

# **ANALIZA ȘI SINTEZA TEORETICĂ ȘI EXPERIMENTALĂ A UNUI SISTEM MECATRONIC AUTONOM MOBIL**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea „Politehnica” din Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**Ing. Mihai Alin BÎTEA**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Președinte comisie:    | Prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU<br><i>Universitatea „Politehnica” din Timișoara</i>   |
| Conducător științific: | Prof.univ.dr.ing. Valer DOLGA<br><i>Universitatea „Politehnica” din Timișoara</i>   |
| Referenți științifici: | Prof.univ.dr. ing. Radu BĂLAN<br><i>Universitatea Tehnică din Cluj</i><br>Prof.univ.dr.ing. Doru TALABĂ<br><i>Universitatea „Transilvania” din Brașov</i><br>Prof.univ.dr.ing. Corneliu RĂDULESCU<br><i>Universitatea „Politehnica” din Timișoara</i> |

Ziua susținerii tezei: 27.02.2012

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Dezvoltarea sistemelor tehnice a fost, este și va fi influențată de tehnologia disponibilă la un moment dat. Noțiunea de *mecatronică* a apărut în acest context ca o necesitate de corelare a ideilor și activităților în dezvoltarea unor produse noi cu aport mecanic, electronic și informatic. *Filozofia mecatronică* a intervenit în acest sens ca un concept nou referitor la modul de materializare la nivel organic a unei funcții pentru un produs.

Obiectivul principal al tezei este aplicarea „filozofiei” mecatronice în analiza teoretică și experimentală pentru realizarea suportului necesar sintezei teoretice, constructive și experimentale a unui sistem mecatronic mobil autonom, destinat cercetărilor de laborator sau cercetărilor dintr-un mediu nestructurat. Teza de doctorat este structurată pe 8 capitole, urmate de Bibliografie și Anexe.

Această teză de doctorat a fost realizată în Universitatea „Politehnica” din Timișoara în cadrul proiectului POSDRU/6/1.5/S/13, ID6998, dezvoltat în cadrul Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Axa prioritară 1: „Educație și formare profesională inițială de calitate în sprijinul dezvoltării și creșterii economice”. Domeniul major de intervenție 1.5: „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat, prof.dr.ing. Valer Dolga, atât pentru atenția, seriozitatea și exigența cu care m-a îndrumat permanent, cât și pentru sfaturile și suportul acordat în rezolvarea problemelor complexe ce au apărut pe parcursul studiilor și cercetărilor necesare elaborării acestei lucrări.

Mulțumesc domnului profesor Alessandro Gasparetto pentru suportul acordat pe perioada desfășurării stagiului de cercetare în străinătate, în cadrul Universității de Studii din Udine, Italia.

Mulțumesc reprezentanților firme FESTO în România, pentru sprijinul logistic pe care mi l-au oferit.

Adresez mulțumiri membrilor Departamentului de Mecatronică, din cadrul Facultății de Mecanică, care m-au ajutat cu diverse sfaturi și indicații utile în vederea finalizării tezei de doctorat.

Mulțumesc prietenilor, pentru sprijinul și înțelegerea acordată în perioada elaborării și finalizării tezei de doctorat.

Nu în ultimul rând, doresc să adresez mulțumiri familiei pentru înțelegerea și suportul moral pe care mi le-au oferit pe întreaga perioadă a desfășurării studiilor doctorale și nu numai.

Timișoara, februarie 2012

Mihai Alin Bîtea

**Bîtea, Mihai Alin**

**Analiza și sinteza teoretică și experimentală a unui sistem mecatronic autonom mobil**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 111, Editura Politehnica, 2012, 230 pagini, 200 figuri, 41 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN:978-606-554-452-9

Cuvinte cheie:

mecatronica, sistem autonom mobil, robot mobil, structură variabilă, obstacol, mediu de lucru nestructurat, senzor

**Rezumat** În capitolul 1 se prezintă o trecere în revistă a evoluției sistemelor tehnice, fiind scoasă în evidență legătura dintre această evoluție și dezvoltarea tehnologiei electronice și a informației, ceea ce a dus la apariția conceptului de mecatronică. În capitolul al 2-lea se prezintă evoluția roboților mobili și domeniile de aplicație ale acestora, analiza robotului mobil ca sistem mecatronic și tendințele viitoare din domeniul roboticii. Această analiză este realizată în mod critic, cu scopul de a scoate în evidență percepția robotului mobil, la nivel de analiză și sinteză în literatura de specialitate. În ce de-al 3-lea capitol se prezintă atât justificarea și actualitatea temei, enunțarea obiectivului principal și a celor secundare, cât și planul de lucru urmat în vederea realizării acestei teze de doctorat. Capitolul al 4-lea prezintă într-un mod original o paralelă, prin prisma funcțiilor realizate, între sistemul biologic al unui animal și sistemul tehnic, reprezentat de un robot mobil. Analiza la nivel funcțional a celor două sisteme, scoate în evidență existența unor funcții principale (prezente la ambele sisteme) și funcții secundare (prezente doar parțial în sistemul tehnic). Capitolul al 5-lea prezintă atât analiza noțiunii de mediu de lucru pentru un robot mobil și autonom, cât și definirea noțiunii de obstacol din punct de vedere funcțional. De asemenea, în acest capitol, sunt prezentate aplicații experimentale pentru diverse obstacole ca dimensiune, formă și material, pentru trei elemente senzoriale: sistem senzorial cu ultrasunete, sistem senzorial în infraroșu și respectiv senzor de accelerație. În cel de-al 6-lea capitol, pornind de la conceptul mecatronic se arată că un sistem mecatronic poate fi analizat la nivel funcțional și respectiv nivel organic. De asemenea, este realizată și o tabelă morfologică cu scopul materializării unei anumite funcții, prin alegerea directă datorită disponibilității componentelor. Sunt prezentate realizarea de simulări multiple în mediul Matlab, cu scopul de a enunța aspectele pozitive sau negative rezultate și care trebuie avute în vedere. În finalul capitolului sunt prezentate concluziile rezultate ca urmare a utilizării sistemului mecatronic proiectat într-un mediu nestructurat, cel al unei sere. Capitolul al 7-lea prezintă atât utilizarea conceptului mecatronic în proiectarea unui sistem cu structură variabilă, cât și realizarea modelului 3D cu ajutorul proiectării asistate de calculator în mediul Pro-E. Capitolul al 8-lea prezintă concluziile generale și contribuțiile personale în cadrul acestei teze de doctorat. La final se prezintă lista bibliografică, precum și anexele. O parte din rezultatele acestor cercetări au fost valorificate prin publicarea de lucrări științifice ca prim sau co-autor în reviste de specialitate sau cu ocazia unor conferințe naționale sau internaționale.







# CUPRINS

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| CUVÂNT ÎNAINTE.....  | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| CUPRINS .....  | V                                   |
| NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME .....   | IX                                  |
| LISTA DE FIGURI .....  | X                                   |
| 1. INTRODUCERE .....   | 15                                  |
| 1.1. Evoluția sistemelor tehnice.....  | 15                                  |
| 1.2. Din istoria roboticii.....  | 18                                  |
| 1.3. Mecatronică și robotică .....   | 20                                  |
| 1.4. Concluzii finale .....  | 22                                  |
| 2. STADIUL ACTUAL ÎN ROBOTICA MOBILĂ .....   | 23                                  |
| 2.1. Introducere.....  | 23                                  |
| 2.2. Evoluția roboților mobili și aplicațiile acestora .....                         | 24                                  |
| 2.2.1. Evoluția roboților mobili .....   | 24                                  |
| 2.2.2. Aplicații ale roboților mobili .....  | 27                                  |
| 2.2.2.1. Aplicații în agricultură și recoltare.....                                  | 27                                  |
| 2.2.2.2. Aplicații în curățenie și accesorii.....                                    | 28                                  |
| 2.2.2.3. Aplicații în lucrări în construcții .....                                   | 29                                  |
| 2.2.2.4. Aplicații în educație .....   | 29                                  |
| 2.2.2.5. Aplicații în combaterea incendiilor .....                                   | 30                                  |
| 2.2.2.6. Aplicații în industria alimentară .....                                     | 31                                  |
| 2.2.2.7. Aplicații în activități de inspecție .....                                  | 31                                  |
| 2.2.2.8. Aplicații în medicină .....   | 32                                  |
| 2.2.2.9. Aplicații în domeniul explorării .....                                      | 33                                  |
| 2.2.2.10. Aplicații în mediul subacvatic.....  | 34                                  |
| 2.2.2.11. Aplicații în mediul forestier .....  | 35                                  |
| 2.2.2.12. Aplicații în domeniul militar .....  | 36                                  |
| 2.2.3. Concluzii .....   | 36                                  |
| 2.3. Robotul mobil – sistem mecatronic .....   | 37                                  |
| 2.3.1. Definiții .....   | 37                                  |
| 2.3.2. Clasificări ale roboților mobili.....   | 37                                  |
| 2.3.3. Structura sistemului mecatronic – robot mobil .....                           | 40                                  |
| 2.3.3.1. Analiza structurală a sistemului.....                                       | 40                                  |
| 2.3.3.2. Concluzii .....   | 42                                  |
| 2.3.4. Stadiul actual de abordare a funcției de locomotie pentru robotul mobil ..... | 42                                  |
| 2.3.4.1. Introducere.....  | 42                                  |
| 2.3.4.2. Sisteme locomotoare cu roți .....   | 43                                  |
| 2.3.4.3. Sistemele locomotoare pășitoare.....  | 54                                  |
| 2.3.4.4. Concluzii .....   | 56                                  |
| 2.3.5. Stadiul actual de abordare a funcției de navigație .....                      | 56                                  |
| 2.3.5.1. Introducere.....  | 56                                  |

## VI Cuprins

---

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 2.3.5.2. | Funcția de navigație .....  | 56  |
| 2.3.5.3. | Concluzii .....   | 62  |
| 2.3.6.   | Stadiul actual al abordării funcției de percepție senzorială .....                        | 63  |
| 2.3.6.1. | Introducere.....  | 63  |
| 2.3.6.2. | Funcția de percepție senzorială .....   | 63  |
| 2.3.6.3. | Concluzii .....   | 65  |
| 2.3.7.   | Stadiul actual al funcției de comunicare .....  | 66  |
| 2.3.7.1. | Introducere.....  | 66  |
| 2.3.7.2. | Funcția de comunicare.....  | 66  |
| 2.3.7.3. | Concluzii .....   | 67  |
| 2.4.     | Tendențe viitoare în robotica mobilă .....  | 67  |
| 2.5.     | Concluzii finale .....  | 68  |
| 3.       | NECESITATEA, ACTUALITATEA ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT                                | 69  |
| 3.1.     | Necesitatea temei tezei de doctorat .....   | 69  |
| 3.2.     | Actualitatea temei tezei de doctorat .....  | 69  |
| 3.3.     | Obiectivele tezei de doctorat .....   | 70  |
| 4.       | PARALELĂ BIOMECATRONICĂ ÎNTRE SISTEMUL BIOLOGIC ȘI ROBOTUL MOBIL.....                     | 73  |
| 4.1.     | Introducere.....  | 73  |
| 4.2.     | Paralelă mecatronică animal – robot mobil.....  | 74  |
| 4.2.1.   | Animale și robot mobil în abordare sistemică .....  | 74  |
| 4.2.2.   | Concluzii .....   | 77  |
| 4.3.     | Funcțiile sistemelor .....  | 78  |
| 4.3.1.   | Funcția locomotoare.....  | 78  |
| 4.3.1.1. | Locomoția biologică.....  | 78  |
| 4.3.1.2. | Locomoția roboților mobili.....   | 81  |
| 4.3.1.3. | Concluzii .....   | 82  |
| 4.3.2.   | Funcția de percepție senzorială .....   | 83  |
| 4.3.2.1. | Elemente senzoriale din domeniul biologic .....   | 83  |
| 4.3.2.2. | Elemente senzoriale din domeniul robotic .....  | 84  |
| 4.3.2.3. | Concluzii .....   | 84  |
| 4.3.3.   | Funcția de navigare.....  | 85  |
| 4.3.3.1. | Navigarea biologică.....  | 85  |
| 4.3.3.2. | Navigarea roboților mobili .....  | 88  |
| 4.4.     | Concluzii finale .....  | 88  |
| 5.       | CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA OBSTACOLELOR DIN MEDIUL DE LUCRU AL UNUI ROBOT MOBIL ..... | 91  |
| 5.1.     | Introducere.....  | 91  |
| 5.2.     | Mediul de lucru al robotului mobil.....   | 91  |
| 5.2.1.   | Introducere.....  | 91  |
| 5.2.2.   | Mediul de lucru.....  | 91  |
| 5.2.3.   | Obstacole din mediul de lucru .....   | 93  |
| 5.2.4.   | Concluzii .....   | 96  |
| 5.3.     | Determinări experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete.....                          | 96  |
| 5.3.1.   | Introducere.....  | 96  |
| 5.3.2.   | Considerente teoretice.....   | 96  |
| 5.3.3.   | Senzorul cu ultrasunete .....   | 98  |
| 5.3.4.   | Determinarea distanței dintre senzorul ultrasonic și obstacol .....                       | 100 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 5.3.4.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 100 |
| 5.3.4.2. | Rezultate experimentale .....   | 102 |
| 5.3.4.3. | Concluzii .....   | 104 |
| 5.3.5.   | Determinarea distanței față de obstacole de diferite texturi.....                                       | 104 |
| 5.3.5.1. | Standul și procedura de lucru .....   | 104 |
| 5.3.5.2. | Rezultate experimentale .....   | 105 |
| 5.3.5.3. | Concluzii .....   | 106 |
| 5.3.6.   | Determinarea câmpului de lucru al senzorului cu ultrasunete.....  | 107 |
| 5.3.6.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 107 |
| 5.3.6.2. | Rezultate experimentale .....   | 108 |
| 5.3.7.   | Localizarea obstacolelor multiple dintr-un mediu de lucru .....   | 110 |
| 5.3.7.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 110 |
| 5.3.7.2. | Rezultate experimentale .....   | 112 |
| 5.3.8.   | Determinarea caracteristicii senzorului ultrasonic față de obiecte cu<br>forme geometrice diferite..... | 114 |
| 5.3.8.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 114 |
| 5.3.8.2. | Rezultate experimentale .....   | 114 |
| 5.3.8.3. | Concluzii .....   | 116 |
| 5.3.9.   | Folosirea senzorului ultrasonic ca și „radar” .....   | 116 |
| 5.4.     | Determinarea distanței folosind senzorul în infraroșu .....   | 119 |
| 5.4.1.   | Introducere.....  | 119 |
| 5.4.2.   | Considerații teoretice .....  | 119 |
| 5.4.3.   | Analiza comportamentului senzorului în infraroșu asupra diferitelor<br>tipuri de materiale .....        | 121 |
| 5.4.3.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 121 |
| 5.4.3.2. | Rezultate experimentale .....   | 122 |
| 5.4.4.   | Analiza comportamentului senzorului în infraroșu asupra obstacolelor de<br>diferite culori .....        | 124 |
| 5.4.4.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 124 |
| 5.4.4.2. | Rezultate experimentale .....   | 125 |
| 5.4.5.   | Determinarea comportamentului senzorului în infraroșu față de obiecte<br>de diferite dimensiuni .....   | 126 |
| 5.4.5.1. | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 126 |
| 5.4.5.2. | Rezultate experimentale .....   | 127 |
| 5.4.5.3. | Concluzii .....   | 128 |
| 5.5.     | Determinarea comportamentului senzorului de accelerație amplasat pe<br>un robot mobil .....             | 128 |
| 5.5.1.   | Introducere.....  | 128 |
| 5.5.2.   | Considerații teoretice .....  | 128 |
| 5.5.3.   | Standul experimental și procedura de lucru .....  | 129 |
| 5.5.4.   | Rezultatele experimentale.....  | 130 |
| 5.5.5.   | Concluzii .....   | 132 |
| 5.6.     | Concluzii finale .....  | 132 |
| 6.       | ROBOTUL MOBIL SISTEM MECATRONIC. ANALIZA ȘI SINTEZA<br>FUNCȚIONALĂ ȘI EXPERIMENTALĂ .....               | 133 |
| 6.1.     | Introducere.....  | 133 |
| 6.2.     | Utilizarea „filozofiei” mecatronice în proiectarea robotului mobil.....                                 | 134 |
| 6.2.1.   | Analiza structurii robotului la nivel funcțional și organic .....                                       | 134 |
| 6.2.2.   | Utilizarea tabelii morfologice pentru sinteza structurii sistemului<br>mecatronic la nivel organic..... | 138 |

## VIII Cuprins

---

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| 6.3.              | Modelare și experiment în cadrul proiectării sistemului mecatronic autonom mobil .....                  | 142 |
| 6.3.1.            | Introducere.....  | 142 |
| 6.3.2.            | Analiza modului mecatronic de conducere a unei roți motrice.....  | 143 |
| 6.3.2.1.          | Componența modului .....  | 143 |
| 6.3.2.2.          | Analiza teoretică și experimentală a motorului de acționare din cadrul modului .....                    | 144 |
| 6.3.2.3.          | Analiza reductorului de turație .....   | 147 |
| 6.3.3.            | Modelul matematic al interacțiunii roată-cale de rulare .....   | 148 |
| 6.3.4.            | Modelarea/simularea și studiul experimental al modului mecatronic .....                                 | 150 |
| 6.3.4.1.          | Modelarea și simularea modului mecatronic în mediul MatLab/Simulink .....                               | 150 |
| 6.3.4.2.          | Studiul experimental al modului mecatronic .....  | 154 |
| 6.4.              | Modelarea și simularea sistemului mecatronic autonom mobil.....   | 156 |
| 6.4.1.            | Modelarea cinematicii sistemului mecatronic proiectat .....   | 156 |
| 6.4.2.            | Modelarea dinamicii sistemului mecatronic .....   | 163 |
| 6.5.              | Simularea sistemului mecatronic autonom mobil pe un traseu cu obstacole.....                            | 169 |
| 6.6.              | Experimentarea robotului mobil într-o arie de lucru cu suprafață denivelată .....                       | 170 |
| 6.6.1.            | Descrierea experimentului.....  | 170 |
| 6.6.2.            | Concluzii .....   | 174 |
| 6.7.              | Concluzii finale .....  | 174 |
| 7.                | UTILIZAREA CONCEPTULUI MECATRONIC ÎN PROIECTAREA UNUI SISTEM AUTONOM MOBIL CU STRUCTURĂ VARIABILĂ ..... | 175 |
| 7.1.              | Introducere.....  | 175 |
| 7.2.              | Descrierea structurii mobile.....   | 175 |
| 7.3.              | Dinamica piciorului robotului mobil .....   | 177 |
| 7.4.              | Concluzii finale .....  | 180 |
| 8.                | CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE .....   | 181 |
| 8.1.              | Concluzii generale.....   | 181 |
| 8.2.              | Contribuții originale ale tezei .....   | 182 |
| 8.3.              | Valorificarea rezultatelor cercetării .....   | 183 |
| 8.4.              | Noi direcții de cercetare în domeniu.....   | 183 |
| BIBLIOGRAFIE..... |   | 185 |
| ANEXE .....       |   | 199 |

## **NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME**

|           |  |
|-----------|--|
| CIR (IRC) | centru instantaneu de rotație          |
| c.c       | curent continuu                        |
| DEX       | dicționar explicativ al limbii române  |
| GPS       | sistem global de poziționare           |
| MEMS      | sistem micro electro-mecanic           |
| MFM       | modul funcțional mecatronic            |
| MRIT      | soft interactiv pentru robotica mobilă |
| RSM       | rețea de sisteme mecatronice           |
| SMA       | sistem mecatronic autonom              |
| SNI       | sistem de navigație inerțială          |
| WMR       | robot mobil cu roți                    |

## LISTA DE FIGURI

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Fig.1.1.  | Principiul de funcționare a regulatorului Watt .....                     | 15 |
| Fig.1.2.  | Războiul de țesut .....  | 16 |
| Fig.1.3.  | Mecanizare în filatura de bumbac .....                                   | 17 |
| Fig.1.4.  | Mașină uneltă cu comandă numerică .....                                  | 17 |
| Fig.1.5.  | Roboți KUKA în procesul de producție .....                               | 18 |
| Fig.1.6.  | Primul robot recunoscut oficial. Brațul robotic Unimate .....            | 19 |
| Fig.1.7.  | Robotul mobil Elmer .....  | 19 |
| Fig.1.8.  | Robotul Cart (a) Robotul Shakey (b) .....                                | 20 |
| Fig.1.9.  | Structuri de roboți Pioneer .....  | 20 |
| Fig.1.10. | Conceptul de mecatronică .....   | 21 |
|           |  |    |
| Fig.2.1.  | Observația și măsurarea .....  | 19 |
| Fig.2.2.  | Sistem și mediul ambiant .....   | 24 |
| Fig.2.3.  | Robotul mobil Beast .....  | 24 |
| Fig.2.4.  | Lunokhod 1 .....   | 25 |
| Fig.2.5.  | Robotul mobil Sojourner .....  | 25 |
| Fig.2.6.  | Robotul Roomba .....   | 25 |
| Fig.2.7.  | Robotul BigDog .....   | 26 |
| Fig.2.8.  | Evoluția roboticii mobile .....  | 26 |
| Fig.2.9.  | Robot mobil în agricultură .....   | 27 |
| Fig.2.10. | Robotul Agrobot .....  | 27 |
| Fig.2.11. | Robotul DustClean .....  | 28 |
| Fig.2.12. | CleanAnt .....   | 28 |
| Fig.2.13. | Robotul de demolare F-16 .....   | 29 |
| Fig.2.14. | Robotul Boe-Bot .....  | 29 |
| Fig.2.15. | Robotul pășitor CH3-R .....  | 30 |
| Fig.2.16. | Diferite structuri robotice realizate cu ajutorul pieselor de lego ..... | 30 |
| Fig.2.17. | Robotul Frigo-M .....  | 30 |
| Fig.2.18. | Robotul Snackbot .....   | 31 |
| Fig.2.19. | Robot în inspecția clădirilor .....                                      | 31 |
| Fig.2.20. | Robotul de inspecție cu ultrasunete .....                                | 32 |
| Fig.2.21. | Robotul SpeciMinder .....  | 32 |
| Fig.2.22. | Robotul Curiosity .....  | 33 |
| Fig.2.23. | Lemur 2 .....  | 34 |
| Fig.2.24. | Robotul Nomad .....  | 34 |
| Fig.2.25. | Robot mobil modular ACMR 2 .....   | 34 |
| Fig.2.26. | a) Robotul mobil Aqua 2    b) Robotul mobil Robo Fish .....              | 35 |
| Fig.2.27. | Robot pășitor Plustech Forestry .....                                    | 35 |
| Fig.2.28. | Robotul Foster-Miller TALON .....  | 36 |
| Fig.2.29. | iRobot 510 PackBot .....   | 36 |
| Fig.2.30. | Schema structurală sistemică a unui robot mobil .....                    | 40 |
| Fig.2.31. | Integrarea robotului în sistem .....                                     | 41 |
| Fig.2.32. | Robotul mobil reprezentat ca și un „black box” .....                     | 41 |
| Fig.2.33. | Robotul mobil reprezentat grafic .....                                   | 42 |



|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Fig.2.34. | Schema structurală a sistemului locomotor .....   | 43 |
| Fig.2.35. | Diferite configurații de roată: a) Roată fixă; b) Roată centrată cu 2<br>grade de libertate; .....  | 44 |
| Fig.2.36. | Centrul instantaneu de rotație a sistemului .....   | 46 |
| Fig.2.37. | Gradele de manevrabilitate pentru diferite tipuri de configurații pe șasiu<br>47  |    |
| Fig.2.38. | Robot cu mișcare de tip diferențial .....   | 48 |
| Fig.2.39. | Robot cu mișcare de tip triciclu .....  | 49 |
|           | Utilizând notațiile din fig.2.39 și principiile fizice de funcționare al robotului mobil, se<br>pot determina relațiile funcționale [**20]: ..... | 49 |
| Fig.2.40. | Robot cu mișcare de tip sincron .....   | 50 |
| Fig.2.41. | Mișcare de tip Ackerman .....   | 51 |
| Fig.2.42. | Sistem definit de un punct de referință A .....   | 51 |
|           | Pe baza notațiilor din fig.2.42 și a principiilor fizice se poate determina relația: .....  | 51 |
| Fig.2.43. | Robot mobil C3P .....   | 52 |
| Fig.2.44. | Configurații de structuri pășitoare .....   | 54 |
| Fig.2.45. | Metode de deplasare: a) Pas cu pas; b) Galop; c) Mișcare de tip static<br>.....   | 55 |
| Fig.2.46. | Funcția de navigație .....  | 56 |
| Fig.2.47. | Mediu interior mapat metric .....   | 58 |
| Fig.2.48. | Traseu cu obstacol naturale .....   | 59 |
| Fig.2.49. | Aplicație robotizată care folosește navigația topologică .....  | 60 |
| Fig.2.50. | Navigare inerțială .....  | 61 |
| Fig.2.51. | Navigația cu ajutorul estimărilor .....   | 62 |
| Fig.2.52. | Schemă structurală a sistemului senzorial .....   | 63 |
| Fig.2.53. | Reprezentarea schematică .....  | 64 |
| Fig.2.54. | Schema bloc a funcției de comunicare pentru un robot mobil .....  | 66 |
| Fig.2.55. | Comunicarea între roboții mobili din aria de lucru și operatorul uman .   | 67 |
| Fig.4.1.  | Reprezentare sistemică animal – robot .....   | 74 |
| Fig.4.2.  | Descompunerea sistemului biomecatronic pe baza funcțiilor .....   | 75 |
| Fig.4.3.  | Descompunerea sistemului robot mobil la baza funcțiilor .....   | 76 |
| Fig.4.4.  | Descompunerea sistemului robot mobil la nivel organic .....   | 77 |
| Fig.4.5.  | Sistemul osos la cal [D2] .....   | 79 |
| Fig.4.6.  | Mișcare longitudinală a corpului la cal și ghepard. ....  | 79 |
| Fig.4.7.  | Sistem biped de mers .....  | 81 |
| Fig.4.8.  | Schema bloc a elementelor senzoriale din domeniul biologic .....  | 83 |
| Fig.4.9.  | Reprezentare schematică a funcției de percepție senzorială .....  | 83 |
| Fig.4.10. | Schema bloc a integrării elementelor senzoriale în structura robotului<br>mobil .....   | 84 |
| Fig.4.11. | Prezentare schematică a câmpului geomagnetic. ....  | 86 |
| Fig.4.12. | Navigarea la pasări .....   | 87 |
| Fig.4.13. | Navigarea la albine (Mișcare de dans) (a) Navigarea la furnici (b) .....  | 87 |
| Fig.4.14. | Perspectivă asupra diferitelor arii de inspirație biologică .....   | 89 |
| Fig.4.15. | Evoluția sistemelor mecatronice cu origini în lumea naturală .....  | 90 |
| Fig.5.1.  | Categoriile unui agent/robot mobil .....  | 92 |
| Fig.5.2.  | Mediul de lucru și robotul mobil .....  | 92 |
| Fig.5.3.  | Clasificare a mediului de lucru pentru un robot mobil .....   | 93 |
| Fig.5.4.  | Diferite forme geometrice de obstacole .....  | 94 |
| Fig.5.5.  | Suprafețe de rulare a obstacolelor .....  | 95 |

## XII Lista de figuri

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Fig.5.6.  | Pierderea stabilității datorită înclinării suprafeței de rulare .....   | 96  |
| Fig.5.7.  | Senzor ultrasonic cu emitor și receptor .....   | 97  |
| Fig.5.8.  | Senzor cu emitor și receptor încorporat în același dispozitiv .....   | 97  |
| Fig.5.9.  | Emitorul și receptorul sunt situați pe poziții diferite .....   | 97  |
| Fig.5.10. | Distanța unui robot mobil față de un obstacol aflat în calea traiectoriei sale .....                            | 98  |
| Fig.5.11. | Schemă bloc funcțională a senzorului ultrasonic .....   | 98  |
| Fig.5.12. | Senzorul cu ultrasunete PING, de la Parallax.....   | 99  |
| Fig.5.13. | Schema de lucru a sistemului .....  | 99  |
| Fig.5.14. | Schema electrică de realizare a conexiunilor .....  | 99  |
| Fig.5.15. | Modul de funcționare al senzorului .....  | 100 |
| Fig.5.16. | Corelarea semnalului acustic – ecou recepționat .....   | 100 |
| Fig.5.17. | Stand experimental .....  | 101 |
| Fig.5.18. | Schema bloc a achiziției de date .....  | 101 |
| Fig.5.19. | Aria de măsurare a distanțelor.....   | 101 |
| Fig.5.20. | Aria de măsurare a distanțelor și poziția obstacolelor .....  | 102 |
| Fig.5.21. | Obstacol utilizat în cadrul măsurărilor .....   | 102 |
| Fig.5.22. | Semnalul achiziționat pe osciloscopul FLUKE .....   | 103 |
| Fig.5.23. | Dependența distanței față de obstacol în raport cu timpul de ecou ...   | 104 |
| Fig.5.24. | Eroarea relativă.....   | 104 |
| Fig.5.25. | Reprezentarea grafică a distanței calculate față de obstacole de diferite texturi.....                          | 107 |
| Fig.5.26. | Aria de lucru și divizarea pe cadrane.....  | 108 |
| Fig.5.27. | Senzorul ultrasonic și obstacolul de localizat pe placa de lucru.....   | 108 |
| Fig.5.28. | Diagrama de directivitate a elementului senzorial .....   | 109 |
| Fig.5.29. | Dependența distanței față de obstacol în raport cu timpul de ecou în cazul unui obstacol cu formă concavă ..... | 115 |
| Fig.5.30. | Eroarea relativă în cazul unui obstacol cu formă concavă .....  | 115 |
| Fig.5.31. | Dependența distanței față de obstacol în raport cu timpul de ecou în cazul unui obstacol cu formă convexă ..... | 116 |
| Fig.5.32. | Eroarea relativă în cazul unui obstacol cu formă convexă.....   | 116 |
| Fig.5.33. | Schema bloc de achiziție a datelor în cazul senzorului cu ultrasunete   | 117 |
| Fig.5.34. | Mișcarea de rotație realizată.....  | 117 |
| Fig.5.35. | Schema logică de deplasare a robotului mobil .....  | 118 |
| Fig.5.36. | Zona de detecție a senzorului ultrasonic, reprezentată pe monitor ...   | 118 |
| Fig.5.37. | Principiul de funcționare al senzorului în infraroșu.....   | 119 |
| Fig.5.38. | Spectrul radiației electromagnetice.....  | 119 |
| Fig.5.39. | a) Model Phong; b) Robot echipat cu senzor în infraroșu.....  | 120 |
| Fig.5.40. | Dependența semnalului de poziție a senzorului: a) în funcție de distanța „d” b) în funcție de unghiul „α”.....  | 121 |
| Fig.5.41. | Schema bloc de achiziție a datelor în cazul senzorului în infraroșu....   | 121 |
| Fig.5.42. | Stand experimental.....   | 122 |
| Fig.5.43. | Amplasarea senzorului în infraroșu pe placa de bază.....  | 122 |
| Fig.5.44. | Schema electrică de conectare a senzorului în infraroșu pe placa de bază. ....                                  | 122 |
| Fig.5.45. | Reprezentarea grafică a semnalului înregistrat pentru diferite tipuri de material .....                         | 123 |
| Fig.5.46. | Stand experimental pentru senzorul în infraroșu.....  | 124 |
| Fig.5.47. | Semnalul senzorului în infraroșu în cazul unui obstacol de culoare galbenă.....                                 | 125 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Fig.5.48. | Semnalul senzorului în infraroșu în cazul unui obstacol de culoare neagră .....  | 126 |
| Fig.5.49. | Robotul mobil detectează obstacolul .....  | 126 |
| Fig.5.50. | Semnal vizualizat cu ajutorul osciloscopului pentru un obstacol cu L= 10mm a) situat la distanța 20mm b) situat la distanța de 620 mm... | 127 |
| Fig.5.51. | Reprezentare grafică a comportamentului senzorului față de obstacol .....  | 127 |
| Fig.5.52. | Amplasarea senzorului pe elementul suport .....  | 128 |
| Fig.5.53. | Sistem de coordonate al senzorului .....   | 129 |
| Fig.5.54. | Traseul robotului mobil .....  | 129 |
| Fig.5.55. | Diferite suprafețe de teren pe care s-a deplasat robotul mobil: a) PVC, b) pietriș, c) iarbă artificială, d) nisip .....                 | 130 |
| Fig.5.56. | Accelerația robotului mobil pe diferite suprafețe de deplasare.....  | 131 |
| Fig.6.1.  | Procesul de proiectare a unui sistem mecatronic.....   | 133 |
| Fig.6.2.  | Principiul de dezvoltare a sistemului unui robot mobil.....  | 133 |
| Fig.6.3.  | Descompunerea funcției principale de autonomie a robotului mobil ..  | 134 |
| Fig.6.4.  | Descompunerea pe nivele a funcției de putere .....   | 135 |
| Fig.6.5.  | Descompunerea pe nivele a funcției de protecție .....  | 135 |
| Fig.6.6.  | Descompunerea la nivel organic.....  | 136 |
| Fig.6.7.  | Descompunerea sistemului de acționare la nivelul 4.....  | 137 |
| Fig.6.8.  | Nivelul 3 de descompunere a funcției de comandă .....  | 138 |
| Fig.6.9.  | Robot mobil proiectat .....  | 140 |
| Fig.6.10. | Nivelul inferior al șasiului robotului mobil .....   | 140 |
| Fig.6.11. | Nivelul superior al șasiului robotului mobil .....   | 141 |
| Fig.6.12. | Robot mobil proiectat .....  | 142 |
| Fig.6.13. | Corelare conceptuală.....  | 142 |
| Fig.6.14. | Echilibru între modelare, analiză și experiment.....   | 143 |
| Fig.6.15. | Modul mecatronic de conducere a roții motrice.....   | 143 |
| Fig.6.16. | Magnet permanent.....  | 144 |
| Fig.6.17. | Circuitul electric al unui motor .....   | 144 |
| Fig.6.18. | Rezistența indusului .....   | 145 |
| Fig.6.19. | Modelul 3D pentru rotorul motorului .....  | 146 |
| Fig.6.20. | Casetă de date .....   | 147 |
| Fig.6.21. | Angrenaj reductor melcat: a) teoretic b) motor DENSO .....   | 147 |
| Fig.6.22. | Roata în rostogolire pe un plan orizontal fix .....  | 148 |
| Fig.6.23. | Acțiunea forțelor asupra sistemului rotor .....  | 149 |
| Fig.6.24. | Schema standului experimental .....  | 150 |
| Fig.6.25. | Schema bloc a sistemului.....  | 151 |
| Fig.6.26. | Schema de lucru a sistemului .....   | 152 |
| Fig.6.27. | Rezultatul simulării pentru o mărime U=8V .....  | 153 |
| Fig.6.28. | Schema bloc în mediul Simulink/Matlab .....  | 153 |
| Fig.6.29. | Răspunsul sistemului în prezența unui semnal perturbator .....   | 153 |
| Fig.6.30. | Stand experimental.....  | 154 |
| Fig.6.31. | Caracteristica mecanică motoare pentru 8V .....  | 155 |
| Fig.6.32. | Caracteristica mecanică motoare pentru 12V .....   | 155 |
| Fig.6.33. | Caracteristica mecanică motoare pentru 14.5V.....  | 156 |
| Fig.6.34. | Robotul mobil și centrul instantaneu de rotație.....   | 156 |
| Fig.6.35. | Punctul P pe o traiectorie circulară .....   | 157 |
| Fig.6.36. | Situarea robotului mobil față de sistemul de referință fix .....   | 157 |
| Fig.6.37. | Schema bloc a modelului dezvoltată în mediul Simulink/Matlab .....   | 158 |

#### XIV Lista de figuri

---

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Fig.6.38. | Legea de mișcare pentru viteza unghiulară a roții motrice din stânga, rezultată din simulare.....           | 158 |
| Fig.6.39. | Legea de mișcare pentru viteza unghiulară a roții motrice din dreapta, rezultată din simulare.....          | 159 |
| Fig.6.40. | a) Traectoria descrisă de către punctul P b) Orientarea robotului față de sistemul de axe fix.....          | 159 |
| Fig.6.41. | Coordonatele punctului P .....  | 159 |
| Fig.6.42. | Traectoriile circulare descrise de robotul mobil .....  | 160 |
| Fig.6.43. | Legea de mișcare pentru punctul caracteristic P .....   | 161 |
| Fig.6.44. | Modelul cinematicii inverse în Matlab/Simulink .....  | 161 |
| Fig.6.45. | Traectoria liniară descrisă de robotul mobil .....  | 162 |
| Fig.6.46. | Vitezele liniare ale roților motrice .....  | 162 |
| Fig.6.47. | Vitezele unghiulare ale roților motrice .....   | 162 |
| Fig.6.48. | Semnificația termenilor din ecuațiile 6.83-6.86.....  | 165 |
| Fig.6.49. | Caracteristicile dimensionale ale robotului mobil .....   | 166 |
| Fig.6.50. | Schema bloc pentru simularea funcționării unui sistem de acționare.   | 166 |
| Fig.6.51. | Tensiunea necesară pe indusul motorului astfel încât să se asigure viteza unghiulară pe roata motrică ..... | 167 |
| Fig.6.52. | Valoarea medie a tensiunii pe o perioadă $T_0$ .....  | 167 |
| Fig.6.53. | Stand experimental.....   | 167 |
| Fig.6.54. | Forma discontinuă a tensiunii în faza de creștere.....  | 168 |
| Fig.6.55. | Schema sistemului de comandă pentru sistemul mecatronic.....  | 169 |
| Fig.6.56. | Simularea deplasării robotului mobil în mediul cu obstacole .....   | 170 |
| Fig.6.57. | Comportamentul roților motoare .....  | 170 |
| Fig.6.58. | Robotul mobil în aria de lucru .....  | 171 |
| Fig.6.59. | Caracteristicile scenei de lucru a robotului mobil.....   | 171 |
| Fig.6.60. | Posibile trasee pentru robotul mobil.....   | 172 |
| Fig.6.61. | Schema logică de funcționare a programului .....  | 173 |
| Fig.7.1.  | Robot mobil cu structură reconfigurabilă .....  | 175 |
| Fig.7.2.  | Simularea variantei constructive a structurii variabile.....  | 177 |
| Fig.7.3.  | Schema structurală a piciorului robotului mobil .....   | 179 |

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Evoluția sistemelor tehnice

Sistemul se poate defini ca „orice ansamblu organizat de resurse și proceduri în interacțiune sau interdependente, real sau abstract, pentru realizarea unui set de funcții specifice” [S8].

Se consideră că patru elemente au fost definatorii pentru dezvoltarea omenirii în istorie [B8]:

- preocupările grecilor și arabilor pentru urmărirea timpului;
- revoluția industrială din Europa (după mijlocul secolului al XVIII-lea);
- debutul comunicației de masă, primul și al doilea război mondial (1910–1945);
- debutul în spațiu și anul computerului (1957).

Argumente care susțin evoluția sistemelor tehnice sunt descrise pe larg în literatura de specialitate.

J. Watt inventează locomotiva cu abur în 1769, dată care marchează debutul Revoluției industriale. Regulatorul lui Watt realizat în 1787 a fost denumit în faza inițială „governor”. Aplicarea inițială a acestuia la mașina cu vapori a deschis șirul lung al unor destinații utile, eficiente și ingenioase într-o mulțime de aplicații tehnice. În fig.1.1 se prezintă aplicația inițială a regulatorului pentru reglarea turației la locomotiva cu aburi. Principiul de funcționare are la bază forța centrifugă care acționează asupra contragreutăților E. Un mecanism cu bare permite acționarea clapetei V de admisie a aburului spre cilindrul mașinii (fig.1.1)[\*\*\*1].

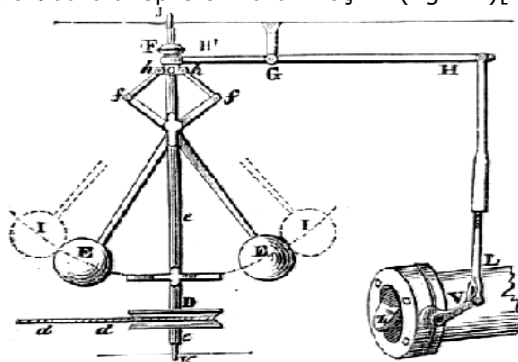


Fig.1.1. Principiul de funcționare a regulatorului Watt

Războiul de țesut creat de Jacquard (secolul al XVIII-lea) și-a adus contribuția atât la prima, cât și la cea de-a doua revoluție industrială. Prima contribuție a constat în mecanizarea industriei textile engleze (fig.1.2). A doua contribuție s-a datorat faptului că sistemul cartelei perforate (cartelă cu orificii pe linie și coloană detectabile pe cale mecanică) (punch\_card) - utilizat și în pianul ambulant și alte automate - a contribuit la dezvoltarea viitoarelor calculatoare.

Perioada dintre revoluția industrială și cele două războaie mondiale este nominalizată ca o perioadă extrem de importantă în dezvoltare.

În secolul al XIX-lea întâlnim prima dezvoltare a unui concept care se va utiliza mai târziu ca „sistem”. Carnot, în studiile sale referitoare la termodinamică, introduce conceptul de substanță de lucru (working substance) [L17]. R. Clausius generalizează acest concept și se referă în lucrările sale la corpul de lucru (working body) [S3]. În timp, conceptul a fost modificat și o serie de definiții au încercat să caracterizeze cât mai generalizat această noțiune. Un alt pionier al domeniului a fost biologul Ludwig von Bertalanffy. Acesta introduce modele, principii și legi aplicate pentru generalizarea sistemelor.



Fig.1.2. Războiul de țesut

J.C. Maxwell realizează pentru prima oară în mod riguros matematic o analiză a controlului sistemelor. Perioada precedentă lui 1868 se consideră *perioada preistorică* pentru controlul automat. Perioada dintre 1868 și 1900 este *perioada primitivă*. *Perioada clasică* a controlului automat se referă la perioada 1900 – 1960. După 1960 se vorbește despre *perioada modernă* a controlului.

O perioadă extrem de importantă în evoluție este cea premergătoare zborului cosmic. Este o perioadă care a generat o „explozie” în domeniul electronicii și mai târziu în tehnologia informațiilor:

- 1940: Russell S.Ohl demonstrează posibilitatea realizării joncțiunii „p-n” pe bază de siliciu;
- 1943: se dă startul la proiectul de realizare a lui ENIAC, mașina de calcul construită de John Mauchly și Presper Eckert (finalizare în 1946), 5000 operații pe secundă; 23 decembrie: William Shockley, Walter Brattain și John Bardeen pun, prin invenția lor – amplificator într-un cristal de germaniu - bazele creării tranzistorului (AT&T Bell Laboratories);
- 1956: (luna necunoscută) Primul computer tranzistorizat–TX-O Transistorized Experimental computer – la Massachusetts Institute of Technology;
- 1974: Intel 8080 – **cel mai important produs al secolului al XX-lea** [S8] – este pus în circulație;

Dezvoltări semnificative ale conceptului de sistem au fost introduse de N. Wiener și R. Ashby prin apelarea facilităților matematice. În 1980 J.H. Holland și G.M. Murray au introdus noțiunea de *sistem adaptiv*.

Conceptul general de sistem se utilizează foarte frecvent în diverse domenii ale tehnicii și științei, în economie, în natură și societate. Operatorul uman a fost și este o parte componentă esențială a sistemului.

Studiul proceselor sau fenomenelor fizice se efectuează asupra unor regiuni finite din univers denumite sisteme fizice (de dimensiuni variabile, astfel delimitate încât să interacționeze cu exteriorul ca un întreg).

*Sistemele ingineresti* definesc un domeniu multidisciplinar al ingineriei, orientat spre dezvoltarea și organizarea sistemelor complexe artificiale [L23].

## 1.1. Evoluția sistemelor tehnice 17

Termenul sisteme ingineresti a fost introdus de Bell Telephone Laboratories în anul 1940. Sistemele ingineresti dispun de strategii, proceduri și tehnici cu scopul de a performa proiectele sau produsele, de a performa procesele ingineresti.

Dezvoltarea produselor este o sarcină esențială a firmelor și impune noi tehnologii de dezvoltare. Procesele tehnologice sunt destinate creării produselor și au la bază trei tipuri de transformări:

- a materiei (substanței);
- a energiei;
- a informației.

Evoluția sistemelor fizice (pentru perioada de după sec. al XIX-lea) poate fi structurată în 3 clase:

- *mecanizare*: reprezintă introducerea în procesele de producție a mașinilor, mecanismelor, aparatelor etc. pentru executarea unor operații, activități, cu scopul de a înlocui sau a face mai eficientă munca fizică ori intelectuală a omului. Ex.: mașina cu apă în filatura de bumbac - Richard Arkwright în 1768; după 1790 acționare prin mașina cu abur (fig.1.3).

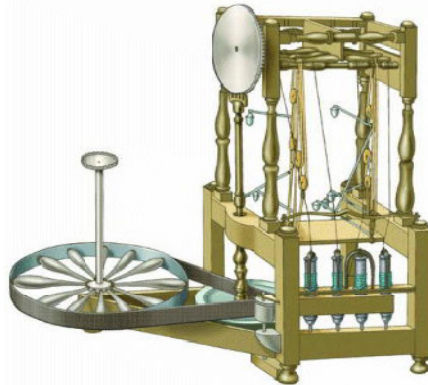


Fig.1.3. Mecanizare în filatura de bumbac

Mecanizarea îl eliberează pe operatorul uman de eforturile fizice și consumurile de energie mari, dar acesta rămâne strâns legat de procesul de producție.

- *automatizare* - acțiunea de a automatiza; folosire a automatelor în procesul de producție. Automatizarea urmărește eliminarea intervenției directe a omului în procesul de producție. Evoluția sistemului informatic și a electronicii au permis conducerea complexă a proceselor fără intervenția nemijlocită a omului.



Fig.1.4. Mașină unealtă cu comandă numerică



- *robotizare* – a dota cu sisteme mecanice, informatice sau mixte, cu roboți, procesul de producție în scopul de a înlocui omul în operații repetabile sau vătămătoare.



Fig.1.5. Roboți KUKA în procesul de producție

## 1.2. Din istoria roboticii

*Robotica* este știința care se ocupă cu tehnologia, design-ul și fabricarea roboților. Robotica necesită cunoștințe de electronică, mecanică și programare, iar persoana care lucrează în acest domeniu a ajuns să fie cunoscută ca robotician. Dramaturgul cehoslovac Karel Capek a folosit termenul „robota” pentru a descrie un slujitor mecanic. Termenul „robota” înseamnă în limba cehă ceva între șerb și sclav. Imediat după aceasta, benzile desenate, cărțile și filmele despre roboți au început să apară, iar cuvântul *robot* a fost înrădăcinat în cultura autohtonă și chiar în economie.

În 1942 apare pentru prima dată cuvântul „robotică”. Acesta a fost introdus de către Isaac Asimov, în povestirea științifico-fantastică „Fuga în cerc” [B8].

Începuturile pot fi plasate încă din 270 î.H. și se leagă de Grecia antică. Un învățat grec, Ctesibius, a realizat cu ajutorul cunoștințelor epocii sale din domeniul pneumatic și hidraulic, un ceas cu figuri mobile acționat cu ajutorul artei [K12]. Tot în perioada antichității a trăit și Heron din Alexandria (10-70 d.H.), un matematician și inventator grec, care a creat numeroase schițe de dispozitive autonome configurabile și a proiectat mașini acționate de aer, apă sau abur [V3].

În lumea islamică medievală, inventatorul Al-Jazari (1136-1206), a proiectat și construit un număr de mașini automate (inclusiv aparate de bucătărie) și mașini muzicale acționate de apă [B9], [D4]. Roboții apăreau ca fiind patru muzicieni pe un vapor în mijlocul unui lac. Rolul lor era de a distra oaspeții prezenți la petrecerile regale.

Este cunoscut faptul că Leonardo Da Vinci, a construit în jurul anului 1495 un robot. Robotul a fost creat pentru a asigura distracția oamenilor politici ai vremii respective și în același timp să stârnească uimirea celor care îl admirau [L23].

Omul cel mai recunoscut pentru invenția robotului industrial modern este George Devol, cel care a creat un braț robotic programabil de uz general în 1954 (fig.1.6). Prima generație de roboți – anii '60 – sunt generația acționărilor pneumatice, a robotului Unimate (Unimation Inc.).





Fig.1.6. Primul robot recunoscut oficial. Brațul robotic Unimate

Perioada dintre anii 1975-1997 definește generația a doua a roboților cunoscuți prin servocontrol, PLC-uri și dedicați pentru medii cunoscute [N1].

Perioada dintre anii 1990 și până în prezent, este perioada generației a treia de *roboți inteligenți*, dedicați mediilor nestructurate [Z1].

Primii roboți au avut o caracteristică comună, și anume baza fixă și o structură antropomorfă asemănătoare operatorului uman. Evoluția sistemelor tehnice a dus la apariția roboților mobili, astfel că la ora actuală robotul mobil este caracterizat de posibilitatea de navigare în mediul de lucru.

Robotica mobilă este într-o continuă dezvoltare și evoluție, încă de când a apărut conceptul la mijlocul secolului al XX-lea.

Rachetele V1 și V2 (1939-1945) se consideră primele realizări în domeniul sistemelor mobile autopilot. În anii 1948-1949 s-au construit roboții Elmer și Elsie (fig.1.7), doi roboți autonomi care explorau mediul înconjurător. Aceștia erau echipați cu senzori de lumină, iar în cazul în care găseau o sursă de lumină se îndreptau către aceasta. Dacă se descopereau obstacole între ei și sursa de lumină, acestea erau evitate sau mutate. Pentru prima dată s-a demonstrat că, comportamentul complex poate fi obținut și din design-uri simple. Roboții aveau capacitatea de control echivalentă a două celule nervoase și au fost construiți de către W. Grey Walter.



Fig.1.7. Robotul mobil Elmer

Robotul Cart (fig.1.8a) dezvoltat de Stanford în anul 1970, a fost robotul mobil capabil să urmărească o linie albă, folosind o cameră pe post de senzor. Alături de robotul Shakey (fig.1.8b), construit de către Stanford Research Institute,

a fost primul robot mobil care era controlat de către calculatoare. Robotul se conecta la calculatorul care făcea calculele prin intermediul undelor radio. Robotul Shakey era echipat cu cameră, senzor tactil, senzor de distanță și comunicare radio, fiind astfel primul robot capabil să-și analizeze propriile acțiuni. Asta însemna că robotului i se puteau da comenzi generale, iar el avea capacitatea de a-și stabili pașii necesari pentru a îndeplini sarcina dată.



Fig.1.8. Robotul Cart (a) Robotul Shakey (b)

În anul 1995 își face apariția în lumea roboticii mobile compania Linux, prin intermediul roboților Pioneer (fig.1.9). Acest robot a fost inițial proiectat pentru platforme de cercetare educațională. Datorită impactului pe care l-a avut, acesta a evoluat și acum este utilizat pentru diferite aplicații în domeniul militar, industrial și educațional.



Fig.1.9. Structuri de roboți Pioneer

Pe parcursul timpului soluțiile constructive și aplicațiile roboților mobili au fost puternic diversificate în paralel cu cercetări care au vizat construcția, controlul și navigarea în mediile de lucru.

### 1.3. Mecatronică și robotică

Revoluția informatică a marcat saltul de la societatea industrializată la societatea informațională, generând un val de înnoiri în tehnologie și educație.

Evoluția în timp a tehnicii concretizată prin mecanizare, automatizare și robotizare a fost determinată în principal de posibilitatea de utilizare în mod superior a informației. În același timp, apariția microprocesorului și a memoriilor semiconductoare a permis o abordare funcțională a procesului de realizare a produselor tehnice. Cele specificate au coincis cu necesitatea unui număr din ce în ce mai mare de produse noi – concepție și realizare - care înglobează pe lângă componenta mecanică și importante fracțiuni de electronică și informație. Într-o egală măsură evoluția unor sisteme mecanice tradiționale a fost posibilă prin transferarea realizării unor funcții spre zona electronică și a tehnologiei informației.

Dezvoltarea rapidă a noilor produse au avut la bază ascensiunea microelectronicii care a oferit diverse posibilități:

- *Circuitele electronice ieftine și de serie* pot înlocui dacă este cazul, sarcini și acțiuni mecanice prin electronică și software;
- *Circuitele integrate* permit controlul mișcării mecanice și a proceselor în mod ușor, precis și economic;

În anul 1969 cercetători ai firmei Yasukawa Electric Company au introdus noțiunea de mecatronics ca și o abreviere bazată pe mecha – „mechanism” + tronics – „electronics” [S4], [B8], [B11], [B18]. Termenul a fost utilizat pentru a descrie fuziunea tehnologică *mecanică – electronică – informatică* [K1]. Conceptul de mecatronică este sugestiv ilustrat în fig.1.10 [B20], [D5].

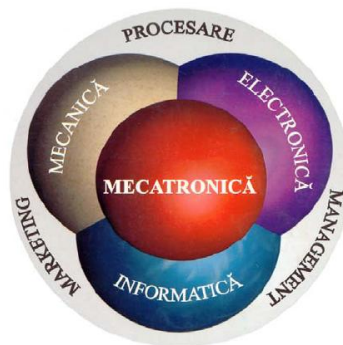


Fig.1.10. Conceptul de mecatronică

Conceptul de „mecatronică” a fost brevetat în anii 1971-1972, dar în anul 1982 firma Yasukawa renunță la drepturile de autor asupra acestuia pentru a putea fi utilizat pe scară largă. În anul 1986 conceptul este citat și în literatura de specialitate din România pentru roboți industriali.

Conceptul de mecatronică primește legitimitate academică în anul 1996 prin apariția revistei IEEE/ASME Transactions on Mechatronics [C33].

Noțiunea a generat controverse, discuții, analize și diverse abordări. Răspunsurile la modul de definire a mecatronicii au apărut în timp prin diverse definiții abordate la nivelul colectivelor de cercetare și proiectare:

- integrarea sistemelor mecanice, electronice și informatice pentru realizarea produselor și sistemelor tehnologice „inteligente” [D5];
- mecanică fină, control, știința calculatoarelor și electronică în proiectarea proceselor de realizare a unor produse mai funcționale și mai adaptabile [D8];
- integrare sinergică a ingineriei mecanice cu electronica și controlul inteligent computerizat în proiectarea și realizarea produselor industriale și a proceselor [L2];
- metodologie – colecție de practici, proceduri, reguli - utilizată pentru proiectarea optimală a produselor electromecanice.

Conform cu cele specificate robotul este un *sistem mecatronic*, destinat automatizării interacțiunii omului cu mediul în care operează. Sistemul mecatronic este alcătuit din componente mecanice, electronice și de calcul automat [C4].

Într-o formă ierarhică, pe mai multe nivele, structura sistemelor mecatronice este organizată astfel [1.7]:

- modul funcțional mecatronic (MFM)* (Mechatronic Function Module);
- sistem mecatronic autonom (SMA)* (Autonomous Mechatronic System);

c) *rețea de sisteme mecatronice (RSM) (Networked Mechatronic Systems).*

*Robotul mobil* este în general un dispozitiv mecatronic complex, care asigură un anumit grad de autonomie ce permite navigarea în scenele de operare naturale sau preparate aprioric, fiind capabil să execute o clasă de sarcini utile pe parcursul deplasării sale. Din acest punct de vedere există o gamă foarte largă de configurații mecatronice ce pot fi încadrate în această clasă:

- *un vehicul cu roți* este considerat robot mobil numai dacă dispune de un anumit grad de autonomie în navigație.
- *roboții manipulatori convenționali*, specifici aplicațiilor industriale, pot dobândi mobilitate prin instalarea lor pe o platformă mobilă.
- *roboții mobili* special proiectați pentru anumite aplicații, al căror sistem de locomoție utilizează șenile, structuri pășitoare, structuri șerpuitoare sau alte soluții constructive neconvenționale.

Construcția și exploatarea roboților mobili mențin practic în actualitate toate problemele generale ale roboților convenționali: mecanica versatilă și fiabilă, sisteme de acționare performante, sisteme senzoriale capabile să controleze cu precizie și rapiditate o gamă foarte largă de parametri, sisteme de conducere cu funcționare adaptivă în timp real, precizie și repetabilitate în realizarea secvențelor de mișcare, etc.

#### **1.4. Concluzii finale**

Evoluția în timp a roboților mobili a condus la numeroase variante funcționale și constructive. Abordarea unei teme de cercetare referitoare la robotul mobil sau proiectarea optimală a unui astfel de sistem mecatronic impune o analiză a stadiului actual al roboticii mobile.

Apartenența robotului mobil la sistemele mecatronice impune o abordare a sintezei și analizei acestuia în spiritul „filozofiei” mecatronice.

Apariția roboticii în general și a roboticii mobile în particular recomandă o paralelă biomecanică operator uman – robot.

## 2. STADIUL ACTUAL ÎN ROBOTICA MOBILĂ

### 2.1. Introducere

În centrul științelor naturale și tehnice se află noțiuni de observare și măsurare (fig.2.1). Pornind de la o observație, cercetătorul construiește o imagine fizică a problemei pe care o analizează și apoi formulează o teorie, adică un concept despre aspectul naturii analizat.

Pe baza unor experimente gândite și construite în mod judicios se realizează experimente a căror rezultate pot confirma teoria, determină modificări ale acesteia sau o resping. Pe baza acestor argumente se poate afirma că în domeniul științelor naturale și tehnice, observațiile și măsurările (experimentele) sunt elemente fundamentale.

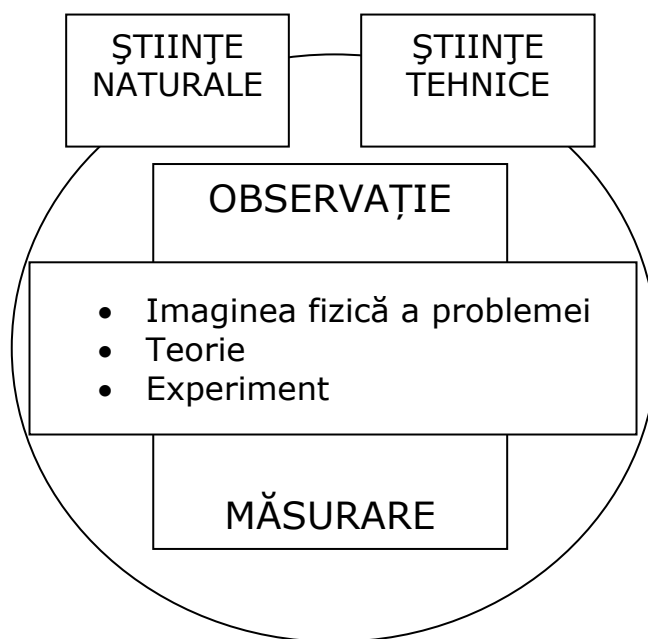


Fig.2.1. Observația și măsurarea

O noțiune extrem de importantă care stă la baza abordărilor ulterioare este cea de sistem, care poate fi înțeles într-un mod foarte general, ca „o colecție de obiecte aranjate într-o formă ordonată, care într-un anumit sens este dirijată spre un scop sau o țintă” [M3].

Tot ce aparține „sistemului” face parte din „mediul ambiant” (fig.2.2). După linia de demarcație ce se impune între sistem și mediul ambiant, se pot defini pentru sistem relațiile de intrare/ieșire. Ceea ce constituie un sistem depinde de punctul de vedere al observatorului.

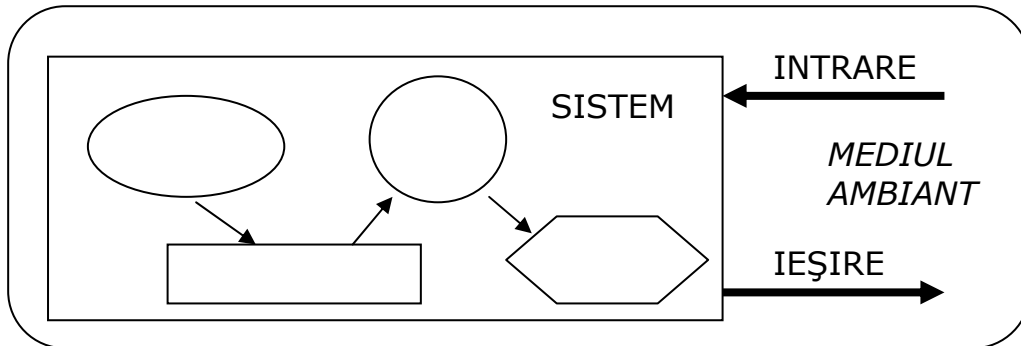


Fig.2.2. Sistem și mediul ambiant

O importanță egală cu cele două anterioare specificate, o reprezintă noțiunea de model. Formularea unei teorii se poate echivala cu „construirea modelului”, iar teoria ar putea defini „modelul” realității analizate. Modelul va reprezenta sub o formă utilizabilă, aspectele esențiale ale sistemului existent. În domeniul tehnic modelul este întâlnit și utilizat printre altele și în scopul proiectării.

Pe parcursul timpului s-a pus deseori întrebarea: ce este primordial, construirea unei complexități sau funcțiile complexității? În ultima perioadă viața de zi cu zi a demonstrat că funcțiile unei „complexități” devin primordiale. În același timp se poate afirma că evoluția în timp a unui sistem – înțeles ca o complexitate – este determinată de funcțiile acestuia.

Robotul mobil care desfășoară o activitate într-un mediu de lucru este un sistem. Evoluția constructivă și aplicativă constituie subiectul prezentului capitol.

## 2.2. Evoluția roboților mobili și aplicațiile acestora

### 2.2.1. Evoluția roboților mobili

Robotica mobilă este într-o continuă dezvoltare și evoluție, încă de când a apărut conceptul la mijlocul secolului al XX-lea.

Între anii 1961-1963 la Universitatea Johns Hopkins din Baltimore, s-a construit robotul mobil „Beast” (fig.2.3). Robotul naviga pe coridoare vopsite în alb cu ajutorul informațiilor de la un senzor ultrasonic. În momentul descărcării bateriilor de alimentare a circuitelor, robotul „căuta” prizele de culoare neagră de pe perete cu ajutorul unor senzori optici și se conecta la priză cu ajutorul brațului special de încărcare. După ce se încărca, își relua activitățile de patrulare [\*\*\*1].

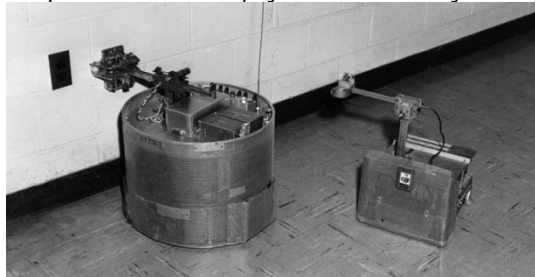


Fig.2.3. Robotul mobil Beast

## 2.2. Evoluția roboților mobili și aplicațiile acestora 25

În anul 1970, programul spațial rusesc lansează primul robot mobil controlat la distanță, denumit Lunokhod 1 (fig.2.4). Acesta a transmis de pe suprafața Lunii peste douăzeci de mii de poze, timp de unsprezece luni, după care transmisia a fost întreruptă până în anul 2010, când a fost localizat la o distanță de un centimetru față de coordonatele cunoscute [\*\*\*1].

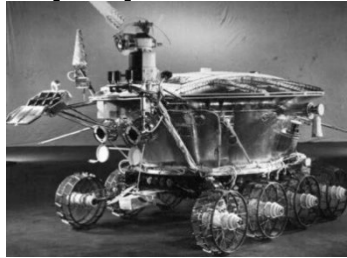


Fig.2.4. Lunokhod 1

Robotul mobil Sojourner (fig.2.5) a fost folosit în timpul misiunii Pathfinder de către NASA, în explorarea planetei Marte în vara anului 1997. Chiar dacă era comandat de pe Terra, Sojourner era echipat cu un sistem de detectare a obstacolelor de tip Hazard, permițându-i robotului să găsească traiectoria optimă pe terenul accidentat de pe Marte [\*\*\*1].

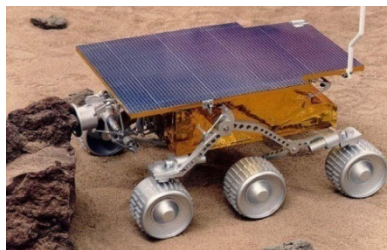


Fig.2.5. Robotul mobil Sojourner

În anul 2002 apare robotul Roomba Intelligent Florbac, primul robot mobil autonom domestic (fig.2.6). Sarcina acestui robot este de a curăța pardoseala, fiind considerat primul robot comercial de succes. Datorită sistemului său de navigare, Romba putea evita obstacolele, curățând tot ce era în jurul lor [\*\*\*1].



Fig.2.6. Robotul Roomba

Compania Bostons Dynamic în parteneriat cu Defence Advanced Research Project Agency a realizat prima versiune în anul 2004 a robotului BigDog, iar în anul 2008 a îmbunătățit această versiune (fig.2.7). Scopul acestui robot a fost de a transporta diferite încărcături pe teren accidentat și greu accesibil. Cu o utilitate puternic militară BigDog a constituit o revoluție în lumea roboticii mobile, în special

datorită faptului că a fost primul robot care își poate păstra echilibrul. Poate merge pe gheață, urca trepte, să escaladeze un zid etc.; robotul cântărește 106kg și poate transporta aproximativ o sarcină de 155kg [\*\*\*6].



Fig.2.7. Robotul BigDog

Evoluția în timp a variantelor roboticii mobile poate fi concretizată prin reprezentarea din fig.2.8. O reprezentare mai dezvoltată a acestei evoluții este prezentată în Anexa 2.1.

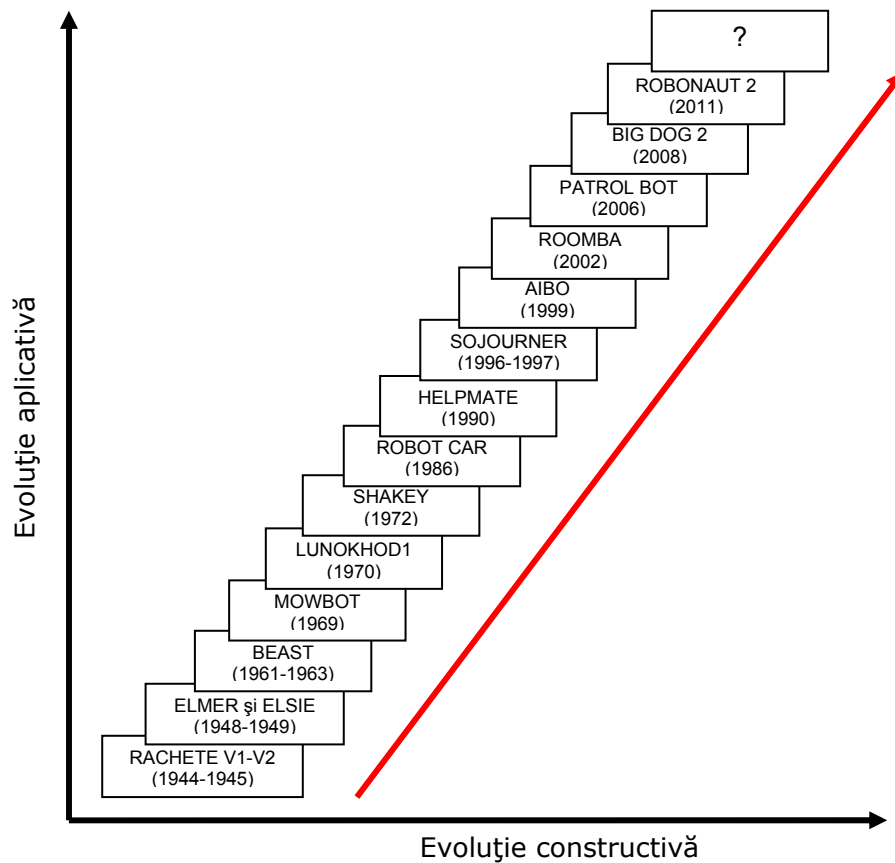


Fig.2.8. Evoluția roboticii mobile



După cum se observă în figura de mai sus, fiecare perioadă a fost marcată de apariția unui nou concept în acest domeniu.

