



# TEZĂ DE DOCTORAT

## CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA ȘI NAVIGAȚIA SISTEMELOR ROBOTICE AUTONOME DESTINATE ASISTENȚEI PERSOANELOR CU DIZABILITĂȚI ȘI DESERVIRII UNOR PROCESSE DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ

### Rezumat

Doctorand,  
Ing. George CIUBUCCIU

Președinte,

Prof. univ. dr. ing. Marian Găiceanu  
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific:

Prof . univ. dr. ing. Adrian FILIPESCU  
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Nicolae Paraschiv  
Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești  
Prof. univ. dr. ing. Dan Popescu  
Universitatea POLITEHNICA din București  
Conf. dr. ing. Răzvan Constantin Șolea  
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 8. Ingineria sistemelor, Nr. 7

GALAȚI  
2019

**Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:**

**Domeniul fundamental ȘTIINTE INGINERESTI**

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

**Domeniul fundamental ȘTIINTE SOCIALE**

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**

**Domeniul fundamental ȘTIINTE UMANISTE ȘI ARTE**

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

**Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINTE ALE NATURII**

- Seria C: **Chimie**

**Domeniul fundamental ȘTIINTE BIOLOGICE ȘI BIOMEDICALE**

- Seria M: **Medicină**

# Cuprins Teză

<b>Prefață</b> .....	<b>11</b>
<b>Notății și abrevieri</b> .....	<b>12</b>
<b>Listă figuri și tabele</b> .....	<b>13</b>
<b>Introducere</b> .....	<b>17</b>
Stadiul actual .....	18
Obiectivele cercetării .....	19
Structura și conținutul tezei.....	20
<b>Introduction</b> .....	<b>21</b>
State of Art .....	22
Objectives of the research .....	23
Structure and content of the thesis.....	24
<b>Capitolul 1. Echipamente hardware și pachete software utilizate la conducerea și navigația sistemelor robotice autonome</b> .....	<b>25</b>
1.1. Echipamente hardware de acționare și conducere a scaunului cu roțile destinat asistenței persoanelor cu dizabilități.....	25
1.2. Echipamente hardware de acționare și conducere a roboților mobili cu roți motoare.....	29
1.3. Echipamente hardware și pachete software a unui vehicul autonom multidirecțional.....	30
1.4. Echipamente hardware de acționare a manipuletoarelor robotice.....	32
1.5. Echipamente hardware utilizate pentru detectarea obstacolelor.....	33
1.6. Pachete software de comunicație, achiziție date și comandă a roboților mobili.....	33
1.7. Concluzii.....	34
<b>Capitolul 2. Modelarea și conducerea sistemelor autonome integrate în tehnologii de asistare personală medico socială și deservire de linii de fabricație flexibilă</b> .....	<b>35</b>
2.1. Modelarea cinematică și dinamică a CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități.....	37
2.2. Modelarea și identificarea structurii de acționare și conducere a roților motoare de la CPW.....	40
2.2.1. Identificarea funcției de transfer a motoarelor.....	41
2.2.2. Acordarea reguletoarelor PI și implementarea lor pe platforma fizică.....	47
2.3. Modelarea cinematică și dinamică a roboților autonomi cu două roți motoare și una sau două roți libere (2DW/1FW sau 2DW/2FW) și modelarea cinematică a vehiculelor autonome multidirecționale (4DW/SW).....	50
2.3.1. Modelarea cinematică a WMR.....	50
2.3.2. Modelarea dinamică a WMR.....	52
2.3.3. Modelarea cinematică a MAV 4DW/SW.....	54
2.4. Modelarea manipuletoarelor robotice care deserveșc linia de fabricație flexibilă.....	56
2.4.1. Modelarea cinematică a manipulatorului robotic Pioneer 5-DOF Arm.....	57
2.4.2. Modelarea cinematică a manipulatorului robotic Cyton 1500 7-DOF Arm.....	58
2.4.3. Rezultate de simulare și de timp real la conducerea bazată pe modelul cinematic invers a RM Cyton 1500.....	62
2.5. Proiectarea și implementarea în timp real a conducerii SMC bazată pe modelul cinematic sau dinamic.....	65
2.5.1. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR (2DW/2FW)..	65
2.5.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR Pioneer P3-DX.....	67
2.5.3. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR (2DW/2FW)....	70

2.5.4. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR PatrolBot.....	74
2.6. Proiectarea și implementarea în timp real a structurii de conducere STSMC bazată pe modelul cinematic.....	76
2.6.1. Proiectarea structurii STSMC.....	77
2.6.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii STSMC.....	79
2.7. Conducerea SMC a MAV (4DW/SW).....	86
2.8. Concluzii.....	88
<b>Capitolul3. Navigația cu evitare de obstacole a sistemelor robotice autonome.....</b>	<b>89</b>
3.1. Tipuri de senzori utilizați pentru detectarea obstacolelor.....	90
3.1.1. Senzori sonari.....	91
3.1.2. Senzori laser.....	92
3.1.3. Studiu comparativ, senzori sonari și laser.....	93
3.2. Algoritmi de navigație avansată cu evitare de obstacole.....	94
3.2.1. Navigație cu evitare de obstacole utilizând ultrasunete.....	96
3.2.2. Navigație cu evitare de obstacole utilizând laser.....	97
3.3. Navigație de interior bazată pe sistem laser pentru acces prin spații înguste.....	100
3.4. Navigația în timp real utilizând algoritmul de trecere prin spații înguste.....	104
3.5. Concluzii.....	105
<b>Capitolul4. Conducerea și navigația sistemelor robotice autonome implicate în tehnologii de asistare personală și deservire de linii de fabricație de precizie.....</b>	<b>106</b>
4.1. Proiectarea unei structuri de conducere și navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe.....	107
4.2. Implementarea și testarea în timp-real a structurii de conducere și de navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe.....	112
4.3. Platforme mobile, manipolatoare robotice și sisteme servoing vizuale integrate într-o tehnologie de asistare a unei linii de fabricație de precizie.....	115
4.4. Conducerea în timp real a liniei de fabricație de precizie deservită de sisteme robotice și servoing vizuale.....	122
4.5. Concluzii.....	128
<b>Capitolul5. Concluzii finale, contribuții, direcții de cercetare viitoare, diseminarea rezultatelor.....</b>	<b>129</b>
5.1. Concluzii finale.....	129
5.2. Contribuții.....	129
5.3. Direcții de cercetare viitoare.....	130
5.4. Diseminarea rezultatelor.....	130
<b>Bibliografie.....</b>	<b>132</b>
<b>Anexa 1.</b> Programul sursă C++, executabil în Visual Studio pentru conducerea SMC a WMR Pionner P3-DX, conducere bazată pe model cinematic.....	137
<b>Anexa 2.</b> Programul sursă C++, executabil în Visual Studio pentru conducerea SMC a WMR PatrolBot, conducere bazată pe model dinamic.....	139
<b>Anexa 3.</b> Programul sursă C++, executabil în Visual Studio pentru conducerea STSMC a WMR Pioneer P3-DX, conducere bazată pe model cinematic.....	141
<b>Anexa 4.</b> Programul sursă C++, executabil în Visual Studio pentru conducerea SMC cu evitare de obstacole a WMR PowerBot și WMR PeopleBot, evitare bazată pe ultrasunete și laser.....	144
<b>Anexa 5.</b> Programul de navigație a CPW pentru traversarea de spații înguste, utilizând informațiile primite de la laserul Hokuyo URG-04LX-UG01.....	150

<b>Anexa 6.</b> Programul Matlab, pentru navigația CPW, bazată pe mișcarea globului ocular.....	153
<b>Anexa 7.</b> Programul pentru conducerea SMC a WMR Pioneer P3-DX, RM Pioneer 5-DOF Arm și WMR PeopleBot, conducere bazată pe model cinematic.....	154
<b>Anexa 8.</b> Programul sursă C++, executabil în Visual Studio pentru conducerea RM Cyton 1500, bazată pe modelul cinematic invers.....	160

# Cuprins Rezumat

<b>Notății și abrevieri .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducere .....</b>	<b>6</b>
Stadiul actual .....	6
Obiectivele cercetării .....	6
Structura și conținutul tezei.....	7
<b>Capitolul1. Echipamente hardware și pachete software utilizate la conducerea și navigația sistemelor robotice autonome.....</b>	<b>7</b>
<b>Capitolul 2. Modelarea și conducerea sistemelor autonome integrate în tehnologii de asistare personală medico socială și deservire de linii de fabricație flexibilă.....</b>	<b>9</b>
2.1. Modelarea cinematică a CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități.....	9
2.2. Modelarea și identificarea structurii de acționare și conducere ale roților motoare de la CPW.....	10
2.3. Acordarea reguletoarelor PI și implementarea lor pe platforma fizică.....	10
2.4. Rezultate de simulare și de timp real la conducerea bazată pe modelul cinematic invers a RM Cyton 1500.....	11
2.5. Proiectarea și implementarea în timp real a conducerii SMC bazată pe modelul cinematic sau dinamic.....	12
2.5.1. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR (2DW/2FW)..	13
2.5.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR Pionner P3-DX.....	13
2.5.3. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR (2DW/2FW)....	14
2.5.4. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR PatrolBot.....	15
2.6. Proiectarea și implementarea în timp real a structurii de conducere STSMC bazată pe modelul cinematic.....	16
2.6.1. Proiectarea structurii STSMC.....	17
2.6.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii STSMC.....	17
2.7. Conducerea SMC a MAV (4DW/SW).....	20
<b>Capitolul3. Navigația cu evitare de obstacole a sistemelor robotice autonome.....</b>	<b>21</b>
3.1. Algoritmi de navigație avansată cu evitare de obstacole.....	21
3.2. Navigație de interior bazată pe sistem laser pentru acces prin spații înguste.....	23
3.3. Navigația în timp real utilizând algoritmul de trecere prin spații înguste.....	23
<b>Capitolul4. Conducerea și navigația sistemelor robotice autonome implicate în tehnologii de asistare personală și deservire de linii de fabricație de precizie.....</b>	<b>24</b>
4.1. Proiectarea unei structurii de conducere și navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe.....	25
4.2. Implementarea și testarea în timp-real a structurii de conducere și de navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe.....	26
4.3. Platforme mobile, manipolatoare robotice și sisteme servoing vizuale integrate într-o tehnologie de asistare a unei linii de fabricație de precizie.....	27
4.4. Conducerea în timp real a liniei de fabricație de precizie deservită de sisteme robotice și servoing vizuale.....	30

<b>Capitolul5. Concluzii finale, contribuții, direcții de cercetare viitoare, diseminarea rezultatelor.....</b>	<b>34</b>
5.1. Concluzii finale.....	34
5.2. Contribuții.....	34
5.3. Diseminarea rezultatelor.....	35

## Notații și abrevieri

**A/DML**-assembly/disassembly mechatronics line (linie de mecatronică de asamblare/dezasamblare);

**API** - application programming interface (interfață pentru programarea de aplicații);

**ARIA** - advanced robotic interface for applications (interfață robotică avansată pentru aplicații);

**CS** - counting selection (numărătoare de selecție);

**CPW** - cirrus power wheelchair (scaunul cu roțile cirrus power);

**DOF** - degree of freedom (grade de libertate);

**DW** - driving wheel (roată motoare);

**EOF** – end efector (efector de capăt);

**FW** - free wheel (roată liberă);

**GPS** - global positioning system (sistem de poziționare globală);

**GUI** – graphic user interface (interfață grafică utilizator);

**I/O** - input/output (intrare/ieșire);

**MAV** – multidirectional autonomous vehicle (vehicul autonom multidirecțional);

**PI** – proportional integral (regulatorul proporțional-integral);

**PC** - personal computer (calculator personal);

**PLC** - programmable logic controller (automat programabil)

**P/R** - processing/reprocessing (prelucrare/reprelucrare);

**P/RML** - processing/reprocessing mechatronics line (linia de mecatronică de prelucrare/reprelucrare);

**PRA** - personal robot assistant (asistent robotic personal);

**PWM** - pulse width modulation (modularea lățimii impulsurilor);

**RM** - robotic manipulator (manipulator robotic);

**SIPs** - server information packets (pachete de informare server);

**SW** - Steering wheel (roată directoare);

**SM** - sliding-mode (mod alunecător);

**SMC**- sliding-mode control (conducere în mod alunecător);

**SOSMC** - second order sliding mode control (conducere în mod alunecător de ordinul 2)

**STSMC** - super-twisting sliding-mode control (conducere în mod alunecător, super răsucire);

**VSS** – visual servoing sistem (sistem servoing vizual);

**TT**-trajectory tracking (urmărirea traiectoriei);

**WMR** - wheeled mobile robot (robot mobil cu roți).

# Introducere

Progresul tehnologic și al cercetărilor din ultimul timp în domeniul roboticii a făcut posibilă integrarea vehiculelor robotizate în lumea reală, determinând creșterea siguranței, eficienței, productivității și performanței în domenii cum sunt industria de construcții de mașini, agricultură, minerit, electronică și sănătate.

Scaunul cu roțile reprezintă unul din obiectivele acestei lucrări, face parte din categoria vehiculelor autonome, este asimilat ca un robot mobil cu două roți motoare și două roți libere (2DW/2FW).

Navigația în timp real la traversarea de spații înguste, bazată pe informațiile primite de la laser, cât și structura de navigație, bazată pe prelucrarea de imagini ale mișcării globului ocular, pentru scaunul cu roțile destinat asistenței persoanelor cu dizabilități neurolocomotorii severe, poate elimina cel puțin o parte din serviciile de asistență. Scaunul cu roțile facilitează deplasarea și accesul la asistență medicală pacienților cu dizabilități neurolocomotorii severe din spitalele de urgență, secțiile de terapie intensivă, ortopedie și neurologie.

O altă categorie de probleme tratate în această lucrare este conducerea și navigația sistemelor robotice autonome echipate cu sisteme servoing vizuale și prelucrare de imagini destinate operării în regim colaborativ pentru deservirea liniilor de fabricație flexibilă, industriale și de laborator (linii de mecatronică).

## Stadiul actual

Cele mai importante și recente realizări în conducerea și navigația sistemelor robotice autonome vizează urmărirea unei traiectorii (TT), cu evitarea de obstacole fixe și/sau mobile, cu satisfacerea indicatorilor de performanță și stabilitate. Dacă este vorba despre scaunul cu roțile, în plus, este luată în considerare și asigurarea confortului utilizatorului.

Problemele de conducere a roboților mobili au atras o atenție considerabilă în ultimii ani. Majoritatea roboților mobili pot fi clasificați ca sisteme nonholonomice. Atât roboții mobili cu roți (WMR), cât și vehiculele autonome (AV) au nevoie de informații fiabile despre poziția, viteza și distanța față de obstacole. Din acest motiv, sunt utilizați senzori precum GPS, senzori sonari, codificatori sau lasere.

## Obiectivele cercetărilor urmărite prin prezenta teză de doctorat sunt:

- Modelarea cinematică și dinamică a CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități;
- Dezvoltarea, implementarea și testarea în timp real a unui algoritm de tip (STSMC);
- Proiectarea structurii de conducere SMC și STSMC, pentru urmărirea unei traiectorii impuse, bazată pe modelul cinematic și/sau modelul dinamic;
- Navigația sistemelor robotice autonome destinate asistenței persoanelor cu deficiențe neurolocomotorii severe și vârstnice;
- Dezvoltarea, implementarea și testarea în timp real a unui algoritm de navigație care folosește un senzor de tip laser pentru detecția și ocolirea obstacolelor (fixe sau mobile)
- Dezvoltarea, implementarea și testarea în timp real a unui algoritm de trecere prin spații înguste;
- Proiectarea sistemului de navigație al CPW bazat pe mișcările globului ocular;



- Modelarea și conducerea manipuletoarelor robotice care deserveșc linia de fabricație flexibilă;
- Modelarea și conducerea liniilor flexibile de fabricație, de prelucrare/reprelucrare, deserveșc de sisteme robotice autonome echipate cu manipuletoare.

## **Structura și conținutul tezei**

În **Capitolul 1**, sunt describe echipamente hardware utilizate ce vor fi utilizate pentru testele în timp real: scaunul cu roțile Cirrus Power, roboții mobili: Pioneer P3-DX, PowerBot, PeopleBot, PatrolBot, manipuletoarele robotice: Cyton 1500 7-DOF Arm, Pioneer 5-DOF Arm, senzori de tip laser, plăci de achiziție, routere, etc. De asemenea, sunt prezentate pachete software de comunicație, achiziție date și comandă a roboților mobili: Visual C++, Matlab, MobileSim și ARIA, prin intermediul cărora sunt proiectați, implementați și testați algoritmi de conducere, simulările și interfețele grafice utilizator.

**Capitolul 2** este dedicat proiectării, simulării și testării în timp real a tehnicilor avansate de conducere (SMC și STSMC) pentru conducerea sistemelor autonome și obținerea modelelor cinematice și dinamice. Tot în acest capitol, sunt prezentate modelarea, simularea și testarea în timp real a RM Cyton 1500 și un studiu comparativ al celor două metode de conducere, SMC și STSMC.

În **Capitolul 3** este prezentat un studiu comparativ între senzori sonari și senzori laser urmat de implementarea și testarea în timp real a algoritmilor de navigație cu evitare de obstacole, utilizând sisteme specifice de tip sonar și laser. Tot în Capitolul 3, este prezentat algoritmul și programul pentru conducerea în timp real a CPW la traversarea de spații înguste, bazat pe informațiile primite de la laser.

În **capitolul 4**, în urma studiilor efectuate în capitolele precedente, este proiectată, implementată și testată în timp real structura de navigație bazată pe prelucrarea de imagini ale mișcării globului ocular pentru sistemul autonom CPW, destinat asistenței persoanelor cu dizabilități neurolocomotorii severe. Capitolul se încheie cu conducerea și navigația sistemelor autonome integrate în tehnologii de asistare a liniilor de fabricație de precizie.

Concluziile finale, contribuțiile, direcțiile de cercetare viitoare și diseminarea rezultatelor sunt prezentate în **Capitolul 5**.

