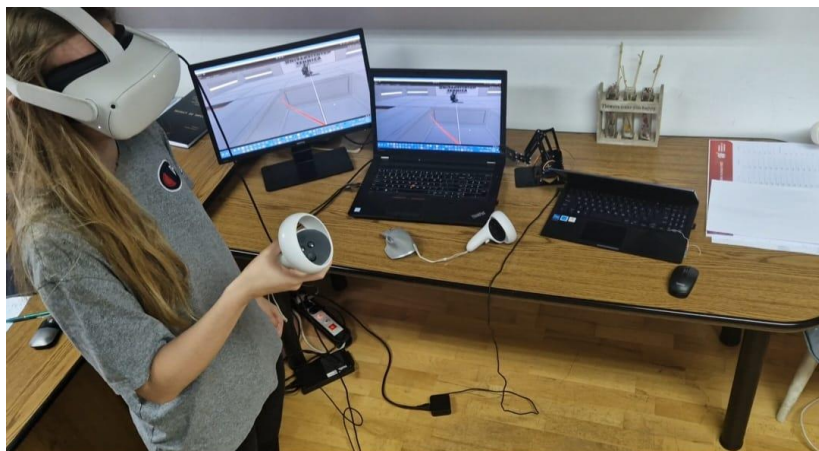


Fig. 13 - Implementare mișcare de rotație

6. Concluzii

Din literatura de specialitate rezultă că dezvoltarea tehnologiilor de fabricație a determinat dezvoltarea mecanismelor compliante. De asemenea, prin analiza comparativă a diferitelor sisteme de manipulare cu mecanisme compliante rezultă că cele mai bune precizii le oferă actuatorii piezoelectrice.

În cadrul lucrării s-a proiectat, modelat și realizat un griper compliant cu un design modular în vederea optimizării pentru diferite aplicații. Optimizarea a constat în proiectarea cuplelor flexibile de diferite forme și adăugarea de vârfuri de prindere specifice în vederea manipulării unor obiecte cu diverse geometrii.

Pentru a simula comportamentul acestor gripere a fost folosit softul SolidWorks, program în care piesele au fost și modelate. În cadrul simulării poate fi introdus materialul din care poate fi realizat griperul precum și zonele fixe și cele unde sunt aplicate forțe.

BIBLIOGRAFIE

1. Lofroth M, Avci E. - *Development of a Novel Modular Compliant Gripper for Manipulation of Micro Objects*. Micromachines. 2019; 10(5):313. <https://doi.org/10.3390/mi10050313>
2. Noveanu, S., - *Sisteme mecanice de precizie*, Editura UTPress, Cluj-Napoca, 2020, ISBN 978-606-737-4322, 128pag.
3. Hamad A, Jia B. - *How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations*. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 8;19(18):11278. doi: 10.3390/ijerph191811278. PMID: 36141551; PMCID: PMC9517547.
4. Al-Ansi, A. M., Jabooob, M., Garad, A., Al-Ansi, A. *Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education*, Social Sciences & Humanities Open, Volume 8, Issue 1, 2023,100532, ISSN 2590-2911, doi:/10.1016 / j.ssaho.2023. 100532.
5. Noveanu, D., Ivan, I.A., Noveanu, S., *Influence of the Flexure Hinge Shape on Compliant Gripper Small Displacements*, The Romanian Journal of Technical Sciences. Applied Mechanics.: Vol. 67 No. 1 (2022): Flexure Hinges and Flexure-Hinge Mechanisms
6. S. Noveanu, D. C. Noveanu and I. A. Ivan, *Compliant Gripper for Biological Cells Manipulation*, 2024 IEEE International Conference and Exposition On Electric And Power Engineering (EPEI), Iasi, Romania, 2024, pp. 652-657, doi: 10.1109/ EPEI63510.2024.10758019.
7. R. K. Jain, S. Saha and S. Majumder, *Development of piezoelectric actuator based compliant micro gripper for robotic peg-in-hole assembly*, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Shenzhen, China, 2013, pp. 1562-1567, doi: 10.1109/ROBIO.2013.6739689.
8. Orlea, D., - *Lucrare de Licență „Sistem de manipulare compliant cu simulare in VR”*, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, sesiunea iulie 2023.

Această lucrare este susținută de către Laboratorul de cercetare al Universității Tehnice din Cluj-Napoca, „Precision Systems and Compliant Mechanisms Laboratory- ProSyMc”.

Masterand Ing. Daria Orlea

Departamentul de Mecatronică și Dinamica Mașinilor
Facultatea de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
e-mail: orlea.ma.daria@student.utcluj.ro

Şef lucr.Dr.Ing. Dan Cristian NOVEANU, membru AGIR
Departamentul de Ştiinţa şi Ingineria Materialelor,
Facultatea de Ingineria Materialelor şi a Mediului,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
e-mail: dan.noveanu@ipm.utcluj.ro