## 2.2.2. Aplicații ale roboților mobili

### 2.2.2.1. Aplicații în agricultură și recoltare

Unul dintre cel mai comun domeniu de aplicație al roboților mobili este domeniul agricol. În ultimii ani interesul pentru dezvoltarea acestor structuri mobile a fost în creștere, fapt care a condus la proiectarea și dezvoltarea unor roboți mult mai practici și adaptabili pentru condițiile de lucru. În fig.2.9 se poate observa structura unui robot mobil special proiectată pentru a efectua operațiuni de înaltă precizie și cu un impact cât mai mic asupra plantelor. Principalele caracteristici sunt precizia în direcție, consum redus de energie și cost redus de fabricare.

Robotul Agrobot, prezentat oficial la începutul anului 2011, recoltează căpșuni (fig.2.10). Cu un sistem sofisticat de urmărire și identificare, identifică fructele după mărime, grad de coacere și aspect, luând decizia de a fi culese sau nu. Odată ce fructul este identificat, robotul calculează calea pe care trebuie să o urmeze brațul acestuia pentru a tăia coada. O bandă rulantă transportă fructul în fața robotului, unde este sortat și împachetat [\*\*\*7].



Fig.2.9. Robot mobil în agricultură



Fig.2.10. Robotul Agrobot

### 2.2.2.2. Aplicații în curățenie și accesorii

Acest domeniu este foarte atractiv pentru roboții mobili deoarece suplinește activitățile curente ale omului. Acest lucru a dus la dezvoltarea multor programe guvernamentale cu privire la aprofundarea cercetărilor în acest domeniu. Un exemplu în acest sens este proiectul DustBot finanțat de către Uniunea Europeană și realizat de către Robotech. Ca urmare a acestui proiect a fost realizat robotul DustClean (fig.2.11). Acesta este un robot echipat cu perii pentru strângerea gunoiului prezent în zonele pedestre, cum ar fi: țigări, pahare de plastic, hârtii etc.

Robotul este echipat cu patru roți pentru deplasare, având două perii în față, o perie centrală, container pentru gunoi și rezervor de apă pentru a curăța traseul. De asemenea, este echipat cu senzori (un senzor cu laser și doi senzori tactili) și componente electrice care îi permit să acționeze autonom și în condiții de siguranță, evitând obstacole cum ar fi oameni și mobilă [\*\*\*8].



Fig.2.11. Robotul DustClean

Odată cu dezvoltarea unor noi forme de construcții civile (zgârie-nori, clădiri cu fațadă de sticlă), a apărut și problema întreținerii acestora. Datorită condițiilor de lucru extreme (vânt puternic, lucru la înălțime, temperaturi scăzute) s-a apelat la roboții mobili pentru efectuarea operațiilor de întreținere. Astfel, compania elvețiană Serbot a lansat doi roboți care au preluat această sarcină: Gekko și CleanAnt.

CleanAnt (fig.2.12) se folosește la clădirile cu contururi diferite. Robotul poate fi utilizat atât în stare autonomă, cât și controlată. CleanAnt poate fi folosit în zone concave sau convexe, orizontale sau verticale [\*\*\*9].



Fig.2.12. CleanAnt

### 2.2.2.3. Aplicații în lucrări în construcții

F-16 (fig.2.13), este un robot de demolare, care poate dărâma casa scărilor, plăcile de beton și pereții. Pentru o capacitate mai ridicată de distrugere, folosește foarfece, întrerupătoare, graifer, un picamer, găleți și o gheară pentru pulverizarea betonului. Robotul, alimentat electric, folosește ca mijloc de locomoție șinele, iar pentru o mai bună siguranță de lucru, patru pedestale mobile care îl stabilizează. Prezintă și o cameră pentru precizia acțiunii de demolare [\*\*10].



Fig.2.13.Robotul de demolare F-16

### 2.2.2.4. Aplicații în educație

Acest domeniu are o largă deschidere în lumea roboticii mobile. La ora actuală există numeroase firme care s-au specializat în proiectarea și realizarea diferitelor modele de roboți mobili. Scopul acestor roboți este de a simula la un nivel mai scăzut acțiunile pe care le realizează roboții mobili folosiți în celelalte domenii. Din acest motiv ei folosesc multe din principiile care stau la baza roboților mobili folosiți în zona industrială și științifică. Dintre aceste concepte putem exemplifica robotul mobil Boe-Bot de la Parallax, fig.2.14. Acest robot folosește electronică și elemente senzoriale foarte similare cu roboții utilizați în aplicațiile din domeniul industrial. Are o gamă largă de senzori, ceea ce permite utilizarea lui pentru o mulțime de sarcini [\*\*11].

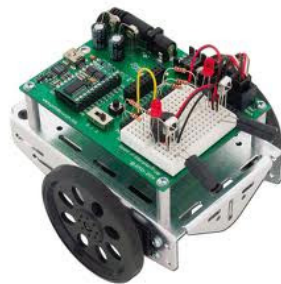


Fig.2.14. Robotul Boe-Bot

Un alt exemplu de robot mobil este și robotul hexapod CH3-R combo kit (fig.2.15). Acesta este un robot care folosește toate cele șase membre ale sale, construite din aluminiu și lexan și 18 servomotoare. Cinematica corpului structurii robotice îi permite acestuia să se deplaseze în orice direcție [\*\*10].



Fig.2.15. Robotul pășitor CH3-R

Un concept interesant (apropiat de filozofia mecatronică) este abordat de firma LEGO (fig.2.16). Aceasta a lansat pe piață kit-ul educațional LEGO MAINSTORM, care este unic datorită faptului că permite utilizatorului să creeze structuri robotice mobile atât cu roți, cât și elemente pășitoare. Aceste structuri sunt create cu ajutorul unor simple piese de lego. Unitatea centrală și senzorii sunt blocuri care se integrează în structura creată de piese [\*\*12].

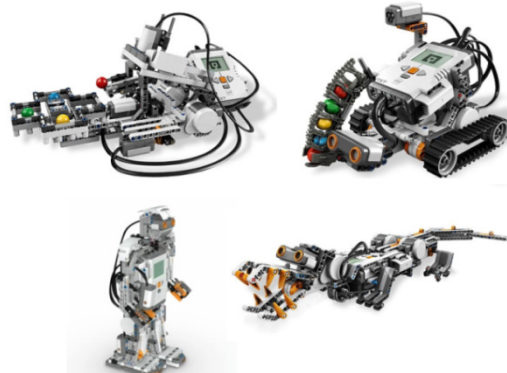


Fig.2.16. Diferite structuri robotice realizate cu ajutorul pieselor de lego

#### 2.2.2.5. Aplicații în combaterea incendiilor

Frigo-M (fig.2.17) este un robot mobil dezvoltat în Japonia și este capabil să recunoască și să urmărească autonom un pompier care este echipat cu echipament antiincendiu. Recunoaște și memorează automat calea pe care o parcurge și transportă autonom la loc sigur victimele găsite de către pompier. Are corpul principal protejat împotriva apei, prafului, exploziilor și a șocurilor puternice [\*\*10].



Fig.2.17. Robotul Frigo-M

### 2.2.2.6. Aplicații în industria alimentară

Snackbot (fig.2.18) este un robot de mărimea unui copil, care folosește ca sistem de locomoție roata, având ca principal scop distribuirea gustărilor. La ora actuală este întrebuințat în cadrul Universității Carnegie Mellon, unde folosește aplicația în interesul studenților, profesorilor și angajaților instituției. Folosește principiul fuziunii dintre mai mulți senzori pentru a se deplasa și a interacționa cu mediul [\*\*13].



Fig.2.18. Robotul Snackbot

### 2.2.2.7. Aplicații în activități de inspecție

#### *Roboți pentru inspecția clădirilor*

Monitorizarea stării de deteriorare a clădirilor mari este foarte importantă atât pentru prevenirea dezastrelor, cât și pentru întreținerea acestora. Cele mai multe metode de monitorizare din aceste zile constau în metoda de inspecție vizuală cu ochiul liber, dar zonele de acces ale inspectorilor sunt limitate. De asemenea, există multe probleme suplimentare, întrucât o mulțime de lucrări periculoase au fost făcute în mare parte de către om. În consecință, a fost dezvoltat un sistem robotic omniprezent pentru monitorizarea autonomă a stării de deteriorare a clădirilor mari (fig.2.19). Robotul poate urca un perete înclinat la  $45^{\circ}$ , poate fi comandat la distanță și poate să aibă un canal video de transmisie wireless [\*\*10].



Fig.2.19. Robot în inspecția clădirilor

### *Roboți pentru inspecția țevelor*

Robotul de inspecție pe bază de senzori cu ultrasunete este capabil să inspecteze pe distanță lungă interiorul țevelor de căldură (fig.2.20). Această metodă permite determinarea grosimii peretelui conductei cu o precizie ridicată (tinde spre 100%). În acest fel, este posibil să fie detectate deteriorările peretelui conductelor, atât din interior, cât și din exterior. Robotul poate funcționa în interiorul tuburilor cu diametrul cuprins între 300-500mm, cu o lungime totală de 250m și chiar în cele care au compensatoare și curbe. Viteza de deplasare a robotului este de aproximativ 200m/h, înainte și înapoi. Robotul de inspecție cu ultrasunete își presează pneumatic roțile pe pereții interiori ai țevelor, fapt ce îi oferă o tracțiune excelentă. Modulul electronic pentru efectuarea inspecției cu ultrasunete este montat în partea din spate a robotului. Un cablu special conectează robotul cu unitatea de control, precum și cu departamentul de analiză [\*\*13].



Fig.2.20. Robotul de inspecție cu ultrasunete

### **2.2.2.8. Aplicații în medicină**

SpeciMinder (fig.2.21) este un robot mobil total autonom care ajută la transportul materialelor medicale în interiorul diverselor laboratoare. Poate funcționa 24 de ore pe zi. Utilizarea lui nu necesită modificări ale instalațiilor din laborator. Astfel, în scurt timp robotul realizează o hartă a rutei pe care circulă. Are 12 programe pre-setate, se ghidează cu ajutorul hărții laboratorului pe care și-o creează singur, nu are nevoie de calculator principal, iar pentru evitarea obstacolelor și a interferenței cu operatorul uman folosește un senzor cu laser [\*\*10].

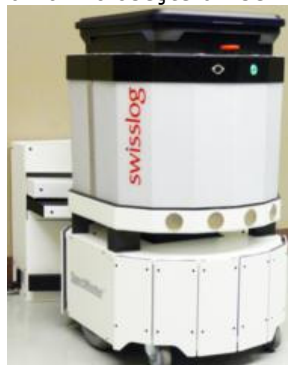


Fig.2.21. Robotul SpeciMinder



### 2.2.2.9. Aplicații în domeniul explorării

Odată cu sfârșitul celui de-al doilea război mondial, întreaga lume a arătat un interes deosebit față de spațiu, în special pentru explorările corpurilor cerești. Dacă la început s-au folosit misiuni umane, în ultima perioadă au devenit din ce în ce mai folosite misiunile robotizate. Acest lucru se datorează costurilor și riscurilor mai scăzute, față de misiunile umane.

Un alt aspect care a dus la folosirea roboților mobili sunt condițiile severe impuse de o misiune spațială:

- aspectele tehnice ale unei călătorii spațiale: problemele de decolare și de aterizare a navei; limitarea masei de transport, autonomie limitată, legătura dintre nava spațială și centrul de comandă, perioade lungi de stagnare etc.

- condițiile extreme datorate spațiului: forța de gravitație redusă, instabilitatea mediului, vidul, variația de temperatură, praful și exploziile solare etc.

De-a lungul timpului s-au folosit diferite vehicule pentru explorarea Lunii, dar care în acest moment sunt depășite.

La ora actuală se pregătește pentru o misiune de explorare a planetei Marte robotul Curiosity (fig.2.22) care va fi lansat în spațiu la sfârșitul acestui an. Robotul are o înălțime de aproximativ 2m și a fost realizat de către Jet Propulsion Laboratory [\*\*14].

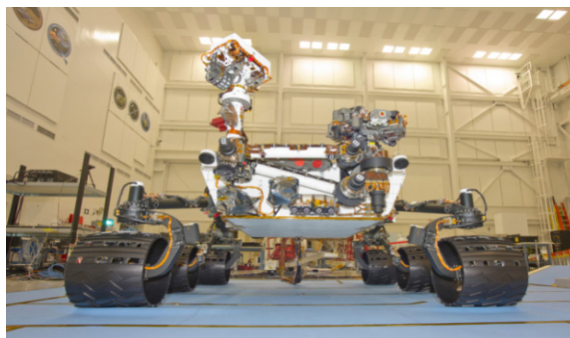


Fig.2.22.Robotul Curiosity

De asemenea, nici roboții mobili pășitori nu au fost ignorați. În acest sens, Jet Propulsion Laboratory în colaborare cu NASA au proiectat un robot mobil pentru mentenanță în spațiu. Cu cât volumul și complexitatea activității umane în spațiu va crește, cu atât vor fi mai mari riscurile și costurile pentru desfășurarea activităților în spațiu. Acest lucru a dus la crearea unei tehnologii speciale pentru roboții de mentenanță. În ultimii ani JPL a dezvoltat roboți mobili pășitori de dimensiuni reduse, dar cu un grad de dexteritate ridicat. Un exemplu din această categorie este robotul Lemur 2 (fig.2.23). Acest robot are greutatea de 10kg, are șase membre cu un grad ridicat de dexteritate. Membrele sunt special proiectate, atât pentru operațiuni de deplasare, cât și de manipulare [\*\*15].

Robotul Nomad (fig.2.24) a fost construit de către cercetătorii americani pentru a căuta resturile obiectelor spațiale – meteoriților - care cad în Antarctica. Principiul pe care robotul îl folosește în timpul locomoției sale, este similar cu cel al mașinilor de tuns iarba, mișcări în linie dreaptă și apoi întoarceri de 180 grade. Vizibilitatea acestuia îi permite să caute roci care se disting prin culoarea lor întunecată față de fundalul alb de gheață. Apoi, senzorul video de mare rezoluție a robotului poate mări imaginea achiziționată a rocii, determinându-i mărimea și culoarea, ca o dovadă că este meteorit.

Când explorează o zonă, robotul trebuie să aleagă ce roci examinează și în ce ordine, să decidă dacă trebuie să se deplaseze sau dacă trebuie să-și folosească brațul manipulator sau pe ambele funcții simultan, pentru a-și atinge scopul [\*\*10].



Fig.2.23.Lemur 2



Fig.2.24.Robotul Nomad

#### **2.2.2.10. Aplicații în mediul subacvatic**

Mediul subacvatic a căpătat o atenție sporită odată cu dezvoltarea industriilor petroliere marine, cât și construirii podurilor și barajelor, activități care necesită un studiu geodezic al bazinelor marine. Paralel cu aceasta s-a dezvoltat și studiul florei și faunei marine. Pentru aceste activități au fost realizate câteva structuri robotice care țin cont de condițiile speciale din mediul de lucru: curenții marini, presiunea apei și altele. În fig.2.25 este prezentat robotul ACMR 2, dezvoltat de Tokyo Institute of Technology. Propulsia este creată prin ondulație și are 18 grade de libertate, o lungime de 1750mm și un diametru de 80mm [\*\*16].

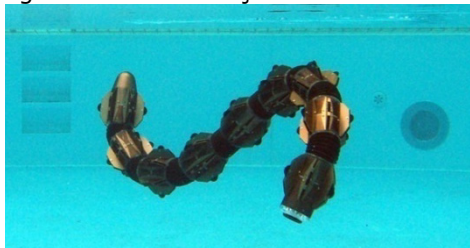


Fig.2.25.Robot mobil modular ACMR 2



Un alt robot din această categorie este robotul Aqua 2, care a fost realizat la McGill University din Canada. Acesta oferă avantajul că poate să fotografieze și să filmeze în mediul marin. Datorită sistemului de locomoție unic poate la fel de bine să înoate și să se scufunde, cât și să se deplaseze pe uscat (fig.2.26a) [\*\*17].

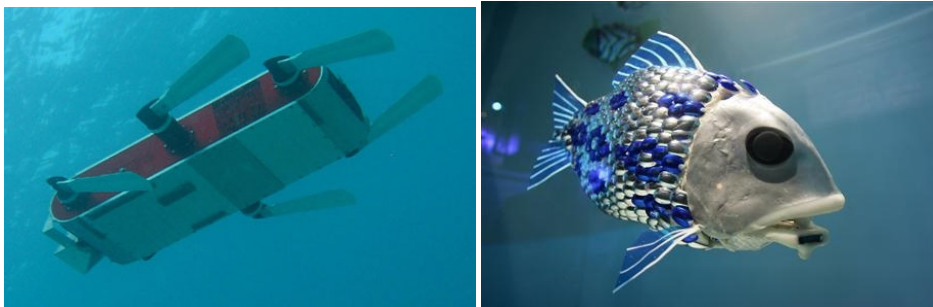


Fig.2.26.a) Robotul mobil Aqua 2 b) Robotul mobil Robo Fish

Un robot mobil care detectează poluarea a fost realizat de către Essex University în parteneriat cu BMT Group în Marea Britanie (fig.2.26 b). Acesta este sub formă de pește, reproduce mișcările unui pește real și este echipat cu senzori pentru a detecta eventualele substanțe poluante (de exemplu scurgerile petroliere de la conducte și nave). Robotul este dotat cu senzor în infraroșu pentru a evita coliziunile cu diferite obstacole. Datele sunt transmise folosind tehnologia Wi-fi [\*\*18].

#### 2.2.2.11. Aplicații în mediul forestier

Exploatarea și întreținerea pădurilor este o altă aplicație a roboților mobili. Robotul pășitor Plustech Forestry (fig.2.27) este un robot cu șase picioare, proiectat pentru tăierea arborilor și cântărește 3500kg. Atu-ul acestui robot este în primul rând protejarea mediului, deoarece suprafața de sol supusă strivirii este limitată datorită contactului discret cu acesta. Printre alte avantaje ale acestui robot putem include posibilitatea de evitare a obstacolelor și nu în ultimul rând mobilitatea superioară [\*\*19].



Fig.2.27. Robot pășitor Plustech Forestry

### 2.2.2.12. Aplicații în domeniul militar

Robotul Foster-Miller TALON (fig.2.28) este un robot militar pe șenile, mic, conceput pentru misiunile de recunoaștere. Poate fi folosit în medii cu nisip, apă, zăpadă, precum și la cățărare. Datorită senzorului video, acest robot poate transmite operatorului datele în alb-negru, color, infraroșu, chiar și pe timp de noapte. Raza câmpului „vizual” este de până la 1000 de metri. O altă caracteristică este fiabilitatea sa. A fost folosit la decontaminare în Zona 0 după atacurile din 11 septembrie timp de 45 de zile, fără eșuări electronice [\*\*13].



Fig.2.28. Robotul Foster-Miller TALON

Unul dintre cei mai de succes și testați roboți de luptă din lume, este iRobot 510 PackBot (fig.2.29). Acesta dezamorsează bombe și efectuează alte misiuni periculoase în locul soldaților din teatrele de luptă. Prezintă o gamă largă de senzori, include o varietate de efectori și se adaptează cu ușurință la cerințele în continuă schimbare de identificare a bombelor și a misiunilor care pun viața în pericol [\*\*13].



Fig.2.29. iRobot 510 PackBot

### 2.2.3. Concluzii

Au fost prezentate câteva din aplicațiile prezente în literatura de specialitate. Numărul de aplicații ilustrate anterior scoate în evidență utilitatea și aplicabilitatea pe scară largă în diverse domenii.

Se poate constata și numărul ridicat de variante constructive. Apelarea la un robot mobil cu o anumită structură impune o alegere optimală pe baza unor criterii de performanță.

## 2.3. Robotul mobil – sistem mecatronic

### 2.3.1. Definiții

Robotul mobil este definit ca un robot montat pe o platformă mobilă care îl transportă în zona în care acesta trebuie să îndeplinească o sarcină. Roboții mobili au capacitatea să se deplaseze în mediul de lucru și nu sunt definiți de un singur punct de localizare.

Similar cu definiția Organizației Internaționale pentru Standardizare a unui robot industrial, un robot mobil poate fi definit ca fiind „...un sistem autonom capabil să traverseze un teren cu obstacole naturale sau artificiale. Șasiul este echipat cu roți, șenile sau picioare și opțional cu un manipulator pentru manevrarea pieselor, uneltelor sau a dispozitivelor speciale. Diverse operațiuni preplanificate sunt executate pe baza unei strategii pre-programate de navigare, luând în considerare starea curentă a mediului de lucru [\*\*\*3]. De remarcat în definiția anterioară, este introducerea noțiunii de sistem.

Alte definiții asemănătoare pentru robotul mobil sunt date în literatura de specialitate [B8], [H6], [S9].

După G. Bekey, „robotul mobil este o mașinărie care simte, gândește și acționează. Din acest motiv trebuie să aibă senzori și capacitate de prelucrare a datelor” [B8].

„Robotul mobil este o structură care interacționează cu alte entități (obiecte, oameni, alți roboți) prin intermediul simțului și percepției” [N24].

Conform [\*\*\*4], un robot este „un dispozitiv automat, care execută funcții normale atribuite oamenilor, sau o mașină cu asemănare de om”.

O altă definiție se referă la robotul mobil ca fiind „un manipulator reprogramabil multifuncțional, destinat să deplaseze materiale, piese, scule sau aparate, prin mișcări programate variabile, în scopul îndeplinirii unor sarcini diferite” [\*\*\*5].

În [B23] robotul mobil se definește ca fiind „un dispozitiv mecatronic complex, care asigură un anumit grad de autonomie ce permite navigația în scenele de operare naturale sau preparate aprioric, fiind capabil să execute o clasă de sarcini utile pe parcursul deplasării sale”.

### 2.3.2. Clasificări ale roboților mobili

Există numeroase criterii, unele chiar contradictorii, ce pot fi avute în vedere pentru clasificarea roboților mobili.

Acest lucru este evidențiat și în tabelul 2.1. [B8].

Structura mecanică a roboților mobili poate sta la baza clasificării acestora din punctul de vedere al sistemului de locomoție [N2]:

- cu șenile;
- cu roți;
- cu picioare;
- cu roți și picioare;
- cu picioare și roți;
- cu actuatoare;
- cu capacitate de cățărare;
- cu capacitate de săritură.

Tabelul 2.1

| <b>Criteriu</b>                     | <b>Clasificare</b>                               |
|-------------------------------------|--|
| În funcție de mediul de operare     | Roboți tereștri                                  |
|                                     | Roboți acvatici                                  |
|                                     | Roboți aerieni                                   |
|                                     | Roboți zburători                                 |
| În funcție de comunicare            | Robot telecomandat permanent de un operator uman |
|                                     | Robot telecomandat periodic                      |
|                                     | Robot complet autonom                            |
| În funcție de asigurarea autonomiei | Robot cu autonomie energetică                    |
|                                     | Robot cu autonomie decizională                   |
| În funcție de tipul de locomoție    | Robot cu contact direct cu solul                 |
|                                     | Robot fără contact direct cu solul               |
| În funcție de metoda de locomoție   | Robot cu roți                                    |
|                                     | Robot cu șenile                                  |
|                                     | Robot pășitor                                    |
|                                     | Robot șerpuitor                                  |
|                                     | Robot cu pernă de aer                            |
|                                     | Robot cu sustentație magnetică                   |
|                                     | Robot sferic (se deplasează prin rotire)         |
|                                     | Robot săritor                                    |
| În funcție de gradul de libertate   | Robot holonom                                    |
|                                     | Robot non-holonom                                |
| În funcție de gabarit               | Macro-robot                                      |
|                                     | Micro-robot                                      |
|                                     | Nano-robot                                       |

Tabelul 2.2

| <b>Modalitatea de locomoție</b> | <b>Exemple de soluții constructive de roboți</b>  |
|---------------------------------|---|
| Șenile                          | iRobot „Packbot”, Foster-Miller „TALON”, CMU „Gladiator”, Sandia „Microcrawler”, ESI „MR-1” și „MR-5”, Remotec’s Andros series.                                   |
| Roți                            | National Robotics Engineering Consortium „Spinner”, University of Minnesota „SCOUT”, Stanford „Stanley”, JPL „Inflatable Rover”, Draper „Throwbot”, EPFL „Alice”, |
| Pășitori                        | Stanford „Sprawlita”, Draper „Bug2”, Draper „Ratbot”, Boston Dynamics „Big Dog”, Frank Kirchner „Scorpion”.   |
| Hibrid (roți și pășitori)       | Hirose Lab „Roller-Walker”, Lockheed Martin „Retarius”, JPL „ATHLETE”, EPFL „Octopus”, EPFL „Shrimp”.   |
| Hibrid (pășitori și roți)       | University of Minnesota „SCOUT”, Draper „SpikeBall”, Boston Dynamics „RHex”, CWRU „Mini-Whegs”  |
| Actuatoare                      | CMU „Millibots”, Draper „Throwbot”, Draper „HISS”, Draper „Rubble Snake”, Draper „HMTM”.  |
| Cățărați                        | Stanford/JPL „Lemur”, Boston Dynamics „RiSE”, Clarifying Technologies „Clarifying Climber Robot”, iRobot „Mech-gecko”.  |
| Săritori                        | JPL „Frog”, JPL „hopping robot”, Sandia „Self-Reconfigurable Minefield”, Sandia „hopping robot”.  |

### 2.3. Robotul mobil – sistem mecatronic 39

Multitudinea de structuri robotice mobile prezente în industrie, universități sau centre de cercetare, confirmă cele menționate mai sus. Prin urmare, nu s-ar putea face o comparație între aceste tipuri de structuri robotice dacă nu ar fi o matrice de performanță care să compare caracteristicile fiecărei structuri. Acest fapt este prezentat în tabelul 2.3 [C1].

Tabelul 2.3

| Tip robot<br>Factor                                      | Andros | Packbot | Wheelbarr-ow | Matilda | Murv | Ratler | Helios | VCTV | MR-5 | NUGV | Idee propusă |
|--|--------|---------|--------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|--------------|
| Existență braț manipulare                                | x      | x       | x            | x       | x    |        |        |      | x    |      | x            |
| Braț nesusceptibil la distrugere                         |        |         |              |         |      |        |        |      |      |      | x            |
| Suspensii  | x      | x       |              |         |      |        | X      |      |      | x    | X            |
| Abilitate de reconfigurare                               | x      | x       | x-           |         |      | x-     | x      | x    |      | x    | X            |
| Capacitate de strângere a brațului                       |        | x-      |              |         |      |        |        |      |      |      | X            |
| Platformă cu mai mult de două articulații                | x      | x       |              |         |      |        | x      |      |      | x    | X            |
| Design robust  |        |         |              |         |      |        |        |      |      |      | x            |
| Design simetric  |        |         |              |         |      |        |        |      |      |      | x            |
| Capacitate de detecție a obstacolelor                    | x      | x       | x-           | x-      | x-   | x-     | x-     | x-   | x-   | x    | x+           |
| Ajustabilitatea manevrabilității în funcție de tracțiune | x      | x       |              |         |      |        | x      | x    |      |      | x+           |
| Capacitatea de inversare                                 |        |         |              |         |      |        |        |      |      |      | x            |
| Capacitatea de schimbare a centrului de greutate         |        |         |              |         |      |        |        | x    |      | x-   | Nu           |
| Stabilitate structurală                                  |        |         |              |         |      |        |        |      |      |      | x            |
| Complexitate joasă                                       |        |         |              |         | x-   | x-     |        |      |      |      | x+           |
| Cost redus   |        |         |              |         | x-   | x-     |        |      |      |      | x+           |

În [D9] criteriul care reține atenția în mod deosebit este cel referitor la *gradul de autonomie*. În mod suplimentar față de precizările din tabelul 2.1, autonomia este legată și de *mobilitatea robotului* prin prezența unor obstacole. Autorul corelează criteriul legat de autonomie cu faptul că aceasta trebuie asigurată *energetic* și respectiv prin *capacitatea de decizie sau inteligență a robotului mobil*.

### 2.3.3. Structura sistemului mecatronic – robot mobil

#### 2.3.3.1. Analiza structurală a sistemului

„Filozofia” mecatronică a dezvoltat, pornind de la metodologia domeniilor – principiile științifice pentru proiectarea mașinilor – un concept propriu de analiză a sistemelor mecatronice. Aspectul structural este esențial în cadrul acestei metodologii. Analiza structurală a sistemului mecatronic poate fi divizată în nivelul funcțional și respectiv nivelul organic [D5]. Într-o formă ierarhică pe mai multe nivele, structura sistemelor mecatronice este organizată în modul funcțional mecatronic, sistem mecatronic autonom și rețea de sisteme mecatronice [I4].

În fig.2.30 se prezintă structura sistematică a unui robot mobil fără a recurge la filozofia „mecatronică”. Figura reprezintă descompunerea sistemului în subsisteme pe diferite niveluri [\*\*20].

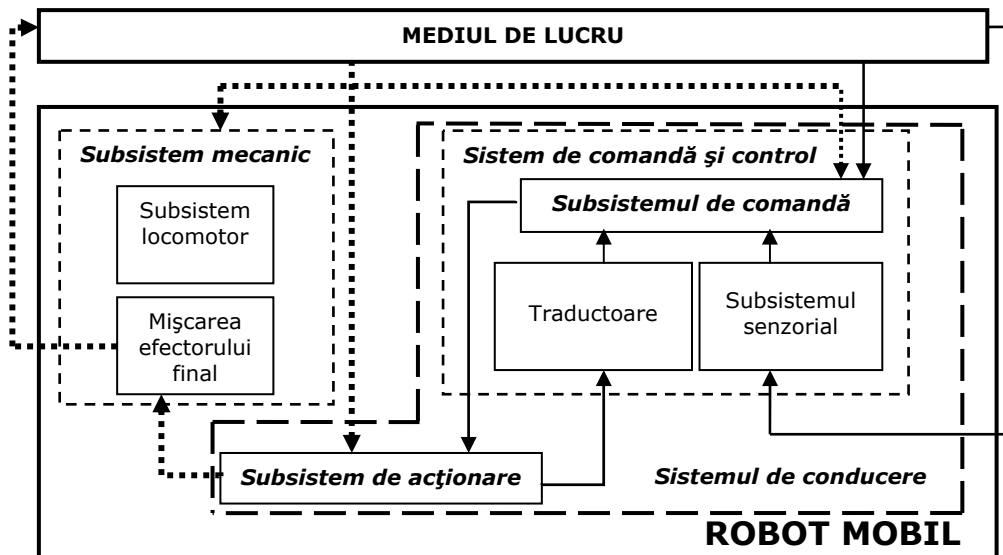


Fig.2.30.Schema structurală sistemică a unui robot mobil

Robotul mobil este considerat ca fiind o structură formată din două sisteme: sistemul mecanic și sistemul de conducere. Fiecare din aceste sisteme este alcătuit la rândul lui din subsisteme. Sistemul mecanic al robotului este compus din următoarele subsisteme: subsistemul locomotor și subsistemul care definește tipul și caracteristicile mișcării efectorului final. Sistemul de conducere este compus din următoarele subsisteme: subsistemul de comandă și subsistemul de acționare. Sistemul de conducere este strâns legat de structura constructivă a robotului mobil.

Sistemul de comandă și control cuprinde subsistemul de control (propriu-zis), sistemul senzorial (culege informațiile despre mediul de lucru) și traductoare (care culeg informații despre deplasarea robotului mobil în mediul de lucru).

În [N6], structura sistemului este abordată din punctul de vedere al mașinii, a sistemului electronic și a algoritmului de control.

În [R2] structura sistemului este descrisă prin prisma integrării robotului mobil în sistem și respectiv a controlului acestuia (fig.2.31).

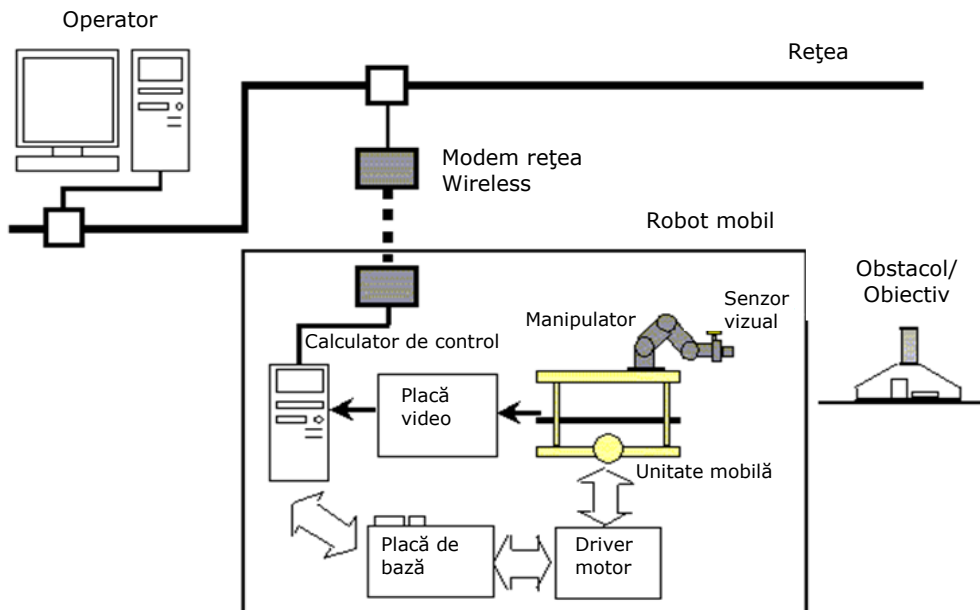


Fig.2.31.Integrarea robotului în sistem

În [I3] autorii se referă sistemic la structura robotului mobil ca la un „black box” insistând doar pe diagrama de navigare și modul de îndeplinire a sarcinilor în mediul de lucru (fig.2.32).

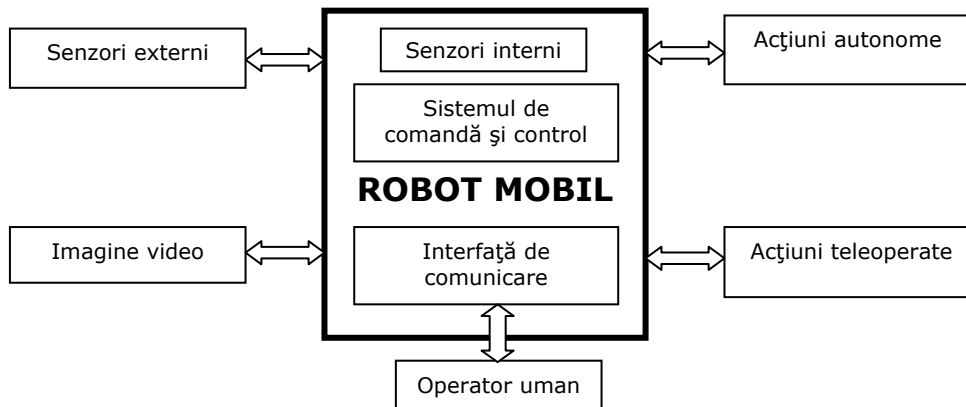


Fig.2.32.Robotul mobil reprezentat ca și un „black box”

În [I4] arhitectura generală a unui robot mobil cu sustentație prin roți este structurată în patru părți:

- structura mecanică;
- sursa energetică;
- sistemul senzorial;
- unitatea de control și gestiunea sarcinilor.

În [\*\*7] autorii utilizează în analiza structurală a robotului mobil o combinație de reprezentare grafică sugestivă a subsistemelor și o referire sistemică constructivă (fig.2.33).



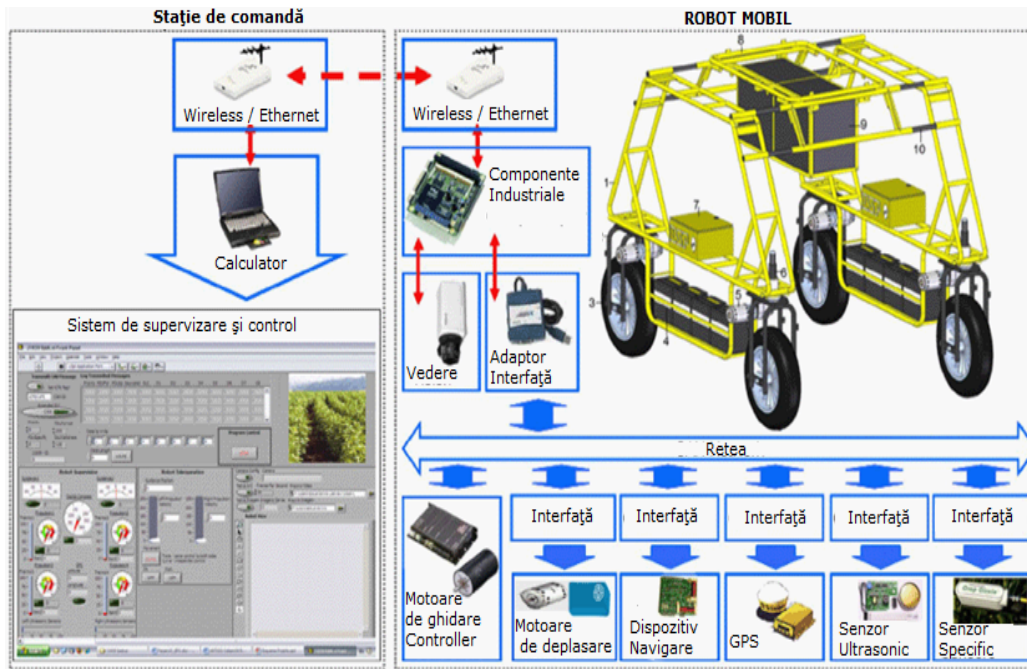


Fig.2.33.Robotul mobil reprezentat grafic

Fiecare din aceste părți sunt explicate prin subfuncții adiacente subsistemului parte. O abordare asemănătoare se regăsește în [D5].

### 2.3.3.2. Concluzii

Schemele structurale prezentate scot în evidență tendința lucrărilor de specialitate de a se referi la structura robotului mobil din punct de vedere sistemic cu accente funcționale direct legate de lucrarea de referință. Din aceste motive vom folosi în analiza stadiului actual modul de abordare din literatura de specialitate.

Se poate considera oportună o analiză structurală prin prisma filozofiei mecatronice dezvoltate în jurul funcțiilor principale: *funcția de locomoție*, *funcția de navigație*, *funcția de percepție senzorială*, *funcția de comunicare*. În același timp se poate admite și necesitatea abordării problemei de sinteză a sistemului în concept mecatronic.

## 2.3.4. Stadiul actual de abordare a funcției de locomoție pentru robotul mobil

### 2.3.4.1. Introducere

Funcția de locomoție este pusă în evidență organic de către sistemul locomotor al robotului mobil. Acesta, conform cu literatura de specialitate, abordează problematica mișcării robotului în mediul său de lucru. O analiză tehnică a unui astfel de sistem trebuie privită constructiv prin prisma subsistemelor



componente folosite, a analizei cinematice și dinamice pentru modelele utilizate și a mediilor utilizate pentru simulare.

Sistemul locomotor are în componența sa structurală mai multe subsisteme (fig.2.34) [B22]. Analizând modul de abordare și descriere a sistemului, se poate afirma că autorii nu utilizează abordarea mecatronică în analiză, prin faptul că nu descompun funcția principală în subfuncții adiacente.

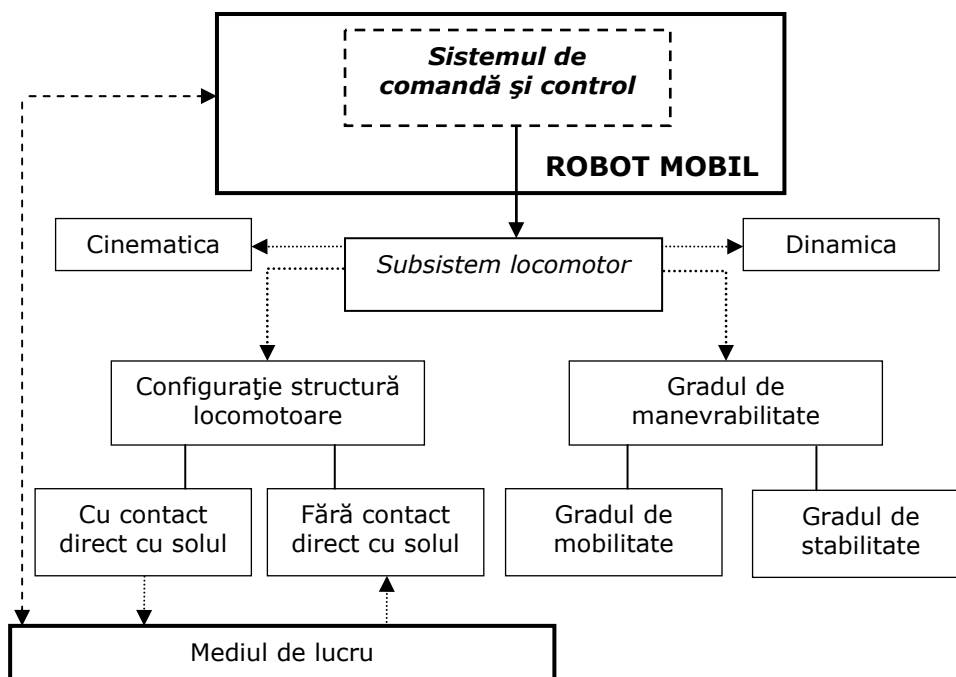


Fig.2.34.Schema structurală a sistemului locomotor

Sistemul locomotor intră în contact direct cu mediul de lucru și este interconectat cu sistemul de comandă și control.

Structura robotizată se poate realiza:

- cu contact direct cu solul (aparținător mediului de lucru): roboții mobili cu roți, cu șenile, pășitori sau șerpuitoare;
- fără contact direct cu solul (roboții submersibili, cu propulsie proprie), caz în care mediul de lucru acționează asupra lor.

#### 2.3.4.2. Sisteme locomotoare cu roți

Numărul mare de variante structurale și respectiv ponderea relativ ridicată a mobilității prin roți a determinat aprofundarea în cadrul tezei doar a acestui caz.

Roata reprezintă cel mai popular mecanism de locomoție în domeniul roboticii mobile. Variante posibile sunt prezentate în fig.2.35. În plus, soluția permite o implementare mecanică relativ simplă.

Echilibrul nu este de obicei o problemă de cercetare în cazul roboților cu roți, deoarece aceștia sunt aproape întotdeauna proiectați astfel încât roțile să fie permanent în contact cu solul. Trei roți sunt suficiente pentru a garanta echilibrul

stabil. Un echilibru dinamic se poate obține și la roboții cu două roți [K10]. Un robot cu două roți și direcție diferențială poate avea și stabilitate statică dacă centrul de greutate este sub axa roților [C9]. Atunci când sunt folosite mai mult de trei roți, este necesar un sistem de suspensie pentru a permite roților să păstreze contactul cu solul atunci când robotul întâlnește teren accidentat.

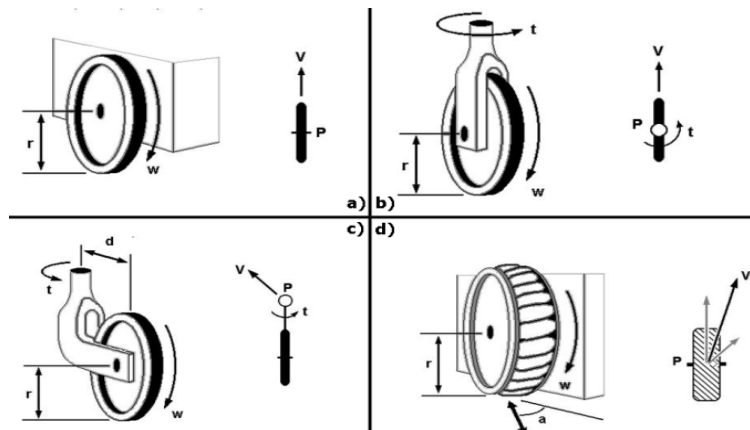


Fig.2.35. Diferite configurații de roată: a) Roată fixă; b) Roată centrată cu 2 grade de libertate; c) Roată de tip Castor; d) Roată de tip Swedish

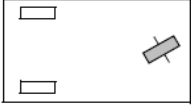
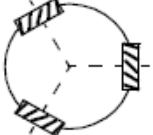
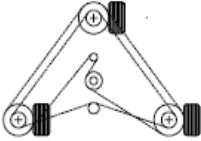
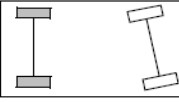
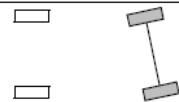
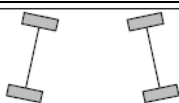

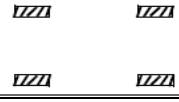

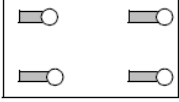
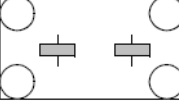
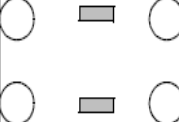
Cercetările din domeniul locomoției roboților mobili cu roți sunt concentrate pe aspectele de tracțiune, stabilitate, manevrabilitate și control [C13],[D8],[W1].








În tabelul 2.4 este prezentată o gamă variată de soluții constructive pentru vehiculele cu roți. Tabelul prezintă acest lucru atât din punct de vedere al particularităților roților, cât și configurațiile care apar pe șasiul roboților mobili. Se utilizează în acest scop reprezentarea grafică consacrată în literatură [S4].

Tabelul 2.4

| Număr roți | Structură | Descriere  |
|------------|-----------|--|
| 2          |           | O roată pentru direcție în partea din față și o roată motoare în spate;                                      |
|            |           | Două roți motoare diferențiale, cu centrul gravitațional sub axa roților;                                    |
| 3          |           | Două roți motoare independente plus o roată de echilibru;  |
|            |           | Două roți motoare independente, situate în față sau în spate, o roată omnidirecțională în spate sau în față; |
|            |           | Două roți motoare diferențiale, conectate pe aceeași punte și o roată de direcție în față;                   |

2.3. Robotul mobil – sistem mecatronic 45

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |    | Două roți independente în spate, o roată motoare de direcție în față;   |
|   |    | Trei roți sferice sau de tipul Swedish, aranjate cu centrul de rotație într-un triunghi, care au ca scop mișcarea omnidirecțională;               |
|   |    | Trei roți motorizate sincron. Direcția mișcării nu poate fi controlată;   |
| 4 |    | Două roți motoare în spate, două roți pentru direcție în față. Direcția trebuie să fie diferită pentru cele două roți pentru a evita patinarea;   |
|   |   | Două roți motoare și pentru direcție, două roți libere în spate. Direcția trebuie să fie diferită pentru cele două roți pentru a evita patinarea; |
|   |  | Patru roți motoare, folosite la direcția robotului;   |
|   |  | Două roți motoare (diferențiale) în față sau în spate, două roți omnidirecționale în față sau în spate;   |
|   |  | Patru roți omnidirecționale;  |
|   |  | Două roți motoare diferențiale, două roți de echilibru;   |
|   |  | Patru roți de tip Castor care sunt motoare și folosite la direcție;   |
| 6 |  | Două roți motoare aliniat care sunt folosite și la direcție, patru roți omnidirecționale în fiecare colț;   |
|   |  | Două roți motoare în centru, patru roți omnidirecționale în fiecare colț;   |

| LEGENDĂ pentru tabelul 2.4  |   |
|---|---|
|  | Roată omnidirecțională, care nu este motoare. Ea poate fi: Swedish, sferică, de tipul castor. |
|  | Roată motoare de tip Swedish.   |
|  | Roată standard care nu este motoare.  |
|  | Roată standard care este motoare.   |
|  | Roată de tip Castor motoare folosită și la direcție.  |
|  | Roată standard folosită la direcție.  |
|  | Roți conectate pe aceeași punte.  |

Funcția de locomoție se poate descompune în *subfuncțiile de poziționare și respectiv orientare*.

Soluții constructive pentru asigurarea subfuncției de poziționare sunt prezentate și analizate pe larg în [S4], [E1], [I3], [B5] conform cu definițiile:

- *centrul instantaneu de rotație (ICR-instantaneous center of rotation) a sistemului robot* (fig.2.36) [G2], [I4], [L12].

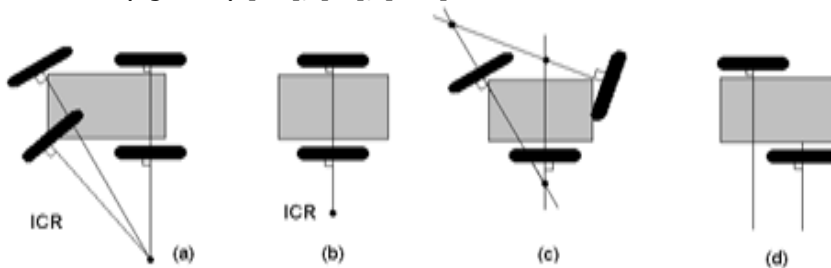
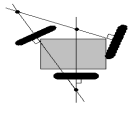
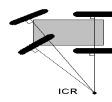

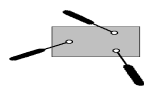


Fig.2.36. Centrul instantaneu de rotație a sistemului

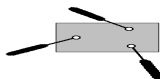
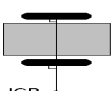
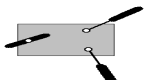
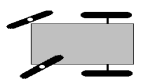
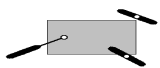
- *gradelor de mobilitate ale sistemului* (tabelul 2.5) [M13], [N2].

Tabelul 2.5

|              |   |   |
|--------------|---|---|
| $\delta_m=0$ |  | Sistemul nu se poate deplasa (nu exista IRC)                                    |
| $\delta_m=1$ |  | Sistemul are mișcare fixă, în arc de cerc (doar un IRC)                         |
| $\delta_m=2$ |  | Sistemul are mișcare variabilă în arc de cerc (IRC este la infinit)             |
| $\delta_m=3$ |  | Sistemul are mișcare aleatorie liberă (IRC poate fi localizat în orice poziție) |

- *Gradelor de orientare/direcție* (tabelul 2.6) [M5], [S4].

Tabelul 2.6

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| $\delta_s=0$ |  | Nu există centru de orientare a roților;         |
|              |  |  |
| $\delta_s=1$ |  | Un singur centru de orientare a roților;         |
|              |  | Două centre dependente de orientare a roților;   |
| $\delta_s=2$ |  | Două centre independente de orientare a roților; |

- *Gradelor de manevrabilitate* [I3], [P5] - totalul gradelor de libertate ale robotului,  $\delta_M$ ; pot fi definiți termeni de mobilitate și direcționare:

$$\delta_M = \delta_m + \delta_s \tag{2.1}$$

Manevrabilitatea include atât gradele de libertate pe care robotul le controlează direct cu ajutorul vitezei roților, cât și gradele de libertate pe care le controlează indirect prin schimbarea configurației structurii de deplasare și deplasarea propriu-zisă (tabelul 2.7).

Tabelul 2.7

|                      |   |   |   |   |   |
|----------------------|---|---|---|---|---|
| Grad de mobilitate   | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Grad de direcționare | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |

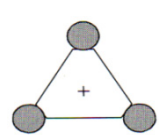
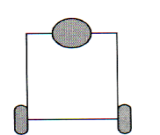
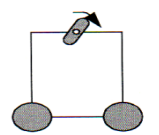
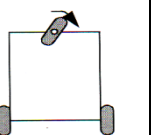
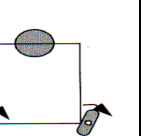
|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Omnidirecțional<br>$\delta_M = 3$<br>$\delta_m = 3$<br>$\delta_s = 3$               | Diferențial<br>$\delta_M = 2$<br>$\delta_m = 2$<br>$\delta_s = 0$                   | O singură virare<br>$\delta_M = 3$<br>$\delta_m = 2$<br>$\delta_s = 1$              | Triciclu<br>$\delta_M = 2$<br>$\delta_m = 1$<br>$\delta_s = 1$                       | Două virări<br>$\delta_M = 3$<br>$\delta_m = 1$<br>$\delta_s = 2$                     |

Fig.2.37. Gradele de manevrabilitate pentru diferite tipuri de configurații pe șasiu

Funcția locomotoare fiind cea responsabilă de mișcarea robotului mobil, prezintă mai multe tipuri de mișcare. Astfel avem: mișcare diferențială, mișcare triciclu, mișcare sincron, mișcare omnidirecțională și mișcare de tip Ackerman [Y1].

**Analiza cinematică** a roboților mobili abordată este conform cu principiile fizice și soluțiile constructive ale acestora.

*Mișcarea diferențială*

Robotul dispune de două roți motrice comandate independent și care au o axă comună, orizontală și fixă în raport cu șasiul robotului.

Viteza liniară egală a celor două roți determină evoluția robotului pe tronsoane drepte. Viteze diferite ale celor două roți conduc la traiectorii circulare și existența unui centru instantaneu de rotație. Mișcarea de acest tip este prezentată în fig.2.38 [\*\*20].

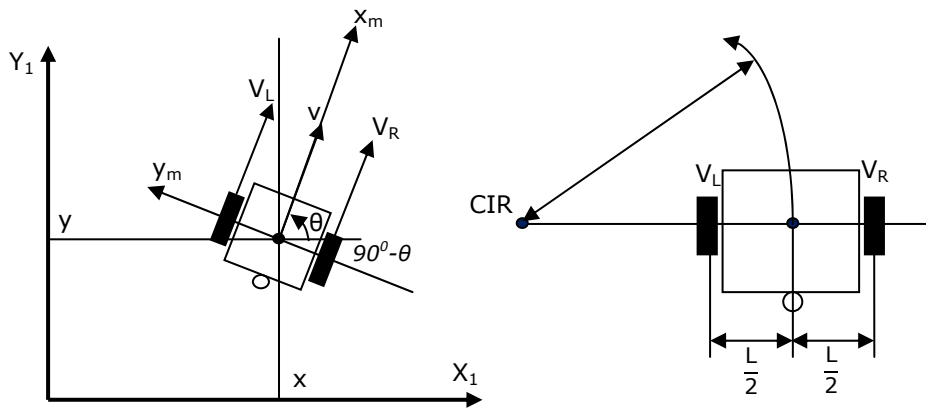


Fig.2.38. Robot cu mișcare de tip diferențial

Expresiile matematice aferente acestui caz sunt prezentate mai jos:

$$\omega_R \left( R + \frac{L}{2} \right) = V_R \tag{2.2}$$

$$\omega_L \left( R - \frac{L}{2} \right) = V_L \tag{2.3}$$

$$V_L = R \cdot \omega_L \tag{2.4}$$

$$V_R = R \cdot \omega_R \tag{2.5}$$

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} \tag{2.6}$$

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} \tag{2.7}$$

Cinematica sistemului este dat de sistemul de ecuații [\*\*20]:

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \tag{2.8}$$

În urma introducerii constrângerilor neholonomice se obține relația:

$$[\sin \theta - \cos \theta] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0 \tag{2.9}$$

și obținem relațiile pentru mișcarea de bază:

$$\frac{(V_R - V_L)}{L} = \frac{V_R}{\left( R + \frac{L}{2} \right)} \tag{2.10}$$

$$R = \frac{L}{2} \cdot \frac{V_R + V_L}{V_R - V_L} \quad (2.11)$$

Semnificația celor două cazuri de mișcare, se poate determina din rel. 2.11:

- *Mișcare în linie dreaptă*: în acest caz raza R tinde spre infinit, iar vitezele sunt egale și au același sens.
- *Mișcare rotațională (curbă)* - în acest caz raza R are valoare finită. Mișcarea de pivotare în jurul punctului A se realizează dacă R tinde spre zero, iar vitezele sunt egale și au sensuri diferite.

#### Mișcare de tip triciclu

În cazul acestei mișcări, avem o structură cu 3 roți, în care roata din față este cea care asigură direcția și deplasarea robotului mobil (fig.2.39). În acest caz variabilele de control sunt: viteza unghiulară a roții motoare  $\omega_S(t)$  și direcția de deplasare  $\alpha(t)$ .

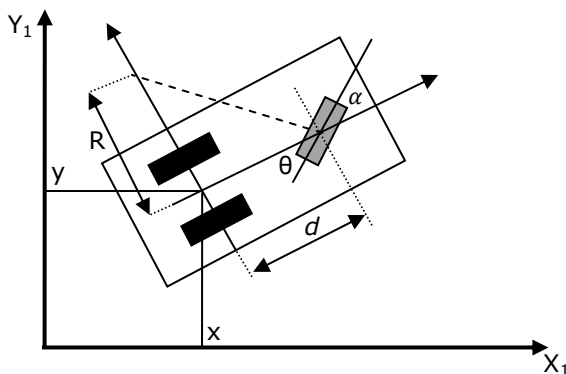


Fig.2.39. Robot cu mișcare de tip triciclu

Utilizând notațiile din fig.2.39 și principiile fizice de funcționare ale robotului mobil, se pot determina relațiile funcționale [\*\*20]:

- pentru viteza liniară a roții motoare:

$$V_S(t) = \omega_S(t) \cdot r \quad (2.12)$$

$$R(t) = d \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{d} - \alpha(t) \right) \quad (2.13)$$

unde:

r- raza roții motoare;

d- distanța dintre axa roții motoare și axa roților din spate.

- pentru viteza unghiulară în raport cu IRC

$$\omega(t) = \frac{\omega_S(t) \cdot r}{\sqrt{d^2 + R(t)^2}} \quad (2.14)$$

$$\omega(t) = \frac{V_S(t)}{d} \cdot \sin \alpha(t) \quad (2.15)$$

Din relațiile anterioare putem obține modelul cinematic sub forma sistemului de ecuații:

$$\dot{x}(t) = V_S(t) \cos \alpha(t) \cos \theta(t) \quad (2.16)$$

$$\dot{y}(t) = V_S(t) \cos \alpha(t) \sin \theta(t) \quad (2.17)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{V_S(t)}{d} \sin \alpha(t) \quad (2.18)$$

sau în forma matricială:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta(t) & 0 \\ \sin \theta(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

unde:

$$v(t) = v_s(t) \cos \alpha(t) \quad (2.20)$$

$$\omega(t) = -\frac{v_s(t)}{d} \sin \alpha(t) \quad (2.21)$$

### Mișcarea de tip sincron

Mișcarea sincron se caracterizează prin faptul că toate roțile se rotesc uniform (fig.2.40). Practic roțile se rotesc concomitent și virează în același timp. Verificarea mișcării se face din nou prin controlul independent al variabilelor  $\omega_s(t)$  și  $\alpha(t)$ .

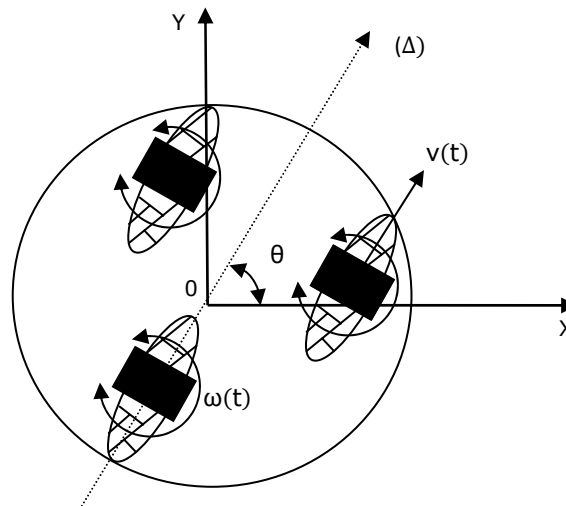


Fig.2.40. Robot cu mișcare de tip sincron

Configurația robotului în raport cu un sistem de coordonate fix în spațiu este descrisă prin coordonatele  $X$  și  $Y$  ale centrului geometric al robotului și unghiul  $\theta$ , făcut de o axă  $(\Delta)$  cu axa  $Ox$  [\*\*20].

$$x(t) = \int_0^t v(t) \cos(\theta(t)) dt \quad (2.22)$$

$$y(t) = \int_0^t v(t) \sin(\theta(t)) dt \quad (2.23)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \quad (2.24)$$

### Mișcarea de tip Ackerman

Mișcarea de acest tip este răspândită la toate structurile mobile cu două sau patru roți. Această configurație permite încadrarea pe unghiul corect pentru a efectua mișcarea aferentă curbei sau virării (fig.2.41) [\*\*20].



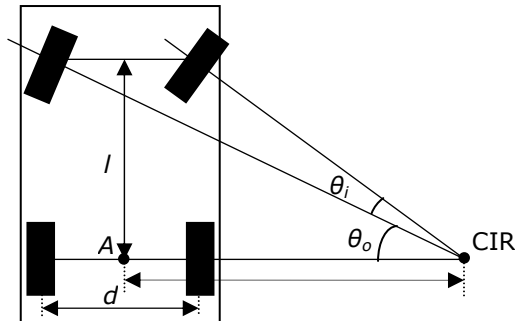


Fig.2.41. Mișcare de tip Ackerman

Ecuția care definește această mișcare este:

$$\operatorname{ctg} \theta_i - \operatorname{ctg} \theta_0 = \frac{R + d/2}{l} - \frac{R - d/2}{l} = \frac{d}{l} \quad (2.25)$$

În cazul în care roțile din față sunt pentru direcție și cele din spate sunt motoare (fig.2.42), atunci sistemul este definit de un punct de referință A de pe axa motoare din spate.

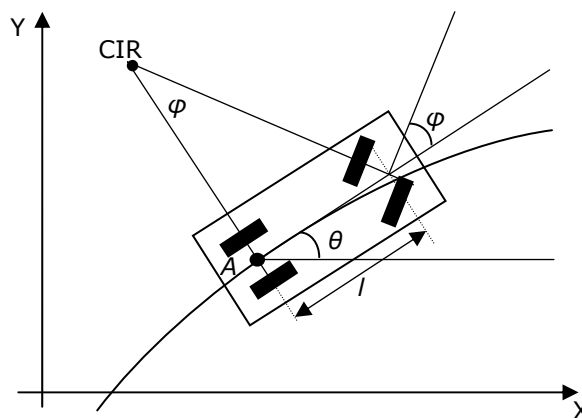


Fig.2.42. Sistem definit de un punct de referință A

Pe baza notațiilor din fig.2.42 și a principiilor fizice se poate determina relația:

$$\dot{\theta} R = u_1 \Rightarrow \dot{\theta} \frac{l}{\tan \varphi} = u_1 \quad (2.26)$$

Modelul de conducere a roții din spate este descris de sistemul de ecuații:

$$\dot{x} = u_1 \cos \theta \quad (2.27)$$

$$\dot{y} = u_1 \sin \theta \quad (2.28)$$

$$\dot{\theta} = \frac{u_1}{l} \tan \varphi \quad (2.29)$$

$$\dot{\varphi} = u_2 \quad (2.30)$$

unde:

$u_1$ - viteza liniară de deplasare a roților din spate;

$u_2$ - viteza unghiulară a roților de direcție;

$l$  - lungimea dintre cele două punți.

Condiția de restricție neholonomică a variantei structurale este descrisă de relația:

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0 \quad (2.31)$$

**Modelarea dinamică** se realizează în concordanță cu principiile fizice clasice [E1], [K3]. Având în vedere varietatea structurală multiplă a roboților mobili, nu se poate vorbi despre un model unic. La majoritatea roboților mobili cu roți (WMR) se folosește modelarea cinematică pentru controlul mișcării. În mod normal acest lucru este suficient pentru un control stabil. Cu toate acestea, folosirea modelului dinamic este mai utilă decât modelul cinematic, datorită gradului de precizie mai ridicat impus mișcării. Drept exemplu se prezintă în continuare modul de realizare a modelului dinamic pentru un robot mobil.

Pentru robotul mobil din fig.2.43, modelul dinamic se compune din două ecuații:

- Dinamica de deplasare pentru roata motoare;
- Dinamica pentru estimarea unghiului de virare.

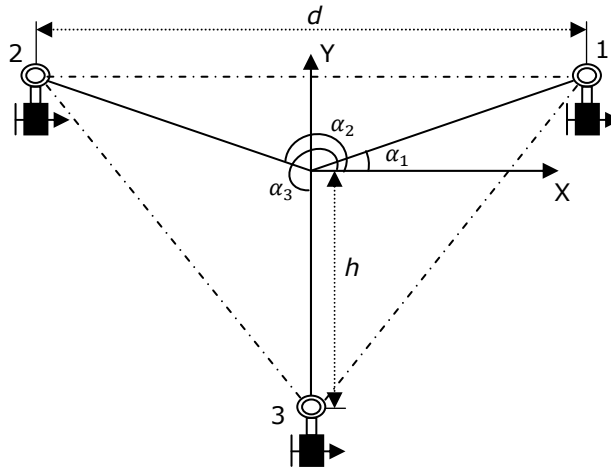


Fig.2.43. Robot mobil C3P

Robotul C3P are formă triunghiulară și folosește trei roți de tip Castor fixate în colțurile platformei, la o distanță  $h$  față de centrul platformei și un unghi  $\alpha_i$ , unde  $i = 1, 2, 3$ .

Variabilele și parametri robotului sunt:

- Coordonatele  $X, Y$ , pentru translația robotului și unghiul  $\Phi$  pentru mișcarea de rotație a acestuia;
- $\theta_{s_i}$  - unghi de direcție pentru roata  $i$ ;
- $h$  - distanța dintre axa de direcție și centrul sistemului de coordonate al robotului;
- $d$  - distanța dintre axa de direcție și punctul de contact al roții;
- $r$  - raza roții.

Ecuatiile care descriu dinamica mișcării se obțin folosind metoda Euler-Lagrange, care are la bază Lagrange-ul

$$L = KE - PE \quad (2.32)$$

unde  $KE$  - energia cinetică și  $PE$  - potențialul energetic. În cazul variantei analizate, robotul se deplasează pe o suprafață plană,  $PE$  este zero.

Ecuțiile dinamice de forma de tip Lagrange sunt descrise de forma [D4]:

$$\tau = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} \quad (2.33)$$

unde  $\tau$  este vectorul forțelor generalizate,  $q$  este coordonata generalizată, iar  $\dot{q}$  este viteza generalizată a sistemului.

Robotul este compus din șapte module: trei roți identice, trei legături identice și un șasiu [E1].

Parametri utilizați în calculul energiei cinematice sunt:

- $m_w, m_l, m_{pl}$  - masa unei roți, a unei legături și a șasiului;
- $I_w, I_l, I_{pl}$  - momentul de inerție a roții, a legăturii și a șasiului;
- $V_{wi}, V_{li}$  - viteza liniară a roții  $i$  și a centrului de greutate a legăturii  $i$ ;
- $\Omega_{wi}, \Omega_{li}$  - viteza unghiulară a roții  $i$  și a centrului de greutate a legăturii  $i$ ;
- $V_{pl}, \Omega_{pl}$  - viteza liniară și viteza unghiulară a șasiului robotului.

