

Etapa 3: Prototipul 1 (2DW/2FW Cirrus Power Wheelchair): Conducerea in timp-real so testarea scaunului cu rotile;

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu Pioneer 6-DOF Arm si 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm): Integrarea sistemelor robotice echipate cu manipuloare in linia de posturi autonome asamblare generala;

Prototipul 3 (4DW/SW Autonomous Ominidirectional Vehicle SEEKUR echipat cu 6-DOF SEEKUR outdoor manipulator): Utilizarea vehiculului autonom echipat cu manipulator la operatii de transport si manipulare in procese din industria sticlei.

Activitatea 3.1. Implementarea in timp-real si testarea in structuri de conducere si de navigatie a Prototipului 1 (UGAL)

Algoritmul de cautare a unui traseu optim implementat în această proiect se bazează pe un algoritm de grupare adaptiv care foloseste informatiile obtinute cu ajutorul măsurătorilor senzorului laser pentru a detecta iesirea din mediul în care robotul mobil se află. Acesta este proiectat pentru a găsi portiunea cea mai permisibilă dintr-o încăpăre, comparativ cu dimensiunile reale ale scaunului electric mobil.

Algoritmul propus descrie procesul prin care este căutată o cale optimă de parcurgere a mediului înconjurător pentru a putea ajunge la destinatie.

În următoarea imagine avem o reprezentare a ferestrelor ce balează pentru a acoperi o suprafață suficientă comparativ cu lățimea scaunului. Putem observa faptul că atunci când raza de acțiune a laserului este mai apropiată de scaun fereastra acoperă un număr mai mare de puncte decât atunci când este mai îndepărtată.

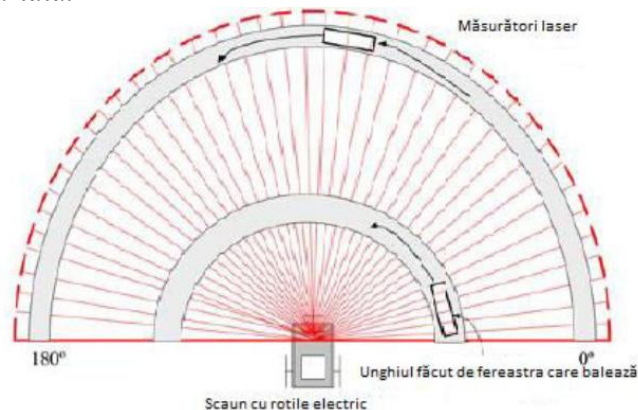


Fig.1. Exemplu de scanare a ferestrelor senzorului laser

Se consideră pozitia scaunului cu rotile ca fiind primul punct detectat, iar urmatorul punct detectat va coincide cu punctul de mijloc din cadrul spatiului liber cel mai accesibil pentru dimensiunea scaunului electric mobil. După ce scaunul mobil ajunge în pozitia dorită acesta își recalculează pozitia, scanând din nou zona pe care o are de parcurs pentru depistarea noilor obstacole. Putem deduce din acest lucru faptul că algoritmul face o căutare din aproape în aproape, fără a avea o hartă prestabilită. De aceea în momentul în care robotul mobil găsește o iesire dintr-o încăpăre, acesta nu se va opri, ci va scana zona în continuare pentru a găsi noi spatii libere de parcurs.

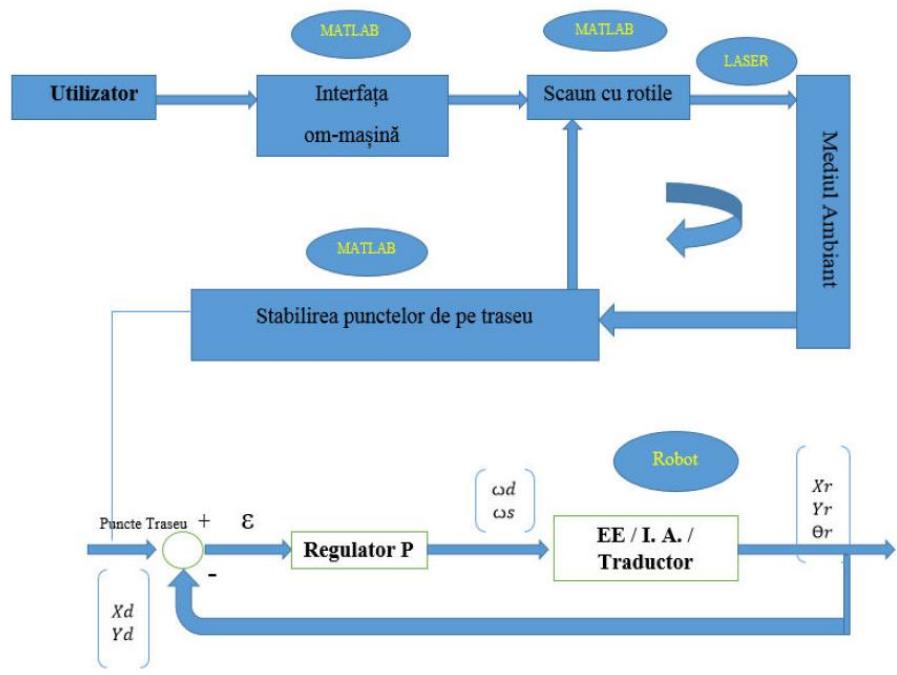
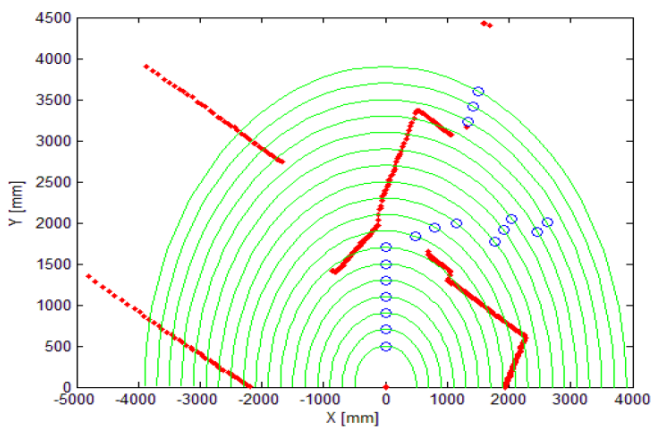
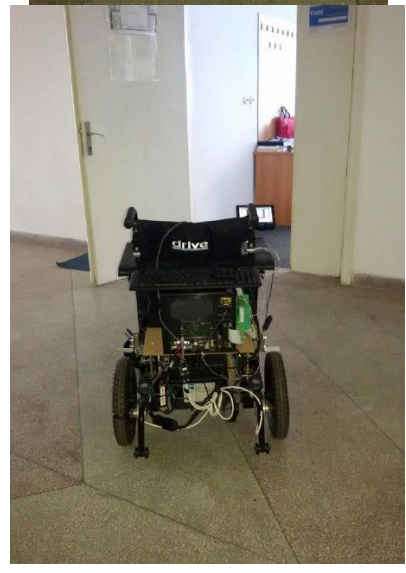
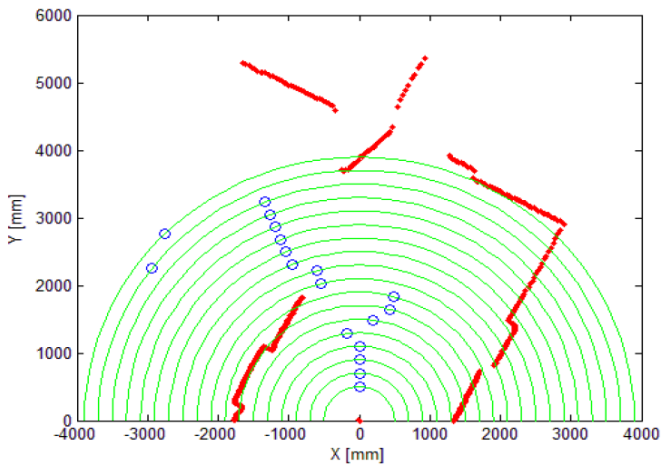
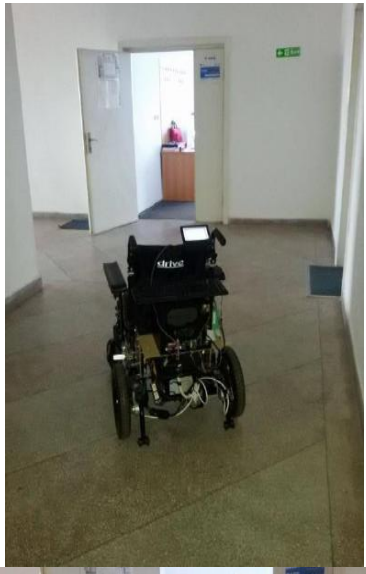
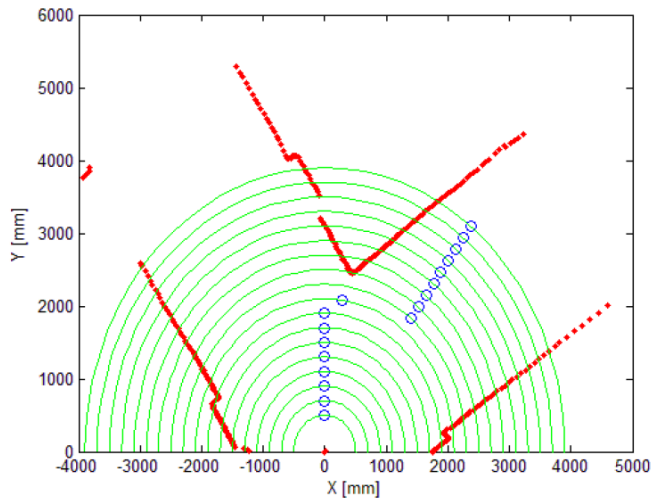
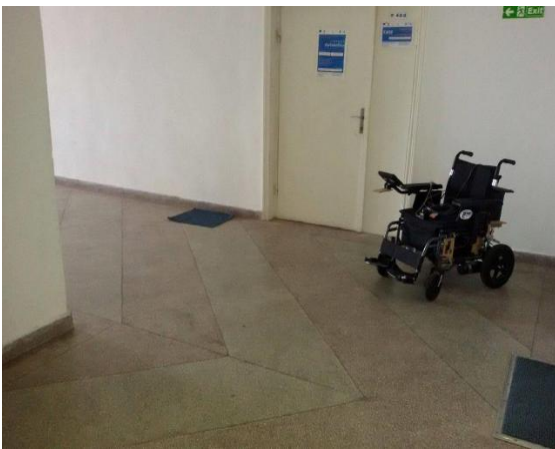
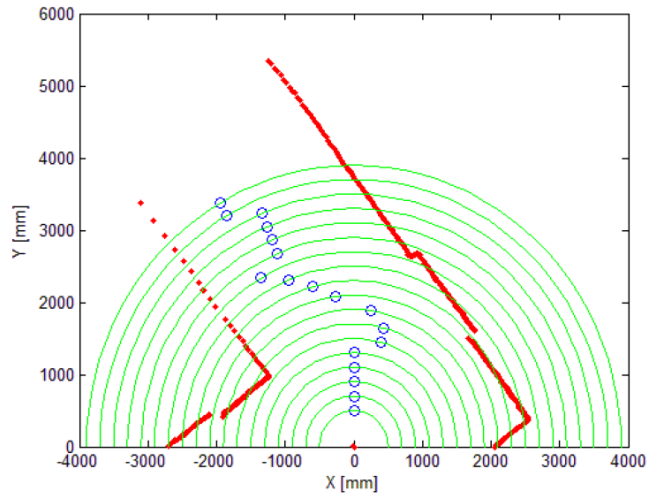
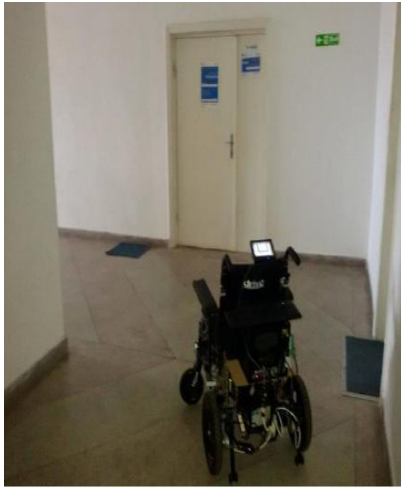


Fig.2. Arhitectura generală a sistemului propus

In continuare sunt prezentate cateva cazuri reale (implementare in timp real a algoritmului propus).





Etapa a III – Activitatea 3.2.

Testarea sistemului de navigatie, bazata pe video- biometria fetei si a ochiului.

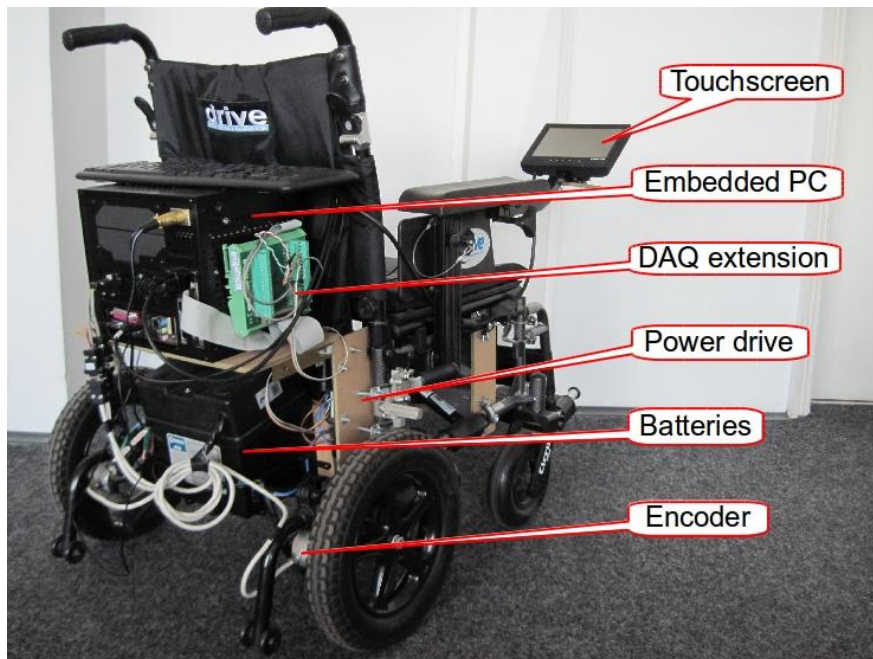


Figura 1. Scaun electric mobil (Cirrus Power Wheelchair) și componentele sale

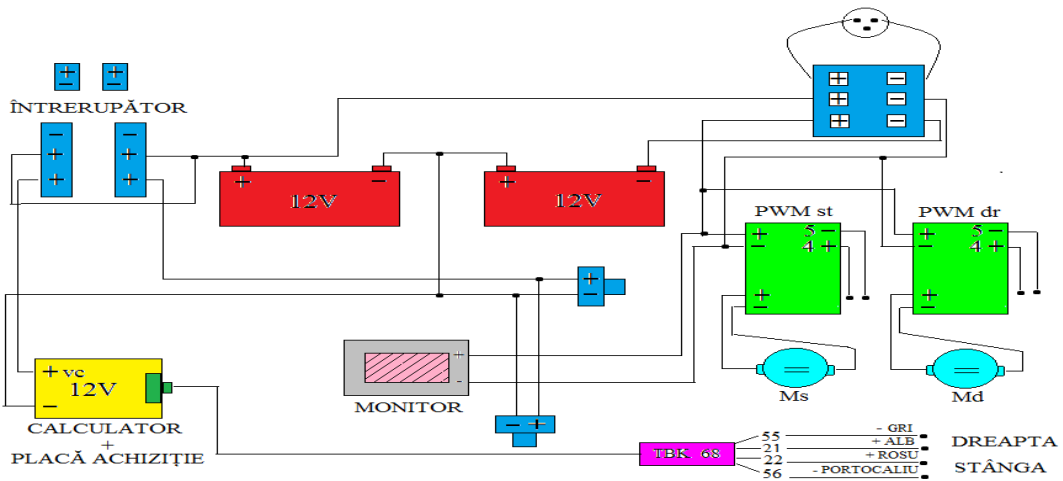
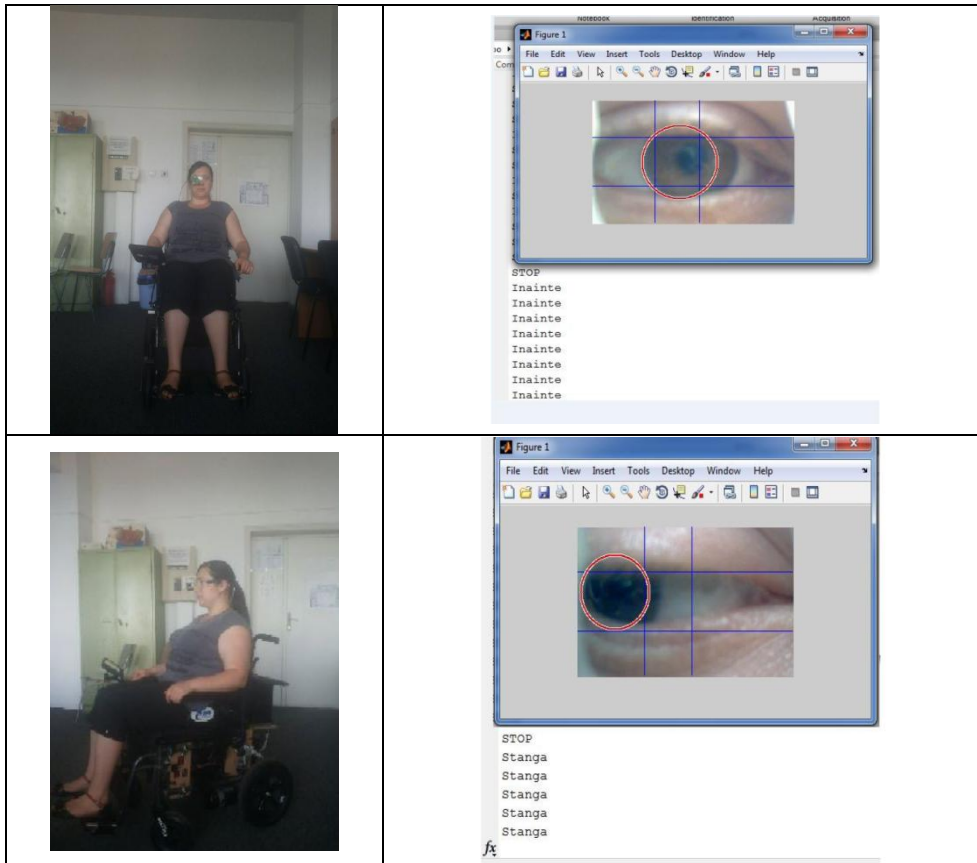


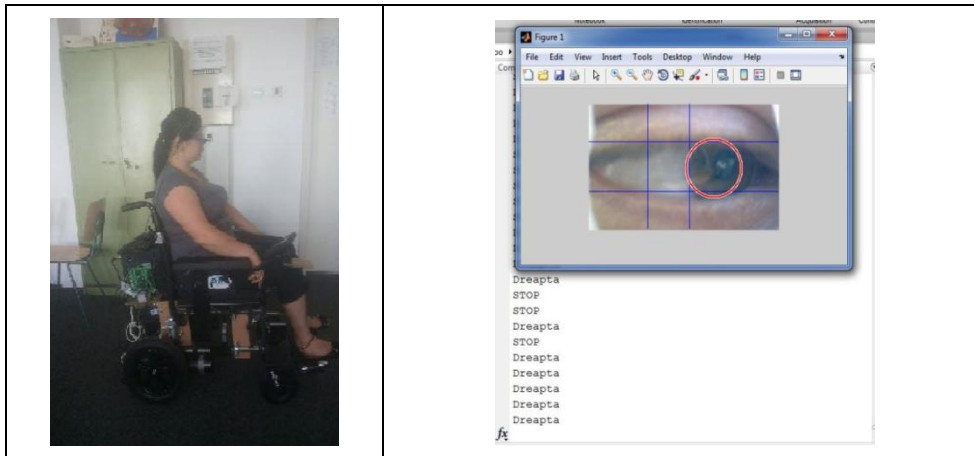
Fig.2. Schema electrică a scaunului

Rezultate experimentale

La evaluarea rezultatelor experimentale și al acurateții acestora s-a ținut cont de o serie de factori cum ar fi performanțele camerei web folosită, puterea de procesare al computerului instalat pe scaunul electric mobil, elementele perturbatoare in identificarea irisului etc.