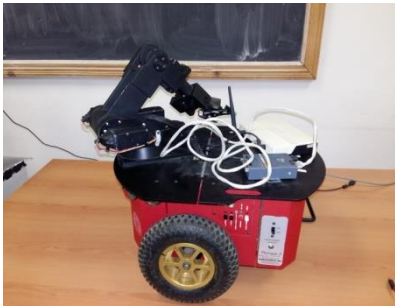
## **Capitolul 1. Echipamente hardware și pachete software utilizate la conducerea și navigația sistemelor robotice autonome**

În acest capitol sunt prezentate echipamente hardware și pachete software utilizate în conducerea și navigația sistemelor robotice autonome: WMR cu 2DW/1FW și 2DW/2FW, scaunul cu roțile CPW, WMR Pioneer P3-DX, PeopleBot, PowerBot, PatrolBot, echipate cu sistem laser, Hokuyo URG-04LX-UG01 și a MAV Seekur, 4DW/SW, cât și echipamente hardware de acționare și conducere a RM Pioneer 5-DOF Arm și Cyton 1500 7-DOF Arm.

Pachete software utilizate pentru proiectarea și implementarea algoritmilor de conducere și navigație a sistemelor robotice autonome sunt Visual Studio, Aria, MobileSim și Matlab.

Roboții mobili cu roți (WMR): Pioneer P3-DX (Fig.1.8), PowerBot (Fig.1.9), PatrolBot (Fig.1.10), PeopleBot (Fig.1.11), fac parte din familia de roboți mobili Pioneer. Compania producătoare a acestor WMR este MOBILE ROBOTS. Acești roboți mobili au în comun arhitectura (cu două roți motoare și una sau două roți libere) și software-ul.

MAV Seekur (4DW/SW) este un robot pregătit pentru orice anotimp și orice tip de vreme, care poate traversa teren accidentat, (Fig.1.12). Are o autonomie de 8-12 ore, tracțiune 4x4 și suspensie independentă pe fiecare roată, poate acoperi o suprafață mare de cercetare și poate fi echipat cu sarcini utile grele.



**Fig.1.8.** WMR Pioneer P3-DX



**Fig.1.9.** WMR PowerBot



**Fig.1.10.** WMR PatrolBot



**Fig.1.11.** WMR PeopleBot

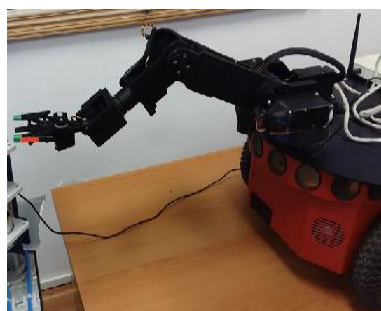


**Fig.1.12.** MAV Seekur



RM Pioneer 5-DOF Arm (Fig.1.14) care poate manipula obiecte până la 150g, având o rază de acțiune de 50 cm de la baza rotativă până la vârful gripperului. Este alcătuit din: bază rotativă, 2 articulații mobile, o articulație pivotantă și rotativă și un gripper pivotant. Toate articulațiile cu excepția gripperului pot pivota și se pot roti cel puțin 180°.

RM Cyton 1500 7-DOF Arm (Fig.1.15) are o rază de acțiune de 68 cm și poate manipula obiecte până la 1,5 kg. Acest tip de manipulator umanoid oferă multe avantaje: datorită numărului mare de grade de libertate, acesta se poate întinde cu ușurință în jurul unui obstacol.



**Fig.1.14.** RM Pioneer 5-DOF Arm



**Fig.1.15.** RM Cyton 1500

## Capitolul 2. Modelarea și conducerea sistemelor autonome integrate în tehnologii de asistare personală medico socială și deservire de linii de fabricație flexibilă

Se vor utiliza două tipuri de reprezentare: în coordonate  $L_h$ , prezentată în Fig.2.1. și în coordonate absolute, prezentată în Fig.2.2, Reprezentare în coordonate  $L_h$  oferă performanțe superioare în urmărirea de traiectorii care includ viraje strânse. Un exemplu de utilizare a acestei tehnici este conducerea vehiculelor rutiere, unde privirea șoferului este concentrată într-un punct în fața mașinii (păstrând astfel o distanță față de limitele maxime ale drumului).

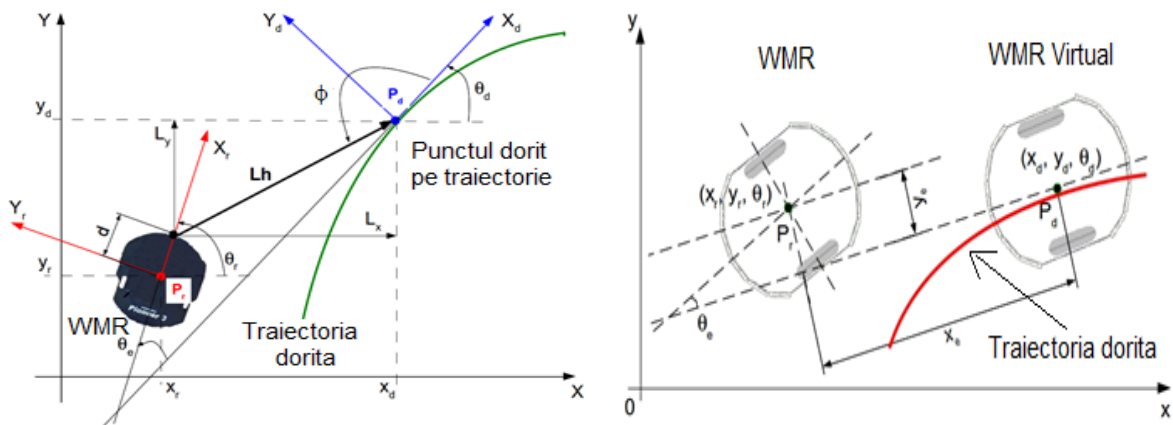


Fig.2.1. Reprezentare în coordonate  $L_h$       Fig.2.2. Reprezentare în coordonate absolute

### 2.1. Modelarea cinematică a CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități

Modelul geometric al scaunului cu roțile, care definește principalele variabile necesare pentru a obține modelul cinematic, este prezentat în Fig.2.3. Pentru determinarea poziției și vitezei de deplasare a scaunului cu roțile, au fost instalate servoamplificatoare și encodere pe cele două roți motoare. Cele două roți libere sunt necesare pentru echilibrul scaunului cu roțile și nu sunt echipate cu niciun fel de senzor, acestea fiind ignorate în modelul cinematic de mai jos.

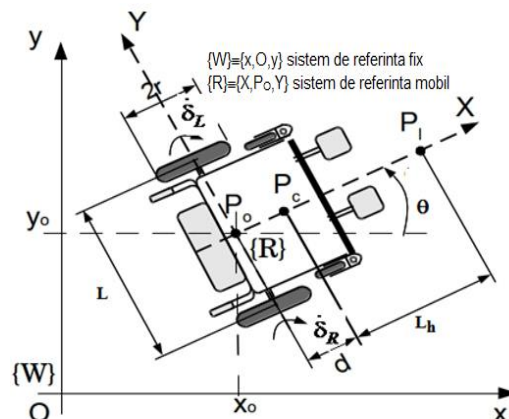


Fig.2.3. Modelul cinematic al CPW (2FW /2DW)

unde:  $P_C$  - centrul de greutate al CPW în sistemul de coordonate fix  $(x_C, y_C)$ , situat pe axa X la o distanță  $d$  de  $P_O$ ; mijlocul distanței dintre roțile motoare ale CPW în sistemul de coordonate fix  $(x_0, y_0)$ ;  $P_I$  - reprezintă un punct virtual de referință atașat platformei cu coordonatele  $(x_I, y_I)$  situat pe axa X la o distanță  $L_h$  de  $P_C$ ;  $\theta$  - unghiul format dintre axa x a sistemului fix și axa X a sistemului mobil;  $d$  - distanța dintre  $P_O$  și  $P_C$ ;  $r$  - raza roților motoare;  $\delta_R, \delta_L$  și  $\dot{\delta}_R, \dot{\delta}_L$  - deplasările unghiulare, respectiv vitezele unghiulare, ale roților motoare din dreapta, respectiv stânga;  $L$  - este distanța dintre cele două roți motoare.

## 2.2. Modelarea și identificarea structurii de acționare și conducere a roților motoare de la CPW

Pentru conducerea motoarelor de curent continuu comandate prin înfășurare rotorică, se pornește de la modelul matematic al sistemului. Pentru comanda deplasării scaunului cu roțile trebuie realizată bucla de conducere a motoarelor pentru roțile motoare. Sistemul format din servoamplificator, motor de curent continuu și reductor de turație generează mișcarea scaunului cu roțile.

## 2.3. Acordarea reguletoarelor PI și implementarea lor pe platforma fizică

Având confirmarea unei funcționări similare a celor două motoare comandate prin reguletoarele PI determinate, acestea vor fi implementate pe CPW, Fig.2.18.

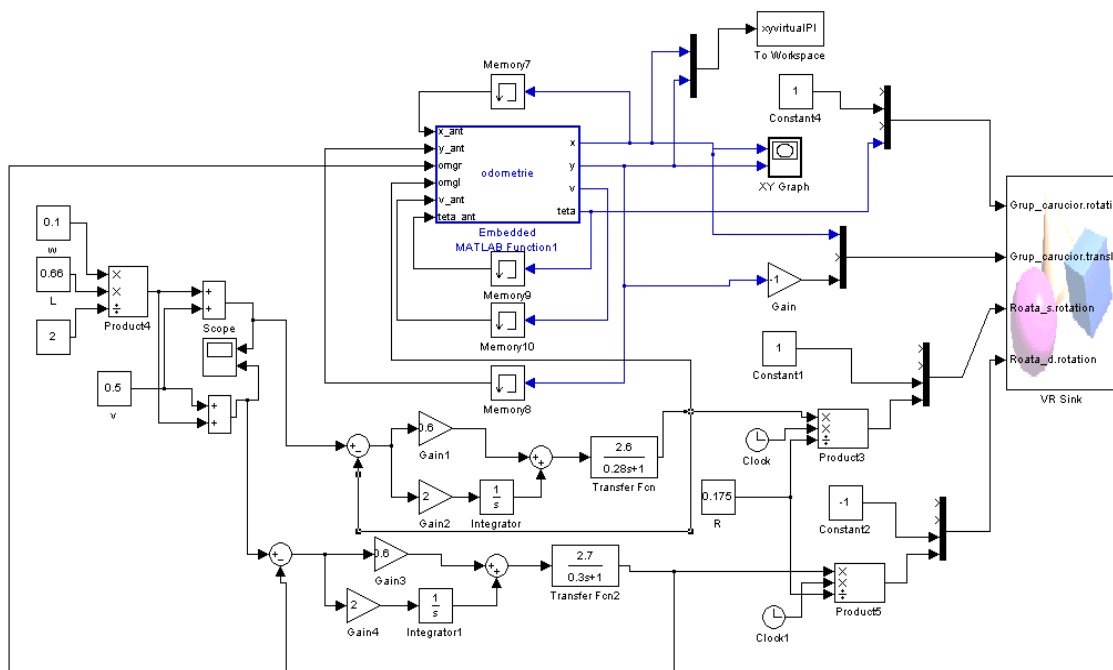


Fig.2.18. Schema Simulink a CPW cu regulator PI

Se observă din Fig.2.20 și Fig.2.21, faptul că sistemul încearcă să urmărească referința. Diferența care apare este aceea că la simularea sistemului s-a făcut cu timp continuu, spre deosebire de răspunsul real al sistemului unde s-a făcut cu timp discret, cu element de reținere de ordinul 0 și timp de eșantionare de 0.25 sec.

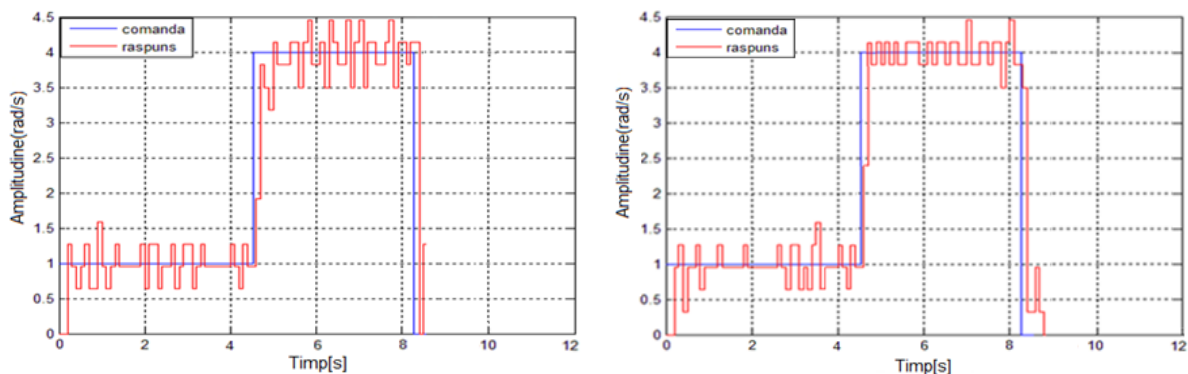


Fig.2.20. Sistemul în buclă închisă aferent roată stânga și dreapta, a CPW, răspuns real

## 2.4. Rezultate de simulare și de timp real la conducerea bazată pe modelul cinematic invers a RM Cyton 1500

Unghiurile utilizate pentru articulațiile manipulatorului corespund unei traiectorii a EOF în vederea preluării unei piese de pe WMR PeopleBot și plasarea piesei pe P/RML, Fig.2.31. Traiectoria corespunde unui task care aparține deservirii unei linii de mecatronică cu sisteme robotice și sisteme servoig vizuale.

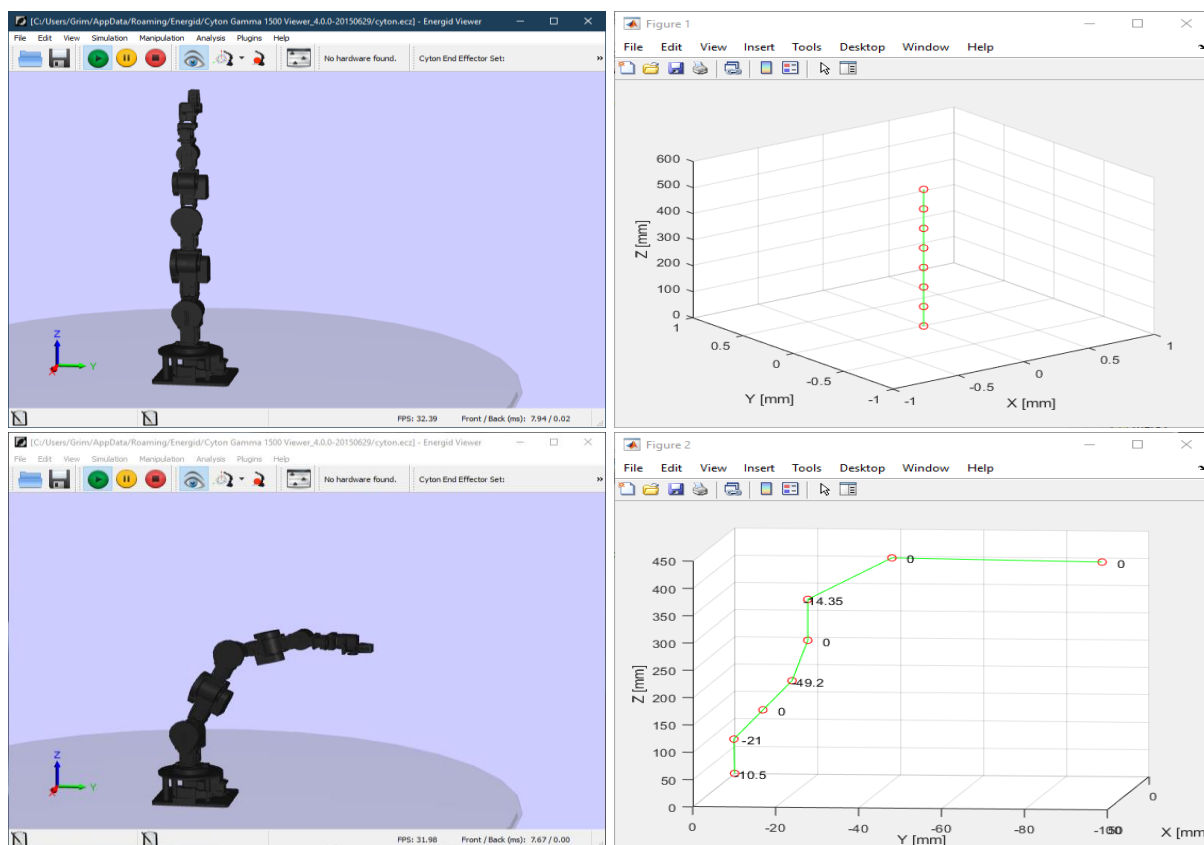
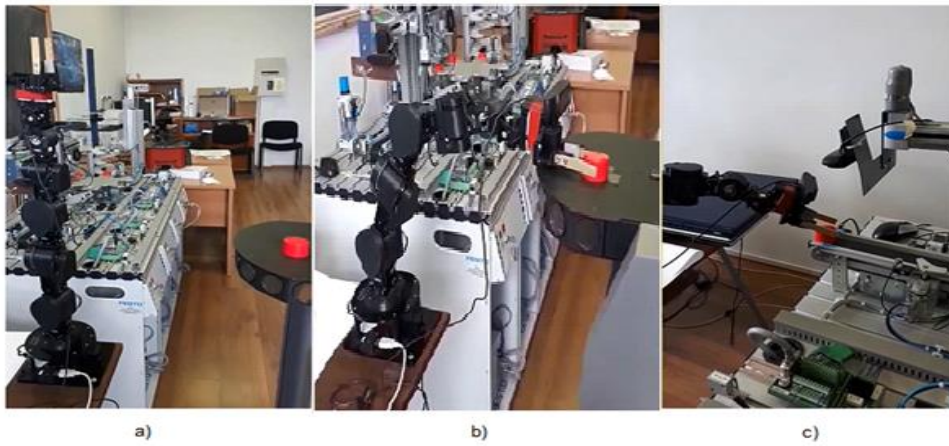


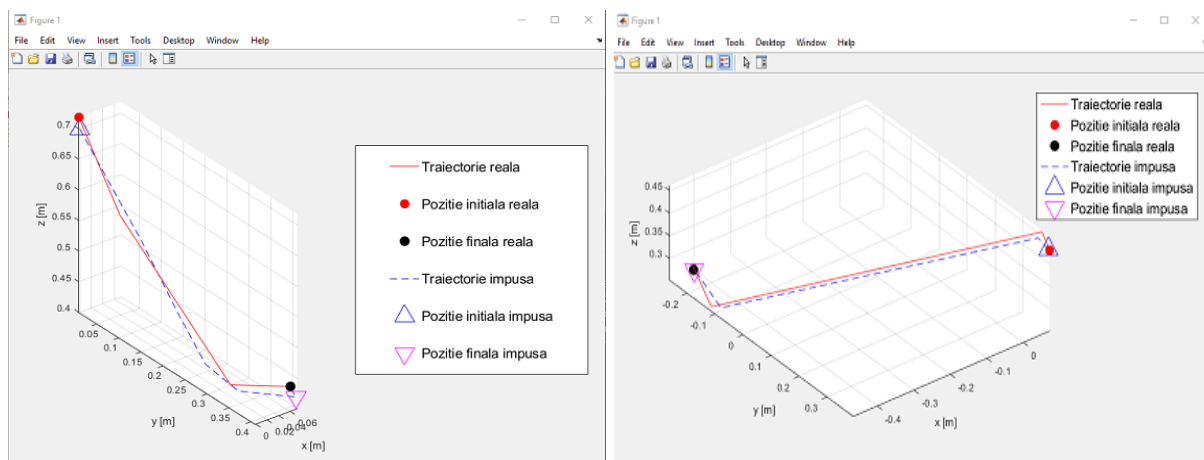
Fig.2.31. Traseul parcurs de EOF-ul brațului robotic Cyton 1500 7-DOF Arm, în simulare

Execuția începe din poziția inițială, Fig 2.32 a), după care coboară cu o viteză constantă și apucă piesa, b), urmând a fi plasată pe linia de fabricație flexibilă, c), și se termină în poziția inițială.

