

# ANALIZĂ ȘI STUDIU DE CAZ PRIVIND CONTROLUL MIȘCĂRILOR UNEI MÂINI ROBOTICE INTELIGENTE

DOBRE Adriana-Mădălina<sup>1</sup> și DOBROVOLISCHI Dumitru<sup>1</sup>

Conducători științifici: Prof.dr.ing. Marian GHEORGHE, Dr.ec. Valentin Ionuț PANEA

**REZUMAT.** Optimizarea condițiilor de interacțiune om - mână robotică, a condus la un studiu teoretico – experimental specific. Lucrarea de față prezintă elementele principale ale analizei stadiului actual și, corespunzător, ale dezvoltării unei soluții pentru interacțiunea dintre operatorul uman și o mână robotică, care are capacitatea de a simula mișcările umane. Se vor aborda mijloacele de interacțiune simple, flexibile și intuitive pentru atingerea unui grad de eficiență sporit. Abordarea acestei teme este determinată de necesitatea controlului unei mâini care să execute anumite activități în medii speciale, greu de asimilat pentru ființele vii, în industrie unde capacitatea umană la ridicarea anumitor greutăți este limitată, precum și în sfera medicală, pentru persoanele cu dizabilități.

**CUVINTE CHEIE:** mână robotică, interacțiune om - mână robotică, control inteligent, fuzzy

## 1 INTRODUCERE

Mâna umană este un membru multiarticulat cu multe grade de libertate, oferind un grad mare de flexibilitate. Lucrarea de față urmărește să simuleze aceste mișcări flexibile prin controlul unei mâini robotice inteligente bazat pe logica fuzzy.

## 2 STADIUL ACTUAL

Controlul inteligent reprezintă o ramură esențială în dezvoltarea și încercarea reproducerii unor caracteristici asociate inteligenței umane. În funcție de mediile în care vor fi repartizate aceste componente, atributele lor au un caracter variabil. În dorința de a obține o activitate cât mai apropiată și asemănătoare cu cele întreprinse de un operator uman, caracteristicile controlului inteligent presupun învățarea și adaptarea la diverse situații. Controlul inteligent derivă din conceptul nedefinirii precise a inteligenței umane cât și a limitelor acesteia, astfel un comportament uman nefiind foarte bine delimitat ne rezumăm la a spune că în prezent sunt folosite metode de „control inteligent”. Există posibilitatea ca în viitor aceste problematice să fie rezolvate cu exactitate, moment în care controlul inteligent va fi înlocuit de control. Termenul „control inteligent” a fost introdus prin anii '70 de către K.S. Fu [6].

<sup>1</sup> Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST;

E-mail: [dobre.madalinaadriana@yahoo.com](mailto:dobre.madalinaadriana@yahoo.com);

E-mail: [dima.inx@gmail.com](mailto:dima.inx@gmail.com);

## 2.1 Metode de control inteligent

Metodele de control inteligent sunt aplicate în robotică, automatizări, comunicații, etc. În controlul inteligent sunt folosite tehnici precum rețelele neuronale, logica fuzzy, algoritmi genetici, sisteme expert și sistemele hibride. Domeniul științei calculatoarelor și, în special, inteligența artificială oferă metodologii și instrumente precum rețelele semantice, tehnici de raționalizare și limbaje de calculator. Conceptele și algoritmi dezvoltati în domeniul controlului adaptiv și învățarea mașinii ajută controlerele inteligente să se adapteze și să învețe. Progresul senzorilor și tehnologiilor de calcul și rețelele de comunicație asigură suportul pentru implementarea hardware a controlului inteligent [1].