Pentru directia INAINTE avem următoarele rezultate:





Activitatea 3.2. Implementarea in timp real si testarea in regim de laborator a structurii de conducere bazata modelele RPH, a liniilor mecatronice de asamblare/dezasamblare (Hera&Horstman) si prelucrare/reprelucrare (Festo) deservite de roboti autonomi, 2DW/1FW si 2DW/2FW echipati cu manipuloare 6-DOF (sisteme robotice autonome din gama Prototipului 2) (UVT)

3.2.1. Implementarea in timp-real si testarea in regim de laborator a structurii de conducere si de navigatie a Prototipului 2

Structura hardware a Prototipului 2: Sistemului robotic autonom 2DW/2FW echipat cu manipulator 6-DOF

Implementarea in timp-real si testarea in regim de laborator a structurii de conducere si de navigatie a Prototipului 2 a presupus urmatoarele etape:

- *modificarea platformei de lucru* – PC/Laptop-ul care rula software-ul (cod în Visual C) de comandă și control al robotului P3-DX a fost înlocuit de Raspberry PI 3; ținta inițială a proiectului (în fața de evaluare) fiind de achiziție a unui calculator industrial și a unui sistem braț robotic compatibil cu P3-DX, dar bugetul renegociat oferit proiectului nu a mai permis acest demers;
- *programarea activității brațului robotic Mover6* – prin acțiuni la diverse posturi de lucru definite în etapele I și II;
- *proiectarea conducerii backstepping si sliding-mode in regim de laborator si in acord cu noua structura hardware* - continuarea activității din etapa II unde doar a fost definit aparatul matematic;
- *proiectarea conducerii pe baza sonarului robotului Pioneer-3DX*—în lipsa unui sistem laser, conducere prin care se evită obstacolele pe care robotul de poate avea pe traiectoria impusă.

Arhitectura hardware a sistemului propus s-a modificat astfel în etapa a III-a a proiectului prin înlocuirea brațului robotic AL5D cu Mover6 și a controller-ului NI-CVS-1454 cu Raspberry PI 3 (Figura 1).

Modificările au vizat:

- utilizarea unui braț robotic cu mai multe grade de libertate (6 în loc de 4), care să poată să manipuleze o greutate de până la 400g și a cărei deschidere și înălțime să corespundă unor cerințe minimale pentru anumite piese din industria auto;
- folosirea unui calculator de control ieftin (NI-CVS era prea scump), care să acomodeze funcțiile ARIA și programele în Visual C anterior realizate și care să fie interfațat cu brațul robotic respectiv cu un calculator (la distanță) prin WiFi sau bluetooth; nu în ultimul rând acesta trebuie să ruleze algoritmi de prelucrare video ce vor face brațul robotic mai “inteligent” în posturile de lucru prevăzute;

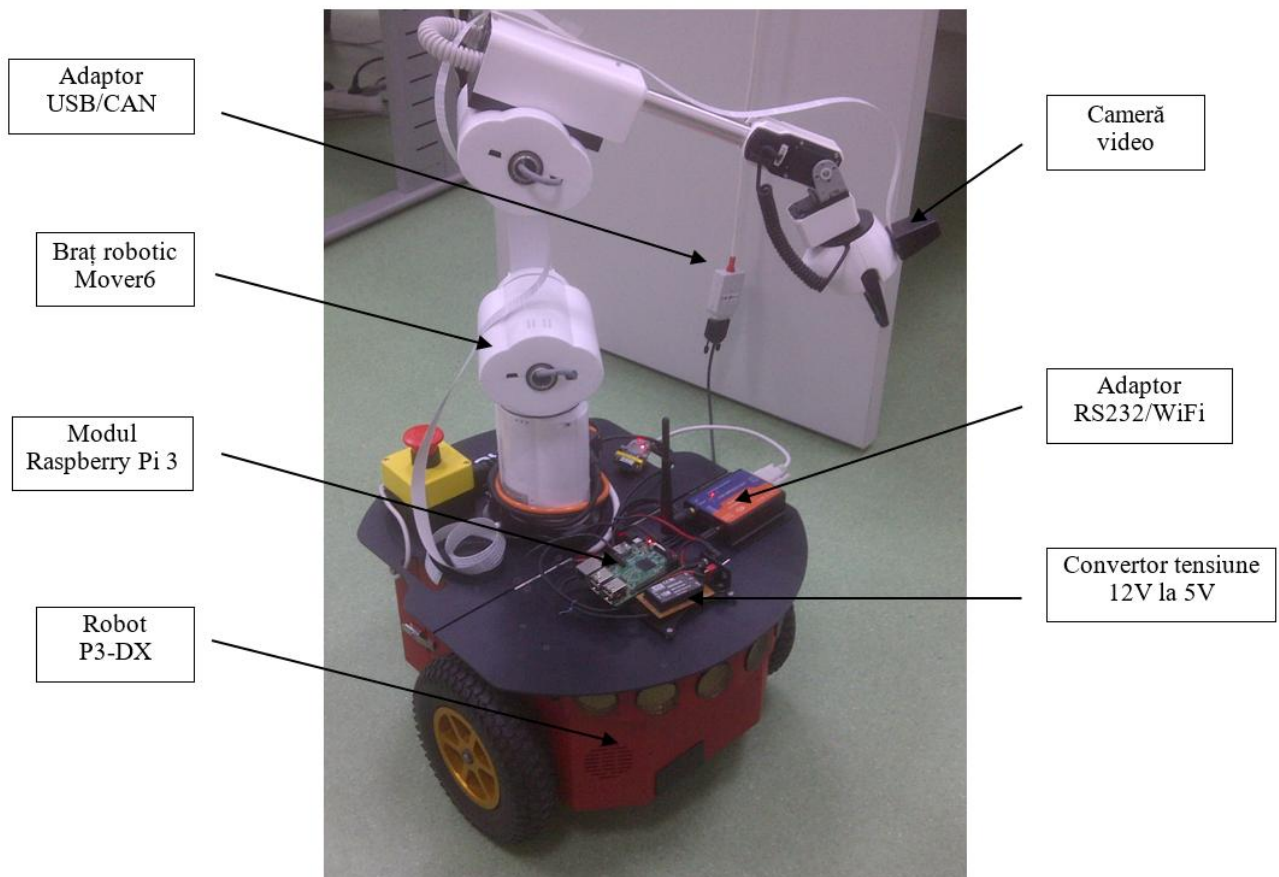


Figura 1. Schemă bloc a Sistemului robotic autonom 2DW/2FW echipat cu manipulator 6-DOF

Figurile 2 și 3 oferă un punct de vedere asupra arhitecturii hardware implementate în etapa a III-a, respectiv o variantă propusă pentru Arhitectură hardware Prototip 2 pentru control avansat care se propune pentru etapa a IV-a.

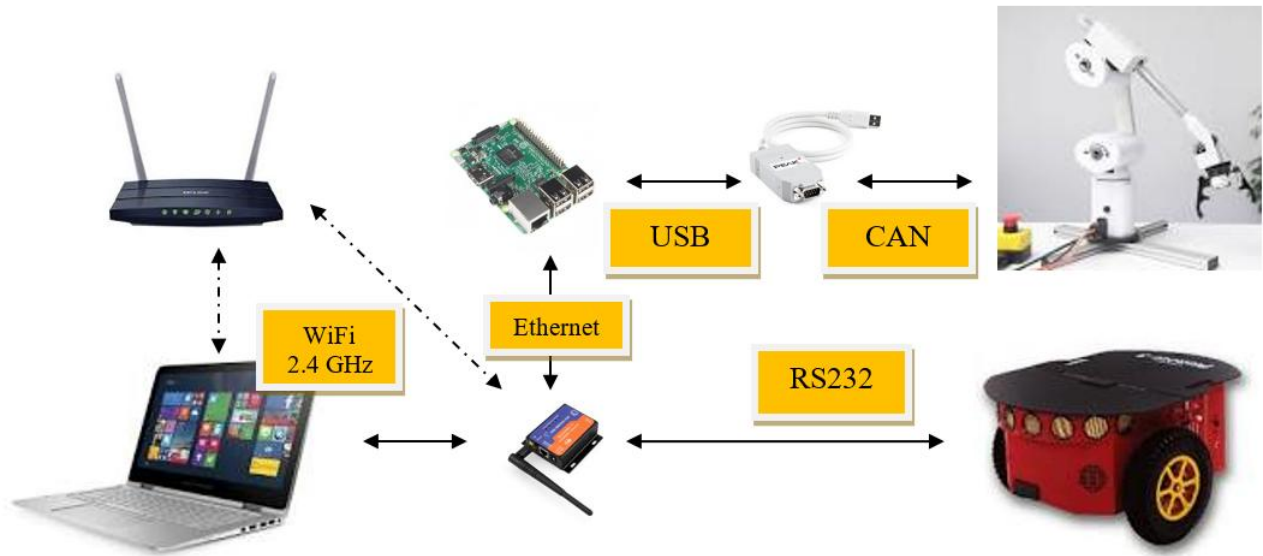


Figura 2. Arhitectură hardware Prototip 2

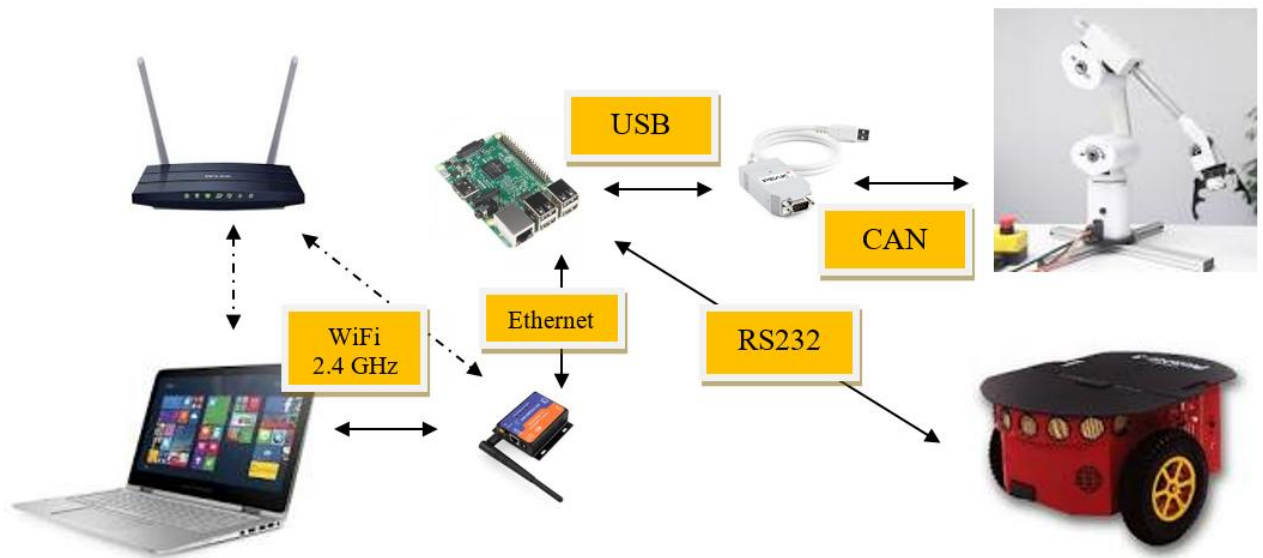


Figura 3. Arhitectură hardware Prototip 2 pentru control avansat

În varianta a doua, laptopul are rol de monitorizare deci primește doar mesaje de stare din activitatea ansamblului sau date provenite din măsurători care vor fi memorate într-o bază de date.

3.2.2. Implementarea in timp real si testarea in regim de laborator a structurii de conducere sliding-mode si backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse a Prototipului 2

Proiectarea algoritmilor pentru comanda brațului robotic Mover6

Brațul robotic Mover6. Specificații tehnice și geometrie



Figura 4. Sistemul braț robotic Mover6 – componente

Brațul robotic Mover6 prezentat în Figura 4 și ale cărui caracteristici de bază sunt oferite în Tabelul 1 este un braț robotic cu 6 grade de libertate, acesta reprezentând soluția propusă de partenerul UVT pentru manipularea unor obiecte ce nu depășesc 400g și pentru care întinderea maximă a brațului este de 600mm incluzând și gripper-ul. Brațul robotic este comandat dintr-o interfață 3D CPRog, comenzile fiind expediate printr-un adaptor USB/CAN.

Tabel 1. Specificații Mover6

Motoare	6 servomotoare (4 servo de legătură și 2 servo inteligente)
Alimentare	12V și max. 5A
Consum	0.5A (pauză), <2.5A (mișcare)
Comunicație	CAN la 500 kbps
Distanță maximă	60 cm incluzand gripper-ul
Încărcare	400g
Intrări / Ieșiri	la bază - 3 relee de ieșire (24V/1A) și 4 intrări digitale (24V) prin DB9; la flanșă – 2 ieșiri digitale (5V/25mA) și alimentare cu 12V/0.5A prin conectorul JST XH6

Geometria lui Mover6 este evidențiată în figura 4.2. Gradele acoperite de cele 6 motoare sunt: A1 ($-130^{\circ} \div +130^{\circ}$), A2 ($-45^{\circ} \div +60^{\circ}$), A3 ($-110^{\circ} \div +75^{\circ}$), A4 ($-140^{\circ} \div +140^{\circ}$), A5 ($-85^{\circ} \div +85^{\circ}$), A6 ($-120^{\circ} \div +120^{\circ}$), gripper (ON-OFF).

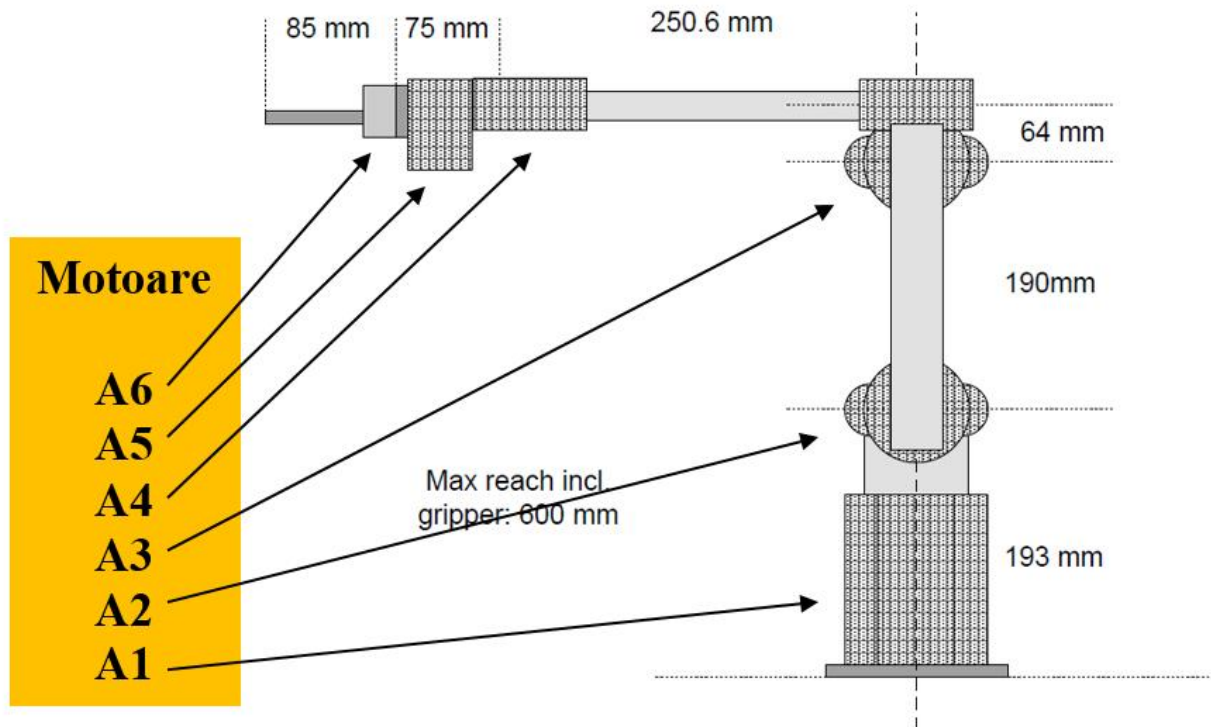


Figura 5. Geometria Brațului robotic Mover6

Pentru a putea deplasa brațul robotic am identificat 3 soluții:

- comenzi expediate din CPRog prin USB/CAN spre Mover6;
- comenzi expediate din CPRog prin USB/CAN emulat de VirtualHere USB Client spre Raspberry Pi unde este cuplat modulul fizic USB/CAN la Mover6 (este necesară utilizarea unui router WiFi);
- comenzi expediate dintr-un program C/Java compilat pe Linux/Windows, expediate de către Raspberry Pi spre Mover6 prin intermediul USB/CAN.