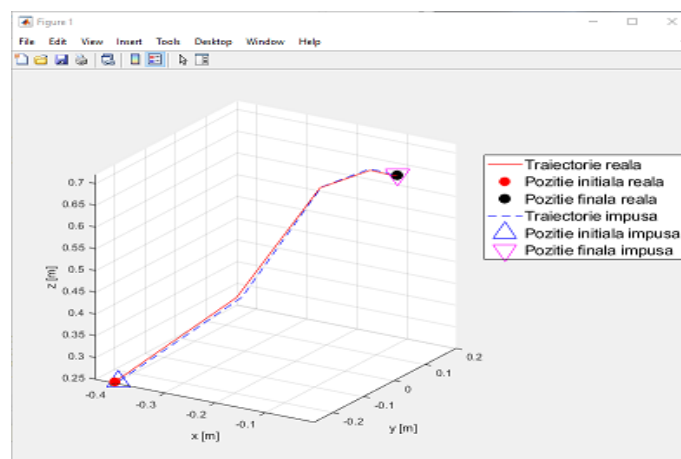
În Fig.2.33, Fig.2.34 și Fig.2.35 sunt reprezentate, în Matlab, cele trei poziții corespunzătoare traseului parcurs de EOF-ul brațului robotic Cyton 1500 7-DOF Arm.



**Fig.2.32.** RM Cyton 1500: a) poziție inițială, b) preluare piesă, c) depozitare piesă



**Fig.2.33.** Preluare piesă și depozitare piesă



**Fig.2.35.** Revenire în poziția inițială

## 2.5. Proiectarea și implementarea în timp real a conducerii SMC bazată pe modelul cinematic sau dinamic

Metoda SMC asigură robustețea sistemului în circuit închis, datorită faptului că asigură performanțe satisfăcătoare la incertitudini de model și parametrice, și exogen perturbator. Scopul SMC este de a constrânge traiectoriile sistemului să ajungă și să rămână, după o perioadă finită de timp, pe un anumit culoar (manifold) alunecător în spațiul stărilor, așa cum este prezentat în [54].

### 2.5.1. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR (2DW/2FW)

Schema bloc, pentru SMC, este prezentată în Fig.2.36.

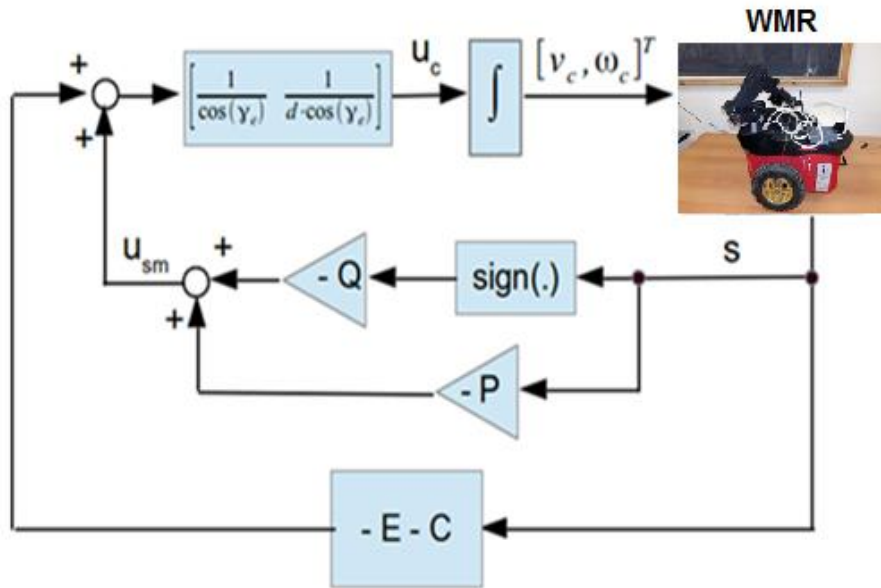


Fig.2.36. Schema bloc pentru SMC

### 2.5.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul cinematic al WMR Pioneer P3-DX

În Fig.2.37 și Fig.2.38 sunt prezentate traiectoria dorită și vitezele dorite ale WMR. În Fig.2.39 este ușor de observat că WMR se mișcă de-a lungul traiectoriei dorite (traiectoria de culoare roșie). În timpul acestei mișcări, acesta menține distanța dorită ( $L_{hd} = 0.3m$ ) și unghiul dorit  $\phi_d = -135^\circ$  față de axa mediană a traiectoriei. Erorile de urmărire simulate și cele în timp real, prezentate în Fig.2.40.

În Fig.2.42 este reprezentată traiectoria obținută în urma implementării algoritmului în timp real. Din această figură, este ușor de observat că WMR Pioneer P3-DX se mișcă de-a lungul traiectoriei dorite, iar traiectoria în timp real este foarte aproape de traiectoria simulată. Se poate observa că cele mai mari diferențe dintre vitezele de comandă și vitezele robotului sunt la începutul implementării în timp real.

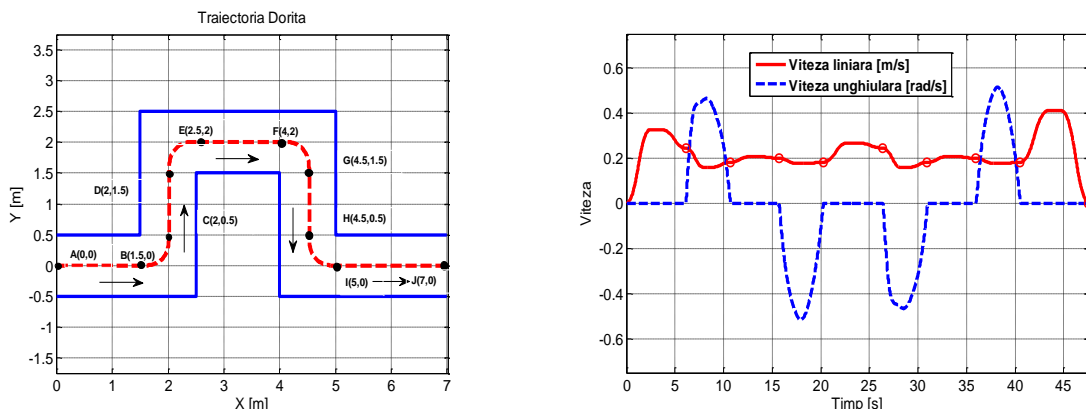
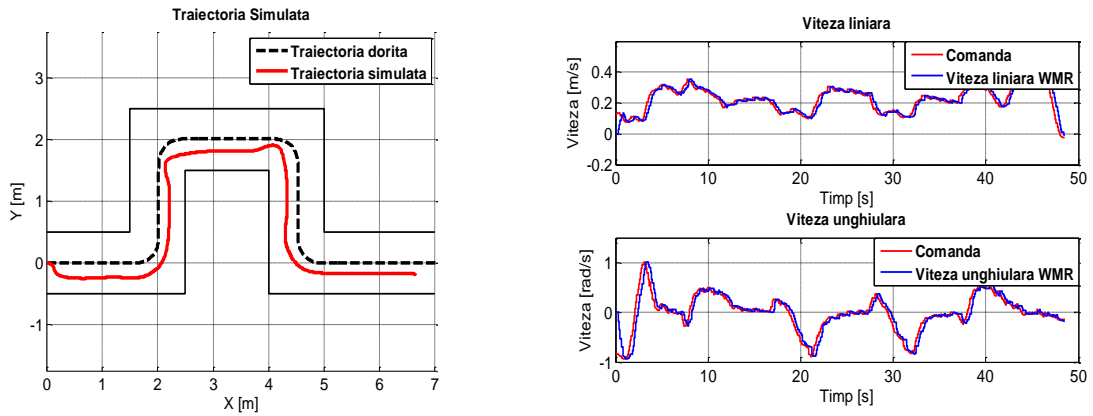
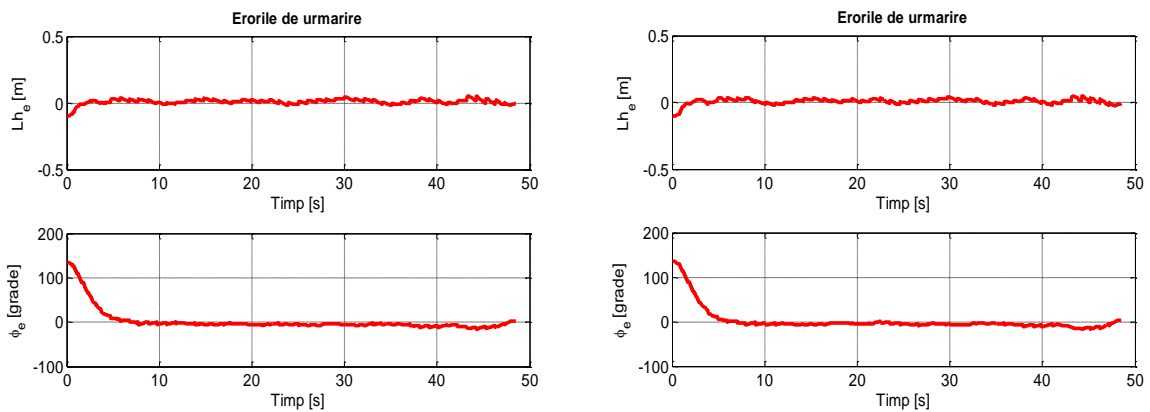


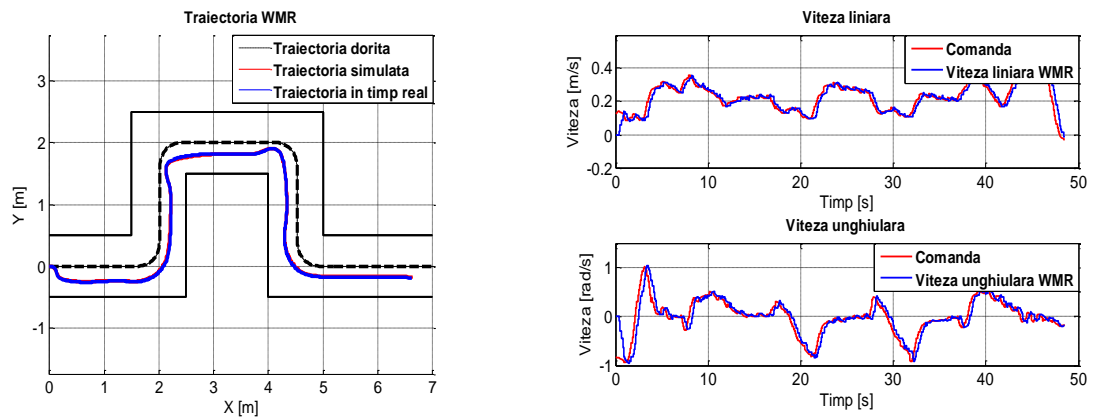
Fig.2.37. Traiectoria, viteza liniară și unghiulară dorită, a WMR în coordonate  $L_h$



**Fig.2.39.** Traectoria dorită, simulată, și evoluția vitezelor liniare și unghiulare a WMR în coordonate  $L_h$



**Fig.2.40.** Erorile de urmărire simulate și cele în timp real a WMR în coordonate  $L_h$



**Fig.2.42.** Traectoria dorită, simulată și evoluția vitezelor liniare și unghiulare din timp real a WMR în coordonate  $L_h$

### 2.5.3. Proiectarea structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR (2DW/2FW)

În Fig.2.46 este prezentată structura de conducere a WMR 2DW/2FW, unde:  $N_L$ ,  $\omega_L$  și  $N_R$ ,  $\omega_R$ , reprezintă numărul de impulsuri, respectiv vitezele unghiulare, de la roata stânga, respectiv dreapta.



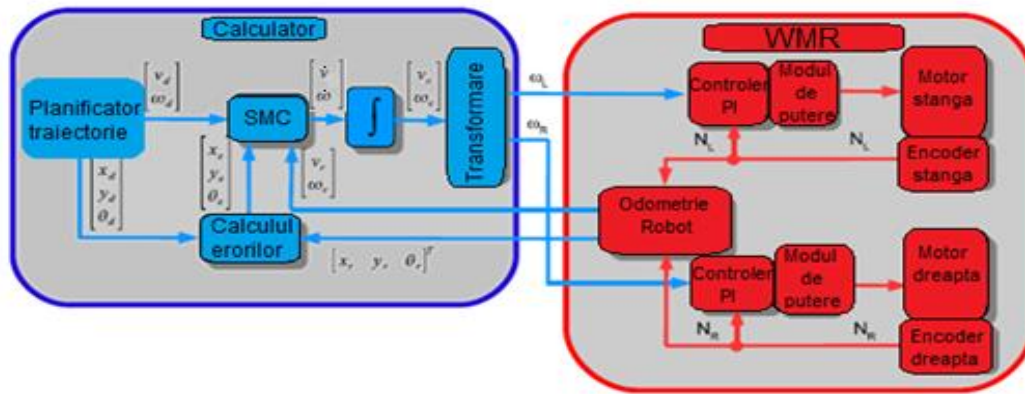


Fig. 2.46. Arhitectura de conducere a WMR

### 2.5.4. Implementarea și testarea în timp real a structurii SMC bazată pe modelul dinamic al WMR PatrolBot

Pentru traiectoria 1 s-au realizat 3 experimente fără masă suplimentară, și alte 3 experimente cu masa suplimentară, la fel s-a procedat și pentru traiectoria 2.

Rezultatele obținute prin simulare, arată că erorile laterală, longitudinală și unghiulară tind să fie zero, cu sau fără masă suplimentară. Traiectoriile și profilele asociate acestora sunt prezentate în Fig.2.47 și Fig.2.48, și au fost obținute folosind algoritmul descris în [59].

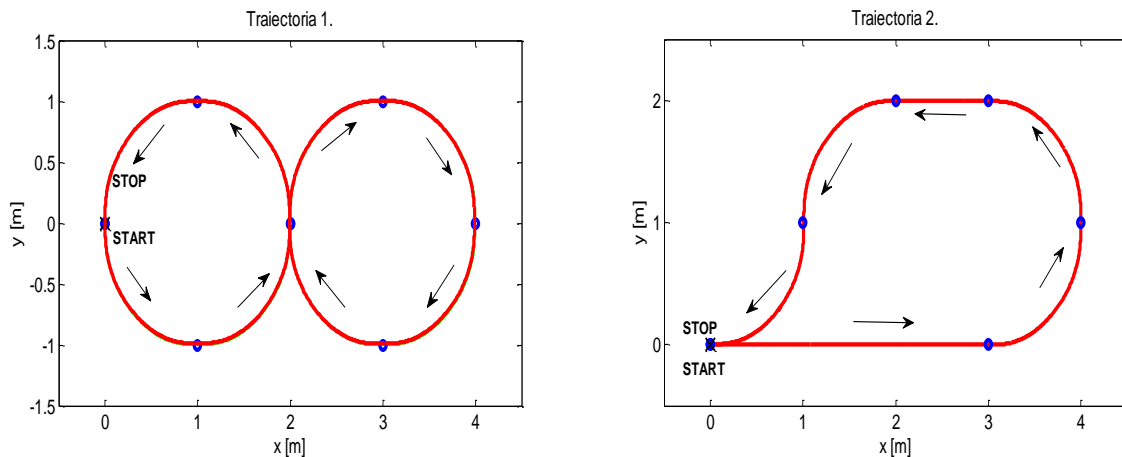


Fig.2.47. Traiectorii propuse pentru simulare

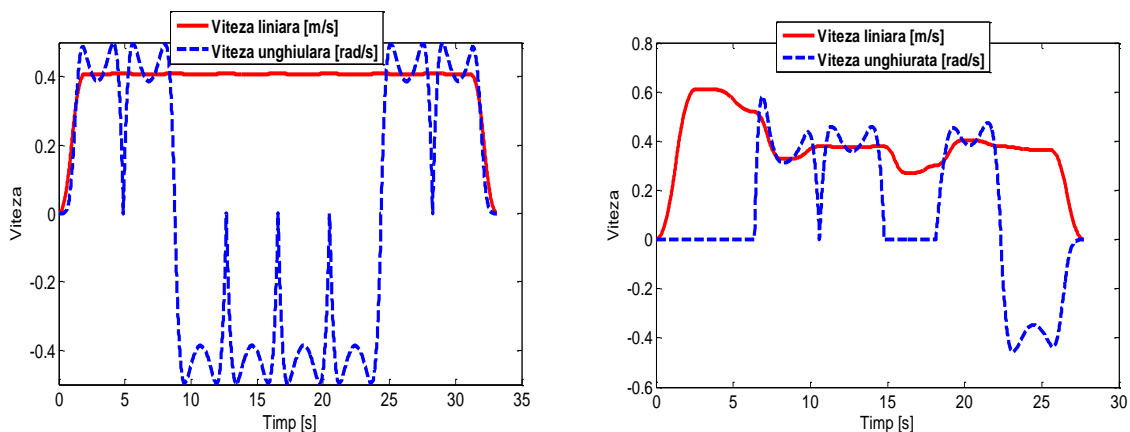


Fig.2.48. Profilele de viteză (liniară cât și cea unghiulară) asociate celor două traiectorii în regim de simulare în coordonate absolute

În Fig.2.49 sunt prezentate rezultatele în timp real utilizând robotul PatrolBot cu masă suplimentară de 3 kg, și fără masă suplimentară pentru ambele traiectorii. Se poate observa că structura de conducere SMC este robustă în ceea ce privește incertitudinile parametrice (masa suplimentară).