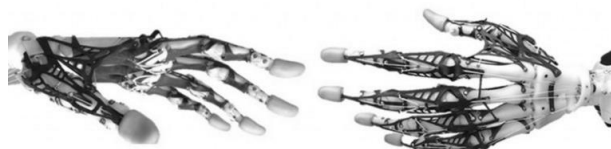


Fig. 1. Mână robotică [1]

Un robot este un sistem electromecanic care percepe mediul înconjurător prin intermediul senzorilor și acționează cu ajutorul elementelor de execuție (actuatori), acțiunile sale sunt adaptate la situații percepute [1]. Algoritmii de învățare ai unui robot trebuie să facă față unui timp de viață limitat al unor soluții. O etapă esențială constă în alegerile pe care robotul le va face. Toate cerințele la care

sunt supuși acești roboți necesită impunerea unor constrângeri mari și a unor opțiuni limitate [2].

Logica fuzzy este o tehnică des întâlnită în robotică și automatizări, este bazată pe inteligență artificială, fiind o metodă din soft-computing care permite abordarea și tratarea unor constrângeri puternice generate de imprecizia datelor obținute de la senzorii cu care au fost dotate diversele aparaturi. În cazul controlului fuzzy nu este necesară realizarea unui model matematic [3].

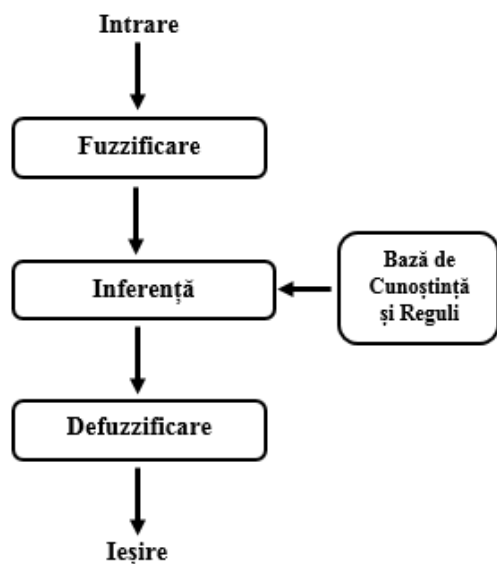


Fig. 2. Schema logicii fuzzy [3]

Controlul bazat pe logica fuzzy (Fuzzy Logic Control, FLC) este adecvat pentru programarea unei mâini mobile, deoarece este capabil să realizeze interferențe chiar și în condiții de imprecizie a datelor obținute de la senzorii acesteia. Această abordare permite utilizarea unei logici umane integrate. Totuși, lipsa capacității de învățare sistematică în proiectarea sistemelor convenționale bazate pe logica fuzzy a generat un interes deosebit înspre combinarea logicii fuzzy cu alte metode speciale de învățare, cum ar fi rețelele neuronale, cu scopul de a obține un comportament flexibil. Comportamentul flexibil implică abilitatea de a învăța – de a achiziționa cunoștințe sau de a îmbunătăți abilități, pe baza experienței, observațiilor sau antrenării [3].

Există multiple variante în care poate fi programată o mână inteligentă, una dintre cele mai utilizate în ultima perioadă este metoda algoritmilor genetici, aceștia fac parte din algoritmi numerici utilizați în soluționarea problemelor de optimizare, inspirați din genetica și selecția naturală. Spre deosebire de unele abordări private, algoritmi genetici sunt tehnici generale și sunt folosite pentru a ajuta la rezolvarea periodică a problemelor practice [5].