În testele s-a folosit variantele 1 și 2, urmând ca în etapa a IV-a a proiectului să se implementeze varianta 3 testată într-o anumită formă în această etapă prin utilizarea „ROS Packages for Mover4 and Mover6 Robot Arms” (Willow Garage Robot Operating System), varianta care nu a dat rezultatele scontate cât timp doar gripper-ul și motoarele A1-3 au funcționat. Totuși acest „open source” va reprezenta punctul de plecare pentru implementarea soluției finale.

Utilizarea CPRog pentru comanda brațului robotic

CPRog este un produs “freeware” al Commonplace RoboticsGmbH. Propunerea noastră cu privire la comanda Mover6 este, în această etapă a proiectului, “Joint”.

Există 3 variante de lucru:

- în modul “Joint” având în vedere doar deplasarea în grade a fiecărui motor;
- în “Cartesian Base” unde coordonate carteziene sunt cele referitoare la poziția de bază (0) a robotului (figura 4.2);
- în “Cartesian Tool” unde coordonate carteziene sunt relative la poziția curentă a brațului robotic;

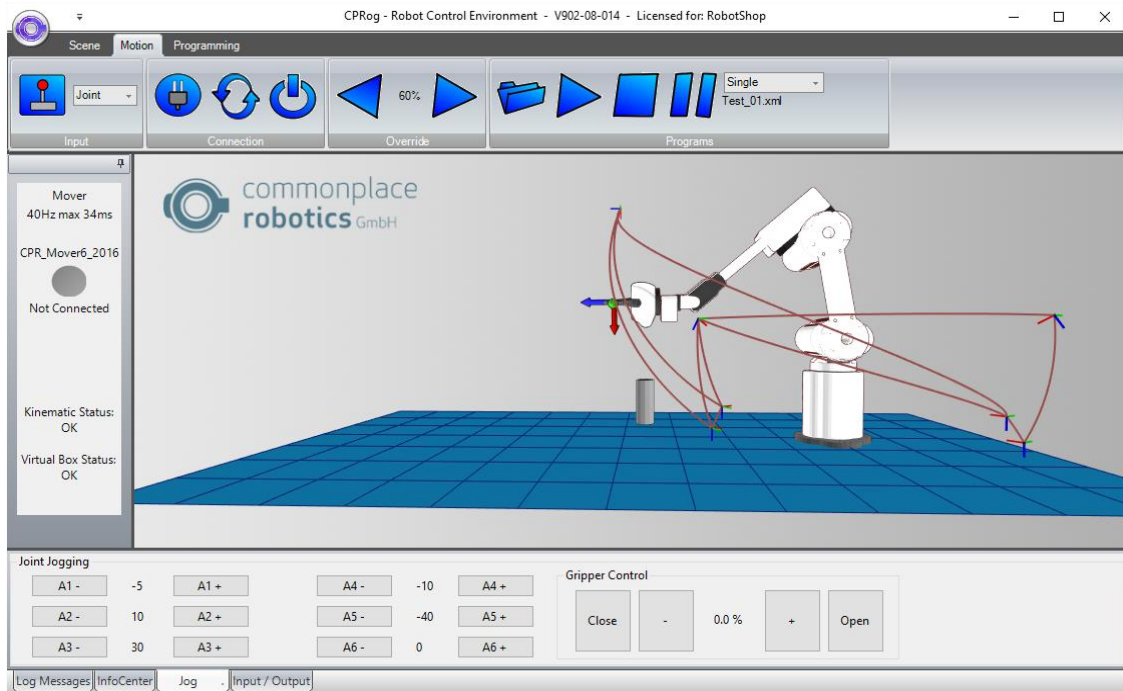


Figura 6. Interfața CPRog pentru Mover6

În cele două teste efectuate, pentru fiecare situație propusă piesele au fost poziționate în poziții fixe, coordonatele de amplasare ale acestora fiind obținute prin comenzi manuale și ulterior includerea coordonatelor astfel obținute A1,A2,A3,A4,A5,A6sau X,Y,Z,A,B,C, în CPRog.

Programarea mișcării brațului robotic

Programul poate să fie editat utilizând TextEdit (Figura 7) sau utilizând GraphEdit. Noi am utilizat prima variantă aceasta fiind ceva mai inginerască.

Nr	Cmd	X	Y	Z	A	B	C	vel	acc	smooth	Description
0	DOut	Local: F...	Ch: 1	State: T...							activate conveyor
1	DOut	Local: F...	Ch: 2	State: T...							move conveyor right
2	DOut	Local: T...	Ch: 11	State: T...							activate gripper
3	Joint	A1 -4.19	A2 37.61	A3 56.77	A4 -5.86	A5 0	A6 0	40 %	40 %	true	
4	Loop	DIn	Local: F...	Ch: 4	State: T...						
5	Wait	1 s									
6	LoopEnd										
6	Linear	X 406	Y -29.7	Z 170.6	A -4.19	B 88.52	C 0	80 mm/s	40%	true	
7	DOut	Local: T...	Ch: 11	State: F...							grip work piece
8	Wait	0 s									
9	Linear	X 405	Y -29.6	Z 219.2	A -4.19	B 88.52	C 0	80 mm/s	40%	true	
10	Joint	A1 22.58	A2 39.34	A3 62.09	A4 -12.9	A5 0	A6 0	40 %	40 %	true	

Figura 7. Editorul de program pentru Mover6

Conform manualului producătorului există 9 comenzi de referință – *Linear, Joint, Relative, Output, Wait, Loop ... End Loop / Loop, if ... Else ... End if*, *Sub, ExMotion*. Comenzile pot fi combinate pentru a forma un program care este salvat în structură XML. Pentru cele 2 teste

efectuate, au fost realizate 9 programe (2 pentru testul 1 și 7 pentru testul 2). Programele au fost lansate în execuție în momentul în care P3-DX a ajuns în poziția specificată din postul de lucru. P3-DX va rămâne o perioadă de timp care să permită realizarea acțiunii de către Mover6 (calculată funcție de complexitatea acțiunii). În etapa a IV-a a proiectului, P3-DX va oferi o comandă de pornire a activității Mover6 iar acesta când va termina activitatea va activa P3-DX hardware sau software pentru a se deplasa la următorul post de lucru.

Specificații de protocol CAN

Mover6 respectă standardul CAN cu ID-urile 0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05, 0x06, pentru cele 6 module de *joint*. În cazul în care lungimea mesajelor nu este cea așteptată, Mover6 le va ignora. Comenzile sunt *Reset Error*, *SetPosition*, *Enable Motor*, *Disable Motor*, *Set Dout1*, *Set Dout 2*, *Set parameter*, *Get Parameter*, *Set Joint Pos* și *Set Velocity*. Comanda *Set Joint Pos* are următorii parametrii $\langle Message\ ID, Command, Velocity, PositionH, PositionL, TimeStamp \rangle$ pe care exemplul următor 0x20 0x04 0x13 0x7D 0x68 0x51 îl evidențiază. În structura comenzii, 0x20 este *Message ID* sau *Board ID* iar 0x04 este parametrul *Command*.

Arhitectura software implementată

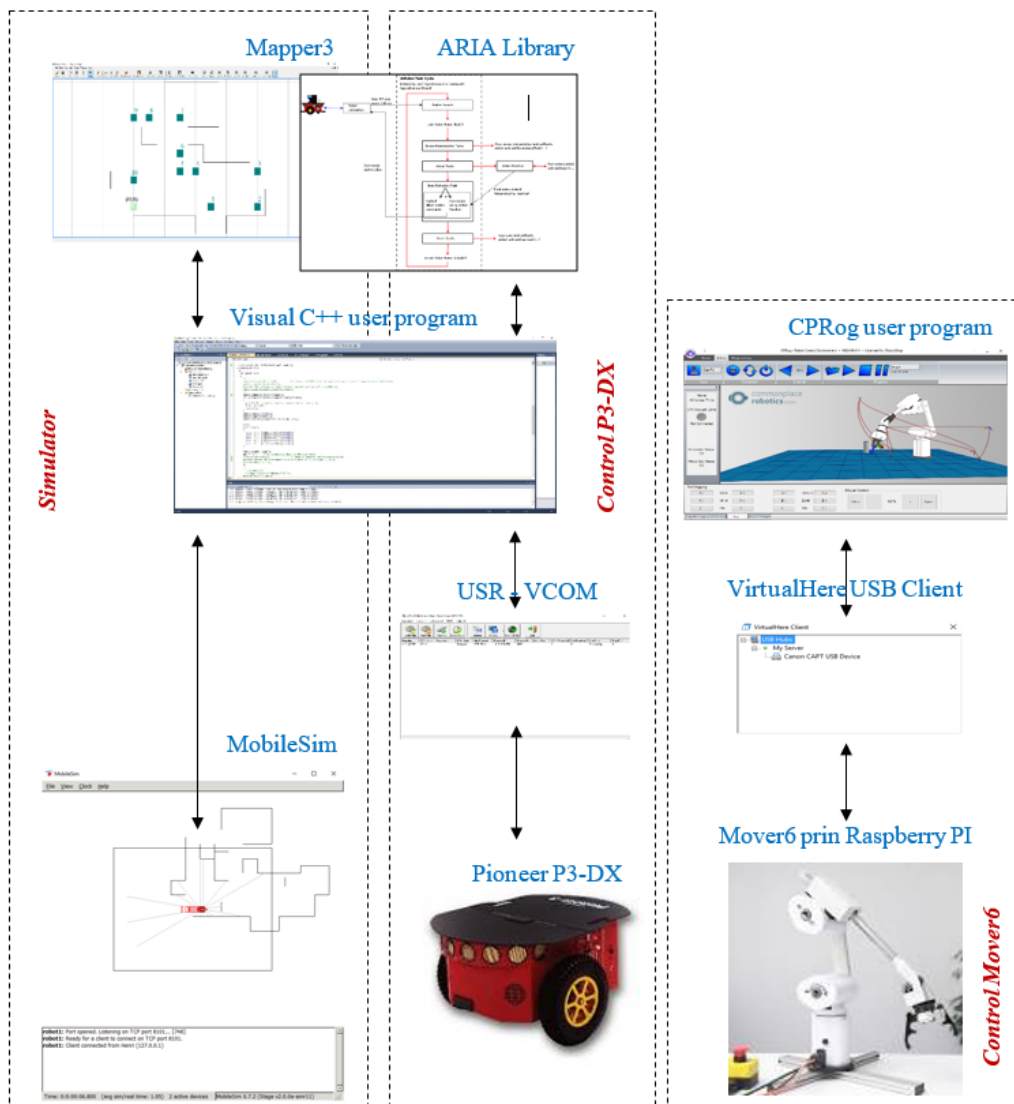


Figura 8. Arhitectură software pentru controlul Prototipului 2

În **Figura 8** sunt evidențiate componentele software utilizate pentru *simulare* și *controlul* subsistemelor – P3-DX și Mover6. Se observă controlul independent al celor două subsisteme, utilizatorul fiind cel care le coordonează. Placa Raspberry PI în acest moment susține doar comunicația WiFi și transportul transparent al pachetelor spre Mover6.

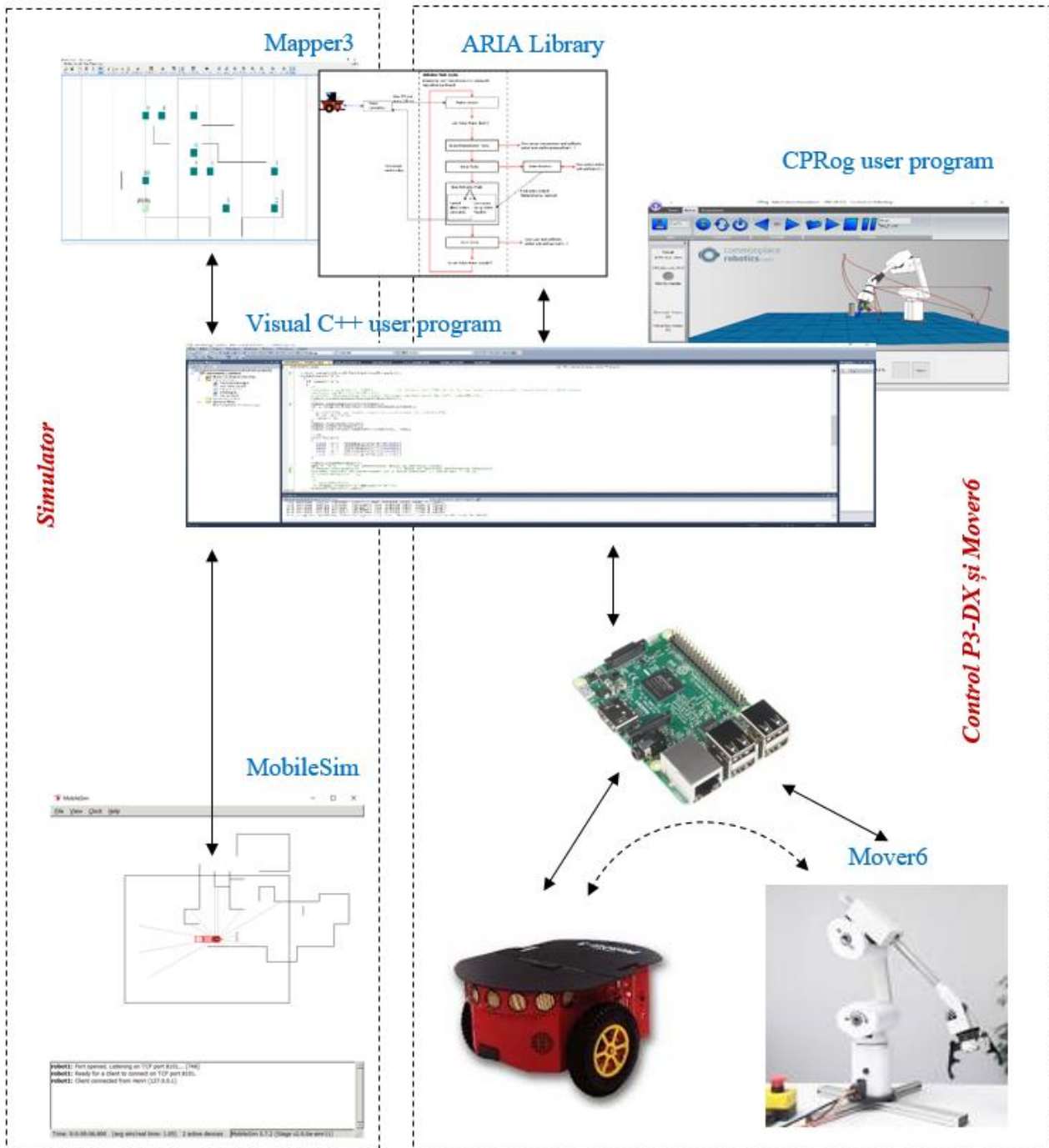


Figura 9. Arhitectură software pentru controlul avansat al Prototipului 2

Figura 9 propune o soluție de implementare a stivei software cu implementare în etapa a IV-a. Elementul central este Raspberry PI care va compila și rula aplicația C ce coordonează activitatea celor două subsisteme – P3-DX și Mover6. Cele două entități nu vor mai acționa independent, controlul momentului de start al unei noi acțiuni fiind inițiat de subsistemul care și-a încheiat activitatea parțială.

3.2.3. Rezultate, concluzii și perspective

Ansamblul realizat a fost testat în 2 locații – laborator „Aplicații distribuite” și holul Facultății de Inginerie Electrică, Electronică și Tehnologia Informației pe 2 trasee care se regăsesc în figurile 10. și 14.

În primul test robotul P3-DX a parcurs un traseu impus (Figura 10), suprafața acoperită fiind de $4000 \times 4000 \text{ mm}^2$, ajungând în final în punctul de start, iar brațul robotic Mover6 a trebuit să execute 2 programe prin care a manipulat 1 obiect deplasându-l din poziția 1 în poziția 2.

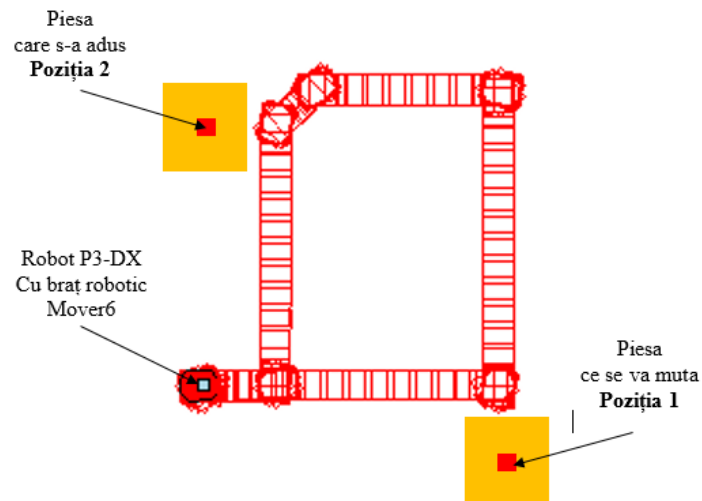


Figura 10. Traseu de test 1 - 2 posturi de lucru, 1 obiect

Au fost realizate simulări în MobileSim și CPRog, rezultatele fiind comparate cu cele obținute în mediul real de lucru. Astfel se pot observa erorile față de referință în punctele de lucru (2) și de întoarcere (5) pentru axa OX, în mm (figura 11) și pe axa OY, în mm (figura 12) respectiv pentru unghiurile de întoarcere, în grade (figura 13) pentru robotul P3-DX în mediul real de lucru în 3 cazuri – clasic, cu sliding-mode respectiv backstepping. Deoarece unghiul de întoarcere nu depinde de metoda aleasă, în imagine există un singur caz (conform funcțiilor ARIA). Acestea se vor acumula în timp dacă în punctul de start nu se vor realiza calibrări ale poziției de plecare. Brațul robotic Mover6 a avut pentru fiecare post de lucru erori pentru cele 6 motoare acestea fiind evidențiate în tabelul 2.