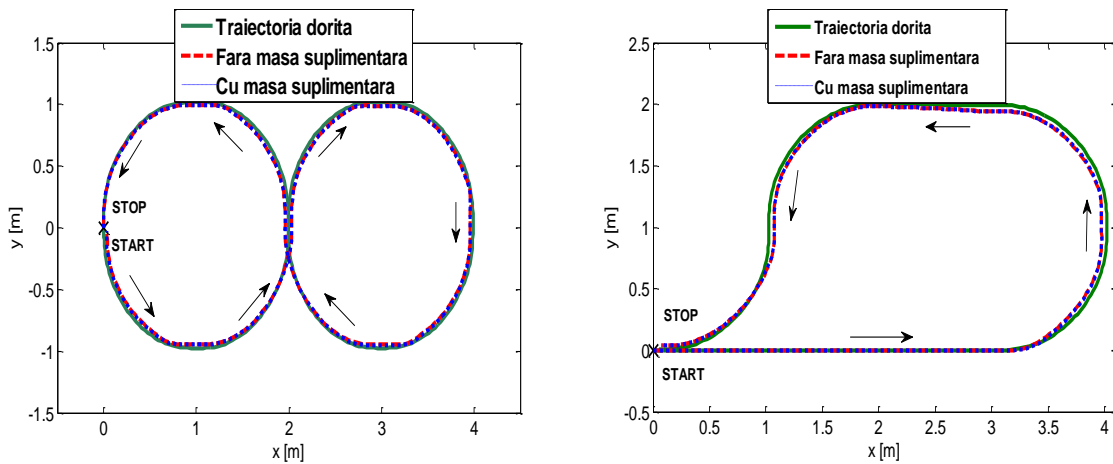


Fig.2.49. Traiectoria în timp real

În Fig.2.50 se poate observa că erorile inițiale, laterală  $x_e = 0.50$ , longitudinală  $y_e = 0.00$  și unghiulară  $\theta_e = 0.00$ , tind să fie zero, în aproximativ 10s.

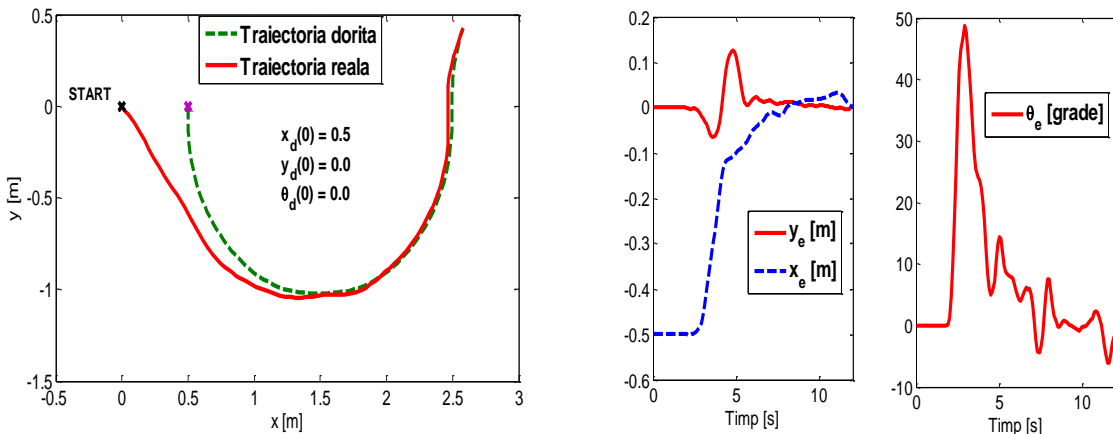


Fig.2.50. Erorile de urmărire în timp real, plecând de la eroarea de stare inițială, în coordonate absolute

## 2.6. Proiectarea și implementarea în timp real a structurii de conducere STSMC pentru WMR

STSMC are performanțe mai bune în urmărirea traiectoriei impuse decât SMC. Această metodă are convergență ridicată și stă pe suprafața de alunecare. Reduce fenomenul de chattering (oscilații de înaltă frecvență suprapusă pe comandă, stare și/sau ieșire), fenomen apărut la conducerea SMC.

În cele din urmă, eficacitatea metodei propuse este demonstrată prin rezultatele simulării și a celor din timp real. Studiul comparativ între STSMC și SMC demonstrează superioritatea metodei propuse.

### 2.6.1. Proiectarea structurii STSMC

Schema bloc, pentru STSMC, este prezentată în Fig.2.51.

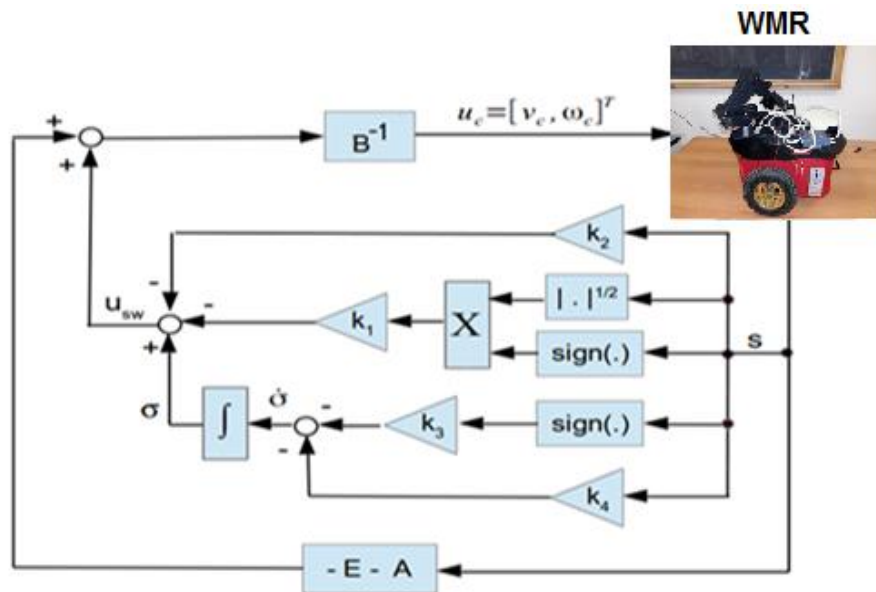


Fig.2.51. Schema bloc pentru STSMC

### 2.6.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii STSMC

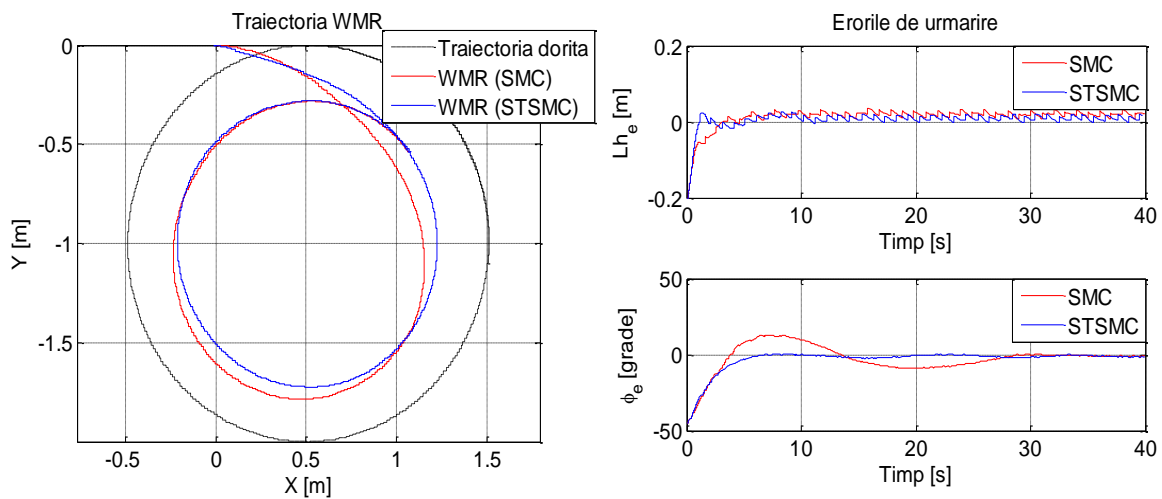
Pentru a face o analiză comparativă a celor două metode, SMC și STSMC, s-au utilizat două tipuri de traiectorii de referință, una circulară (cazul I) și a doua liniară (cazul II).

Analizând cazul (I), se poate observa din Fig.2.52 cu ușurință că erorile de urmărire la STSMC converg spre 0 mai repede decât la SMC.

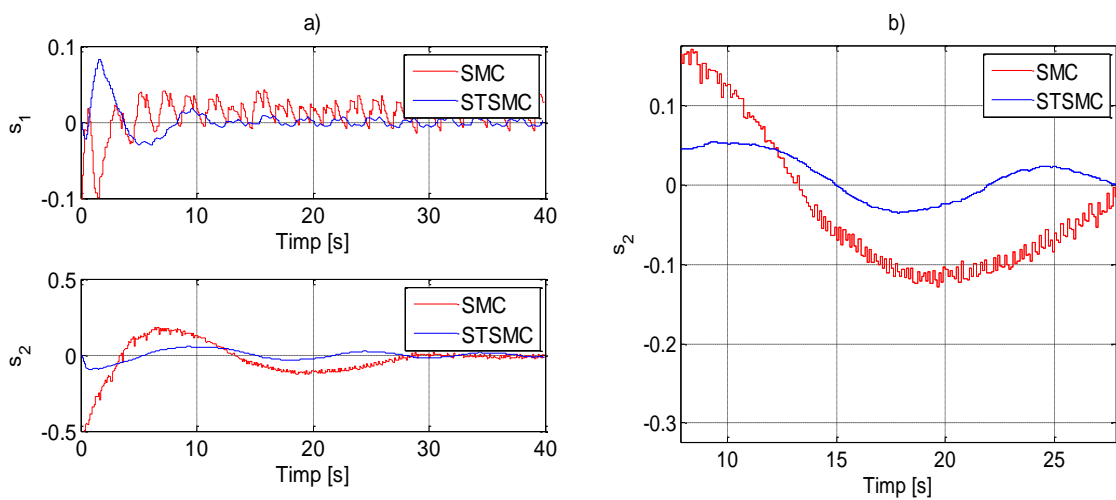
În urma analizei suprafețelor de alunecare  $s_1$  și  $s_2$  din Fig.2.54 a) și b) se poate observa că amplitudinea oscilațiilor este mai mare la SMC decât la STSMC. Asta duce la confirmarea așteptărilor, și anume că STSMC reduce fenomenul de "chattering", apărut din cauza întârzierilor în calculul argumentului funcției de comutație.

În Fig.2.55 sunt reprezentate atât comenzile calculate (viteza liniară  $v_c$ , viteza unghiulară  $\omega_c$ , cât și vitezele de mișcare ale robotului simulat ( $v_r$   $\omega_r$ ). În aceste figuri este ușor de observat atenuarea oscilațiilor generate de comandă pentru STSMC. Intervalul de timp, în care eroarea unghiulară,  $\phi_e$ , converge la 0, pentru comanda STSMC este de 4-5 ori mai scurt decât pentru SMC, Fig.2.52.

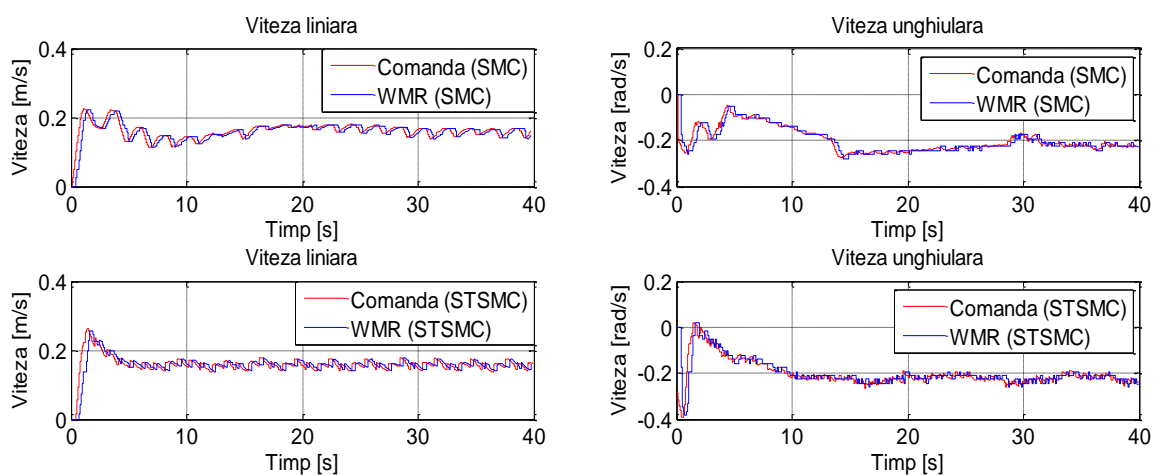
Analizând cazul (II), se poate observa cu ușurință, din Fig.2.57, că erorile de urmărire la STSMC converg spre 0 mai repede decât SMC.



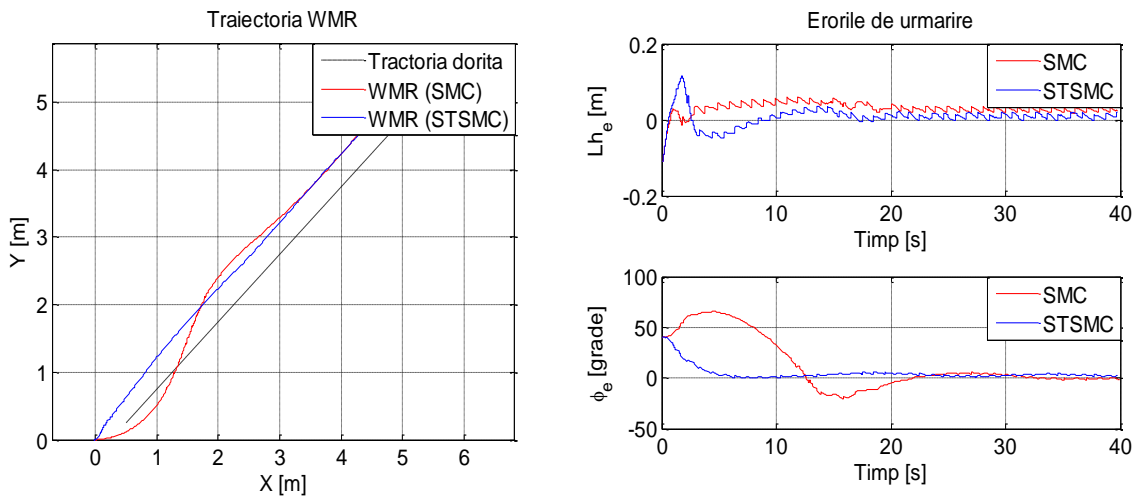
**Fig.2.52.** Traietoria și erorile de urmărire în coordonate  $L_h$  simulate pentru Cazul I



**Fig.2.54.** a) Suprafețele de alunecare în coordonate  $L_h$  simulate pentru Cazul I, b) după pe suprafața de alunecare  $s_2$

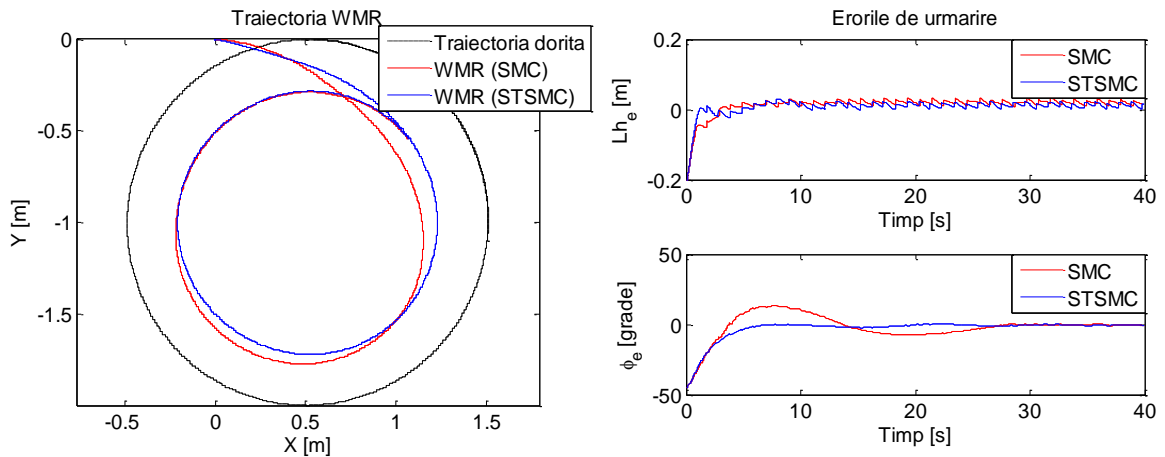


**Fig.2.55.** Viteza liniară și unghiulară în coordonate  $L_h$  simulată pentru Cazul I

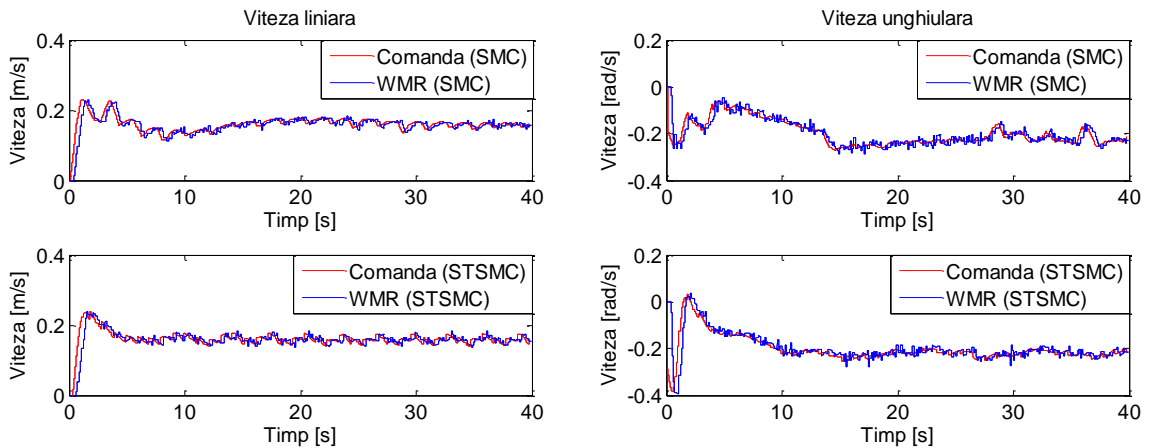


**Fig.2.57.** Traiectoria și erorile de urmărire în coordonate  $L_h$  simulate pentru Cazul II

Rezultatele din urma simulării au arătat avantajele STSMC și au încurajat implementarea în timp real. WMR Pioneer P3-DX a fost utilizat pentru conducerea în timp real. Testele în timp real sunt reprezentate numai pentru primul caz, aceasta fiind suficientă pentru a arăta performanța pentru ambele tipuri de conducere. Rezultatele experimentelor în timp real sunt foarte similare cu rezultatele obținute din urma simulărilor.