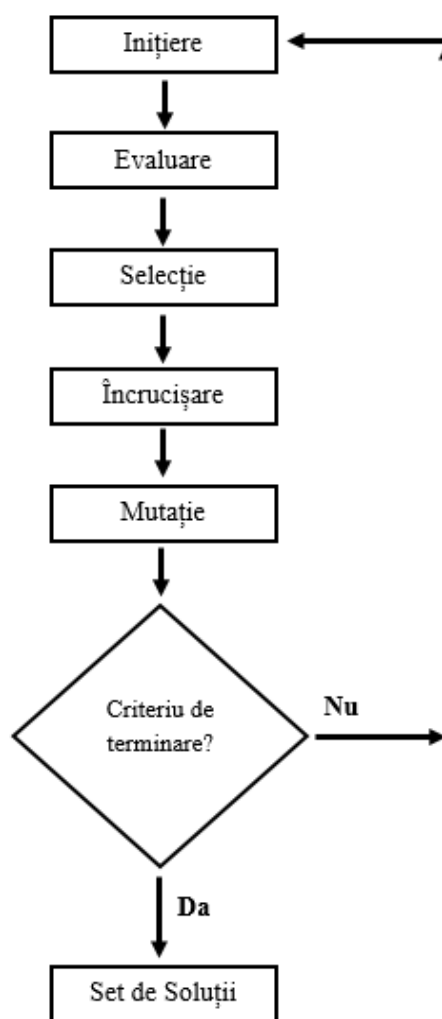


Fig. 3. Schema logicii algoritmului genetic [3]

## 2.2 Prinderea, ridicarea și manipularea. Relația dintre mână – obiect

Apucarea și manipularea obiectelor folosind una sau două mâini robotice antropomorfe prezintă câteva provocări în ceea ce privește controlul datorită complexității sistemului mecanic utilizat, gamei largi de forme de obiecte și marii varietăți de sarcini de manipulare. Mâinile robotice au mai multe grade de libertate decât manipulatoarele tradiționale cu legături în serie. Mai mult, în timpul manipulării, configurarea întregului sistem mână–obiect se schimbă frecvent: degetele se rotesc și alunecă pe suprafața obiectului, degetele lasă obiectul sau fac contact cu el, frecarea se modifică brusc, forțele care acționează asupra obiectului se pot modifica datorită interacțiunii cu mediul, etc. De aceea controlul mâinilor robotice poate fi o sarcină foarte dificilă. În mod remarcabil, datorită structurii lor mecanice, mâinile robotice antropomorfe pot permite o gamă largă de aplicații pentru controlul poziției și forței. Totuși doar cu mâinile se pot

realiza numai o gamă restrânsă de mișcări, pentru mișcări ample este necesară utilizarea încheieturilor și a brațelor robotice. Includerea efectelor controlului asupra stabilității prinderii este o problemă deschisă de actualitate [6].

### 3 DEZVOLTAREA UNEI MÂINI ROBOTICE INTELIGENTE

Abordarea acestei teme a fost determinată de necesitatea controlului unei mâini robotice, programată să execute anumite sarcini sau operații în medii chimice, greu de asimilat pentru ființele vii. Contribuții importante fiind aduse în sfera de mobilitate, gradele de libertate reprezintă un aspect foarte important atunci când forma obiectelor este una variabilă. Mobilitatea unei mâini ne ajută la gestionarea ușoară a obiectelor ce urmează să fie apucate și manipulate.

#### 3.1 Analiza comportamentului uman

Un pas important ce trebuie derulat înaintea realizării fizice a prototipului, îl constituie înțelegerea și determinarea cât mai exactă a comportamentului uman. Modul de interacțiune între om și mâna robotică va fi unul direct, practic cea din urmă va executa mișcările realizate de factorul uman. Suntem condiționați de stadiul actual al cunoașterii inteligenței umane, să implementăm un control inteligent. Un control precis este greu de realizat, deoarece limitele inteligenței umane nu sunt bine delimitate. Ținând seama de cercetările privind comportamentul uman, în cadrul acestui proiect se va integra un control inteligent.

#### 3.2 Geometria obiectelor

Lucrarea își propune să ofere metode și soluții sustenabile pentru relația creată între mână-obiect. Este un prototip care interacționează direct cu obiectele în cauză, astfel un impact semnificativ îl au formele ce urmează să fie apucate. Întrucât geometria obiectelor este una variabilă, gradele de libertate de care dispune o mână robotică sunt esențiale pentru desfășurarea activităților. Vor fi realizate sarcini simple, similare cu cele întreprinse de un operator uman. În cadrul acestui proiect factorul uman este prezent și deciziile îi aparțin, practic mâna robotică execută mișcările realizate în prealabil de o mână umană. Pentru a facilita timpul de reacție al prototipului există posibilitatea implementării unor senzori, care sunt capabili să determine caracteristicile factorilor externi, sau există posibilitatea folosirii unor forme prestabilite.