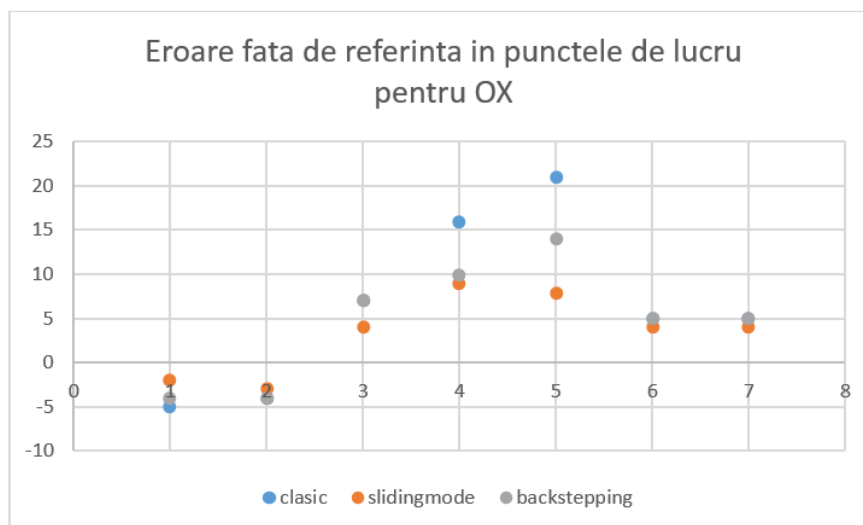


Figura 11. Test 1 - Eroare față de referință în punctele ale traseului pentru axa OX

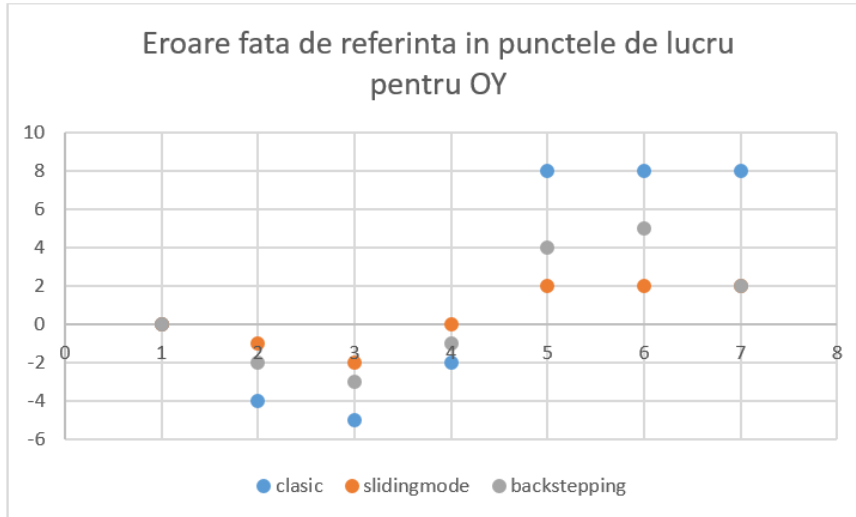


Figura 12. Test 1 - Eroarea față de referință în punctele ale traseului pe axa OY

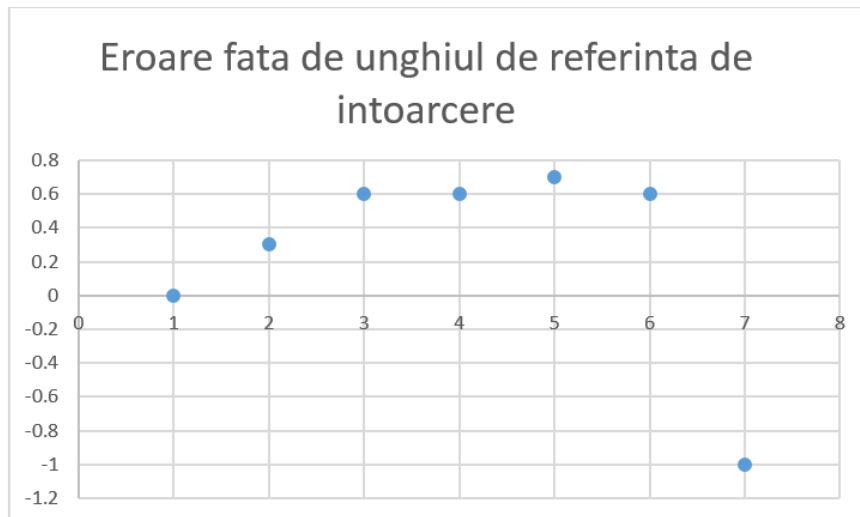


Figura 13. Test 1 - Eroarea față de referință pentru unghiul de întoarcere

Eroarea pentru fiecare motor a fost calculată prin mediere pentru 5 rezultate obținute rulând programul propus pentru fiecare post de lucru. Rezultatele sunt cele de mai jos.

Tabel 2. Test 1 - Erori unghiulare motoare Mover6

Motoare / Erori	Punctul 1	Punctul 2
A1	1.02 %	0.45 %
A2	2.04 %	1.85 %
A3	1.15 %	1.05 %
A4	0.50 %	0.60 %
A5	0.86 %	0.76 %
A6	0.80 %	0.50 %

Eroarea a fost determinată în raport cu unghiul decis pentru execuție al fiecărui motor, dar ea poate să varieze funcție de eroarea de poziționare a robotului P3-DX în postul respectiv. În testele noastre robotul P3-DX a fost în poziție fixă, brațul robotic executând programul de 5 ori.

În al doilea test robotul P3-DX a parcurs un traseu impus (Figura 14) suprafața acoperită fiind de $9500 \times 6500 \text{ mm}^2$ ajungând în final în punctul de start, iar brațul robotic Mover6 a trebuit să execute 7 programe prin care a manipulat 4 obiecte (în posturile de lucru 1 – 4 există câte un obiect care trebuie deplasat în postul imediat următor). Din poziția 5 nu se preia vreun obiect.

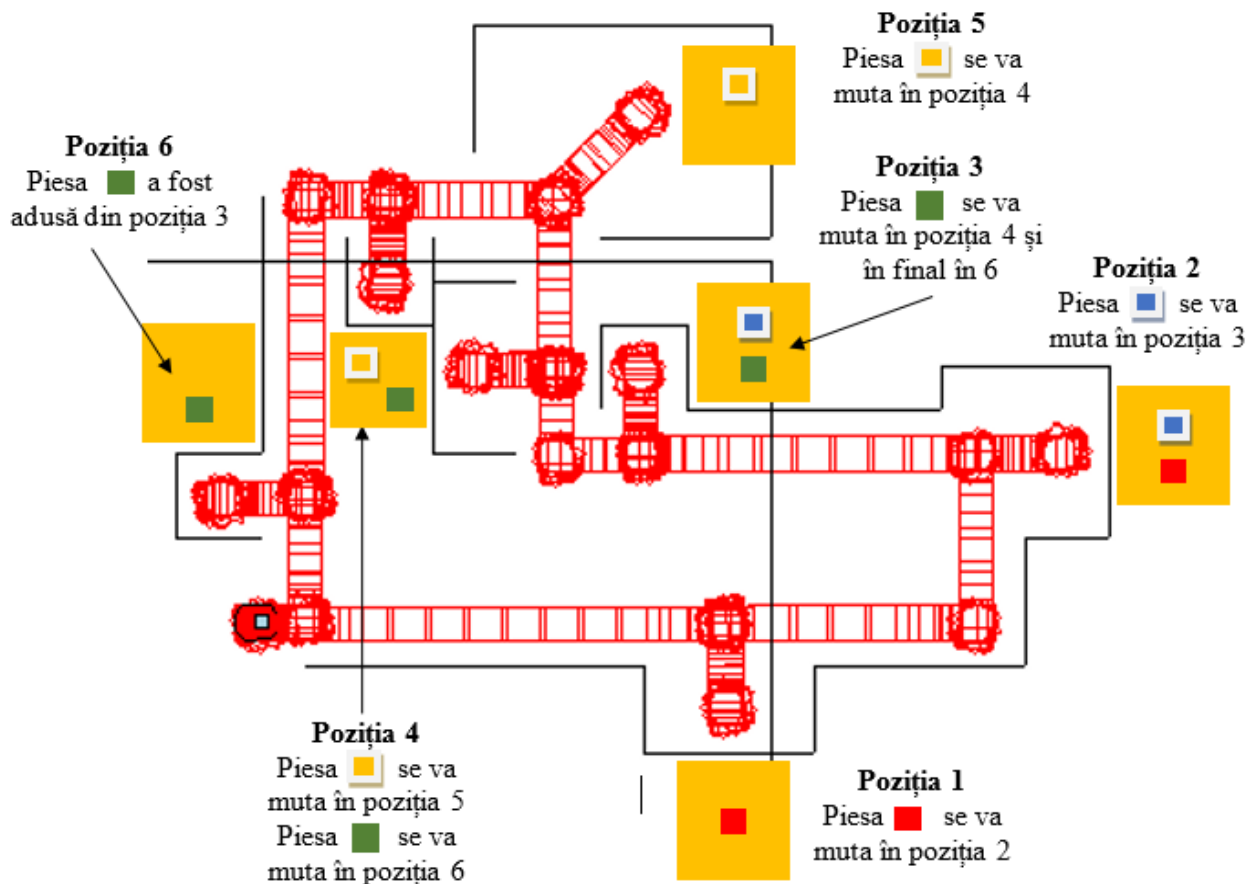


Figura 14. Traseu de test 2 – 6 posturi de lucru, 4 obiecte

Au fost realizate simulări în Mobilesim și CPRog, rezultatele fiind comparate cu cele obținute în mediul real de lucru. Astfel se pot observa erorile față de referință în punctele de lucru (6) și de întoarcere (12) pentru axa OX, în mm (Figura 15) și pe axa OY, în mm (Figura 16) respectiv pentru unghiurile de întoarcere, în grade (Figura 17) pentru robotul P3-DX. În mediul real de lucru în 3 cazuri – clasic, cu sliding-mode, cu backstapping. Acestea se vor acumula în timp dacă în punctul de start nu se vor realiza calibrări ale poziției de plecare. Brațul robotic Mover6 a avut pentru fiecare post de lucru erori pentru cele 6 motoare acestea fiind evidențiate în tabelul 3. În punctele 2, 3 și 4 eroarea determinată este calculată prin medierea erorilor acțiunilor (de apucare și de depunere) pentru cele 2 piese existente.

Tabel 3. Test 2 - Erori unghiulare motoare Mover6

Motoare / Erori	Punct 1	Punct 2	Punct 3	Punct 4	Punct 5	Punct 6
A1	0.25 %	0.65 %	0.65 %	0.45 %	0.45 %	1.14 %
A2	0.85 %	1.45 %	1.45 %	1.95 %	1.85 %	1.04 %
A3	0.65 %	1.25 %	1.25 %	1.22 %	1.05 %	1.15 %
A4	0.60 %	0.70 %	0.70 %	0.64 %	0.60 %	0.80 %
A5	0.65 %	0.86 %	0.86 %	0.96 %	0.76 %	0.76 %
A6	0.40 %	0.50 %	0.50 %	0.46 %	0.50 %	0.70 %

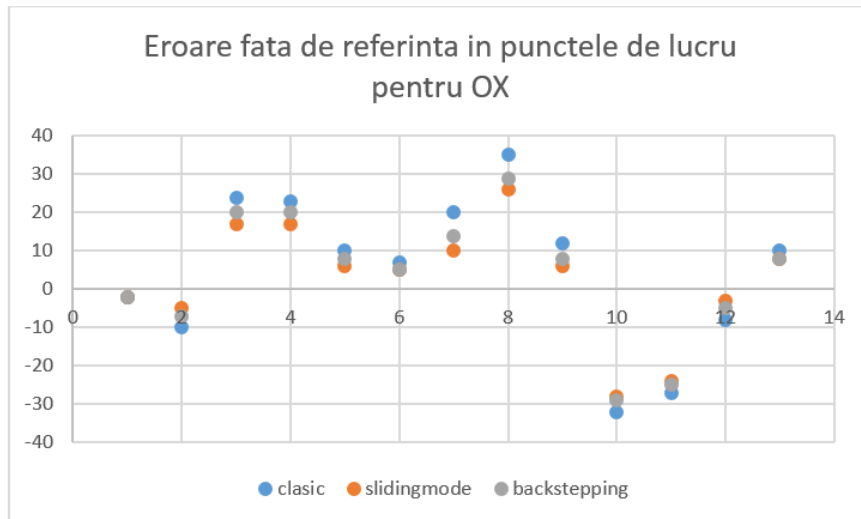


Figura 14. Test 2 - Eroarea față de referință în locați ale traseului situate pe axa OX

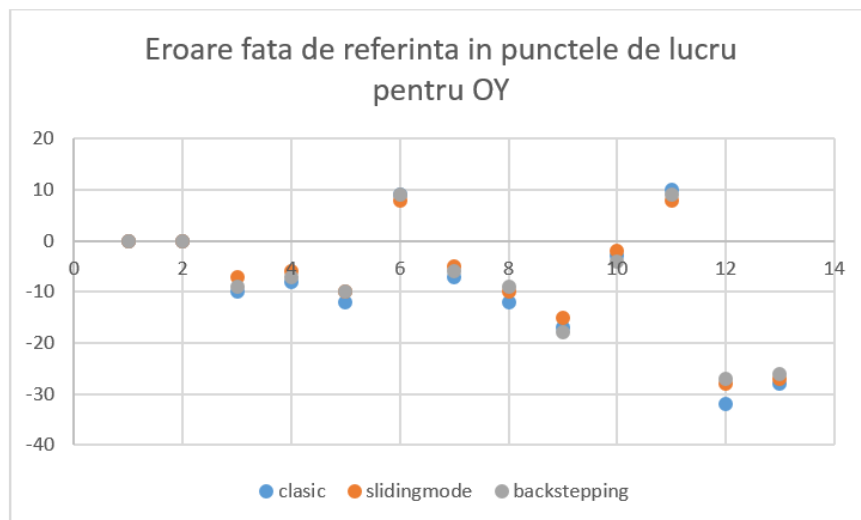


Figura 15. Test 2 - Eroarea față de referință în locați ale traseului situate pe axa OY

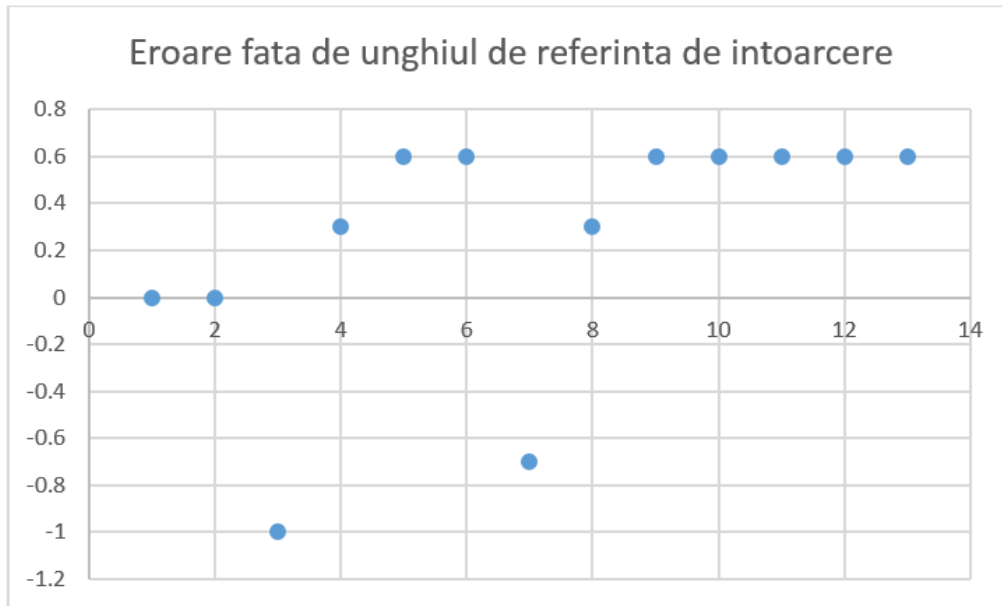


Figura 16. Test 2 - Eroarea față de referință pentru unghiul de întoarcere

Structura hardware pentru conducerea avansata a Prototipului 2

Structura hardware se va modifica în cazul controlului avansat (Etapa 4) prin:

- modulul Raspberry Pi ar putea să fie înlocuit cu LatePanda dacă în urma testelor modulul video nu va putea să facă față solicitărilor;

Structura software se va modifica în ultima fază a proiectului prin:

- implementarea unor soluții de calibrare automate, on-board pentru robotul P3-DX și brațul robotic Mover6 ;
- implementarea unor algoritmi pentru preluarea/amplasarea pieselor funcție de erorile de poziționare ale robotului P3-DX în postul de lucru; programul brațului robotic va executa aceleași mișcări dar cu parametrii de intrare diferiți;
- implementarea de algoritmi de recunoaștere a unor obiecte predefinite prin tehnici de prelucrare a imaginilor;
- coordonarea robotului P3-DX și a brațului robotic Mover6 din modulul hardware Raspberry Pi/LatePanda;

Aspecte care trebuie remediate:

- Mover6 se desincornizează acumulând erori;
- întârzierea în expedierea pachetelor prin router-ul WiFi între laptop și Raspberry Pi poate să conducă la pierderea pachetelor situație în care comanda spre brațul robotic trebuie reluată (o întârziere de peste 500ms conduce la oprirea motorului); soluția o constituie lansarea unui program direct din Raspberry Pi/LatePanda;

Se vor identifica posibile zone de implementare a ansamblului în zona companiei Renault, iar funcție de limitări, constrângeri sau noi aspecte, se vor face completările necesare (senzori noi, sistem stereoscopic, etc.)