**Fig.2.59** Traiectoria și erorile de urmărire în timp real pentru Cazul I în coordonate  $L_h$



**Fig.2.61.** Viteza liniară și viteza unghiulară în timp real pentru Cazul I în coordonate  $L_h$

## 2.7. Conducerea SMC a MAV (4DW/SW)

Arhitectura de conducere a MAV Seekur este prezentată în Fig.2.67. În simulare s-a impus o traiectorie ca cea din Fig.2.68.

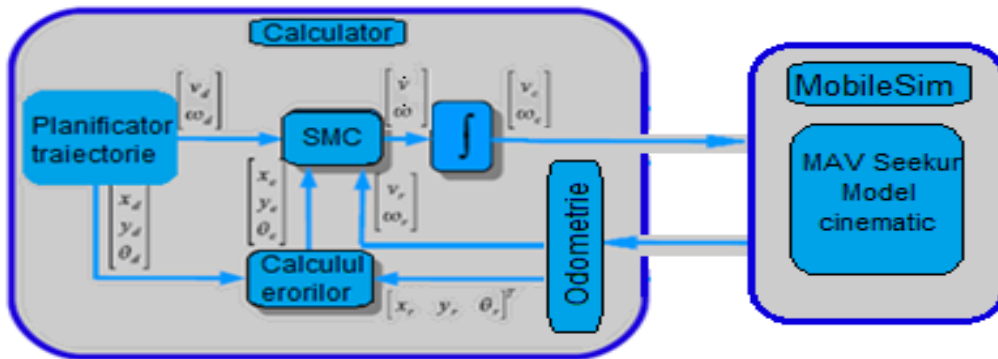


Fig.2.67. Arhitectura de conducere a MAV Seekur

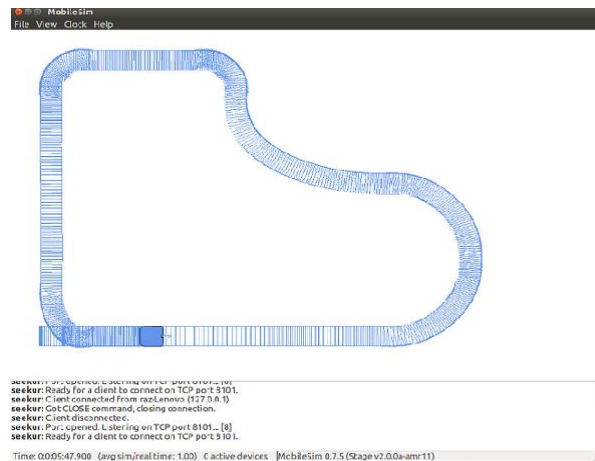


Fig.2.68. Traiectoria în MobileSim a MAV Seekur

În Fig.2.69 sunt prezentate: traiectoria dorită, traiectoria obținută și mărirea pe cele două, la conducerea în buclă închisă, cu date salvate și reprezentate în Matlab. În Fig.2.70 este prezentată eroarea de urmărire la deplasarea pe axa X și eroarea de urmărire la deplasarea pe axa Y. În Fig.2.71 este prezentată eroarea unghiulară. În Fig.2.72 sunt prezentate suprafețele de alunecare s1 și s2 obținute în urmărirea traiectoriei.

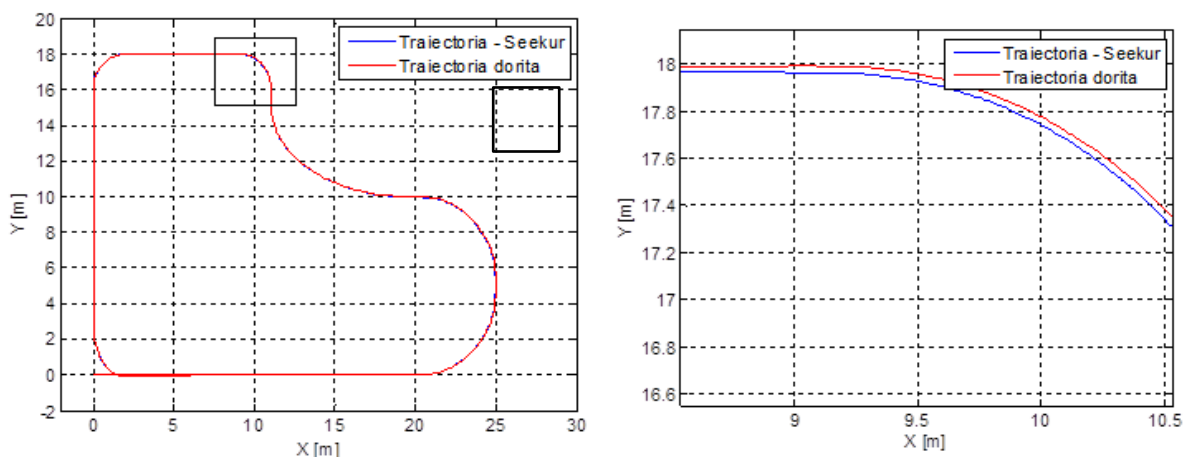
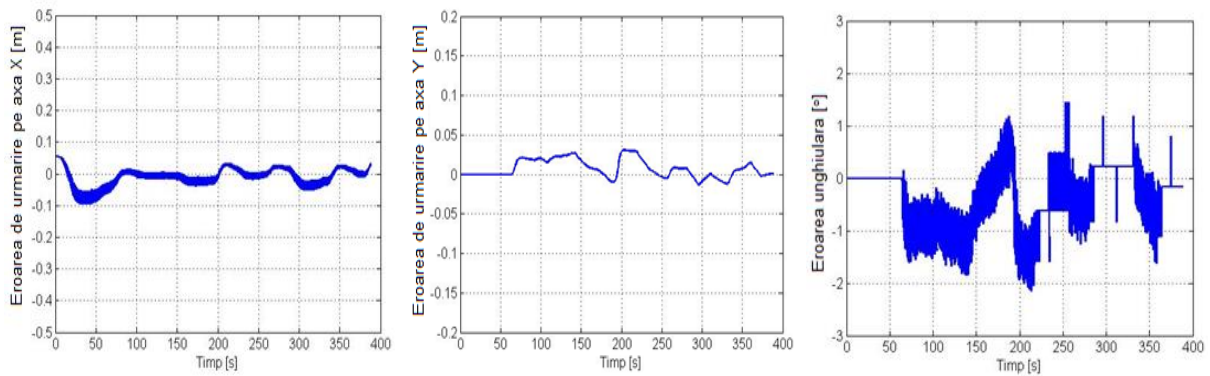
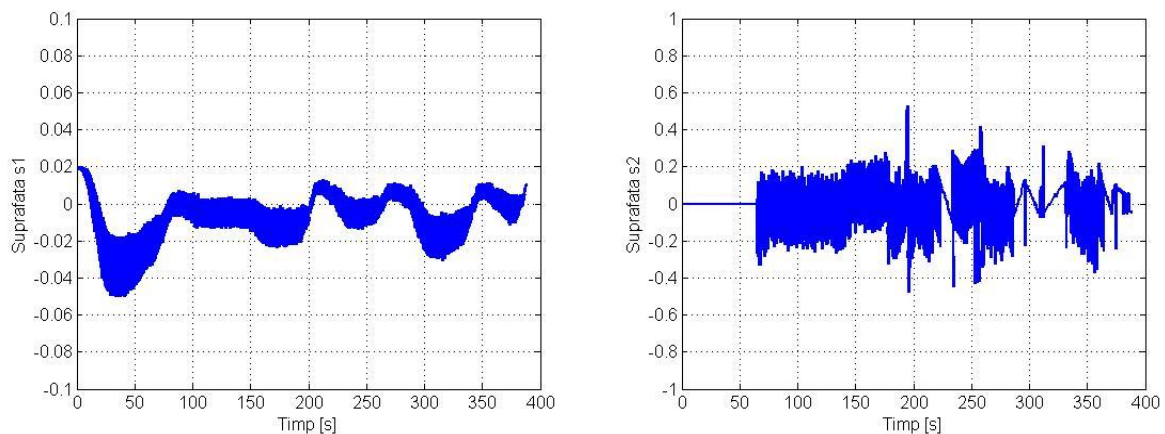


Fig.2.69. Traiectoria dorită și traiectoria MAV Seekur în MobileSim



**Fig.2.70.** Erorile de urmărire la deplasarea pe axa X și pe axa Y și eroarea unghiulară pentru MAV Seekur, în coordonate absolute



**Fig.2.72.** Suprafețele de alunecare s1 și s2 pentru MAV Seekur, în coordonate absolute

## Capitolul 3. Navigația cu evitare de obstacole a sistemelor robotice autonome

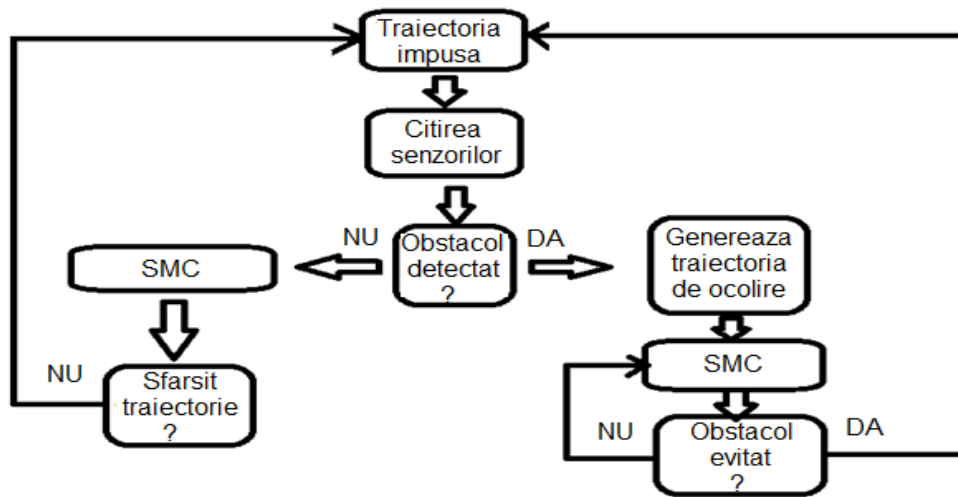
Evitarea obstacolelor, pe durata deplasării pe traiectorie, necesită, în prima fază, identificarea acestora (static, mobil, dimensiuni), în faza a doua, elaborarea unei traiectorii de ocolire, iar în a treia, reînscirerea pe vechea traiectorie.

În teză, navigația cu evitare de obstacole este prezentată etapizat pornind de la senzorii de detectare cu care sunt echipate sistemele autonome, achiziția de date și în final metoda de evitare. Sunt propuși doi algoritmi pentru evitare obstacole, unul asociat atât navigației în exterior cât și în interior, al doilea pentru navigare în spații înguste.

### 3.1. Algoritmi de navigație avansată cu evitare de obstacole

Algoritmul reactiv “bubble rebound” prezentat în [73], a fost utilizat pentru evitarea obstacolelor. Algoritmul definește o bulă de sensibilitate în jurul robotului care este ajustată în funcție de viteza de deplasare a robotului. Odată definită bula, se verifică dacă un obstacol a pătruns în interior. Dacă este detectat un obstacol în interiorul bulei, se generează o traiectorie de ocolire, dată de densitatea minimă de obstacole, până când obstacolul a fost evitat sau este detectat un nou obstacol.

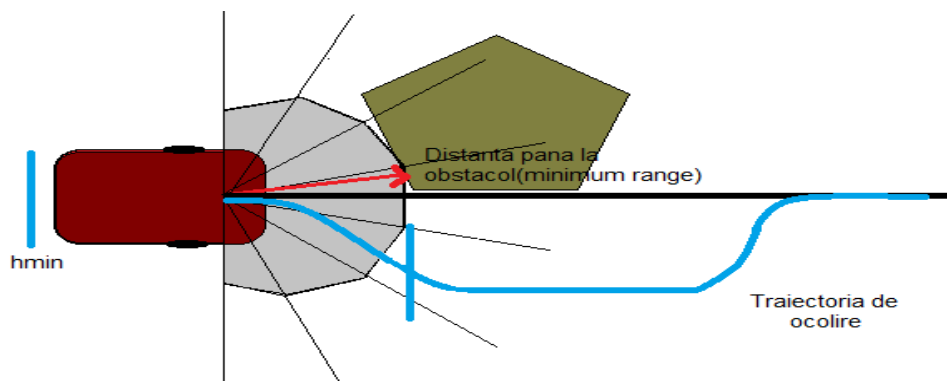
În Fig.3.6 este prezentată schema bloc a algoritmului pentru evitarea de obstacole.



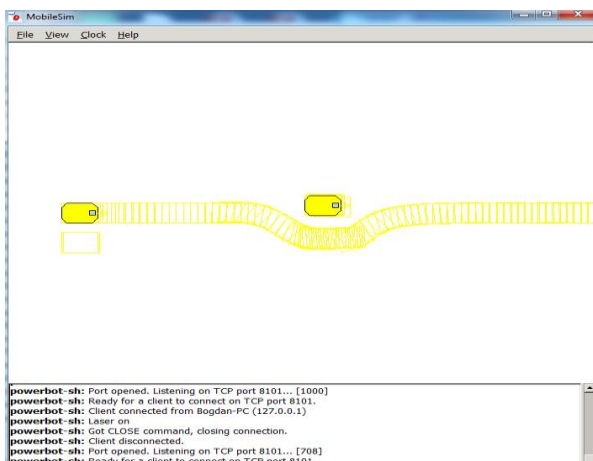
**Fig.3.6.** Schema bloc a algoritmului pentru evitarea de obstacole

Se poate observa în Fig.3.8 că pe traiectoria dorită (linia neagră) se află un obstacol și se dorește găsirea unui punct cu proprietatea ca robotul să poată ocoli obstacolul, adică traiectoria de ocolire (linia albastră). Cunoscându-se lățimea robotului se verifică dacă sonarele detectează un alt obstacol apropiat în direcția de ocolire aleasă.

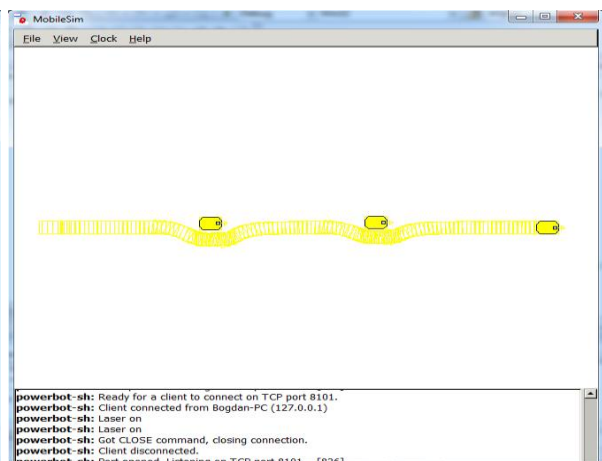
Au fost realizate două experimente în care traiectoria impusă este liniară. Aceasta traiectorie este în primul caz blocată de un singur obstacol, Fig.3.11, iar în al doilea caz traiectoria este blocată de două obstacole, Fig.3.12.



**Fig.3.8.** Traiectoria de ocolire pentru evitarea obstacolului



**Fig.3.11.** Evitarea unui singur obstacol



**Fig.3.12.** Evitarea a două obstacole



Datele din urma simulării în bucla închisă obținute în MobilSim au fost introduse în Matlab pentru reprezentare grafică, Fig.3.13, în care traiectoria impusă este de culoare roșie și traiectoria robotului mobil obținută în simulare este de culoare albastră.

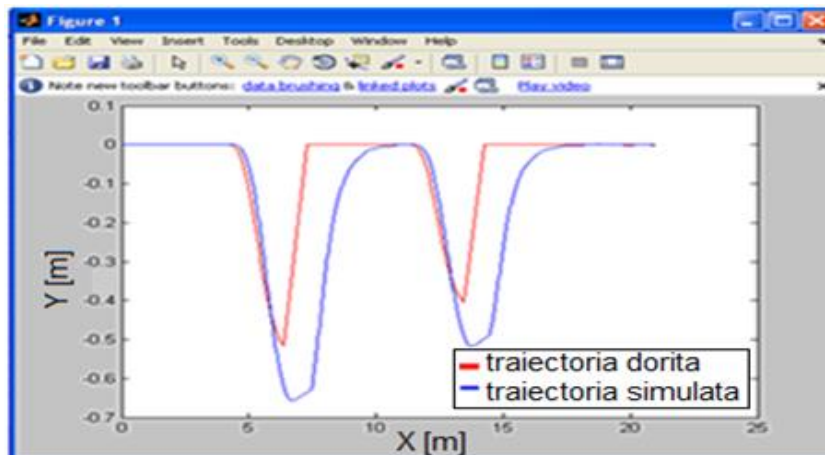


Fig.3.13. Comanda calculată și traiectoria robotului mobil în simulare

### 3.2. Navigație de interior bazată pe sistem laser pentru acces prin spații înguste

Mai jos sunt prezentate trei cazuri diferite de detectare a punctelor mediane cu ajutorul senzorului laser, atunci când spațiul liber este detectat în stânga, în dreapta și în mijloc, față de poziția scaunului cu roțile Fig.3.21.