Energia cinetică a unei roți, respectiv a unei legături în sistemul  $i$  este definită de expresia:

$$K_{wi} = \frac{1}{2} m_w \mathbf{V}_{wi}^T \mathbf{V}_{wi} + \frac{1}{2} \boldsymbol{\Omega}_{wi}^T I_w \boldsymbol{\Omega}_{wi} \quad (2.34)$$

$$K_{li} = \frac{1}{2} m_l \mathbf{V}_{li}^T \mathbf{V}_{li} + \frac{1}{2} \boldsymbol{\Omega}_{li}^T I_l \boldsymbol{\Omega}_{li} \quad (2.35)$$

Energia cinetică a platformei mobile (șasiu) este dată de relația matricială:

$$K_{pl} = \frac{1}{2} m_{pl} \mathbf{V}_{pl}^T \mathbf{V}_{pl} + \frac{1}{2} \boldsymbol{\Omega}_{pl}^T I_{pl} \boldsymbol{\Omega}_{pl} \quad (2.36)$$

Din rel. 2.34, 2.35, 2.36 obținem energia cinetică totală a robotului:

$$KE = \sum_{i=1}^3 K_{wi} + \sum_{i=1}^3 K_{li} + K_{pl} \quad (2.37)$$

Ecuția dinamică a deplasării liniare este o funcție dintre forța generalizată de acționare a roții și coordonata generalizată  $q_x$  (unghi de rotație), respectiv viteza unghiulară generalizată  $\dot{q}_x$  (viteza unghiulară a roții):

$$\tau_x = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial KE}{\partial \dot{q}_x} \right) - \frac{\partial KE}{\partial q_x} \quad (2.38)$$

Având în vedere că:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial KE}{\partial \dot{\theta}_{x_1}} \\ \frac{\partial KE}{\partial \dot{\theta}_{x_2}} \\ \frac{\partial KE}{\partial \dot{\theta}_{x_3}} \end{bmatrix}, \quad \frac{\partial L}{\partial q_x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial KE}{\partial \theta_{x_1}} \\ \frac{\partial KE}{\partial \theta_{x_2}} \\ \frac{\partial KE}{\partial \theta_{x_3}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

ecuația dinamică a mișcării va avea forma:

$$\tau_x = M(q_s) \ddot{q}_x + G_x(q_s, \dot{q}_x) \quad (2.40)$$

unde  $\tau_x = [\tau_{x_1} \ \tau_{x_2} \ \tau_{x_3}]^T$ . Termenul  $G_x$  din relația 2.40 caracterizează parametrul inerțial al roții și a legăturilor; fiecare sunt mici în comparație cu parametri inerțiali din  $M(q_s)$ .

O modelare eficientă necesită dezvoltarea unui model dinamic de estimare a unghiului de direcție și a derivatelor acestuia.

### 2.3.4.3. Sistemele locomotoare pășitoare

Locomoția pe picioare este caracterizată de o serie de puncte de contact între robot și sol. Avantajele acestei variante includ adaptabilitatea și manevrabilitatea pe teren accidentat.

Deoarece este necesar doar un set de puncte de contact, calitatea solului dintre punctele respective nu reprezintă un factor important atât timp cât robotul poate menține o gardă la sol adecvată.

În plus, un robot care merge este capabil să treacă peste o groapă sau o prăpastie dacă amplitudinea pasului său depășește lățimea gropii. Un ultim avantaj al locomoției pe picioare este potențialul de a manipula obiecte din mediul înconjurător cu mare abilitate.

Un exemplu perfect de insectă, gândacul de bălegar, este capabil să rostogolească o bilă cu ajutorul picioarelor frontale abile, în timp ce se deplasează.

Picioarul, care poate include diferite grade de libertate, trebuie să fie capabil să susțină o parte din greutatea totală a robotului și de asemenea, la mulți roboți, trebuie să ridice și să coboare robotul.

În plus, o manevrabilitate mare poate fi obținută doar dacă picioarele au suficiente grade de libertate pentru a distribui forțele în mai multe direcții. Acest lucru se reflectă atât prin lărgirea gamei de terenuri pe care acesta se poate deplasa, cât și prin capacitatea robotului de a folosi mai multe tipuri de locomoție.

Roboții cu picioare sunt de inspirație biologică, fiindcă este cel mai ușor să copiem sistemele de succes din natură (fig.2.44).

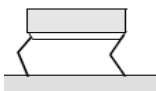

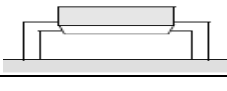
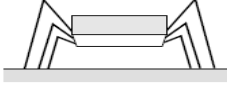
| Număr membre | Structură   | Categorie |
|--------------|---|-----------|
| 2            |  | Mamifere  |
| 4            |  | Mamifere  |
|              |  | Reptile   |
| 6            |  | Insecte   |

Fig.2.44. Configurații de structuri pășitoare

Principalul dezavantaj al locomoției pe picioare include complexitatea mecanică și de alimentare cu tensiune a componentelor care deserveșc acest sistem.

În natură întâlnim un număr mare de configurații de organisme care folosesc picioarele ca mijloc de deplasare. Animalele mari, cum ar fi mamiferele și reptilele, au patru picioare, în timp ce insectele au șase sau mai multe. Oamenii și unele mamifere au abilitatea de a merge pe două picioare. În contrast, o vietate cu trei picioare poate afișa o poziție statică stabilă cu condiția să își poată stabili centrul de greutate în interiorul trepiedului de contact cu solul.

Stabilitatea statică, demonstrată de un scaun cu trei picioare, înseamnă menținerea echilibrului fără nevoie de mișcare. Acest lucru nu este valabil în cazul unui robot mobil care trebuie să fie capabil să își ridice picioarele pentru a se deplasa.

În cazul roboților mobili cu picioare, este necesar un minim de două grade de libertate pentru a mișca piciorul înainte prin ridicarea și legănarea piciorului în față. Mai des întâlnită este adăugarea unui al treilea grad de libertate pentru manevre mai complexe.

Reușite recente în crearea roboților bipezi au adăugat un al patrulea grad de libertate la articulația gleznei. Glezna permite un contact cu solul mai consistent prin acționarea poziției tălpii piciorului.

Pasul este o secvență de acțiuni de ridicare și coborâre a picioarelor individuale. În cazul unui robot mobil cu mai multe picioare, există problema coordonării picioarelor în scopul locomoției sau a controlului mersului. Numărul pașilor depinde de numărul picioarelor.

Pentru un robot mobil cu  $k$  picioare, numărul  $N$  de evenimente posibile pentru deplasarea sa este [S4]:

$$N=(2k-1)! \quad (2.53)$$

De exemplu pentru un biped  $k=2$  picioare, numărul de evenimente posibile  $N$  este:

$$N=(2k-1)!=3!=3*2*1*=6 \quad (2.54)$$

Pentru a obține un mers static, robotul mobil are nevoie de minim șase picioare. În aceste condiții se poate realiza un pas care să confere un trepied static, care este în contact permanent cu solul și conferă echilibru sistemului. Fig.2.45 a și b prezintă două tipuri de locomoție pentru sistemele pășitoare cu patru membre. Deoarece acest sistem pășitor are mai puțin de șase picioare, mersul static nu este posibil.

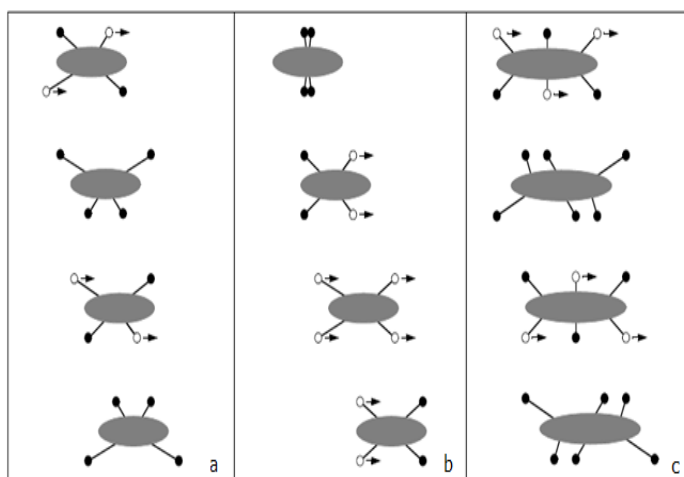


Fig.2.45. Metode de deplasare: a) Pas cu pas; b) Galop; c) Mișcare de tip static

Dezavantajele majore, în acest caz, sunt: creșterea numărului articulațiilor suplimentare și ale actuatorilor, care duce la creșterea energiei consumate și dificultăți în realizarea controlului.

Greutatea în plus a piciorului crește cerințele de putere instalată și solicitarea suplimentară a actuatorilor existente.

#### 2.3.4.4. Concluzii

Sistemul de locomoție are un rol hotărâtor în atingerea scopului propus prin funcția robotului mobil. Contribuie la acest lucru atât varianta organică de realizare a locomoției (roată, picior, etc.), cât și aspectele structurale (grade de mobilitate, orientare, manevrabilitate) ale variantei admise pentru robot.

Forma sistematică de prezentare a soluțiilor (fig.2.37) constituie un element de bază pentru o tabelă morfologică destinată sintezei unui sistem mecatronic autonom mobil.

#### 2.3.5. Stadiul actual de abordare a funcției de navigație

##### 2.3.5.1. Introducere

Funcția de navigație este esențială pentru robotul mobil. Această funcție este asigurată organic de sistemul de navigație cu care este echipat robotul mobil. În literatura clasică funcția de navigare este definită ca fiind funcția ce monitorizează și controlează locomoția unui sistem care se deplasează dintr-un punct în altul [D7].

##### 2.3.5.2. Funcția de navigație

O altă definiție a funcției de navigație se referă la navigare ca la un proces de determinare și menținere a unei traiectorii către o destinație propusă [B8].

Funcția de navigație este puternic legată de funcția de locomoție. Practic pe baza datelor obținute de către sistemul de comandă și control, prin intermediul funcției de navigație, se dictează traiectoria pe care trebuie să se deplaseze robotul mobil. În fig.2.46 este prezentată integrarea funcției în sistemul robotului mobil [K12].

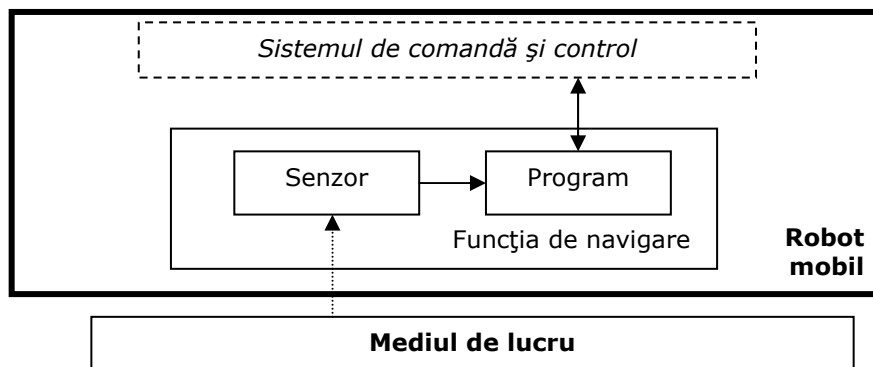


Fig.2.46.Funcția de navigație

Strategiile de navigație pot fi împărțite în două clase: locale și globale [N4]. O altă posibilă clasificare este după procesul de lucru: maparea (metrică, topologică), navigația inerțială, navigarea estimativă.

În tabelul 2.8 se prezintă variante de realizare organică a funcției de navigație [L8], [M1].

Tabelul 2.8

| Metodă                                  | Descriere   |
|---|---|
| Vederea computerizată (Computer vision) | Permite robotului să vadă și să recunoască reperele sau marcajele.  |
| GPS (Global positioning system)         | Metodă folosită în special la aplicațiile în zone deschise. Metoda ajută la determinarea latitudinii și longitudinii robotului mobil în raport cu un sistem de referință. |
| Busola magnetică                        | Metoda este folosită pentru a detecta nordul magnetic.  |
| Senzorul de lumină solară               | Varianta se poate utiliza doar în prezența luminii solare. Metoda are dezavantajul că se poate utiliza doar pe timpul zilei.  |
| Harta mediului de lucru                 | Metoda este folosită pentru a detecta balizele sau marcajele de ghidare.  |
| Traductoarele de poziție                | Traductoarele sunt situate pe roți și oferă informații cu privire la distanța parcursă și schimbările de direcție.  |
| Senzorii de distanță                    | Metoda oferă informații cu privire la distanța dintre robot și obstacol. Cei mai comuni senzori sunt cei cu ultrasunete și cei cu lumină în infraroșu.                    |
| Giroscoapele                            | Metoda oferă informații cu privire la direcția de deplasare.  |

### Maparea metrică

Hărțile metrice sau cantitative sunt bazate pe măsurători ale spațiului care este mapat. O hartă metrică de interior include lungimile secțiunilor de zid, lățimea deschiderii ușilor, lărgimea holurilor, distanțele dintre intersecții și așa mai departe. O instrucție tipică de navigație metrică poate fi: deplasare înainte, virare la dreapta și apoi deplasare înainte. Planificarea traiectoriei în spații mapate metric include de obicei alocarea unui număr de puncte (x, y) în locații specifice (cum ar fi punctul de cotitură în instrucțiunile date), conectate de segmente de linie dreaptă. Căile pot fi astfel selectate pe baza unor criterii de optimizare [Y3].

O metodă des folosită pentru generarea unei hărți metrice este aceea de a acoperi mediul care trebuie mapat cu o grilă uniformă. Fiecare celulă din grilă conține una sau mai multe valori care reprezintă prezența sau absența obstacolelor (care ar putea fi un alt robot sau un om). Un robot care traversează o zonă pe care o mapează nu are cunoștințe complete și corecte referitoare la prezența sau absența obstacolelor. Prin urmare, cu fiecare celulă (x, y) este asociată probabilitatea ca aceasta să fie ocupată. Această valoare reprezintă convingerea robotului că poate sau nu să se deplaseze în interiorul celei. Din acest motiv, hărțile bazate pe grilă sunt numite și hărți de ocupare [B8].

Un astfel de mediu interior (fig.2.47) prezintă două birouri (notate A și B), o intrare de la scări, coridoare și zone mai întunecate care simbolizează stâlpii (în colțuri) dulapuri și pupitre [B8]. Scopul robotului, pe măsură ce traversează spațiul, este acela de a estima probabilitatea ca fiecare celulă să fie ocupată (în momentul în care începe acțiunea, robotul are doar grila goală, nu și informația despre structură și obstacole).

Modul tradițional de a genera grile de ocupare este folosirea ultrasunetelor. Deoarece ultrasunetele prezintă anumite erori, grila de ocupare care rezultă prezintă erori. Pornind de la o hartă de ocupare generată de înregistrările sensorului cu ultrasunete, un sistem nu poate spune cu certitudine că o anumită celulă este ocupată sau liberă, însă poate face afirmații probabile despre statutul celulei.

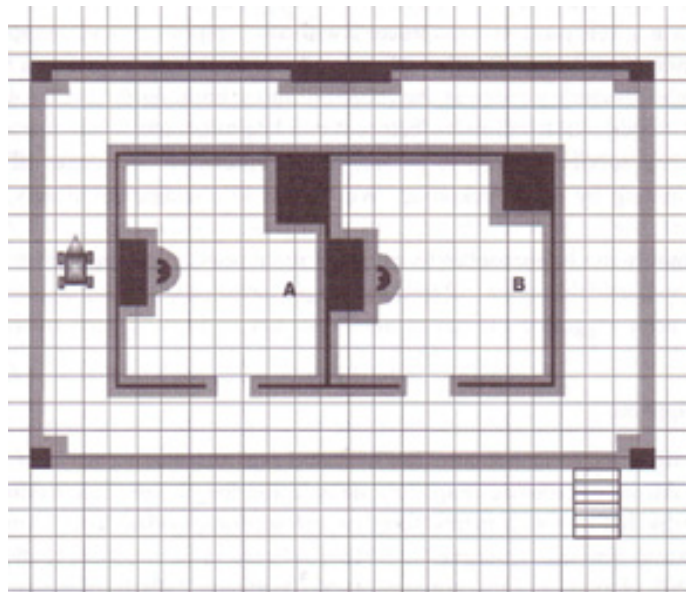


Fig.2.47. Mediu interior mapat metric

O altă metodă de construire a unei hărți metrice cu ajutorul măsurătorilor sonarului utilizează o rețea artificială neuronală care va transforma valorile măsurate în valori de ocupare. Procesul începe prin alegerea unei celule specifice definită de coordonatele  $x$ ,  $y$ . Coordonatele sale sunt intrări pentru rețea împreună cu valorile obținute de la senzorii apropiați celulei respective. Ieșirea dorită a rețelei este: una dintre celulele de coordonate  $x$ ,  $y$  ocupată și zero în caz contrar. Exemple de instruire pot fi generate într-un simulator sau într-un laborator prin înregistrarea și etichetarea citirilor senzorilor. Odată instruită, rețeaua generează valori care pot fi interpretate ca valori probabile de ocupare. Unul dintre avantajele acestei abordări de a produce o grilă de ocupare este faptul că rețeaua poate fi reinstruită dacă se produc modificări în mediu, lucru care tinde să fie mai puțin exigent la calcule decât regula lui Bayes [B8].

O metodă de a obține informații despre ocupare și care nu se bazează pe măsurătorile sonarului, se realizează prin utilizarea camerelor video. Imaginile unei zone specifice din cele două camere sunt trimise către un computer pentru procesarea imaginii. Dacă apar margini verticale la ambele imagini, disparitatea



dintre ele poate fi folosită pentru a calcula proximitatea marginilor și de la această informație, poate fi construită o grilă de ocupare.

Concluzia mapării metrice cu grilă de ocupare este faptul că pentru a obține o acuratețe rezonabilă este necesară folosirea de celule mici. Prin urmare, planificarea bazată pe grilă tinde să fie scumpă, atât în ceea ce privește calculul, cât și în ceea ce privește stocarea. Pe de altă parte, maparea metrică are legătură directă cu informația despre mișcarea robotului (de la traductoarele de la roți). În medii exterioare, când măsurătorile sunt corectate cu ajutorul GPS-ului, harta metrică poate fi realizată cu acuratețe.

#### Maparea topologică

Navigarea topologică și maparea nu se bazează pe măsurători precise, ci mai degrabă pe repere. Într-un mediu interior astfel de repere pot fi: uși, intersecții de holuri sau joncțiuni T ale coridoarelor [J6].

O programare standard poate fi „*Mergi de-a lungul acestui hol până ajungi la o intrare, fă stânga la prima ușă*”.

Maparea topologică implică crearea unei hărți în care poziția reperelor este esențială și nu distanța dintre ele. Maparea topologică este calitativă, în timp ce maparea metrică este cantitativă.

În fig.2.48 sunt indicate două balize care vor fi folosite ca și repere. Acestea sunt repere artificiale, plasate pe teren special pentru asistarea navigației. Oricare dintre obstacolele din peisaj poate fi utilizat ca reper natural.

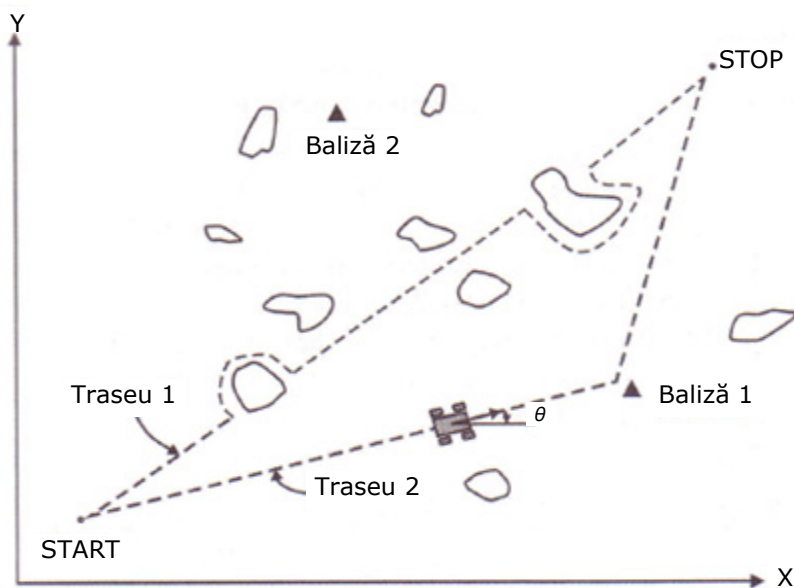


Fig.2.48. Traseu cu obstacol naturale

Hărțile topologice sunt reprezentate de grafice, în care fiecare reper este reprezentat de un nod, iar nodurile adiacente sunt conectate prin arce. Astfel de hărți sunt mult mai compacte decât cele bazate pe grile.

Un alt avantaj important al abordării topologice este faptul că poate prezenta date în timp real, permițând utilizatorilor (de exemplu soldați care folosesc

un robot pentru a mapa interiorul unei clădiri pe teritoriu inamic) să vadă cea mai recentă hartă în orice moment.

Pe măsură ce robotul își continuă explorarea pentru mapare, actualizează constant estimările referitoare la poziția sa și la orientare, dar și harta. Această abordare este facilitată de o arhitectură bazată pe comportament.

În fig.2.49 este prezentată o aplicație a unui sistem de navigare global folosit la maparea topologică.

Folosindu-se sateliții GPS, un receptor de semnal de poziție și o stație de rețea (folosită pe post de reper), combina robotizată îndeplinește sarcina de recoltare a producției.

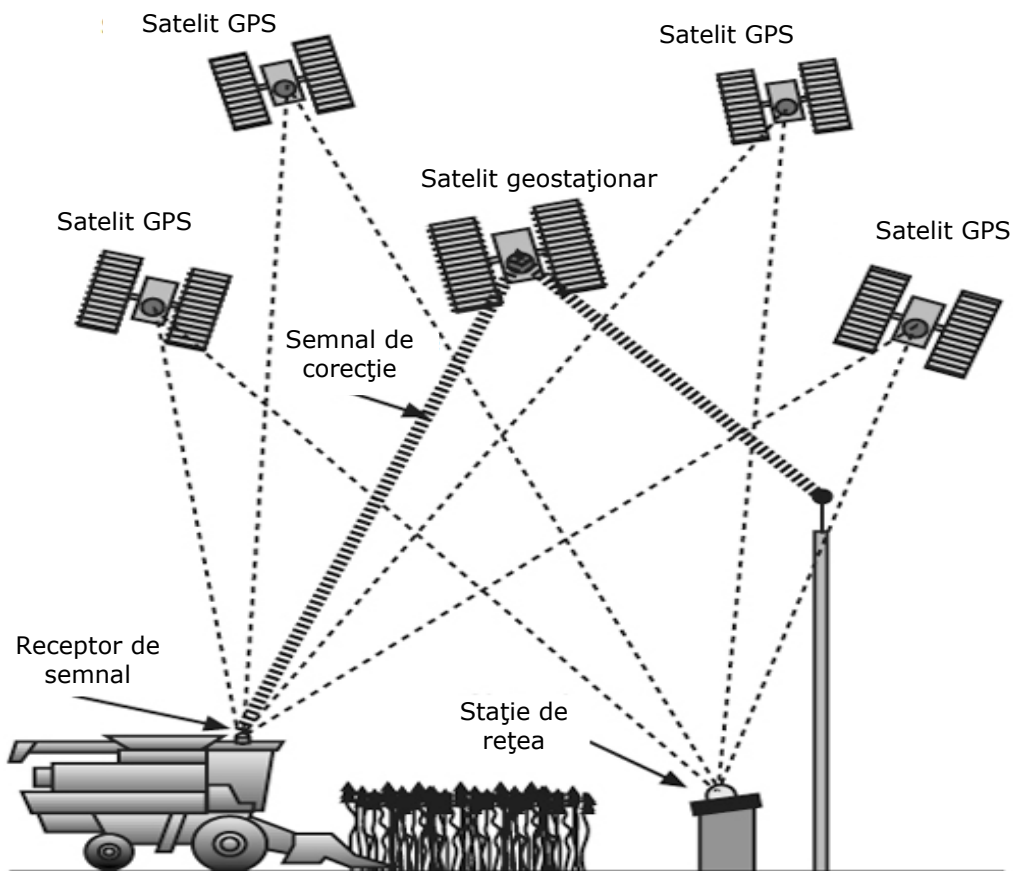


Fig.2.49. Aplicație robotizată care folosește navigația topologică

### *Navigația inerțială*

Navigația în vehicule spațiale și numeroase sisteme militare este obținută cu ajutorul sistemelor de navigație inerțială (SNI). Aceste sisteme sunt alcătuite din trei accelerometre și trei giroscopuri, alături de servore și procesoare corespunzătoare, pentru a furniza detectarea dorită pentru navigarea 3D într-un sistem de coordonate inerțiale. Ieșirile SNI sunt coordonatele  $(x(t), y(t), z(t))$ , în orice moment  $t$  și cele trei unghiuri care definesc altitudinea vehiculului în spațiu (ocean, etc.). Aceasta din urmă poate fi transversală, verticală și longitudinală (la

sistemul coordonator al vehiculului), sau pot fi unghiuri Euler definite într-un sistem coordonator global. Estimările vitezei liniare și a poziției sunt obținute prin integrarea ieșirilor accelerometrului [L17].

Alegerea sistemului coordonator depinde de misiune. Aeronavele (fig.2.50) și submarinele folosesc coordonate cu referire la Pământ; vehiculele spațiale folosesc coordonate inerțiale cu referire la stele fixe.

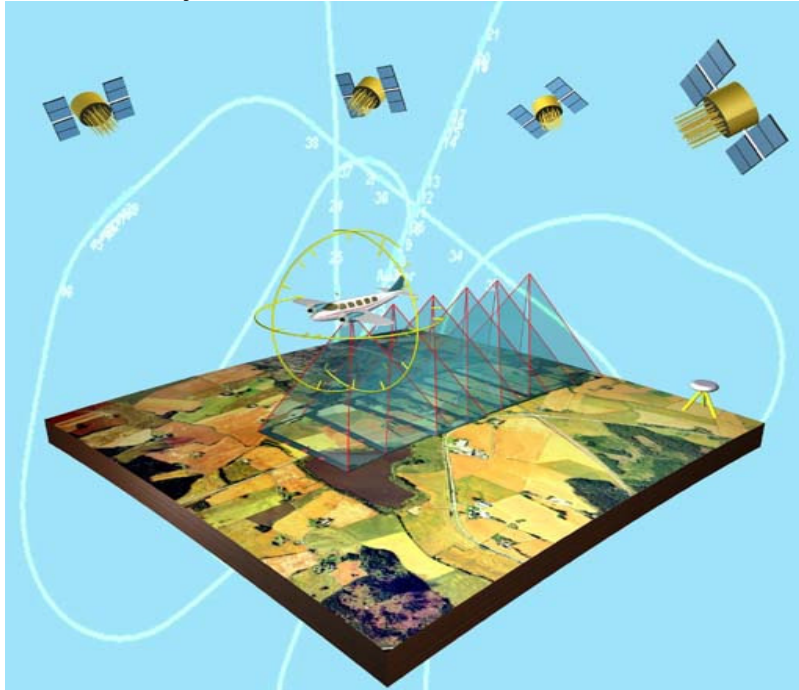


Fig.2.50.Navigare inerțială

Deși sunt necesare pentru navigația în trei dimensiuni, SNI-urile nu sunt folosite des pentru navigația terestră a roboților, datorită principal costurilor foarte mari.

#### *Navigația cu ajutorul estimării*

Metoda este definită ca un proces de estimare a poziției robotului după o perioadă de timp scursă prin integrarea vitezei în timp.

Termenul de odometrie descrie estimarea, fie că estimările de poziție sunt făcute prin integrarea vitezei, fie direct de la traductoarele montate pe roțile unui robot. Pentru că se cunoaște diametrul roții robotului, este necesară doar calcularea distanței parcurse. Schimbarea în orientare este obținută prin calcule bazate pe informația venită de la traductoarele din mecanismul de ghidare a robotului. Această metodă de localizare este pentru curse scurte. Problema care se ivește este că roțile alunecă, iar terenul se modifică, în mod special în exterior și în medii nestructurate, astfel încât distanța parcursă și orientarea vehiculului vor devia aleatoriu de la valorile estimate. În plus, nici un vehicul nu este total simetric, astfel încât distanțele parcurse de partea dreaptă pot să difere de cele de pe partea stângă[N6].

Efectul acestor factori este faptul că media valorii estimării poziției deviază tot mai mult de la valorile corecte, pe măsură ce vehiculul se deplasează. Luăm în

considerare faptul că odometria este un simț proprioceptiv, folosind doar măsurători interne. Din acest motiv este normal să presupunem că adăugarea altor senzori exteroceptivi la roboți poate îmbunătăți acuratețea în navigare și planificare a traseului.

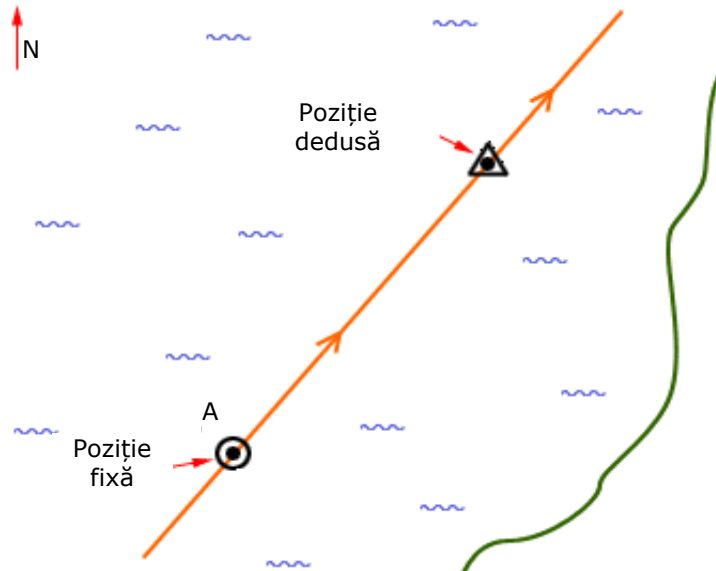


Fig.2.51.Navigația cu ajutorul estimărilor

Dacă mărimile de intrare pentru un robot sunt viteza sa liniară  $V(t)$ , viteza de rotație  $\omega(t)$ , punctul de pornire  $(x_0, y_0)$  dat robotului și orientarea  $\theta_0$  în funcție de axa locală  $X$ , se poate calcula poziția curentă  $(X(t), Y(t), \theta(t))$  a robotului pe baza relațiilor [B8].

$$x(t) = x_0 + \int_0^t V(t) \cos \theta(t) dt \quad (2.55)$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t V(t) \sin \theta(t) dt \quad (2.56)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t \omega(t) dt \quad (2.57)$$

Prezența termenilor trigonometrici fac expresiile neliniare.

Erorile senzorilor (sau echivalent, erorile de intrare) duc la erori în estimarea poziției vehiculului. O metodă de îmbunătățire a odometriei prin combinarea ei cu utilitatea unui giroscop implică folosirea tehnicilor de estimare statistică, cum ar fi filtrul Kalman [G4].

### 2.3.5.3. Concluzii

Funcția de navigație este realizată prin diferite metode și procese. Toate acestea prezintă avantaje și dezavantaje, în funcție de aplicația pe care robotul mobil o are de realizat.

Inspirarea din mediul biologic este recomandată pentru generarea de variante pentru un sistem tehnic.

Concluzia mapării metrice cu grilă de ocupare este faptul că pentru a obține o acuratețe rezonabilă este necesară folosirea de celule mici. Prin urmare, planificarea bazată pe grilă tinde să fie scumpă, atât în ceea ce privește calculul, cât și în ceea ce privește stocarea. Pe de altă parte, maparea metrică are legătură directă cu informația din mișcarea robotului. Când măsurătorile sunt corectate cu ajutorul GPS-ului, harta metrică care rezultă poate fi realizată cu acuratețe.

### 2.3.6. Stadiul actual al abordării funcției de percepție senzorială

#### 2.3.6.1. Introducere

Funcția de percepție senzorială este definită în literatura de specialitate ca fiind funcția responsabilă de obținerea datelor cu privire la mediul de lucru, cât și a datelor interne a sistemului robotizat [D2]. Acest lucru determină existența unor dispozitive care să asigure interacțiunea robot-mediul de lucru.

#### 2.3.6.2. Funcția de percepție senzorială

În conceptul mecatronic, senzorul este unul din obiectele esențiale. Modul de integrare a elementelor senzoriale (exteroceptori) și ale traductoarelor (proprioceptori) este prezentat în fig.2.52.

Senzorii prelucrează informația despre starea externă a sistemului robot, iar traductoarele despre starea internă a acestuia.

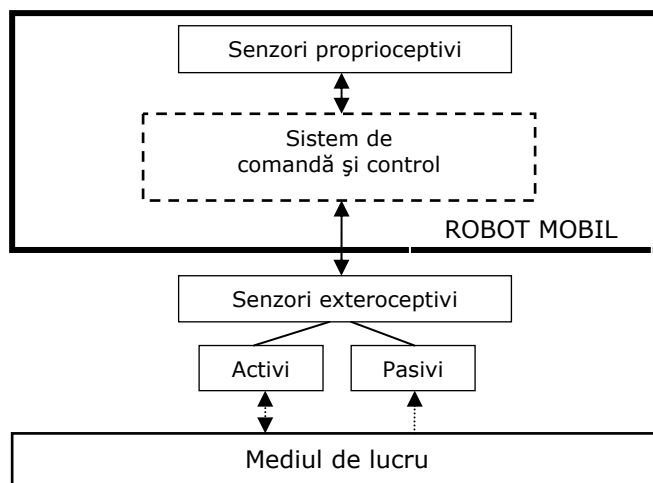


Fig.2.52. Schemă structurală a sistemului senzorial

Funcția de percepție senzorială poate fi considerată și funcție de măsurare, ea asigurând măsurarea unor mărimi fizice și eventual conversia semnalului obținut. Pe baza unui principiu fizic, o informație de interes din mediul de lucru al robotului sau din interiorul sistemului robot, este convertită într-o cantitate măsurabilă (fig.2.53). Informația de interes este o reprezentare a mărimii fizice. Principiul fizic,

ca model matematic, stă la baza materializării suportului fizic care permite punerea în evidență a rezultatului conversiei.



Fig.2.53.Reprezentarea schematică

În tabelele 2.9 și 2.10 se prezintă concentrat o sinteză a mărimilor fizice de bază și posibilitatea de punere în evidență a acestora cu semnale specifice.

Tabelul 2.9

| <b>Mărime fizică de bază</b> | <b>Mărimi fizice derivate</b>   | <b>Elemente sensibile tipice</b>   |
|------------------------------|---|--|
| Deplasare                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• deplasare liniară</li> <li>• deplasare unghiulară</li> <li>• lungime</li> <li>• grosime (strat de acoperire)</li> <li>• nivel</li> <li>• deformație</li> <li>• forță, presiune, cuplu</li> <li>• altitudine</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• rezistive</li> <li>• inductive</li> <li>• fotoelectrice</li> <li>• electrodinamice (de inducție, selsine, inductosine)</li> </ul> |
| Viteză                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• viteză liniară</li> <li>• viteză unghiulară</li> <li>• debit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• electrodinamice (de inducție)</li> <li>• fotoelectrice</li> </ul>   |
| Forță                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• efort unitar</li> <li>• greutate</li> <li>• accelerație</li> <li>• cuplu</li> <li>• presiune</li> <li>• vâscozitate</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• rezistive</li> <li>• inductive</li> <li>• capacitive</li> <li>• piezorezistive</li> <li>• magnetorezistive</li> </ul>             |
| Temperatură                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• temperatură</li> <li>• căldură</li> <li>• conductibilitate termică</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• termorezistente</li> <li>• termistoare</li> <li>• termocupluri</li> </ul>   |
| Masă                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• debit de masă</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• complexe (dilatare+deplasare)</li> </ul>  |
| Concentrație                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• densitate</li> <li>• componente din amestec de gaze</li> <li>• ioni de hidrogen în soluții</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• idem forță</li> <li>• termorezistive</li> <li>• electrochimice</li> <li>• conductometrice</li> </ul>                              |
| Radiație                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• umiditate</li> <li>• luminoasă</li> <li>• termică</li> <li>• nucleară</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• fotoelectrice</li> <li>• detectoare în infraroșu</li> <li>• elemente sensibile bazate pe ionizare</li> </ul>                      |

Tabelul 2.10

| Mărimea fizică de măsurat | Efect utilizat            | Mărime de ieșire  |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| Temperatura               | Termoelectricitate        | Tensiune          |
|                           | Piroelectricitate         | Sarcina           |
| Flux de radiație optică   | Fotoemisie                | Curent            |
|                           | Efect fotovoltaic         | Tensiune          |
|                           | Efect fotoelectric        | Tensiune          |
| Forță (dinamică)          | Piezoelectricitate        | Sarcină electrică |
| Presiune                  | Piezoelectricitate        | Sarcină electrică |
| Accelerație               | Piezoelectricitate        | Sarcină electrică |
| Viteză                    | Inducție electromagnetică | Tensiune          |
| Poziție (magnet)          | Efect Hall                | Tensiune          |

În funcție de soluția constructivă folosită și principiul fizic de conversie a informației primare, elementele senzoriale pot fi:

- *parametrice (pasive)* – au la bază dependența unui parametru specific al elementului sensibil și mărimea fenomenului fizic urmărit. Aceste elemente senzoriale necesită sursă de energie pentru alimentarea circuitului de măsurare;

- *generatoare (active)* - au la bază conversia unei forme de energie (mecanică, termică, chimică etc.), care este specifică fenomenului analizat într-o altă formă de energie (în general electrică). Aceste elemente senzoriale nu necesită sursă de energie pentru alimentarea circuitului de măsurare.

Soluții principale privind senzorii utilizați (Busola magnetică, GPS, traductoare poziție, senzori vizuali etc.) au fost prezentate în tabelul 2.8.

O clasificare a elementelor senzoriale, pe baza altor criterii, este prezentată în tabelul 2.11.

Tabelul 2.11

| Criteriu                                   | Clasificare                                       |
|--|---|
| Modalitatea de captare a caracteristicilor | Cu contact  |
|  | Fără contact                                      |
| Scopul folosirii                           | Determinarea formelor și dimensiunilor obiectelor |
|  | Determinarea proprietăților fizice ale obiectelor |
|  | Determinarea proprietăților chimice               |
|  | Determinarea distanțelor                          |
| Mediul de culegere a informației           | Intern  |
|  | Extern  |

### 2.3.6.3. Concluzii

Categoria de elemente senzoriale și numărul acestora trebuie abordată în perioada de sinteză a sistemului. „Inspirația” din domeniul biologic este recomandată având în vedere „perfectiunea” sistemului biologic.

Elementele senzoriale care sunt integrate în structura sistemului autonom mobil sunt esențiale pentru a obține informații despre starea internă sau starea externă a robotului. Nu trebuie scăpat din vedere costul acestor elemente senzoriale și necesitatea prelucrării informației în timp real.

Nu în ultimul rând trebuie urmărită posibilitatea de utilizare sinergică a informațiilor în concordanță cu principiul de sinteză mecatronică a unui produs.

Soluții constructive și informații în detaliu sunt prezentate pe larg în [H6], [D3], [N5], [O1], [P4].

### 2.3.7. Stadiul actual al funcției de comunicare

#### 2.3.7.1. Introducere

Funcția de comunicare este definită în literatură ca fiind capacitatea de a transmite sau recepționa un mesaj, indiferent de modul în care se face acest lucru, de a comunica eficient și independent în orice mediu. Robotul mobil are nevoie de comunicare, atât între componentele sale, cât și cu exteriorul (operatorul uman sau alți roboți mobili) pentru o optimă funcționare.

#### 2.3.7.2. Funcția de comunicare

Roboții mobili trebuie să fie capabili să comunice, fie cu alți roboți, fie cu operatorul uman care îi controlează, pentru a transmite starea, poziția sau gradul de îndeplinire a sarcinii sale.

În fig.2.54 este prezentată structural funcția de comunicare.

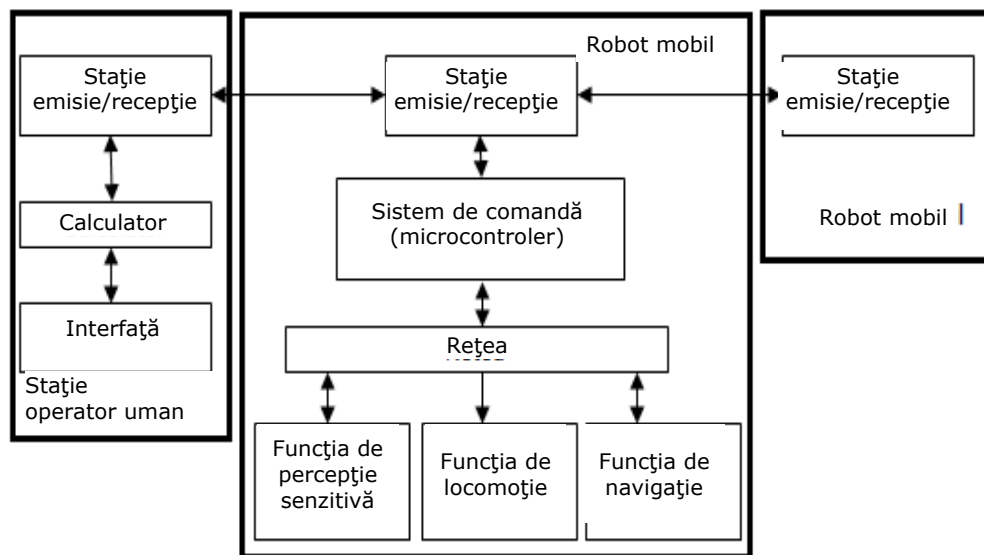


Fig.2.54. Schema bloc a funcției de comunicare pentru un robot mobil

Funcția de comunicare externă se poate realiza prin două metode clasice:

- cu fir;
- fără fir.



În primul caz, putem spune că este cel mai simplu sistem de a efectua comunicarea între stația de operare a robotului mobil și robot. Este mai avantajoasă pentru că permite un transfer de date mai rapid și mai sigur. Plus că putem să alimentăm și robotul mobil, crescând astfel autonomia acestuia.

Dezavantajul constă în faptul că suntem limitați în aria de lucru, datorită cablului de date care are o lungime limitată. Un alt dezavantaj este faptul că pot apărea interferențe între cablul de date și sistemul locomotor al robotului mobil.

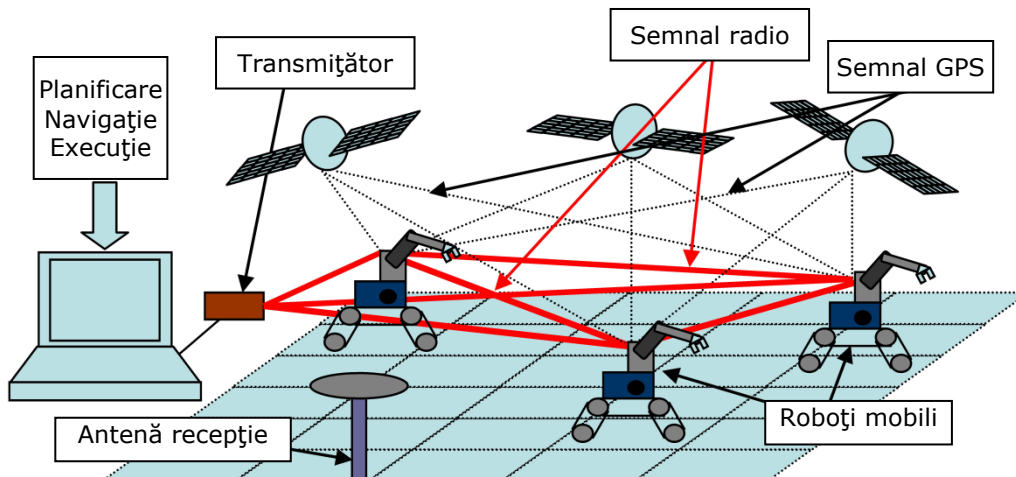


Fig.2.55. Comunicarea între roboții mobili din aria de lucru și operatorul uman

În al doilea caz, autonomia de lucru a robotului este esențială. Dezavantajele sunt cele specifice domeniului de comunicare.

### 2.3.7.3. Concluzii

Sistemele de comunicare fără fir folosesc tehnologii de transmisie a informației prin aer. Asemenea tehnologii sunt: infraroșu, Wi-fi, Bluetooth, unde radio, etc.

Comunicarea internă are ca scop achiziția de date interne și comunicarea între componentele lor. Acest lucru se face pe baza principiilor clasice.

## 2.4. Tendințe viitoare în robotica mobilă

La ora actuală robotica mobilă este într-o puternică dezvoltare datorită evoluției tehnologice din domeniul mecanic, electric și automatizării.

În ceea ce privește evoluția roboticii mobile, aceasta se va axa pe un caracter tot mai autonom față de operatorul uman și cu o capacitate sporită de a îndeplini sarcini din ce în ce mai precise, cu un grad de complexitate ridicat și cu un risc major pentru factorul uman. Roboții mobili îi întâlnim tot mai des în activitățile curente ale omului și devin parte din viața cotidiană.

Dezvoltarea unor sisteme mecatronice autonome mobile pentru activități desfășurate în spațiu cosmic sau în medicină este una din direcțiile viitoare.

Tendința în domeniul roboticii este de a crea structuri hibride atât la nivel de locomoție, cât și la nivel senzorial. Sinteza unor variante de roboți mobili cu structură variabilă este de actualitate și de viitor.

Nu în ultimul rând trebuie avute în vedere tendințele de „inspirație” din domeniul biologic pentru actuatore și senzori dedicați roboticii.

## **2.5. Concluzii finale**

Din analiza prezentată se pot concluziona următoarele:

- conceptul mecatronic este puțin întâlnit în sinteza sistemului mecatronic autonom mobil;
- principiul de proiectare a roboților mobili continuă în principiul clasic;
- elementele de bază organice (actuatoare, senzori) sunt esențiale pentru funcționarea unui sistem performant;
- o serie de abordări sistemice, la nivel funcțional sau organic pot fi incluse în procedeele de proiectare mecatronică a unui robot mobil.

## **3. NECESITATEA, ACTUALITATEA ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT**

### **3.1. Necesitatea temei tezei de doctorat**

Știința și tehnologia sunt fundamentale pentru dezvoltarea unei societăți bazate pe cunoaștere. O dezvoltare rapidă a științei și tehnologiei este necesară pentru a menține o dezvoltare durabilă în lume. Pe de altă parte, există o lipsă majoră de resurse umane în acest domeniu.

În contextul practicii ingineresti, filozofia mecatronică a marcat trecerea de la ingineria tradițională, secvențială, la ingineria simultană sau concurrentă, dezvoltându-se astfel conceptul de mașină inteligentă. Startul în realizarea acestor mașini a fost dat de revoluția mecatronică.

Flexibilitatea, ușurința în utilizare, reconfigurabilitatea și siguranța în exploatare sunt doar câteva dintre avantajele pe care sistemele mecatronice le prezintă față de cele clasice. Dezvoltarea mecatronicii a deschis noi orizonturi în toate domeniile de cercetare.

În „Educational Robotics – Primary and Secondary Education” din numărul 4, decembrie 2011 al revistei IEEE Robotics & Automation Magazine se subliniază și se accentuează asupra creșterii rapide a educației în domeniul roboticii.

Robotica și mecatronica reprezintă două direcții de cercetare, educație (și nu numai) care nu mai necesită explicații suplimentare. Una din ofertele filozofiei mecatronice în proiectare este abordarea sinergică a problemelor. Una din direcțiile actuale de aplicații consistente este cea din zona biologiei. Punctul de plecare constă în modelarea diverselor aspecte ale sistemelor biologice. Facilitățile sinergice oferite de științele fundamentale, inginerie și medicină, au condus în mod constant la găsirea de soluții pentru creșterea calității vieții omului. Din acest punct de vedere mecatronica clasică a făcut un pas important spre biomecatronică. Roboții mobili sub diversele forme constructive și aplicative sunt una din aceste direcții noi orientate spre sistemele biologice.

Analiza constructivă, experimentală și aplicativă a roboților mobili este o necesitate cu o extensie deosebită.

### **3.2. Actualitatea temei tezei de doctorat**

*Tema tezei* propune utilizarea „filozofiei” mecatronice pentru analiza și sinteza unui sistem mecatronic autonom mobil. Abordarea temei este multidisciplinară deoarece se referă *la un produs mecatronic* și propune o *abordare mecatronică* a problemelor.

Activitatea de cercetare din cadrul tezei de doctorat constituie o continuare a activității desfășurate pe parcursul elaborării lucrării de licență [B18].

În același timp, lucrarea urmează una din direcțiile de cercetare ale Departamentului de Mecatronică din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara, cea de dezvoltare a sistemelor mecatronice în general și a celor autonome – roboți mobili - în particular. Această activitate trebuie menționată și este susținută prin:

- literatura de specialitate elaborată de colectivele de autori din cadrul departamentului [D1], [R6], [V2];
- teza de doctorat din domeniul roboților mobili elaborată și coordonată în cadrul departamentului [V4];
- lucrările de licență având ca subiect roboți mobili, coordonate și elaborate în cadrul Departamentului de Mecatronică [B18], [I2], [M13].

Prezenta cercetare se încadrează conform:

- *Planului Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare, 2007-2013, PNII*

**a) în axa prioritară 1.4 - Tehnologia informației și comunicații - Inteligență artificială, robotică și sisteme autonome avansate**

- subdomeniul 5 – Dezvoltarea de sisteme, de agenți inteligenți, inspirate din biologie, capabile să perceapă, să înțeleagă, să învețe și să evolueze, să acționeze autonom;

- subdomeniul 7 – Dezvoltarea de sisteme inteligente cu autonomie ridicată, inclusiv roboți autonomi;

- subdomeniul 8 – Sisteme inteligente de asistare a deciziilor.

**b) în axa prioritară 7.3 - Tehnologiile și produse mecanice de înaltă precizie și sisteme mecatronice**

- subdomeniul 5 – Robotica și microrobotica de înaltă precizie, cu sau fără deplasări autonome.

- *Programului IDEI Proiecte de cercetare exploratorie*

**a) în domeniul – Matematica, inginerie, informații și comunicare**

- subdomeniul PE7 – **Ingineria sistemelor și comunicații**

- aria de cercetare PE7-3 – Modelare și simulare;

- aria de cercetare PE7-4 – Ingineria sistemelor, senzori, actuatoare, automatizări;

- aria de cercetare PE7-10 – Robotica.

### 3.3. Obiectivele tezei de doctorat

Pornind de la analiza critică a cercetărilor actuale din domeniul roboticii mobile se poate enunța **obiectivul principal** al tezei de doctorat: *aplicarea „filozofiei” mecatronice în analiza teoretică și experimentală pentru realizarea suportului necesar sintezei teoretice, constructive și experimentale a unui sistem mecatronic mobil și autonom, destinat cercetărilor de laborator sau cercetărilor dintr-un mediu nestructurat.*

Obiectivului principal i-au fost subordonate o serie de obiective operaționale sau specifice:

➤ elaborarea materialelor sintetice referitoare la evoluția sistemelor tehnice și la stadiul actual din domeniul roboticii mobile;

➤ realizarea unei paralele biomecatronice între sistemul biologic specific unui animal (în general) și a sistemului mecatronic echivalent unui robot mobil;

➤ enunțarea noțiunii de obstacol preluată pentru studiu, a parametrilor acestora și proiectarea unor experimente pentru evaluarea elementelor senzoriale prevăzute pentru a fi integrate hardware și software în construcția unui robot mobil;

➤ realizarea standurilor de lucru pentru experimentarea senzorilor ultrasonici, a senzorilor în infraroșu și desfășurarea experimentelor;

➤ elaborarea unui material suport pentru analiza și sinteza sistemului robot mobil ca și sistem mecatronic;

- modelarea și analiza experimentală a modului mecatronic pentru asigurarea funcției motrice;
- experimentarea într-un mediu nestructurat, pe un traseu simplu, a robotului construit;
- analiza teoretică în viziunea mecatronică a unui sistem autonom mobil cu structură variabilă.

Pe baza obiectivului principal, ale obiectivelor operaționale și ale analizei stadiului actual al cercetărilor, se poate enunța planul de cercetare pentru realizarea prezentei lucrări. Acesta include obiectivele științifice, activitățile conexe și rezultatele estimative asociate cercetării.

Tabelul 3.1

| <b>Obiective</b>   | <b>Activități</b>   | <b>Rezultate estimate</b>   |
|--|---|---|
| Analiza critică a paralelismului biomecatronic dintre sistemul biologic al unui animal și sistemul mobil autonom | Aplicarea „filozofiei” mecatronice pentru analiza funcțională a celor două sisteme  | Materialul structurat referitor la actualitatea și viitorul domeniului  |
| Analiza conceptului de <i>obstacol</i> în cadrul mediului de lucru al robotului mobil                            |   | Sistematizarea parametrilor descriptivi ai obstacolelor și elaborarea procedurilor experimentale pentru studiul elementelor senzoriale necesare detecției obstacolelor  |
| Cercetarea experimentală a elementelor senzoriale necesare pentru integrarea în structura robotului mobil        |   | Obținerea caracteristicilor funcționale ale elementelor senzoriale  |
| Elaborarea materialului suport la nivel funcțional și organic pentru un sistem autonom mobil                     | Aplicarea conceptului mecatronic în proiectarea structurală   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structura sistemului mecatronic autonom mobil și a modelului experimental al robotului</li> <li>• Realizarea modelului fizic</li> </ul>  |
| Modelarea și analiza experimentală a modelului fizic   | Studiul datelor disponibile și stabilirea procedurilor de determinare a unor parametri lipsă din documentația tehnică de la nivel organic | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceperea experimentelor</li> <li>• Realizarea standului experimental și desfășurarea experimentelor</li> <li>• Analiza datelor experimentale și prezentarea concluziilor</li> <li>• Verificarea funcționării sistemului fizic creat într-un mediu real cu obstacole</li> </ul> |
| Analiza și sinteza unui sistem autonom mobil cu structură variabilă  | Identificarea etapelor de lucru în conceptul mecatronic   | Proiectarea și realizarea modelului fizic pentru robotul mobil  |
| Valorificarea rezultatelor cercetării  | Diseminarea rezultatelor în cadrul grupului de cercetare  | Discuții, demonstrații, prezentări ale rezultatelor   |
| Publicarea rezultatelor și participarea la conferințe, sesiuni și/sau reviste naționale și internaționale        |   | Publicații și participări în reviste, sesiuni și/sau conferințe naționale și internaționale   |

72 Capitolul 3. Necesitatea, actualitatea și obiectivele tezei de doctorat

---

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Elaborarea tezei de doctorat | Forma electronică a tezei în vederea publicării prin Editura „Politehnica” și editarea volumului tezei de doctorat pentru susținerea publică. |
|------------------------------|---|

## 4. PARALELĂ BIOMECATRONICĂ ÎNTRE SISTEMUL BIOLOGIC ȘI ROBOTUL MOBIL

### 4.1. Introducere

*Robotică și mecatronică*, două direcții de cercetare, educație (și nu numai) care nu mai necesită explicații suplimentare. Una din ofertele filozofiei mecatronice în proiectare este abordarea sinergică a problemelor. În acest context, la ora actuală se poate vorbi despre o nouă tendință în robotică în contrast cu robotica clasică. Noua orientare este dictată practic de influențele - idei, principii - din zona biologiei [S4].

Punctul de plecare constă în modelarea diverselor aspecte ale sistemelor biologice.

Facilitățile sinergice oferite de științele fundamentale, inginerie și medicină, au condus în mod constant la găsirea de soluții pentru creșterea calității vieții omului. Din acest punct de vedere mecatronica clasică a făcut un pas important spre biomecatronică cu aplicații esențiale în domeniul medical.

Inspirația *biologie - robotică* a stârnit dezbateri semnificative în ultimii ani. O serie de autori [D5], [H6], [K12] au sugerat că multe caracteristici ale unui animal ar trebui incluse în structura unui robot. Este necesar însă ca aceste caracteristici să confere atribute utile robotului.

Există și păreri conform cărora, introducând prea multe caracteristici, performanțele pot fi afectate [H2].

În contextul celor specificate, *biorobotica* se definește ca un domeniu științific și tehnologic interdisciplinar bazat pe cercetare în robotică, științele naturii și inginerie biomedicală. Principalul scop al bioroboticii este de a analiza sistemele biologice prin prisma filozofiei „biomecatronice”.

*Biomecatronica* reprezintă domeniul aplicativ interdisciplinar care are ca scop integrarea unor componente mecanice/electromecanice în corpul uman, în scop terapeutic sau pentru a ameliora abilitățile existente.

*Biomimetica* este un termen relativ recent introdus. În concordanță cu Webster Dictionary, biomimetica analizează posibilitățile de sintetizare artificială a substanțelor și materialelor biologice, a mecanismelor și proceselor biologice. Sistemele biologice se prezintă, după o evoluție îndelungată în timp, ca sisteme optimizate, care pot constitui puncte de plecare pentru realizarea de sisteme artificiale.

O serie de autori se referă la perioada următoare ca la o perioadă în care activitățile curente vor fi „invadate” de o serie de creații artificiale care vor înlocui ceea ce noi denumim astăzi animale domestice și nu numai [B8].

Ideea de a construi mașini care emulează caracteristici ale animalelor pe care le vedem în jurul nostru are o lungă istorie. Desenele lui Leonardo da Vinci despre mașini care zboară ca păsările sunt recunoscute.

Pe măsura dezvoltării cunoștințelor și a tehnologiilor, aceste lucruri au început să devină o realitate.

În acest context se poate considera utilă o paralelă animal – robot mobil care să stea la baza unor analize actuale și de viitor.

## 4.2. Paralelă mecatronică animal – robot mobil

### 4.2.1. Animale și robot mobil în abordare sistemică

Într-o abordare sistemică se pot considera atât pentru un sistem biologic (animal) cât și pentru un robot mobil reprezentările din fig. 4.1a și respectiv 4.1b.

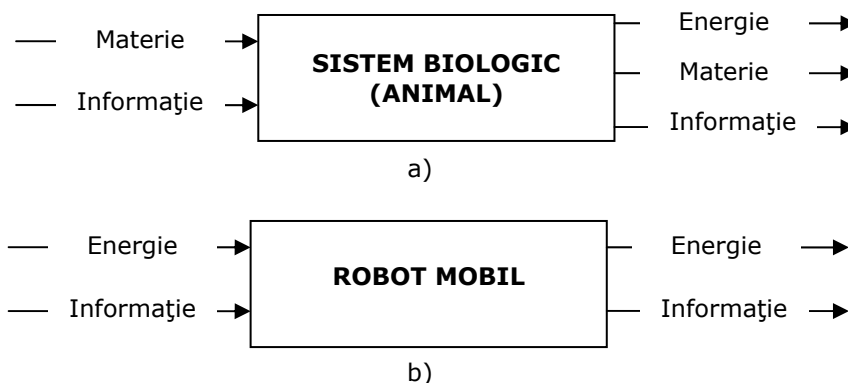


Fig.4.1. Reprezentare sistemică animal – robot

Indiferent că se vorbește despre un animal domestic sau sălbatic, acestuia i se poate atașa o funcție de realizat și care îi poate justifica existența.

Robotul mobil poate desfășura o activitate similară cu cea realizată de om sau animal.

O importanță egală cu cele afirmate anterior o are și noțiunea de model. Teoria sistemelor asigură conceptul și setul de reguli pentru modelarea sistemelor fizice și descompunerea în subsisteme pe nivele ierarhice.

În 1980 s-au formulat principiile științifice pentru proiectarea mașinilor dezvoltând metodologia domeniilor. Conform acestei metodologii, analiza și sinteza unei *mașini* constă în stabilirea succesivă a patru subsisteme, fiecare corespunzând unei activități mentale pe un domeniu.

Cele patru subsisteme corespund *domeniului proces, domeniului funcțional, domeniul organ și domeniului componentă*.

Am putea realiza pe baza acestei metodologii o descompunere a celor două sisteme propuse pentru analiză. O altă abordare însă, este cea a filozofiei mecatronice. În domeniul mecatronice se utilizează o descompunere având ca suport funcția sistemului. Modul de abordare a lucrului poate fi dezvoltat de la abstract la o formă concretă. Stabilirea structurii sistemului mecatronic (sau biomecronic) se bazează pe două principii dezvoltate din teoria mașinilor:

- Cauzalitatea verticală (cauză – efect);
- Principiul funcțiilor secundare conform căruia în jurul funcției principale se găsesc un set de funcții secundare.

În conformitate tot cu principiile mecatronice, descompunerea unui sistem poate apela la o descompunere la *nivel funcțional și/sau la nivel organic*.

Există șapte funcții secundare ale unui animal, în jurul funcției principale care îl caracterizează. Acestea sunt prezentate în tabelul morfologic de mai jos (tabelul 4.1) [H6].



Tabelul 4.1

|                          |             |  |                                |
|--------------------------|-------------|--|--------------------------------|
| <b>FUNCȚII SECUNDARE</b> | Coordonare  | Comandă și control                                 | Creier                         |
|                          | Hrănire     | Asigură materia organică pentru obținerea energiei | Cavitate bucală, tub digestiv  |
|                          | Respirație  | Inspiră O <sub>2</sub> și expiră CO <sub>2</sub>   | Aparat respirator              |
|                          | Circulator  | Transportă O <sub>2</sub>                          | Sistem cardiovascular          |
|                          | Reacție     | Celule senzitive                                   | Sistem nervos                  |
|                          | Locomoție   | Se deplasează în diferite locații                  | Sistem muscular și sistem osos |
|                          | Reproducere | Înmulțire  | Organe de reproducere          |

Conform cu aceste funcții și în concordanță cu filozofia mecatronică, reprezentarea descompunerii sistemului biomecatronic (biologic) – animal - este dată în fig.4.2.

*Funcția de locomoție* este descompusă la nivelul 2, iar la nivelul 3 este concretizată în nivelul organic.

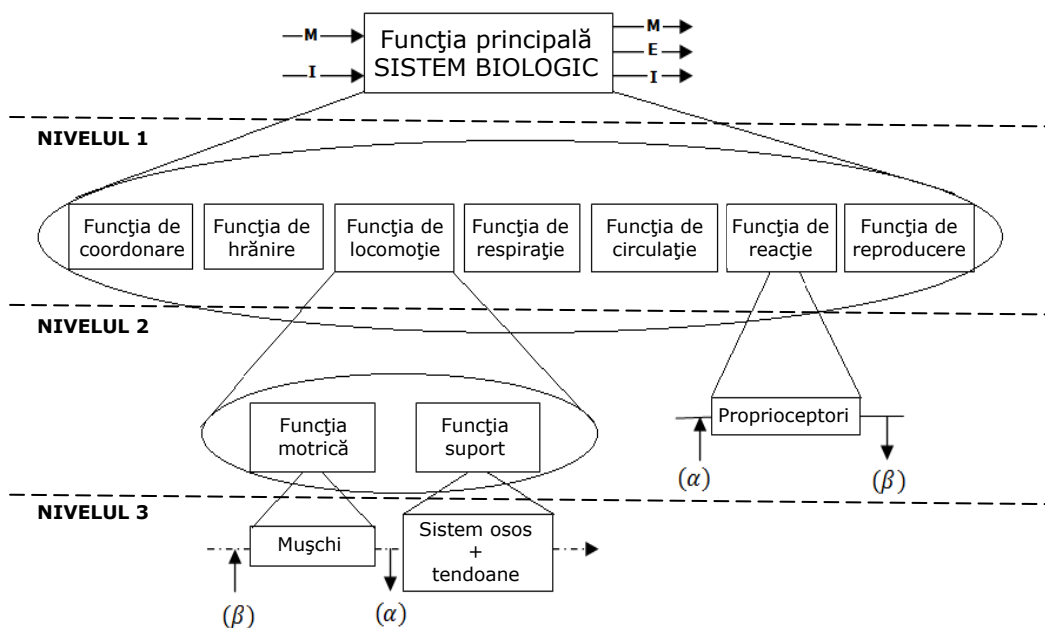


Fig.4.2. Descompunerea sistemului biomecatronic pe baza funcțiilor

Se utilizează astfel o reprezentare mixtă nivel funcțional-nivel organic. Astfel de descompuneri se pot dezvolta pentru toate funcțiile secundare din fig.4.2.

Procesul de evoluție influențează în totalitate morfologia, elementele senzoriale și sistemul de control al unui animal.

Nu este posibil și nici recomandat să se copieze acest proces, dar este mult mai util și interesant să se înțeleagă principiile care au stat la baza soluționării acestui proces de evoluție, astfel încât să le putem învăța. Ideea principală în bionică nu este aceea de a copia, ci de a folosi ideile.

Toate funcțiile obiectiv au fost orientate spre supraviețuirea individuală sau a speciei. Se pot aminti astfel de funcții:

- Energia minimă consumată pentru mișcarea biologică, în general și respectiv mișcarea umană, în particular.

- Multifuncționalitatea și adaptabilitatea sunt caracteristici esențiale ale sistemelor biologice. Aceste sisteme sunt capabile de a conduce/rezolva optimal diferite sarcini în limita capabilităților sale (stabilitate, oboseală etc.). Această abilitate este cu atât mai vizibilă când sistemul biologic este forțat să se adapteze unor sarcini noi.

- Evoluția biologică combinată cu alte mecanisme, de ex. mutațiile genetice, este în strânsă corelație cu supraviețuirea și dezvoltarea speciilor. Evoluția biologică este un proces care descrie cumulativ schimbările din sistemul biologic. Algoritmii genetici sunt o metodă pentru căutarea soluției optime și este inspirat din evoluția biologică, selecția naturală și genetică.

Considerând descompunerea sistemului mecatronic pe baza *funcțiilor principale și secundare* se poate construi reprezentarea din fig.4.3.

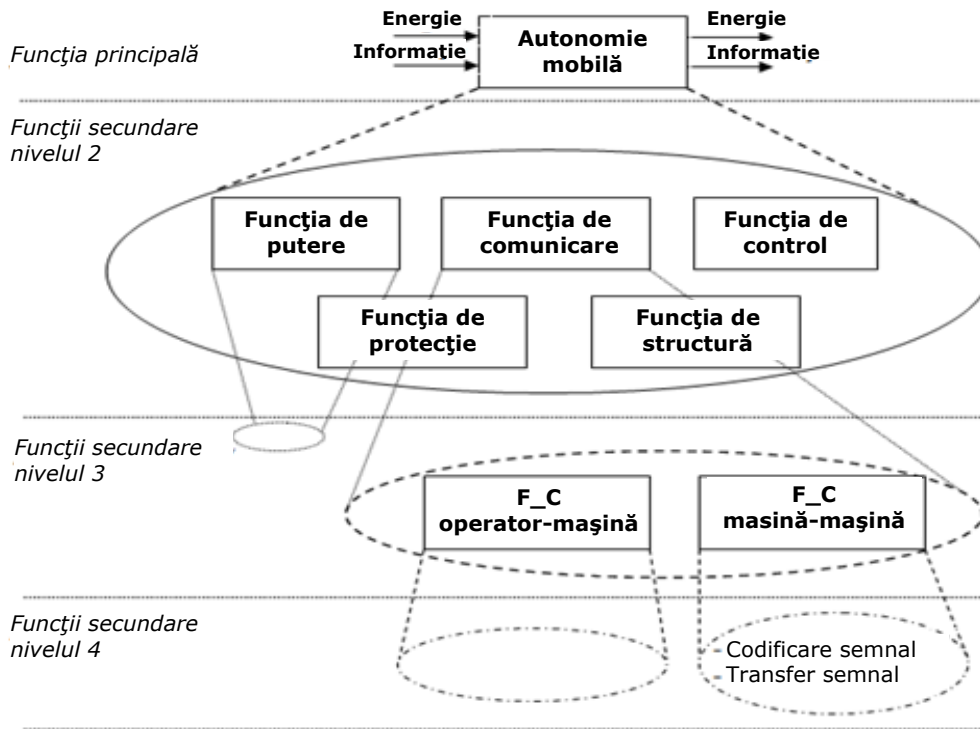


Fig.4.3. Descompunerea sistemului robot mobil la baza funcțiilor

Conform acestei descompuneri sistemul – robot mobil poate fi analizat pe baza funcțiilor secundare:

- *funcția de putere* – care descrie asigurarea energiei necesare pentru îndeplinirea funcției principale;

- *funcția de protecție* – care descrie modalitatea de protejare a funcției principale împotriva unor intrări parazite și pentru protejarea mediului împotriva unor ieșiri nedorite;

- *funcția de comunicare* – pentru controlul schimbului de informații între sistemul mecatronic și utilizator sau subsisteme componente ale sistemului mecatronic;
  - *funcția de control* – pentru controlarea modului de realizare a funcției principale și a componentei de interfațare a comunicării;
  - *funcția structurală* - care descrie modalitatea de fixare a componentelor – organ mecatronic, modul mecatronic - în sistem printr-o relație spațială.
- La *nivel organic* sistemul mecatronic se poate descompune pe baza subsistemelor care concură la realizarea funcțiilor cerute (fig.4.4).