În cazul integrării pe o linie de producție robotul întâlnește piese de același timp, fiind în prealabil

analizat și testat pentru a se verifica comportamentul, o astfel de abordare nu necesită integrarea unor senzori. În lucrarea de față ne propunem să contribuim prin a lărgi sfera de activitate, deci să tratăm comportamentul mâinii robotice în raport cu gamă mai largă de obiecte. Se dorește implementarea prototipului pe o linie de producție unde fluxul de semifabricate este unul variabil și cu ajutorul acestuia semifabricatele să fie depozitate corespunzător, în funcție de conturul exterior al pieselor prelucrate. În imaginea de mai jos este prezentat un centru de prelucrare care dispune de două palete (mese), fiecare având un astfel de prototip integrat pentru a fi capabil să monteze un semifabricat în dispozitiv sau să fie capabil să extragă o piesă din acesta [12]. Astfel operatorul uman nu riscă să fie afectat de mediul nociv în care se prelucrează piesele.

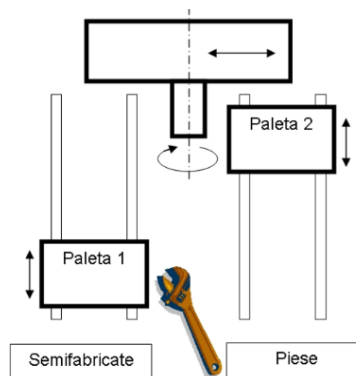


Fig. 4. Amplasarea unor mâini robotice poziționate la capătul paletelor [12]

#### 3.3 Detectare fără atingere a unui "obstacol"

Detectarea unui "obstacol" (operator, piese, echipamente periferice etc.) se face utilizând senzori de proximitate: ultrasonici, optici, capacitivi, inductivi, magnetici, cu efect Hall etc. [13]. Toți senzorii enumerați mai sus au la bază fenomenele acustice.

Sunetele sunt oscilații elastice care se datorează vibrațiilor mecanice ale particulelor mediului [13]. Cu ajutorul următoarei formule este calculată viteza de propagare a sunetului:

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

unde:  $\lambda$  este lungimea de undă;

$f$  – frecvența;

$T$  – perioada undelor sonore.

La fel de important este și mediul în care se propagă aceste unde sonore, acesta se calculează cu următoarea relație:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

unde:  $I_0$  este intensitatea unei incidente,  
 $x$ -distanța față de sursă

$\alpha$  - factor dependent de mediu

$f$  – frecvența care are următoarea expresie:

a) pentru lichide și gaze :  $a = \alpha f^2$ ;

b) pentru solide :  $a = \alpha f$

Sunetele prin propagare în mediu - suferă reflexii, refracții, difracții, interferențe și alte fenomene caracteristice pentru mișcarea ondulatorie [13].

Pentru a determina cât mai exact poziția în spațiu a unui obiect există posibilitatea integrării unui senzor de locație. Acesta facilitează timpul de prindere-deplasare-desprindere al pieselor, știind cu exactitate poziția acestora. În Fig. 5 este prezentat principiul de lucru al senzorului de locație [13].