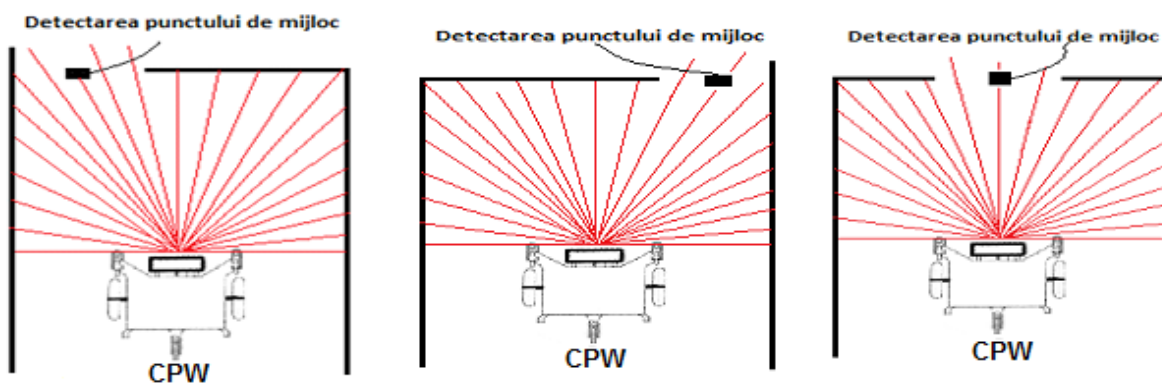


Fig.3.21. Spațiul liber detectat în partea stângă, dreaptă și în partea de mijloc a CPW

### 3.3. Navigația în timp real utilizând algoritmul de trecere prin spații înguste

Traiectoria parcursă de CPW este reprezentată de punctele mediane, calculate în funcție de numărul de ferestre libere. Algoritmul rulează în timp real. După parcurgerea primelor puncte mediane, se vor recalcula alte puncte mediane, odată cu schimbarea poziției CPW.

*Cazul 1* - Poziționare CPW în dreptul spațiului îngust care permite trecerea. În urma reprezentării grafice a traiectoriei obținute cu ajutorul Matlab, se poate observa traiectoria pe care acesta și-o stabilește, Fig.3.25.

*Cazul 2* - Poziționarea CPW în raport cu două spații înguste, poziționare care permite trecerea numai pe unul dintre ele. Se poate observa în Fig.3.26 traiectoria pe care acesta și-o stabilește.

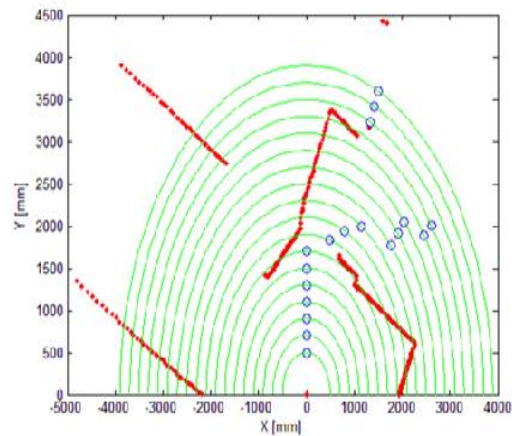


Fig.3.25. Imaginea reală a CPW și graficul obținut pentru Cazul 1

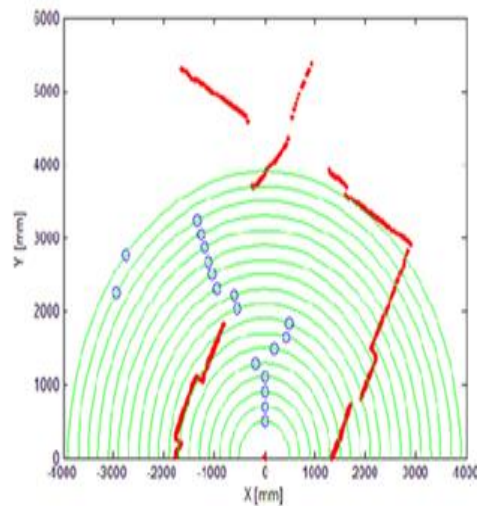
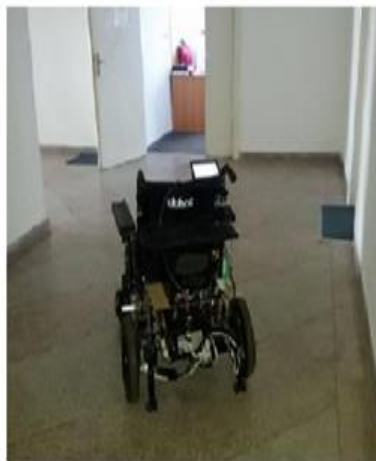


Fig.3.26. Imaginea reală a CPW și graficul obținut pentru Cazul 2

## Capitolul 4. Conducerea și navigația sistemelor robotice autonome implicate în tehnologii de asistare personală și deservire de linii de fabricație de precizie

În acest capitol este propus un algoritm pentru implementarea și testarea în timp-real a structurii de conducere și de navigație a CPW destinat în special asistenței persoanelor cu dizabilități. De asemenea, este implementată o structură de conducere a unei linii de mecatronică de prelucrare/reprelucrare deservită de platforme robotice mobile, manipuloare robotice și sisteme servoing vizuale.

Abordarea propusă în prezenta teză satisface noile concepte de conducere a proceselor de fabricație flexibilă de prelucrare/reprelucrare (P/R), [82], [83], [84], pe sisteme de laborator (linii de mecatronică) deservite de sisteme robotice autonome echipate cu manipuloare și sisteme servoing vizuale. Se dorește creșterea productivității și a gradului de automatizare. De asemenea, abordarea propusă răspunde noilor cerințe, de recuperare și reutilizare a pieselor sau componentelor care nu corespund calitativ, în urma parcurgerii unui proces tehnologic.

#### 4.1. Proiectarea unei structuri de conducere și navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe

Pentru a identifica cât mai bine mișcările globului ocular și pentru o detecție cât mai bună a irisului, a fost conceput un sistem pentru achiziția datelor, format dintr-o pereche de ochelari la care a fost atașată o cameră video, cu un sistem de prindere reglabil, pentru focalizare, Fig.4.2.

În Fig.4.8 este prezentată schema logică a algoritmului pentru prelucrarea imaginilor și identificarea direcției.

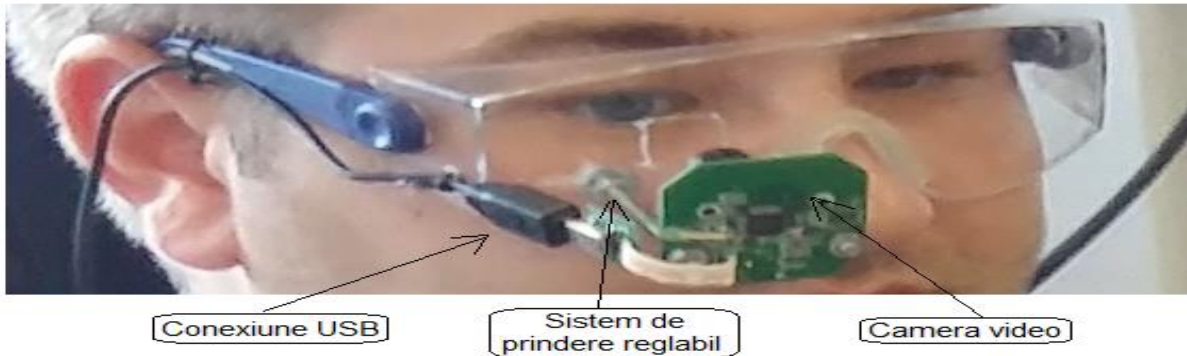


Fig.4.2. Camera video atașată de o pereche de ochelari

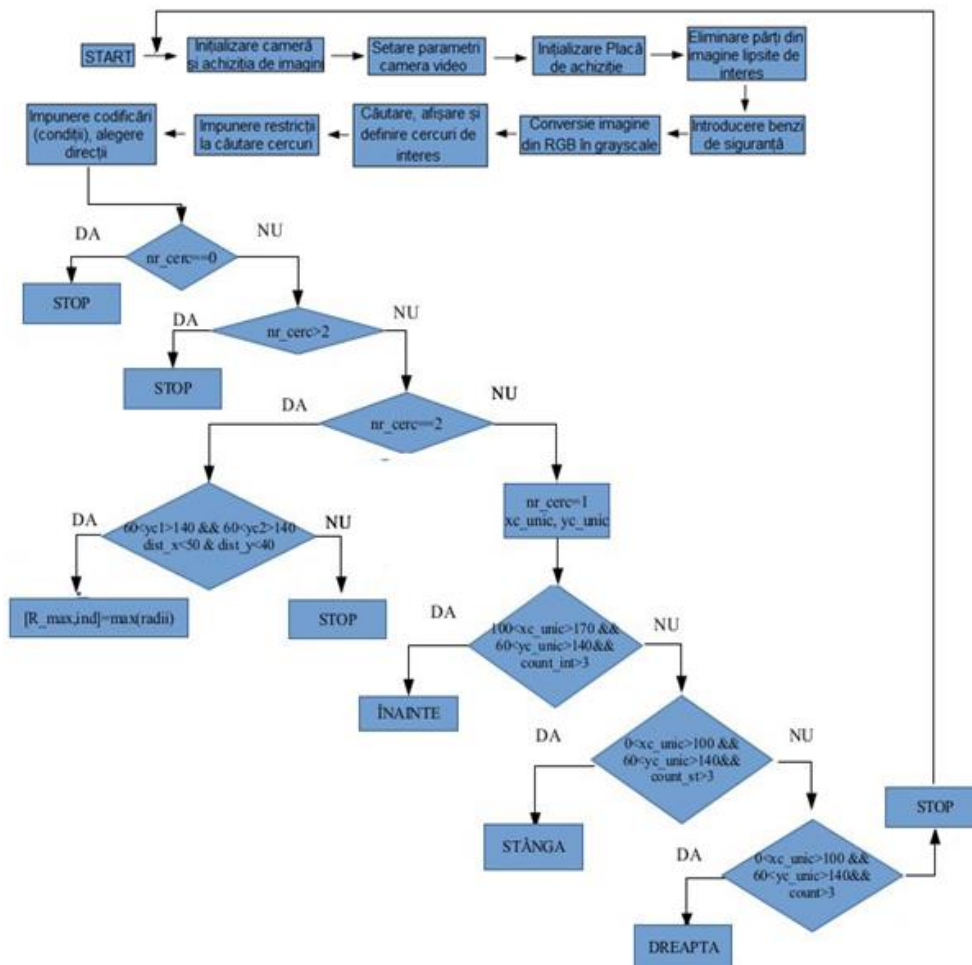
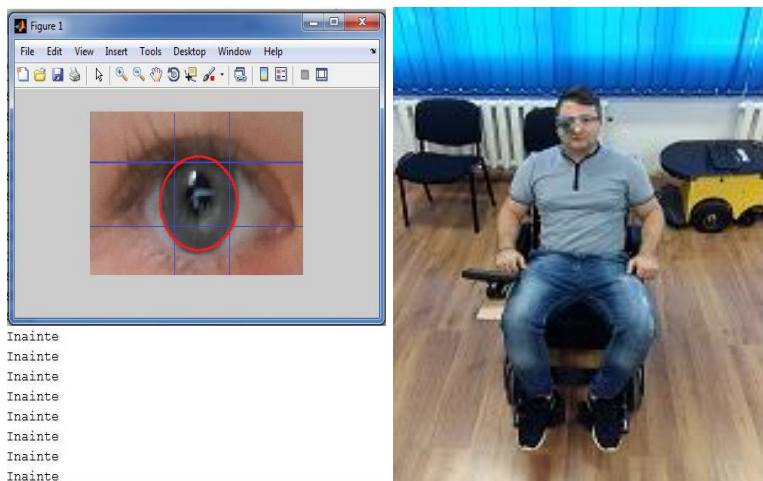


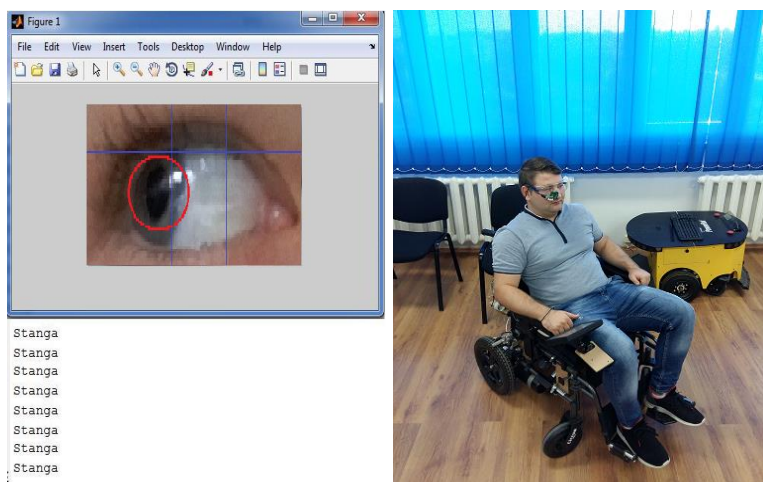
Fig.4.8. Schema logică a algoritmului realizat

## 4.2. Implementarea și testarea în timp real a structurii de conducere și de navigație a scaunului pentru persoanele cu dizabilități neurolocomotorii severe

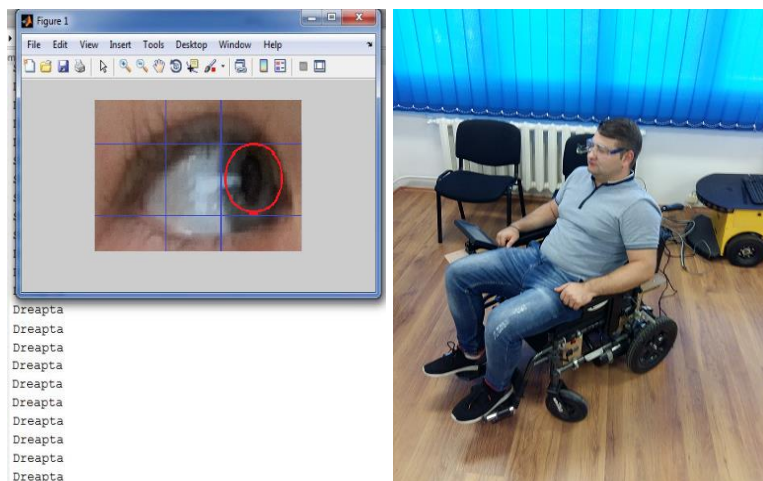
Rezultatele testelor efectuate în timp real pentru comenzile pentru deplasarea pe trei direcții și oprire, bazate pe identificarea cercurilor valide: ÎNAINTE, Fig.4.12; STÂNGA, Fig.4.13; DREAPTA, Fig.4.14; STOP, Fig.4.15.



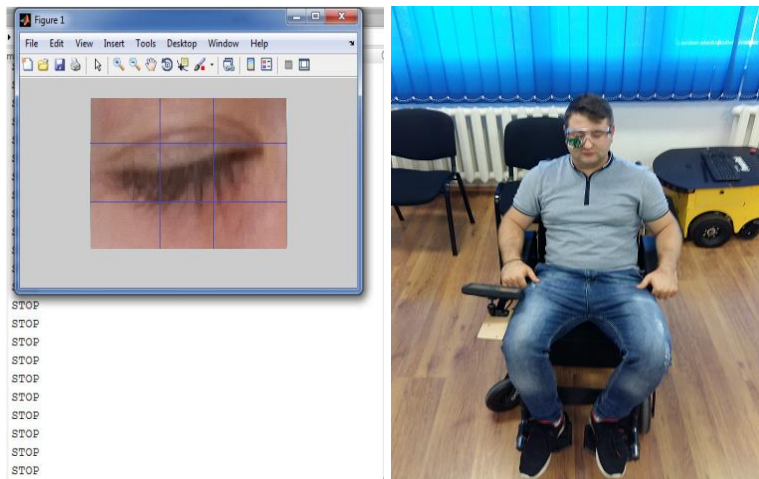
**Fig.4.12. ÎNAINTE, cerc valid: contur roșu**



**Fig.4.13. STÂNGA, cerc valid: contur roșu**



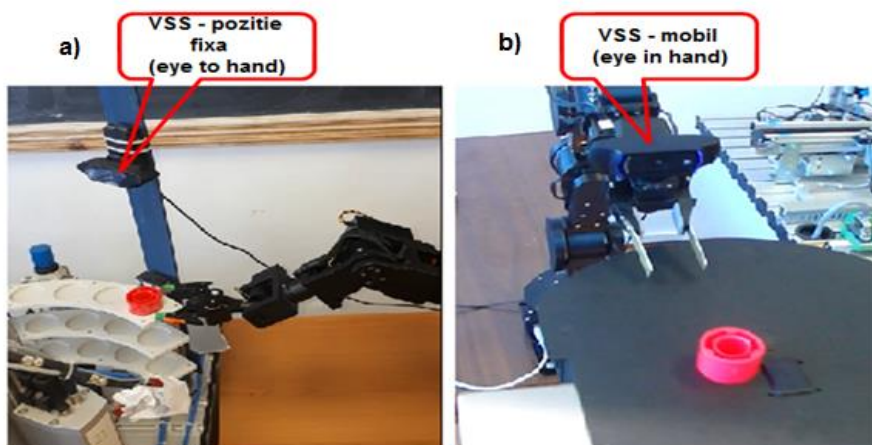
**Fig.4.14. DREAPTA, cerc valid: contur roșu**



**Fig.4.15. STOP**

### 4.3. Platforme mobile, manipuloare robotice și sisteme servoing vizuale integrate într-o tehnologie de asistare a unei linii de fabricație de precizie

Arhitectura VSS eye to hand, este definită prin montarea senzorului vizual într-o poziție fixă în raport cu mediul de lucru, Fig.4.16 a), iar arhitectura VSS eye in hand este definită prin montarea senzorului vizual pe EOF-ul RM-ului Cyton 1500, Fig.4.16 b).