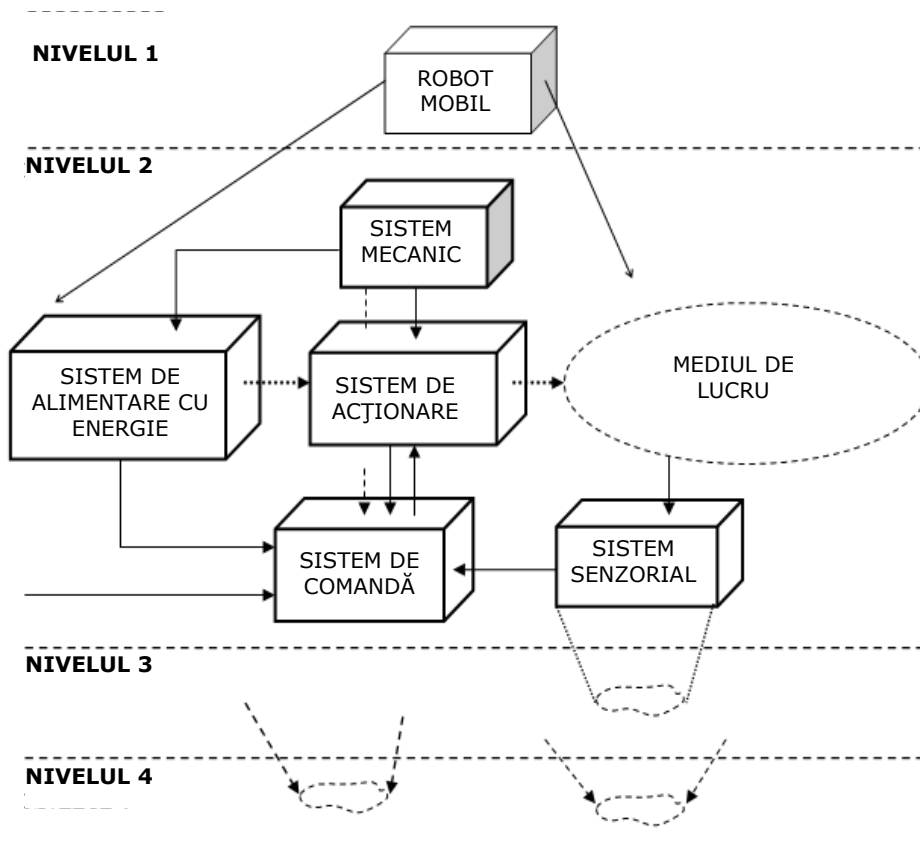


Fig.4.4. Descompunerea sistemului robot mobil la nivel organic

#### 4.2.2. Concluzii

„Filozofia mecatronică” se bazează pe realizarea de produse competitive prin integrarea unor structuri hardware și/sau software într-un sistem. În acest mod, una sau mai multe funcții din sistem, care anterior se realizau pe un anumit principiu fizic și energetic, se vor realiza pe baze electronice sau informatice.

Robotul mobil este o realizare mecatronică de acest fel, având în vedere imitarea unora din funcțiile unui sistem biologic (animal), printr-un sistem la care concură domeniul mecanic, electronic și cel al informaticii.

Din analiza realizată se poate concluziona că doar o parte din funcțiile secundare ale sistemului biologic se regăsesc (la ora actuală) în cadrul sistemului mecatronic – robot mobil. De ex. funcția de respirație, funcția de reproducere din cadrul sistemului biologic, nu se regăsesc în cadrul sistemului mecatronic. În alte cazuri, funcția de putere – referitoare la asigurarea aspectului energetic – este diferită în cazul celor două sisteme. Din aceste motive putem afirma că tendința de a copia sistemul biologic are căi deschise pentru viitor.

Informații suplimentare și concluzii concludente pentru paralela sistem biologic-sistem mecatronic se pot obține printr-o analiză la nivel organic. În continuare se vor aborda, doar paralela pentru funcțiile comune celor două sisteme.

### **4.3. Funcțiile sistemelor**

#### **4.3.1. Funcția locomotoare**

##### **4.3.1.1. Locomoția biologică**

Animalele sunt supuse aceluiași legi fizice de statică și dinamică ca și sistemele tehnice. *Statica* studiază mecanismele structurale care permit menținerea echilibrului în stațiune patrupedală. *Dinamica* analizează evenimentele care se succed în timpul mișcărilor.

Organizarea structurală a corpului unui animal prezintă o variabilitate ridicată în funcție de specie, dar și de condițiile de mediu.

Carnivorele, animale de pradă, sunt caracterizate prin forță și prin viteze de deplasare mari în timpul vânatului. Structura corpului la ierbivore le permit să parcurgă distanțe mari și să consume un volum mai mare de hrană care ulterior va fi supusă digestiei.

Pentru scoaterea în evidență a locomoției biologice, am ales ca și exemple: calul și sistemul humanoid. Calul a fost ales deoarece este unul dintre animalele căruia i se cunosc cel mai bine structura organelor și sistemelor din punct de vedere biomecanic. Sistemul humanoid a fost ales datorită contribuției sale, ca model, la startul roboticii în general.

Conform DEX, calul este „animal domestic folosit la *călărie și tracțiune*”. Se pot defini astfel, pentru sistemul biologic (cal), două funcții principale: *funcția călărie* și respectiv *funcția de tracțiune*. La cal, aparatul locomotor (fig.4.5) prezintă o mobilitate ridicată, fiind alcătuit din structuri pasive specializate în menținerea corpului în poziție patrupedală, fructificând la maxim tonusul muscular simplu al anumitor grupe de mușchi de la nivelul membrilor toracice și pelvine. Astfel, ecvinele se pot odihni în poziție patrupedală, cheltuind foarte puțină energie [D2].

La mamiferele domestice, trunchiul poate fi asemănat cu un „arc de luptă”, în care *mânerul arcului* este reprezentat de coloana toraco-lombară, iar *coarda arcului* de mușchii drept toracal și drept abdominal care leagă cutia toracică de bazin. Din punct de vedere static un rol important în susținerea pasivă o are *tunica galbenă a abdomenului* [D2].

Arcul și coarda arcului sunt legate indirect între ele. Cranial, legătura se realizează prin intermediul regiunii cervicale care se prelungeste până la craniu, iar caudal, legătura cu bazinul se face prin ultima vertebră lombară și prin sacrum. Prin contracția mușchilor abdominali are loc flexia coloanei vertebrale, în timp ce contracția mușchilor spino-dorso-lombari induce extensia coloanei vertebrale.

La nivelul gâtului, vertebrele și articulațiile intervertebrale formează „arcu”, iar ligamentul nucal și musculatura dorsală constituie „coarda” arcului.

Musulatura dorsală și ligamentul nucal se inseră pe procesele spinoase ale primelor vertebre toracice stabilind astfel legătura între arc și coardă. Greutatea corporală și coborârea capului induc flexia „arcului cervical”, în timp ce ridicarea capului duce la extensia „corzii arcului”.

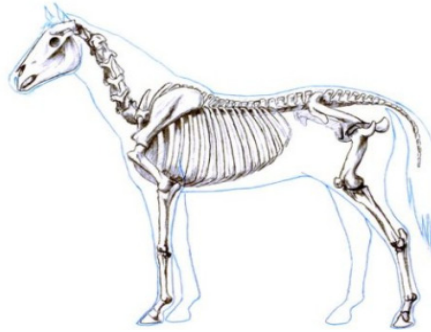


Fig.4.5. Sistemul osos la cal [D2]

Poziția *centrului de greutate* variază în funcție de specie, dar și de individ, fiind influențată de constituția și distribuția greutății corporale.

În poziție patrupedală echilibrul este menținut numai dacă verticala care trece prin centrul de greutate este cuprinsă într-un dreptunghi format de cele patru membre [V3].

La ecvine centrul de greutate se situează în punctul de intersecție dintre planul median și planul transversal, puțin caudal de procesul xifoid al sternului, aproximativ în dreptul coastei a XII-a, mai aproape de membrele toracice decât de cele pelvine. Astfel, greutatea corporală nu este distribuită uniform pe cele patru membre, 56% fiind repartizată pe membrele toracice, iar 44% pe membrele pelvine [D2].

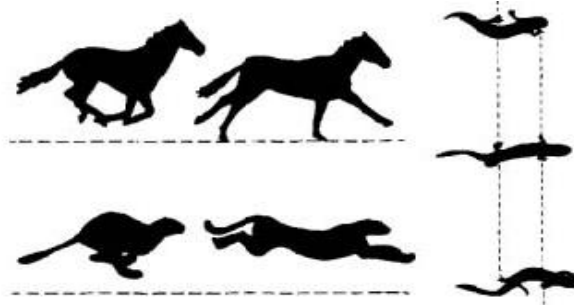


Fig.4.6. Mișcare longitudinală a corpului la cal și ghepard.  
În dreapta, mișcarea longitudinală la mers a șopârlei

Mișcările pe care animalele le execută sunt variabile în funcție de specie. La ierbivore, trunchiul este mult mai rigid decât la carnivore și în consecință și coloana vertebrală este mai puțin flexibilă. Carnivorele sunt mai agile și execută mișcări precise. De exemplu la cal, locomoția normală este reprezentată de mersul la pas, la trap și la galop. Succesiunea pașilor reprezintă o combinație regulată de susținere pe două și respectiv pe trei membre și întotdeauna două membre fac sprijin pe sol. Modelul de realizare a pașilor este: membrul pelvin stâng, membrul toracic stâng, membrul toracic drept și membrul pelvin drept.

Mersul la trap se caracterizează prin *sincronism diagonal*, succesiunea pașilor fiind un schimb de susținere în diagonală a două membre, toracic drept-pelvin stâng sau pelvin drept-toracic stâng.

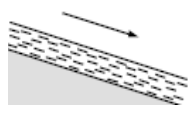
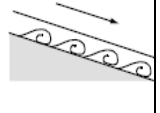



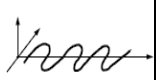
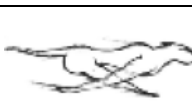
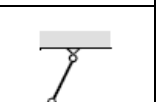

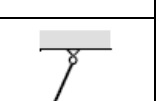

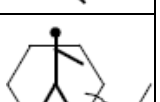
*Galopul* reprezintă forma cea mai rapidă de deplasare. În cazul mișcărilor de galop impulsul este furnizat de unul din membrele pelvine, fiind transmis în diagonală membrului toracic.

Ecvinele realizează în plus mișcări *de cabrare* sau *de azvârlire*.

În biomecanica locomoției la cal, membrele acționează prin pendulare, fenomen de oscilație proprie sau de rezonanță, caracterizat printr-o distribuție egală a masei corporale. Timpul de oscilație al membrilor se reduce pe măsura creșterii vitezei de deplasare.

În tabelul 4.2 se prezintă o sintetizare a unor categorii de mișcare de inspirație biologică.

Tabelul 4.2

| Tipul mișcării       |   | Rezistența la mișcare        | Cinematica de bază a mișcării  |
|----------------------|---|------------------------------|--|
| Curs printr-un canal |    | Forțe hidrodinamice          | Turbulențe                                        |
| Șerpuitoare          |  | Forțe de frecare             | Vibrații longitudinale                          |
| Alunecare            |  | Forțe de frecare             | Vibrații transversale                           |
| Alergare             |  | Pierdere de energie cinetică | Mișcări oscilatorii ale unui pendul multi-link  |
| Sărit                |  | Pierdere de energie cinetică | Mișcări oscilatorii ale unui pendul multi-link  |
| Mers                 |  | Forțe gravitaționale         | Rostogolirea unui poligon                       |

Un sistem biped, mers pe jos poate fi aproximat printr-un poligon care se rotește, cu laturile  $d$  egale în funcție de mărimea pasului. Cu cât mărimea pasului scade, poligonul se apropie de forma unei roți sau cerc cu raza  $l$ . Acest lucru se vede și în fig. 4.6. Cu toate acestea natura nu a dezvoltat un sistem complet de rotație, care să aibă un racord motorizat, cum ar fi tehnologia necesară pentru locomoția pe roți [F1].

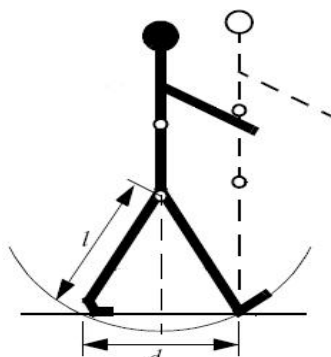


Fig.4.7. Sistem biped de mers

O sintetizare a celor prezentate anterior permite ilustrarea principalelor probleme legate de locomoție (tabelul 4.3).

Tabelul 4.3

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Sistem suport</b>               | Sistem osos   |
| <b>Stabilitatea</b>                | - numărul și geometria punctelor de contact<br>- centrul de greutate<br>- stabilitate statică/dinamică<br>- înclinația de teren |
| <b>Caracteristicile de contact</b> | - punct de contact/calea, dimensiunea și forma<br>- unghi de contact  |
| <b>Mediul de lucru</b>             | - frecare - structura<br>- mediu (de exemplu: apă, aer, sol moale sau tare)   |

#### 4.3.1.2. Locomoția roboților mobili

Un robot mobil are nevoie de mecanisme de locomoție care îi permit să se deplaseze liber, în întregul său mediu de lucru. Există o mare varietate de moduri posibile pentru a realiza această deplasare. Aplicația pentru care este destinat robotul are un efect decisiv prin influențele generate de stabilitate și mediul de lucru.

Cercetarea din domeniul roboticii mobile a făcut ca, în acest moment, să fie realizați roboți care pot merge, sări, alerga, aluneca, patina, înota, zbura și rostogoli.

În tabelul 4.4 se prezintă o sintetizare a principalelor variante folosite și prezentate pe larg în § cap.2.

Tabelul 4.4

| Mediul de lucru | Modalitate de deplasare |
|-----------------|-------------------------|
| Terestru        | Roți                    |
|                 | Șenile                  |
|                 | Picioare                |
|                 | Ventuze                 |
| Aerian          | Elice                   |
| Acvatic         | Propulsie subacvatică   |

Locomoția în robotica mobilă se realizează ori folosind sisteme de roți (o tehnologie bine cunoscută din domeniul vehiculelor), ori folosind un număr, relativ mic, de membre articulate (cea mai simplă abordare din punct de vedere biologic). În general, locomoția cu membre necesită grade mai mari de libertate și prin urmare, o mai mare complexitate mecanică decât locomoția cu roți. Roțile, în afară de a fi simple, sunt extrem de bine adaptate pentru teren plat.

Pe suprafețe plane locomoția cu roți este de la unu la două ordine de mărime mai eficiente decât locomoția cu membre. De exemplu, calea ferată este ideal proiectată pentru locomoția cu roți, deoarece frecarea la deplasare este minimizată de suprafața dură și plată de oțel. Dar când suprafața devine moale, locomoția cu roți își arată limita, în timp ce locomoția cu membre este avantajată, deoarece suferă mult mai puțin, fiind alcătuită doar din puncte de contact cu solul.

Locomoția este complementul manipulării. În manipulare, brațul robotizat este fix, dar mută obiecte în spațiul de lucru prin transferul de energie. În locomoție, mediul este fix și robotul se mișcă, transferând astfel energie mediului. În ambele cazuri, baza științifică constă în studiul elementelor de acționare care generează atât forțele de interacțiune, cât și mecanismele care ajută la implementarea proprietăților cinematice și dinamice dorite.

#### 4.3.1.3. Concluzii

Sistemele biologice reușesc generarea mișcării printr-o mare varietate de medii dure. Prin urmare, poate s-a dorit a se copia sistemele lor de locomoție. Cu toate acestea, replicarea naturii în această privință este extrem de dificil de realizat datorită mai multor motive.

Complexitatea mecanică este ușor de realizat în sistemele biologice, datorită reproducerii structurale.

Diviziunea celulară, în combinație cu diverse specii, poate realiza cu ușurință un miriapod cu mai multe sute de picioare și câteva zeci de mii de celule independente de simț. La sistemele artificiale acestea trebuie construite individual, ridicând probleme de cost și fabricație. În plus, celula este o piatră de temelie microscopică care permite miniaturizarea extremă. Astfel, chiar dacă au dimensiuni și greutate foarte mică, insectele ating un nivel de robustețe care nu poate fi atinsă de către capacitățile de fabricare ale omului. De asemenea *subsistemul biologic de stocare a energiei*, *subsistemul muscular* și *cel osos* folosite de animale mari și insecte, ating un cuplu, timp de răspuns și eficiență în conversie care în prezent depășesc sistemele tehnice similare create de către om.

Putem spune că eficiența sistemului de locomoție care folosește roți depinde în mare măsură de *calitățile mediului*, și în special de *planeitatea și duritatea suprafeței de rulare*, în timp ce eficiența sistemului de locomoție care folosește membre, depinde de *masa membrului* și *a corpului*, ambele componente care trebuie susținute de către robot la diferite puncte, atunci când se mișcă.

Este de înțeles, prin urmare, că natura favorizează locomoția cu membre, deoarece în natură sistemul locomotor funcționează pe teren accidentat și nestructurat.

În același context, mediul uman constă în proiectarea de suprafețe netede, atât în interior cât și în aer liber.

De aceea o mare parte din aplicațiile industriale ale roboticii mobile utilizează unele forme de locomoție cu roți. Acolo unde terenul este accidentat problemele dinamice și soluțiile se apropie de cele din domeniul biologic.



Din cele prezentate se mai pot menționa următoarele:

- sinteza unui sistem mecatronic autonom mobil, trebuie să se bazeze pe o analiză anterioară a mediului de lucru;
- alegerea roții ca și element de contact este eficientă pe zone de lucru cu un relief neaccidentat;
- sistemul suport pentru robotul mobil trebuie realizat la o greutate minimă.

### 4.3.2. Funcția de percepție senzorială

#### 4.3.2.1. Elemente senzoriale din domeniul biologic

În domeniul biologic elementele senzoriale se găsesc într-o gamă variată de exemple. În funcție de caracteristica fiecărui animal în parte, acestea diferă și sunt folosite în diverse scopuri. Sistemul elementelor senzoriale este transmis pe cale genetică la animale și este compus din sistem nervos, mușchi și senzori propriu-ziși. Acest aspect este prezentat în fig.4.8.

După cum se observă, sistemul nervos este cel care coordonează mușchii în funcție de datele primite de la elementele senzitive. Astfel, animalul interacționează cu mediul natural (de lucru).

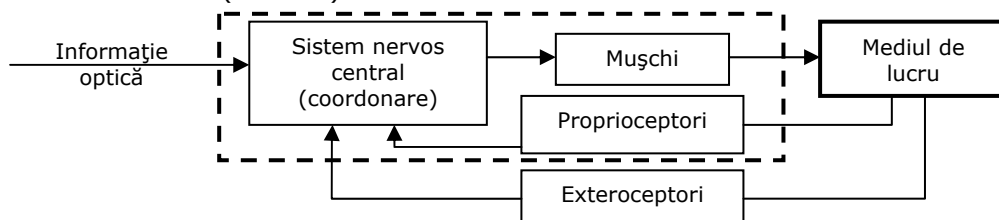


Fig.4.8. Schema bloc a elementelor senzoriale din domeniul biologic

Senzorii sunt de două feluri: proprioreceptori și exteroceptori. Rolul lor este acela de a înregistra și transmite informații cu privire la starea internă a animalului și a mediului exterior. Practic intră informație și iese semnal. Datorită acestui lucru, funcția de percepție senzorială poate fi descompusă pe subfuncții (fig.4.9). Subfuncțiile sunt: optică, tactilă, olfactivă, auditivă. În această figură este descrisă, din perspectivă mecatronică, structura pe nivele a acestei funcții.

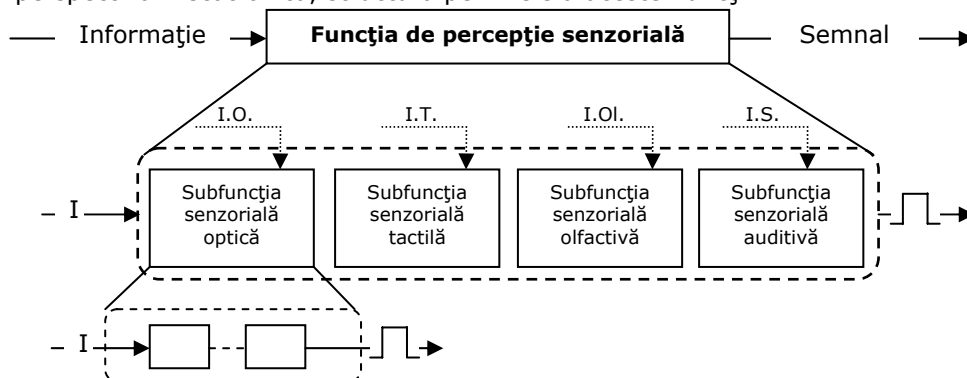


Fig.4.9. Reprezentare schematică a funcției de percepție senzorială (I.O.-inf. optică, I.T. Inf. tactilă, I.Ol.-inf. olfactivă, I.S.-inf. sonoră)

În domeniul biologic funcția de percepție senzorială este bine dezvoltată. În funcție de categoria de animale din care fac parte, unele subfuncții s-au dezvoltat mai mult decât altele, adaptându-se astfel nevoilor pentru a supraviețui.

#### 4.3.2.2. Elemente senzoriale din domeniul robotic

Asemănător sistemelor biologice și sistemele robotice prezintă elemente senzoriale care le ajută la îndeplinirea sarcinilor alocate. Aceste elemente senzoriale au ca inspirație funcțională mediul biologic, și sunt structurate în două clase: *traductoare* (echivalente proprioceptorilor) și *senzori* (echivalente exteroceptorilor).

Schema bloc a integrării sistemului senzorial în structura robotului mobil este prezentată în fig.4.10.

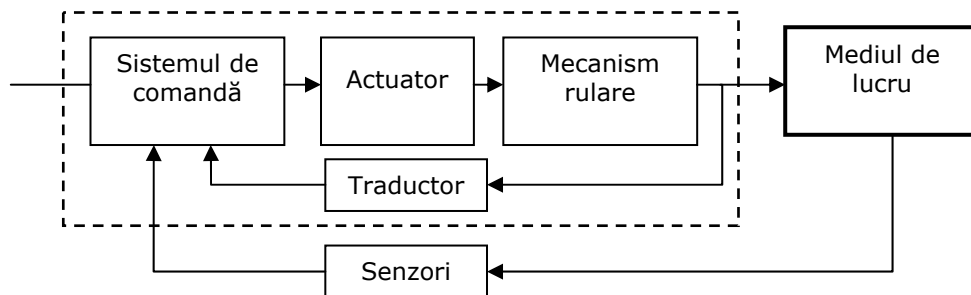


Fig.4.10. Schema bloc a integrării elementelor senzoriale în structura robotului mobil

Sistemul senzorial are ca punct central sistemul de comandă. Acesta în urma analizei datelor primite de la senzori, comandă sistemul mecanic al robotului pentru a interacționa cu mediul de lucru. Senzorii folosiți de roboți reproduc aproape toate simțurile unui sistem biologic.

#### 4.3.2.3. Concluzii

Se poate concluziona că în cazul ambelor sisteme există două categorii de elemente senzitive:

- Elemente senzitive care oferă informații despre starea internă a sistemului și denumite anterior proprioceptori și respectiv traductoare;
- Elemente senzitive care oferă informații despre starea externă a sistemului, pentru informații din mediul de evoluție a sistemului și denumite exteroceptori și respectiv senzori.

Elementele senzoriale sunt importante pentru îndeplinirea sarcinilor pe care trebuie să le execute atât sistemul biologic (animalul), cât și robotul.

O sintetizare a aspectelor prezentate anterior pentru cele două sisteme, cu specificarea informației și a modului de prelucrare, este prezentată în tabelul 4.5. Se poate remarca numărul relativ ridicat de variante constructive pentru elementele senzitive ale sistemelor tehnice în raport cu sistemele biologice. Se poate estima că optimizarea acestora și alegerea optimă a unei variante de element senzitiv este una din direcțiile ce trebuie avute în vedere.

Cu cât un robot, trebuie să îndeplinească o sarcină mai complexă, cu atât este nevoie de integrarea în structura sa a unui sistem senzorial mai complex.

Tabelul 4.5

| Funcția de percepție senzitivă                              | Sistem biologic (animal)         |             |             | Robot mobil  |                            |                            |
|---|----------------------------------|-------------|-------------|--|----------------------------|----------------------------|
|   | Sistem senzorial/senzor          | E/I         | A/P         | Sistem senzorial/senzor  | E/I                        | A/P                        |
| Tactilă (detectarea de contact fizic sau apropiere)         | Mustăți<br>Pernițe<br>Piele      | E<br>E<br>E | P<br>P<br>P | Întrerupătoare de contact<br>Balize optice<br>Senzori de proximitate noncontact  | E<br>E<br>E                | P<br>A<br>A                |
| Locomoție (viteza și poziția membrului/roți /motor)         | Sistem muscular<br>Sistem nervos | I<br>I      | A<br>A      | Traductor tactil<br>Potențiomtru<br>Traductor optic<br>Traductor magnetic<br>Traductor inductiv<br>Traductor capacitiv<br>Traductor de poziție | I<br>I<br>I<br>I<br>I<br>I | A<br>A<br>A<br>A<br>A<br>A |
| Mișcare/viteză (viteza față de obiecte fixe sau în mișcare) | -                                | -           | -           | Radar<br>Sunete (efectul Doppler)<br>Accelerometru   | E<br>E<br>E                | A<br>A<br>A                |

OBS.: A-activ; P-pasiv; E-exteroceptivi; I-interceptivi

### 4.3.3. Funcția de navigare

#### 4.3.3.1. Navigarea biologică

Navigația este procesul de determinare și menținere a unei căi sau traiectorii dintr-un punct start către un punct țintă.

Oricare ar fi elementele de care animalele se folosesc în timpul navigării, oamenii au făcut încercări impresionante în ultimele decenii de a privi în interiorul procesului propriu-zis de navigație la nivel biologic. Acesta nu este doar un proces, ci un complex de procese cu strategii proprii, în funcție de grupul de animale [A1].

Orientarea este un aspect foarte important la animale. De-a lungul timpului acesta a evoluat și s-a perfecționat, practic animale fiind înzestrate nativ cu elemente care să ajute la deplasarea lor dintr-un punct în altul. Pentru orientarea corectă și navigație, animalele utilizează o varietate de indicii de referință.

Aceste indicii pot fi de diferite tipuri, cum ar fi obiecte vizuale, mirosuri, sau chiar câmpul geomagnetic, și poate solicita diferite simțuri pentru a percepe aceste puncte de navigație. Importanța sau alegerea unui anumit traseu sau indiciu poate depinde de sarcina de navigație care trebuie îndeplinită, începând de la orientarea pe o rază scurtă, care ar putea fi aplicată pentru o suprafață de doar câțiva metri, sau de orientarea pe distanțe lungi, cum ar fi pasările în timpul migrației. Strategia de navigare depinde de specia de animale, de modalitatea de locomoție, de perioada de navigare (noapte sau zi) și se bazează pe o serie de elemente senzoriale [K2].

Păsările navighează folosind *câmpul magnetic al Pământului* (fig.4.11), *orientarea față de soare, orientarea față de stele și aproape de destinație folosesc repere cum ar fi munții și lacurile* [R12].

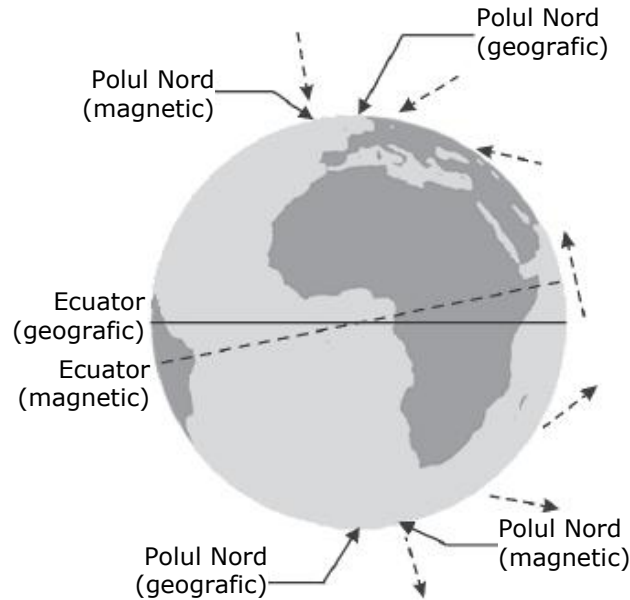


Fig.4.11. Prezentare schematică a câmpului geomagnetic

Abilitatea păsărilor de a folosi informația este cunoscută și a fost verificată prin experimente ingenioase (cum ar fi creșterea păsărilor în medii complet demagnetizate sau în spații închise cu soare artificial care poate fi plasat în diferite zone), natura exactă și locația senzorilor nu este știută. Păsările au *mici depozite de magnetit magnetic stabil în cap*, însă conexiunea dintre aceste depozite și sistemul lor nervos nu a fost încă stabilită.

Cu toate acestea, cercetătorii din domeniu vorbesc despre existența unei *busole magnetice* pentru simțul direcției (și probabil al gradientilor) în câmpul magnetic al pământului și existența unei *busole solare* pentru a intui orientarea în funcție de soare.

Porumbeii voiajori sunt capabili să își găsească drumul spre casă de la distanțe mari, chiar dacă au fost duși în cuști închise până la locul de pornire. De vreme ce nu pot vedea drumul pe care au fost duși până la locul de unde sunt eliberați, nu pot înmagazina traiectoria în nici un fel și nici nu pot vedea reperele de pe drum. S-a postulat că aceste păsări folosesc o *hartă de navigare* prin utilizarea gradientilor naturali din câmpul magnetic al pământului (fig. 4.12). De fapt, aceasta înseamnă că, busola lor magnetică nu este sensibilă la polaritatea câmpului magnetic al pământului, ci la înclinația sa în funcție de vectorul gravitațional local. Acest aspect a fost demonstrat observând păsările care zboară peste Ecuator.

Porumbeii combină informația care le oferă o direcție brută de la punctul de plecare cu memoria unor repere aflate lângă casa lor [K9]. Unele păsări sunt capabile să se întoarcă acasă atunci când sunt transportate la locul eliberării în cuști descoperite, astfel încât să poată vedea peisajul, însă nu și dacă sunt transportate în cuști închise.

Acest lucru sugerează faptul că sistemul lor vizual este capabil să înregistreze *informația optică în mișcare*.

Capacitatea de a naviga folosind direcția soarelui, prin busola solară, necesită ca animalul să aibă un *ceas biologic*, de vreme ce locația soarelui pe cer se schimbă în timpul zilei.

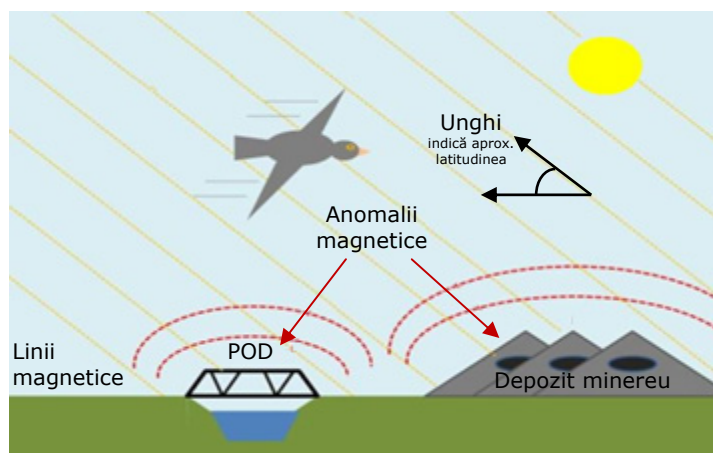


Fig.4.12. Navigarea la pasări

Alături de busola magnetică sau cea solară există dovada că unele păsări posedă și o busolă celestă. Experimentele pe păsări crescute sub un cer nocturn artificial, cu o rotație specifică, arată că direcția migrărilor lor poate fi deviată. Cu toate acestea, busola celestă (i.e. pentru păsările din Emisfera Nordică, capacitatea de a localiza Steaua Nordului) nu apare în gene, ci este dobândită din experiențe timpurii.

Și în cazul insectelor întâlnim elemente ale navigației. Un exemplu poate fi fluturile Monarh, care zboară iarna și la începutul primăverii din nordul Mexicului până în vestul Statelor Unite. Fluturii care se întorc în anul următor sunt „copiii” sau „nepoții” celor care au migrat. Experimente recente au folosit un simulator de zbor al fluturilor, unde fluturii au fost supuși unui curent de aer laminar și încet, care i-a făcut să zboare încontinuu ore în șir. Variații în ciclul zi-noapte au fost folosite pentru a le schimba ceasurile circadiene. Aceste experimente au scos la iveală faptul că acești fluturi posedă un senzor cu timp compensat, pe care îl folosesc pentru a determina direcția de migrare [R12].

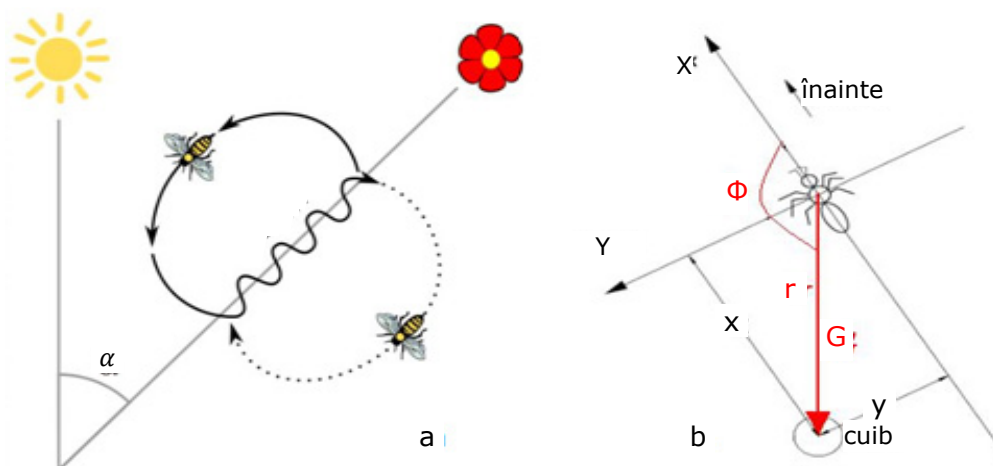


Fig.4.13. Navigarea la albine (Mișcare de dans) (a)

Navigarea la furnici (b)

Mai mult, rotația câmpului magnetic din jurul simulatorului nu a schimbat direcția de zbor, confirmând astfel faptul că fluturii Monarh nu folosesc o busolă magnetică pentru navigație. Utilizarea unui busole solare este de asemenea bine documentată la albine. Este știut faptul că albinele folosesc o „mişcare de dans” pentru a indica direcția unei surse bune de hrană în raport cu soarele. Dansul este efectuat pe o suprafață verticală a stupului, aparent codat, astfel încât drept în sus înseamnă direct către soare. Albinele „dansatoare” pot indica direcția corectă în funcție de soare chiar și într-o zi în care nu e soare pe cer. Acest lucru este posibil deoarece senzorul de soare a albinelor este sensibil la raze ultraviolete și nu la lumina vizibilă. Rutele aparent de circuit sunt în realitate busole din segmente de drum aflate între repere.

În contrast cu insectele zburătoare, majoritatea speciilor de furnici folosesc feromonii pentru a marca drumul, cu o singura mare excepție. Furnica de deșert (*Cataglyphis fortis*) se deplasează cu ajutorul unei combinații de căi integrate și recunoaștere de repere. Pe măsură ce se depărtează de cuib, integrează drumul pentru a obține un vector global care indică traiectoria de la locația curentă la cuib și apoi stochează acest vector.

Furnicile care se întorceau dintr-o călătorie au fost luate înainte de a ajunge la cuib și plasate la diferite puncte de-a lungul unei rute familiare, în așa fel încât vectorii globali au fost anulați. Furnicile și-au găsit drumul spre casă prin utilizarea reperelor vizuale și angajarea vectorilor locali, pentru a obține orientarea dorită la fiecare segment de drum.

Pe lângă păsări, un număr mare de alte animale migrează la distanțe mari. Întoarcerea somonilor, după câțiva ani de înot în ocean, în râurile unde s-au născut este un fenomen extraordinar. Senzori magnetici au fost identificați la păstrăvi și la somoni. Mamiferele marine precum balenele, migrează de asemenea pe distanțe mari și unii cum ar fi crabii parcurg drumul fără prea multe repere față de cei care trăiesc într-un climat mai temperat. Elefanții sunt cunoscuți pentru capacitatea lor de a străbate distanțe lungi până la „locurile de veci”.

#### **4.3.3.2. Navigarea roboților mobili**

Navigarea la roboții mobili este o funcție importantă. Ea este răspunzătoare de stabilirea poziției robotului față de operatorul uman sau față de alți roboți sau obstacole pe parcursul dezvoltării acțiunilor propuse.

Asemenea elementelor senzoriale din natură, roboții mobili au fost echipați cu elemente senzoriale care ajută la navigarea în mediul de lucru.

Conform cu analiza stadiului actual se poate vorbi despre o integrare *hardware* (busola magnetică, senzor de lumină solară, GPS, giroscop, senzori vizuali, traductoare de poziție etc.) și o integrare *software* (hărți de lucru).

#### **4.4. Concluzii finale**

Conform cu cele precizate anterior se poate evidenția o bună acoperire pe funcțiile secundare între cele două sisteme analizate (tabelul 4.6).

Paralela biomecatronică a celor două sisteme – sistem biologic (animal) și respectiv robot mobil – permite dezvoltarea unui model generalizat pentru un obiect artificial cu inspirație biologică (fig.4.14).

Tabelul 4.6

| Funcția de percepție senzitivă  | Sistem biologic  |                  |                  | Roboți  |                  |                  |
|---|--|------------------|------------------|---|------------------|------------------|
|   | Sistem senzorial/senzor  | E/<br>I          | A/<br>P          | • Sistem senzorial/senzor   | E/<br>I          | A/<br>P          |
| Direcție<br>(orientarea față de un cadru de referință fix)                | Sistem olfactiv<br>Sistem gustativ<br>Magnetoreceptori                 | E<br>E<br>I      | P<br>P<br>P      | • Sistem senzorial/senzor<br>• Giroscop<br>• Inclinomtru<br>• Busolă magnetică            | E<br>E<br>I      | P<br>A<br>P      |
| Navigație cu repere<br>(navigarea într-un cadru de referință fix)         | Sistem olfactiv<br>Magnetoreceptori<br>Sistem vizual<br>Sistem acustiv | E<br>I<br>E<br>E | P<br>P<br>A<br>A | • GPS<br>• Balize optice<br>• Balize acustice<br>• Balize reflectorizante                 | E<br>E<br>E<br>E | A<br>A<br>A<br>A |
| Localizare<br>(reflexie, durată și triangulație geometrică)               | Sistem cu ultrasunete  | EI               | A                | • Senzori optici reflectorizanți<br>• Senzori cu ultrasunete                              | E<br>E           | A<br>A           |
|   | Sistem optic   | E                | A                | • Sistem laser<br>• Triangulație optică   | E<br>E           | A<br>A           |
| Vedere<br>(distanță vizuală, recunoaștere de obiecte, analiză de imagine) | Sistem optic   | E                | P                | • CCD/CMOS cameră (e):<br>Pentru identificare distanță<br>Pentru recunoașterea de obiecte | E                | A                |

OBS.: A-activ; P-pasiv; E-exteroceptivi; I-interceptivi

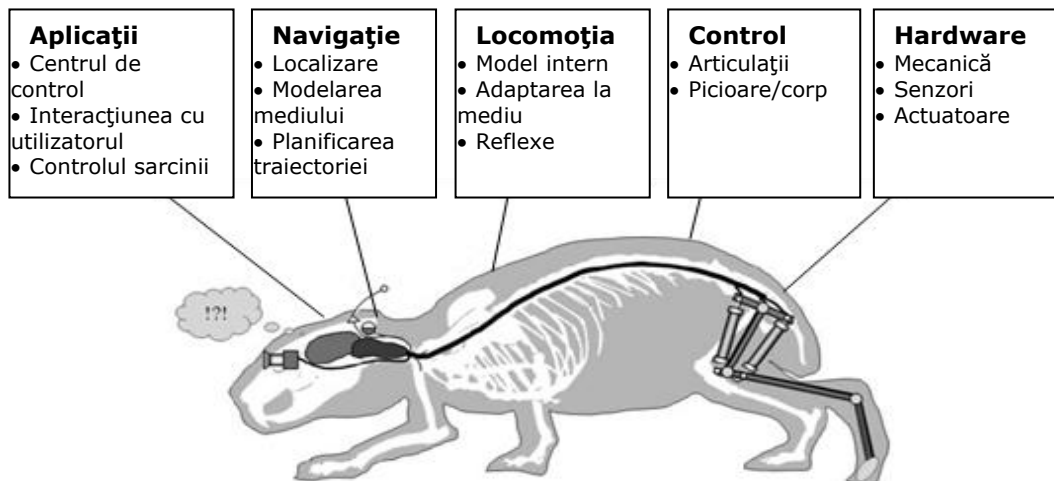


Fig.4.14. Perspectivă asupra diferitelor arii de inspirație biologică

În figura de mai sus se vede o detaliere a acestor zone:

- Aplicații: acest domeniu acoperă proiectarea mecanică și acțiunile biomecatronice. Partea cinematică și alegerea actuatorelor sunt influențate de cercetarea din domeniu.
- Control: această arie se regăsește în cercetările din domeniul neurologic.
- Percepția: această zonă se axează pe folosirea unor variante de senzori, astfel încât să se obțină informațiile necesare din mediul de lucru.

Evoluția „inspirațiilor” dinspre sistemul biologic spre zona mecatronică este de actualitate și viitor. Trei inovații existente (dintr-o multitudine), referitoare la dezvoltarea unor astfel de sisteme mecatronice sunt prezentate în fig.4.15.

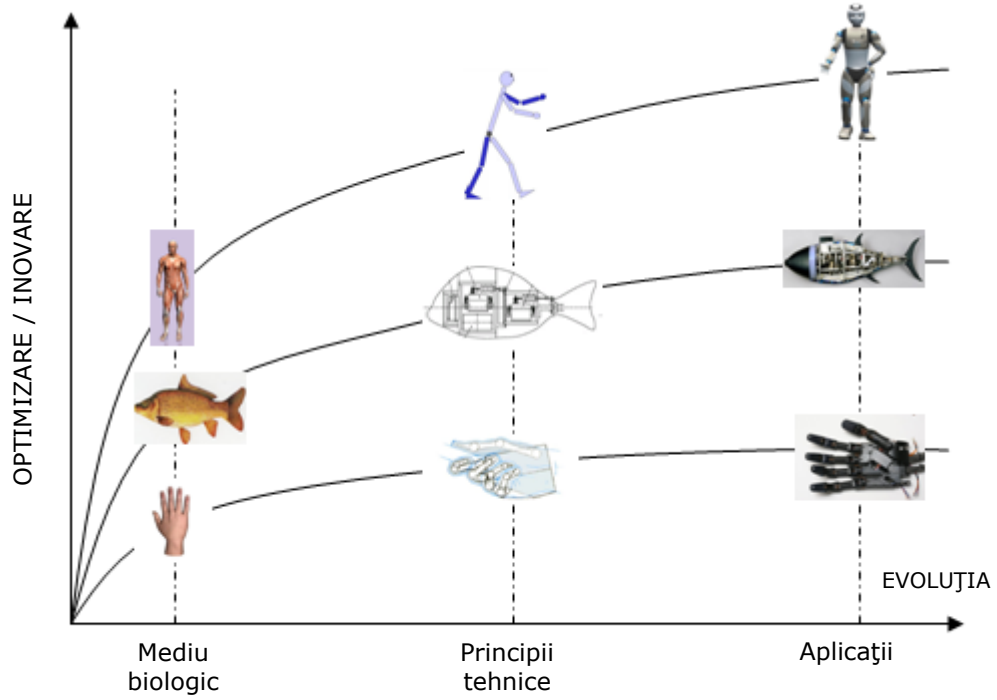


Fig.4.15. Evoluția sistemelor mecatronice cu origini în lumea naturală



## 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA OBSTACOLELOR DIN MEDIUL DE LUCRU AL UNUI ROBOT MOBIL

### 5.1. Introducere

Ideea de a folosi roboți mobili pentru diferite aplicații este foarte des întâlnită la ora actuală. Utilizarea roboților mobili este caracterizată pe de o parte, de *aplicația de realizat*, iar pe de altă parte, de *mediul de lucru* al aplicației. Alegerea celei mai bune configurații – hardware și software – pentru robotul mobil impune o analiză documentată a mediului în care va evolua robotul mobil. Starea mediului de lucru este determinată în principal de obstacolele existente.

În cadrul acestui capitol urmăresc stabilirea unor dependențe între obstacolele dintr-un mediu de lucru și posibilitățile de a le detecta.

### 5.2. Mediul de lucru al robotului mobil

#### 5.2.1. Introducere

Într-o abordare generalizată, literatura de specialitate face o paralelă între noțiunea de *agent* și cea de *robot*. Conform tot cu literatura de specialitate, o definiție clasică a unui *agent* este o entitate care percepe mediul prin intermediul unor senzori și acționează asupra acestuia prin intermediul unor efectori [I3]. În cadrul acestei abordări a conceptului de *mediu de lucru*, se pot sesiza și posibilitățile de percepere a acestuia.

#### 5.2.2. Mediul de lucru

Prezentările anterioare au introdus elementele existente ale acțiunii agentului/robotului în mediu: *senzori și obstacole*.

Clasificarea agentului/robotului care acționează în mediul analizat se poate realiza în funcție de mai multe criterii.

În funcție de *mobilitatea* prezentată, se poate vorbi despre:

- Agent/robot – static;
- Agent/robot – mobil.

Constatăm că o astfel de structurare permite localizarea robotului mobil în cadrul analizei propuse.

În funcție de modalitatea de „*judecată*” se poate vorbi despre:

- Agent/robot mobil care *gândește* în mediul de lucru (posedă un model intern despre acesta);
- Agent/robot mobil *reactiv* (nu conține un model intern al mediului și reacționează ca răspuns la stimuli).

O altă posibilitate de clasificare a elementului central din problema analizată, este cea referitoare la atributele prezentate de acesta:

- *Autonomie* – se referă la posibilitatea agentului/robotului de a acționa în mediul de lucru fără intervenția omului;
- *Capacitatea de a învăța* – se referă la posibilitatea ca agentul/robotul mobil să-și îmbunătățească performanțele pe baza experienței;
- *Capacitatea de a coopera* – se referă la posibilitatea ca agentul/robotul mobil să coopereze cu alt agent/robot mobil aflat în mediul de lucru.

Utilizând o reprezentare grafică a atributelor unui agent/robot mobil, se pot defini categoriile ale acestora (fig.5.1). Se poate constata că în mediul de lucru pot evolua roboți mobili de la structuri mai simple, până la forma complexă a *robotului mobil inteligent* care posedă toate cele trei atribute precizate.

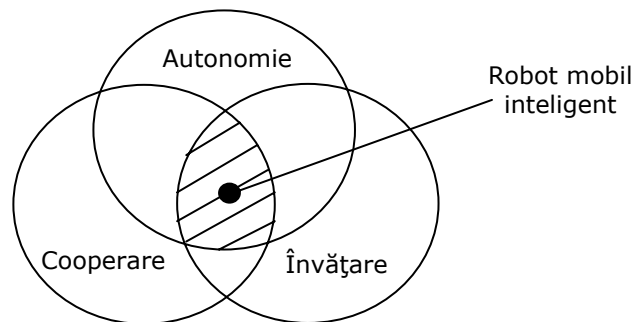


Fig.5.1. Categoriile unui agent/robot mobil

În cadrul unei aplicații date, pentru a ajunge din punctul *start A* în punctul *țintă B*, un robot mobil trebuie:

- să se deplaseze în aria sa de lucru;
- să detecteze și să identifice obstacolele din mediu;
- să stabilească traiectoria de urmat pe baza unui algoritm de lucru pentru a evita obstacolele și pentru a atinge punctul țintă;
- să își corecteze evoluția în funcție de modificările din mediu (fig.5.2).

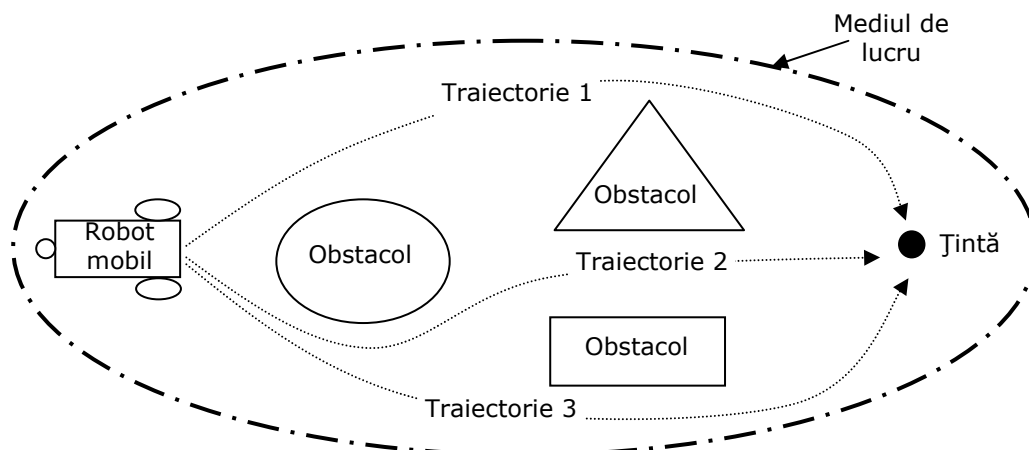


Fig.5.2. Mediul de lucru și robotul mobil

După clasificări ale robotului mobil se impune și o analiză comparativă a mediului de lucru în funcție de:

1. *Capacitatea senzorială* a robotului mobil de a oferi informații complete, mediul de lucru poate fi:

- *accesibil* – elementele senzoriale ale robotului oferă informații complete despre mediu;
- *inaccesibil* – elementele senzoriale ale robotului nu oferă informații complete.

2. *Comportamentul în timp al mediului*; acesta poate fi *static sau dinamic* (fig.5.3).

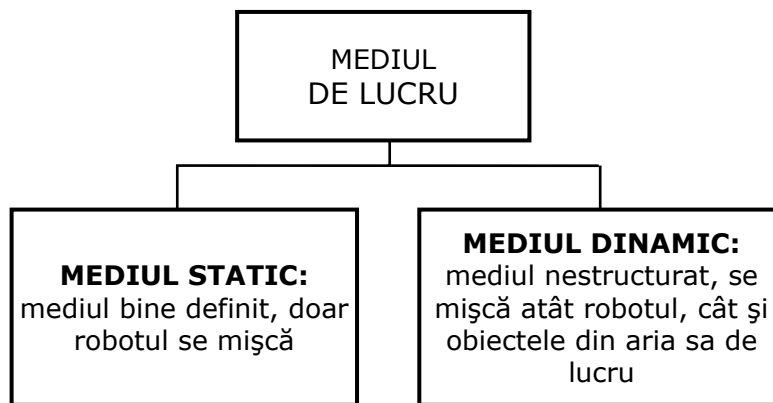


Fig.5.3. Clasificare a mediului de lucru pentru un robot mobil

*Mediul static* este mediul în care doar robotul se mișcă. Toate obiectele din jur rămân în aceeași locație tot timpul. *Mediul dinamic* este mediul în care, atât robotul mobil, cât și obiectele aflate în spațiul de lucru își schimbă poziția. Exemple de asemenea medii sunt cele în care roboții interacționează cu omul.

3. *Structurarea mediului de lucru*: se poate vorbi despre mediu *episodic* și mediu *neepisodic*.

4. *Posibilitatea de a determina starea viitoare a mediului de lucru* pe baza stării curente și a acțiunii robotului mobil, se poate vorbi despre:

- mediu determinist;
- mediu nedeterminist.

5. *Numărul de percepții/acțiuni ale robotului mobil*: se poate vorbi despre un:

- mediu continuu;
- mediu discret.

### 5.2.3. Obstacole din mediul de lucru

Conform DEX, noțiunea de *obstacol* se poate defini ca o „piedică, stavilă care închide drumul, care oprește vederea, trecerea etc.” sau figurativ, „factor care împiedică sau îngreunează realizarea unei acțiuni”.

Pe baza definiției anterioare o primă clasificare a obstacolelor se poate realiza în funcție de ponderea dimensională a dimensiunilor:

- *obstacol 3D* – toate cele 3 dimensiuni  $L \times B \times H$  sunt comparabile;
- *obstacol 2D* – două dimensiuni  $L \times B$  sunt superioare celei de-a treia;
- *obstacol 1D* – o dimensiune este evident superioară celorlalte.

Forma acestor obstacole este decisivă pentru stabilirea unei traiectorii optime. În plus, forma obstacolului intervine decisiv și în funcție de poziționarea acestuia în raport cu cota de referință a planului orizontal de navigare. Un obstacol unidimensional poate interveni în mediul de lucru ca un parapet sau ca un canal. Fiecare dintre variante impune o altă abordare referitoare la traiectorie sau poate impune existența unei structuri reconfigurabile pentru robotul mobil.

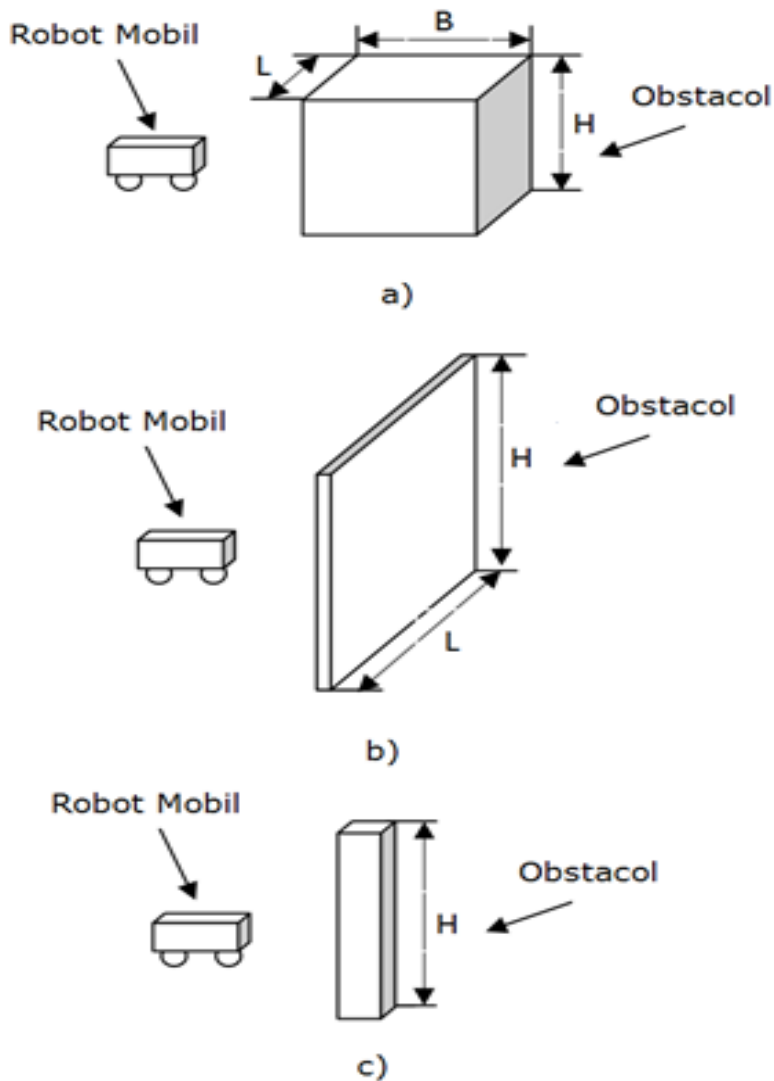
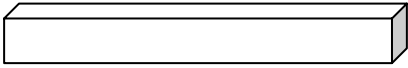
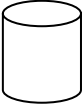
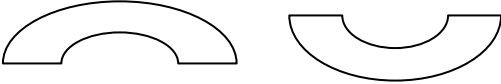
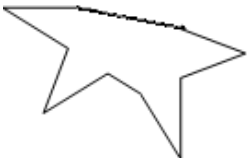


Fig.5.4. Diferite forme geometrice de obstacole

Pe lângă mărimi diferite, obstacolele pot avea și forme variate, ceea ce poate afecta percepția senzorială. Câteva exemple sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

| Formă obiect   | Probleme   |
|--|--|
|   | Obstacolul este compus din suprafețe plane (exemplu: perete, parapet etc.) |
|   | Obstacolul este compus din suprafețe curbilinii                            |
|   | Obstacolul este compus din suprafețe concave sau convexe                   |
|  | Obstacolul este compus din suprafețe neregulate                            |

Structura obstacolelor de culori sau texturi diferite constituie un alt parametru care trebuie avut în vedere la analiza și studiul obstacolelor.

În contextul definiției prezentate, un obstacol extrem de dificil pentru acțiunea robotului îl poate constitui starea suprafeței de rulare. Un coeficient de frecare redus cu suprafața de rulare poate conduce la patinare pe loc sau patinare laterală. Abaterea de la traiectorie în acest caz se impune a fi sesizată prin intermediul unui element senzorial.

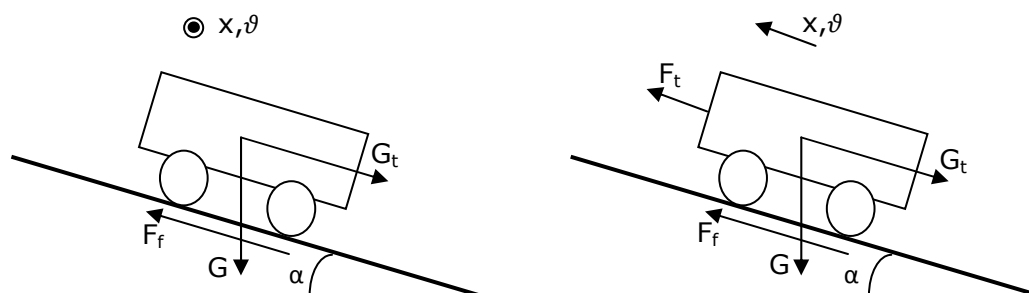


Fig.5.5. Suprafețe de rulare a obstacolelor

Acțiunea unui robot mobil pe o suprafață plană dar înclinată, cu un unghi  $\alpha$  față de orizontală, poate constitui un obstacol în atingerea țintei prin pierderea stabilității. Soluția din acest caz impune ca unghiul de parcurs față de orizontală să fie sesizată prin utilizarea unui element senzorial.

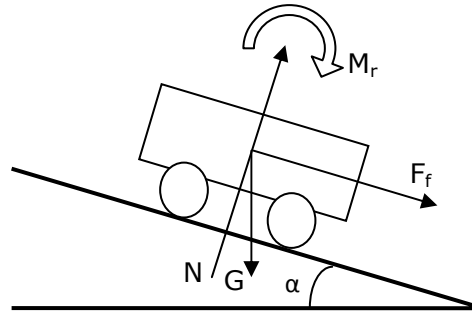


Fig.5.6. Pierderea stabilității datorită înclinării suprafeței de rulare

#### 5.2.4. Concluzii

În baza celor precizate anterior se poate concluziona că un studiu experimental asupra comportamentului obstacolelor în procesul de percepere a lor impune considerarea unor obstacole de dimensiuni și forme diferite, de culori și materiale diferite. Se impune de asemenea și o analiză experimentală referitor la determinarea unor mișcări parazite în raport cu o traiectorie stabilită.

### 5.3. Determinări experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete

#### 5.3.1. Introducere

Senzorul ultrasonic imită abilitatea liliecilor și a altor animale de a folosi frecvențe ultrasonice în navigare pentru determinarea distanțelor față de un obstacol. Acești senzori sunt recomandați în cadrul unor aplicații grele, în medii gazoase și constituie o variantă întâlnită în dotarea roboților mobili.

#### 5.3.2. Considerente teoretice

Principiul de funcționare a elementului senzorial, compus dintr-un emitor (E) și un receptor (R), este emiterea unor ultrasunete și recepționarea ecoului prin reflexia ultrasunetelor pe un obstacol (fig.5.7).

La deplasarea printr-un mediu, ultrasunetele suferă reflexii, refracții, difracții, interferențe și alte fenomene caracteristice pentru mișcarea ondulatorie. Coeficientul de reflexie al undelor sonore la limita de separație a două medii, aer și respectiv materialul obstacolului, depinde de densitatea celor două medii și viteza de propagare a sunetului prin cele două medii [D3].

O undă care se propagă într-un mediu poartă o anumită energie pe direcția de deplasare. Această energie se atenuază pe măsura propagării în mediu. Absorbția unei sonore este condiționată de vâscozitatea, conductibilitatea termică și absorbția moleculară a mediului [B34].

Sursa de sunete nu este niciodată punctiformă. Din acest motiv repartizarea energiei și a intensității sonore în spațiu nu are, în practică, o simetrie sferică. Determinant în privința formei câmpului sonor este raportul dintre dimensiunile sursei și lungimea de undă corespunzătoare impulsului emis [H5].

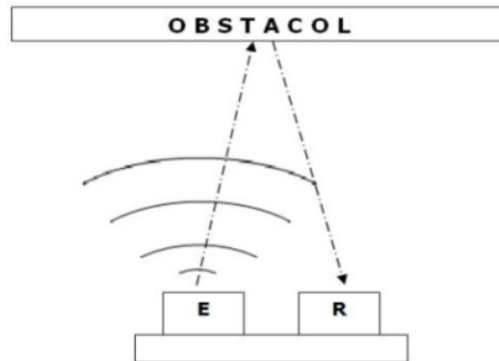


Fig.5.7. Senzor ultrasonic cu emitor și receptor

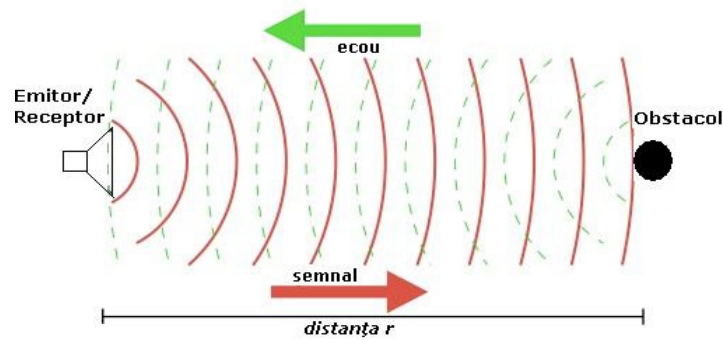


Fig.5.8. Senzor cu emitor și receptor încorporat în același dispozitiv

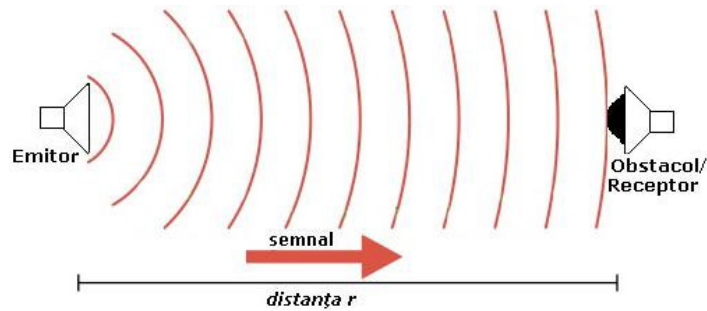


Fig.5.9. Emitorul și receptorul sunt situați pe poziții diferite

Semnalul ecou recepționat poate fi evaluat în funcție de proprietățile procesului de emisie/reflexie:

a) Prin măsurarea timpului „t” scurs între emisia semnalului sonor și recepționarea ecoului de la obiectul controlat, se poate determina distanța „d” dintre senzor și obstacol [L19]:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (5.1)$$

unde:

d – distanță [m];

c – viteza de deplasare a sunetului în aer [m/s];

t – durata de timp [s].

Această viteză este dependentă de temperatura  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] a mediului în care are loc propagarea:

$$c=331.5+0.61\cdot T \quad [\text{m/s}] \quad (5.2)$$

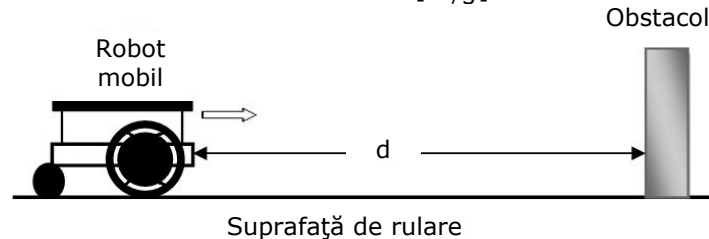


Fig.5.10.Distanța unui robot mobil față de un obstacol aflat în calea traiectoriei sale

b) Măsurând intensitatea semnalului de răspuns se poate realiza o estimare a distanței parcurse folosind ecuația 5.2 [L19]:

$$i=i_0\cdot e^{-ax} \quad (5.3)$$

unde:

$i$  - intensitatea semnalului recepționat;

$i_0$  - intensitatea inițială;

$a$  - coeficientul de atenuare (dependent de mediul de lucru);

$x$  - distanța parcursă de semnal.

Pe baza efectului Doppler se poate stabili o relație de legătură între frecvența unui semnal ultrasonic emis și frecvența recepționată după reflexia pe un obstacol mobil cu viteza „ $v$ ” [B34]:

$$f_e-f_r=2f_e\times\left(\frac{v}{c}\right)\times\cos(A) \quad (5.4)$$

unde:

$f_e$  - frecvența semnalului emis;

$f_r$  - frecvența semnalului recepționat;

$v$  - viteza obstacolului mobil;

$A$  - unghiul dintre linia de emisie a semnalului și linia de mișcare a obiectului.

### 5.3.3. Senzorul cu ultrasunete

Schema bloc funcțională este prezentată în fig.5.11 [D4]:

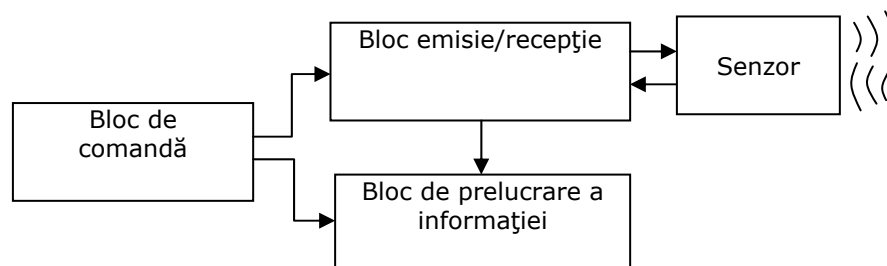


Fig.5.11.Schemă bloc funcțională a senzorului ultrasonic



### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 99

În funcție de soluția constructivă aleasă există și alte variante de scheme funcționale [M14], [O1], [T2].

O variantă constructivă de senzor cu ultrasunete este cel al firmei Parallax, senzorul PING (Anexa 5.1). Senzorul se utilizează împreună cu placa BASIC Stamp pentru a putea determina distanța dintre un senzor și un obstacol.



Fig.5.12. Senzorul cu ultrasunete PING, de la Parallax

În fig.5.13 este prezentat principiul de lucru al senzorului PING.