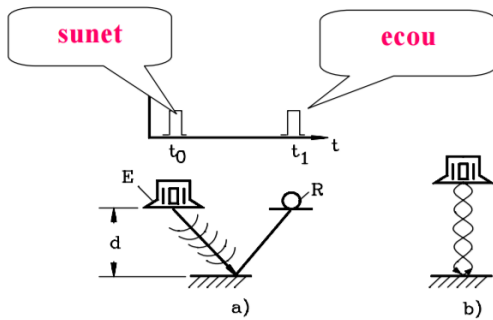
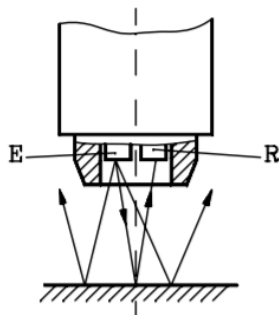


Fig. 5. Senzori acustici [13]

În varianta (a) este prezentat un senzor acustic cu emițător și receptor separați, în varianta (b) este prezentat un senzor cu emițător și receptor unic.

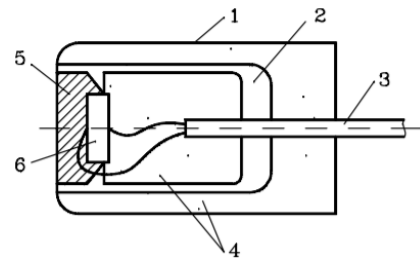
Schema de funcționare a unui senzor de proximitate:



E - emițător, R - receptor

Fig. 6. Senzor de proximitate acustic [13]

Componentele unui senzor de proximitate



1. carcasa senzorului;
2. element metallic;
3. cablu;
4. material absorbant;
5. rășină naturală;
6. traductor piezoceramic.

Fig. 7. Componentele unui senzor acustic [13]

Integrarea unei mâini într-un mediu în care există un număr ridicat de piese, cele din urmă având un grad diferit de umplere, materialul este variabil și poziția acestora în spațiu este aleatoare. Ne punem problema sortării pieselor după anumite criterii impuse, ținând cont de faptul că atingerea obiectelor nu este permisă, în primă fază se face analiza obiectelor și ulterior manipularea acestora în funcție de criteriile prestabilite. Ținând seama că relația mâna-obiect este foarte importantă toate caracteristicile pieselor enumerate mai sus influențează direct modul de acționare al mâinii robotice. Pentru tratarea problemei se pot folosi următoarele categorii de senzori: inductivi sau capacitivi, un element definitoriu între cele două variante prezentate este capacitatea de determinare a materialului și gradul de umplere. Dacă se dorește integrarea acestei mâini într-un mediu în care toate obiectele ce urmează să fie manipulate sunt concepute din metale, atunci este suficient să folosim un senzor inductiv, acesta fiind un senzor electronic de proximitate care este capabil să detecteze obiecte metalice fără a le atinge [11]. În Fig. 8 este prezentat un senzor inductiv.



Fig. 8. Senzor inductiv [11]

Dacă obiectele ce urmează să fie manipulate sunt realizate din materiale diferite (metalice sau nemetalice), în construcția mâinii se poate integra un senzor capacitiv. În Fig. 9 este prezentat senzorul capacitiv [11].



Fig. 9. Senzor capacitiv [11]

În cadrul acestei lucrări se dorește integrarea unui astfel de senzor capacitiv, deoarece este capabil să determine fără contact direct caracteristicile obiectelor din mediul înconjurător. În urma folosirii unui astfel de senzor sfera de activitate poate fi mărită exponențial, obiectiv pe care dorim să-l atingem.

### 3.4 Mediul de lucru

O problemă des întâlnită în industrie o reprezintă temperatura mediului de lucru, pentru a trata acest inconvenient au fost dezvoltati senzori de temperatură, cei din urmă sunt capabili să determine temperaturi cuprinse între 25°C până la 600°C [8]. Dacă se dorește integrarea mâinii robotice într-un mediu periculos pentru operatorul uman, sau indicarea temperaturii nu este necesară la locul măsurătorii, există posibilitatea atașării unui transmițător de temperatură, astfel încât în urma măsurătorilor, rezultate obținute sunt transmise și afișate într-un mediu sigur pentru om. Ținând cont că acești senzori sunt concepuți pentru a determina temperaturi foarte ridicate, materialul din care este făcută mâna robotică trebuie să aibă punct de topire mai mare decât temperaturile măsurate. Prototipul conceput are componentele realizate dintr-un polimer termoplastic numit ABS, acest tip de polimer își schimbă starea de agregare la 110 °C [9]. În schema următoare este prezentată dependența materialului componentelor mâinii robotice în raport cu mediul în care urmează să acționeze.