Intenția autorilor este de diseminare a rezultatelor în 2017 după cum urmează:

- *Solutions for driving 2DW/1FW mobile robots - backstepping and sonar based obstacle avoidance*, Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 29 June – 2 July 2017
- *New solutions for robotic systems using Raspberry Pi*, Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 29 June – 2 July 2017
- *Algorithms for driving mobile robots in industrial environments*, Studies in Informatics and Control Journal

Activitatea 3.3. Implementarea in timp real si testarea in regim de laborator a structurii de conducere sliding-mode si backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse a Prototipului 3. Implementarea in timp real si testarea in regim de laborator a sistemului de navigatie a Prototipului 3. Implementarea in timp real si testarea in regim de laborator a actiunii de pozitionare a manipulatorului care echepeaza Prototipul 3.

Rezumat Etapa 3:

În cadrul acestei etape s-au realizat asamblarea vehiculului autonom cu manipulatorul robot și montarea instalației electrice și de comandă, punerea în funcțiune a vehiculului autonom, a brațului robotic și probe funcționale.

Act 3.3 (A.2 - Cercetare Industrială)

Integrarea și testarea Prototipului 3 (4DW/ SW Autonomous Ominidirectional Vehicle echipat cu 6-DOF outdoor manipulator) în procese de fabricație din metalurgie ("ARCELOR MITTAL" Galați)și sticlă ("STICLĂ" Avrig).

CUPRINS

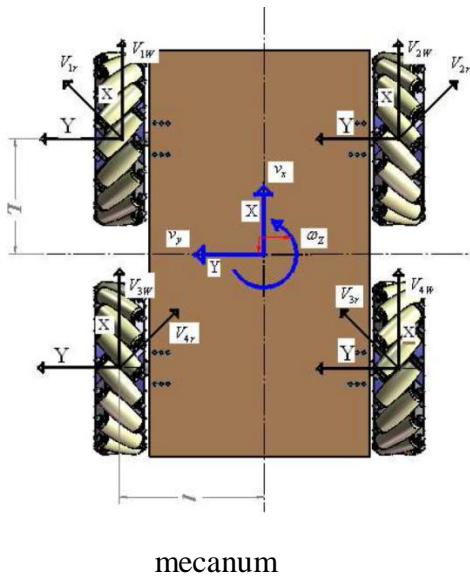
1. SERVOSISTEMELE VEHICULUI ROBOTIC
2. PRINCIPIUL DE CONDUCERE AL VEHICULULUI
3. APLICABILITATE ÎN INDUSTRIA STICLEI

1. SERVOSISTEMELE VEHICULUI ROBOTIC

Servosistemele acționează roțile mecanum a căror dinamică a fost descrisă în raportul 2. Se vor relua câteva aspecte referitoare de roțile tip mecanum necesare prezentării unitare a vehiculului robotic.

1.1. Roți tip mecanum

O platformă mobilă cu patru roți de tipul mecanum va avea posibilitatea mișcării omnidirecționale. Având în vedere dinamică roții mecanum, se poate crea vectori de forță atât pe direcția x și y în timp ce este acționată doar pe direcția y. Poziționarea patru mecanum roți, una la fiecare colț al șasiului (două perechi în oglindă), permite compunerea forțelor pe direcțiile x, y. (fig. 1). Roțile mecanum sunt acționate independent de servomotoare montate pe șasiul platformei.



Viteza platformei mobile este determinată de sistemul de ecuații:

$$v_x = \frac{R_w}{4} (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)$$

$$v_y = \frac{R_w}{4} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_4)$$

$$\omega_z = \frac{R_w}{4(L+l)} (-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)$$

Direcția mișcării rezultante β în coordonatele (x, y, z) rezultă astfel:

Fig. 1 Vehicul cu roți

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)$$

$$v_r = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)}$$

Din ecuațiile cinematice de mai sus putem determina poziția, direcția de mișcare și rezultanta vitezei aferente platformei omnidirecționale echipată cu roți mecanum. Ecuațiile de cinematica inversă permit calcularea vitezelor unghiulare pentru fiecare roată pentru a imprima platformei viteza și rotirea dorită. Ecuațiile cinematice de avans permit calcularea mișcării platformei plecând de la vitezele unghiulare aferente celor patru roți.

Direcția și turația roților diagonale sunt controlate independent. Folosind aceeași turație a roților în același timp în timpul operării platformei se obțin opt direcții de deplasare fără a schimba orientarea platformei. Mișcarea între 0° și 360° se obține prin schimbarea vitezei roților diagonale.

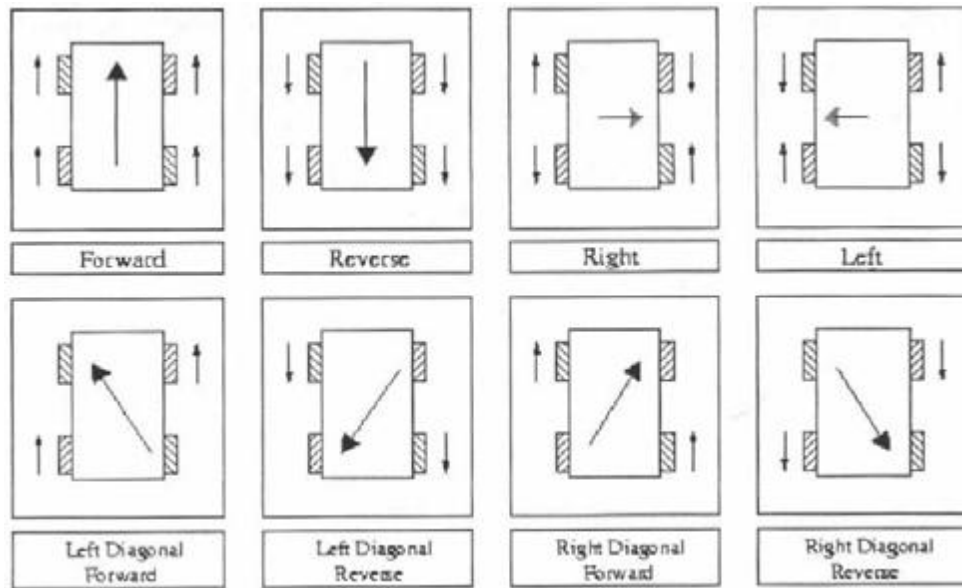


Fig. 2 Corelarea dintre mișcările roților și deplasarea vehiculului

Valorile dimensiunilor roților tip mecanum este dată mai jos. Calculul dimensional s-a făcut ținând cont de sarcină maximă admisibilă a platformei care trebuie să susțină masa echipamentelor, a manipulatorului robotic și a platformei propriu-zise (900kg total).

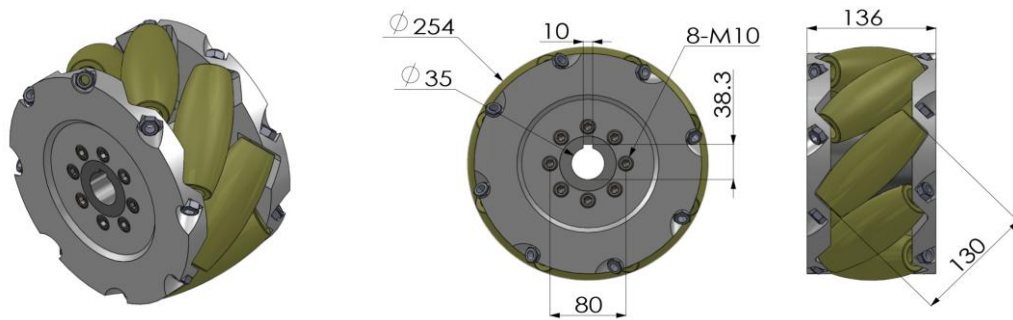


Fig. 3 Modelul roții mecanum folosit

Pentru atașarea roților la platforma se utilizează lagăre cu rulmenți. Acționarea unei roți mecanum se face cu un grup servomotor-reductor conectat axial cu roata.

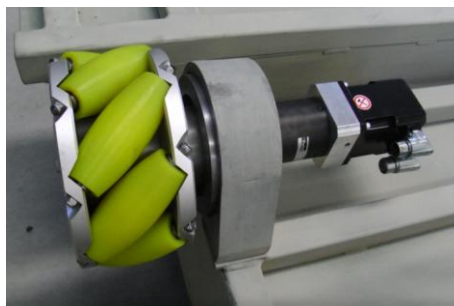
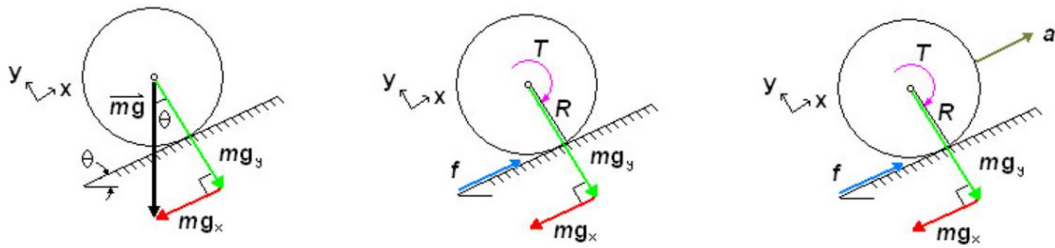


Fig. 4 Montajul roții mecanum la platforma

1.2. Alegerea grupului servomotor-reductor

Pentru deplasarea pe o suprafață orizontală, motoarele platformei trebuie să producă cuplul necesar pentru a învinge forțele de frecare din motor, reductor, și dintre roata și suprafața de deplasare. La acestea se adăugă componenta gravitațională, în cazul deplasării pe un plan înclinat (fig. x, fig. y).

Pentru alegerea motoarelor se consideră situația deplasării în sus, accelerat, pe un plan înclinat (fig. 5)



$$mg_x = mg \cdot \sin(\theta)$$

$$mg_y = mg \cdot \cos(\theta)$$

Fig. 5 Analiza mecanică a unei roți

Cuplul este considerat în funcție de forță de frecare necesară dintre roți și suprafața de rulare.

$$T = f \cdot R$$

$$\sum F_x = M \cdot a = f - m \cdot g_x$$

$$T = R \cdot M \cdot (a + g \cdot \sin(\theta))$$

Această ecuație se raportează la numărul de roți motoare și se corectează cu randamentul motorului.

$$T = (100/e) \cdot \frac{(a + g \cdot \sin(\theta)) \cdot M \cdot R}{N}$$

Puterea și curentul necesar se obțin astfel:

$$P = T \cdot \omega = I \cdot V$$

Unde ω este viteza unghiulară a roții.

$$I = \frac{T \cdot \omega}{V}$$

<i>Data de proiectare:</i>	<i>Date de selectare servosisteme:</i>
Masa totala a vehiculului robotic: 900kg	Viteza unghiulara: 2,0944 rad/s
Numarul de roti motoare: 4	Cuplu (pentru fiecare roata): 99,396 Nm
Raza rotii motoare: 254mm	Puterea electrica: 208,17 W
Viteza vehiculului robotic: 0,53m/s	Curent: 0,90511 A
(coresp. 20 rpm)	

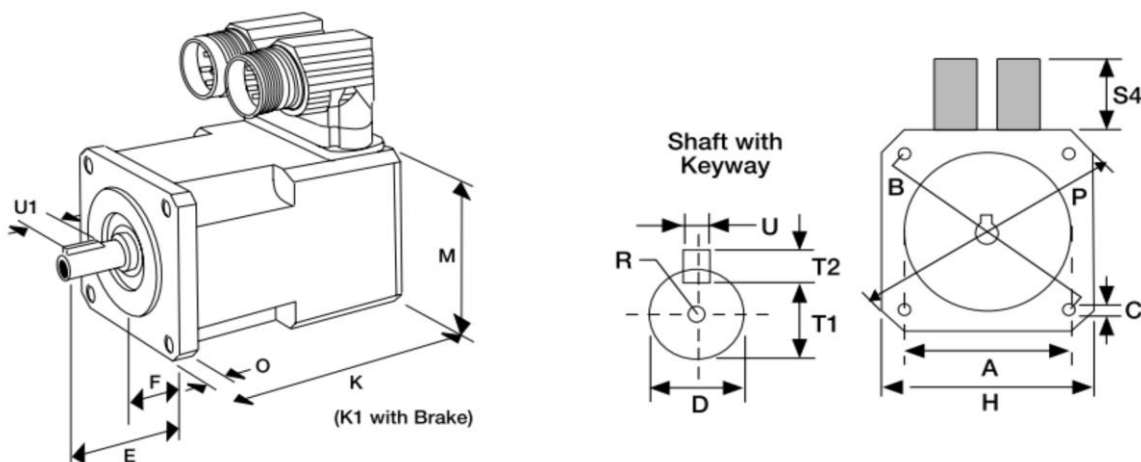
Rampa maxima: 8°
 Tensiune de alimentare: 230V
 Accelerare: $0,2\text{m/s}^2$
 Randament: 90%

Pe baza datelor se aleg componentele sistemul de acționare al platformei cu roți mecanum:

1.2.1 Servomotor tip ACM2n cu rezolver integrat pentru feedback de turație, alimentare 230Vac.

Acest tip de servomotor este fără perii, are magneți permanenți din amestec sinterizat de neodiu, fier și bor, suporta de patru ori curentul nominal, are inerție scăzută și răspuns dinamic foarte rapid.

Motor Type	Motor Size	Stall Torque M_0 Cont. (Nm)	Stall Current I_0 Cont. (A)	Rated Torque M_N (Nm)	Rated Current I_N (A)	Maximum Mechanical Speed (rpm)	Inertia J_M (Kgcm ²)	Mass (Kg)
ACM2n								
ACM2n 0055-4/1-3	1	0.8	2.1	0.55	1.40	4000	0.3	2.0



Dimensions																		
	A (i6)	B	C	D (k6)	E	F	H	K	K1	M	O	P	R	S4	T1	T2 (h9)	U (h9)	U1
Type ACM2n																		
ACM2n 0055	80	100	7	14	30	3	88	112	153	82	10	115	M4-12	40	7.2	5	5	20

Fig. 6 Dimensiunile servomotorului

Detectarea poziției axului motorului se face cu un **rezolver integrat**.

Acesta este un traductor de poziție absolută, care poate da poziția rotorului la orice viteză, inclusiv la viteza zero și oferă un semnal foarte fin raportat la poziția axului, format din două curbe sinus și

cosinus la frecvența rotorului. Resolvere sunt foarte robuste și sunt similare constructiv cu un motor fără perii.

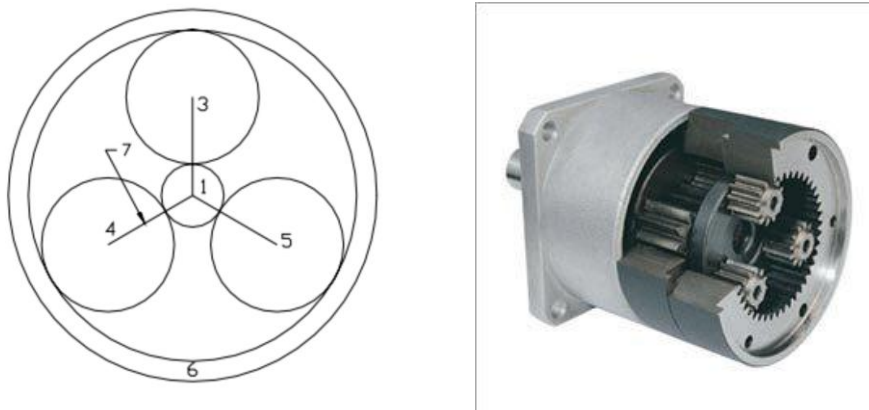
Pentru a asigura cuplul necesar calculat, motorul se va utiliza împreună cu reductorul planetar descris mai jos.

1.2.2 Reductor planetar tip PGNL cu cuplu de ieșire $M_{out}= 110Nm$, 3 trepte, turație=20 rpm la ieșire;

Utilizarea unui reductor scade dimensiunea motorului necesar prin convertirea caracteristicii viteză mare de rotație a motorului și un cuplu redus la un cuplu mare și viteză redusă care să corespundă cerințelor de sarcină. Pentru a îndeplini cerințele de cuplu se utilizează reductorul epicicloid al datorită cuplului la ieșire ridicat raportat la masa redusă.

Figura 1-14 prezintă un reductor epicicloid al tipic. Acestea mai sunt numite reductoare planetare datorită mișcării orbitale a roților dințate planetare (elemente 3,4 și 5 din figura 1-14) în jurul (elementul 1) rotii dințate centrale. Planetarele sunt pe o placă purtătoare (element 7) și acționează asupra unui inel dințat care se rotește în jurul unei axe concentrice cu cea a (elementul 6) rotii dințate centrale.

Multe aplicații folosesc planetare multiple pentru a realiza un raport foarte bun între cuplu și masa servomotorului. Reductoarele folosite pentru aplicația prezenta utilizează trei trepte de conversie



viteza-cuplu de la 4000rpm la 20rpm și de la 0,55Nm la 110Nm pentru fiecare roată motoare.