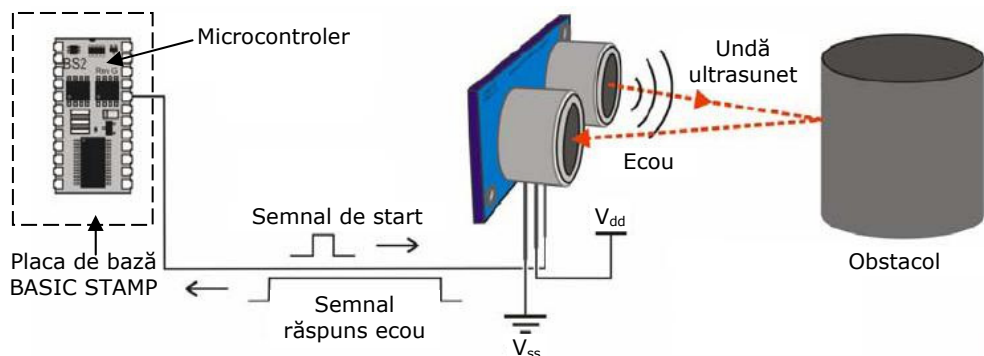


Fig.5.13. Schema de lucru a sistemului

Schema electrică de realizare a conexiunilor între senzor și blocul de comandă este prezentată în fig.5.14.

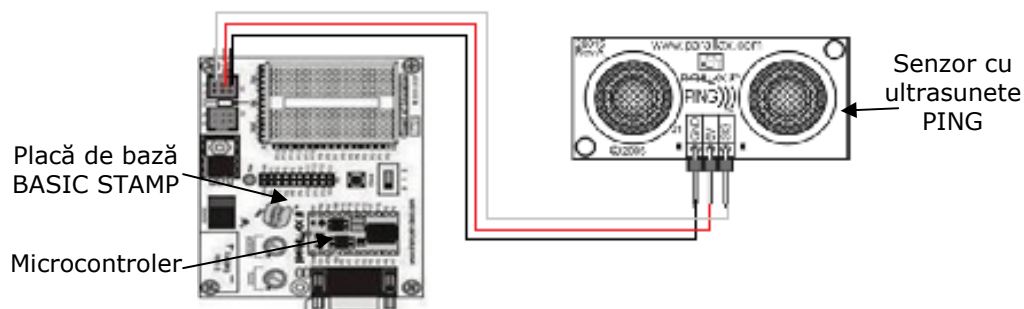


Fig.5.14. Schema electrică de realizare a conexiunilor

Sub controlul microcontroler-ului care transmite semnalul de start, senzorul emite impulsuri și așteaptă răspunsul sub formă de ecou. O dată recepționat acest ecou, senzorul transmite un semnal de ieșire către microcontroler.

Semnalul transmis este unul digital. Senzorul de acest tip nu folosește semnal analogic.

Sucesiunea etapelor de lucru au la bază un protocol de lucru exemplificat în fig.5.15, prin categoria de semnale, succesiunea și ordinea lor.

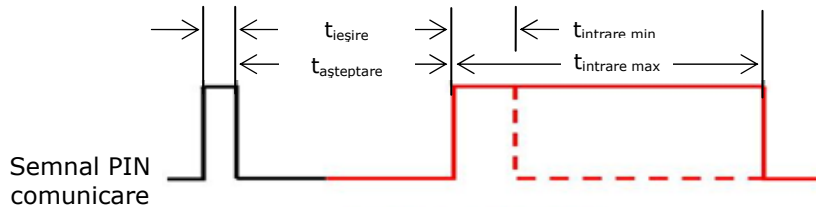


Fig.5.15. Modul de funcționare al senzorului

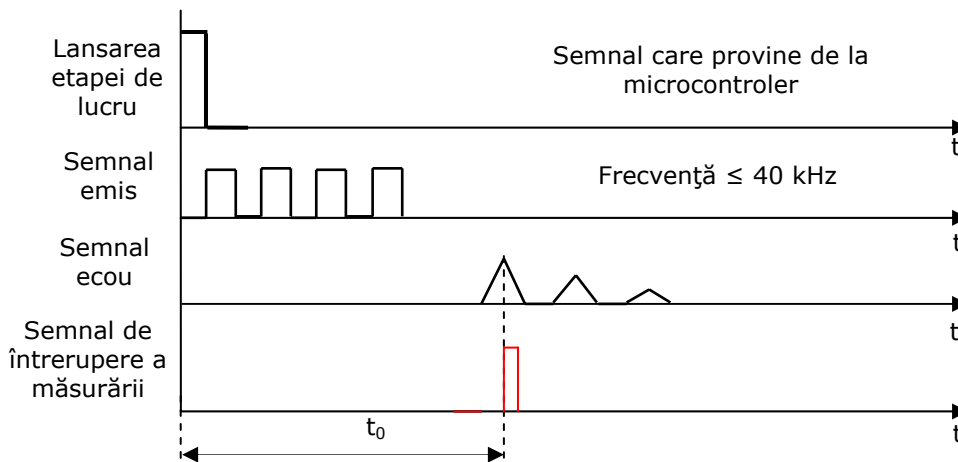


Fig.5.16. Corelarea semnalului acustic – ecou recepționat

Durata de timp  $t_0$  este folosită pentru calculul distanței  $d$  dintre obiect și senzor. Programul de calcul este prezentat în Anexa 5.11A.

### 5.3.4. Determinarea distanței dintre senzorul ultrasonic și obstacol

#### 5.3.4.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* îl reprezintă determinarea distanței și observarea comportamentului senzorului ultrasonic față de obstacolele din aria de lucru.

Standul experimental a fost construit în jurul senzorului ultrasonic și a echipamentelor periferice pentru achiziția de date (fig.5.17). Pentru testarea elementului senzorial față de diferite obstacole aflate la distanțe variate, s-a apelat la o placă din PVC de dimensiuni 3000mm/1400mm și un suport pe care s-a amplasat senzorul cu ultrasunet, la o înălțime de 90mm.

Placa a fost amplasată orizontal și marcată în sistemul cartezian, astfel încât a rezultat o suprafață de măsurare cu valori cuprinse între -600:+600mm pe axa  $O_x$  și 0:2500mm pe axa  $O_y$ . Punctul  $O(0, 0)$ , originea sistemului, constituie locul de amplasare a senzorului ultrasonic (fig.5.19).

### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 101

În cadrul experimentului senzorul a fost conectat la placa de bază de tip Basic Stamp 2, urmând ca informațiile transmise de senzor să fie achiziționate de placă. La rândul său, placa este conectată prin intermediul unui cablu USB la un calculator care prezintă o interfață adecvată. Scopul rulării programului de pe microcontroler este acela de a înregistra și afișa pe monitorul calculatorului informațiile în timp real.

Pentru a se putea vizualiza semnalul corespunzător senzorului ultrasonic s-a folosit osciloscopul Fluke PM3380A conectat pe pinul senzorului aferent recepției de semnal.

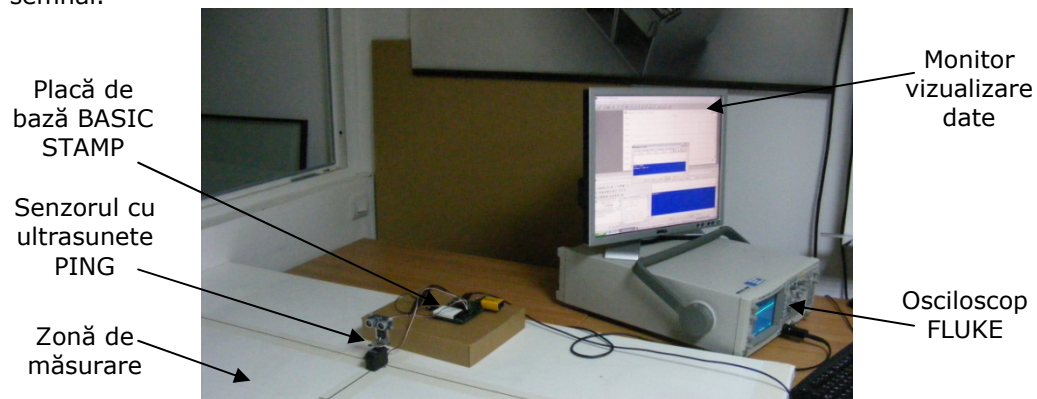


Fig.5.17. Stand experimental

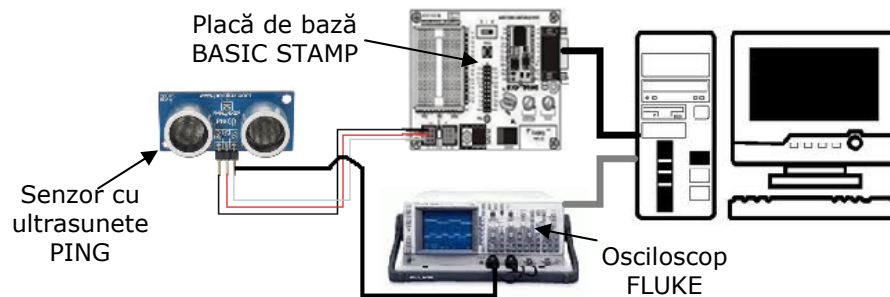


Fig.5.18. Schema bloc a achiziției de date

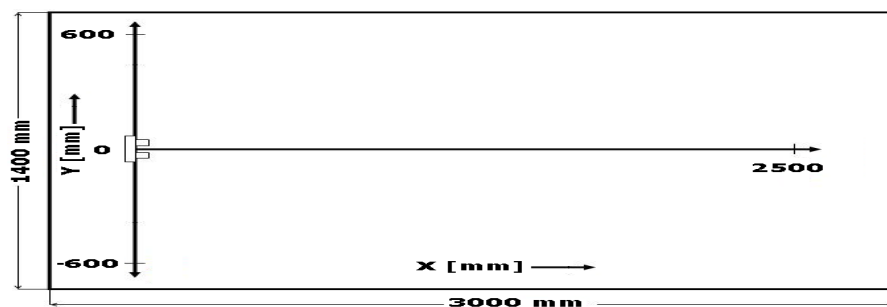


Fig.5.19. Aria de măsurare a distanțelor

Pentru a măsura distanța teoretică la care este amplasat obstacolul față de senzor s-a folosit telemetrul BOSCH DRE70, caracteristicile sale fiind prezentate în Anexa 5.2.

Dimensiunile obstacolului sunt:  $L=300\text{mm}$ ,  $B=16\text{mm}$ ,  $H=200\text{mm}$ . Au fost efectuate seturi de măsurători pentru un obstacol plasat perpendicular pe axa senzorului, în punctele de coordonate de  $(0, 150)$ ,  $(0, 500)$ ,  $(0, 1000)$ ,  $(0, 1500)$  (fig.5.20). Pentru fiecare distanță de mai sus s-au efectuat câte zece măsurători. Valorile măsurate au fost distanța obstacolului față de senzor și timpul de reacție dintre emiterea semnalului și recepția ecoului (fig.5.21). Distanța măsurată cu ajutorul telemetrului cu laser a fost considerată distanța etalon.

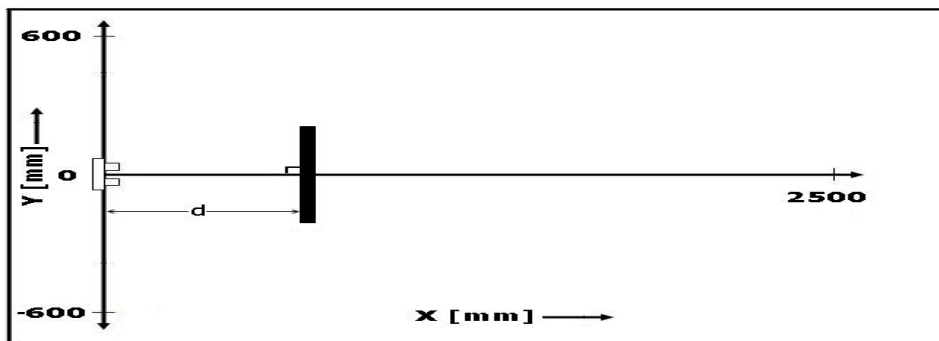


Fig.5.20. Aria de măsurare a distanțelor și poziția obstacolelor

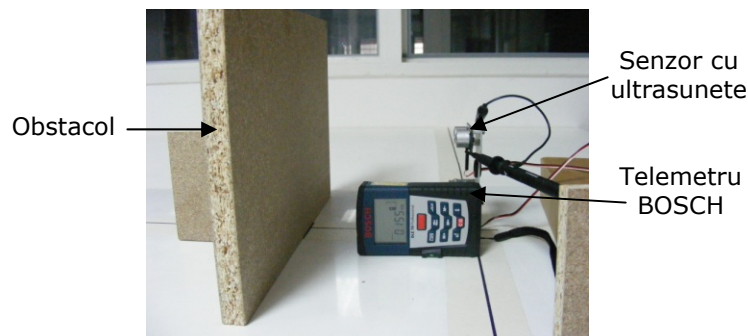


Fig.5.21. Obstacol utilizat în cadrul măsurătorilor

#### 5.3.4.2. Rezultate experimentale

Experimentele au fost efectuate la o temperatură de  $25^{\circ}\text{C}$ , astfel că se poate determina viteza semnalului ultrasonic în aer (rel. 5.2):

$$c = 346,75 \text{ [m/s]} \quad (5.5)$$

Pentru distanțele etalon admise, se poate calcula timpul teoretic  $t$  pentru semnalul ultrasonic de a parcurge distanța  $d$ :

$$t_0 = \frac{2 \cdot d}{C} \text{ [m/s]} \quad (5.6)$$

și a timpului:

$$t'_0 = \frac{t_0}{2} \text{ [m/s]} \quad (5.7)$$

care semnifică intervalul de timp scurs între momentul reflexiei pe obstacol și recepția semnalului.

### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 103

Distanța de referință (măsurată cu telemetrul BOSCH DRE70) este  $d_0$ . Durata  $t'_0$  este obținută din calculele sistemului senzorial.

Pe baza acestuia s-a calculat distanța  $d_1$  față de obstacol. Eroarea relativă  $\Sigma$ , s-a determinat pe baza valorilor  $d_0$  și  $d_1$ .

Valorile prelucrate ale înregistrărilor sunt prezentate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

| $d_0$ (mm) | Parametri         | 1                 | 2          | 3                 | 4          | 5                 | 6          | 7                 | 8          | 9                 | 10         | $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ | $\varepsilon = \frac{d_0 - d_1}{d_0}$ |
|------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|--------------------------------|---------------------------------------|
|            |                   | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) |                                |                                       |
| 150        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 435               | 439        | 430               | 440        | 438               | 430        | 439               | 443        | 438               | 436        | 436,8                          | 0.0097                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 150,8             | 152,2      | 149,1             | 152,6      | 151,9             | 149,1      | 152,2             | 153,6      | 151,9             | 151,2      |                                |                                       |
| 500        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 1441              | 1441       | 1439              | 1439       | 1440              | 1440       | 1441              | 1439       | 1441              | 1440       | 1440,1                         | 0.0013                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 499,7             | 499,7      | 499,0             | 499,0      | 499,3             | 499,3      | 499,7             | 499,0      | 499,7             | 499,3      |                                |                                       |
| 1000       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 2885              | 2887       | 2886              | 2887       | 2888              | 2885       | 2889              | 2888       | 2884              | 2888       | 2887                           | 0.001                                 |
|            | $d_1$ (mm)        | 1000,4            | 1001,1     | 1000,7            | 1001,1     | 1001,4            | 1000,4     | 1001,8            | 1001,4     | 1000              | 1001,4     |                                |                                       |
| 1500       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 4321              | 4320       | 4330              | 4318       | 4332              | 4346       | 4330              | 4338       | 4340              | 4346       | 4332                           | 0.0014                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 1498,3            | 1498       | 1501,4            | 1497,3     | 1502,1            | 1507,0     | 1501,4            | 1504,2     | 1504,9            | 1507       |                                |                                       |

Semnalul achiziționat cu ajutorul osciloscopului FLUKE pentru cazul „d” al experimentului este prezentat în fig.5.22. Durata semnalului semnifică intervalul de timp  $2t_0$ .

Restul înregistrărilor, pentru celelalte cazuri sunt prezentate în Anexa 5.5.

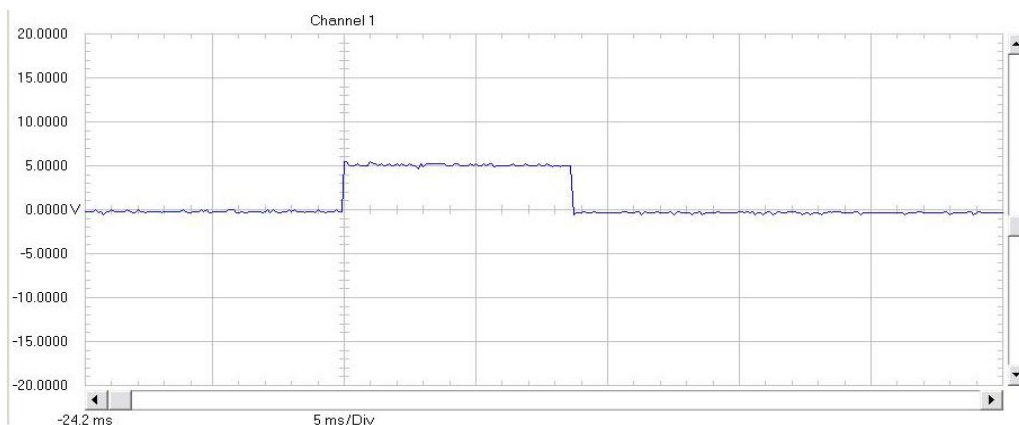


Fig.5.22. Semnalul achiziționat pe osciloscopul FLUKE

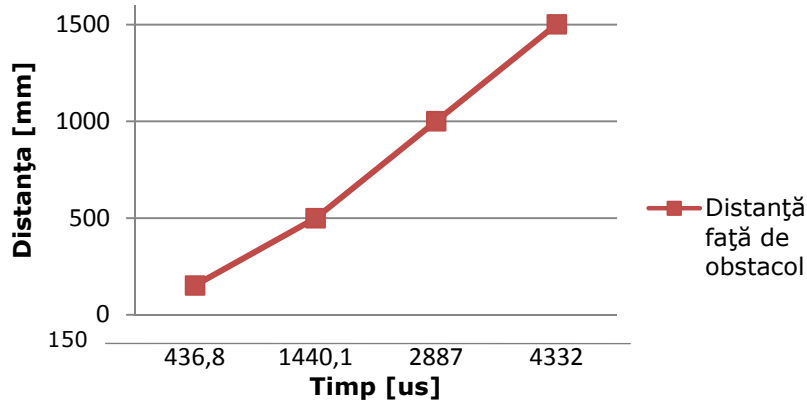


Fig.5.23. Dependența distanței față de obstacol în raport cu timpul de ecou

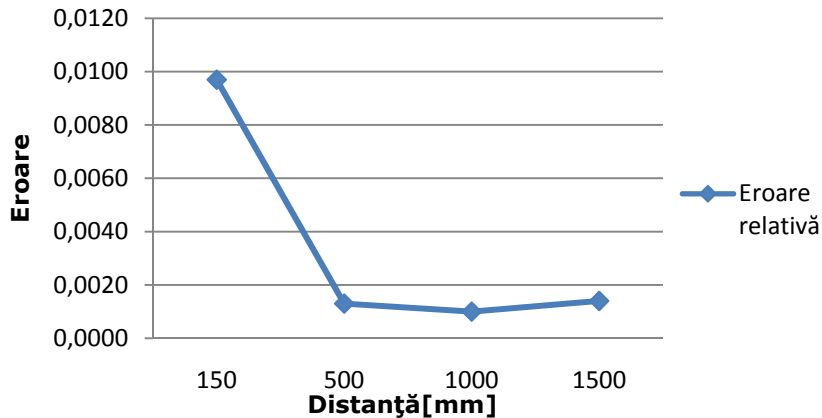


Fig.5.24. Eroarea relativă

### 5.3.4.3. Concluzii

În urma înregistrărilor, prelucrării și interpretării datelor obținute se poate concluziona:

- Senzorul prezintă precizie foarte bună pentru obiectele aflate perpendicular pe axa de direcție în domeniul 500-1500mm.
- Eroarea relativă cea mai mare a fost obținută pentru distanța inferioară  $d=150$ mm față de obstacol. Eroarea minimă de detecție a senzorului a fost obținută pentru distanța de 1000mm.

### 5.3.5. Determinarea distanței față de obstacole de diferite texturi

#### 5.3.5.1. Standul și procedura de lucru

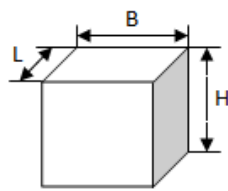
Scopul acestei experiment a fost observarea comportamentului senzorului cu ultrasunete față de diferite texturi, a modului în care semnalul este atenuat de obstacol.

### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 105

Pentru acest experiment a fost utilizat același stand și aceeași configurație a sistemului de achiziții de date ca și în experimentul anterior.

Atât dimensiunea obstacolelor, cât și materialele din care acestea sunt confecționate sunt prezentate în tabelul 5.4. Fiecare obstacol a fost amplasat în punctele de coordonate (150, 0), (500, 0), (1000, 0), (1500, 0), (2000, 0), (2500, 0). S-au urmărit aceiași parametri ca și în experimentul anterior: distanța de referință  $d_0$ , durata  $t'_0$  și distanța  $d_1$  față de obstacol.

Tabelul 5.4

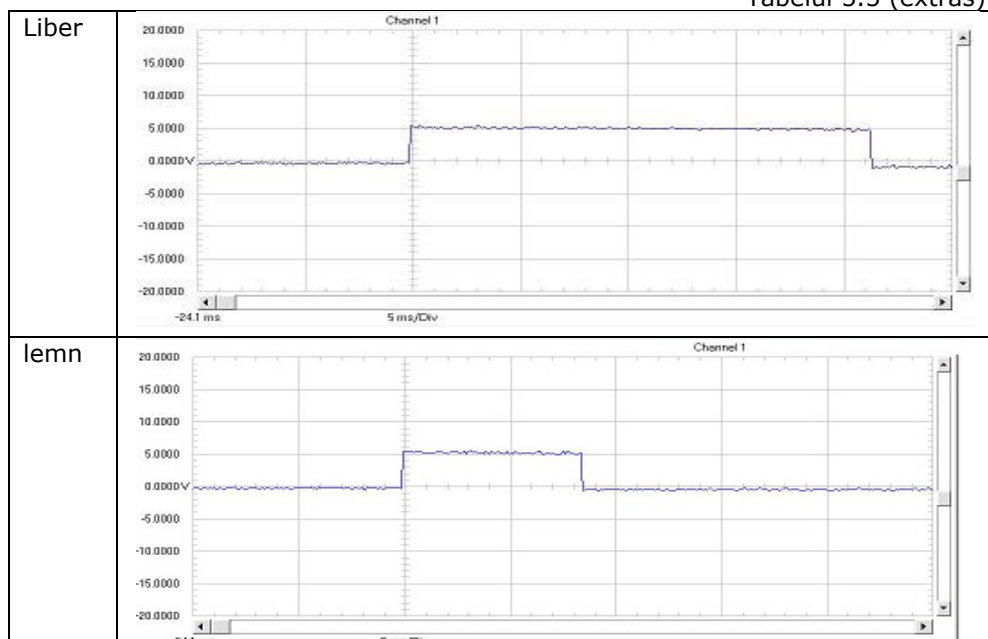


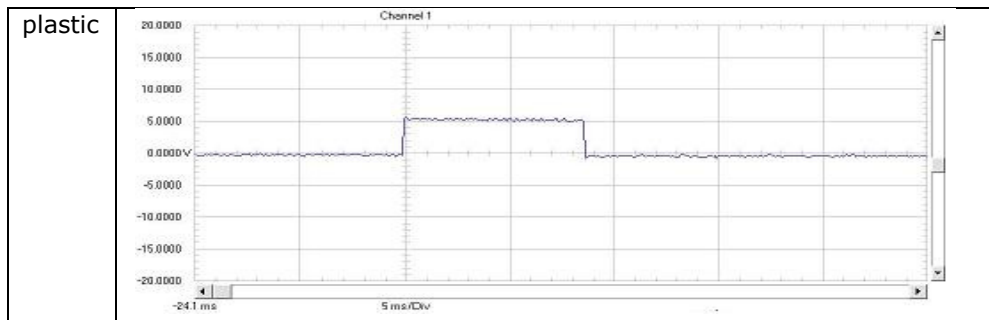
| Material   | B [mm] | L [mm] | H [mm] |
|------------|--------|--------|--------|
| Lemn       | 16     | 300    | 200    |
| Plastic    | 16     |        |        |
| Polistiren | 17     |        |        |
| Folie      | 0.1    |        |        |
| Sticlă     | 4      |        |        |
| Tablă      | 0.5    |        |        |
| Textil     | 1      |        |        |
| BCA        | 75     |        |        |
| Carton     | 2      |        |        |

#### 5.3.5.2. Rezultate experimentale

Semnalele achiziționate prin intermediul osciloscopului aflat la distanța de 1500mm sunt prezentate în tabelul 5.5 (extras) și în Anexa 5.6 forma completă.

Tabelul 5.5 (extras)





Valorile medii ale parametrilor mășurați și calculați sunt prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

| $d_0$ (mm) | Material          | Lemn   | Plastic | BCA     | Tablă   | Carton  | Polistiren | Sticlă  | Textil  | Folie plastic |
|------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------------|
| 150        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 449    | 449     | 447     | 445     | 436     | 417        | 445     | 509     | 446           |
|            | $d_1$ (mm)        | 155.69 | 155.69  | 155.00  | 154.30  | 151.18  | 144.59     | 154.30  | 176.50  | 154.65        |
| 500        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 1434   | 1447    | 1437    | 1456    | 1427    | 1442       | 1440    | 1516    | 1469          |
|            | $d_1$ (mm)        | 497.24 | 501.75  | 498.28  | 504.87  | 494.81  | 500.01     | 499.32  | 525.67  | 509.38        |
| 1000       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 2868   | 2889    | 2890    | 2942    | 2877    | 2901       | 2889    | 3012    | 2960          |
|            | $d_1$ (mm)        | 994.48 | 1001.76 | 1002.11 | 1020.14 | 997.60  | 1005.92    | 1001.76 | 1044.41 | 1026.38       |
| 1500       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 4291   | 4356    | 4308    | 4337    | 4310    | 4311       | 4312    | 4405    | 4368          |
|            | $d_1$ (mm)        | 1487.9 | 1510.44 | 1493.80 | 1503.85 | 1494.49 | 1494.84    | 1495.19 | 1527.43 | 1514.60       |
| 2000       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 5739   | 5784    | 5739    | 5770    | 5743    | 5764       | 5792    | 5833    | 5777          |
|            | $d_1$ (mm)        | 1990.0 | 2005.60 | 1990.00 | 2000.75 | 1991.39 | 1998.67    | 2008.38 | 2022.59 | 2003.17       |
| 2500       | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 7186   | 7231    | 7189    | 7234    | 7196    | 7272       | 7497    | 7386    | 7243          |
|            | $d_1$ (mm)        | 2491.7 | 2507.35 | 2492.79 | 2508.39 | 2495.21 | 2521.57    | 2599.58 | 2561.10 | 2511.51       |

### 5.3.5.3. Concluzii

Pe baza măsurătorilor efectuate, a prelucrării și interpretării datelor se poate concluziona că:

- semnalele elementului senzorial sunt diferite în funcție de tipul materialului utilizat pentru realizarea obstacolului, lucru care reiese și din graficul prezentat în fig.5.24.



- dacă pentru unele materiale senzorul stabilește distanța mai mică decât cea reală (lemn, plastic, tablă, carton), pentru altele senzorul detectează o distanță mai mare (sticlă, material textil, polistiren). Acest lucru se datorează faptului că obstacolele au grade diferite de absorbție a semnalului ultrasonic emis de elementul senzorial.
- din semnalele captate de osciloscop se observă o corelare foarte bună a informațiilor obținute din cele două metodologii.

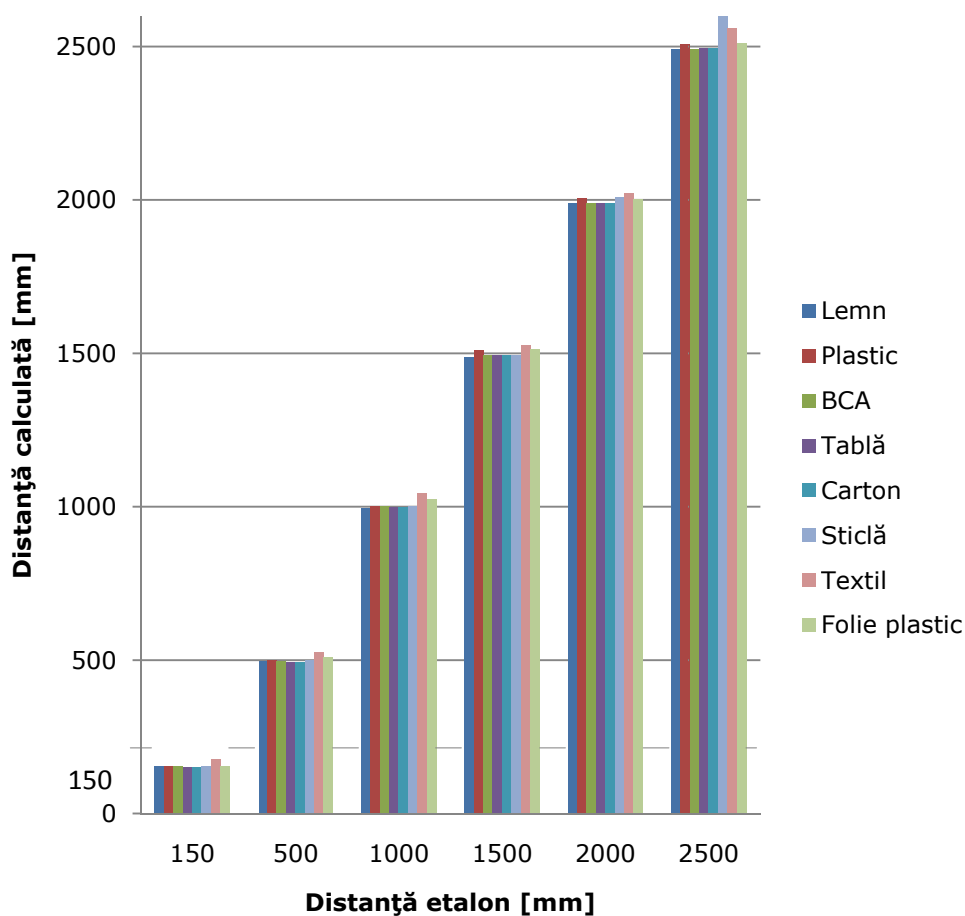


Fig.5.25.Reprezentarea grafică a distanței calculate față de obstacole de diferite texturi

### 5.3.6. Determinarea câmpului de lucru al senzorului cu ultrasunete

#### 5.3.6.1. Standul experimental și procedura de lucru

Scopul experimentului desfășurat este de a determina diagrama de directivitate a senzorului ultrasonic.

*Metoda de testare* s-a bazat pe utilizarea ariei de lucru pe care s-au efectuat testele anterioare. Aceasta a fost împărțită în șase cadrane, fiecare cadran a fost divizat la rândul său în pătrate simetrice cu latura de 50mm, obținându-se astfel o formă asemănătoare tablei de șah (fig.5.25).

Componentele standului experimental sunt aceleași ca și în experimentele anterioare.

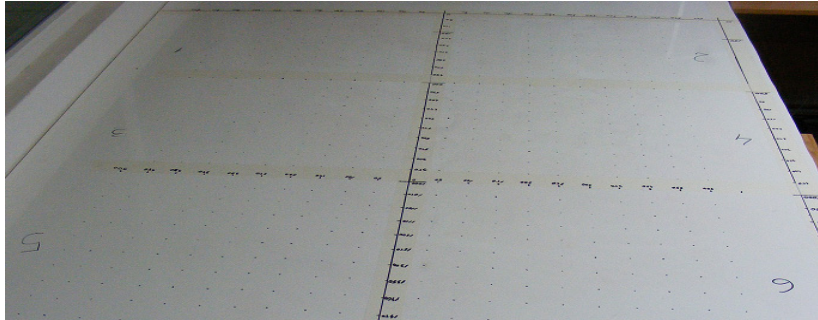


Fig.5.26. Aria de lucru și divizarea pe cadrane

Astfel, avem o suprafață de referință definită prin cotele de pe cele două axe: pe axa  $Ox$ , +1450mm față de originea sistemului, iar pe axa  $Oy$  avem  $\pm 500$ mm. Pentru o mai bună vizibilitate pătratele de pe axa  $Oy$  au fost numerotate cu litere de la A la J, în stânga, respectiv dreapta centrului, în timp ce axa  $Ox$  a fost numerotată cu cifre de la 1 la 29.

În timp ce senzorul transmitea continuu semnale acustice, s-au plasat pe rând în fiecare pătrat un obiect (obstacol) din pal, cu următoarele dimensiuni: B-16mm, L-50mm, H-200mm (fig.5.27). În funcție de această poziționare a fost obținută, din partea elementului senzorial, o informație de confirmare sau nu a prezenței obstacolului. În momentul în care obstacolul este localizat, pătratul respectiv este marcat cu cifra 1. Dacă senzorul nu percepe obstacolul, pătratul este marcat cu cifra 0.

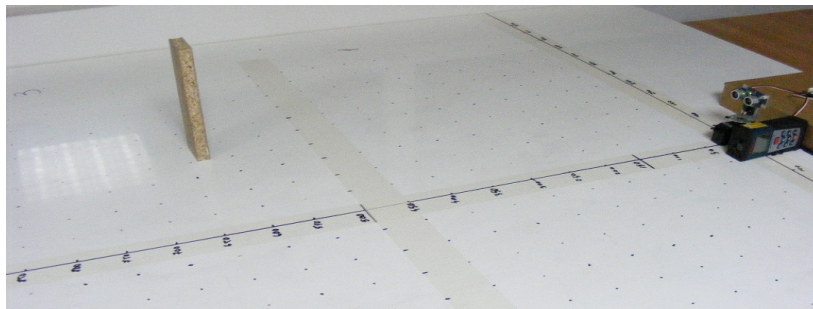


Fig.5.27. Senzorul ultrasonic și obstacolul de localizat pe placa de lucru

### 5.3.6.2. Rezultate experimentale

Rezultatele experimentale au permis reprezentarea grafică a diagramei de directivitate a elementului senzorial (fig.5.28). Din această figură se observă o asimetrie axială (față de axa  $Oy$ ) a diagramei: partea stângă a senzorului, unde se

5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 109

află emitorul, este mai bine acoperită decât partea dreaptă, unde se află receptorul. Cu roșu este reprezentată zona de captare, iar cu portocaliu este marcată granița dintre zona în care senzorul detectează obstacolul și zona în care acesta nu mai este detectat.

|      | J    | I   | H   | G   | F   | E   | D   | C   | B   | A  | A  | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J    |      |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Dist | 500  | 450 | 400 | 350 | 300 | 250 | 200 | 150 | 100 | 50 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500  | Dist |
| 29   | 1450 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1450 |      |
| 28   | 1400 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1400 |      |
| 27   | 1350 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1350 |      |
| 26   | 1300 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1300 |      |
| 25   | 1250 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1250 |      |
| 24   | 1200 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1200 |      |
| 23   | 1150 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1150 |      |
| 22   | 1100 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1100 |      |
| 21   | 1050 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1050 |      |
| 20   | 1000 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1000 |      |
| 19   | 950  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 950  |      |
| 18   | 900  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 900  |      |
| 17   | 850  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 850  |      |
| 16   | 800  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 800  |      |
| 15   | 750  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 750  |      |
| 14   | 700  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 700  |      |
| 13   | 650  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 650  |      |
| 12   | 600  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 600  |      |
| 11   | 550  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 550  |      |
| 10   | 500  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 500  |      |
| 9    | 450  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 450  |      |
| 8    | 400  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 400  |      |
| 7    | 350  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 350  |      |
| 6    | 300  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 300  |      |
| 5    | 250  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 250  |      |
| 4    | 200  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 200  |      |
| 3    | 150  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 150  |      |
| 2    | 100  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 100  |      |
| 1    | 50   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50   |      |

Fig.5.28.Diagrama de directivitate a elementului senzorial

Valorile numerice înregistrate sunt prezentate în Anexa 5.7, tabelul 5.6 reprezentând doar un extras al acestora. Valorile de referință sunt deduse din geometria tablei de lucru.

Tabelul 5.6 (extras)

| Cadrantul 1                                  |                   |            | Cadrantul 2 |                      |            |
|--|-------------------|------------|-------------|----------------------|------------|
| Coordonatele<br>celulei din aria<br>de lucru | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | Pătrat      | $t'_0$<br>[ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) |
| 1A   | 156               | 54.09      | 1A          | 165                  | 57.21      |
| 2A   | 299               | 103.68     | 2A          | 311                  | 107.84     |
| 2B   | 454               | 157.42     | 2B          | 456                  | 158.12     |
| 3A   | 458               | 158.81     | 3A          | 460                  | 159.51     |
| 3B   | 567               | 196.61     | 3B          | 632                  | 219.15     |
| 4A   | 571               | 197.99     | 4A          | 584                  | 202.50     |
| 4B   | 651               | 225.73     | 4B          | 684                  | 237.18     |
| 5A   | 732               | 253.82     | 5A          | 741                  | 256.94     |
| 5B   | 817               | 283.29     | 5B          | 824                  | 285.72     |
| 6A   | 873               | 302.71     | 6A          | 888                  | 307.91     |
| 6B   | 919               | 318.66     | 6B          | 966                  | 334.96     |
| 7A   | 1031              | 357.50     | 7A          | 1031                 | 357.50     |
| 7B   | 1131              | 392.17     | 7B          | 1122                 | 389.05     |
| 7C   | 0                 | 0.00       | 7C          | 1271                 | 440.72     |
| 8A   | 1151              | 399.11     | 8A          | 1188                 | 411.94     |
| 8B   | 1196              | 414.71     | 8B          | 1233                 | 427.54     |
| 8C   | 1290              | 447.31     | 8C          | 1495                 | 518.39     |
| 9A   | 1306              | 452.86     | 9A          | 1334                 | 462.56     |
| 9B   | 1365              | 473.31     | 9B          | 1398                 | 484.76     |
| 9C   | 0                 | 0          | 9C          | 1485                 | 514.92     |

Se observă că forma grafică este asemănătoare cu diagramele teoretice reprezentative.

### 5.3.7. Localizarea obstacolelor multiple dintr-un mediu de lucru

#### 5.3.7.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul acestui experiment* a fost evidențierea comportamentului senzorului față de obstacole multiple de dimensiuni și forme diferite, aflate în mediul de lucru.

*Metoda de testare* este asemănătoare celor anterioare. Pentru acest experiment s-au folosit trei obiecte-obstacol din pal, care corespund caracteristicilor din tabelul 5.7. Ele au fost amplasate în spațiul de lucru folosind coordonatele matricei anterioare, creându-se astfel cinci situații ipotetice. Datele s-au înregistrat conform metodologiei anterioare.

Standul experimental are aceeași componență ca și în cazul experimentelor anterioare.

5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 111

Tabelul 5.7

| Nr.Crt | Dimensiunile obstacolelor |        |        |
|--------|---------------------------|--------|--------|
|        | L [mm]                    | B [mm] | H [mm] |
| 1      | 300                       | 16     | 200    |
| 2      |                           |        | 50     |
| 3      |                           |        | 10     |

Obstacolele au fost amplasate în cinci variante diferite care sunt descrise în tabelul 5.8, iar poziționarea efectivă a acestora este prezentată în tabelul 5.9.

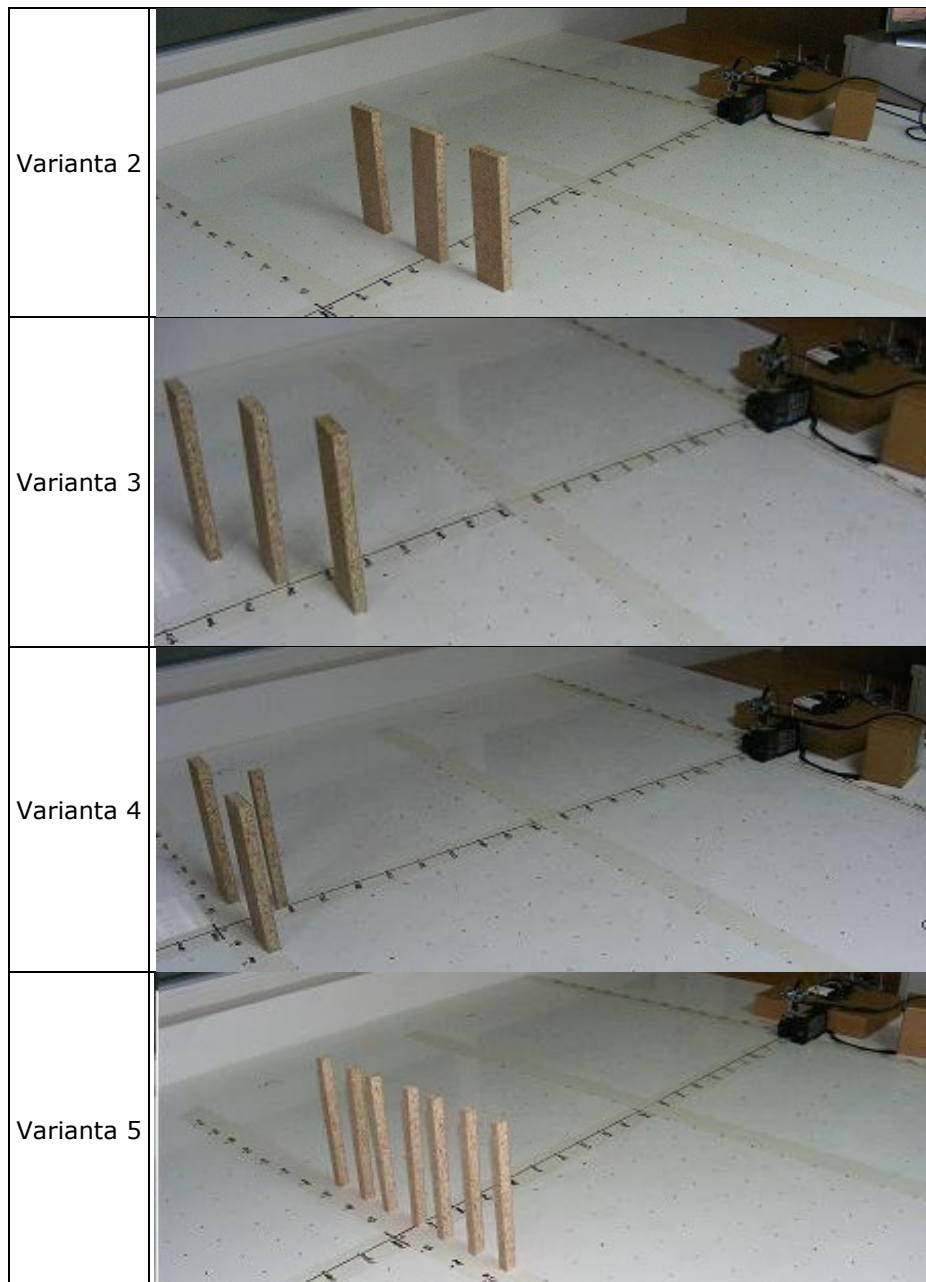
Tabelul 5.8

| Varianta de amplasare a obstacolelor | Nr. crt. obstacol | Poziția obstacolului |  |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------|--|
|                                      |                   | $d_0$ (mm)           | Coordonatele celulei din aria de lucru |
| 1                                    | 3                 | 400                  | 8                                      |
|                                      | 2                 | 550                  | 11                                     |
|                                      | 1                 | 700                  | 14                                     |
| 2                                    | 2                 | 800                  | 16C                                    |
|                                      | 2                 |                      | 16                                     |
|                                      | 2                 |                      | 16C                                    |
| 3                                    | 2                 | 750                  | 15B                                    |
|                                      | 2                 | 800                  | 16A                                    |
|                                      | 2                 | 850                  | 17A                                    |
| 4                                    | 2                 | 950                  | 19B                                    |
|                                      | 3                 | 900                  | 18                                     |
|                                      | 2                 | 950                  | 19B                                    |
| 5                                    | 3                 | 950                  | 19C                                    |
|                                      | 3                 |                      | 19B                                    |
|                                      | 3                 |                      | 19A                                    |
|                                      | 3                 |                      | 19                                     |
|                                      | 3                 |                      | 19A                                    |
|                                      | 3                 |                      | 19B                                    |
|                                      | 3                 |                      | 19C                                    |

Tabelul 5.9







### 5.3.7.2. Rezultate experimentale

În urma măsurătorilor efectuate cu ajutorul senzorului, s-au înregistrat următoarele valori, prezentate în tabelul 5.10.

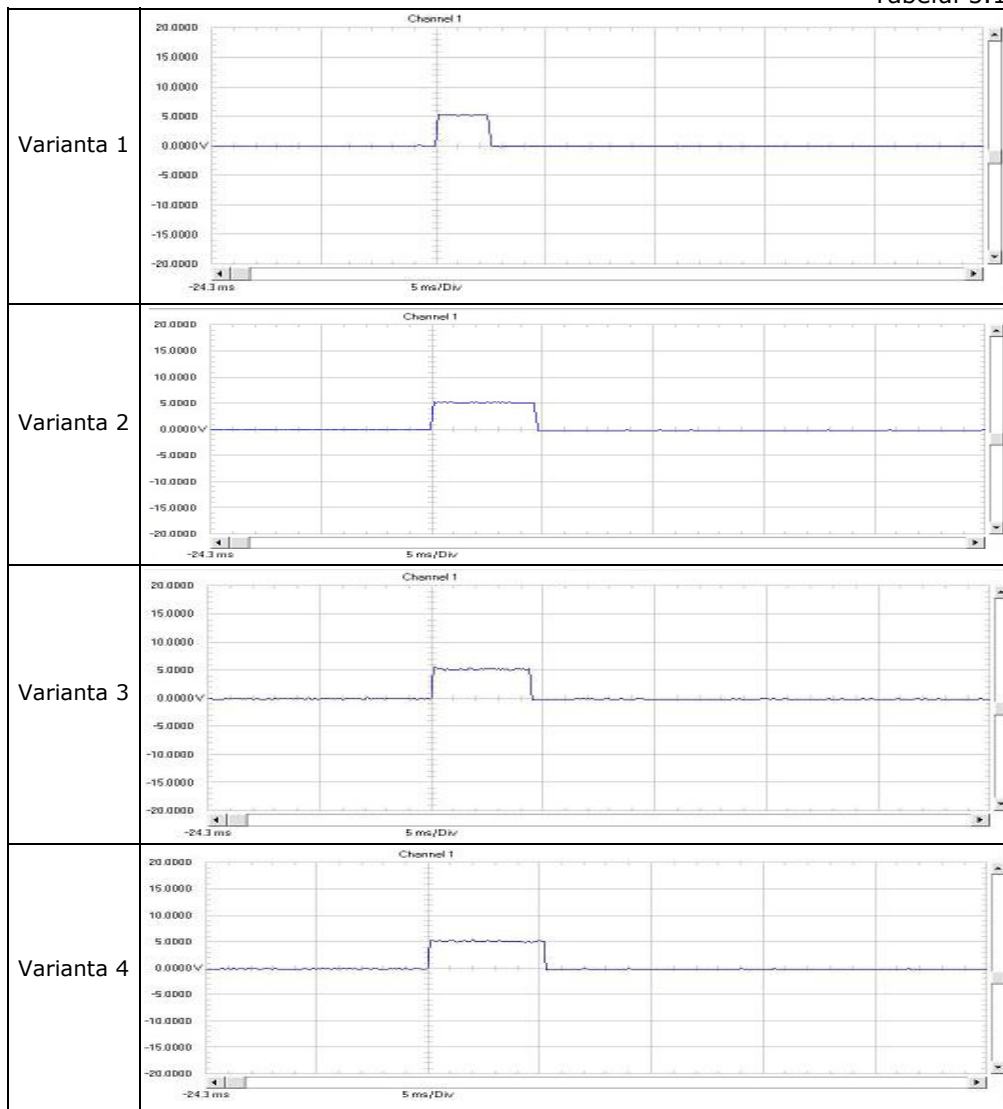
### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 113

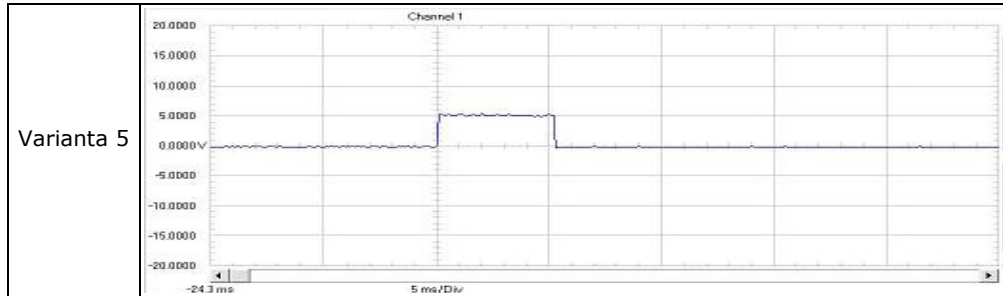
Tabelul 5.10

| Varinta de amplasare a obstacolelor<br>Parametri | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| $t'_0$<br>[ $\mu$ s]                             | 1216   | 2339   | 2484   | 2649   | 2777   |
| $d_1$<br>(mm)                                    | 421.65 | 811.05 | 861.33 | 918.54 | 962.92 |

În paralel, conform procedurii prezentate anterior, s-a înregistrat și forma semnalului, pentru fiecare din cele cinci cazuri. Aceste semnale sunt prezentate în tabelul 5.11.

Tabelul 5.11





### 5.3.8. Determinarea caracteristicii senzorului ultrasonic față de obiecte cu forme geometrice diferite

#### 5.3.8.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* este analiza comportamentului senzorului ultrasonic față de obstacole care au o formă concavă sau convexă.

*Metoda de testare* este asemănătoare celor anterioare. Pentru acest experiment s-au folosit un obstacol concav, respectiv convex, din plastic, având o grosime de 2mm și raza de adâncime de aproximativ 90mm. Culoarea obstacolelor este albă. S-au efectuat un set de 10 măsurători pentru fiecare din următoarele coordonate: (150, 0), (500, 0), (900, 0).

Componența sistemului de achiziție a informației este același ca și în cazurile anterioare. Au fost urmăriți următorii parametri: distanța de referință  $d_0$ , durata  $t_0$  și distanța  $d_1$  față de obstacol.

#### 5.3.8.2. Rezultate experimentale

Pe baza datelor obținute am realizat tabelele 5.12 și 5.13 în care sunt prezentate valorile pentru fiecare distanță în parte, cât și media dintre acestea.

Tabelul 5.12

| $d_0$ (mm) | Obstacol concav  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ | $s = \frac{d_0 - d_1}{d_0}$ |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-----------------------------|
| 150        | $t_0$ [ $\mu$ s] | 445   | 465   | 476   | 472   | 472   | 452   | 453   | 473   | 465   | 474   | 464.7                          | 0.074                       |
|            | $d_1$ (mm)       | 154.3 | 161.2 | 165   | 163.6 | 163.6 | 156.7 | 157   | 164   | 161.2 | 164.3 | 161.1                          |                             |
| 500        | $t_0$ [ $\mu$ s] | 1488  | 1488  | 1490  | 1488  | 1488  | 1491  | 1489  | 1487  | 1492  | 1483  | 1488.4                         | 0.032                       |
|            | $d_1$ (mm)       | 515.9 | 515.9 | 516.6 | 515.9 | 515.9 | 517   | 516.3 | 515.6 | 517.3 | 514.2 | 516.1                          |                             |
| 900        | $t_0$ [ $\mu$ s] | 2732  | 2727  | 2764  | 2747  | 2760  | 2758  | 2782  | 2731  | 2760  | 2731  | 2749.2                         | 0.059                       |
|            | $d_1$ (mm)       | 947.3 | 945.5 | 958.4 | 952.5 | 957   | 956.3 | 964.6 | 946.9 | 957   | 946.9 | 953.2                          |                             |



5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 115

Tabelul 5.13

| $d_0$ (mm) | Obstacol convex   | 1     | 2     | 3     | 4      | 5      | 6      | 7      | 8     | 9     | 10    | $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ | $\varepsilon = \frac{d_0 - d_1}{d_0}$ |
|------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------------------------------|---------------------------------------|
|            |                   |       |       |       |        |        |        |        |       |       |       |                                |                                       |
| 150        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 414   | 432   | 416   | 424    | 436    | 436    | 432    | 414   | 416   | 432   | 425.20                         | 0.0171                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 143.5 | 149.8 | 144.2 | 147.02 | 151.18 | 151.18 | 149.80 | 143.5 | 144.2 | 149.8 | 147.44                         |                                       |
| 500        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 1451  | 1321  | 1440  | 1420   | 1421   | 1437   | 1435   | 1450  | 1435  | 1444  | 1425.4                         | 0.0115                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 503.1 | 458   | 499.3 | 492.39 | 492.73 | 498.28 | 497.59 | 502.7 | 497.5 | 500.7 | 494.26                         |                                       |
| 900        | $t'_0$ [ $\mu$ s] | 2595  | 2571  | 2410  | 2596   | 2485   | 2590   | 2564   | 2576  | 2588  | 2582  | 2555.7                         | 0.0153                                |
|            | $d_1$ (mm)        | 899.8 | 891.4 | 835.6 | 900.16 | 861.67 | 898.08 | 889.07 | 893.2 | 897.3 | 895.3 | 886.19                         |                                       |

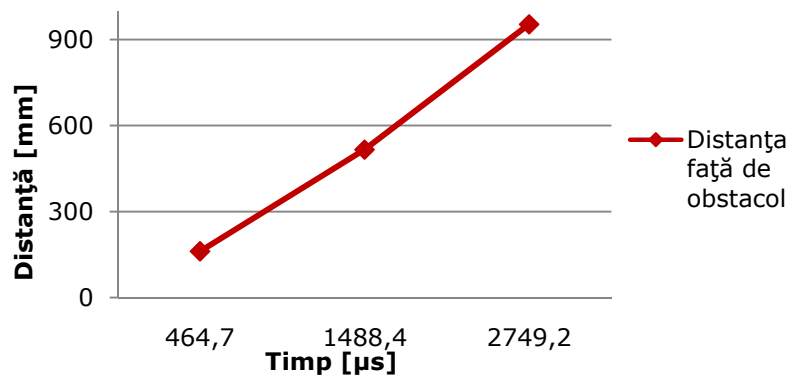


Fig.5.29.Dependența distanței față de obstacol în raport cu timpul de eco în cazul unui obstacol cu formă concavă

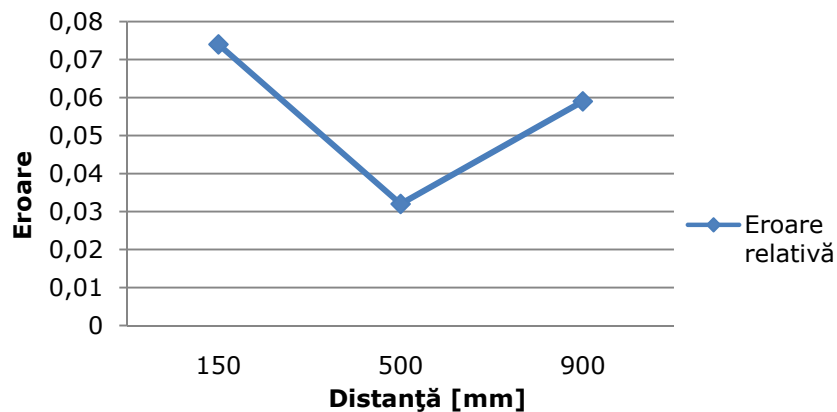


Fig.5.30.Eroarea relativă în cazul unui obstacol cu formă concavă

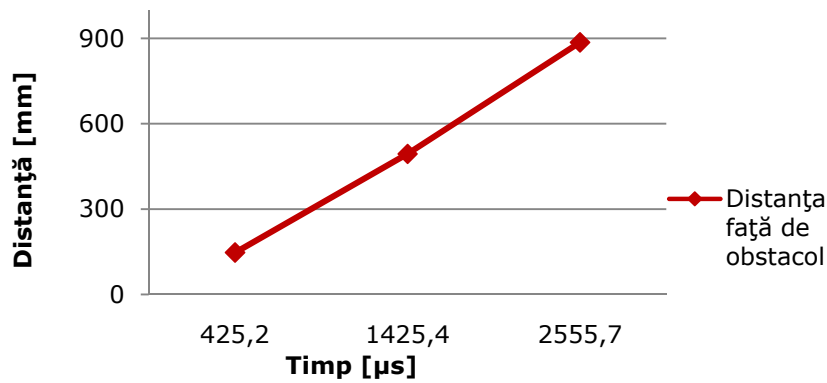


Fig.5.31. Dependenta distanței față de obstacol în raport cu timpul de ecou în cazul unui obstacol cu formă convexă

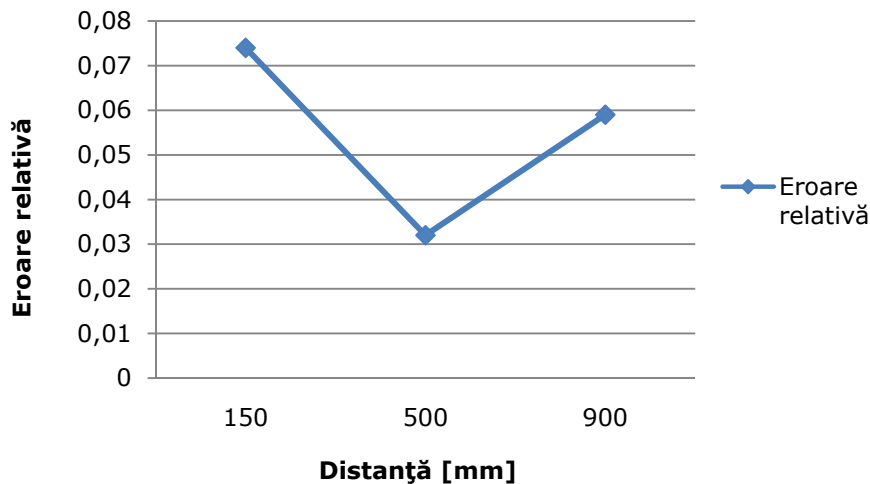


Fig.5.32. Eroarea relativă în cazul unui obstacol cu formă convexă

### 5.3.8.3. Concluzii

Pe baza datelor înregistrate și calculate se poate concluziona că obstacolul cu formă concavă este detectat ca fiind la o distanță mai mare decât distanța etalon, în timp ce obstacolul cu formă convexă este detectat la o distanță mai mică comparativ cu distanța etalon. În ceea ce privește eroarea relativă, în cazul obstacolelor cu formă convexă este mai redusă.

### 5.3.9. Folosirea senzorului ultrasonic ca și „radar”

*Scopul acestei experiment* este folosirea senzorului ultrasonic pentru a detecta obstacolele din aria de lucru și a reprezenta grafic comportamentul senzorului.

*Metoda de lucru* folosită pentru acest experiment a constat în folosirea unui robot de tipul Boe-Bot, de la firma Parrallax, dotat cu senzor ultrasonic, care se

### 5.3. Determinari experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete 117

deplasează în aria de lucru evitând obstacolele pe care le întâlnește [B21]. Transmisia informației către calculator se face prin intermediul unui cablu USB, conectat la placa de achiziție, respectiv calculator (fig.5.33).

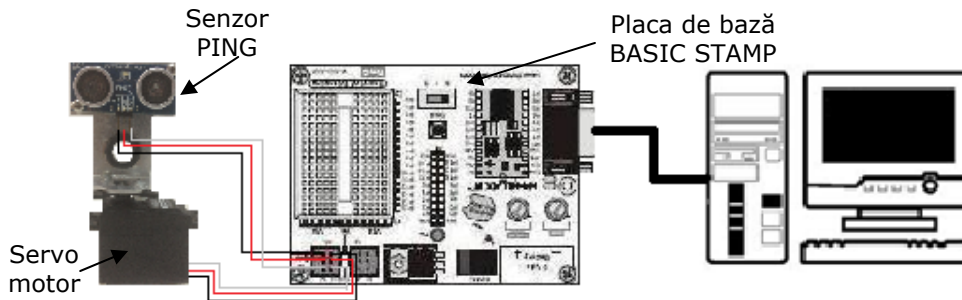


Fig.5.33.Schema bloc de achiziție a datelor în cazul senzorului cu ultrasunete

Senzorul ultrasonic dispune de o mobilitate în jurul axei verticale. Mișcarea de rotație a sistemului senzorial este impusă de un servomotor de acționare. Mișcarea de rotație este realizată cu o viteză unghiulară constantă pe un unghi de  $180^{\circ}$  (fig.5.34).

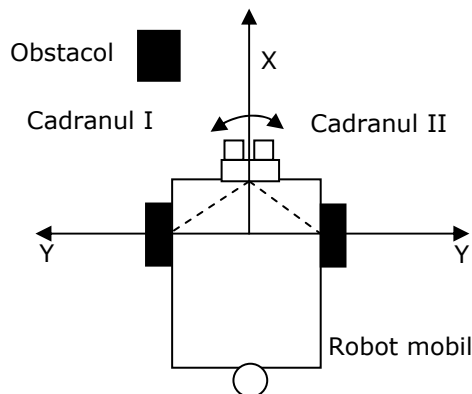


Fig.5.34.Mișcarea de rotație realizată

Așa cum putem observa din fig.5.35, pe monitorul calculatorului este reprezentată prin linie punctată zona de percepție a senzorului ultrasonic. Acesta este capabil să detecteze orice obstacol pe o rază de până la 800mm, în jurul său.

În cazul în care nu se află nici un obstacol în raza de acțiune a senzorului, pe monitor apare un semicerc, în schimb când detectează un obstacol, punctele reprezintă limita distanței pe care poate să o perceapă senzorul.

Schema logică de deplasare a robotului mobil este prezentată în fig.5.35, iar programul de coordonare scanare-deplasare este prezentat în Anexa 5.11B.

Rezultatele scanării sunt transferate de la placa Basic Stamp, prin intermediul unui cablu USB, pe un calculator. Vizualizarea lor se face prin intermediul unei interfețe grafice oferite de programul pe care rulează.

Datorită interfeței putem avea o reprezentare grafică, în timp real, a detecției unui obstacol de către senzor.

Două cazuri din procesul de experimentare sunt prezentate în fig.5.36.

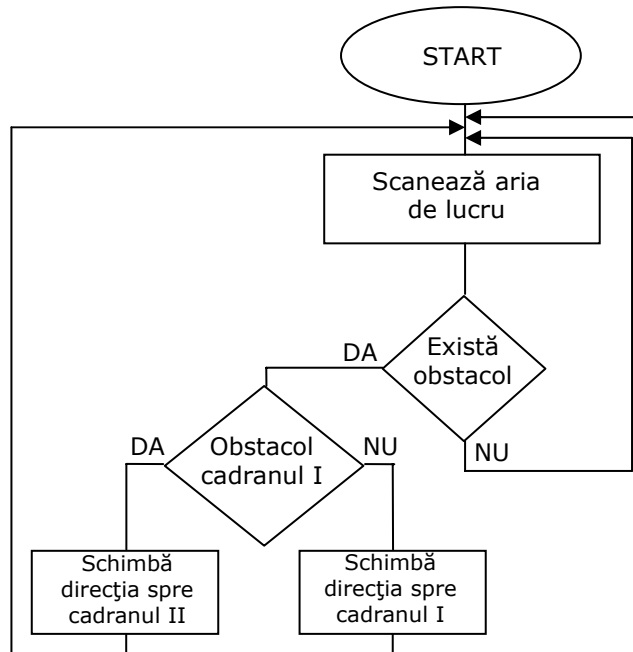


Fig.5.35.Schema logică de deplasare a robotului mobil

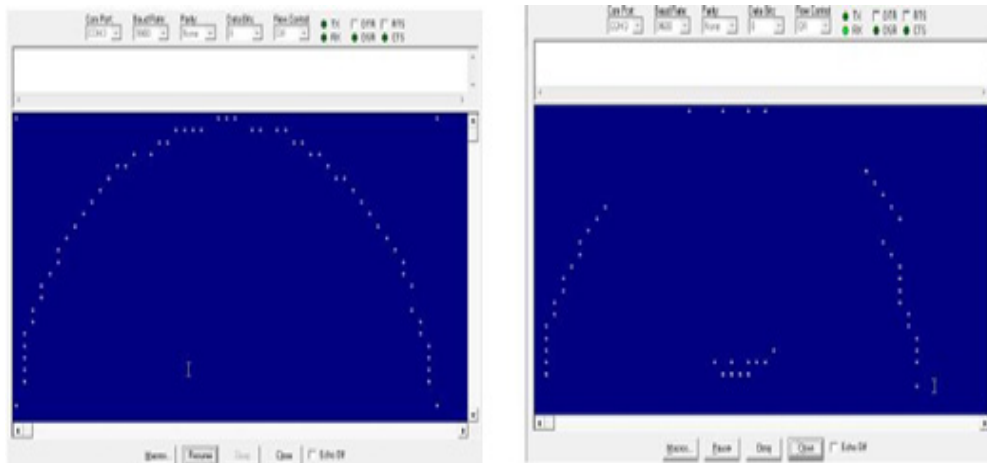


Fig.5.36.Zona de detecție a senzorului ultrasonic, reprezentată pe monitor  
 a) nu detectează nici un obstacol b) detectează obstacol

Datorită interfeței putem avea o reprezentare grafică, în timp real, a detecției unui obstacol de către senzor.

Utilizarea senzorului cu ultrasunete permite crearea hărții unei zone de lucru. Astfel, la o primă cercetare a spațiului de lucru, sistemul de comandă al robotului poate asigura o corelare între informațiile referitoare la deplasare și obstacole.

## 5.4. Determinarea distanței folosind senzorul în infraroșu

### 5.4.1. Introducere

Senzorul în infraroșu face parte tot din categoria senzorilor care ajută la detecția obstacolelor din aria de lucru a robotului mobil. Ei sunt folosiți pentru o gamă mai largă de aplicații, în funcție de capacitatea lor tehnică și de condițiile de lucru. Folosirea luminii infraroșie este o metodă simplă pentru a determina prezența unor obstacole, fără costuri majore.

### 5.4.2. Considerații teoretice

Una din cele mai performante posibilități de detecție utilizată la ora actuală în robotică este cea oferită de domeniul optoelectronic. Posibilitățile de detecție a radiației optice este prezentată pe larg în literatura de specialitate [M3], [C5], [I2].

Energia luminoasă este o formă radiantă de energie electromagnetică. Radiația optică (semnal de intrare) este convertită într-un semnal electronic de ieșire, care poate fi utilizat (după prelucrări) în comanda robotului mobil. Radiația luminoasă este emisă sau absorbită prin cuante corespunzătoare fotonilor. Acest principiu oferă o detecție în timp real, o rezoluție înaltă și o imagine multispectrală (fig.5.36).

În fig.5.37 se prezintă „poziția” zonei vizibile și a zonei în infraroșu.

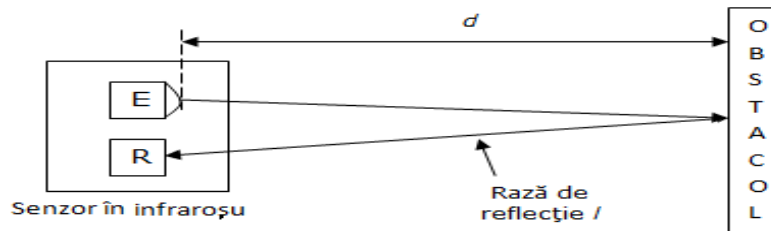


Fig.5.37.Principiul de funcționare al senzorului în infraroșu

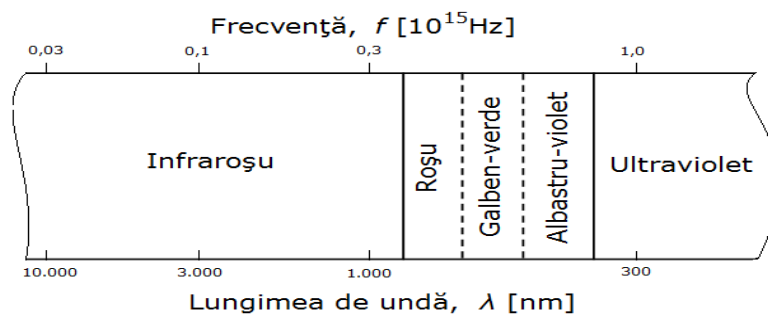


Fig.5.38.Spectrul radiației electromagnetice

Pentru a descrie o suprafață putem folosi un model matematic care să ne asigure o descriere simplă a modului de interacțiune dintre lumina electromagnetică și suprafața de reflexie.