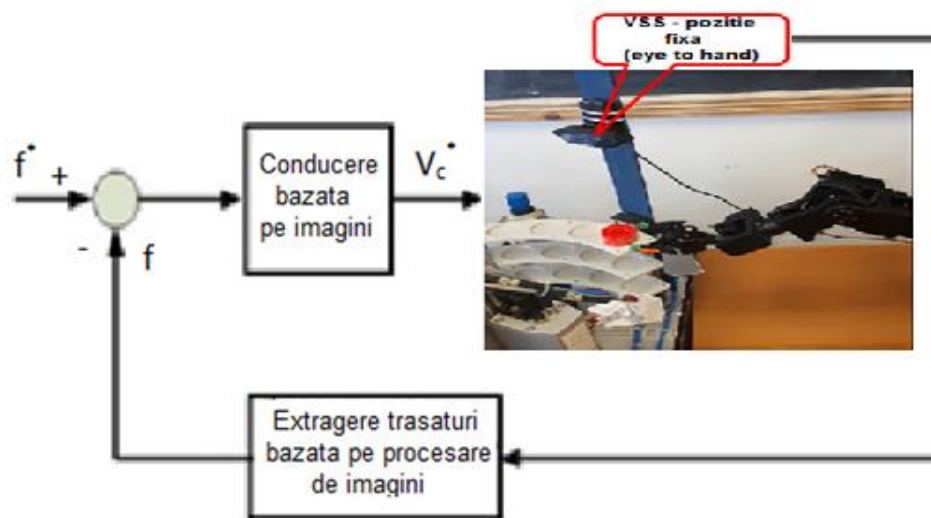
**Fig.4.16. Tipuri de VSS**

Structura VSS are la bază un sistem autonom compus dintr-un robot mobil echipat cu manipulator, un regulator și un senzor vizual. Ideea principală pentru modelarea VSS este de minimizare a erorii dintre caracteristicile reale, extrase de senzorul vizual, și caracteristicile dorite. În Fig.4.17 și Fig.4.18 sunt prezentate principalele structuri de control ale VSS.

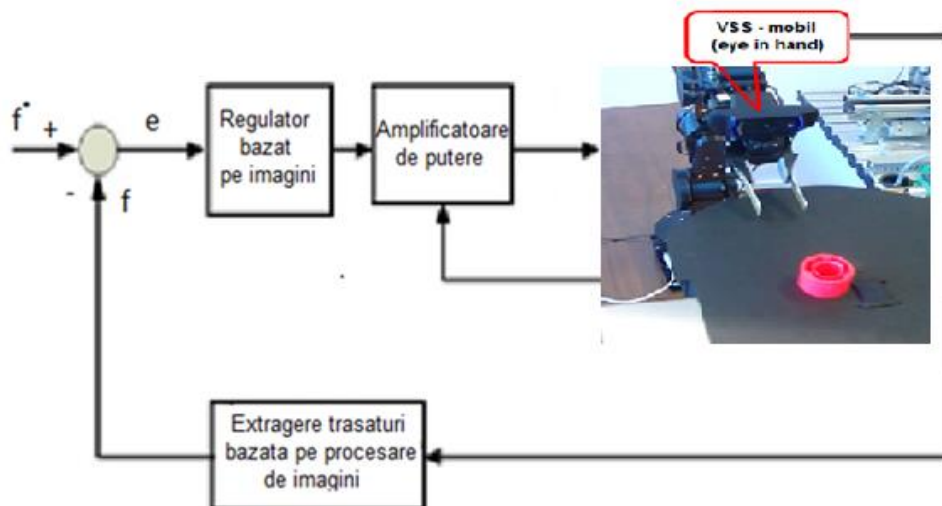
Linia de fabricație de precizie, în cazul de față, este sistemul mecatronic FESTO MPS-200, Fig.4.19. Este alcătuită din 4 stații de lucru, fiind deservită de doi roboți mobili (WMR), două manipuloare robotice (RM) și două tipuri de sisteme servoing vizuale (VSS) pentru preluarea, transportarea și predarea piesei de lucru.

În Fig.4.22 este prezentată diagrama bloc care definește ciclul de prelucrare și re prelucrare a sistemului mecatronic FESTO MPS-200. Această diagramă are la bază un graf de

reprezentare, evidențiindu-se ciclul de prelucrare și re prelucrare al piesei, în funcție de culoarea acesteia, [82], [83].



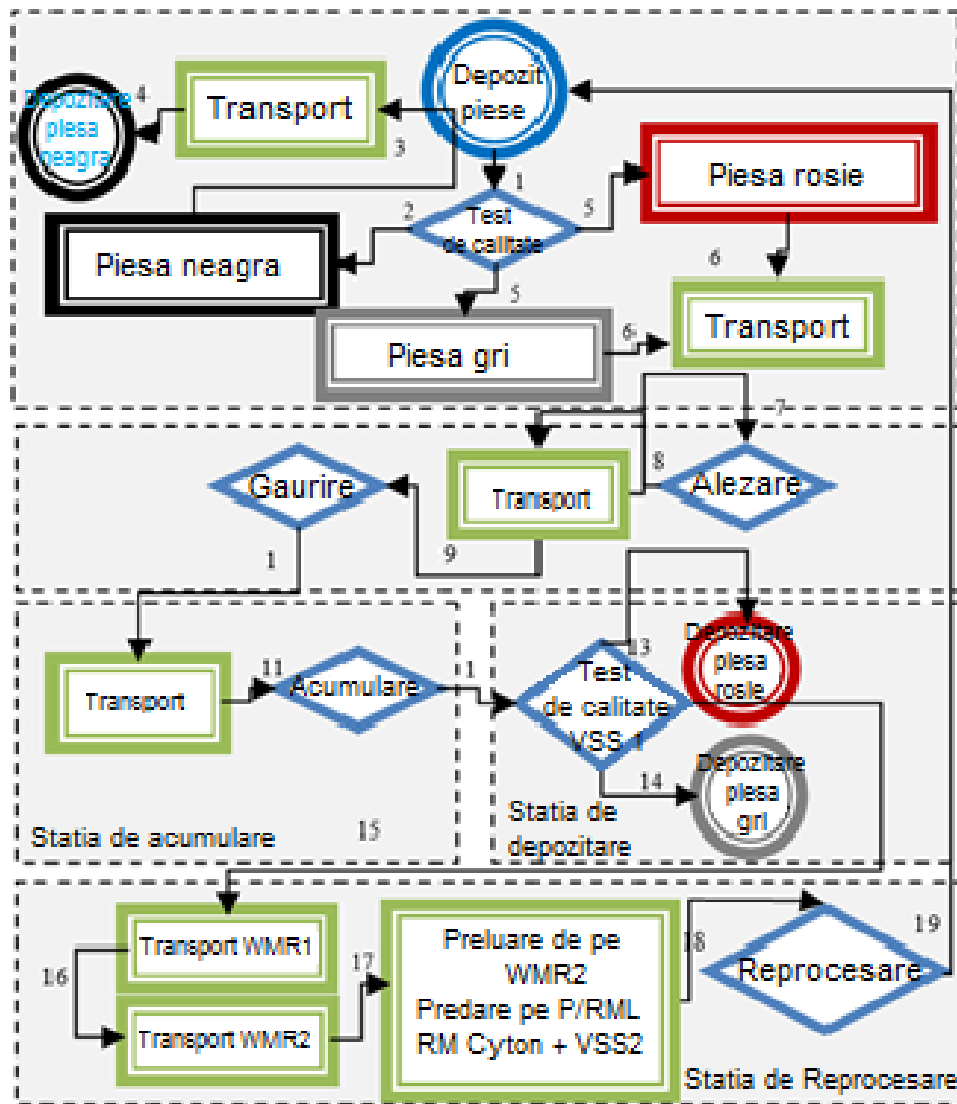
**Fig.4.17.** Conducerea în buclă închisă bazată pe VSS eye to hand a WMR Pioneer P3-DX echipat cu RM Pioneer 5-DOF Arm



**Fig.4.18.** Conducerea în buclă închisă bazată pe VSS eye in hand a RM Cyton 1500

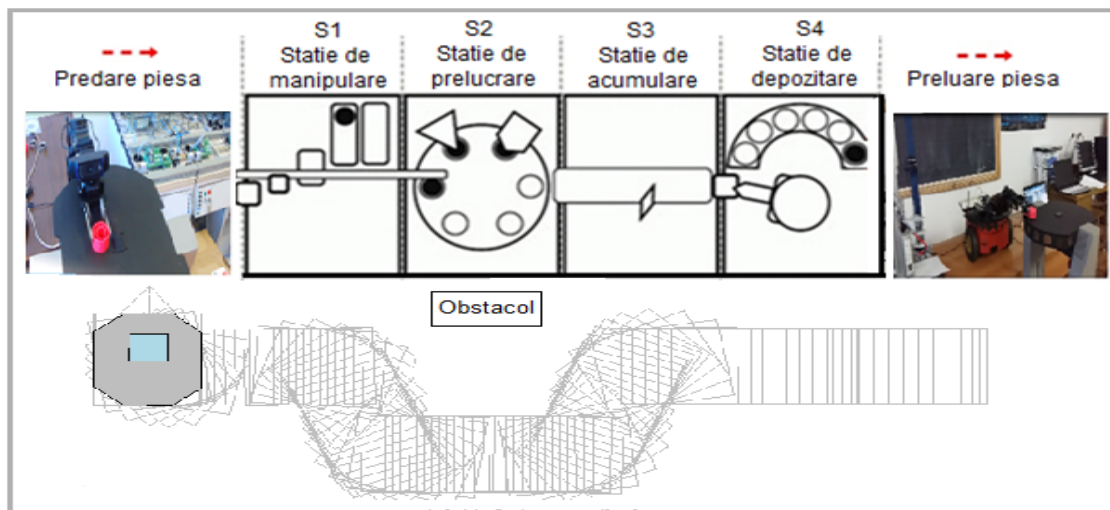


**Fig.4.19.** Sistem flexibil de fabricație FESTO MPS-200



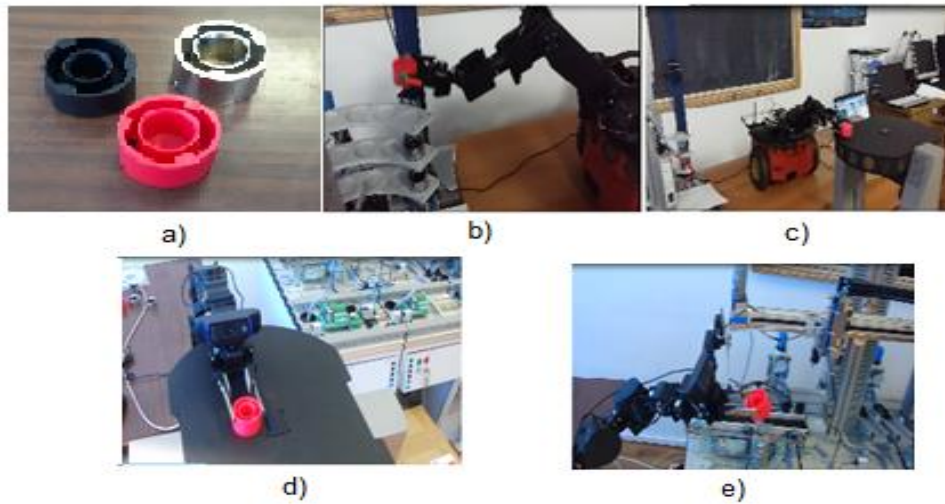
**Fig.4.22.** Diagrama bloc care definește ciclul de prelucrare/reprelucrare a sistemul mecatronic FESTO MPS-200

Se poate observa în Fig.4.23 traiectoria în MobileSim a WMR PeopleBot atunci când întâlnește un obstacol.



**Fig.4.23.** Traiectoria în MobileSim a WMR PeopleBot în coordonate absolute

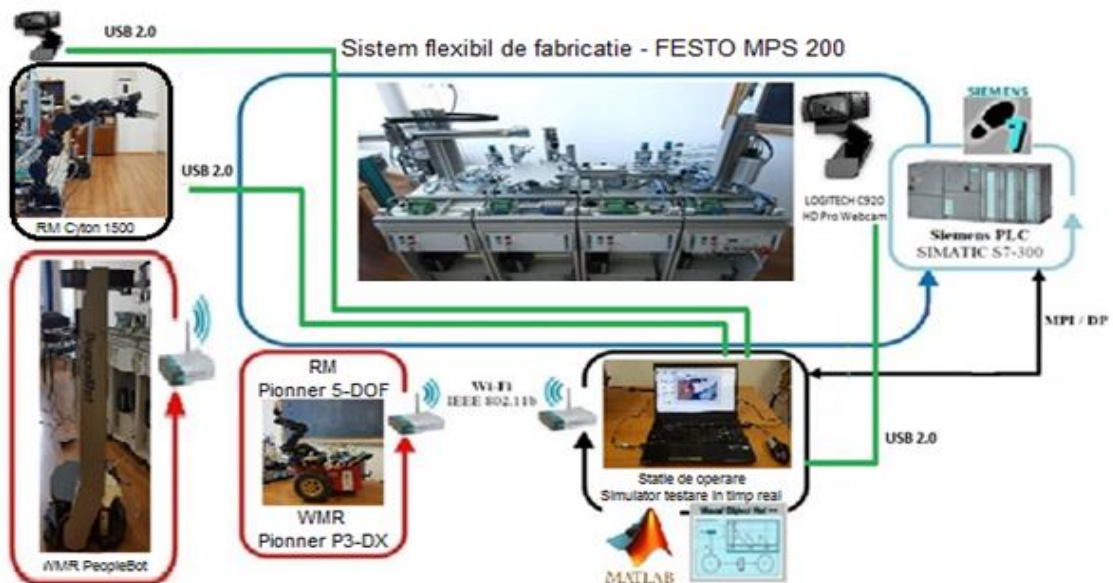
În Fig.4.24, sunt prezentate tipurile de piese utilizate și câteva etape din ciclul liniei de fabricație de precizie bazată pe platforme mobile, manipolatoare robotice și sisteme servoing vizuale.



**Fig.4.24.** a) tipuri de piese utilizate; b) WMR Pioneer P3-DX cu RM Pioneer 5-DOF preia piesa de pe P/RML; c) WMR Pioneer P3-DX predă piesa pe WMR PeopleBot; d) RM Cyton 1500 preia piesa de pe PeopleBot; e) RM Cyton 1500 predă piesa pe P/RML pentru prelucrare

#### 4.4. Conducerea în timp real a liniei de fabricație de precizie deservită de sisteme robotice și servoing vizuale

Structura de comunicație a întregului sistem, Fig.4.25, se face pe baza unui protocol TCP/IP. La PC sunt conectate trei camere web HD, două dintre ele sunt montate pe P/RML și una pe EOF-ul brațului robotic Cyton 1500.

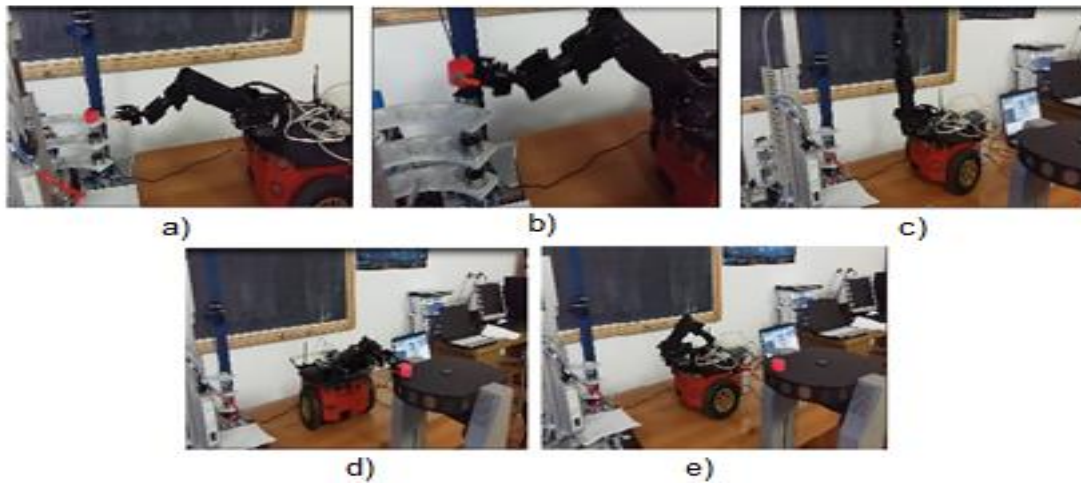


**Fig.4.25.** Structura de comunicație a liniei de fabricație de precizie

În Fig.4.27 sunt prezentate etapele în timp real cu poziționarea de precizie, bazată pe VSS fix, a manipulatorului robotic Pioneer 5-DOF Arm: a) Deplasare WMR Pioneer P3-DX și



poziționare pentru a prelua piesa de pe P/RML, b) preluare piesă, c) Deplasare WMR Pioneer P3-DX către WMR PeopleBot, d) predare piesă pe WMR PeopleBot, e) întoarcere în poziția inițială a WMR Pioneer P3-DX.



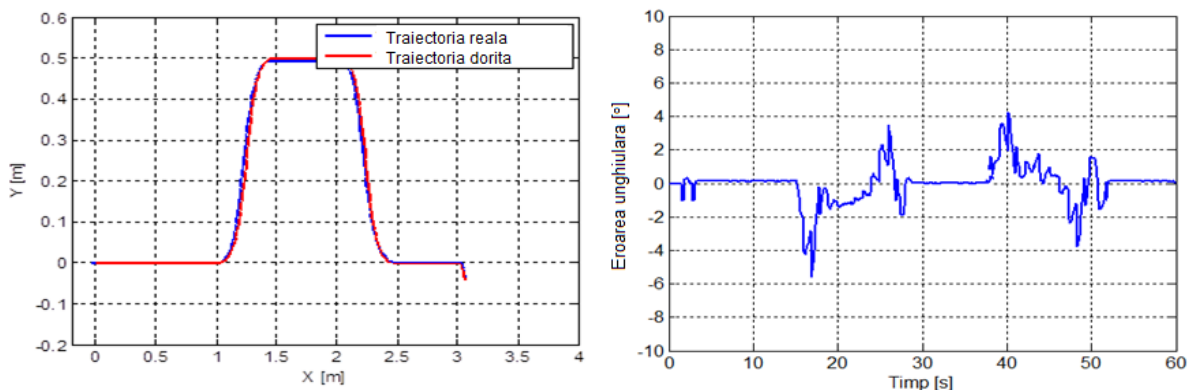
**Fig.4.27.** Imagini din timp real în care WMR Pioneer echipat cu RM Pioneer 5-DOF preia piesa de pe P/RML și o predă pe WMR PeopleBot

În Fig.4.28 sunt prezentate: traiectoria dorită, traiectoria reală și eroarea unghiulară (în coordonate absolute) a WMR PeopleBot la conducerea SMC în buclă închisă. Se poate observa o mică deviație a traiectoriei în momentul în care WMR PeopleBot execută întoarcerea de  $90^\circ$  și că eroarea maximă este de  $\pm 6^\circ$ .