Fig. 7. Reductor epiciclic sau cu planetare

Gearbox										
Model	size	stage	backlash	ratio	rated-speed	max. speed	rated-torque	max. acceleration torque	emergency stop ¹⁾	mass inertia ²⁾
(-)	(-)	(-)	φ (')	i (-)	n_N (min ⁻¹)	n_{max} (min ⁻¹)	M_{Nab} (Nm)	M_{maxab} (Nm)	M_{Notab} (Nm)	$J_{Getriebe}$ (10 ⁻⁴ kgm ²)
PG NL080200...	80			200	4000	6000	110,0	110,0	220,0	0,390

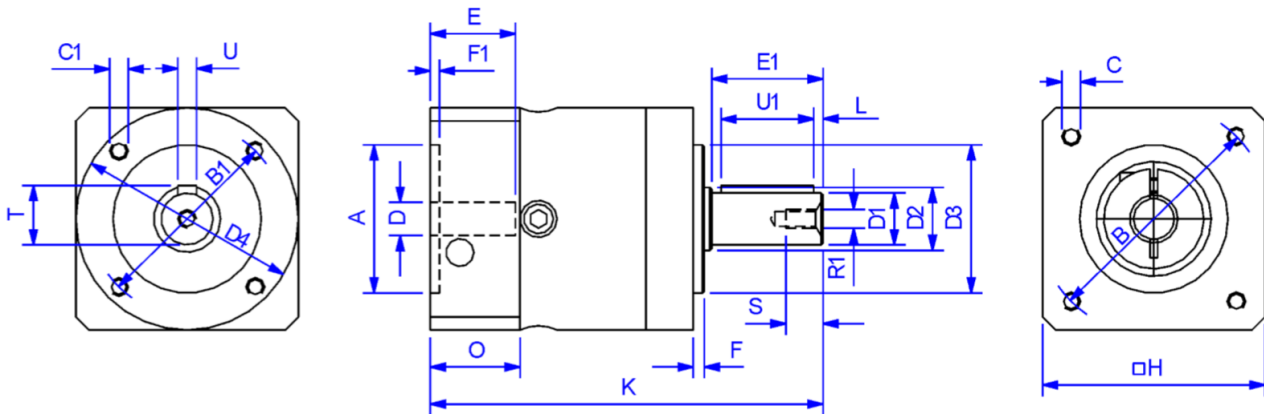


Fig.8 Dimensiunile reductorului

1.2.3 Variator digital tip 638A023F0STO000000RD2, alimentare 1x230Vac,

$I_n = 2.5A$, $I_{max} = 4A$, interfață serială RS485, cu PLC integrat pentru programare funcții complexe;

Acest variator digital este ales în corespondența cu servomotorul și reductorul planetar conform datelor de la producător.

Variatorul are rolul de a controla energia electrică către servomotor prin intermediul unei punți de tranzistoare de putere IGBT cu 6 pulsuri. Un microprocesor comandă cu logica PWM orientarea câmpului rotitor. Izolația electrică între partea de comandă și cea de putere se face cu optocuploare.

Toate funcțiile și sistemul de control sunt foarte rapide datorită ratei de eșantionare de $105\mu s$. Acest variator asigură funcția de oprire de siguranță "Safe Torque Off", STO fiind în acord cu reglementările EN954-1, Category 3 și EN1037 fiind, în același timp foarte versatil din punct de vedere al tehnologiilor de comunicație industriale.

Fiind un sistem autonom energia generată în procesul de frânare este disipată pe rezistența balast internă sau, în plus, și pe o rezistență externă. Variatorul necesită alimentare 230Vca ca și 24Vcc fiind dotat cu filtru EMC conform EN50081-1 și se poate opta pentru crearea unei magistrale de curent continuu între variatoare (Fig. 5).

Variatorul digital 638 poate asigura prin legăturile electrice viteza de rotație și controlul de poziție sau de viteza a servomotoarelor cu inducție punând la dispoziție 6 moduri de control: control în viteză și curent, doar în viteză, doar în curent, control în viteză și poziție, control în poziție cu sau fără programare avansată internă a variatorului.

În cazul de față, servosistemele se controlează în **bucla de viteză**.

Pentru a avea un răspuns mai bun al sistemului se va utiliza bucla de viteză prezentată în Fig. 9 care este practic o combinație de buclă de poziție cu o buclă de viteză. Mai exact, rezultatul erorii poziției multiplicată cu K_p devine o comandă de corecție a vitezei. Termenul integral K_i funcționează acum în mod direct asupra erorii de viteză în loc de eroarea de poziție. Implementarea acestei bucle de reglare necesită cunoașterea vitezei motorului.

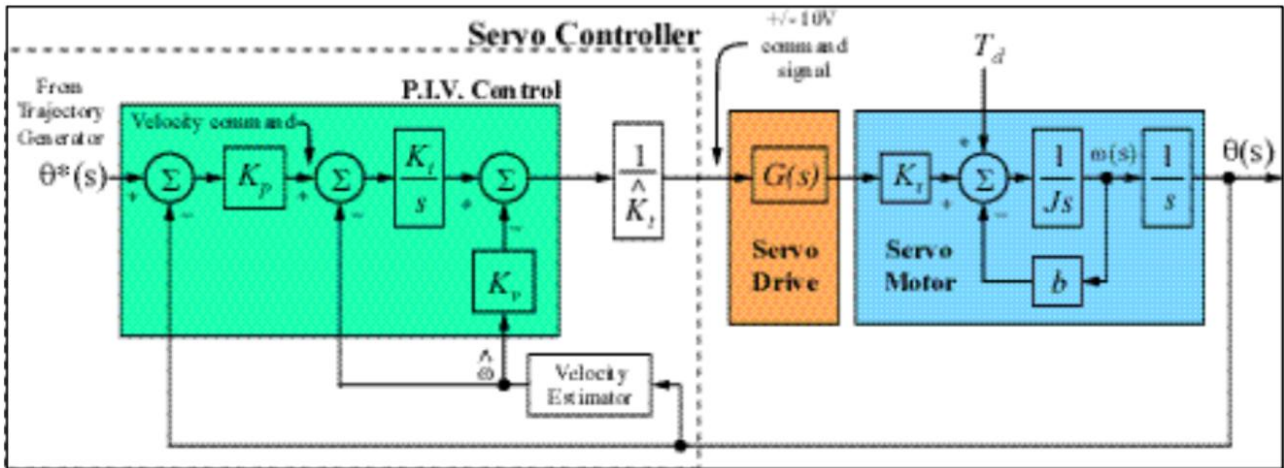
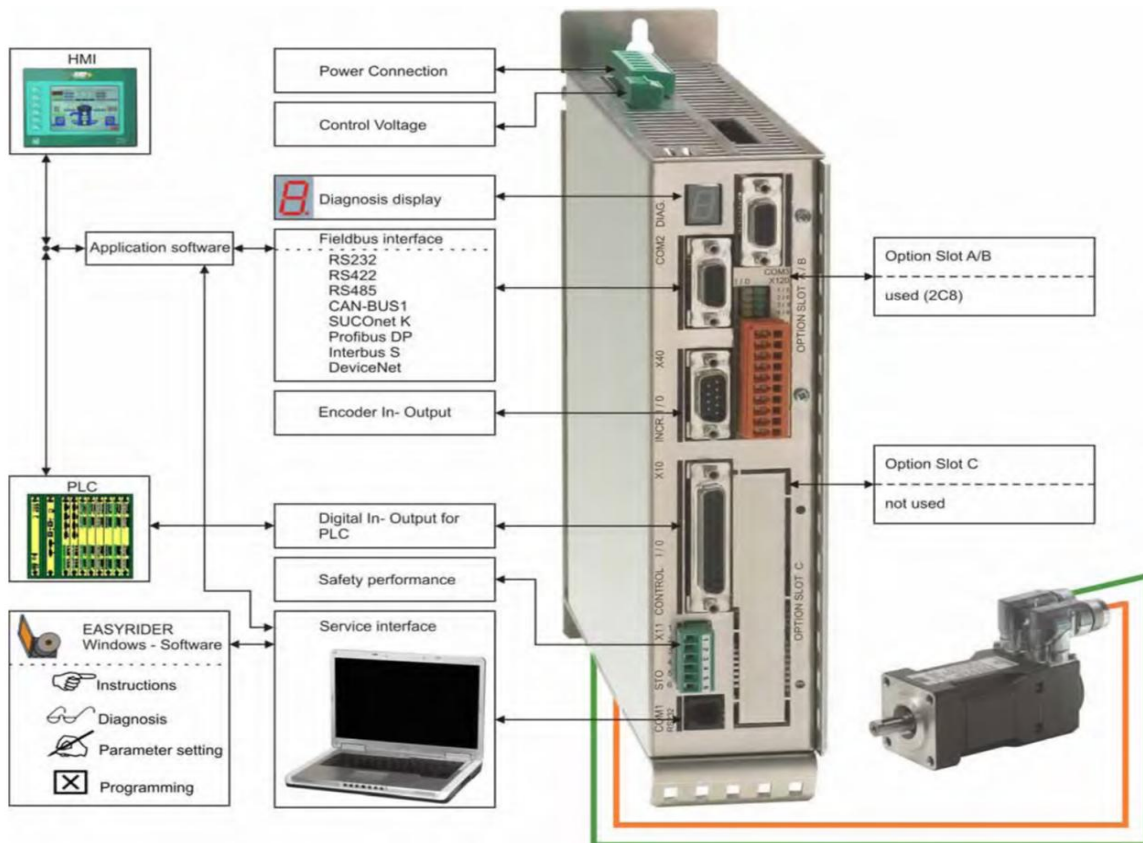


Fig. 9 Bucla de reglare în viteză

Variatorul 638 este foarte versatil în ce privesc posibilitățile de comunicație cu alte variaatoare



pentru realizarea de sisteme complexe.

Fig. 10 Schema generală de alimentare și control

În cazul utilizării mai multor variaatoare că în cazul vehiculului robotizat se folosește schema electrică cu magistrala de curent continuu comună pentru echilibrarea consumului și a sarcinei.

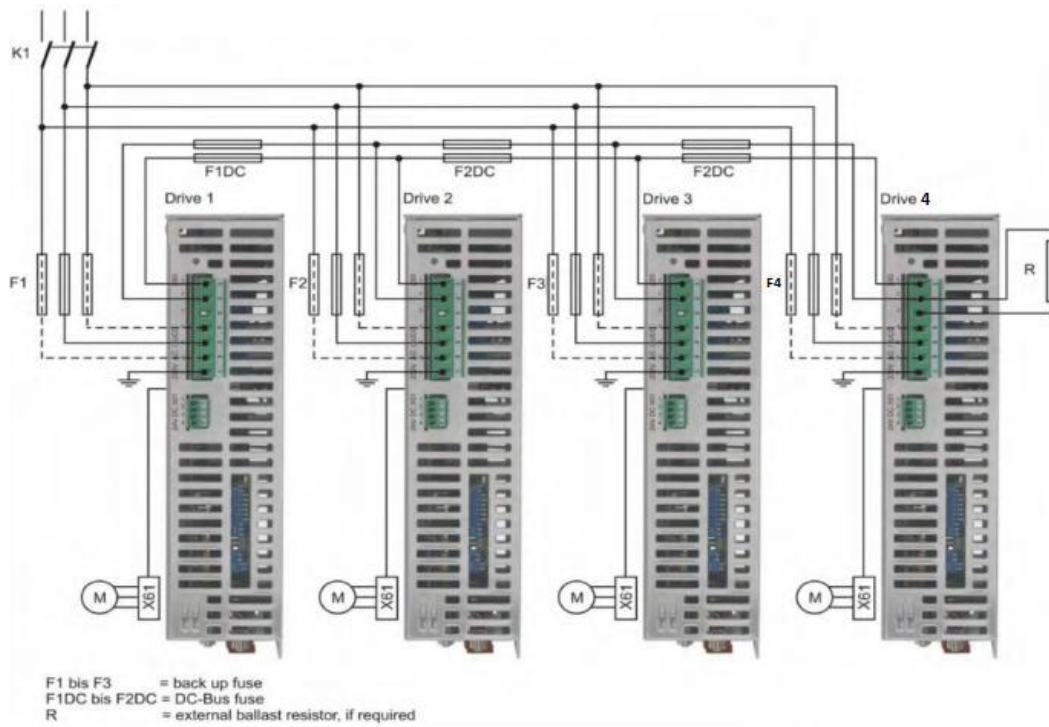
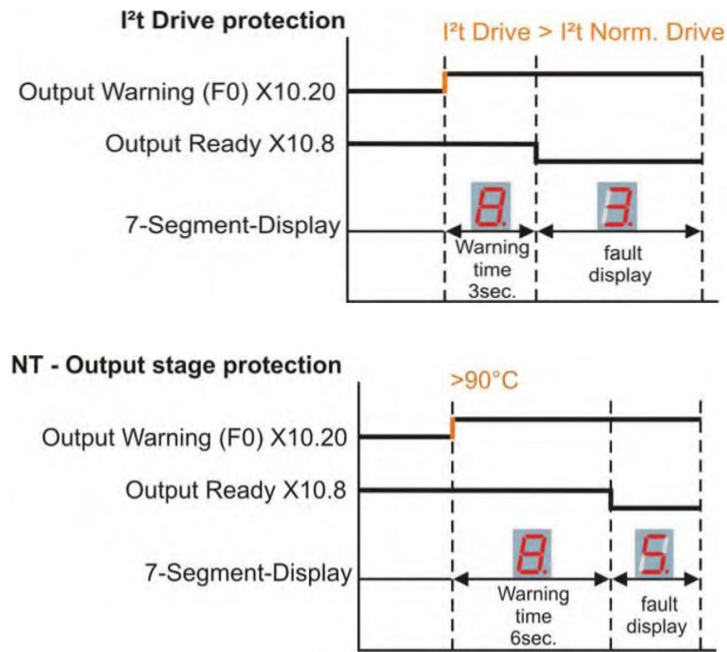


Fig. 11 Schema de cuplare a magistralei de curent-continuu

Variatorul 638 are implementat protectii electrice pentru diferite cazuri (defect la servomotor, defect la variator, suprasarcini ale servomotorului)



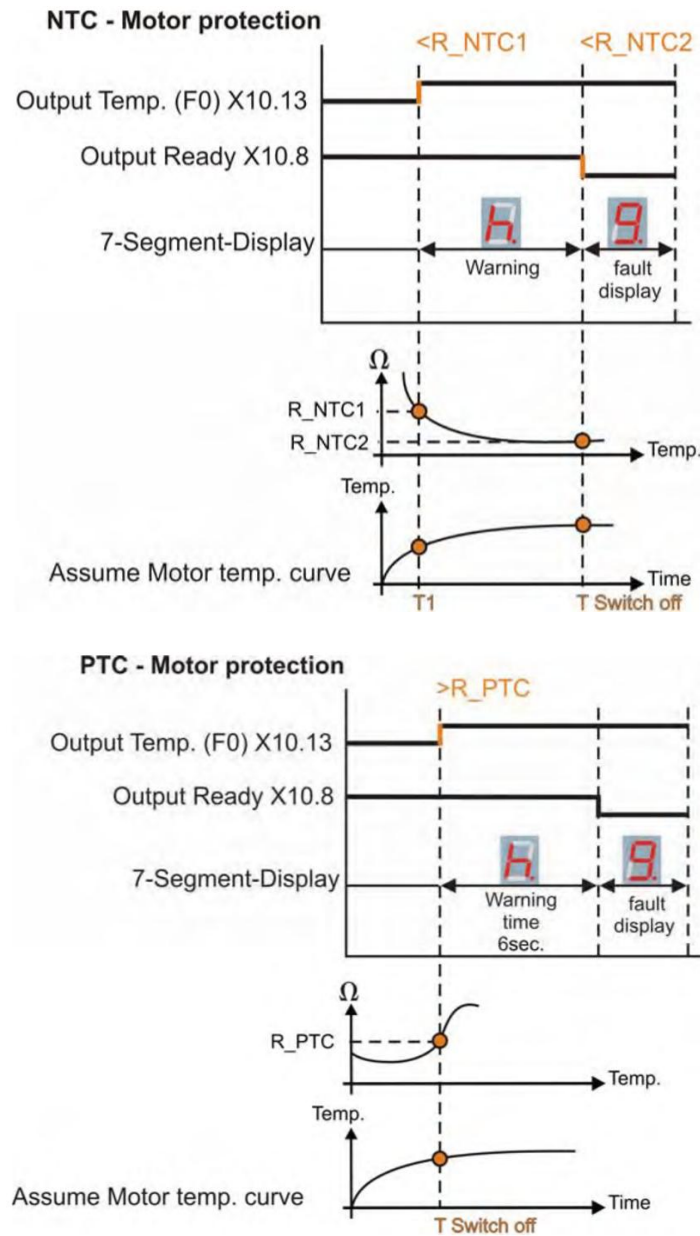


Fig. 12 Diagramele funcțiilor aferente protecțiilor electrice interne ale variatorului

Rezistența de frânare

În cazul frânării, energia conținută în motor se întoarce înapoi în variator unde o parte este absorbită de condensatoare dar restul trebuie disipată pe o rezistență de frânare. În acest scop variatorul este echipat cu o astfel de rezistență de frânare internă care se activează în funcție de pragul de tensiune al servomotorului.

Puterea mecanica $P_{kin} = 0,0055 * J * n1^2 / tb1$ [W]
Pierderi $P_{vmot} = Ib^2 * (Rph + RL)$ [W]
Putere regim stationar $Pd = 0,9 * (P_{kin} - P_{vmot}) * tb1 / T$ [W]
Putere maxima $Pmax = (1,8 * P_{kin}) - P_{vmot}$ [W]

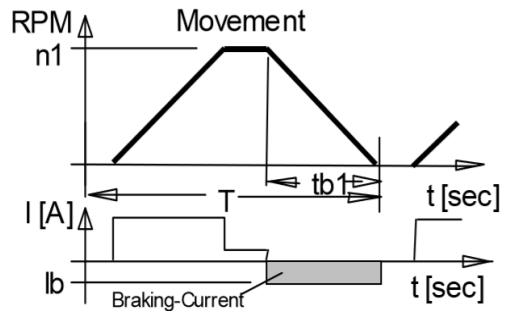


Fig. 13 Diagrama de frânare

unde n1 este viteza în momentul frânării, tb1 este timpul de frânare, T este timpul unui ciclu, J este inerția totală, Ib este curentul de frânare, Rph este rezistența motorului iar RL este rezistența cablului. Timpul de frânare a fost ales astfel încât să fie suficientă rezistența internă a variatorului respectându-se condiția $Pmax/Pd \leq 59$.

Oprirea de urgență (Safe Torque Off - STO)

Oprire de urgență este o cerință obligatorie pentru toate mecanismele acționate electric și are scopul de a preveni pornirile neintenționate. Această funcție de siguranță este implementată hardware izolat și redundant față de celelalte canale de I / Osau de comunicație. Astfel intrările STO1# și STO2# sunt monitorizate și într-o perioadă de timp setabilă starea acestor canale trebuie să fie identică altfel fluxul de energie către motor este întrerupt cu posibilitatea controlului PWM a opririi roților din mișcare. Reactivarea este posibilă numai după resetare hardware și recuplare tensunii de alimentare a variatorului. Funcția STO nu poate fi anulată hardware sau software.