Momentul în care raza de lumină „lovește” o suprafață este absorbită, reflectată sau împrăștiată. Suprafețele se comportă diferit în funcție de culoare și textură. Modelul matematic PHONG reprezintă aceste efecte în patru constante:  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $n$  [H5].

Astfel ecuația care definește intensitatea luminoasă are următoarea formă:

$$I = C_0(\vec{\mu}_s \cdot \vec{\mu}_n) + C_1(\vec{\mu}_r \cdot \vec{\mu}_v)^n + C_2 \quad (5.8)$$

unde

$\mu_s$  – vectorul razei de lumină dinspre obstacol spre sursa incidentă;

$\mu_n$  – vectorul razei de lumină normală la suprafața obstacolului;

$\mu_r$  – vectorul razei de lumină reflectată;

$\mu_v$  – vectorul razei de lumină împrăștiată.

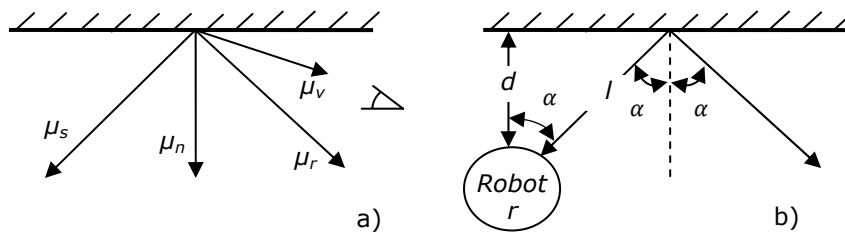


Fig.5.39.a) Model Phong; b) Robot echipat cu senzor în infraroșu

În urma comparării fig.5.38a cu fig.5.38b și a prelucrării matematice a datelor, obținem următoarea formă a relației 5.8:

$$I = C_0 \cos(\alpha) + C_1 \cos^n(2\alpha) + C_2 \quad (5.9)$$

Putem afirma că energia absorbită de fotodiodă, poate fi scrisă în funcție de intensitatea luminoasă ( $I$ ), distanța parcursă de semnal ( $2l$ ) și aria activă a fotodiodei ( $A$ ).

$$E = \frac{I \cdot A}{(2l)^2} \quad (5.10)$$

De unde rezultă că:

$$l = \frac{d}{\cos(\alpha)} + r \cdot \left( \frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) \quad (5.11)$$

Din ecuațiile (5.15), (5.16), (5.17), și introducând condițiile :  $C_2 = 0$ ,  $n=1$  și  $A$  este constant, obținem:

$$E = \frac{C_0 \cos(\alpha) + C_1 \cos(2\alpha)}{\left[ \frac{d}{\cos(\alpha)} + r \cdot \left( \frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) \right]^2} \quad (5.12)$$

Dependența teoretică dintre semnalul de ieșire al senzorului și distanță (după normala la suprafața obstacolului) sau unghiul de înclinare față de obiect este prezentată în fig.5.39.

Utilizarea senzorului optic în infraroșu, pentru a determina distanței față de un obstacol, poate fi structurată în trei etape:

- Analiza obstacolelor (material, starea suprafeței) din spațiul de lucru al robotului;
- Orientarea și poziționarea obstacolului în raport cu senzorul;
- Calculul distanței.

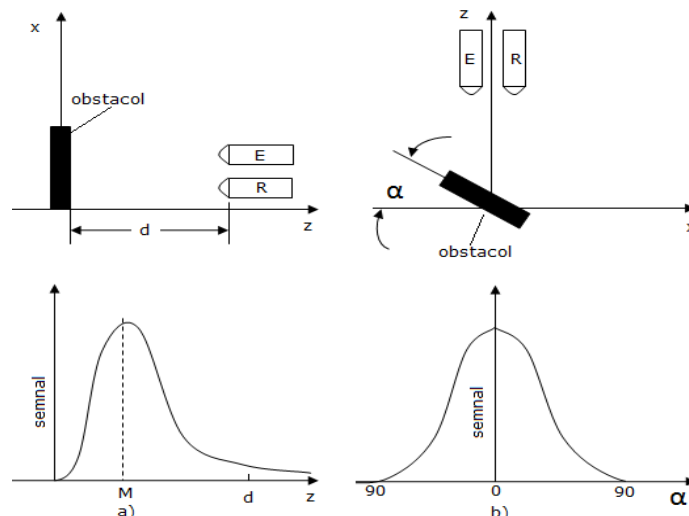


Fig.5.40. Dependenta semnalului de pozitie a senzorului: a) în funcție de distanța „d” b) în funcție de unghiul „ $\alpha$ ”

### 5.4.3. Analiza comportamentului senzorului în infraroșu asupra diferitelor tipuri de materiale

#### 5.4.3.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* a fost observarea comportamentului senzorului în infraroșu față de obstacole din diferite tipuri de material.

*Metoda de testare.* Pentru acest experiment s-a folosit suprafața trasată, care a fost utilizată și la experimentele anterioare. Senzorul în infraroșu a fost amplasat la o înălțime de 50mm față de sol. Pe baza programului scris, (Anexa 5.11C) microcontroler-ul achiziționează informațiile de la senzor și transmite mai departe la calculator (pe interfață) valori de 0 sau 1, astfel încât în momentul în care un obiect se află în raza de acțiune să indice valoarea 0, iar în momentul în care se află în afara razei de acțiune să indice valoarea 1.

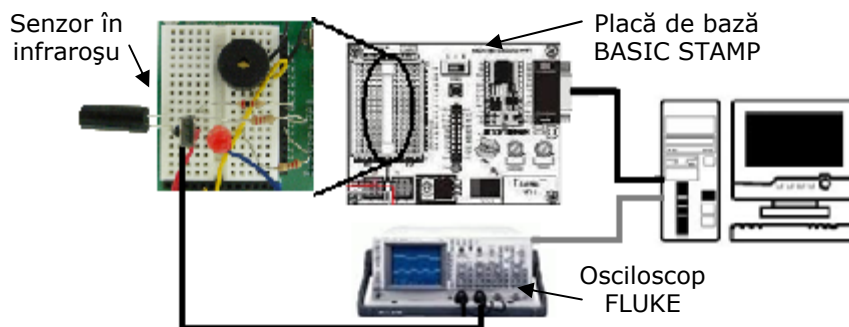


Fig.5.41. Schema bloc de achiziție a datelor în cazul senzorului în infraroșu

Dimensiunile obstacolelor folosite în experiment sunt prezentate în tabelul 5.4.

Semnalul transmis de senzor, a fost vizualizat și cu ajutorul osciloscopului FLUKE (fig.5.41). Pe lângă aceste măsurători s-a folosit și un led de control care se aprindea în momentul în care un obstacol se afla în raza sa de acțiune. Obiectele au fost plasate în punctul de coordonate (50, 0). Telemetrul BOSCH a fost folosit pentru a determina valoarea de referință la care a fost amplasat obstacolul.

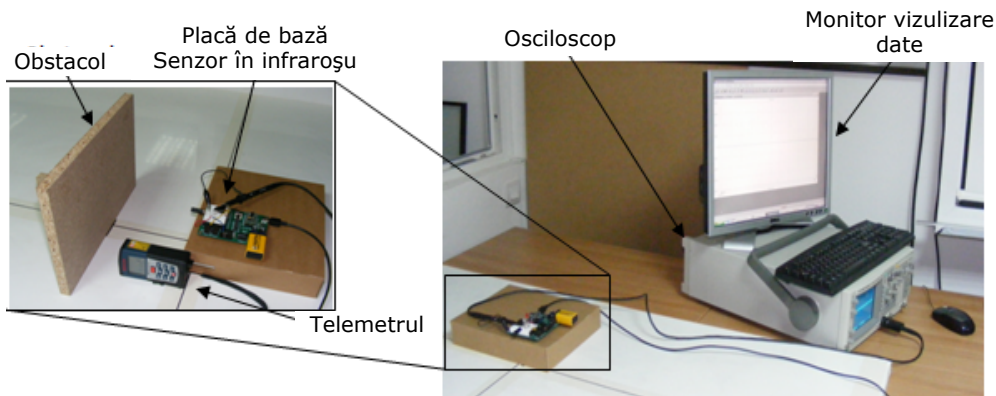


Fig.5.42. Stand experimental

În cazul senzorului folosit, sistemul de detecție este compus din LED (emițător) și fotodiodă (receptor). Emițătorul elementului senzorial emite un semnal continuu în infraroșu. Acest semnal se reflectă pe obstacol și este recepționat.

Ansamblul senzorial (fig.5.42) este compus din următoarele elemente: receptor semnal infraroșu (1), emițător semnal infraroșu (2); rezistor 1k $\Omega$  (3), rezistor 220 $\Omega$  (4).

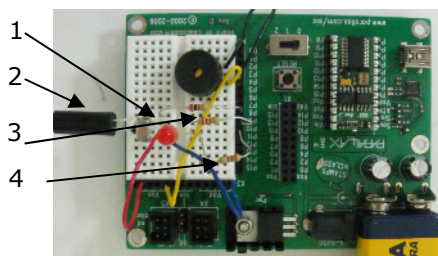


Fig.5.43. Amplasarea senzorului în infraroșu pe placa de bază

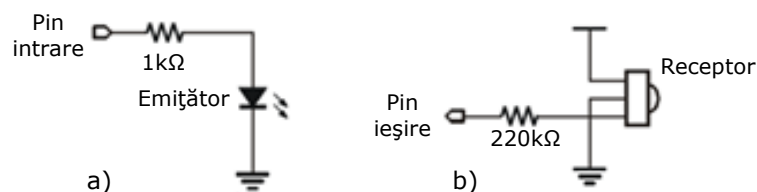


Fig.5.44. Schema electrică de conectare a senzorului în infraroșu pe placa de bază.  
a) Emițătorul b) Receptorul

#### 5.4.3.2. Rezultate experimentale

Datele înregistrate pe parcursul experimentului pentru tensiunea U[V] și prelucrate statistic (calculul valorii medii) sunt prezentate în tabelul 5.14.



Tabelul 5.14

| Timp calc. [μs] | Materialul obstacolului |        |      |         |            |               |        |       |        |
|-----------------|-------------------------|--------|------|---------|------------|---------------|--------|-------|--------|
|                 | BCA                     | Carton | Lemn | Plastic | Polistiren | Folie plastic | Sticlă | Tablă | Textil |
|                 | Tensiune [V]            |        |      |         |            |               |        |       |        |
| 0               | 2.3                     | 2      | 2.3  | 1.8     | 2.3        | 2             | 1.3    | 2.3   | 2.3    |
| 0.2             | 1.9                     | 1.6    | 1.9  | 1.4     | 2          | 1.8           | 1.1    | 1.9   | 2      |
| 0.4             | 1.8                     | 1.2    | 1.4  | 1.2     | 1.8        | 1.3           | 1      | 1.6   | 1.8    |
| 0.6             | 1.6                     | 1.1    | 1.1  | 1       | 1.3        | 0.9           | 0.8    | 1.3   | 1.6    |
| 0.8             | 1.4                     | 0.8    | 0.8  | 0.9     | 1.1        | 0.7           | 0.7    | 1.1   | 1.5    |
| 1               | 1.2                     | 0.7    | 0.7  | 0.8     | 1          | 0.5           | 0.6    | 1     | 1.3    |
| 1.4             | 1.1                     | 0.5    | 0.4  | 0.6     | 0.8        | 0.3           | 0.5    | 0.7   | 1.2    |
| 1.8             | 1                       | 0.3    | 0.3  | 0.4     | 0.7        | 0.1           | 0.4    | 0.6   | 1.1    |
| 2.2             | 0.8                     | 0.2    | 0.2  | 0.3     | 0.6        | 0             | 0.4    | 0.5   | 0.9    |
| 2.6             | 0.8                     | 0.2    | 0.1  | 0.2     | 0.5        | 0             | 0.4    | 0.4   | 0.9    |
| 3               | 0.8                     | 0.2    | 0.1  | 0.2     | 0.5        | 0             | 0.4    | 0.4   | 0.9    |

Reprezentarea dependenței tensiunii aferente semnalului de la senzor în funcție de timp și de materialul obstacolului este ilustrată în fig.5.45.

În urma măsurătorilor efectuate se observă că:

- senzorul în infraroșu se comportă diferit pentru fiecare material în parte. Acest lucru reiese din valorile înregistrate.

- din valorile înregistrate, reiese că sticla are cel mai scurt timp de detecție. Acest lucru se explică prin faptul că materialele au un grad de absorbție a luminii diferit, dar cea mai mare influență o are culoarea obstacolului.

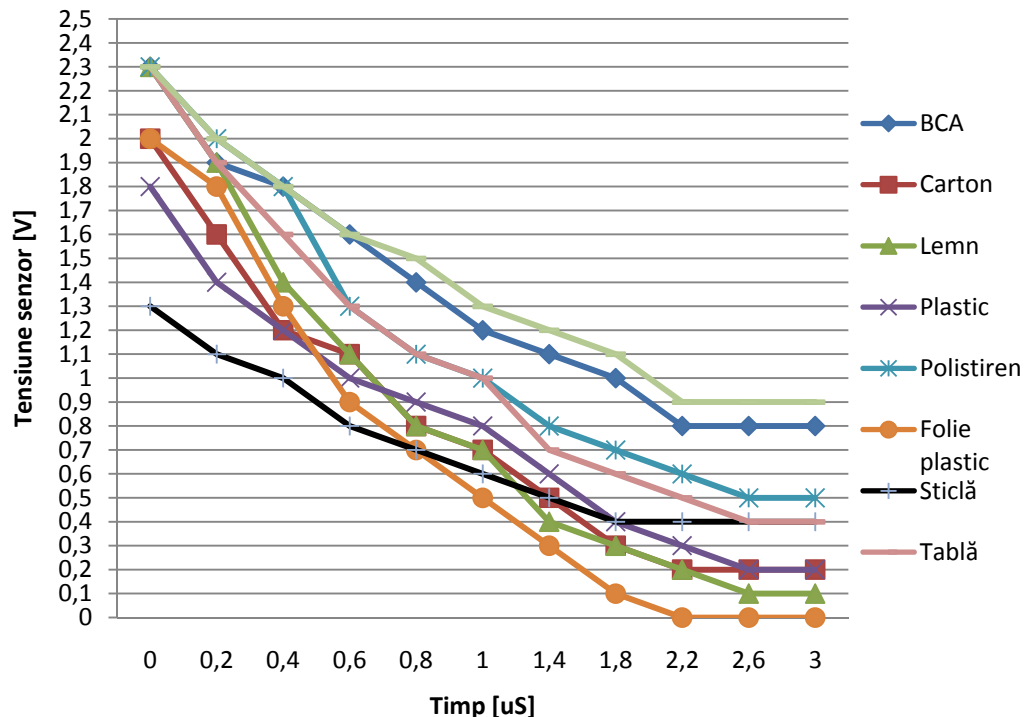


Fig.5.45.Reprezentarea grafică a semnalului înregistrat pentru diferite tipuri de material

#### 5.4.4. Analiza comportamentului senzorului în infraroșu asupra obstacolelor de diferite culori

##### 5.4.4.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* este studierea comportamentului senzorului față de obstacole de diferite culori. S-a avut în vedere și determinarea informațiilor referitoare la distanța față de aceste obstacole (fig.5.46).

*Metoda de testare.* Pentru acest experiment s-a realizat o zonă cu împărțire milimetrică (hârtie milimetrică) pentru o precizie mai mare și obstacolele au fost plasate la diferite distanțe de referință  $d_0$ : 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm, 500mm, 550mm, 650mm. Pentru fiecare distanță s-au efectuat seturi de câte 5 măsurători. Cu ajutorul unui program conceput în limbajul ROBOTINO VIEW 2.6.3 s-a înregistrat valoarea de pe senzor.

În același timp s-a generat și funcția Osciloscop din cadrul programului pentru vizualizarea semnalului. Senzorul a fost conectat la calculator prin intermediul wireless-ului. Pentru identificarea obiectului se emite un semnal de 2,55V c.c., de tip analogic și se urmărește calcularea distanței optime de captare. Valoarea distanței poate fi influențată de culoarea obstacolelor.

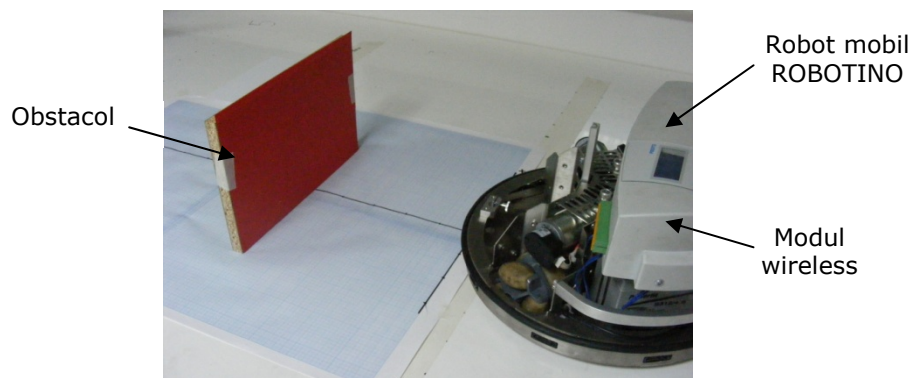


Fig.5.46. Stand experimental pentru senzorul în infraroșu

Au fost obstacole de 6 culori (alb, verde, roșu, albastru, galben și negru), care s-au amplasat perpendicular pe raza de acțiune a senzorului, la diferite distanțe față de senzor. Pentru fiecare culoare în parte s-a înregistrat și forma grafică a semnalului transmis de senzorul în infraroșu cu ajutorul opțiunii „osciloscop” de care dispune programul.

Senzorul în infraroșu, modelul SHARP GP2D120, este incorporat în robotul mobil, la o înălțime de 25mm. Specificațiile tehnice ale senzorului în infraroșu sunt prezentate în Anexa 5.3B.

Dimensiunile obstacolului sunt prezentate în tabelul 5.15.

Tabelul 5.15

| <b>B</b><br><b>[mm]</b> | <b>L</b><br><b>[mm]</b> | <b>H</b><br><b>[mm]</b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 15                      | 300                     | 200                     |

**5.4.4.2. Rezultate experimentale**

Un extras din valorile experimentale obținute pe parcursul experimentului sunt prezentate în tabelul 5.16. Tabelul complet cu valori și reprezentările grafice sunt prezentate în Anexa 5.8.

Tabelul 5.16 (extras)

|    | $d_0(\text{mm})$               | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | ..... | 650  |
|----|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Nr | Culoarea                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| 1  | galben                         | 1,64 | 2,05 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,27 | 0,88 | 0,67 | 0,53 | 0,44 | ...   | 0,22 |
| 2  |                                | 1,63 | 2,04 | 2,54 | 2,54 | 2,28 | 1,29 | 0,89 | 0,67 | 0,52 | 0,45 | ...   | 0,20 |
| 3  |                                | 1,64 | 2,05 | 2,54 | 2,54 | 2,28 | 1,28 | 0,90 | 0,65 | 0,61 | 0,43 | ...   | 0,11 |
| 4  |                                | 1,65 | 2,04 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,32 | 0,88 | 0,65 | 0,62 | 0,42 | ...   | 0,11 |
| 5  |                                | 1,72 | 2,04 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,27 | 0,88 | 0,65 | 0,53 | 0,51 | ...   | 0,21 |
|    | $\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n}$ | 1,66 | 2,04 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,29 | 0,89 | 0,66 | 0,56 | 0,45 | ...   | 0,17 |
| 1  | negru                          | 2,54 | 2,28 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,24 | 0,84 | 0,61 | 0,44 | 0,26 | ...   | 0    |
| 2  |                                | 2,54 | 2,27 | 2,54 | 2,54 | 2,28 | 1,24 | 0,85 | 0,63 | 0,57 | 0,27 | ...   | 0    |
| 03 |                                | 2,54 | 2,28 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,25 | 0,86 | 0,71 | 0,45 | 0,38 | ...   | 0    |
| 4  |                                | 2,54 | 2,27 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,24 | 0,84 | 0,63 | 0,46 | 0,30 | ...   | 0    |
| 5  |                                | 2,54 | 2,28 | 2,54 | 2,54 | 2,26 | 1,24 | 0,84 | 0,61 | 0,44 | 0,27 | ...   | 0    |
|    | $\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n}$ | 2,54 | 2,28 | 2,54 | 2,54 | 2,27 | 1,24 | 0,85 | 0,64 | 0,47 | 0,30 | ...   | 0    |

Pe baza valorilor obținute s-a putut determina comportamentul senzorului în infraroșu față de obstacole de diferite culori. Pentru două culori (galben și negru) caracteristicile sunt prezentate în fig 5.47, respectiv fig.5.48.

Ca urmare a analizei, se poate observa că:

- semnalul elementului senzorial este dependent de culoarea obstacolelor și de starea suprafeței;
- valoarea maximă a semnalului are loc pentru un interval de 30÷50mm față de obstacol;
- semnalul are o evoluție conformă cu cea teoretică;
- culoarea percepută cel mai departe este cea galbenă (650mm), în timp ce culoarea neagră este cu percepția cea mai mică (350mm).

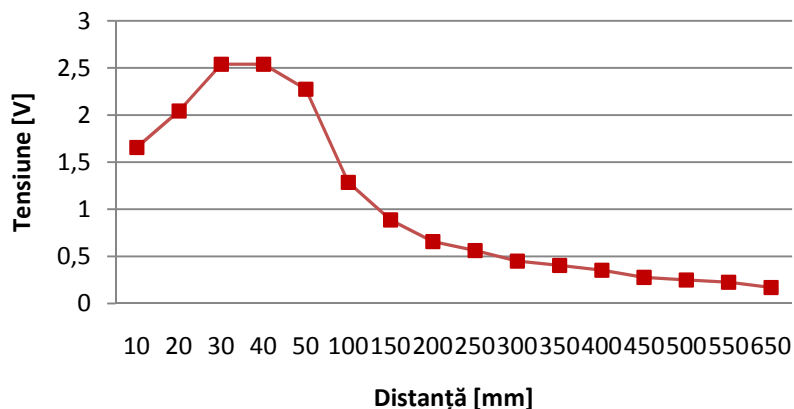


Fig.5.47.Semnalul senzorului în infraroșu în cazul unui obstacol de culoare galbenă

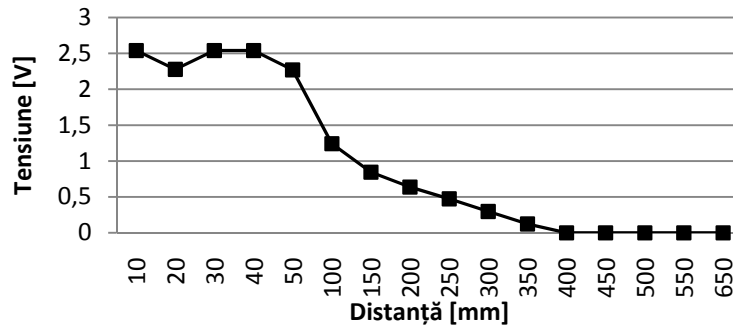


Fig.5.48.Semnalul senzorial în infraroșu în cazul unui obstacol de culoare neagră

### 5.4.5. Determinarea comportamentului senzorial în infraroșu față de obiecte de diferite dimensiuni

#### 5.4.5.1. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* este de a studia modul în care senzorul în infraroșu se comportă având în rașă sa de acțiune obiecte de diferite dimensiuni, situate la distanțe diferite.

*Metoda de testare.* Metoda folosită este aceeași ca și în experimentul anterior. În cadrul acestui experiment s-au folosit obstacole din pal de dimensiuni conform tabelului 5.17, care au fost amplasate la diferite distanțe de referință  $d_0$  față de senzor. Senzorul în infraroșu SHARP GPD120 este integrat în robotul ROBOTINO. Conexiunea dintre robot și calculator se realizează wireless, prin intermediul adaptorului tip DELL Wireless 1470 Dual Band cu care este echipat robotul [\*\*23].

Tabelul 5.17

| <b>B</b><br>[mm] | <b>L</b><br>[mm] | <b>H</b><br>[mm] |
|------------------|------------------|------------------|
| 15               | 10               | 200              |
|                  | 50               |                  |
|                  | 300              |                  |

Aria suprafeței de măsurare a fost împărțită în format milimetric, pentru o mai precisă citire a măsurătorilor (fig.5.49).

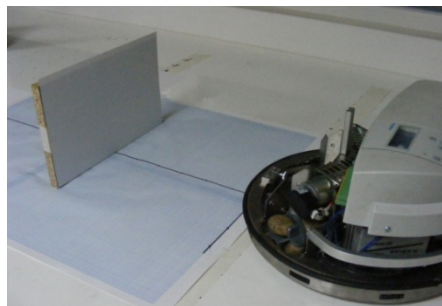


Fig.5.49. Robotul mobil detectează obstacolul

### 5.4.5.2. Rezultate experimentale

Un extras din valorile experimentale obținute pe parcursul experimentului sunt prezentate în tabelul 5.18. Tabelul cu valori pentru întregul experiment este prezentat în Anexa 5.9.

Tabelul 5.18 (extras)

| $d_0$ [mm] | 10           | 20  | 30  | 40  | 50  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | ... | 620 |
|------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| L [mm]     | Tensiune [V] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 10         | 2.5          | 2.5 | 2.5 | 2.2 | 1.5 | 1.1 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | ... | 0   |
| 50         | 2            | 2.1 | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 1.3 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | ... | 0   |
| 300        | 1.9          | 2   | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 1.3 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | ... | 0   |

Semnalul captat cu ajutorul opțiunii „osciloscop” de care dispune programul, are forma din fig.5.50.

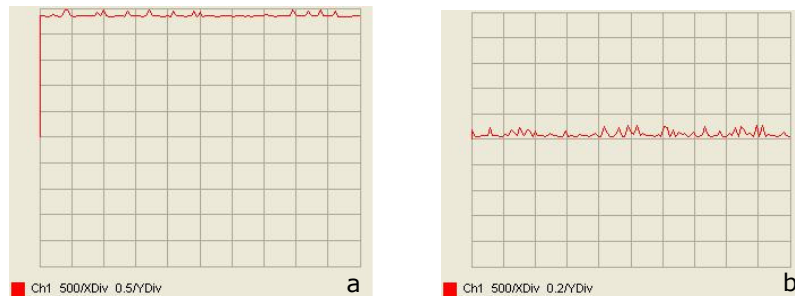


Fig.5.50. Semnal vizualizat cu ajutorul osciloscopului pentru un obstacol cu  $L=10\text{mm}$   
a) situat la distanța 20mm b) situat la distanța de 620 mm

Caracteristicile elementului senzorial pentru valorile prezentate anterior sunt prezentate în fig.5.51.

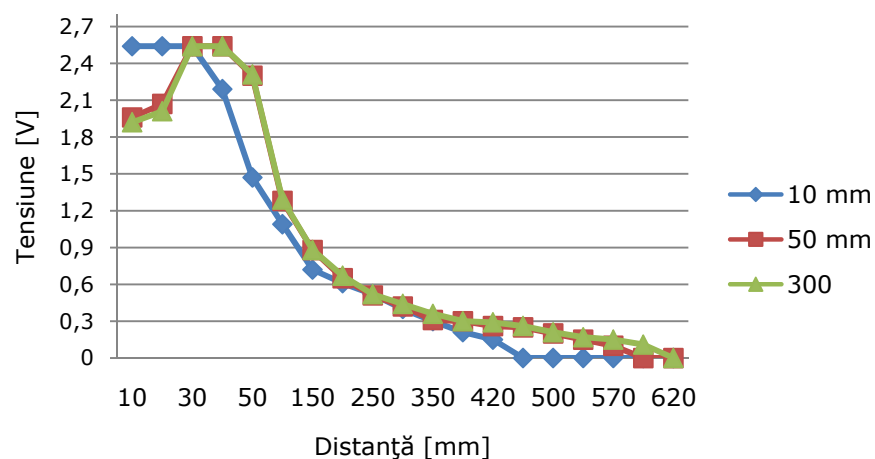


Fig.5.51.Reprezentare grafică a comportamentului senzorului față de obstacol

### 5.4.5.3. Concluzii

În urma prelucrării datelor se poate observa faptul că:

- există o corespondență bună între caracteristicile teoretice și cele experimentale;
- distanța optimă de determinare a distanței este între 30-40mm;
- cu cât obiectul devine mai îngust, cu atât capacitatea senzorului de detecție a obstacolului este mai redusă și apar erori în aprecierea distanței;
- senzorul este eficient pentru detectarea obstacolelor aflate relativ aproape de robot;
- chiar dacă specificațiile tehnice arată că senzorul are la rază de acțiune 300mm, acesta identifică obstacole aflate și la o distanță dublă. Bineînțeles, dimensiunile obstacolelor influențează raza de acțiune a senzorului.

## 5.5. Determinarea comportamentului senzorului de accelerație amplasat pe un robot mobil

### 5.5.1. Introducere

Accelerometrul este un senzor ce măsoară accelerația ca urmare a unor forțe statice (cum este forța gravitațională) sau dinamice (cauzate de mișcarea sistemului pe care este amplasat accelerometrul).

Prin măsurarea valorii accelerației statice, datorită gravitației, se poate determina unghiul la care elementul suport pentru senzor este înclinat față de verticală. Măsurând accelerațiile dinamice, se poate analiza direcția pe care se deplasează elementul suport al accelerometrului.

### 5.5.2. Considerații teoretice

În cadrul laboratorului de „Senzori și traductori” din cadrul Facultății de Mecanică, am dispus de o gamă variată de senzori de accelerație.

În cazul acestui experiment, utilizând o placă de achiziții Basic Stamp, a trebuit să apelez la un accelerometru cu ieșire digitală (fig.5.52). Dezavantajul este că în acest caz, microcontroler-ul își alocă resursele de timp pentru a măsura ciclul de pe accelerometru, rămânând astfel mai puține resurse pentru alte operații.

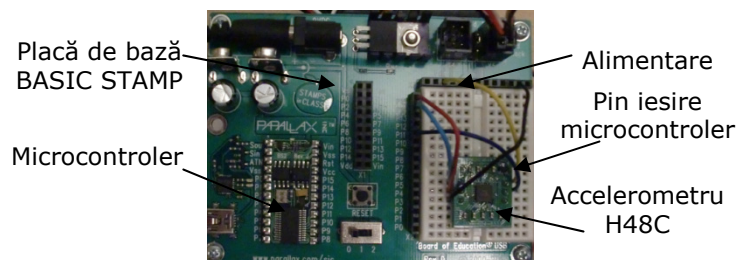


Fig.5.52. Amplasarea senzorului pe elementul suport

Accelerometrul folosit este modelul Hitachi H48C, care este un modul integrat ce poate măsura forța gravitațională (g) cu o valoare de  $\pm 3g$ , pe cele 3 axe X,Y,Z (fig.5.53). Caracteristicile senzorului sunt prezentate în Anexa 5.4.

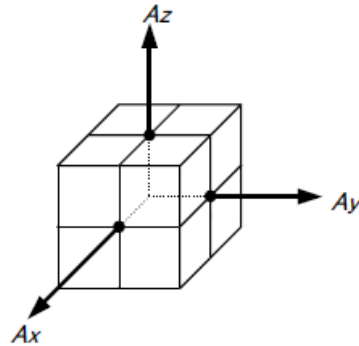


Fig.5.53. Sistem de coordonate al senzorului

Accelerometrul este realizat folosind tehnologia MEMS (datorită cipului care este incorporat), ceea ce asigură ieșiri analogice simultane, corespunzătoare celor 3 axe la convertorul de semnal analogic digital. Pentru a înregistra descompunerea forței gravitaționale de pe o anumită axă, se măsoară tensiunea și apoi se calculează  $G$  [\*\*11], utilizând formula:

$$G = \frac{\text{axis} - V_{\text{ref}}}{4095} \cdot \frac{3.3}{0.3663} \quad (5.13)$$

unde:

$\text{axis}$  – valoarea pe axa x sau y sau z [V];

$V_{\text{ref}}$  – valoare de referință [V];

4095 – valoarea maximă numărată de către convertorul analogic digital pe 12 biți (ADC);

3.3V – tensiunea de alimentare pentru o accelerație;

0.3663V – tensiunea de ieșire pentru o accelerație standard de 1g.

Simplificat relația (5.13) devine:

$$G = (\text{axis} - V_{\text{ref}}) \times 0.0022 \quad (5.14)$$

unde constanta are la bază prelucrări de parametri constructivi.

### 5.5.3. Standul experimental și procedura de lucru

*Scopul experimentului* constă în analizarea comportamentului accelerometrului atunci când robotul mobil pe care este montat se deplasează pe un traseu. Traseul robotului mobil este un pătrat cu latura de 1500mm (mm) (fig.5.54).

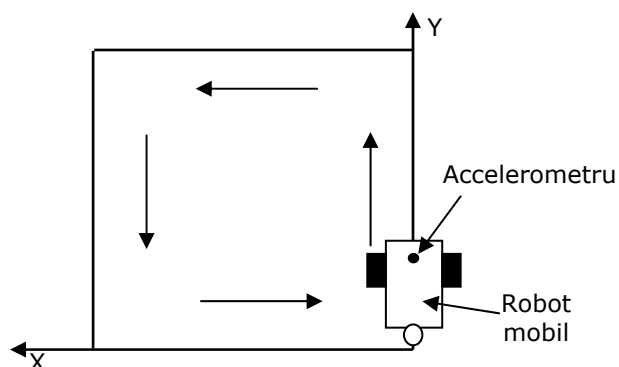


Fig.5.54. Traseul robotului mobil



*Metoda de testare* folosită în acest experiment a fost utilizarea robotului Boe-Bot în vederea deplasării pe cele 4 tipuri de suprafață de rulare (PVC, iarbă artificială, pietriș, nisip) (fig.5.55).

Pe robot s-a montat accelerometrul Hitachi H38C pentru a fi înregistrate valorile măsurate. Înregistrarea valorilor s-a făcut la un interval de o secundă, prin intermediul interfeței oferite de program (Anexa 5.11D).

Comunicarea dintre calculator și placa de bază BASIC STAMP a fost realizată prin intermediul cablului USB. Durata de înregistrare a comportamentului senzorului a fost de 19s.

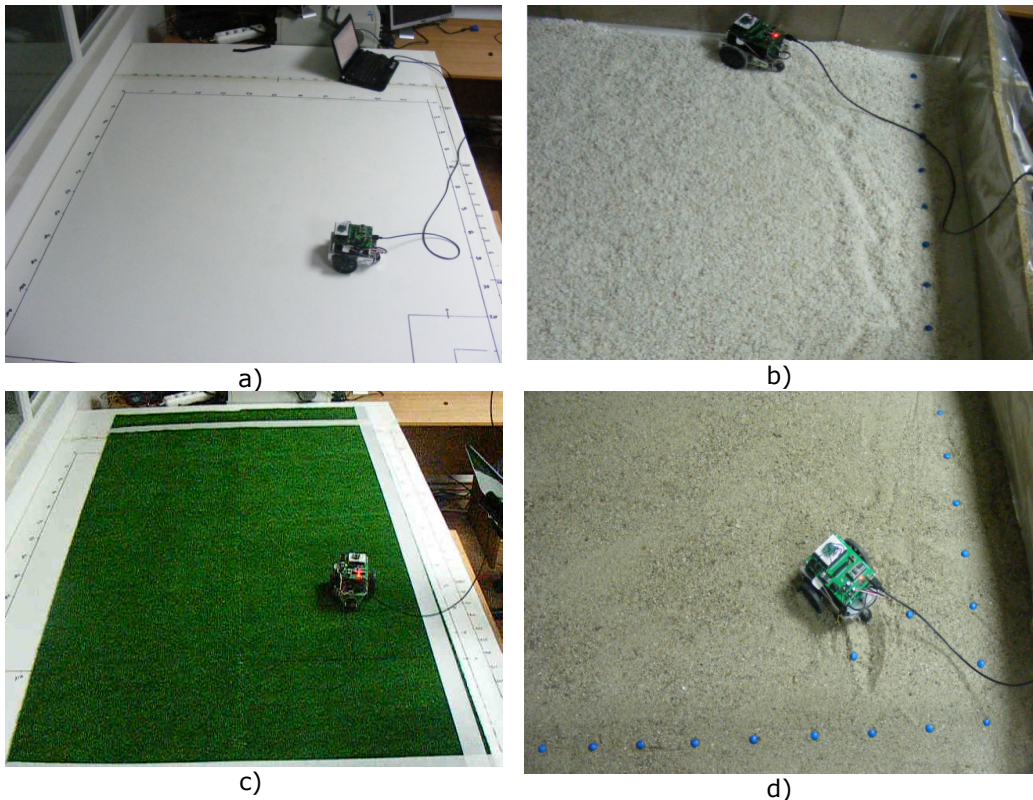


Fig.5.55. Diferite suprafețe de teren pe care s-a deplasat robotul mobil:  
a) PVC, b) pietriș, c) iarbă artificială, d) nisip

S-au efectuat înregistrările forței  $g$ , a accelerațiilor pe axele  $x$ ,  $y$  și  $z$ , iar pe baza calculelor matematice a rezultat accelerația.

#### 5.5.4. Rezultatele experimentale

Pe baza valorilor obținute s-a observat comportamentul senzorului de accelerație corespunzător fiecărei suprafețe pe care s-a deplasat robotul mobil. În fig.5.56 se observă acest lucru.

În tabelul 5.19 de mai jos sunt prezentate valorile prelucrate pentru experimentul desfășurat cu suprafața de PVC. Pentru celelalte suprafețe, datele sunt prezentate în Anexa 5.10.



5.5. Determinarea comportamentului senzorului de accelerație 131

Tabelul 5.19

| <b>t</b><br>[s] | <b>a<sub>x</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>y</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>z</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>calc.</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] |
|-----------------|---|---|---|---|
| 0               | -0.50                                       | -0.30                                       | 0.99  | 1.15  |
| 1               | -0.05                                       | -0.01                                       | 0.99  | 0.99  |
| 2               | -0.06                                       | -0.01                                       | 0.98  | 0.98  |
| 3               | -0.08                                       | -0.07                                       | 0.98  | 0.99  |
| 4               | -0.04                                       | 0.04  | 0.87  | 0.87  |
| 5               | 0.00  | 0.05  | 0.97  | 0.97  |
| 6               | 0.00  | 0.02  | 0.98  | 0.98  |
| 7               | -0.05                                       | -0.04                                       | 0.99  | 0.99  |
| 8               | -0.09                                       | 0.01  | 0.99  | 0.99  |
| 9               | -0.06                                       | 0.00  | 0.97  | 0.97  |
| 10              | 0.00  | 0.00  | 0.95  | 0.95  |
| 11              | -0.05                                       | -0.01                                       | 1.04  | 1.04  |
| 12              | -0.06                                       | 0.07  | 1.01  | 1.01  |
| 13              | -0.09                                       | 0.03  | 0.95  | 0.95  |
| 14              | -0.08                                       | -0.05                                       | 0.94  | 0.94  |
| 15              | -0.01                                       | 0.00  | 0.98  | 0.98  |
| 16              | -0.10                                       | 0.04  | 1.04  | 1.05  |
| 17              | -0.03                                       | 0.00  | 0.94  | 0.94  |
| 18              | -0.06                                       | 0.00  | 1.00  | 1.00  |
| 19              | -0.09                                       | -0.02                                       | 0.98  | 0.98  |

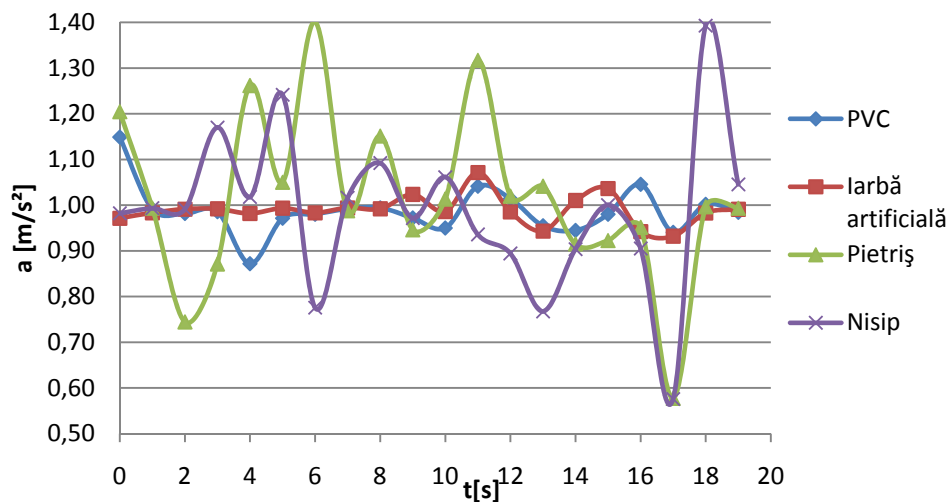


Fig.5.56.Accelerația robotului mobil pe diferite suprafețe de deplasare

### 5.5.5. Concluzii

În urma analizării datelor obținute putem concluziona faptul că:

- pe suprafața de PVC deplasarea realizată este mai apropiată de cea planificată. Se observă că în momentul schimbării direcției ( $t=4$ ), accelerația scade.
- pe iarbă accelerația este mai scăzută datorită frecării cu solul. În prima jumătate de drum accelerația nu variază foarte mult, iar în a doua jumătate accelerația variază mult mai mult datorită suprafeței ierbii.
- pe pietriș accelerația variază considerabil între  $(0.5 \div 1.4) \text{m/s}^2$ . În momentul în care robotul trece peste o piatră accelerația crește, iar în momentul în care el este oprit din deplasarea sa, accelerația scade.
- pe nisip robotul se comportă aproximativ ca și pe pietriș, diferența constă în faptul că suprafața de nisip este uniformă, nu există diferențe de material. Diferența ar fi accelerația mai ridicată pe nisip.
- mișcarea robotului pe o suprafață accidentată nu poate fi controlată cu exactitate, nu se poate stabili un punct de sfârșit exact (pentru iarbă artificială, pietriș și nisip).

### 5.6. Concluzii finale

În cadrul acestui capitol s-au efectuat teste care au avut ca scop observarea capacității de determinare a distanței și a caracteristicilor de comportare a unor senzori folosiți în robotica mobilă pentru astfel de aplicații: senzorul în infraroșu și senzorul cu ultrasunete.

Din punctul de vedere al texturii materialelor observăm că unele materiale au un grad de detecție mai ridicat decât altele, lucru care se datorează unei absorbții mai scăzute a undelor ultrasonice.

Forma geometrică a obstacolelor este la rândul ei foarte importantă, acest lucru reieșind din testele efectuate pe obiectele de tip concav, convex sau dreptunghiular.

Senzorul cu ultrasunete folosit poate fi utilizat cu succes în scanarea spațiului de lucru. În aplicația de tip radar reiese faptul că se poate localiza un obstacol cu ajutorul unor programe adecvate.

Semnalul recepționat poate fi influențat de mai mulți factori:

- *Condițiile mediului de lucru*: temperatura și umiditatea afectează viteza sunetului în aer. De aceea este nevoie de o recalibrare pentru a efectua măsurători precise în mediile de lucru;

- *Curenți de aer*: variația temperaturii și a curenților de aer pot crea „bariere” invizibile care să reflecte semnalele ultrasonice. De acest lucru trebuie avut în vedere în aplicații reale;

- *Zone „moarte”*: senzorii cu ultrasunete au o zonă moartă în imediata lor apropiere, pentru că obstacolele nu pot fi detectate de semnale înainte ca emițătorul să poată deveni operațional.

La rândul său senzorul în infraroșu prezintă o dependență de culoarea obstacolelor și de starea suprafeței. Senzorul este util și precis în detecția unor obstacole aflate la o distanță relativ mică față de el.

## 6. ROBOTUL MOBIL SISTEM MECATRONIC. ANALIZA ȘI SINTEZA FUNCȚIONALĂ ȘI EXPERIMENTALĂ

### 6.1. Introducere

Procesul de proiectare a unui sistem mecatronic – robotul mobil în cazul de față – se poate încadra într-o reprezentare conformă cu fig.6.1. La nivelul domeniilor are loc o interacțiune puternică cooperantă în definitivarea variantelor.

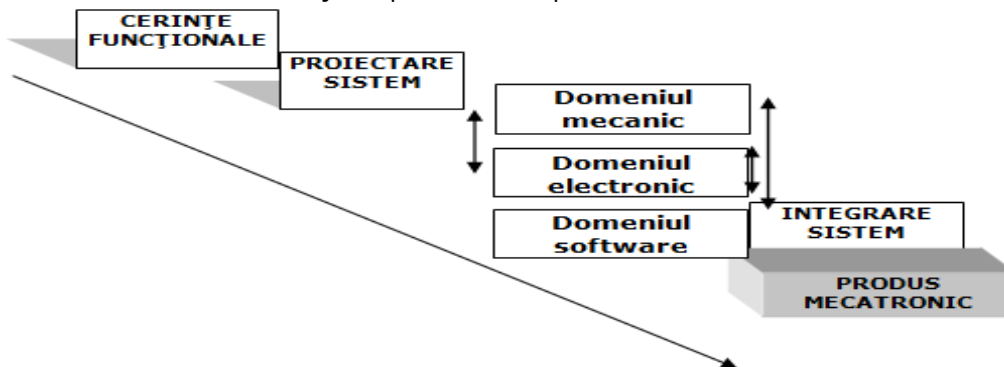


Fig.6.1. Procesul de proiectare a unui sistem mecatronic

În concordanță cu filozofia mecatronică de dezvoltare a produselor au fost stabilite performanțele necesare pentru sistemul autonom mobil:

- mobilitate direcțională;
- conducere de la distanță fără legătură cu baza (eventual);
- comunicare bidirecțională operator – robot mobil și invers;
- autonomie energetică (limitată).

Dezvoltarea structurală a sistemului autonom mobil s-a realizat de la abstract la complex respectând principiul de proiectare mecatronică. Consecvenți acestui principiu, s-a urmărit o integrare hardware și software corespunzătoare scopului propus. În fig.6.2 se prezintă o parte din principiul de dezvoltare a sistemului autonom mobil (E - energie, I - informație).

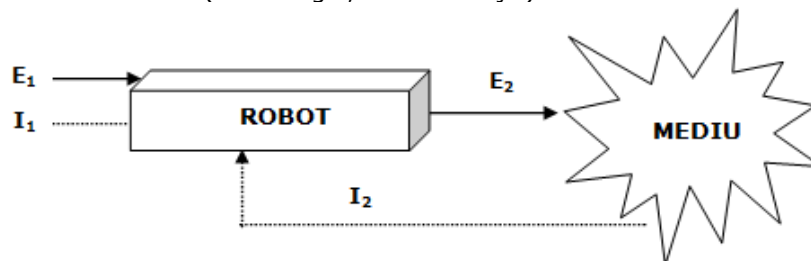


Fig.6.2. Principiul de dezvoltare a sistemului unui robot mobil

## 6.2. Utilizarea „filozofiei” mecatronice în proiectarea robotului mobil

### 6.2.1. Analiza structurii robotului la nivel funcțional și organic

Abordarea deciziilor în procesul de proiectare poate fi mult simplificată utilizând metodologia descompunerii. În baza acestei metodologii, sistemul analizat se poate structura pe mai multe nivele printr-o descompunere ierarhică. S-a avut în vedere o descompunere ce are ca suport funcția sistemului [D5].

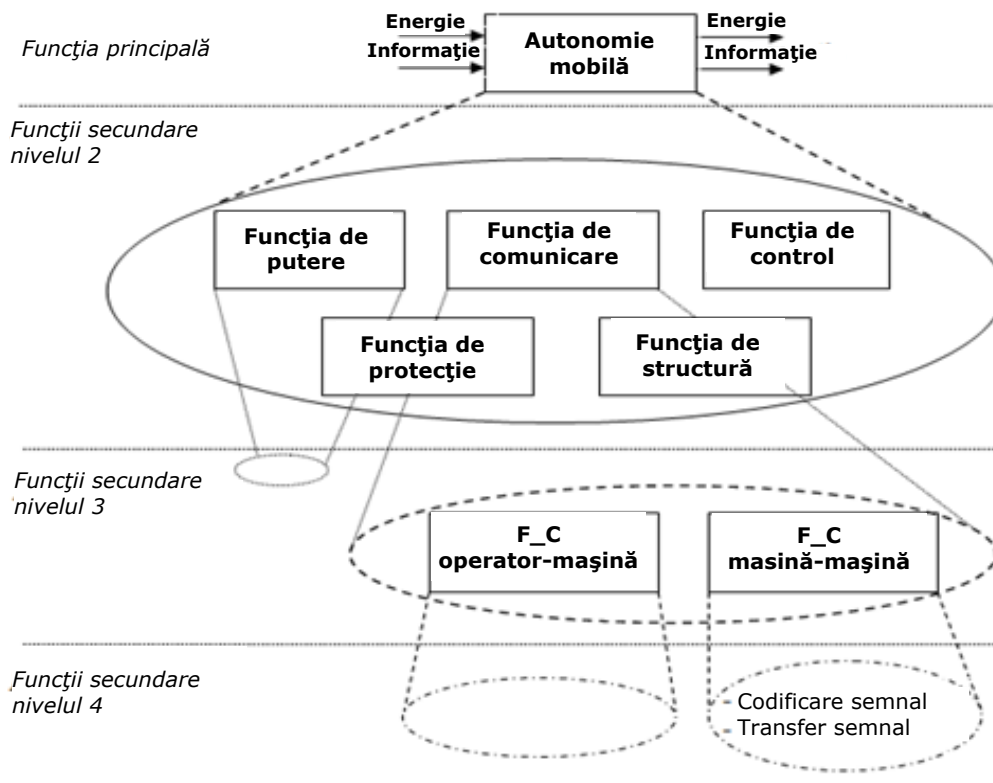


Fig.6.3. Descompunerea funcției principale de autonomie a robotului mobil

Stabilirea structurii sistemului se bazează pe două principii dezvoltate din teoria mașinilor:

- cauzalitate verticală: cauză - efect;
- principiul funcțiilor secundare conform căruia în jurul funcțiilor principale se găsesc un set de funcții secundare.

Topicul naturii sistemelor mecatronice poate fi divizat în două nivele:

- *un nivel funcțional* - sisteme tehnologice independente de transformare și scop. În domeniul mecatronic se propun în jurul funcției principale cinci funcții secundare: funcția de comunicare, funcția de protecție, funcția de control, funcția putere, funcția structurală.

- *un nivel organic* - sistemele de principii tehnice alese să îndeplinească funcțiile cerute (senzor, sistem de calcul, actuator, sursă de energie, mecanism).

În fig.6.3 se prezintă o descompunere a funcției principale – autonomie mobilă în funcții secundare pe mai multe nivele. *Funcția secundară de comunicare* este descompusă în două nivele suplimentare. Fig.6.4 prezintă funcția secundară de putere la nivelul 3. Fig.6.5 prezintă funcțiile secundare de protecție la nivelele 3 și 4.

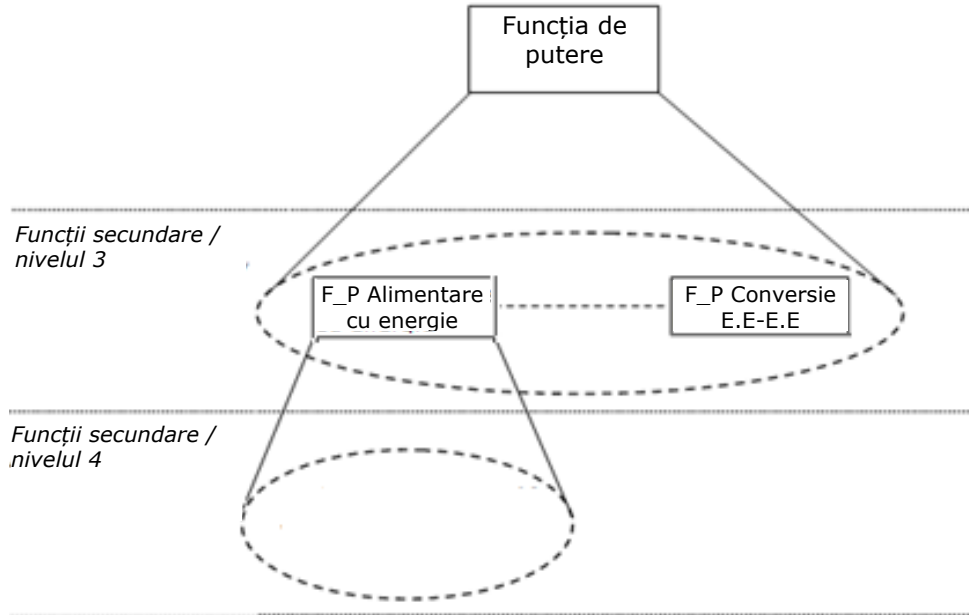


Fig.6.4. Descompunerea pe nivele a funcției de putere

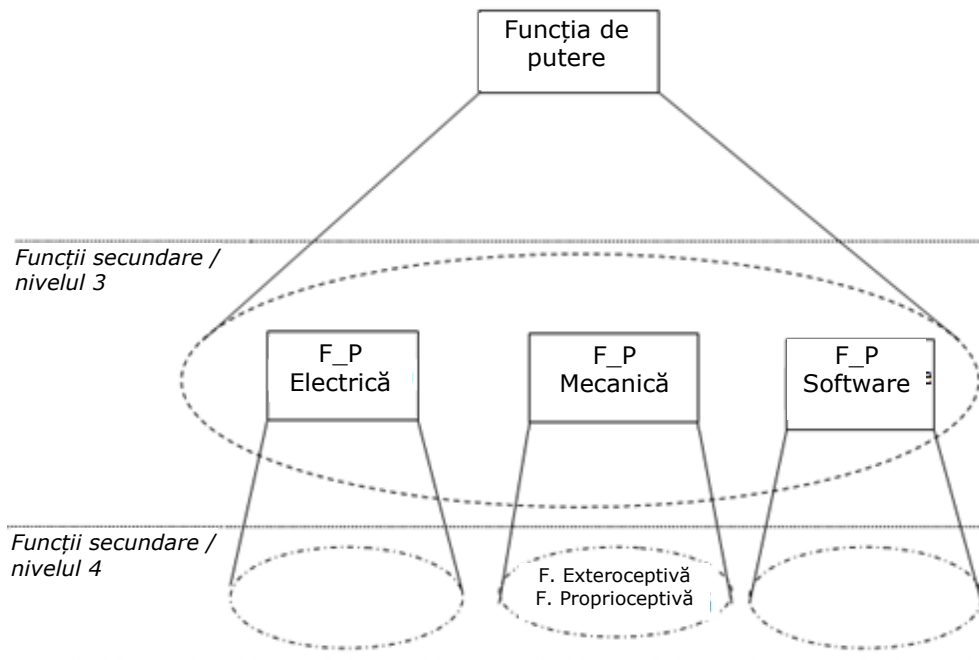


Fig.6.5. Descompunerea pe nivele a funcției de protecție

Descompunerea la nivel organic este prezentată parțial în fig.6.6.

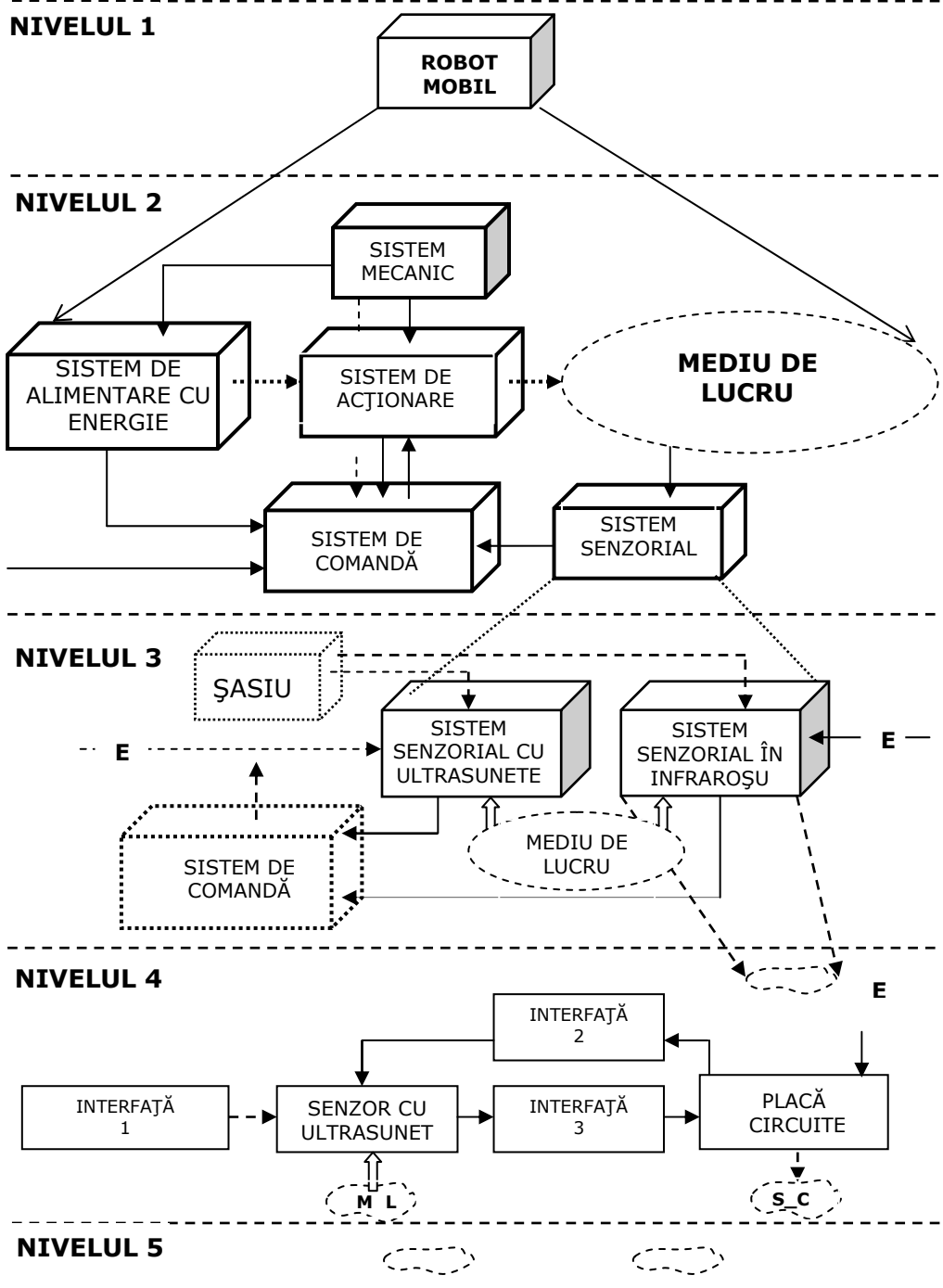


Fig.6.6. Descompunerea la nivel organic

6.2. Utilizarea „filozofiei” mecatronice în proiectarea robotului mobil 137

În continuare se vor prezenta descompuse pe subnivele, sistemul de comandă și sistemul de acționare.

În cazul sistemului de acționare descompunerea are loc la nivelul 4.

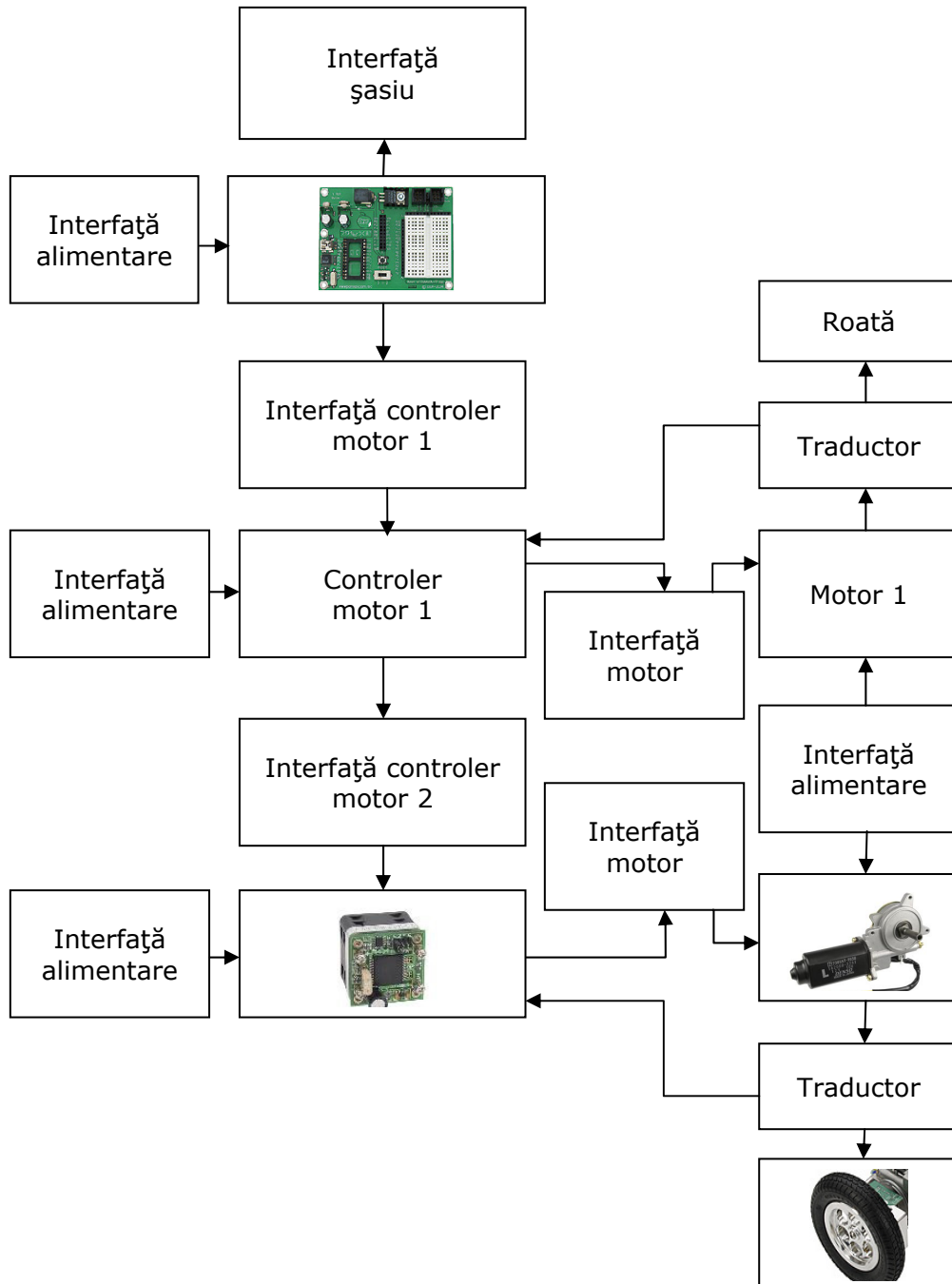


Fig.6.7. Descompunerea sistemului de acționare la nivelul 4

În cazul sistemului de comandă, descompunerea are loc la nivelul 3.

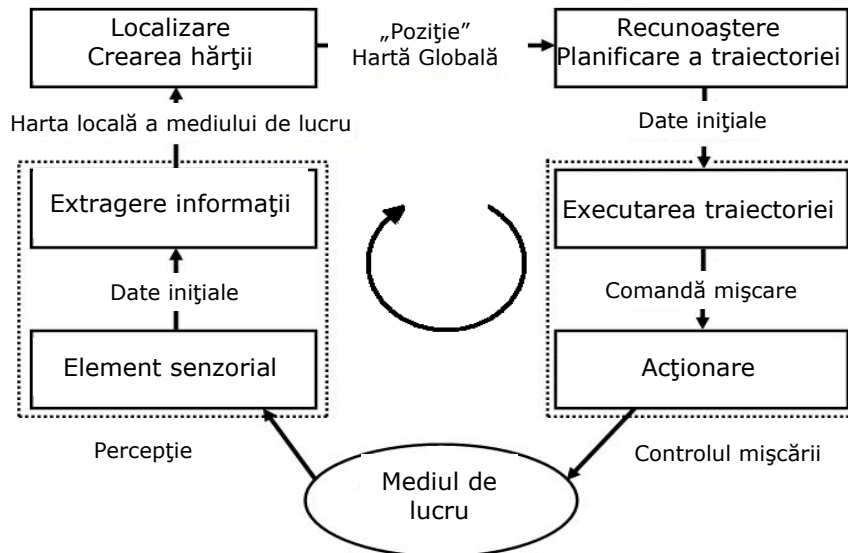


Fig.6.8. Nivelul 3 de descompunere a funcției de comandă

### 6.2.2. Utilizarea tabelii morfologice pentru sinteza structurii sistemului mecatronic la nivel organic

Literatura de specialitate dispune de o serie de criterii ce pot fi avute în vedere pentru clasificarea și proiectarea sistemelor autonome mobile.

Echivalând sistemul autonom mobil cu un sistem mecatronic și în concordanță cu performanțele propuse s-au putut stabili funcțiile suport ale subsistemelor din nivelul inferior. Stabilirea unei anumite modalități de concretizare a unei componente pentru o funcție dată, poate apela la o analiză multicriterială.

În tabelul 6.1 se prezintă tabela morfologică pentru examinarea sistemică a problemei de sinteză, constituită din funcțiile propuse și soluții posibile de realizat.

Tabelul 6.1

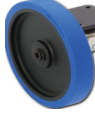








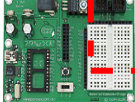







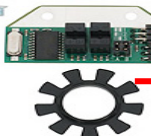


| Funcții                 | SUBSOLUȚII                    |                  |                           |         |                  |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|---------|------------------|
|                         | 1                             | 2                | 3                         | 4       | 5                |
| Mobilitate direcțională | Două roți                     | Șenile           | Structură pășitoare       | Hibridă |                  |
| Autonomie energetică    | Acumulator, Energie electrică | Rețea electrică  |                           |         |                  |
| Ghidare                 | Ghidare optică                | Senzori video    | Ghidare laser             | GPS     | Busolă magnetică |
| Autonomie decizională   | Telecomandat permanent        | Autonom          | Mixt-autonom telecomandat |         |                  |
| Sistem de acționare     | Motor de curent continuu      | Motor pas cu pas |                           |         |                  |
| Tip de conducere        | Uniciclu                      | Triciclu         | Ackerman                  |         |                  |



6.2. Utilizarea „filozofiei” mecatronice în proiectarea robotului mobil 139

Tabela morfologică corespunde metodologiei de examinare sistemică a unui număr de entități diferite, posibile soluții în proiectarea produsului. În tabelul 6.2 sunt prezentate soluțiile la nivel organic propuse pentru sinteza sistemului mecatronic autonom mobil.

Tabelul 6.2

| FUNCTIA    | VARIANTE CONCEPTUALE  |  |  |
|------------|---|--|--|
| LOCOMOTIE  | Roată 1<br>                | Roata 2<br>             | Castor<br>              |
| TRACȚIUNE  | Motor1<br>                 | Motor 2<br>             | Motor 3<br>             |
| COMUNICARE | Wireles<br>               | Adaptor USB<br>        | Adaptor analogic<br>   |
| CONTROL    | Education Board 1<br>    | Controler motor<br>   | Education Board 2<br> |
| PUTERE     | Acumulator<br>           | Sursă de tensiune<br> |  |
| SENZORIALĂ | Ultrasunete<br>          | În infraroșu<br>      | De lumină<br>         |
| NAVIGAȚIE  | Traductor de poziție<br> | GPS<br>               | Busolă magnetică<br>  |

Conform cu metodologia tabelii morfologice (tabelul 6.2), am ales printr-o decizie personală (influențată de variantele constructive avute la dispoziție) structura robotului mobil pe care l-am conceput. În fig.6.9 este prezentat desenul 3D al ansamblului robot mobil.