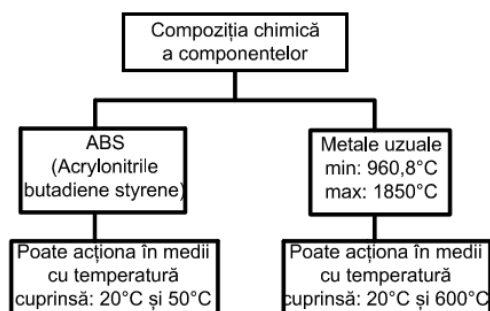


Fig. 10. Influența temperaturii de lucru asupra componentelor

Relația formată între mediul de acționare și componentele mâinii robotice se constată a fi una direct proporțională. Odată cu creșterea temperaturii mediului de lucru, materialul din care este conceput robotul trebuie să fie capabil să-și schimbe starea de agregare la temperaturi mult mai mari decât cele în care acționează. Integrarea unei astfel de mâini într-un mediu cu temperaturi ridicate este utilă pentru dezvoltarea industrială, ținând cont că operatorul uman nu are acces într-o zonă cu astfel de caracteristici, ne propunem să tratăm acest aspect și să găsim metode sustenabile pentru a rezolva această problemă.

Una din variantele posibile este schimbarea materialului din care este concepută mâna robotică. De exemplu alegerea unui material precum titanium (are punct de topire la 1649°C) [10] permite integrarea unei astfel de componente într-un mediu de lucru cu temperaturi variabile între 200°C - 300°C. Pe viitor se dorește conceperea componentelor din metale sau aliaje și testarea lor în medii cu temperaturi ridicate. Metalul își pierde din duritate atunci când este încălzit la temperaturi de peste 430°C.

### 3.5 Proiectarea și testarea în mediul virtual

Pentru a observa problemele și dificultățile pe care o mână robotică le poate întâmpina, am realizat un prototip în mediul virtual. Cu ajutorul instrumentelor puse la dispoziție de programul Autodesk Inventor, am modelat articulațiile și componentele necesare unei mâini umanoide. În urma asamblării, am supus unor testări incipiente capacitatea de prindere și rezistența componentelor, aceste verificări au fost realizate cu ajutorul instrumentelor oferite de Autodesk Inventor, mai exact Finit Element Analysis (FEA). Analiza elementului finit ne ajută să prezicem comportamentul obiectelor afectate de factori



externi, funcționează prin descompunerea în mii sau sute de mii de cuburi mici, astfel ecuațiile matematice ajută la prezicerea oricărui comportament [7].

### 3.6 Printarea 3D și testarea componentelor

Imprimarea 3D este procesul prin care se pot realiza obiecte solide tridimensionale dintr-un model digital. Imprimarea se realizează prin aplicarea unor straturi succesive de material, stabilite în diferite forme. Acest mod de imprimare este diferit de tehnicile tradiționale care se bazează în mare parte pe îndepărtarea materialului, cum ar fi tăierea sau găurirea cu ajutorul roboților industriali [14].

Materialul din care sunt făcute componentele se numește ABS (Acrylonitrile butadiene styrene), rezistă la următoarele temperaturi:  $-20^{\circ}\text{C}$  până la  $80^{\circ}\text{C}$  [15], fiind capabil să facă față mediului în care v-a fi integrat. După proiectarea componentelor în mediu virtual și testarea acestora s-a printat prima piesă. În imaginea de mai jos este prezentată o poză a primei piese printate.