- **Block Circuit Diagram**

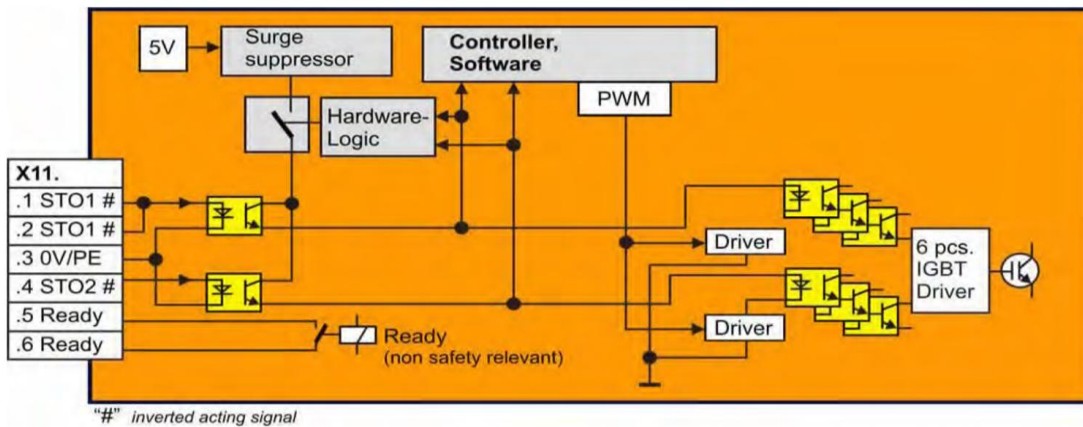


Fig. 14 Structura hardware aferenta STO

Senzorii de proximitate sunt legați electric printr-un circuit de siguranță direct la intrările variatoarelor dedicate opririi în siguranță a vehiculului.

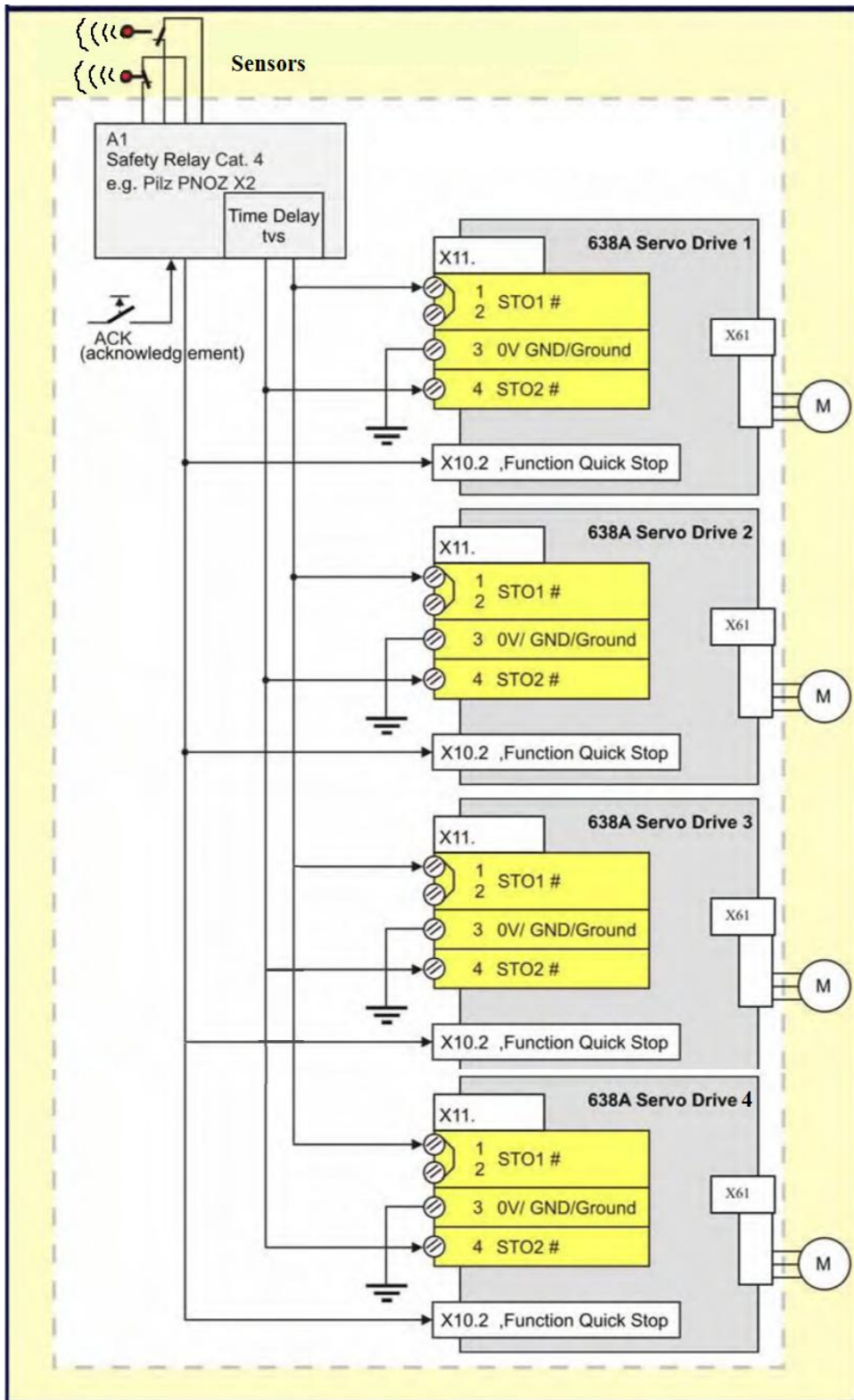


Fig. 14 Schema principală pentru implementarea STO

✓ PRINCIPIUL DE CONDUCERE AL VEHICULULUI

În vederea testării deplasării vehiculului robotizat s-au folosit următoarele echipamente:

- 4 convertizoare de frecvență aferente servomotoarelor, tip Parker 638.
- 1 automat programabil Saia Burgess PCD3.M5340.

Convertizoarele de frecvență suportă comunicație pe magistrală RS485 dedicată, în vederea utilizării funcțiilor de poziționare cu precizie ridicată. Ele pot fi interconectate pe aceeași magistrală și recepționează comenzi simultane de la automatul programabil.

În același timp, ele suportă comenzi și pe semnal analogic +/-10V și pot fi parametrizate astfel încât să funcționeze în control de viteză.

Soluția cu controlul de poziție este adaptată unor aplicații cu precizie ridicată. Utilizarea roților mecanum necesită adaptări în timp real deoarece nu se poate estima cu precizie suficientă poziția vehiculului funcție de numărul de rotații ale roților.

S-a adoptat momentan o soluție de control bazată pe viteză, cu adaptări rapide realizate de automatul programabil. Implementarea controlului s-a realizat în automatul programabil, vitezele celor 4 roți fiind controlate de către automat prin comandă analogică.

Convertizoarele de frecvență oferă o funcție de protecție ce permite întreruperea instantanee a fluxului energetic – Safe Turn Off. În vederea menținerii alimentării circuitului de forță, echipamentul a fost configurat astfel încât să necesite alimentare constantă pe un circuit de protecție. Alimentarea este dată de pe 4 ieșiri dedicate ale automatului programabil, astfel încât oricare din convertizoare să poată fi conectat individual, pentru teste. Circuitul de siguranță este înseriat și cu releul de "watch-dog" al automatului, astfel încât dacă execuția programului este întreruptă, ieșirile digitale să fie, de asemenea, întrerupte.

$$v_x = v_{x-\max} * op_x$$

$$v_y = v_{y-\max} * op_y$$

$$\omega = \omega_{\max} * op_\omega$$

Pentru testarea mișcării s-a implementat o interfață simplificată ce permite deplasarea în toate cele 3 grade de libertate: înainte-înapoi, deplasare laterală și rotire. Fiecărei axe i-a fost asociată o viteză maximă, comanda dată de operator fiind mapată unui procent între 0 și 100% pentru fiecare axă:

Unde v_x , v_y și ω sunt vitezele, respectiv viteza unghiulară, pe direcțiile x și y, respectiv în jurul propriei axe. Axa y a fost aleasă pentru deplasarea în față, axa x pentru deplasare laterală. Valorile maxime pentru fiecare axă sunt marcate cu max, procentul introdus de operator cu op. Unitatea de măsură pentru toate mărimile este aceeași, viteza unghiulară de rotație în jurul propriei axe este considerată în unități relative, astfel încât comenzile să poată fi compuse.

Transformarea celor 3 axe în comenzi pentru fiecare roată s-a realizat astfel:

$$\omega_{fs} = v_y + \omega + v_x \qquad \omega_{ss} = v_y + \omega - v_x$$

$$\omega_{fd} = v_y - \omega - v_x \qquad \omega_{sd} = v_y - \omega + v_x$$

Unde indicii f_s reprezintă față-stânga, f_d – față dreapta, s_s – spate stânga, s_d – spate dreapta. Transformarea din viteza unghiulară în viteză de translație, între ω și v nu este necesară, toate mărimile fiind exprimate în unități relative.

Ecuțiile au fost preluate și adaptate după modelele din [1] și [2]. Integrarea valorilor astfel încât să se poată realiza o estimare de poziție realistă nu este luată în considerare în acest moment, raportarea vitezelor la o deplasare ce ar fi măsurată în unități metrice va fi tratată ulterior.

În vederea limitării accelerațiilor și decelerațiilor bruște, toate vitezele sunt trecute printr-o limitare tip rampă, apoi mapate către ieșirea analogică.

În vederea limitării riscului de a pierde controlul asupra instalației, interfața permite cuplarea și decuplarea simultană a tuturor convertizoarelor. În același timp, o dată ce sistemul de siguranță a fost pus sub tensiune, este necesară o confirmare periodică a operatorului la un interval de 30 de secunde. În lipsa acesteia, circuitul de forță al convertizoarelor se decuplează.

Interfața permite comanda în 3 axe, în cruce axele x și y, respectiv în arc rotația în jurul propriei axe.

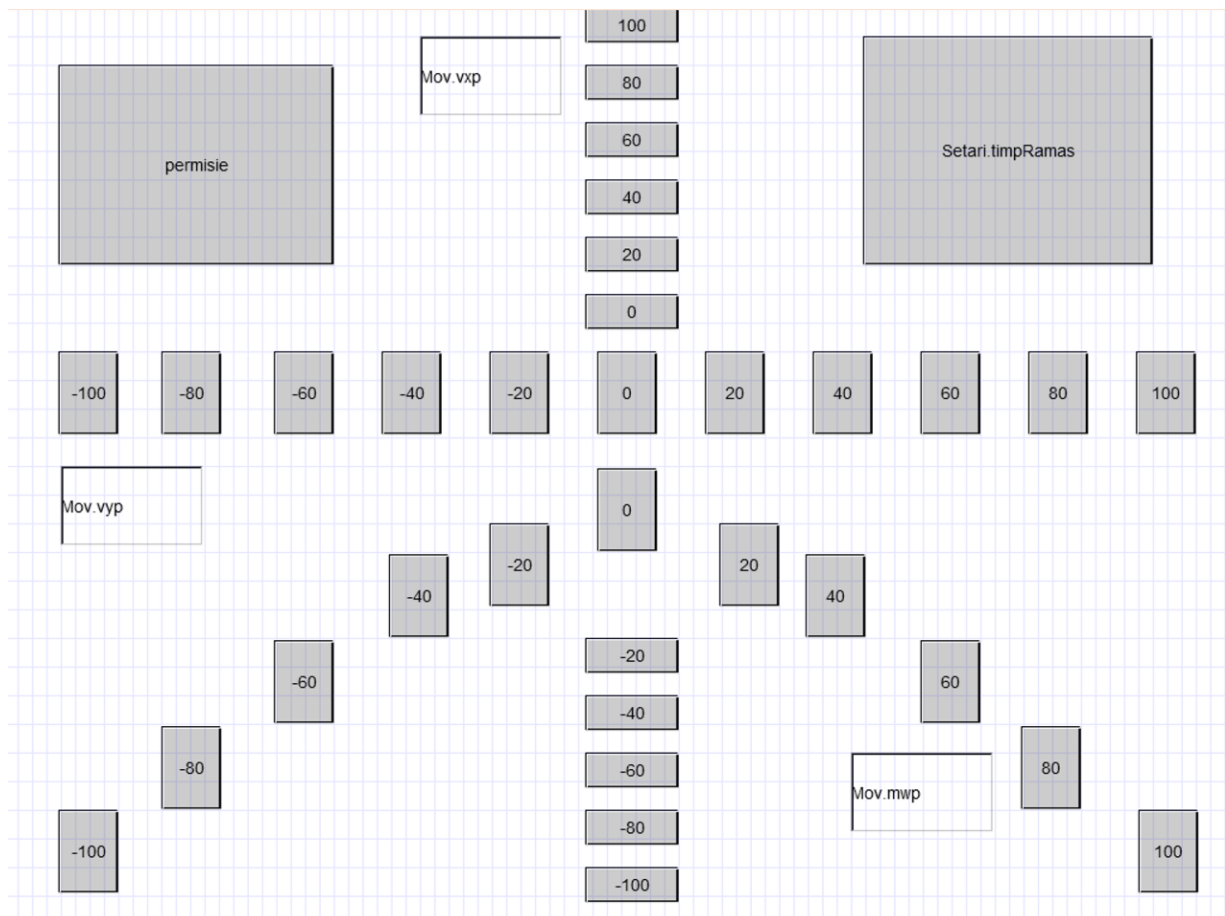


Fig. 15 Interfața de navigare a vehiculului

O demonstrație a funcționării poate fi urmărită la

https://www.youtube.com/watch?v=7eeLG2_GIUw&feature=youtu.be

Urmărirea deplasării cu senzori de proximitate

Deplasarea echipamentului nu poate fi urmărită doar prin integrarea vitezei roților, având în vedere alunecarea și caracterul neliniar. În vederea navigării în spațiu, am analizat utilizarea unei serii de 4 senzori ultrasonici amplasați pe fiecare din cele 4 laterale ale vehiculului.

În vederea obținerii unei scanări complete, fiecare senzor va fi montat pe un servomotor și va oscila între 2 poziții, acoperind un unghi cât mai larg.

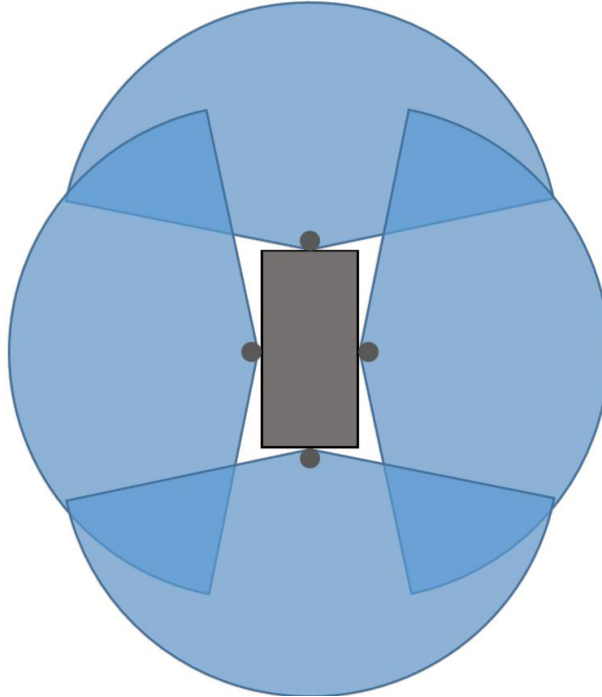


Fig.16 Senzori pentru scanarea proximitatea vehiculului 360°

Testarea principiului s-a realizat pe un servomotor de acționare a ștergătorului de parbriz, alimentat la 12V, cu un senzor ultrasonic Banner Q45ULIU64BCR, cu raza de 3m.

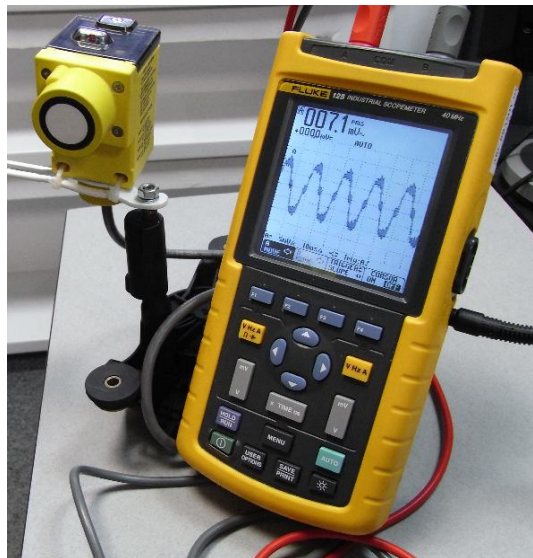


Fig. 17 Testare in conditii de laborator

Preluarea direct a distanței nu este foarte relevantă, în situația dată în care senzorul se rotește continuu. Este necesară corelarea distanței măsurate de senzor cu unghiul la care a fost măsurată.

Astfel, se poate realiza o hartă 2D în timp real în mediului.