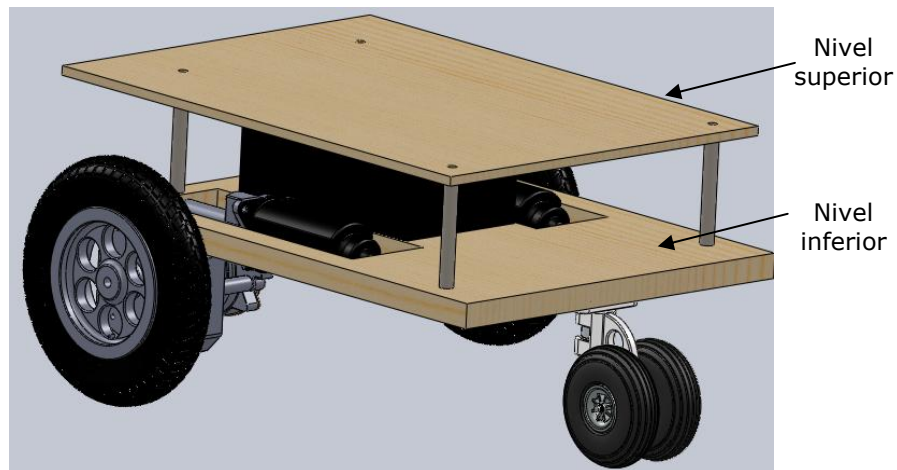


Fig.6.9. Robot mobil proiectat

Robotul mobil este proiectat, din punct de vedere al șasiului, pe două nivele fizice:

- *Nivelul inferior* pe care sunt amplasate: motoarele robotului și acumulatorul (fig.6.10).
- *Nivelul superior* pe care sunt amplasate elementele de comandă și control, elementele senzoriale și cele de navigație (fig.6.11).

Cele două niveluri ale șasiului sunt prinse între ele prin intermediul a patru distanțiere de inox. Structura permite adăugarea unui nivel suplimentar. Pe nivelul inferior al șasiului sunt prinse atât suportii pentru cele două roți motoare, cât și roata de tip Castor. Roata de tip Castor contribuie la asigurarea echilibrului static. Aceasta are două mobilități: o mobilitate în jurul axei verticale (rotație) și o mobilitate în jurul unei axe orizontale (tot rotație). Tot la acest nivel este amplasat acumulatorul (bateria) care asigură energia electrică necesară funcționării robotului mobil.

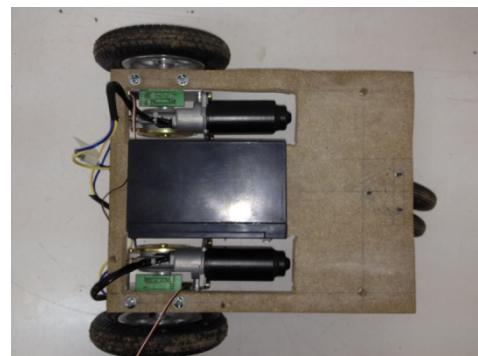
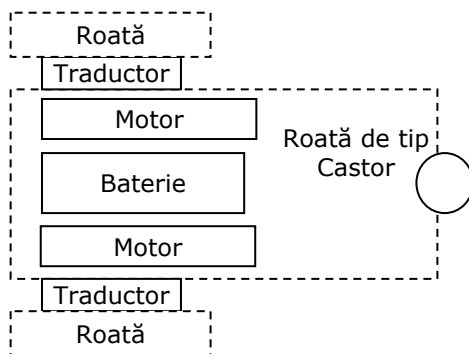


Fig.6.10. Nivelul inferior al șasiului robotului mobil

## 6.2. Utilizarea „filozofiei” mecatronice în proiectarea robotului mobil 141

Nivelul superior al șasiului are amplasat pe el următoarele elemente:

- *Întreprupător de alimentare* (2 poziții) pentru cuplarea și decuplarea circuitelor la sursa de energie (2buc.). Unul este responsabil de circuitul controlerelor motoarelor, celălalt fiind responsabil de circuitul aferent celorlalte componente. În acest mod se răspunde la nivel organic uneia dintre cerințele funcției de protecție.

- *Placă de bază BASIC STAMP Parallax* (3buc.) destinate deservirii următoarelor funcții: 1-locomoție (1buc.), 2- senzorială (1buc.) și respectiv 3-navigație (1buc.). Din punct de vedere ierarhic placa 1 are și rolul de coordonare generală.

- *Controler HB-25 pentru motorul de antrenare a roții motrice.* Fiecare dintre cele două roți motrice are prevăzut un modul mecatronic – motor, controler, traductor poziție, placă și circuite aferente.

Controler-ul îmbină avantajele componentei hardware (punte H) cu simplitatea comenzii;

- *Senzor în infraroșu pentru care s-au indicat caracteristicile de funcționare în capitolul 5* (2buc.);

- *Sistem senzorial cu ultrasunete* (2buc.) compus din: senzor cu ultrasunete PING și sistemul de orientare (servomotor c.c. 5V);

- *Busolă magnetică Hitachi* (1buc.), este inclusă în realizarea funcției de navigație [B12];

- *Modul wireless RF Transmitter* (1buc.), este destinat la nivel organic pentru realizarea funcției de comunicație;

- *Sistemul GPS Receiver* (1buc.), este destinat realizării funcției de navigație.

Cei doi senzori în infraroșu sunt amplasați în partea din față a robotului, asigurând obținerea de informații adecvate pentru deplasarea în condiții optime a robotului pe traiectoria impusă.

Senzorii cu ultrasunete sunt amplasați pe partea laterală a robotului mobil, asigurând detecția obstacolelor din această zonă.

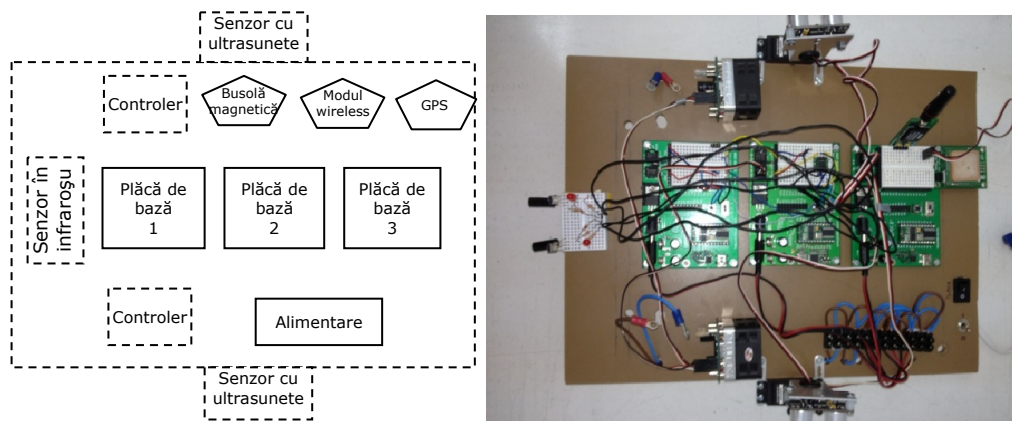


Fig.6.11.Nivelul superior al șasiului robotului mobil

Aspectul general al sistemului mecatronic realizat este prezentat în forma sa finală în fig.6.12.

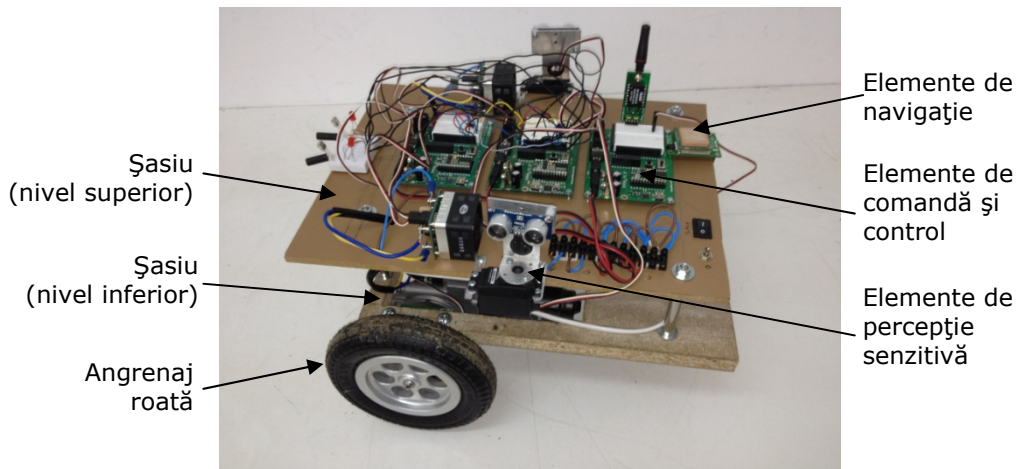


Fig.6.12. Robot mobil proiectat

### 6.3. Modelare și experiment în cadrul proiectării sistemului mecatronic autonom mobil

#### 6.3.1. Introducere

Beneficiile deosebite pentru produsul proiectat se obțin pe baza unui echilibru între modelare și analiză, respectiv validare experiment și construcție. Conceptul de mecanism fizic este extrem de larg și general. Acest concept este corelat cu noțiunea de sistem fizic și scoate în evidență interacțiunea conceptuală dintre elementele sistemului.

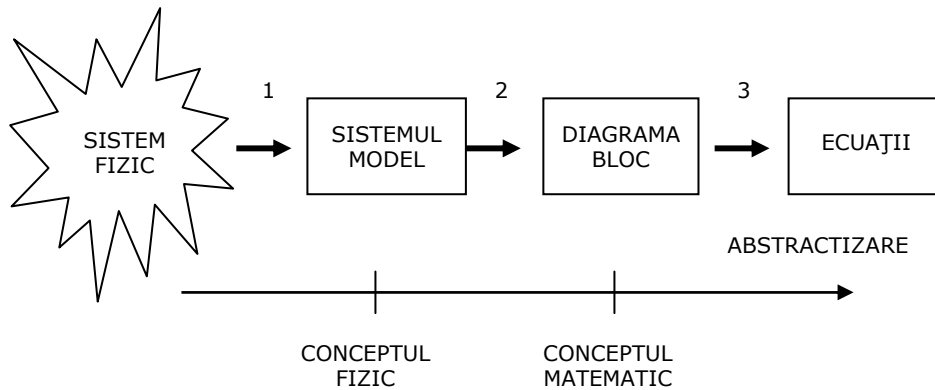


Fig.6.13. Corelare conceptuală

În plus, conceptul mecatronic de proiectare oferă o atenție deosebită unui echilibru între modelare, analiză și construcție, experiment. Acest lucru este sugerat în fig.6.14 pentru modulul mecatronic corespunzător conducerii unei roți motrice. Un astfel de echilibru asigură atingerea scopului urmărit în cadrul proiectării prin utilizarea în modelare și analiză a unor date/parametri reali obținuți din experiment.

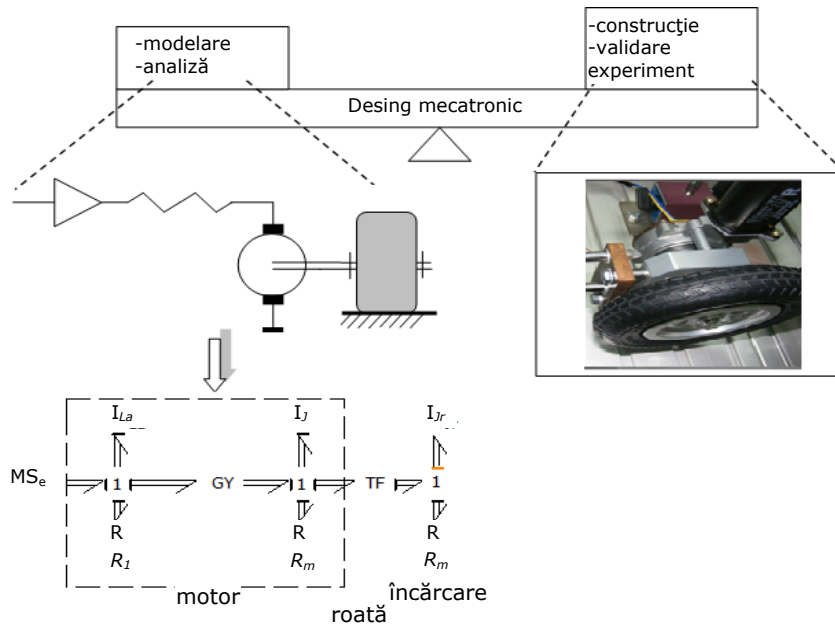


Fig.6.14.Echilibru între modelare, analiză și experiment

### 6.3.2. Analiza modului $I_{motor}$ tronic de conducere a unei roți motrice

#### 6.3.2.1. Componența modului

Modul se compune dintr-un motor de acționare de c.c., un reductor de turație, controler, placa de bază, traductorul opto-electronic cu circuitele aferente și roata motrică.

Spre placa de bază a funcției motrice

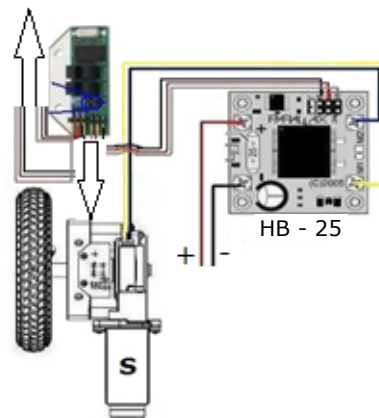


Fig.6.15.Modul mecatronic de conducere a roții motrice

### 6.3.2.2. Analiza teoretică și experimentală a motorului de acționare din cadrul modului

Motorul integrat în modulul mecatronic este un motor de c.c. cu perii, rotor cilindric și excitație prin magnet permanent (fig.6.16).

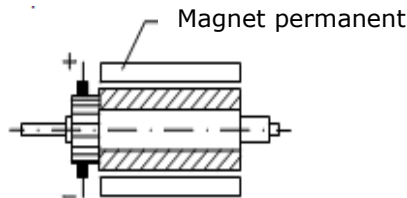


Fig.6.16. Magnet permanent

Circuitul electric al unui astfel de motor este prezentat în fig.6.17.

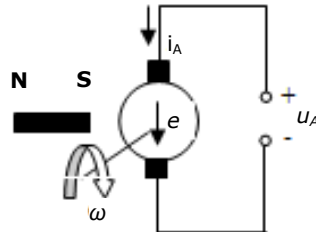


Fig.6.17. Circuitul electric al unui motor

În construcția modelului matematic se consideră următoarele ipoteze simplificatorii:

- Reacția indusului este neglijabilă și astfel se admite că fluxul de excitație pentru motor este  $\phi = \text{const}$ ;
- Circuitul magnetic al motorului este fără remanență și histereză;
- Căderea de tensiune la periiile motorului este constantă, de valori reduse și se neglijează;
- Elementele sistemului de acționare se consideră rigide și se neglijează eventualele elasticități.

Modelul matematic al sistemului este descris de sistemul de ecuații:

- ecuația circuitului electric corespunzător m.c.c.:

$$u = R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + e = R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + K_e \cdot \omega_r \quad (6.1)$$

unde:

$R_A$  - reprezintă rezistența indusului;

$L_A$  - inductivitatea indusului;

$\omega_r$  - viteza unghiulară a rotorului;

$K_e$  - coeficientul t.e.m.;

- ecuația de mișcare a rotorului (sau a elementului de reducere - echivalat cu rotorul - pentru un sistem antrenat):

$$J_r \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = M_m - \sum M_{rj} = K_m \cdot i_A - M_r - K_{fv} \cdot \omega_r \quad (6.2)$$

unde:

$J_r$  - momentul de inerție (al rotorului sau al elementului de reducere);

$M_m$  - momentul motor;

$M_r$  - momentul rezistent redus la arborele motorului;

$K_{fv}$  - coeficientul frecărilor vâscoase.

Modelul matematic poate fi completat, conform cu literatura de specialitate, cu ecuații corespunzătoare etapei de reducere a sistemului acționat la rotorul motorului electric.

Informațiile referitoare la caracteristicile motorului de c.c. din cadrul modului au fost minime și sunt prezentate în tabelul 6.3 [\*\*11]. Având acest lucru, a fost necesară determinarea experimentală a rezistenței indusului, a inductivității acestuia, a constantelor motorului și a momentului de inerție.

Tabelul 6.3

|                                  |                                    |      |
|----------------------------------|------------------------------------|------|
| Tensiunea nominală de alimentare | $U_n [V]$                          | 12   |
| Curentul nominal                 | $I_n [A]$                          | 3.3  |
| Turația rotorului                | $n \left[ \frac{rot}{min} \right]$ | 4725 |

### Determinarea rezistenței și a inductivității indusului

Cei doi parametri sunt necesari modelării matematice a subsistemului motor și implicit a modului.

Rezistența indusului s-a determinat prin măsurare directă și a avut valoarea de  $R_A=0.4 \Omega$ . Rezistența ansamblului fire de legătură-perie-colector este aproximativ  $0.1 \Omega$ .

Pentru determinarea inductivității indusului s-a realizat montajul din fig.6.18 pe care a fost aplicat un impuls de tensiune de scurta durată, înregistrându-se parametri de alimentare a motorului.

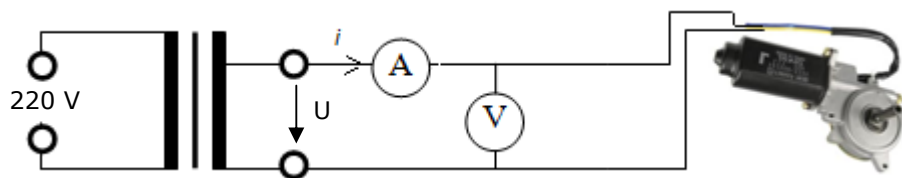


Fig.6.18.Rezistența indusului

Având în vedere că valoarea impedanței se poate calcula pe baza parametrilor mășurați, în baza relației:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{28.8}{16.7} = 1.724 \Omega \quad (6.3)$$

se poate determina valoarea inductivității din relațiile:

- reactanța inductivă

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_A \quad (6.4)$$

- inductivitatea

$$L_A = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (6.5)$$

unde  $f=50$  Hz este frecvența tensiunii de alimentare.

$$L_A = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} \cdot \sqrt{1.724^2 - 0.4^2} = \frac{1}{314} \cdot 1.677 = 5.34 \text{ mH} \quad (6.6)$$

Constanta de timp electrică a motorului va fi în acest caz:



$$\tau_e = \frac{L}{R} = \frac{5.34 \cdot 10^{-3}}{0.4} \cong 13,35 \text{ ms} \quad (6.7)$$

### Determinarea constantei tensiunii electromotoare a motorului

Pe baza turației nominale se poate determina viteza unghiulară nominală a motorului:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 4725}{60} = 494.55 \text{ rad/s} \quad (6.8)$$

Constanta tensiunii electromotoare  $k_e$ , în ipoteza fluxului de excitație constant, se determină pe baza parametrilor nominali ai motorului:

$$k_e = \frac{U_{An} - I_{An} \cdot R_A}{\omega_n} = \frac{12 - 3.3 \cdot 0.4}{494.55} = \frac{10.68}{494.55} = 0.0216 \frac{\text{Vs}}{\text{rad}} \quad (6.9)$$

### Determinarea coeficientului și cuplului de frecări vâscoase

Neglijând pierderile de comutație și pierderile în fier, se poate calcula (aproxima) cuplul frecărilor vâscoase  $M_{fv}$  pe baza relației [D4]:

$$M_{fv} = \frac{U_{An} \cdot I_{An} - I_{An}^2 \cdot R_n - P_m}{\omega_n} \quad [\text{Nm}] \quad (6.10)$$

unde  $P_m$  - reprezintă puterea mecanică la arborele motorului.

Pe baza valorilor cunoscute se calculează:

$$M_{fv} = \frac{12 \cdot 3.3 - 3.3^2 \cdot 0.4 - 1.132}{494.55} = 0.069 \text{ Nm} \quad (6.11)$$

Coeficientul frecărilor vâscoase se poate determina numeric:

$$K_{fv} = \frac{M_{fv}}{\omega_n} = \frac{0.069}{494.55} = 1.395 \cdot 10^{-4} \text{ Nms} \quad (6.12)$$

### Determinarea momentului de inerție al rotorului

Construcția modelului matematic și implicit simularea funcționării modului mecatronic necesită și cunoașterea momentelor de inerție ale elementelor mobile.

Firma constructoare a motorului electric nu furnizează date referitoare la momentul de inerție al rotorului. Pentru aproximarea momentului de inerție a rotorului s-a apelat la CAD 3D. Desenul ansamblului rotor, arbore, melc este prezentat în fig.6.19.

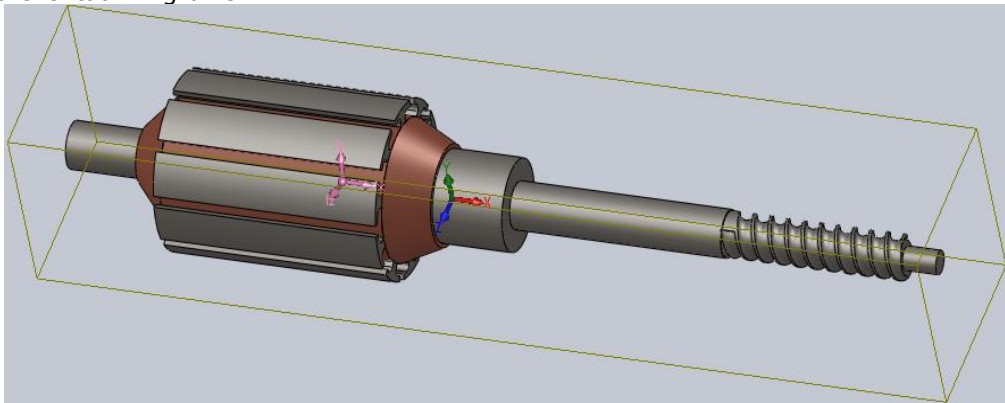


Fig.6.19. Modelul 3D pentru rotorul motorului



### 6.3. Modelare și experiment în cadrul proiectării sistemului 147

Caseta cu datele furnizate de proiectarea 3D (fig.6.19) aproximează momentul de inerție al rotorului la valoarea de 20,750 kgmm<sup>2</sup>.

```
Mass properties of Rotor ( Assembly Configuration - Standard )

Output coordinate System: -- default --

Mass = 266.88 grams

Volume = 32878.97 cubic millimeters

Surface area = 23516.95 millimeters^2

Center of mass: ( millimeters )
  X = -19.64
  Y = 0.59
  Z = 0.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: ( grams * square millimeters )
Taken at the center of mass.
  Ix = (1.00, -0.00, 0.00)      Px = 20705.95
  Iy = (0.00, 0.96, -0.28)    Py = 188735.45
  Iz = (-0.00, 0.28, 0.96)    Pz = 188736.27

Moments of inertia: ( grams * square millimeters )
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.
  Lxx = 20704.95      Lxy = -0.30      Lxz = 0.43
  Lyx = -0.30       Lyy = 188735.51   Lyz = -0.22
  Lzx = 0.43        Lzy = -0.22      Lzz = 188736.21

Moments of inertia: ( grams * square millimeters )
Taken at the output coordinate system.
  Ixx = 20797.87     Ixy = -3093.59   Ixz = 0.33
  Iyx = -3093.59    Iyy = 291708.82 Iyz = -0.22
  Izx = 0.33       Izy = -0.22     Izz = 291802.45
```

Fig.6.20. Casetă de date

#### 6.3.2.3. Analiza reductorului de turație

Modulul mecatronic din fig.6.21 are în componența sistemului de acționare a roții motoare un reductor melcat. Melcul este cuplat cu arborele motorului și are  $z_1=2$  încheputuri. Roata melcată este din material plastic și are  $z_2=63$  de dinți.

Astfel raportul de transmitere al reductorului este:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{63}{2} = 31.5 \quad (6.13)$$

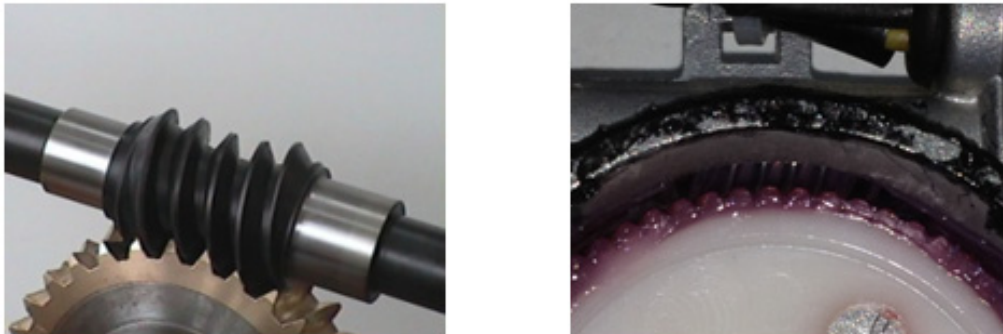


Fig.6.21. Angrenaj reductor melcat: a) teoretic b) motor DENSO

### 6.3.3. Modelul matematic al interacțiunii roată-cale de rulare

Sistemul autonom mobil, conform cu precizările și denumirile consacrate și prezentate anterior, are o structură cu 2 roți diferențiale și o roată de tip Castor. Cele două roți motrice sunt comandate independent, au o axă comună, orizontală și fixă în raportul cu șasiul sistemului. Se poate considera astfel că sistemul este alcătuit dintr-un solid (S) (echivalent șasiului) (fig 6.9) sprijinit pe un plan orizontal  $OXY$  prin intermediul celor două roți (1, 2) egale de rază  $R$  cu centrele în punctele  $A_1$  și  $A_2$  și a unei roți de tip Castor (3).

Studiul mișcării de rostogolire plană a roților (1, 2) poate fi echivalat într-o primă aproximare cu mișcarea unui disc circular de rază  $R$  rezemat pe un plan fix. Reperul fix este ales cu originea  $O$  în poziția inițială  $A_0$  a centrului discului (echivalent cu centrul roții), axa  $Ox$  paralelă cu planul mișcării și în sensul de mișcare a centrului  $A$ . Axa  $Oy$  completează reperul plan drept (fig.6.22).

Reperul  $Ox'y'$  atașat discului (și implicit roții) este ales astfel încât să coincidă în momentul inițial cu reperul fix.

În acest fel rezultă condiția  $y_A=0$  cu consecințele care decurg  $\dot{y}_A=0$  și  $\ddot{y}_A=0$ .

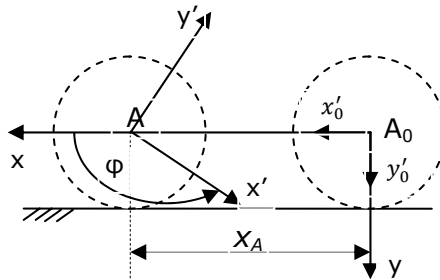


Fig.6.22. Roata în rostogolire pe un plan orizontal fix

Considerând că mișcarea se realizează de la dreapta spre stânga imaginii din figură, se pot stabili următoarele condiții pentru semnele celor doi parametri de poziție, variabili în timp:

$$x_A > 0 \quad (6.14)$$

$$\phi > 0 \quad (6.15)$$

și valorile scalare ale vitezei liniare și respective vitezei unghiulare.

$$v_A = \dot{x} > 0 \quad (6.16)$$

$$\omega = \dot{\phi} > 0 \quad (6.17)$$

Deplasarea discului rezemat se va numi:

- *rostogolire pură* dacă:

$$x_A = R \cdot \phi ; v_A = \dot{x}_A = R \cdot \dot{\phi} = R \cdot \omega \quad (6.18)$$

- *rostogolire cu alunecare* dacă:

$$x_A > R \cdot \phi ; v_A = \dot{x}_A > R \cdot \dot{\phi} = R \cdot \omega \quad (6.19)$$

- *rostogolire cu patinare* dacă:

$$x_A < R \cdot \phi ; v_A = \dot{x}_A < R \cdot \dot{\phi} = R \cdot \omega \quad (6.20)$$

Asupra roților motoare ale sistemelor autopropulsate în planul radial acționează următoarele forțe:

- Sarcina pe roată  $\vec{G}_1$ ;
- Reacțiunea normală a căii de rulare  $\vec{F}_n$ ;
- Rezistența la înaintare  $\vec{F}_R$ ;
- Forța de tracțiune  $\vec{F}_t$  creată de frecarea roții motoare pe calea de rulare.

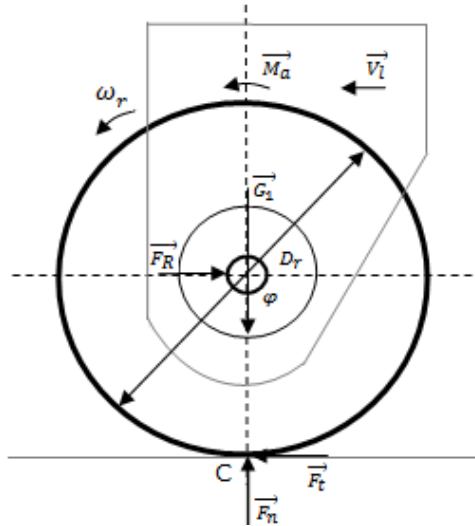


Fig.6.23. Acțiunea forțelor asupra sistemului rotor

La deplasarea fără patinare pe o suprafață plană (fig.6.23) relațiile dintre aceste forțe sunt:

$$F_n = G_1 \quad (6.21)$$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_t$$

Pentru învingerea rezistenței la înaintare, roata trebuie antrenată cu moment motor  $M_a$ :

$$M_a = F_t \cdot \frac{D_r}{2} \quad (6.22)$$

Rezistența la înaintare poate fi produsă de: sarcini orizontale de lucru; urcarea pe suprafețe înclinate (rampe); procesul de accelerare; rezistențele aerodinamice la înaintare.

Forța de tracțiune  $\vec{F}_t$  este dependentă de apăsarea normală  $\vec{F}_n$  a roții pe calea de rulare. Forța de tracțiune maximă este dată de formula:

$$\vec{F}_{t_{\max}} = \mu \vec{F}_n \quad (6.23)$$

unde coeficientul de frecare  $\mu$  nu poate fi considerat constant. Putem menționa astfel că aspectul de creare a forței de tracțiune pe un subsistem existent impune efectuarea unor cercetări experimentale care să valideze modelul admis.

Din relațiile (6.21), (6.22) și (6.23) rezultă dependența dintre sarcina pe o roată și momentul de antrenare.

$$K_S \cdot M_a = \mu G_1 \cdot \frac{D_r}{2} \quad (6.24)$$

unde  $K_S$  este coeficientul de siguranță la patinare.

Coeficientul de tracțiune  $\varphi_t$ , definit ca

$$\varphi_t = \frac{2M_a}{G_1 D_r} \quad (6.25)$$

are expresia:

$$\varphi_t = \frac{\mu}{K_S} \quad (6.26)$$

Valoarea sa se poate determina experimental măsurând momentul de acționare necesar și sarcina pe roată în diverse condiții de încercare.

Fenomenul de transfer al sarcinii este însoțit de alunecarea elastică între roată și calea de rulare. Viteza tangențială a roții de rulare în punctul de contact C

$$V_t = \omega_r \frac{D_r}{2} \quad (6.27)$$

este mai mare decât viteza de deplasare longitudinală:  $\vec{v}_l$ .

$$\vec{v}_t > \vec{v}_l \quad (6.28)$$

Coeficientul de alunecare elastică  $\epsilon_{el}$  este definit ca fiind raportul:

$$\epsilon_{el} = \frac{v_t - v_l}{v_t} = 1 - \frac{2v_l}{\omega_r \cdot D_r} \quad (6.29)$$

acest coeficient poate fi utilizat pentru determinarea vitezei de alunecare a roții pe calea de rulare:

$$v_{al} = v_t - v_l = \epsilon_{el} \cdot v_t \quad (6.30)$$

Dependența dintre coeficientul de tracțiune și coeficientul de alunecare, deși evident crescătoare, este dificil de estimat analitic cu suficientă precizie pentru a fi utilizată în cazuri practice de programare a traiectoriei. Este necesară determinarea experimentală a dependenței  $\epsilon_{el} = \epsilon_{el}(\varphi_t)$ .

Alunecarea elastică are ca efect pierderea de putere la contactul dintre roată și calea de rulare:

$$\Delta P_{el} = v_{al} \cdot F_t = \epsilon_{el} \cdot \omega_r \cdot M_a \quad (6.31)$$

### 6.3.4. Modelarea/simularea și studiul experimental al modului mecatronic

#### 6.3.4.1. Modelarea și simularea modului mecatronic în mediul MatLab/Simulink

Schema standului experimental, vizat pentru o analiză experimentală este prezentată în fig 6.24. În același timp schema prezentată permite evaluarea unor parametri necesari în modelarea matematică a modului.

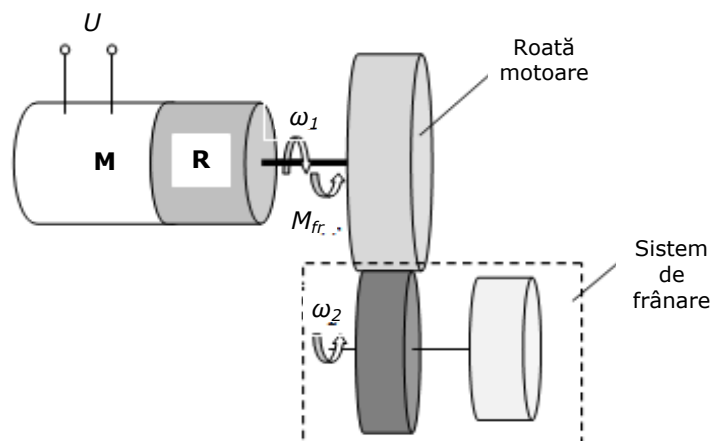


Fig.6.24. Schema standului experimental

Astfel se pot determina:

- *momentul de inerție redus la arborele motorului:*

$$J_{red} = J_{rotor} + J_{roata} \cdot \frac{1}{2} \quad (6.32)$$

### 6.3. Modelare și experiment în cadrul proiectării sistemului 151

unde  $i=31.5$ . S-a neglijat momentul de inerție a roții motoare având în vedere realizarea din material plastic a acesteia și astfel este o valoarea redusă a momentului;

- *relațiile de dependență a vitezelor unghiulare  $\omega_1$  și  $\omega_2$  sub influența fenomenului de alunecare existent între roata motoare și sistemul de frânare prin fricțiune:*

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1 \cdot (1-\xi)}{R_2} \quad (6.33)$$

unde  $R_1$  și  $R_2$  sunt parametri geometrice ai celor două roți, iar  $\xi$  este coeficientul de alunecare elastică.

- *momentul rezistent redus la arborele motorului:*

$$M_{r,red} = M_{fr} \cdot \frac{1}{i} \quad (6.34)$$

Momente de inerție a roții motrice a fost aproximat în urma proiectării CAD 3D (Anexa 6.1).

Valoarea redusă a acestuia permite aproximarea ( $J_{roată} = 0.547 \cdot 10^{-3} \text{kgm}^2$ ):

$$J_{red} \cong J_{rotor} \quad (6.35)$$

Pe baza modelului matematic al motorului (§ 6.3.2.2), ale ecuațiilor suplimentare, prezentate anterior, și aplicând transformata Laplace, se pot determina funcțiile de transfer:

$$G_{1(s)} = \frac{I(s)}{U(s) - E(s)} = \frac{1}{sL_A + R_A} \quad (6.36)$$

$$G_{2(s)} = \frac{M_m(s)}{I(s)} = K_m \quad (6.37)$$

$$G_{3(s)} = \frac{E(s)}{\Omega(s)} = K_e \quad (6.38)$$

$$G_{4(s)} = \frac{M_{fv}(s)}{\Omega(s)} = K_{fv} \quad (6.39)$$

$$G_{5(s)} = \frac{M_{r,red}(s)}{M_{fr}(s)} = \frac{1}{i} \quad (6.40)$$

$$G_{6(s)} = \frac{\Omega(s)}{\sum M(s)} = \frac{1}{sJ_{red}} \quad (6.41)$$

Utilizând algebra schemelor bloc, pe baza funcțiilor de transfer anterioare se pot construi schemele bloc ale sistemului analizat. În fig.6.25 se consideră cazul în care s-a admis mărimea de intrare ca fiind tensiunea de alimentare a motorului, iar mărimea de ieșire viteza unghiulară.

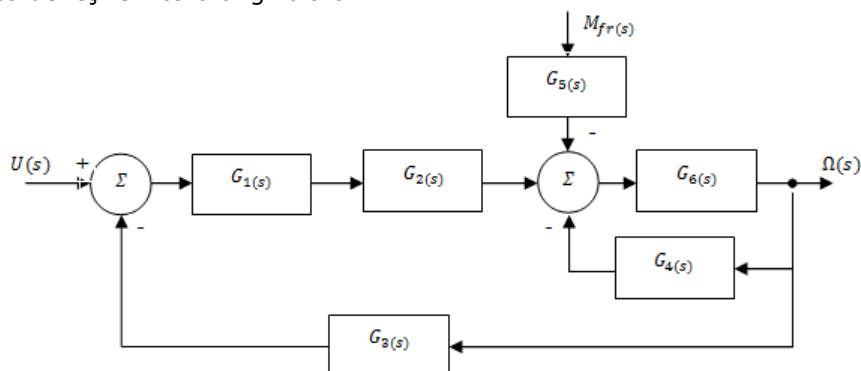


Fig.6.25.Schema bloc a sistemului

Menționăm în mod suplimentar că elementul de reducere este rotorul motorului electric.

Aplicând principiul superpoziției, mărimea de ieșire a sistemului - viteza unghiulară a motorului - se determină ca fiind:

$$\Omega(s) = \Omega'(s) + \Omega''(s) \quad (6.42)$$

corespunzător celor două cazuri:

- perturbație zero  $M_{fr(s)} = 0$

$$\Omega'(s) = \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot G_{4,6}}{1 + G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_{4,6}} \cdot U(s) \quad (6.43)$$

- intrare zero  $U(s) = 0$

$$\Omega''(s) = -\frac{G_6}{1 + G_4 \cdot G_6 + G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_6} \cdot U(s) \quad (6.44)$$

unde

$$G_{4,6} = \frac{G_6}{1 + G_4 \cdot G_6} \quad (6.45)$$

Neglijând efectul perturbator se poate determina mărimea de ieșire:

$$\Omega(s) = \Omega'(s) = \frac{k_m}{(sL_A + R_A) \cdot (sJ_{red} + k_{fv}) + k_m \cdot k_e} \cdot U(s) \quad (6.46)$$

Pe baza valorilor rezultate din analiza experimentală a modulului se poate determina funcția de transfer a sistemului:

$$\Omega(s) = \frac{19 \cdot 10^3}{0.848 \cdot s^2 + 17.188 \cdot s + 361} \cdot U(s) \quad (6.47)$$

Utilizând mediul Matlab/Simulink se poate realiza simularea funcționării sistemului. Schema bloc de lucru este prezentată în fig.6.26, iar rezultatul simulării pentru o mărime de intrare de tip treaptă ( $U=8V$ ) este prezentat în fig.6.27.

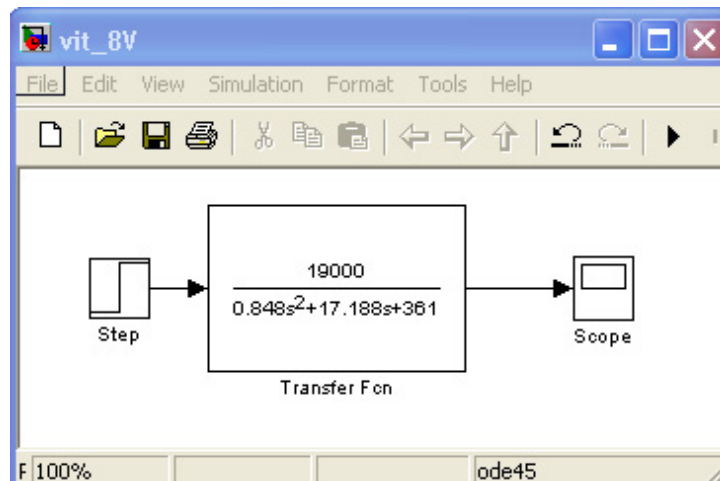


Fig.6.26. Schema de lucru a sistemului

Admițând existența factorului perturbator se poate determina modelul matematic aferent. Pe baza valorilor experimentale determinate se poate determina funcția de transfer:

$$\Omega''(s) = \frac{0.154 \cdot s + 25.4}{0.1 \cdot s^2 + 0.0172 \cdot s + 0.361} \quad (6.48)$$

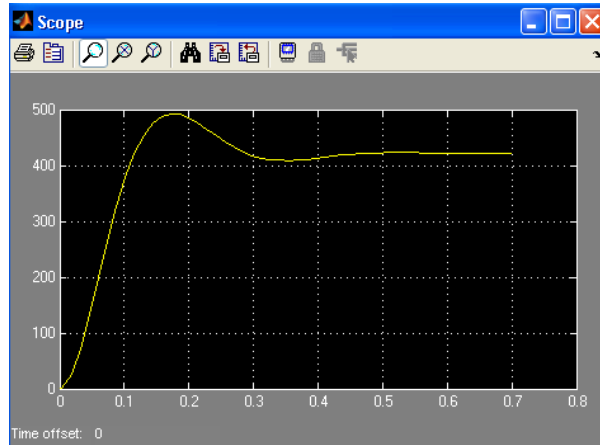


Fig.6.27.Rezultatul simulării pentru o mărime  $U=8V$

În acest caz se poate analiza răspunsul sistemului la un semnal treaptă de intrare (tensiune de alimentare  $U=12V$ ) și un semnal treaptă unitar perturbator. Modelul dezvoltat în mediul Simulink/Matlab este prezentat în fig.6.28, iar răspunsul sistemului în fig.6.29.

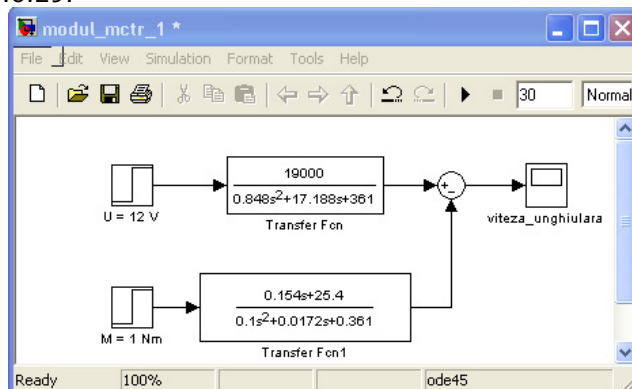


Fig.6.28.Schema bloc în mediul Simulink/Matlab

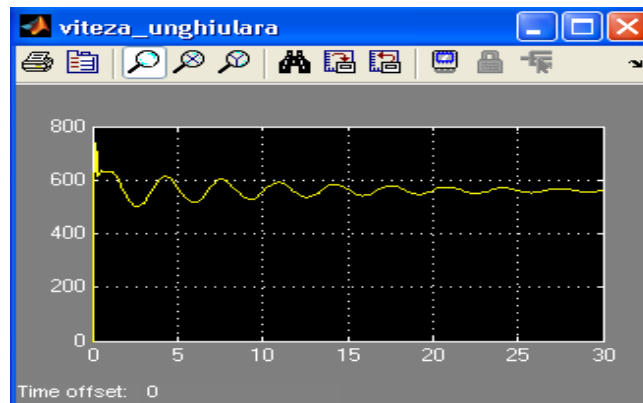


Fig.6.29.Răspunsul sistemului în prezența unui semnal perturbator

Pe baza rezultatului obținut se poate concluziona că sistemul este puternic influențabil de efectele perturbatoare, iar durata regimului tranzitoriu este ridicată.

#### 6.3.4.2. Studiul experimental al modului mecatronic

Standul experimental este prezentat în fig.6.30. Experimentul a vizat obținerea unor date primare pentru evidențierea funcționării sistemului cu anumiți parametri și pentru evaluarea fenomenului de alunecare elastică.

Modulul mecatronic (1) este montat pe sanie (2) și este apăsat de către cilindrul pneumatic (3) pe roata condusă (4), care modelează calea de rulare. Modulul mecatronic este prins de sanie printr-un cuplaj (8), proiectat și realizat în atelier.

Pe periferia roții conduse se pot monta inele de fricțiune din diferite materiale, pentru a studia comportamentul roată-cale de rulare pe diferite suprafețe.

Roata condusă a sistemului de frânare este montată pe arborele (5) lăgăruit pe rulmenți cu bile (6) și cuplat cu frâna electromagnetică (7). Aceasta are rolul de a impune un moment rezistent controlat pentru a simula diferitele cazuri de exploatare.

Turația modului mecatronic este înregistrată pe baza informației obținută de la traductorul opto-electronic integrat în modul. Turația arborelui condus (aparținător sistemului de frânare) este măsurată pe baza traductorului optic (11).

Presiunea fluidului din cilindrul pneumatic (3) este măsurată cu ajutorul manometrului (9) și reglată prin valvă (10).

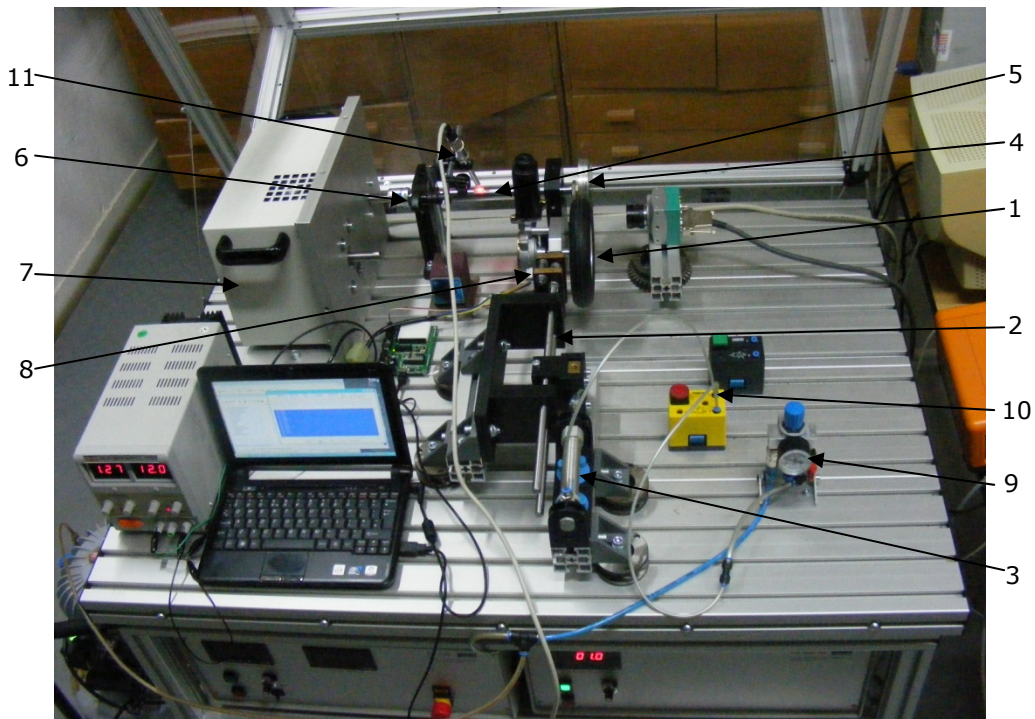


Fig.6.30. Stand experimental



### 6.3. Modelare și experiment în cadrul proiectării sistemului 155

Procedura de lucru a studiului experimentat a constat în:

- alimentarea sistemului cu tensiune;
- cuplarea sursei de tensiune la rețea și setarea valorii dorite;
- cuplarea frânei electromagnetice și setarea valorii dorite pentru momentul de frânare;
- alimentarea circuitului pneumatic cu fluid, la presiunea dorită;
- verificarea integrității sistemului de achiziții de date și a fluxului de informație;
- pornirea motorului integrat în modul mecatronic;
- asigurarea presiunii fluidului în cilindrul pneumatic, astfel încât să se realizeze forța de apăsare prescrisă;
- înregistrarea informațiilor din sistem;
- închiderea fazei experimentale în succesiunea: întreruperea alimentării cu fluid a cilindrului, decuplarea motorului de la sursa de alimentare, decuplarea circuitelor electronice ale modului, decuplarea frânei electromagnetice și decuplarea sursei de tensiune;
- se trece la o nouă fază experimentală.

Rezultatele experimentale înregistrate pe parcursul experimentului sunt prezentate în Anexa 6.2.

În urma înregistrării datelor și prelucrării lor statistic, au fost ridicate caracteristicile mecanice artificiale ale motorului integrat în modul (fig.6.31, fig.6.32, fig.6.33).

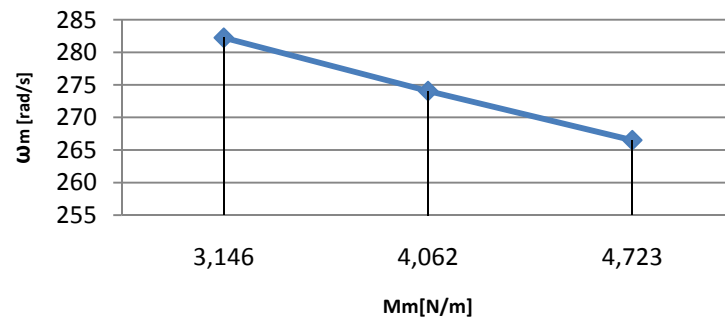


Fig.6.31. Caracteristica mecanică motoare pentru 8V

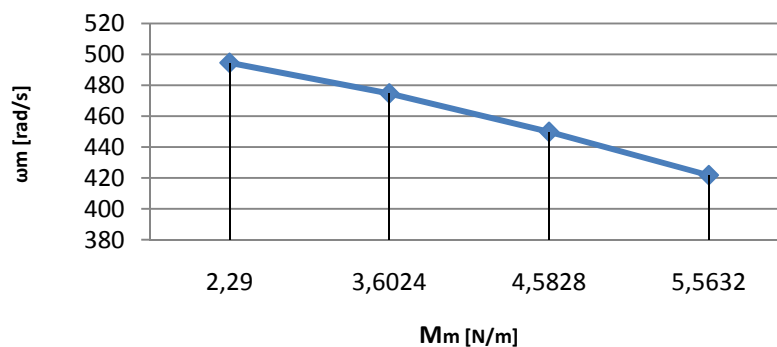


Fig.6.32. Caracteristica mecanică motoare pentru 12V

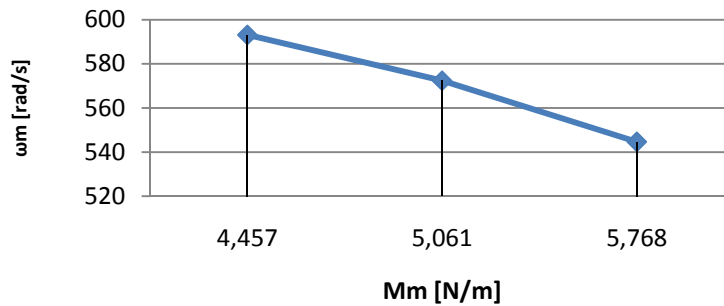


Fig.6.33. Caracteristica mecanică motoare pentru 14.5V

Rezultatele obținute pe parcursul simulării și a analizei experimentale, au scos în evidență sensibilitatea sistemului la efectele perturbatoare.

## 6.4. Modelarea și simularea sistemului mecatronic autonom mobil

### 6.4.1. Modelarea cinematicii sistemului mecatronic proiectat

În sistemul de coordonate  $O_0X_0Y_0Z_0$  atașat sistemului autonom mobil se definește punctul de referință  $P$  care descrie poziția robotului în sistemul general de coordonate  $OXYZ$ . Coordonatele acestui punct  $x_p, y_p$  se pot determina din deplasările centrelor celor două roți conform cu considerentele anterioare. În fig.6.34a se prezintă cazul în care suporturile vitezelor celor două puncte  $A_1$  și  $A_2$  sunt paralele și egale. În această situație centrul instantaneu de rotație se află la infinit, regăsindu-se mișcarea liniară de translație a sistemului autonom mobil. În fig.6.34b se prezintă cazul în care suporturile vitezelor sunt paralele dar vitezele nu sunt egale. În acest caz centrul instantaneu de rotație se găsește la intersecția dintre axa de rotație a celor două roți și dreapta care unește vârfurile vectorilor viteze.

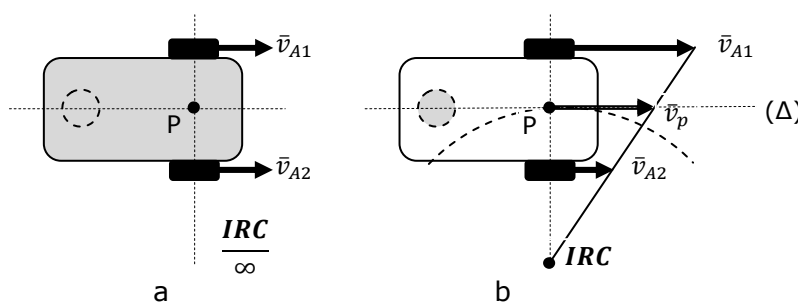


Fig.6.34. Robotul mobil și centrul instantaneu de rotație

Viteza liniară a sistemului este definită în acest caz de viteza punctului  $P$  și valoarea scalară

$$v_p = \frac{v_{A1} + v_{A2}}{2} \quad (6.49)$$

iar vectorul viteză va fi tangent traiectoriei descrise (fig.6.35). Axa longitudinală a sistemului descris va face astfel un unghi  $\alpha$  cu axa sistemului fix (fig.6.36).

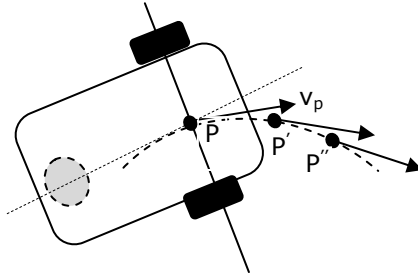


Fig.6.35.Punctul P pe o traiectorie circulară

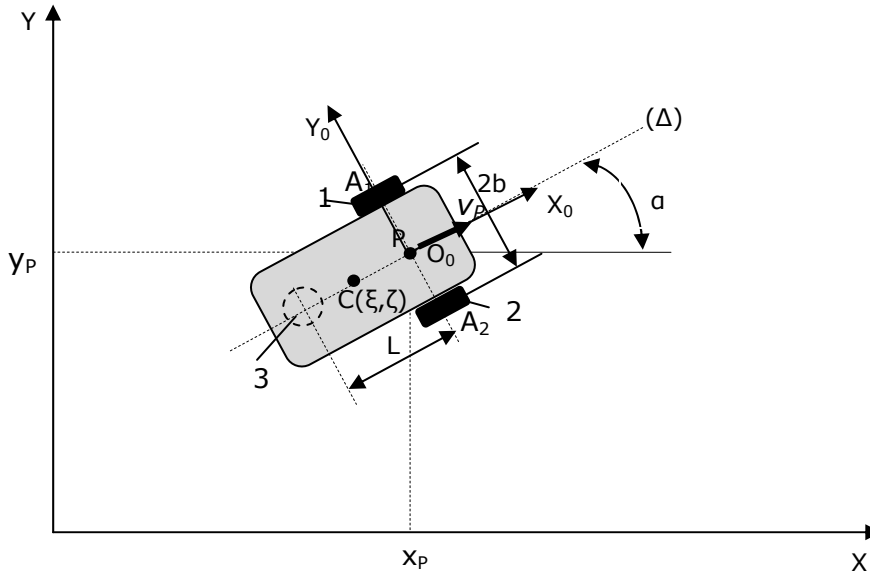


Fig.6.36.Situarea robotului mobil față de sistemul de referință fix

Pe baza considerentelor anterioare se poate concluziona că există cinci parametri care descriu configurația sistemului autonom mobil în raport cu sistemul fix:

- coordonatele  $x_p, y_p$  ale punctului P;
- rotațiile unghiulare ale celor două roți motoare  $\varphi_1$  și  $\varphi_2$ ;
- unghiul  $\alpha$  al axei longitudinale cu axa  $Ox$ .

Sistemul de ecuații cinematice care descriu această configurație este:

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1 \quad (6.50)$$

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2 \quad (6.51)$$

$$\dot{x}_p = v_p \cdot \cos \alpha \quad (6.52)$$

$$\dot{y}_p = v_p \cdot \sin \alpha \quad (6.53)$$

$$\frac{dy_p}{dx_p} = \tan \alpha \quad (6.54)$$

Poziția centrului instantaneu de rotație este dat de raza de mișcare a punctului  $P$ :

$$\rho = \frac{V_{A1} + V_{A2}}{V_{A1} - V_{A2}} \cdot b \quad (6.55)$$

Modelul matematic descris de sistemul de ecuații (rel.6.50-6.55) permite simularea cinematicii directe pentru sistemul analizat. Mărimile de intrare sunt vitezele unghiulare ale celor două roți motoare, iar mărimile de ieșire sunt coordonatele punctului de referință  $P$ , viteza acestuia și unghiul de rotație a sistemului mobil în raport cu cel fix.

În fig.6.37 este prezentată schema bloc a modelului, dezvoltată în mediul Simulink/Matlab.

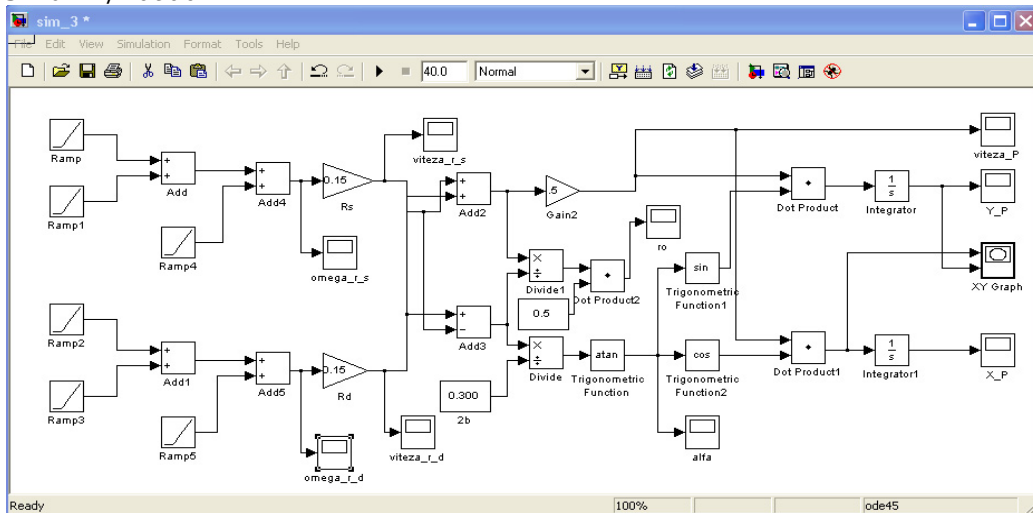


Fig.6.37. Schema bloc a modelului dezvoltată în mediul Simulink/Matlab

Au fost admise cunoscute razele celor două roți de rulare  $R=150\text{mm}$ , ecartamentul  $2b=300\text{mm}$  și legile de mișcare pentru vitezele unghiulare ale roților (fig.6.38). Vitezele unghiulare  $\omega$  [ $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ] au fost considerate inegale, iar durata mișcării a fost considerată pe un interval de 40s.

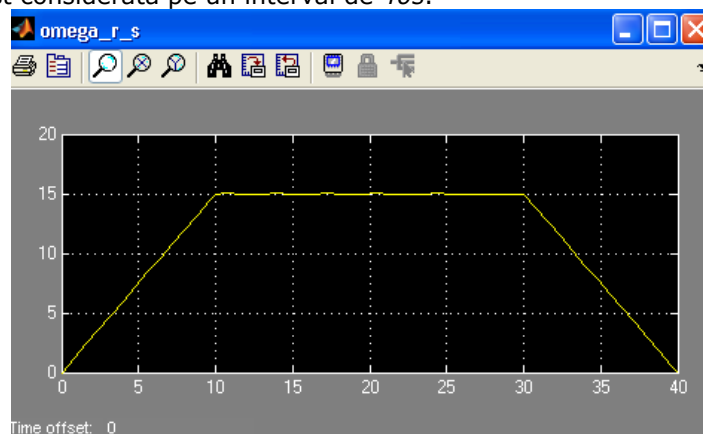


Fig.6.38. Legea de mișcare pentru viteza unghiulară a roții motrice din stânga, rezultată din simulare

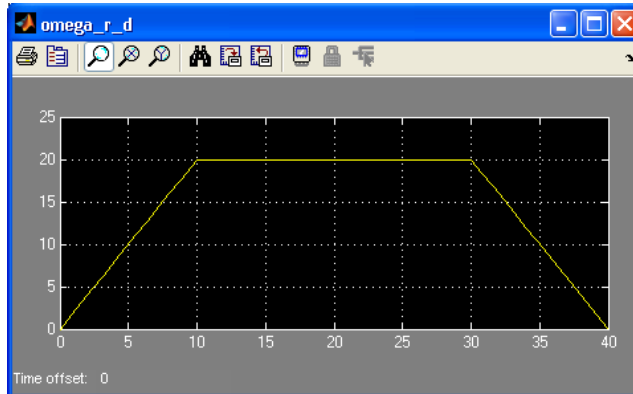


Fig.6.39. Legea de mișcare pentru viteza unghiulară a roții motrice din dreapta, rezultată din simulare

Rezultatele simulării sunt prezentate în fig.6.40 și fig.6.41 fiind în concordanță cu valorile estimate și considerentele teoretice.

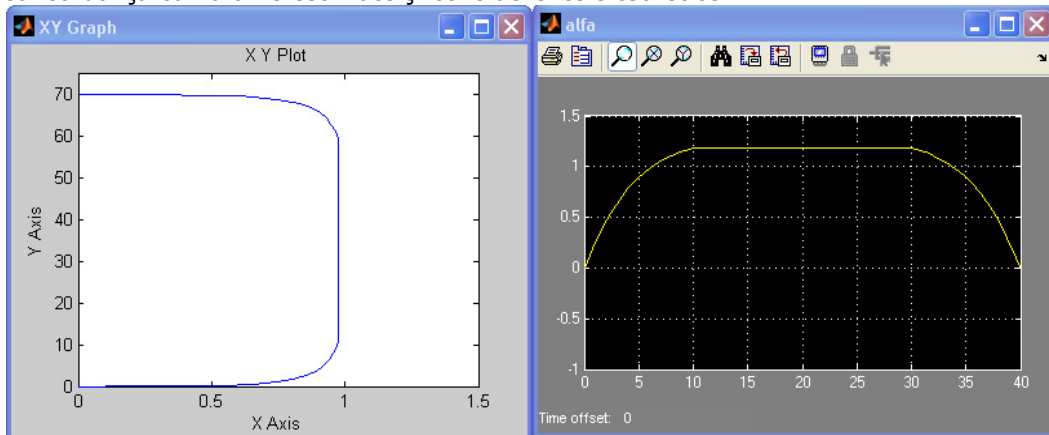


Fig.6.40. a) Traectoria descrisă de către punctul P b) Orientarea robotului față de sistemul de axe fix

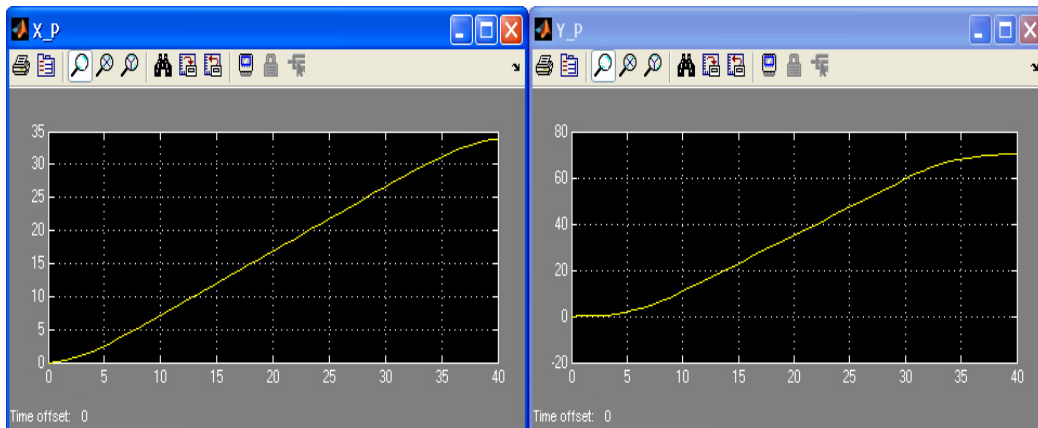


Fig.6.41. Coordonatele punctului P

Modelul matematic prezentat anterior permite după transformări simularea cinematicii inverse a robotului mobil: considerând ca și mărimi de intrare legea de mișcare pentru viteza liniară a sistemului (reprezentat prin punctul  $P$ ) și traiectoria dorită descrisă matematic printr-o funcție  $y_p = y_p(x_p)$ , se urmărește determinarea valorilor pentru vitezele unghiulare ale celor două roți motoare care să asigure parcurgerea traiectoriei date.

Traietoria punctului caracteristic se poate descrie în mod explicit printr-o ecuație de forma:

$$y_p = y_p(x_p) \quad (6.56)$$

sau printr-o reprezentare parametrică

$$x_p = \varphi(t); y_p = \psi(t); t_1 < t < t_2 \quad (6.57)$$

Pentru o traiectorie circulară a punctului caracteristic  $P$ , lungimea arcului parcurs de acesta în raport cu sistemul de referință fix se poate scrie sub forma diferențială (fig.6.42):

$$ds_p = \rho \cdot d\theta \quad (6.58)$$

sau sub forma unor creșteri finite:

$$\Delta s_p = \rho \cdot \Delta\theta \quad (6.59)$$

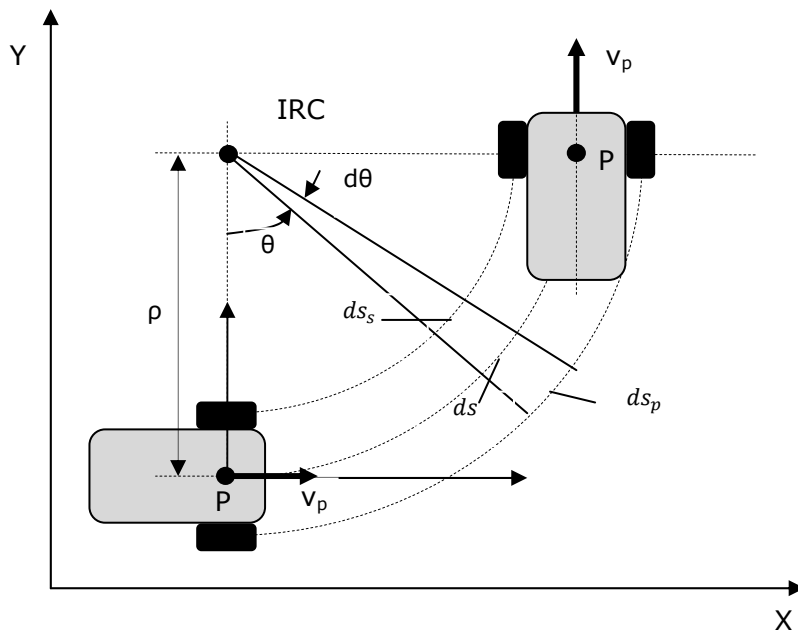


Fig.6.42. Traietoriile circulare descrise de robotul mobil

În același mod se pot determina lungimile arcelor de cerc parcurse de axele celor două roți motoare:

$$\Delta s_s = (\rho - b) \cdot \Delta\theta \quad (6.60)$$

$$\Delta s_d = (\rho + b) \cdot \Delta\theta \quad (6.61)$$

Pentru o traiectorie liniară impusă punctului caracteristic coeficientul unghiular se poate determina în mod simplu. Modelul dezvoltat în mediul Simulink/Matlab pentru cinematica inversă a robotului cu parametri geometrici specificați anterior și o lege de mișcare impusă pentru punctul caracteristic  $P$  (fig.6.43) este prezentat în fig.6.44.