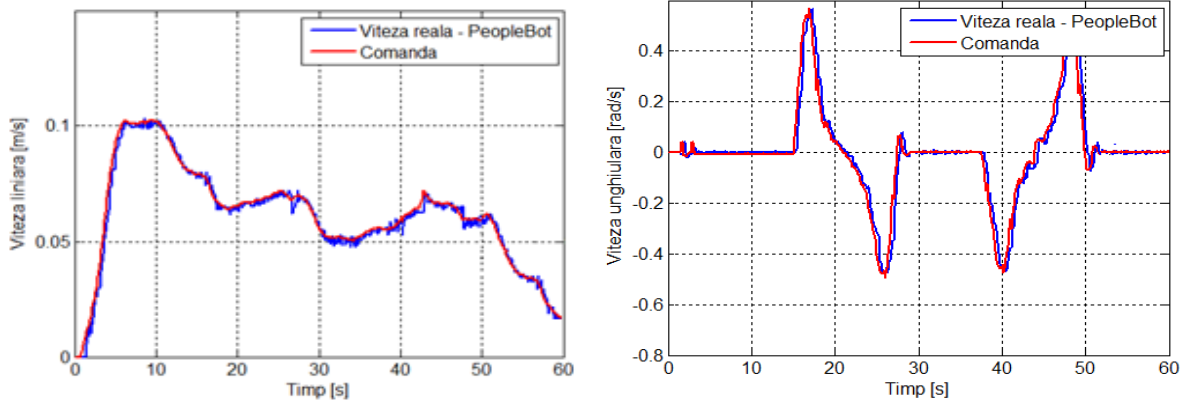
În Fig 4.29 sunt prezentate vitezele liniare și unghiulare a WMR PeopleBot, cât și cele dorite. Conform rezultatelor obținute din graficele prezentate, timpul necesar parcurgerii traseului, de la preluarea piesei până la predare, este de 60s.

În Fig 4.30 este prezentată eroarea de urmărire la deplasarea pe axa X și eroarea de urmărire la deplasarea pe axa Y. Se poate observa că în Fig.4.30, în cazul erorii la deplasarea pe axa X, sunt prezente două deviații, prezente din cauza pierderii conexiunii, dar tinde imediat către 0.

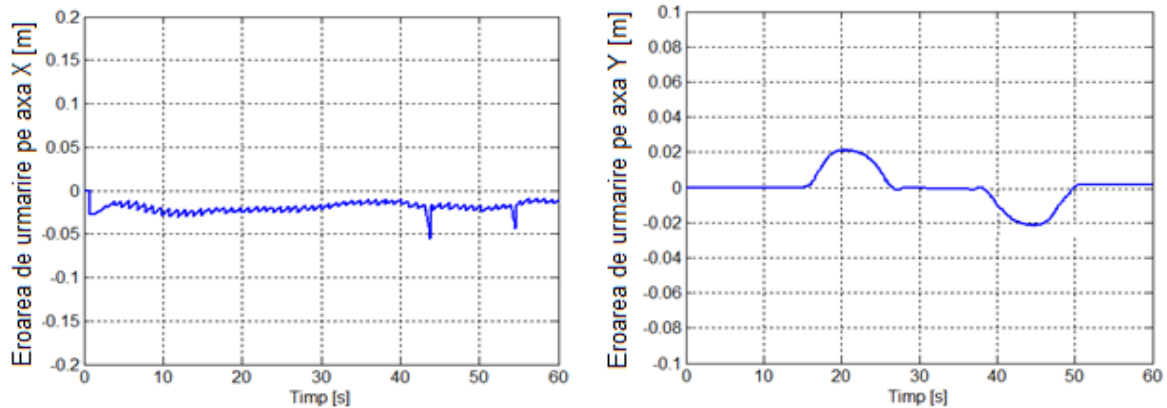
În Fig 4.32 sunt prezentate suprafețele de alunecare  $s_1$  și  $s_2$  obținute în urmărirea traiectoriei.



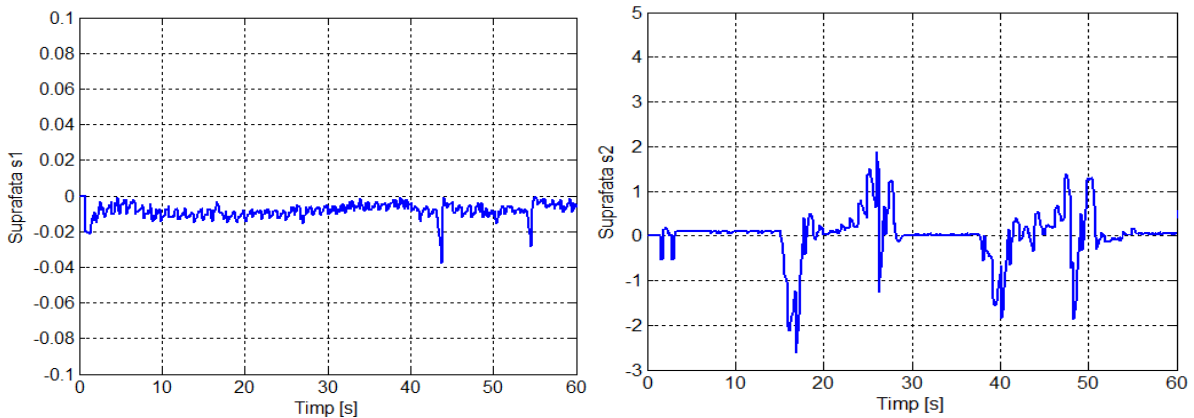
**Fig.4.28.** Traiectoria dorită, traiectoria reală și eroarea unghiulară (în coordonate absolute ) a WMR PeopleBot la conducerea SMC, în timp real



**Fig.4.29.** Viteza liniară și unghiulară a WMR Peoplebot și comanda impusă, în coordonate absolute



**Fig.4.30.** Erorile de urmărire la deplasarea pe axa X și pe axa Y pentru WMR PeopleBot, în coordonate absolute



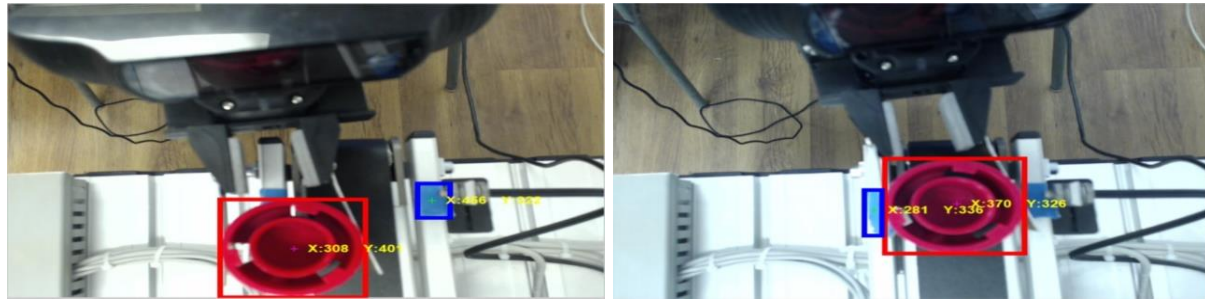
**Fig.4.32.** Suprafața de alunecare s1 și s2 pentru WMR PeopleBot, în coordonate absolute

În Fig.4.34 și Fig.4.35 sunt prezentate cadre, din timpul experimentelor în timp real, a celor două VSS fixe montate pe P/RML, în vederea preluării/predării piesei pentru re prelucrare. În Fig.4.36 sunt prezentate cadre în timp real a VSS mobil montat pe EOF-ul brațului robotic Cyton 1500, în vederea preluării piesei de pe WMR PeopleBot.

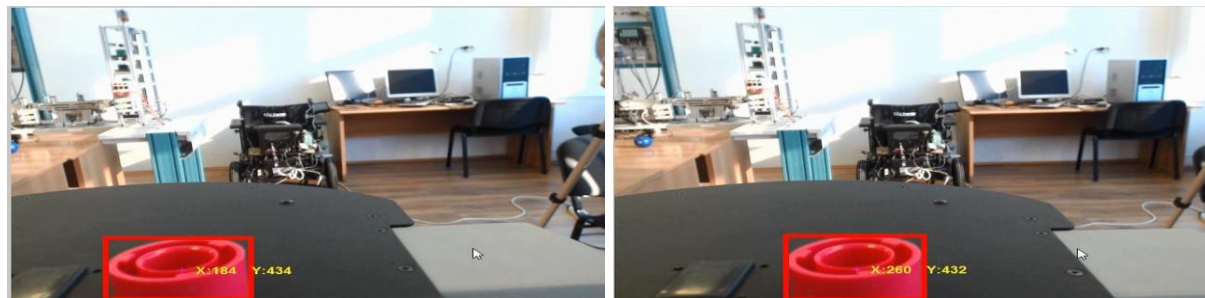
În Fig.4.37 sunt prezentate etapele în timp real cu poziționarea de precizie, bazată pe VSS mobil, a manipulatorului robotic Cyton 1500: a) poziționare pentru a prelua piesa de pe WMR PeopleBot, b) preluare piesă, c) deplasare către P/RML, d) predare piesa pe P/RML, e) întoarcere în poziția inițială.



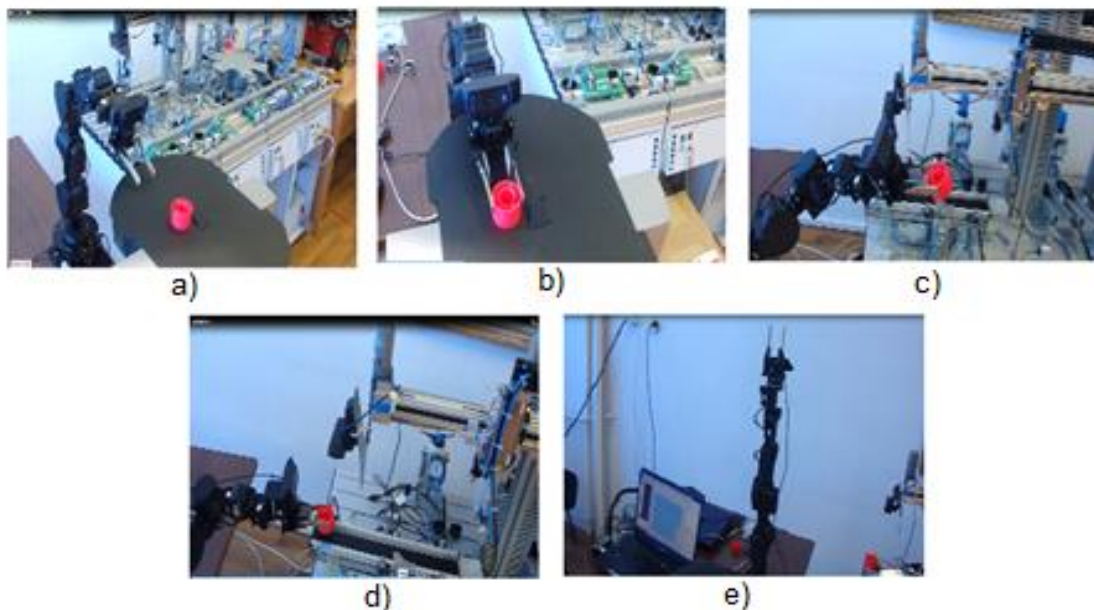
**Fig.4.34.** Imagine în timp real în care RM Pioneer 5-DOF Arm preia piesa pentru  
reprelucrare



**Fig.4.35.** Imagine în timp real în care RM Cyton 1500 predă piesa pe P/RML pentru  
reprelucrare



**Fig.4.36.** Imagine în timp real în care RM Cyton 1500 se poziționează pentru a prelua piesa  
de pe WMR PeopleBot



**Fig.4.37.** Imagine în timp real în care RM Cyton preia și predă piesa

## **Capitolul 5. Concluzii finale, contribuții, direcții de cercetare viitoare, diseminarea rezultatelor**

Dezvoltarea de noi sisteme de asistență pentru persoanele cu dizabilități a condus la o abordare multidisciplinară, bazată pe noile tehnologii de conducere și navigație care satisface restricțiile și nevoile persoanei asistate

Dezvoltarea de noi sisteme de conducere pentru linia de fabricație flexibilă de precizie, de prelucrare/reprelucrare poate conduce la creșterea productivității și a gradului de automatizare. Abordarea propusă răspunde noilor cerințe, de recuperare și reutilizare a pieselor sau componentelor care nu corespund calitativ, în urma parcurgerii unui proces tehnologic.

### **5.1. Concluzii finale**

Consider că obiectivele au fost realizate parcurgând toate etapele aferente implementării unei structuri de conducere și navigație: analiză de proces, modelare, identificare, proiectare, testare prin simulare și testare în timp real. Pornind de la stadiul actual în conducerea și navigația sistemelor robotice autonome implicate în tehnologii de asistare, teza aduce contribuții, în principal, la implementarea și testarea în regim de simulare și în timp real.

Ansamblul de rezultate și concluzii confirmă faptul că tehnicile abordate în această teză de doctorat asigură conducerea cu performanțe bune a sistemului de tip scaun cu roțile destinat asistenței persoanelor cu dizabilități neurolocomotorii severe, atât pentru deplasare intra/extra spitalicescă, cât și acasă. De asemenea, tehnicile abordate, pentru conducerea sistemelor robotice autonome integrate în tehnologii de fabricație de precizie, asigură creșterea productivității, calității și minimizarea costurilor produselor livrate.

### **5.2. Contribuții**

Contribuțiile revendicate în prezenta teza, diseminate și certificate prin lucrările publicate, sunt următoarele:

- Modelarea, identificarea și simularea sistemului de acționare a roților motoare la CPW, [CG6];
- Proiectarea, simularea și testarea în timp real a structurii de conducere a roților motoare cu regulator PI, de la CPW, [CG6];
- Modelarea, simularea și testarea în timp real a RM Cyton 1500, conducere bazată pe modelul cinematic invers, [CG4], (program Anexa 8);
- Proiectarea, simularea și testarea în timp real a structurii SMC, conducere bazată pe modelul cinematic al WMR Pioneer P3-DX [CG1], [CG2], [CG5], (program Anexa 1);
- Proiectarea, simularea și testarea în timp real a structurii SMC, bazată pe modelul dinamic al WMR PatrolBot, [CG5], (program Anexa 2);
- Proiectarea, simularea, testarea în timp real a structurii STSMC, conducere bazată pe modelul cinematic al WMR Pioneer P3-DX, [CG4], (program Anexa 3);
- Studiu comparativ al celor două metode de conducere, SMC și STSMC, pentru Pionner P3-DX, [CG1], [CG2], [CG3], [CG5], [CG6];
- Studiu comparativ, privind performanțele de navigație, bazată pe ultrasunete și laser, [CG1], [CG2];

- Algoritmul și programul de navigație pentru detecția și ocolirea obstacolelor (fixe sau mobile) navigație bazată pe ultrasunete și laser, [CG1], [CG2], [CG3], [CG5];
- Algoritmul și programul pentru navigația în timp real a CPW la traversarea de spații înguste, bazat pe informațiile primite de la laserul Hokuyo URG-04LX-UG01, [CG5], (Anexa 5);
- Proiectarea structurii de navigație bazată pe prelucrarea de imagini ale mișcării globului ocular pentru CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități neurolocomotorii severe, [CG6], [CG7];
- Implementarea și testarea în timp real a structurii de navigație bazată pe prelucrarea de imagini ale mișcării globului ocular pentru CPW destinat asistenței persoanelor cu dizabilități neurolocomotorii severe, [CG6], (program Anexa 6);
- Proiectarea sistemului integrat destinat deservirii liniilor de fabricație de precizie (linii de mecatronică) de către sisteme robotice autonome echipate cu manipuloare și sisteme servoig vizuale, [CG3],[CG4];
- Testarea și implementarea în timp real a unei linii de fabricație de precizie asistată de sisteme robotice autonome echipate cu manipuloare și sisteme servoig vizuale,[CG3],[CG4], (program Anexa 7).

### 5.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetării obținute au fost publicate, după cum urmează:

- 6 lucrări la conferințe internaționale, indexate WoS, Scopus și IEEE, din care 2 lucrări prim autor și 4 lucrări co- autor ;
- 1 lucrare în revistă, prim autor.

#### ***Lucrări publicate în proceedings (indexate ISI)***

[CG1]. Filipescu, A., Minca E., Voda A., Dumitrascu B., Filipescu A., Jr., **Ciubucciu G.**, Sliding-Mode Control and Sonnar Based Bubble Rebound Obstacle Avoidance for a WMR, Proceedings of the 19th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2015 14-16, Oct., Cheile Grădiștei, Romania, 2015, pp.105-110, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE (indexed WoS, Scopus și IEEE).

[CG2]. **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 12<sup>th</sup> 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, Scopus și IEEE).

[CG3]. **George Ciubucciu**, Razvan Solea, Adrian Filipescu, Adriana Filipescu, Visual servoing and obstacle avoidance method based control autonomous robotic systems servicing a mechatronics manufacturing line; Proceedings of the 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 21-23 September, 2017, Bucharest, Romania (indexed WoS, Scopus și IEEE).

[CG4]. Filipescu, Adrian, Solea, Razvan, Petrea, George, Cenega, Daniela Cristina, Filipescu Adriana, **Ciubucciu, George**, SHPN Modelling, Visual Servoing and Control of WMR with RM Integrated into P/RML; Proceedings of the 21st IEEE, International

Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2017 19-21, Oct., Sinaia, Romania, 2017 (indexed WoS, Scopus și IEEE).

[CG5]. Razvan Solea, **George Ciubuciu**, Daniela Cernega, Adrian Filipescu, Ion Voncila, Trajectory Tracking Nonlinear Control and Narrow Spaces Navigation of a WMR; Proceedings of the 22nd IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2018 10-12, Oct., Sinaia, Romania, 2018 (indexed WoS, Scopus și IEEE).

[CG6]. A Filipescu, R Solea, G Stamatescu, **G Ciubuciu**, Trajectory - Tracking Sliding – Mode Control of the Autonomous Wheelchair Modeled as a Nonholonomic WMR, Proceedings of the 14th IEEE, International Conference on Control and Automation, ICCA 2018 12–15, Iunie, Alaska, USA (indexed Scopus și IEEE).

### ***Lucrări publicate în reviste BDI***

[CG7]. **Ciubuciu, G.**, Solea, R., Filipescu, A., Machine Learning Techniques for Image Recognition Applications The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galati Fascicle III, Year 2017: Volume 40, Number 1, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, ISSN 2344-4738, ISSN 1221-454X, pp:5-12. (indexed CSA)