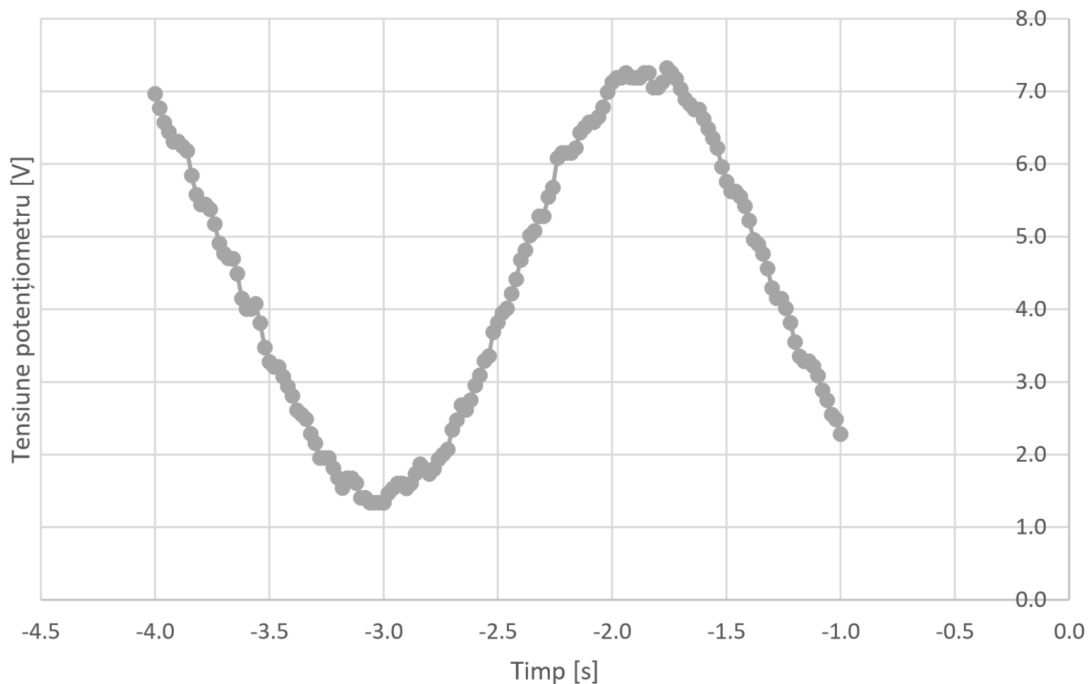
Utilizarea unui senzor de poziție pentru servomotor s-ar putea realiza fie cu encoder, poziție absolută sau relativă în impulsuri, fie cu servomotor cu comandă de poziție integrată, fie cu un traductor de poziție tip potențiomtru. Encoderele și servomotoarele cu comandă de poziție integrată sunt, pentru o astfel de aplicație, relativ costisitoare, mai ales având în vedere cantitatea de 4 bucăți necesară. Potențiomtrul, în condițiile în care senzorul ar urma să execute încontinuu mișcări, s-ar uza foarte rapid.

Soluția propusă a fost de a utiliza capacitatea de calcul a automatului programabil: servomotorul semnalizează capătul cursei prin închiderea unui contact. Cronometrând timpul de la deschiderea contactului se poate estima unghiul în momentul respectiv.

În același timp, unghiul nu este dependent liniar de timp. Sistemul de antrenare al servomotorului, ce transformă din mișcarea circulară a unui motor electric într-o mișcare oscilantă, are o curbă ce necesită analiză.

În vederea determinării funcționării sistemului s-a realizat un montaj cu un potențiomtru atașat brațului de antrenare. Pentru a reduce viteza de oscilație, tensiunea de alimentare a servomotorului a fost redusă la aprox. 8V.

Cu ajutorul unui osciloscop, s-a înregistrat cu precizie poziția indicată de potențiomtru. O preluare



a acesteia se poate vedea mai jos:

Fig. 18 Poziția servomotorului funcție de timp

Forma de undă a poziției are aspectul de sinusoidă. Mecanismul de antrenare este, probabil, format dintr-un sistem bielă-manivelă. Plecând de la această observație, s-a construit o formă de undă derivată, astfel:

- Au fost alese în total 116 eșantioane, corespunzătoare unei perioade (360°), fiecare cu durata de aprox. 5,5ms, a căror valoare s-a normalizat în intervalul $0-2\pi$.
- S-a construit o funcție sinusoidală, cu intrarea valorile normalizate anterior, și s-a ajustat unghiul de plecare (defazajul), amplitudinea și valoarea de offset astfel încât să se suprapună cât mai aproape peste valorile măsurate.

Rezultatul e vizibil în graficul următor:

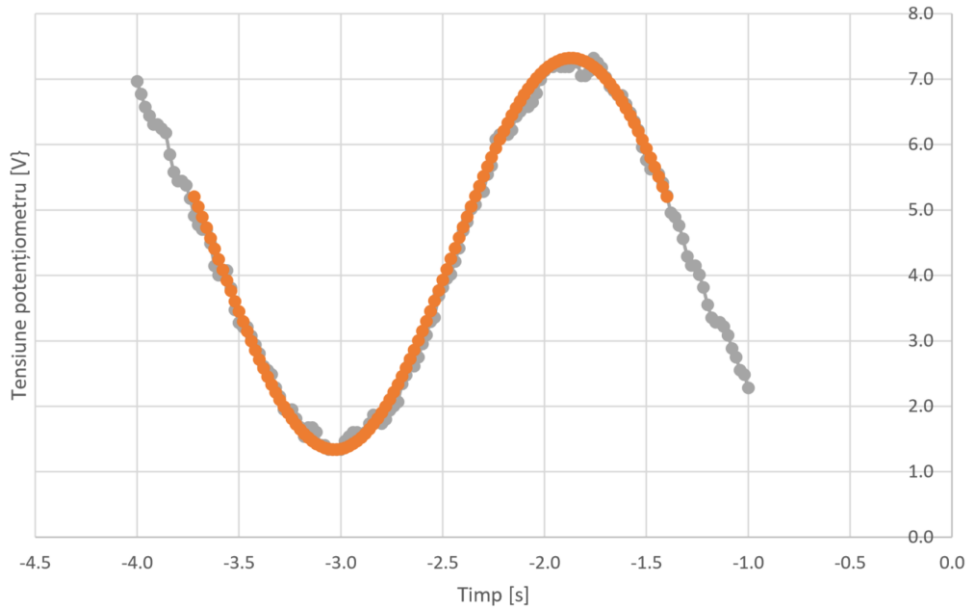


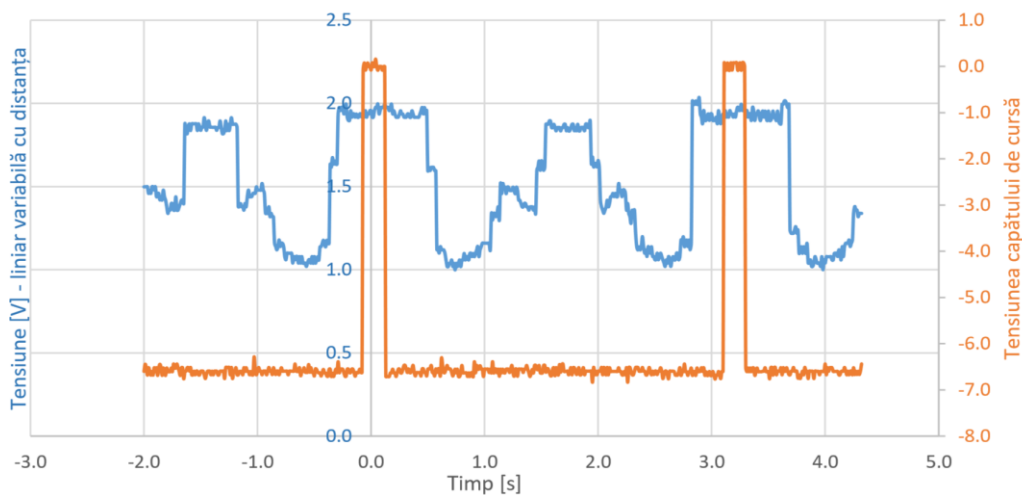
Fig. 19 Poziția servomotorului și estimarea

Suprapunerea nu este perfectă, dar poziția poate fi aproximată cu succes după această funcție:

$$\alpha = \sin\left(\frac{t}{T} * 2 * \pi - \theta\right)$$

Perioada poate fi calculată din utilizarea senzorului de cap de cursă, cronometrând timpul între 2 declanșări succesive. Mediata pe parcursul a 2-3 perioade, informația poate fi utilizată pentru calculul poziției în următoarea parcurgere.

Senzorul de proximitate a fost ulterior instalat pe servomotor. Datele preluate în cursul a 3



parcurgeri ale senzorului sunt următoarele:

Fig. 20 Distanța măsurată de senzorul de proximitate

Se observă un tipar de repetiție al furmei de undă, dar în lipsa prelucrării informația nu este ușor utilizabilă.

Prelucrarea informației s-a realizat prin calculul distanței pe coordonatele x și y pentru fiecare punct, funcție de unghiul la care s-a realizat măsurătoarea. Unghiul α s-a determinat funcție de timp, după cum s-a arătat în paragraful anterior.

Astfel, pentru un punct pentru care s-a determinat o distanță d , coordonatele x și y sunt:

$$x = d * \sin(\alpha)$$

$$y = d * \sin(\alpha)$$

Pentru cele 2 baleieri succesive prezentate mai sus, datele prelucrate au forma:

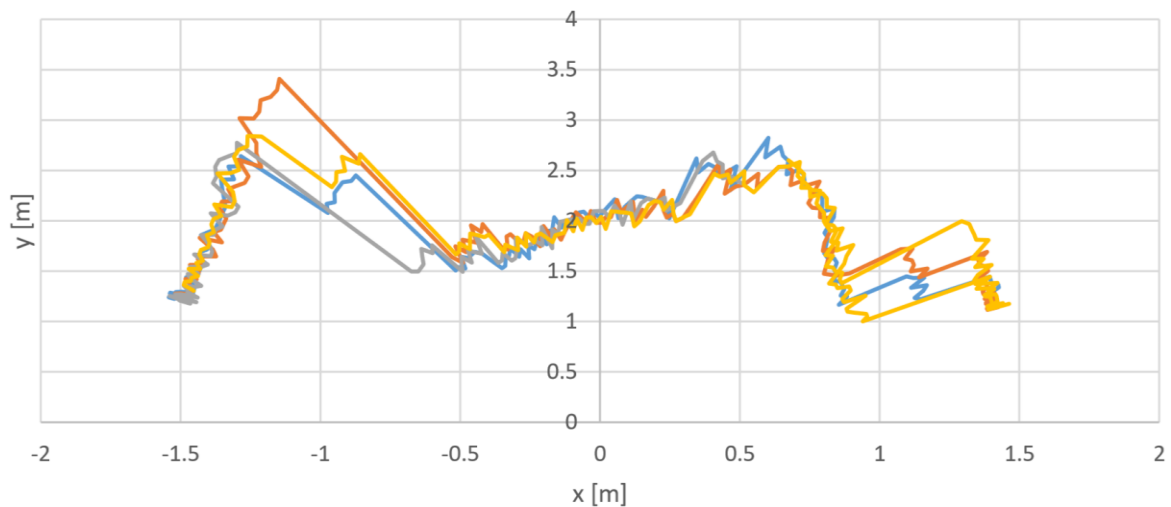


Fig. 21 Harta zonei din fata senzorului

S-au afișat suprapuse 4 baleieri. După cum se observă, există deviații de aprox. $10-15^\circ$ la suprapunerea informației, deviație ce poate fi pusă pe seama timpului de răspuns al senzorului raportat la unghiul de măsură, de aprox. 50ms. Totuși, informația este utilizabilă în vederea navigării și evitării obstacolelor, precum și pentru o identificare, poate și relativ brută, a formelor mediului înconjurător.

Concluzie:

S-au testat sistemele implementate pe vehicul verificandu-se astfel posibilitatea de utilizare a acestora în vederea navigării.

3. APLICABILITATE ÎN INDUSTRIA STICLII

Industriile care utilizează topituri ca materie primă pentru manufacturarea de produse necesită echipamente speciale pentru manipularea topiturilor într-un mod asemănător cu operatorii umani. De aceea roboții cu 6 grade de libertate sunt adecvați pentru operațiuni complexe asigurând și flexibilitatea liniei de fabricație pentru diferite tipuri de produse.

La baza procesului de fabricație într-o fabrică de sticlă este cuptorul pentru topit sticlă. Un cuptor de sticlă, în principiu, conține zona de încălzire 1, de topire 2, zona de liniștire 3 și de menținere 4. Sticlarii preiau sticlă din zona de menținere 4 prin guri de acces.

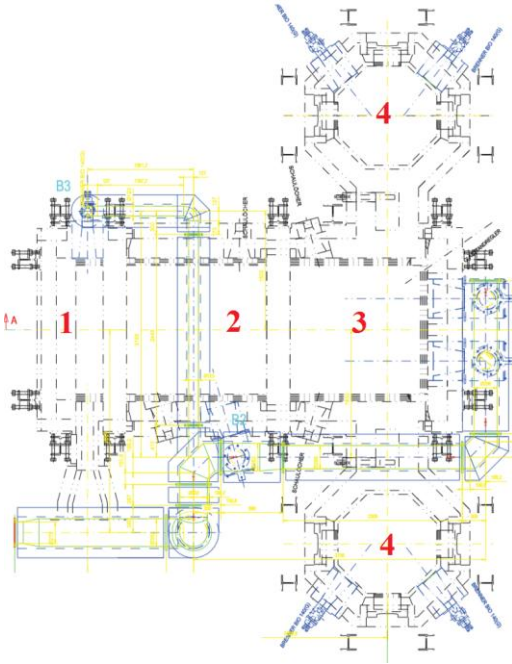


Fig. 22 Zonele unui cuptor de sticlă



Fig. 23 Gura pentru extragerea sticlei

Pentru creșterea competitivității fabricile de sticlă au nevoie de echipamente robotizate în vederea producției de serie medie și mare de produse uzuale din sticlă.



Fig. 24 Exemple de produse din sticla pretabile pentru producția de serie cu ajutorul brațului robotic
Astfel vehiculul robotizat va deservi cuptorul de sticlă executând operațiunea de extragere a unei cantități funcție de dimensiunea bilei ceramice cu care este echipată lancea și plasarea sticlei topite într-o presă care modelează sticlă.

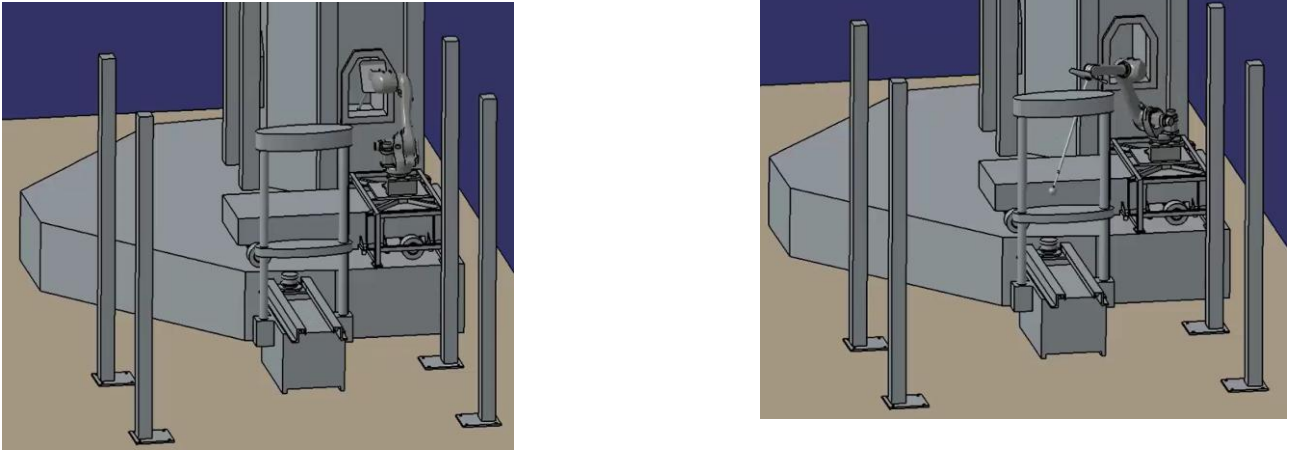


Fig. 25 Simulări ale ansamblului cuptor - robot – presa



Fig. 26 Ansamblul vehicul – brat robotic

Manipulatorul robotic este programat să reproducă mișcările manuale pentru extragerea sticlei dar cu o rată de 10 piese pe minut și o repetabilitate de $\pm 0,08$ mm.

Vehiculul pe care este montat brațul robotic face posibilă mutarea în alt punct de lucru într-un timp de ordinul minutelor.

Bibliografie

- [1] H.-Y. S. Lih-Chang Lin, „Modeling and Adaptive Control of an Omni-Mecanum-Wheeled Robot,” în *Intelligent Control and Automation*, 2013.
- [2] I. M. Andy Baker, „Omnidirectional Drive Systems, Kinematics and Control,” *First Robotics Conference*, 2008.

Activitate 3.4. Participare la manifestari tehnico-stiintifice din domeniul specific proiectului (mese rotunde, workshopuri, simpozioane nationale / internationale, targuri nationale / internationale) (ELECTRO-TOTAL)

- Eugenia MINCA, Henri George COANDA, Adrian FILIPESCU, Camelia FRATILA, Florian ION, Adriana FILIPESCU, *Hybrid Models for Simulation of Mechatronics Lines Served by Parallel or Collaborative Mobile Robots*, *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, *In review Round 2*.

- H.G. Coandă, E. Mincă, F. Ion, I. Caciulă, *Solutions for driving 2DW/IFW mobile robots using sliding-mode control*, Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science (JEECCS), indexat BDI, ISSN 2207-3528,nr.3, 2016 (*acceptat pentru publicare*)
- Jianu Ovidiu, *Comanda prin WiFi a mișcării robotului mobil Pioneer-3DX*, proiect de diplomă, specializarea Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații, 14 iulie 2016;
- Cornel Caceamac, *Aplicații pentru roboți mobili 2DW/IFW - studii de caz*, proiect de disertație, specializarea Sisteme Avansate de Telecomunicații, Prelucrarea și Transmisia Informației, iunie 2015;
- Henri-George Coandă, Algorithms for driving mobile robots - case studies, prezentare în cadrul bursei Erasmus, Universitatea Paris 8, Institute
- Ciubucciu, G., Filipescu, A., Filipescu, A., Jr., Filipescu, S., Dumitrascu, B., Control and Obstacle Avoidance of a WMR Based on Sliding-Mode, Ultrasounds and Laser; Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Control and Automation, Kathmandu, Nepal, June 1-3, 2016, pp.779-784, ISBN: 978-1-5090-1737-9/16/\$31.00 ©2016 IEEE(indexed WoS).
- Filipescu A., Filipescu A., Jr., Minca, E., Voda, A., Hybrid Modeling, Balancing and Control of a Mechatronics Line Served by Two Mobile Robots, Proceedings of the 20th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016, ISBN: 978-1-5090-2720-0/16/\$31.00 ©2016 IEEE, pp:234-239, 14-16, Oct., Sinaia, Romania.