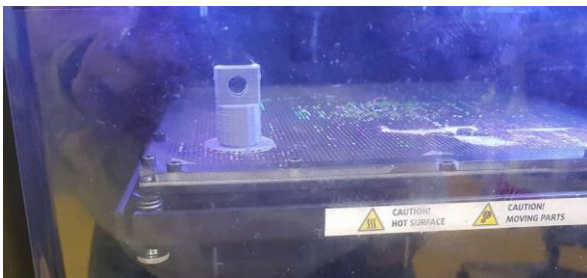


Fig. 11. Printarea componentelor

În urma primei printări, s-a analizat gradul de tehnologicitate asociat unei componente; avem în vedere că rugozitatea suprafețelor este scăzută, aceste probleme fiind generate de softul cu care se lucrează. Impedimentele apărute pe parcurs au fost modificate astfel încât piesele generate să corespundă cerințelor. În Fig. 12 este prezentat un deget realizat cu ajutorul imprimantei 3D. Pe baza acestor încercări am constatat îmbunătățirile pe care le putem aduce prototipului.



Fig. 12. Asamblarea componentelor

Numărul modificărilor fiind unul semnificativ, deoarece piesele printate nu îndeplineau cerințele prestabilite. Modificările survenite s-au concretizat în primă fază în mediul virtual, apoi s-a făcut și printarea elementelor. În urma unor testări riguroase atât în privința aspectului cât și a gradului de funcționalitate s-a conceput și varianta finală fiind prezentată în Fig. 13.

### 3.7 Componente și modul de asamblare

Analiza componentelor mecanice s-a făcut în primă fază la nivel de teoretic (informare și cercetare), s-a analizat gradul de compatibilitate, modul de asamblare, fiabilitatea, capacitatea de adaptare și interacțiune cu alte componente asociate și prețul acestora. În urma acestei documentări am ales componentele care îndeplineau cerințele stabilite. În faza incipientă asamblarea s-a făcut pe părți, ulterior s-a putut face și o analiză fizică. În Fig. 13 este prezentată o schemă preliminară în funcție de care am luat decizi cu privire la componentele achiziționate.

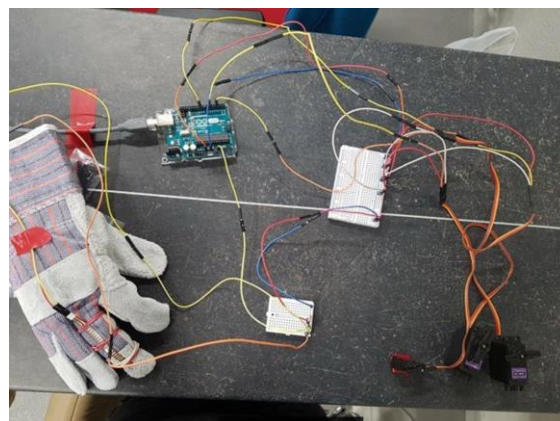


Fig. 13. Asamblarea componentelor

În partea de stângă este o mânășă cu ajutorul căreia operatorul uman interacționează direct cu mâna robotică, acesta mânășă are poziționat pe partea superioară senzori care transmit informații către servomotoare. Servomotorul acționează direct asupra elementelor componente care au poziții relativ reglabile, puterea acestuia determină viteza de modificare a poziției relative a componentelor direct legate. Sistemul este prezentat în stare incipientă și se pot observa în partea dreaptă cele trei servomotoare, acestea au fost conectate în serie. În acest stadiu nu am achiziționat toate componentele necesare, pentru a testa incipient gradul lor de compatibilitate, în varianta finală se vor integra cinci senzori și în acest caz servomotoarele vor fi conectate fiecare la câte un sensor plasat pe mânășă.

Toate componentele funcționează cu ajutorul plăcii Arduino Uno, acesta este o platformă de procesare open-source, bazată pe software și hardware flexibil și simplu de folosit, este capabilă să prelucreze date din mediul înconjurător printr-o serie de senzori și de a efectua acțiuni asupra mediului prin intermediul servomotoarelor și alte tipuri de dispozitive mecanice. Procesorul este capabil să ruleze cod scris într-un limbaj de programare care este foarte similar cu limbajul C++. Cu ajutorul acestor componente s-a realizat prototipul.

#### 4 CONCLUZII

În cadrul acestei lucrări s-a realizat practic și teoretic interacțiunea dintre factorul uman și o mână robotică.

S-au efectuat teste cu privire la gradul de funcționare și analiza teoretică a modului de integrare într-o linie de producție, pentru activitatea finală s-a luat în seama mediul de lucru, forma și dimensiunea semifabricatelor, modul în care factorii externi pot influența o activitate întreprinsă de acest prototip.

#### 5 BIBLIOGRAFIE

[1] Kelvin M., Yurkovich, *Fuzzy Control*, Addison-Wesley, Stephen 1998.

[3] Munteanu S., Dumitrache I., *Applying dia med hybrid algorithm to the diagnosis of dynamic systems*, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 68, No. 4, 2006.

[4] \*\*\*, The best five anthropomorphic robotic hands/arms, MindTrans Narod, <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm>, (accesat la 27.04.2017)

[5] Bucur D., Yu H., Vlădăreanu L., *Genetic algorithm for walking robots power optimization*, SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 25-26 May, (accesat la 27.04.2017)

[6] Bucur D., *Contributii in controlul miscarii sistemelor de prehensiune pentru roboti si maini umanoide inteligente*, Institutul de mecanica solidelor al academiei Romane, Bucuresti, 2014, [http://www.imsar.ro/Rezumat\\_teza\\_Danut\\_BUCUR.pdf](http://www.imsar.ro/Rezumat_teza_Danut_BUCUR.pdf) (accesat la 27.04.2017)

[7] \*\*\*, *Finit element analysis*, Autodesk, <https://www.autodesk.com/solutions/finite-element-analysis> (accesat la 01.05.2017).

[8] \*\*\*, *Senzori de temperatură*, Ifm, [http://www.ifm.com/ifmro/web/pmain/040\\_050\\_03\\_0.html](http://www.ifm.com/ifmro/web/pmain/040_050_03_0.html) (accesat la 03.04.2017).

[9] \*\*\*, *Mase plastice*, Wikipedia, [https://ro.wikipedia.org/wiki/Mas%C4%83\\_plastic%C4%83](https://ro.wikipedia.org/wiki/Mas%C4%83_plastic%C4%83) (accesat la 03.04.2017).

[10] \*\*\*, *Metale uzuale*, Rasfoiesc.com, <http://www.rasfoiesc.com/educatie/fizica/PROPRIETATI-TERMICE-ALE-METALE24.php> accesat la 03.04.2017).

[11] \*\*\*, *Senzori inductivi și capacitivi*, Acelectric, [http://www.acelectric.ro/senzori\\_inductivi\\_capacitivi.html](http://www.acelectric.ro/senzori_inductivi_capacitivi.html) (accesat la 05.05.2017).

[12] Savu T., *Modelare Simulare, Note de curs*, <http://imst.curs.pub.ro/2016/course/view.php?id=1107> (accesat la 06.05.2017).

[13] Dolga V., *Senzori și traductoare*, Mec.upt, [http://www.mec.upt.ro/dolga/ST\\_6.pdf](http://www.mec.upt.ro/dolga/ST_6.pdf) (accesat la 06.05.2017).

[14] \*\*\*, *Ce este imprimanta 3D și cum funcționează*, Descoperă, <http://www.descopera.org/imprimanta-3d/> (accesat la 07.05.2017).

[15] \*\*\*, *Acrylonitrile butadiene styrene*, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene) (accesat la 07.05.2017)