6.4. Modelarea și simularea sistemului mecatronic autonom mobil 161

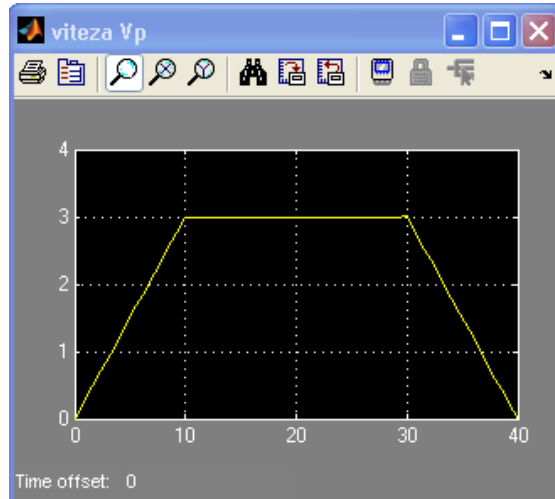


Fig.6.43. Legea de mișcare pentru punctul caracteristic P

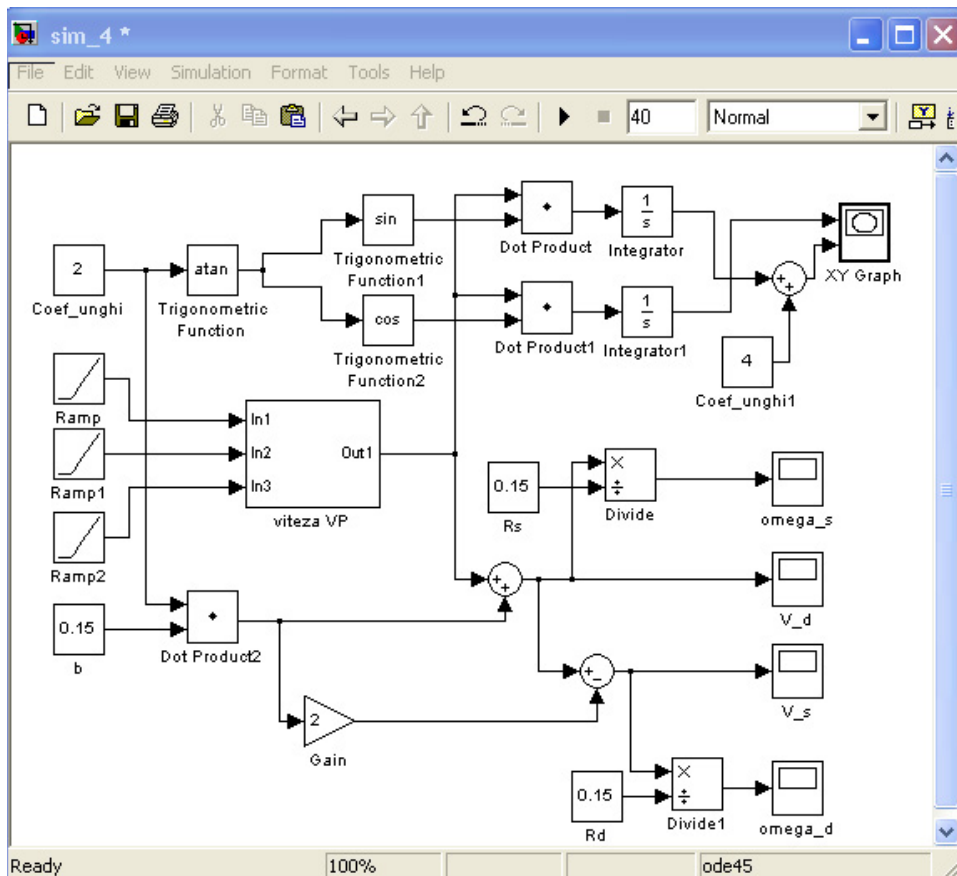


Fig.6.44. Modelul cinematicii inverse în Matlab/Simulink

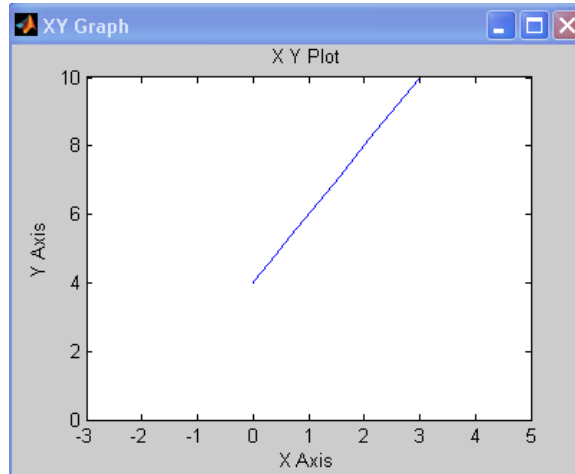


Fig.6.45.Traiectoria liniară descrisă de robotul mobil

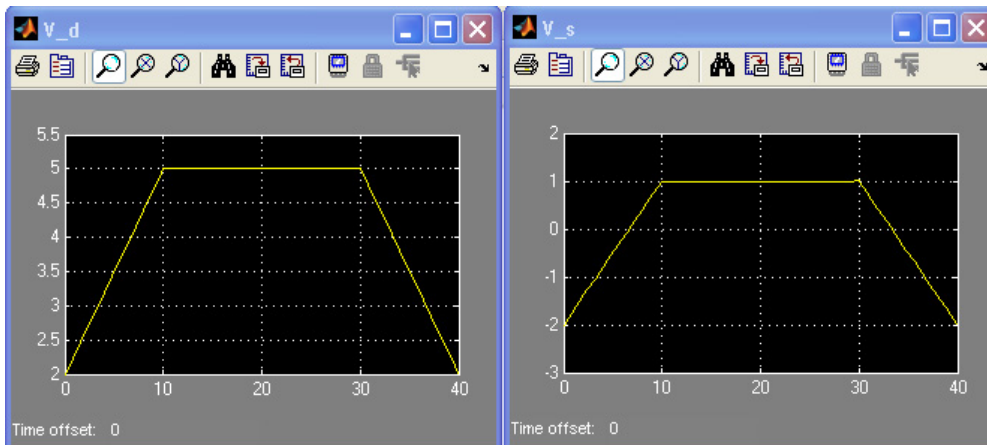


Fig.6.46.Vitezele liniare ale roților motrice

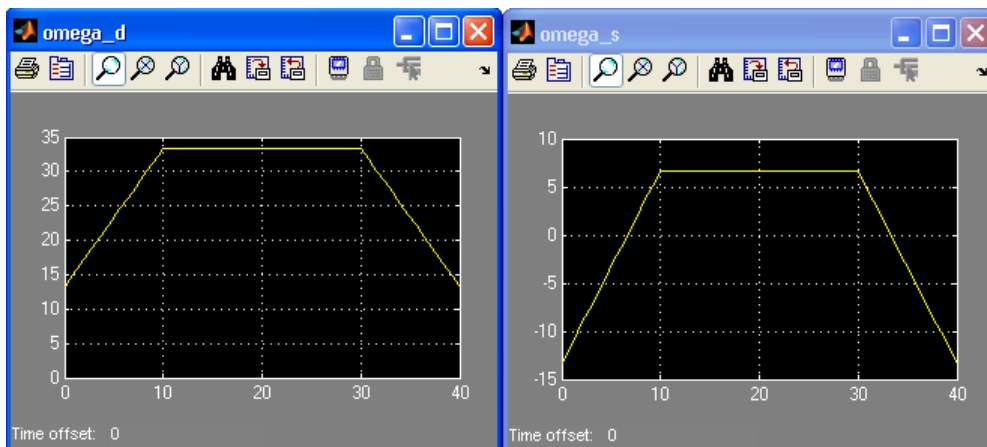


Fig.6.47.Vitezele unghiulare ale roților motrice



### 6.4.2. Modelarea dinamicii sistemului mecatronic

Coordonatele unui punct din sistemul de coordonate  $O_0X_0Y_0Z_0$  se pot determina în sistemul fix  $OXYZ$  pe baza transformării matriceale (fig.6.36):

$$\{X\} = \{X_0\} + [R_0] \cdot \{X'_0\} \quad (6.62)$$

$$\{X\} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \{X_0\} = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 0 \end{bmatrix} \quad [R_0] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \{X'_0\} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6.63)$$

În acest mod coordonatele centrului de greutate al robotului din sistemul de referință atașat robotului (punctul  $C(\xi, \zeta)$ ), se pot determina în raport cu sistemul de referință global.

$$x_C = x_p - \xi \cdot \cos \alpha \quad (6.64)$$

$$y_C = y_p - \xi \cdot \sin \alpha \quad (6.65)$$

Componentele vitezei liniare a centrului de greutate vor fi astfel:

$$\dot{x}_C = \dot{x}_p + \dot{\xi} \cdot \sin \alpha \quad (6.66)$$

$$\dot{y}_C = \dot{y}_p - \dot{\xi} \cdot \cos \alpha \quad (6.67)$$

și implicit:

$$v_C^2 = \dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2 = \dot{x}_p^2 + \dot{y}_p^2 - 2 \cdot \dot{\xi} \cdot \dot{\alpha} \cdot (\dot{y}_p \cdot \cos \alpha - \dot{x}_p \cdot \sin \alpha) + \dot{\xi}^2 \cdot \dot{\alpha}^2 \quad (6.68)$$

Pentru determinarea modelului matematic al robotului mobil se apelează la principiile clasice din mecanică, conform cărora mișcarea sistemului este dată de ecuațiile lui Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_C}{\partial \dot{q}_k} \right) - \left( \frac{\partial E_C}{\partial q_k} \right) = Q_k \quad (6.69)$$

unde:  $E_C$  reprezintă energia cinetică a sistemului,  $\dot{q}_k$  reprezintă viteza generalizată,  $q_k$  reprezintă coordonata generalizată, iar  $Q_k$  reprezintă forțele generalizate.

Energia cinetică a sistemului autonom mobil se compune din energia cinetică  $E_{cs}$  a șasiului (pe care sunt concentrate subsistemele de acționare, sursa de alimentare, elementul suport) și energia cinetică a celor două roți motrice ( $E_{cr1}$  și  $E_{cr2}$ ):

$$E_C = E_{cs} + E_{cr1} + E_{cr2} \quad (6.70)$$

Pentru evaluarea energiei cinetice apelăm la *teorema lui Koenig* referitoare la energia cinetică a unui sistem: energia cinetică a unui sistem de puncte materiale în mișcarea sa față de un triedru fix este egală cu energia cinetică a sistemului în mișcarea sa față de un triedru care are originea în centrul de greutate al sistemului și direcțiile axelor fixe, sumată cu energia cinetică a centrului maselor în care a fost concentrată toată masa sistemului [V7].

Pe baza teoremei lui Koenig se poate determina energia cinetică a șasiului sistemului analizat ca fiind:

$$E_{cs} = \frac{M \cdot v_C^2}{2} + \frac{J_C \cdot \dot{\alpha}^2}{2} \quad (6.71)$$

unde:  $M$  este masa solidului identificat cu șasiul sistemului mecatronic,  $v_C$  este viteza liniară a centrului de greutate  $C$ ,  $J_C$  este energia cinetică a solidului față de un sistem de referință  $C_{xyz'}$  cu originea în centrul de greutate al sistemului și axele paralele cu ale sistemului de referință global  $Oxyz$ , iar  $\dot{\alpha}$  este viteza unghiulară a solidului în jurul axei  $Cz'$ .

În același mod se poate calcula energia cinetică a fiecărei roți motrice:

$$E_{cr1} = \frac{m \cdot v_{A1}^2}{2} + E_{cr1}, \quad (6.72)$$

unde:  $m$  este masa unei roți motrice,  $v_{A1}$  este viteza liniară a punctului  $A_1$  iar  $E_{cr1}$  este energia cinetică a roții în mișcarea sa față de centrul  $A_1$  al roții.

Viteza liniară a punctului  $A_1$  se poate determina în funcție de viteza liniară a punctului de referință  $P$  și viteza relativă a acestuia față de  $A_1$ , astfel că există relația:

$$v_{A1}^2 = (\dot{x}_p + b \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_p + b \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha)^2 \quad (6.73)$$

Energia cinetică a roții în mișcarea sa față de centrul roții se poate evalua considerând sistemul de referință  $A_{1xyz}$  având originea în centrul roții și axele paralele cu cele ale sistemului de referință fix  $Oxyz$ . Mișcarea roții motrice față de sistemul de referință admis constă dintr-o mișcare în jurul axei de rotație  $A_1P$  cu viteza unghiulară  $\dot{\phi}_1$  și mișcarea de rotație în jurul axei  $A_{1z}$  de viteză unghiulară  $\dot{\alpha}$ .

Relația de calcul a energiei va fi în acest caz:

$$E_{cr1} = \frac{1}{2} \cdot (J_{xx} \cdot \dot{\phi}_1^2 + J_{zz} \cdot \dot{\alpha}^2) \quad (6.74)$$

În același mod poate fi evaluată energia cinetică a roții 2, cu mențiunea că viteza liniară a punctului  $A_2$  se poate determina în funcție de viteza liniară a punctului de referință  $P$  și viteza relativă a acestuia față de  $A_2$ , astfel că există relația:

$$v_{A2}^2 = (\dot{x}_p - b \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_p - b \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha)^2 \quad (6.75)$$

În faza de proiectare și experimentare a sistemului (în concept mecatronic) se poate apela la facilitățile oferite de proiectarea asistată de calculator, astfel estimând masele necunoscute ale elementelor componente sau momentele de inerție.

Pe baza relațiilor anterioare se poate determina expresia energiei cinetice a sistemului autonom mobil:

$$E_c = \frac{M_{tot}}{2} \cdot (\dot{x}_p^2 + \dot{y}_p^2) - M \cdot \xi \cdot \dot{\alpha} \cdot (\dot{y}_p \cdot \cos \alpha - \dot{x}_p \cdot \sin \alpha) + \frac{J \cdot \dot{\alpha}^2}{2} + \frac{J_{xx}}{2} \cdot (\dot{\phi}_1^2 + \dot{\phi}_2^2) \quad (6.76)$$

unde:

- $M$  este masa totală a sistemului autonom mobil  $M_{tot} = M + 2m$ ;
- $J$  este momentul de inerție a întregului sistem față de axa  $Cz$

$$J = J_c + M \cdot \xi^2 + 2m \cdot b^2 + 2J_{zz} \quad (6.77)$$

Înlocuind expresia energiei cinetice în ecuațiile de ordinul 2 ale lui Lagrange se determină ecuațiile care descriu dinamica sistemului. Se consideră coordonate generalizate și respectiv viteze generalizate ale sistemului următorii parametri  $x_p, y_p, \alpha, \phi_1, \phi_2, \dot{x}_p, \dot{y}_p, \dot{\alpha}, \dot{\phi}_1, \dot{\phi}_2$ . După calcule se obțin relațiile:

După calcule se obțin relațiile:

$$\bullet \quad J \cdot \ddot{\alpha} + M \cdot \xi \cdot (\dot{x}_p \cdot \sin \alpha - \dot{y}_p \cdot \cos \alpha) = \text{sgn}[(F_{t2} - F_{r2}) \cdot b - (F_{t1} - F_{r1}) \cdot b] \quad (6.78)$$

$$\bullet \quad M_{tot} \cdot \ddot{x}_p + M \cdot \xi \cdot (\ddot{\alpha} \cdot \sin \alpha + \dot{\alpha}^2 \cdot \cos \alpha) = F_{t1x} + F_{t2x} - F_{r1x} - F_{r2x} \quad (6.79)$$

$$\bullet \quad M_{tot} \cdot \ddot{y}_p - M \cdot \xi \cdot (\ddot{\alpha} \cdot \cos \alpha - \dot{\alpha}^2 \cdot \sin \alpha) = F_{t1y} + F_{t2y} - F_{r1y} - F_{r2y} \quad (6.80)$$

$$\bullet \quad J_{xx} \cdot \ddot{\phi}_1 = M_{m1} - M_{r1} = m_{t1e} \cdot i - M_{r1} \quad (6.81)$$

$$\bullet \quad J_{xx} \cdot \ddot{\phi}_2 = M_{m2} - M_{r2} = m_{t2e} \cdot i - M_{r2} \quad (6.82)$$

unde:

- $F_{ti}$  are semnificația forței de tracțiune pe roata  $i$  (1 sau 2);
- $F_{ri}$  are semnificația forței de rezistență pe roata  $i$  (1 sau 2);

- $M_{mi}$  este momentul motor pe axa de rotație a roții motrice  $i$  (1 sau 2) iar  $m_{m1}$  este momentul motor dezvoltat de motorul de acționare;
- $M_{ri}$  este momentul rezistent pe axa de rotație a roții motrice  $i$  (1 sau 2);
- $i$  este raportul de transmitere al reductorului integrat în cadrul subsistemului de acționare.

Celor 5 ecuații care descriu modelul matematic al mișcării dinamice li se atașează modelul matematic al subsistemelor de acționare – motor reductor de turație (semnificația notațiilor este prezentată în fig.6.48).

- subsistemul 1 (axa de rotație  $A_1$ )

$$u_{A1} = R_A \cdot i_{A1} + L_A \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + e_1 = R_A \cdot i_{A1} + L_A \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + K_e \cdot \omega_{m1} \quad (6.83)$$

$$m_{m1} = K_m \cdot i_{A1} \quad (6.84)$$

$$J_{rot} \cdot \frac{d\omega_{m1}}{dt} = m_{m1} - K_{fv} \cdot \omega_{m1} - m_{t1i} \quad (6.85)$$

$$m_{t1e} = m_{t1i} \cdot i \quad (6.86)$$

- subsistemul 2 (axa de rotație  $A_2$ )

$$u_{A2} = R_A \cdot i_{A2} + L_A \cdot \frac{di_{A2}}{dt} + e_2 = R_A \cdot i_{A2} + L_A \cdot \frac{di_{A2}}{dt} + K_e \cdot \omega_{m2} \quad (6.87)$$

$$m_{m2} = K_m \cdot i_{A2} \quad (6.88)$$

$$J_{rot} \cdot \frac{d\omega_{m2}}{dt} = m_{m2} - K_{fv} \cdot \omega_{m2} - m_{r2} \quad (6.89)$$

$$m_{t2e} = m_{t2i} \cdot i \quad (6.90)$$

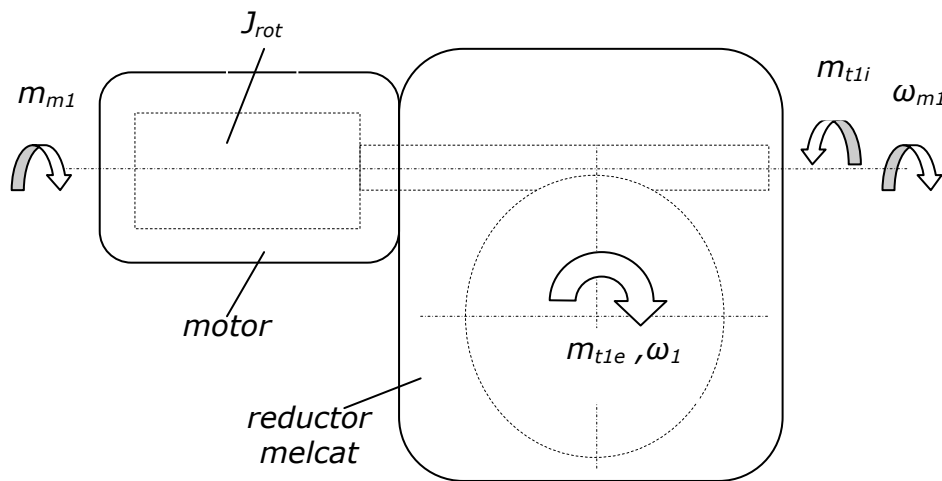


Fig.6.48.Semnificația termenilor din ecuațiile 6.83-6.86

Modul de construcție a modelului și simularea aferentă, depind de mărimile admise pentru intrare și respectiv mărimile de ieșire.

Dacă se impune ca mărime de intrare viteza unghiulară a unei roți motrice  $\omega_i$  ( $i=1$  sau  $2$ ), se poate determina modul de variație a tensiunii de alimentare care trebuie aplicată astfel încât să fie atins parametrul impus. Într-o formă mai complexă se poate construi sistemul cu reacție, astfel încât viteza unghiulară a roții să rămână în jurul valorii prescrise.

Realizarea simulării impune cunoașterea unor parametri suplimentari față de cei determinați anterior. În fig.6.49 a fost prezentat desenul 3D al robotului.

Precizarea parametrilor suplimentari determinați pe parcursul proiectării sunt prezentați în fig.6.49. Alte detalii sunt prezentate în Anexa 6.3.

În fig.6.50 este ilustrată schema bloc pentru simularea funcționării unui sistem de acționare la impunerea vitezei de rotație a roții, utilizând ecuațiile 6.81, 6.83-6.86. Rezultatul simulării este prezentat în fig.6.51.

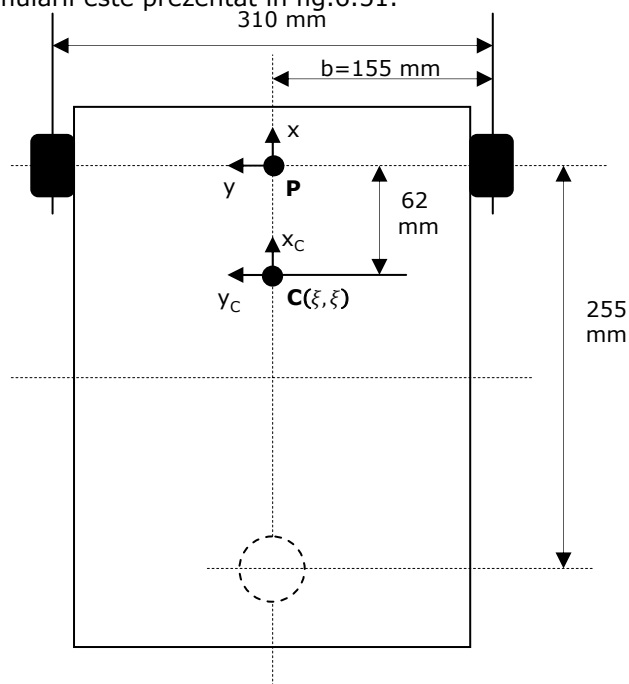


Fig.6.49. Caracteristicile dimensionale ale robotului mobil

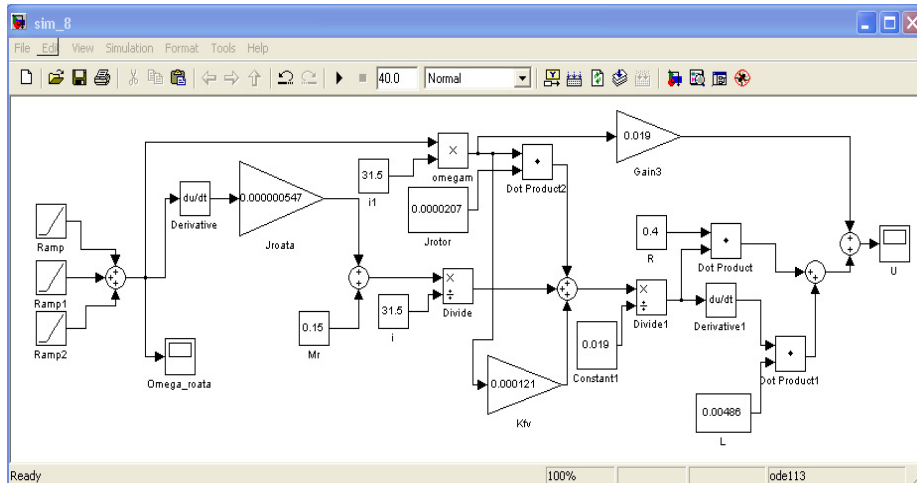


Fig.6.50. Schema bloc pentru simularea funcționării unui sistem de acționare

Asigurarea unei forme de variație pentru tensiune este asigurată de componenta electronicii de putere incluse în cadrul subsistemului de acționare. Utilizând amplificatoare prin impulsuri din categoria PWM se asigură o formă

discontinuuă a tensiunii aplicate pe indus. Valoarea medie a tensiunii pe o perioadă  $T_0$  este (fig.6.52):

$$U = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} u dt = \frac{T}{T_0} \cdot u = k \cdot u \quad (6.90)$$

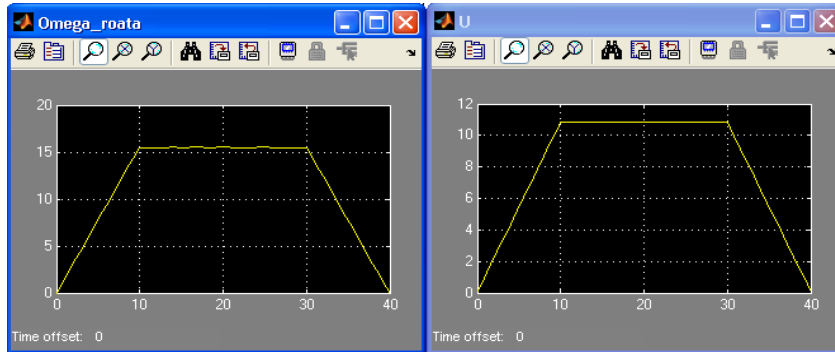


Fig.6.51.Tensiunea necesară pe indusul motorului astfel încât să se asigure viteza unghiulară pe roata motrică

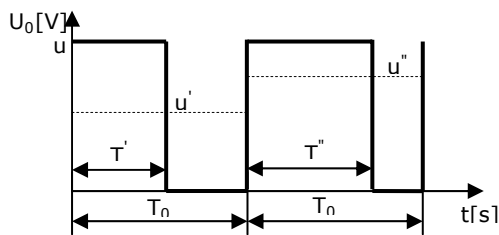


Fig.6.52.Valoarea medie a tensiunii pe o perioadă  $T_0$

În fig. 6.53 standul experimental pentru realizarea înregistrărilor din laborator, aferente formei discontinue a tensiunii pe indusul motorului în faza de creștere a vitezei unghiulare a roții motrice (fig.54.a,b,c).

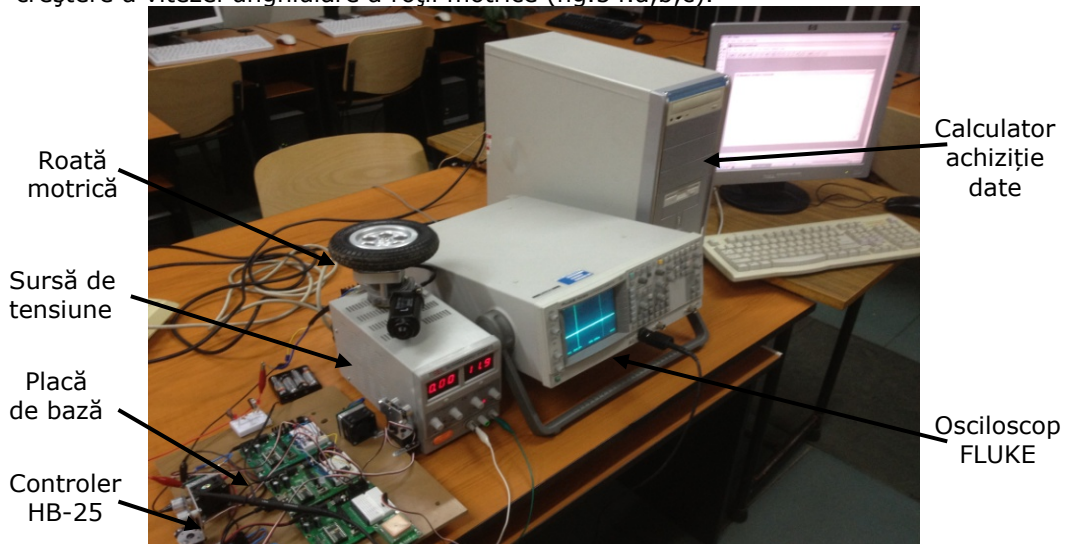
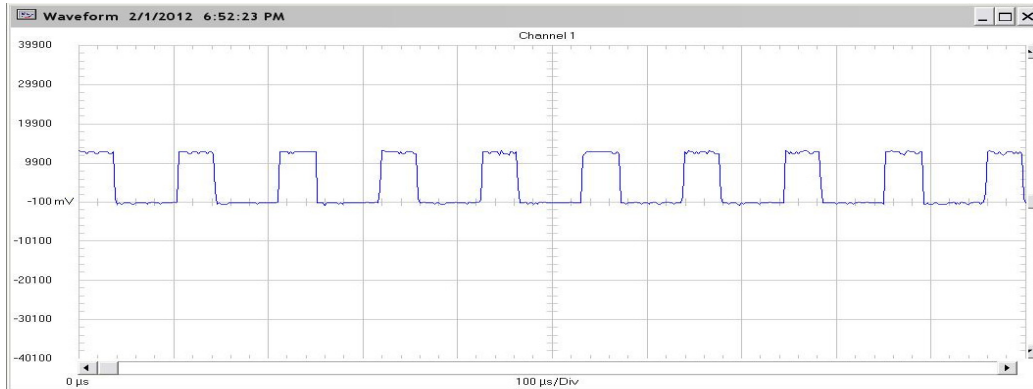
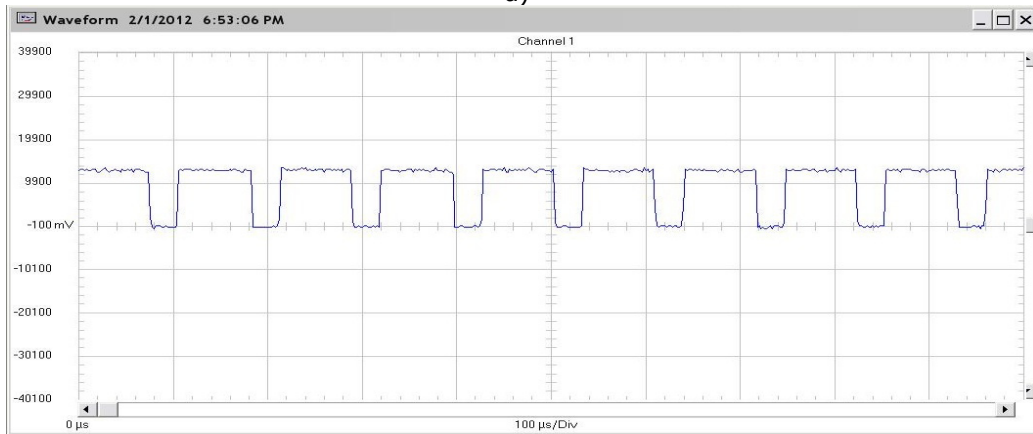


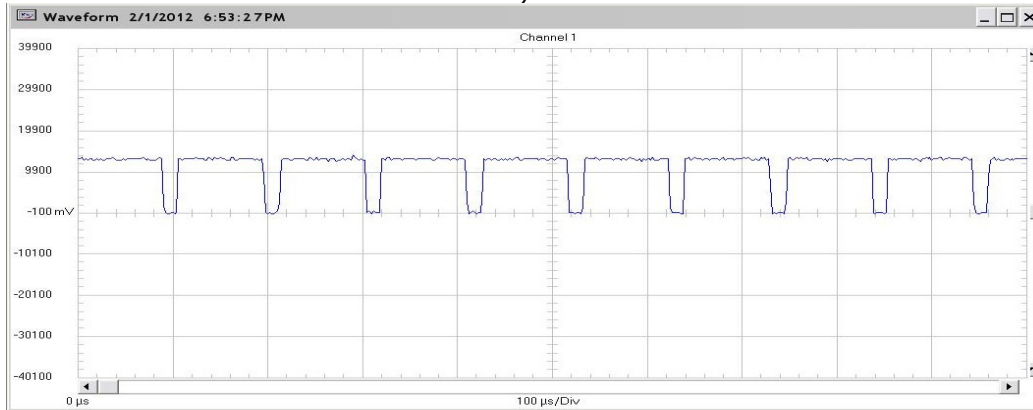
Fig.6.53.Stand experimental



a)



b)



c)

Fig.6.54. Forma discontinuă a tensiunii în faza de creștere

Fazele ilustrate anterior fac parte din etapa de integrare și simulare a sistemului de comandă sintetizat pentru sistemul mobil. Programul de conducere a sistemului mecatronic autonom mobil pe o traiectorie este încărcat în memoria plăcii de comandă BASIC STAMP. Instrucțiunile privind parametri mișcării sunt transferați

## 6.5. Simularea sistemului mecatronic autonom mobil pe un traseu cu obstacole 169

spre controler-ele HB-25 aferente fiecărei roți motrice. Fiecare roată motrică dispune de un traductor opto-electronic care asigură informația despre poziție și viteză pentru controler-ul integrat în sistem (fig.6.55).

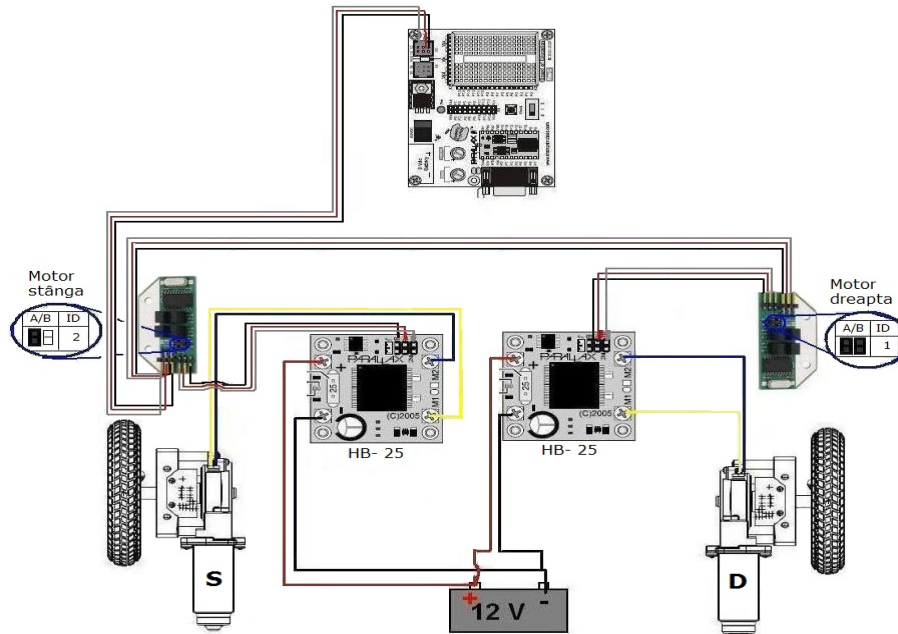


Fig.6.55.Schema sistemului de comandă pentru sistemul mecatronic

### 6.5. Simularea sistemului mecatronic autonom mobil pe un traseu cu obstacole

Un real ajutor în simularea funcționării sistemului mecatronic autonom mobil pe baza ecuațiilor prezentate în paragraful §6.4. și în prezența unui mediu cu obstacole, constă în apelarea la simulări pe modele simple în care sistemul mecatronic este utilizat ca un punct material. O astfel de simulare permite o estimare a unei traiectorii într-un mediu cu obstacole. Programul de lucru permite, în final, alegerea mai multor variante de lucru.

Programul MRIT permitea setarea parametrilor de lucru ai robotului mobil, forma de navigație, forma și dimensiunile obstacolelor [\*\*22].

În cazul simulării desfășurate am plecat de la premisa că robotul mobil folosește pentru navigare busola magnetică și că trebuie să ajungă din punctul START A în punctul ȚINTĂ B. Pe parcursul traseului robotul mobil trebuie să depășească un număr de obstacole.

S-a urmărit comportamentul robotului mobil și traiectoria pe care acesta o parcurge pentru a-și îndeplini sarcina.

Parametri senzoriului care pot fi setați: tip de senzor, raza de acțiune, sensul de depășire al obstacolului.

Parametri robotului mobil care pot fi setați: orientare, mărime, viteză, raza de acțiune și structura sa.

În fig.6.56 este prezentat rezultatul simulării.

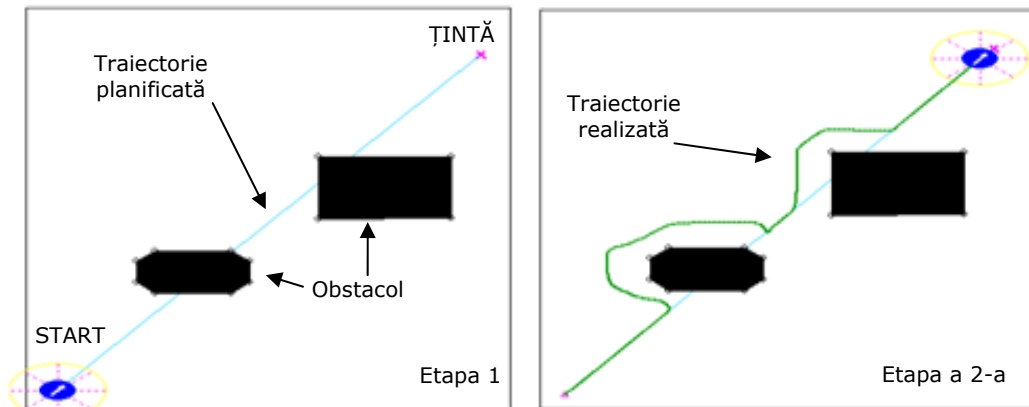


Fig.6.56. Simularea deplasării robotului mobil în mediul cu obstacole

După cum se poate observa, robotul mobil a parcurs o traiectorie diferită față de cea programată inițial. Acest lucru se datorează obstacolelor care au fost întâlnite pe parcursul deplasării. Depășirea obstacolelor de către robotul mobil s-a efectuat pe partea stângă, datorită condițiilor impuse de către operatorul uman.

În fig.6.57 se poate observa comportamentul celor două roți motrice ale robotului pe întreaga deplasare a acestuia. Din datele obținute și prezentate în figură, putem deduce atât mișcarea liniară și simetrică a celor două roți, cauzată de deplasarea în linie dreaptă, cât și mișcarea discontinuă și asimetrică cauzată de momentele în care robotul descrie o traiectorie de depășire a obstacolului.

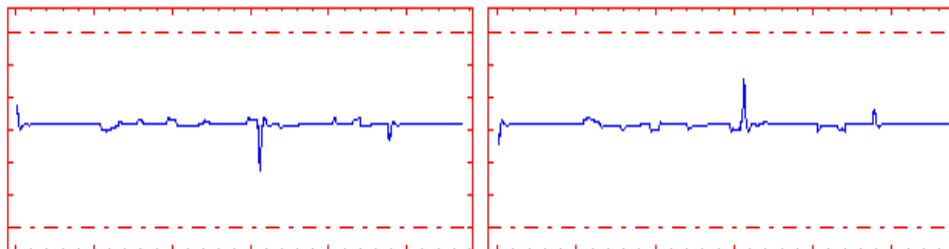


Fig.6.57. Comportamentul roților motoare

## 6.6. Experimentarea robotului mobil într-o arie de lucru cu suprafață denivelată

### 6.6.1. Descrierea experimentului

În cadrul acestui experiment s-a urmărit comportamentul robotului mobil pe o suprafață accidentată, în cazul de față în mediu natural, pe pământ.

Robotul mobil (fig.6.57) este echipat cu elemente senzoriale, elemente de comunicare, elemente de navigație și elemente specifice funcției de locomoție, fapt descris în detaliu în §.6.2. Datorită configurației sale, această structură robotizată prezintă un grad ridicat de rigiditate, fapt care poate constitui un dezavantaj în deplasarea sa pe teren cu denivelări, ceea ce va conduce la prezența erorilor caracteristice mișcării în astfel de condiții.



## 6.6. Experimentarea robotului mobil într-o arie de lucru cu suprafață denivelată 171

Locația în care s-a desfășurat experimentul a fost sera din cadrul SC Horticultura SA Timișoara, singurul loc adecvat realizării experimentului în zona Timișoarei.

În cadrul experimentului s-a analizat atât spațiul de lucru al robotului mobil din punct de vedere al obstacolelor, cât și problematica deplasării sale.



Fig.6.58.Robotul mobil în aria de lucru

Robotul mobil utilizat este de tip unicycle, având o structură dreptunghiulară, fapt care l-a făcut mai adaptabil la diferitele modificări structurale. Funcția de locomoție a robotului mobil este asigurată de două roți motrice și o roată de tip Castor, responsabilă de menținerea echilibrului întregului sistem. Funcția energetică este asigurată de către o baterie de 12V, 7,2A.

Roțile motoare sunt prinse de șasiu printr-un sistem special proiectat pentru a asigura stabilitate și pentru a permite montarea traductorilor de poziție. Toate cele enumerate se găsesc pe partea inferioară a șasiului robotului mobil.

În urma analizei terenului disponibil efectuării experimentului și obținerii rezultatelor dorite, s-a ales o zonă de testare cu o lungime de aproximativ 3000mm și o lățime cuprinsă între 700-1000mm (fig.6.59). Robotul mobil trebuie să se deplaseze pe distanța etalon de 3000mm între două puncte, fără să atingă plantele.

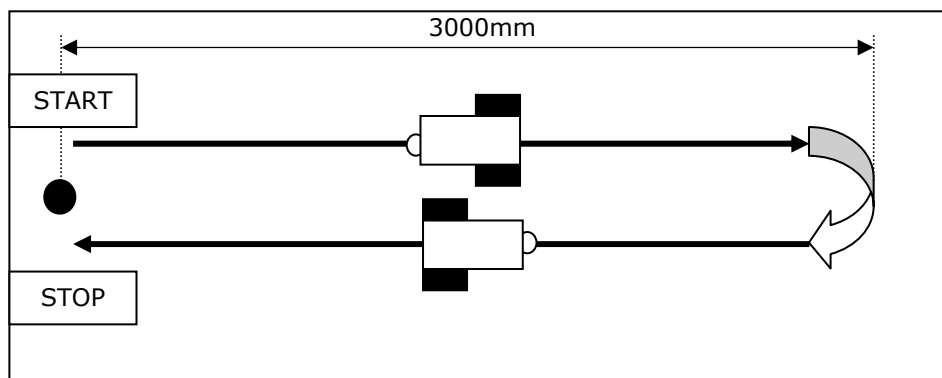


Fig.6.59.Caracteristicile scenei de lucru a robotului mobil

Robotul mobil a parcurs distanța etalon de 3000mm, s-a întors 180° ajungând în poziția inițială. În acest caz metoda de lucru a fost proiectarea odometriei (impulsuri de la elementele senzoriale).

În urma acestui experiment, se poate observa că, navigarea robotului mobil doar pe baza odometriei nu este suficientă datorită mediului nestructurat (denivelări ale suprafeței, coeficienților de frecare variabili, depunerea de sol pe roțile sistemului mecatronic autonom mobil etc.). Acest lucru conduce la apariția unor erori de deplasare semnificative.

Al doilea experiment a constat în folosirea elementelor senzoriale specifice detectării distanței, astfel că un senzor cu ultrasunete este montat pe fiecare parte laterală a robotului, în timp ce în partea din față s-au montat senzori în infraroșu.

Pentru deplasarea robotului mobil s-au folosit ca repere, rândurile de plante printre care acesta s-a deplasat. Programul de navigare a prevăzut menținerea unei distanțe prestabilite față de reperele folosite.

Acest lucru a fost realizat cu ajutorul senzorilor cu ultrasunete, astfel încât robotul să nu intre în coliziune cu reperul folosit. Această metodă a scăzut erorile de abatere de la traiectoria optimă, mai ales la rândurile de plante unde acestea prezintă o uniformitate (fig.6.60).

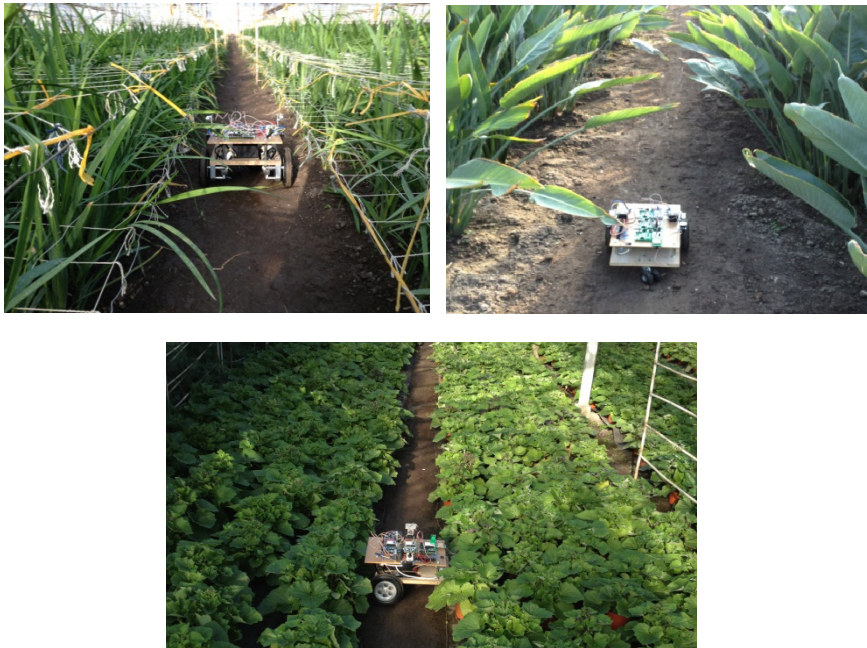


Fig.6.60. Posibile trasee pentru robotul mobil

Cea de a treia variantă de corecție a navigației robotului mobil a constat în combinarea la nivel senzorial a informațiilor culese de senzori și busola magnetică. Busola magnetică are ca scop stabilirea unui punct de reper pentru calculul direcției de deplasare. Acest tip de navigație este util pentru spațiul în care nu există obstacole.

În fig.6.61 este prezentată schema logică după care funcționează robotul mobil.

6.6. Experimentarea robotului mobil într-o arie de lucru cu suprafață denivelată 173

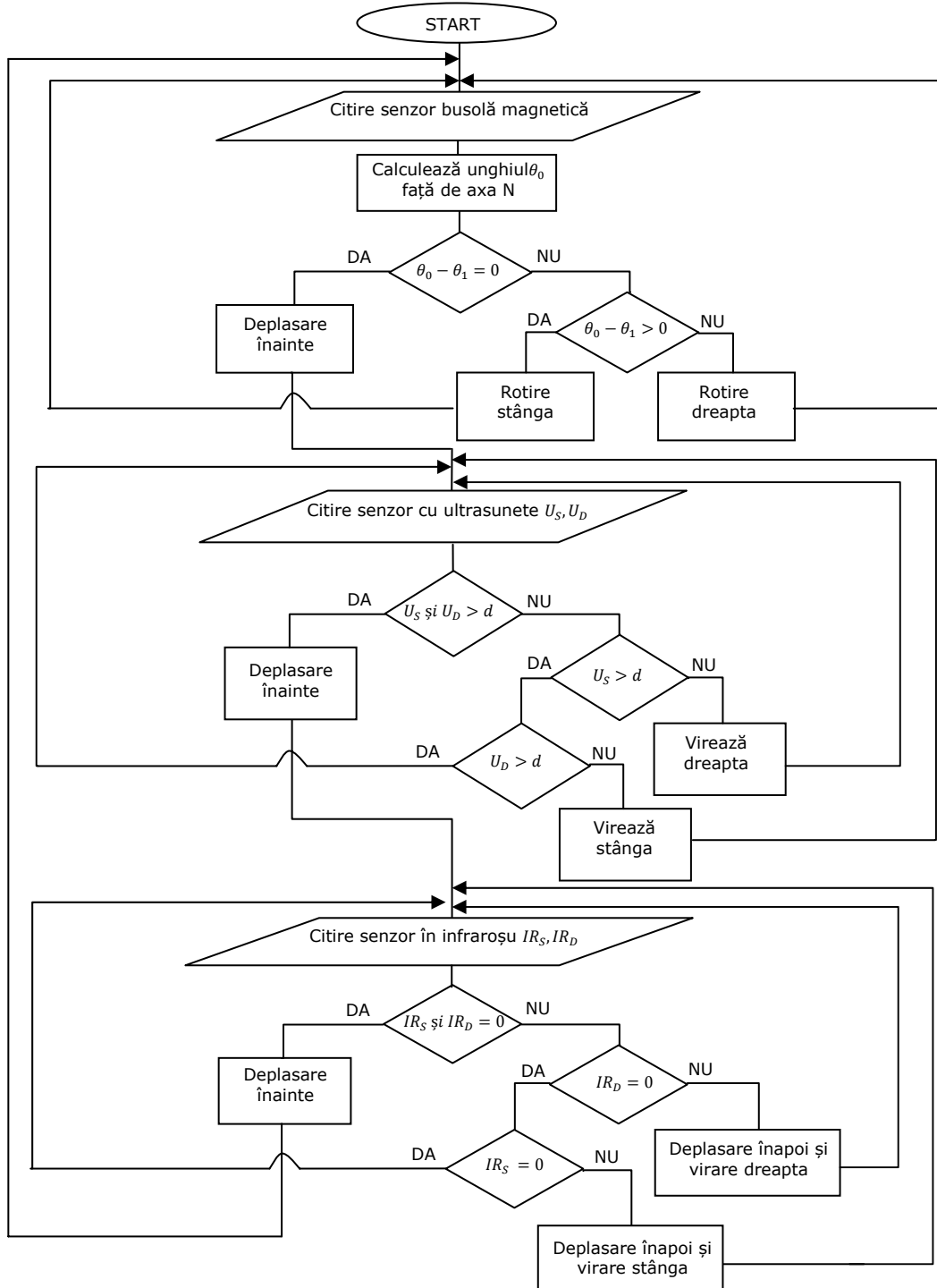


Fig.6.61.Schema logică de funcționare a programului

### **6.6.2. Concluzii**

Experimentul desfășurat în condițiile corespunzătoare unei sere (calea de rulare fiind pământ moale cu denivelări), scoate în evidență că realizarea organică a funcției de protecție necesită un sistem care să nu permită acumularea de pământ pe roți. În caz contrar robotul mobil prezintă erori de odometrie, care duc la neîndeplinirea sarcinii.

S-a observat că datorită terenului denivelat, robotul mobil are abateri de la traiectoria optimă de deplasare în linie dreaptă. Astfel, în urma corecțiilor aplicate sistemului de locomoție al acestuia, s-a obținut o optimizare a funcției de deplasare, insuficientă însă din punct de vedere al gradului de precizie al navigării.

În cazul celui de-al doilea set de experimente s-a constatat faptul că robotul mobil prezintă un grad de precizie mai ridicat în deplasare.

### **6.7. Concluzii finale**

Utilizarea principiilor de lucru în proiectarea sistemului mecatronic, a evidențiat încă o dată în plus, necesitatea corelării componentei experimentale cu componenta de analiză teoretică.

## 7. UTILIZAREA CONCEPTULUI MECATRONIC ÎN PROIECTAREA UNUI SISTEM AUTONOM MOBIL CU STRUCTURĂ VARIABILĂ

### 7.1. Introducere

Tendința actuală în robotica mobilă este aceea de a dezvolta structuri reconfigurabile cu scopul de a îndeplini sarcini multiple, fără a avea limitări la nivel structural.

Structurile variabile prezintă o serie de avantaje, cum ar fi:

- Capacitate ridicată de deplasare pe orice tip de sol;
- Capacitate ridicată de a depăși obstacole de diferite forme și dimensiuni;
- Adaptabilitate ridicată la diferite sarcini pe care le are de îndeplinit.

Marele dezavantaj al acestor sisteme îl reprezintă complexitatea cinematică și dinamică pe care o prezintă.

Conceptul mecatronic este utilizat și în proiectarea unor configurații de roboți mobili variabili.

### 7.2. Descrierea structurii mobile

Pentru a proiecta un robot mobil cu structură variabilă, am folosit conceptul mecatronic prezentat în capitolul anterior.

Robotul mobil din fig.7.1. prezintă următoarele funcții:

- de locomoție;
- de putere;
- de protecție;
- de comunicare;
- de percepție.

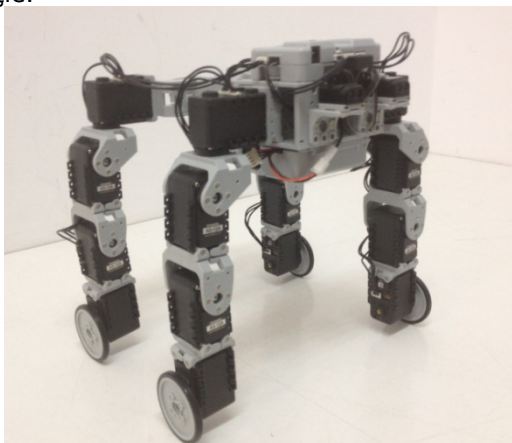


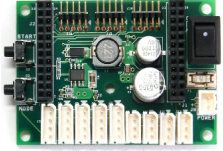













Fig.7.1. Robot mobil cu structură reconfigurabilă

Structura robotului mobil ales a respectat tabela morfologică de mai jos.

Tabelul 7.1

| Funcție     | Varianta 1   | Varianta 2   | Varianta 3  |
|-------------|--|--|---|
| Comandă     | <br>[CM-510]      | <br>[CM-5]                          | <br>CM-700 SUB Board |
| Comunicare  | <br>[Zig2 Serial] | <br>[Picture - Zig-100 / 110]       |   |
| Senzorială  | <br>[IR Sensor]  | <br>[Distance Measurement Sensor] | <br>[ Gyro Sensor ] |
| Interfațare | <br>[LIH101]    | <br>[USB2Dynamixel]              |   |
| Locomoție   | <br>[AX-12/12+] | <br>[AX-18F]                      |                    |
| Alimentare  |                 |  |   |

Datorită structurii complexe, variantele de alegere pentru soluțiile constructive sunt limitate, în comparație cu structurile simple de roboți mobili. Cu

toate acestea, datorită capacității adaptabile a componentelor, s-a putut realiza o structură mobilă, pășitoare (fig.7.2).

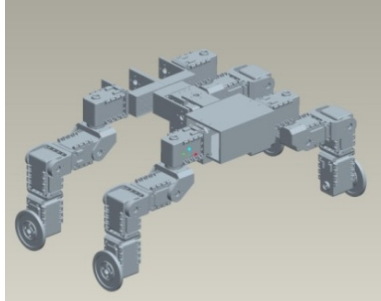


Fig.7.2. Simularea variantei constructive a structurii variabile

Robotul are patru picioare pășitoare, care sunt folosite și pentru legătura cu roțile care asigură deplasarea sa. În total sunt 18 motoare care asigură reconfigurarea robotului mobil, pe baza sarcinilor pe care le are de îndeplinit. Legătura dintre motoare se face prin intermediul unor blocuri fixe de piese, în timp ce comunicarea este serială.

### 7.3. Dinamica piciorului robotului mobil

Roboții pășitori sunt sisteme mecanice complexe având o structură variabilă care depinde de un număr de grade de libertate. Pentru proiectarea algoritmilor care controlează acest tip de roboți, este important să fie prezentat un model eficient pentru descrierea comportamentului cinematic și dinamic.

Modelul cinematic descrie relația dintre variabilele articulațiilor și poziția piciorului, în timp ce modelul dinamic se referă la forțele ce acționează asupra lor.

Cinematica robotului pășitor poate fi redusă la cinematica unui picior și a unui corp rigid. Piciorul are în general trei grade de libertate. Cinematica corpului rigid poate fi redusă la cunoașterea orientării sale în spațiu. În cazul în care planul de sprijin al robotului este cunoscut, cinematica piciorului poate determina poziția corpului rigid și orientarea sa. Cinematica piciorului se obține folosind relații trigonometrice. Analiza cinematică poate fi extrem de complexă și de aceea se introduc convenții care simplifică ecuațiile. Cea mai populară convenție a fost definită de Denavit Hartenberg în anul 1955. Această metodă este utilă în special când numărul de parametri este mare. Pentru mecanisme cu trei parametri cum ar fi un picior, modelul cinematic se determină cu ajutorul relațiilor trigonometrice.

Modelul cinematic descrie relațiile dintre variabilele articulației  $(q_1, \dots, q_n)^T$  și poziția și orientarea piciorului  $(x, y, z, r, p)^T$ . Matricile ce definesc modelul cinematic sunt [J2]:

$$A_1^0 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & a_1 C_1 \\ S_1 & 0 & -C_1 & a_1 S_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_2^1 = \begin{pmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & 2C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.1)$$

$$A_3^2 = \begin{pmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & a_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & a_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

unde  $S_i = \sin \theta_i$ ,  $C_i = \cos \theta_i$ ,  $S_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$ ,  $C_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$ ,  $i, j = 1, 2, 3$  din (7.1), rezultă

$$A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{pmatrix} C_1 C_{23} & -S_{23} C_1 & S_1 & C_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_1 C_{23} & -S_{23} S_1 & -C_1 & S_1(C_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & a_2 S_{23} + a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

Dacă  $d = (x, y, z)^T$ , atunci din

$$A^0 = \begin{pmatrix} R_{3 \times 3} & d_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{pmatrix} \quad (7.3)$$

Rezultă

$$x = C_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1)$$

$$y = S_1(a_3 C_{23} + a_2 C_2 + a_1) \quad (7.4)$$

$$z = a_3 S_{23} + a_2 S_2$$

Cinematica inversă constă în determinarea variabilelor articulației  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)^T$  în funcție de poziția și orientarea piciorului.

Dacă  $(x, y, z)^T$  este poziția piciorului, și  $(a_{11}, a_{21}, a_{31})^T$ ,  $(a_{12}, a_{22}, a_{32})^T$ ,  $(a_{13}, a_{23}, a_{33})^T$  sunt vectorii ce orientează piciorul, se obține sistemul de 12 ecuații în 3 necunoscute dat de

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & x \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & y \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = A_1^0(\theta_1) \cdot A_2^1(\theta_2) \cdot A_3^2(\theta_3) \quad (7.5)$$

Rezolvând (7.5) se obține:

$$\theta_1 = \arctg \frac{y}{x} \quad (7.6)$$

$$\theta_2 = -\arctg \frac{B}{A} + \arctg \frac{D}{\pm \sqrt{A^2 + B^2 - D^2}} \quad (7.7)$$

$$\theta_3 = \arctg \frac{z - a_2 S_2}{x C_1 + y S_1 - a_2 C_2 - a_1} - \theta_2 \quad (7.8)$$

unde

$$A = -z \quad (7.9)$$

$$B = a_1 - x(C_1 + y S_1) \quad (7.10)$$

$$D = \frac{2a_1(x C_1 + y S_1) + a_3^2 - a_2^2 - a_1^2 - z^2 - (x C_1 + y S_1)^2}{2a_2} \quad (7.11)$$



$a_1, a_2, a_3$ , sunt date în fig.7.3.

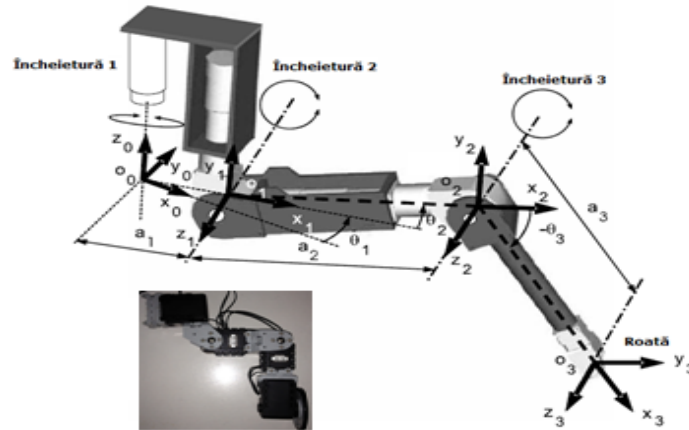


Fig.7.3. Schema structurală a piciorului robotului mobil

Modelul dinamic al părții mecanice pentru structura mobilă realizată, se obține utilizând ecuațiile Euler-Lagrange asociate. Aceste ecuații sunt date de

$$\tau_R - J^T F = D(\theta(t)) \theta''(t) + H(\theta(t), \theta'(t)) + C(\theta(t)) \quad (7.12)$$

unde  $D(\theta)$  este matricea de tipul  $(3, 3)$ , numită matricea masei,  $H(\theta(t), \theta'(t))$  este un vector al vitezei centrifuge și termenul Coriolis și  $C(\theta)$  este vectorul cu termenii gravitaționali.

Matricea masei  $D$  este dată de:

$$D = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{pmatrix} \quad (7.13)$$

unde

$$D_{11} = aC_2 + bS_2 + cC_3 + dC_{23} + c \cos(\theta_3 + 2\theta_2) + e \sin(2\theta_2) + f \cos(2\theta_2) + g \cos(2\theta_3 + 2\theta_2) + h \quad (7.14)$$

$$D_{12} = 0, \quad D_{13} = 0, \quad D_{21} = 0, \quad D_{31} = 0, \quad D_{32} = D_{23} \quad (7.15)$$

$$D_{22} = kC_3 + l, \quad D_{23} = cC_3 + m, \quad D_{33} = m \quad (7.16)$$

Fie matricele  $D_1, D_2$  date de:

$$D_1 = \begin{pmatrix} h & 0 & 0 \\ 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix} \quad (7.17)$$

$$D_2 = D - D_1 \quad (7.18)$$

unde  $a, \dots, m$ , reprezintă constante

Vectorul forței centrifuge și termenul Coriolis  $H$  este

$$H = (h_1, h_2, h_3)^T \quad (7.19)$$

unde

$$\begin{aligned}
 h_1 &= h_{112} \dot{\theta}_1(t) \dot{\theta}_2(t) + h_{113} \dot{\theta}_1(t) \dot{\theta}_3(t) \\
 h_2 &= h_{211} \dot{\theta}_1(t)^2 + h_{223} \dot{\theta}_2(t) \dot{\theta}_3(t) + h_{233} \dot{\theta}_3(t)^2 \\
 h_3 &= h_{311} \dot{\theta}_1(t)^2 + h_{322} \dot{\theta}_2(t)^2
 \end{aligned} \tag{7.20}$$

și

$$\begin{aligned}
 h_{112} &= -aS_2 + n \sin(2\theta_2) - g \cos(2\theta_2) - 2S_{23} - k \sin(2\theta_2 + \theta_3) + p \sin(2\theta_2 + 2\theta_3) \\
 h_{113} &= -CS_3 - dS_{23} - c \sin(2\theta_2 + \theta_3) + p \sin(2\theta_2 + 2\theta_3)
 \end{aligned} \tag{7.21}$$

$$\begin{aligned}
 h_{211} &= \theta S_2 + f \sin(2\theta_2) + r \cos(2\theta_2) + sS_{23} + c \sin(2\theta_2 + \theta_3) + g \sin(2\theta_2 + 2\theta_3) \\
 h_{223} &= -kS_3, \quad h_{233} = -cS_3
 \end{aligned} \tag{7.22}$$

$$h_{311} = tS_3 + sS_{23} + t \sin(2\theta_2 + \theta_3) + g \sin(2\theta_2 + 2\theta_3) \tag{7.23}$$

$$h_{322} = cS_3 \tag{7.24}$$

unde  $a, \dots, t$  sunt constanteVectorul  $G$  cu termenii gravitaționali are forma

$$G = (g_1, g_2, g_3)^T \tag{7.25}$$

unde

$$g_1 = 0, \quad g_2 = uC_2 + vS_2 + wC_{23}, \quad g_3 = wC_{23} + xS_{23} \tag{7.26}$$

unde  $u, v, w, x$  sunt constante.

Analiza modelului se face utilizând sistemul de ecuații diferențiale de ordinul 2, dat de ecuația 7.12.

## 7.4. Concluzii finale

După cum s-a putut observa, capacitatea robotului mobil prezintă o îmbunătățire față de structura clasică. Robotul mobil cu structura reconfigurabilă permite o gamă largă de variante, astfel având mai multe posibilități de a îndeplini o sarcină trasată. Din punct de vedere mecatronic, sistemul respectă în totalitate teoria și se pot aplica conceptele prezentate anterior.

Faptul că robotul mobil folosește pentru deplasare atât pasul, cât și roțile, îi conferă un plus față de structurile clasice. Funcțiile conform teoriei mecatronice sunt regăsite și în cazul acestei structuri.

## **8. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE**

### **8.1. Concluzii generale**

Evoluția în timp a roboților mobili a condus la numeroase variante funcționale și constructive. Abordarea unei teme de cercetare referitoare la robotul mobil sau proiectarea optimală a unui astfel de sistem mecatronic impune o analiză a stadiului actual al roboticii mobile.

Din punct de vedere al principalelor funcții putem spune că cele mai importante sunt funcția de conducere, funcția de comandă și funcția de percepere a mediului în care își desfășoară activitatea robotul mobil. Datorită acestui lucru robotul mobil interacționează cu mediul său prin acțiuni reciproce (robotul asupra mediului, mediul asupra robotului). Aceste acțiuni solicită foarte mult sistemul locomotor, deoarece acesta este permanent în contact cu mediul, creându-i robotului probleme (erori de deplasare, erori de estimare a distanței, lipsa capacității de adaptare la mediul de lucru). O soluție propusă și care este în curs de dezvoltare este folosirea roboților variabili. Cel mai important argument este faptul că îmbină avantajele roboților pășitori (deplasare cu ușurință pe teren accidentat, evitarea obstacolelor cu un consum redus de energie), cu avantajele roboților cu roți (viteză sporită de deplasare pe suprafețe netede, distribuirea uniformă a greutății, păstrarea echilibrului cu ușurință).

La nivel senzorial se observă o tendință în folosirea elementelor senzoriale complexe, care oferă informații mai precise și mai fiabile din mediul de lucru. Un astfel de exemplu pot fi camerele video de ultimă generație care oferă informații cu privire la aspectul mediului de lucru, distanța față de obiecte sau chiar temperatura lor.

Una dintre cele mai importante aspecte în domeniul senzorial este determinarea distanței și tipul obiectelor din mediul de lucru al robotului mobil, astfel încât acesta să poată îndeplini sarcinile primite în condiții de siguranță și eficiență maxime.

În urma studiului se observă că mediul de lucru al robotului este foarte variat, de la cel acvatic, până la cel spațial. În același timp se observă la nivel educațional că se acordă o atenție sporită roboților mobili.

În concluzie, putem spune că sistemul locomotor al robotului mobil prezintă un grad ridicat de interes, atât din punctul de vedere al construcției mecanice, cât și din punctul de vedere al efectuării mișcării propriu-zise. De asemenea, se poate observa că roboții mobili vor prelua în scurt timp sarcinile cu grad ridicat de pericolozitate și nu numai pe cele ale omului.

Paralela biomecatronică a celor două sisteme – animal și respectiv robot mobil – permite dezvoltarea unui model generalizat pentru un obiect artificial cu inspirație biologică.

Sistemele robotice mobile sunt o adevărată provocare, folosind un sistem mecanic complex, în funcție de aplicația dată. Observăm că avem atât roboți mobili pășitori, cât și roboți cu roți. Ambele variante prezintă avantaje și dezavantaje. Robotul mobil poate fi văzut ca o structură compusă din sisteme și subsisteme, atât

la nivel constructiv, cât și funcțional, fapt care ajută foarte mult în proiectarea și stabilirea modulară a caracteristicilor robotului (sistem locomotor, sistem de comandă și control, sistem senzorial). Faptul că robotul mobil face parte din viața noastră cotidiană reiese din studiul original care s-a efectuat cu privire la domeniul de aplicabilitate.

După cum s-a putut observa, capacitatea robotului mobil prezintă o îmbunătățire față de structura clasică. Robotul mobil cu structura reconfigurabilă permite o gamă largă de variante, astfel având mai multe posibilități de a îndeplini o sarcină trasată. Din punct de vedere mecatronic, sistemul respectă în totalitate teoria și se pot aplica conceptele prezentate anterior.

Faptul că robotul mobil folosește pentru deplasare atât pasul cât și roțile, îi conferă un plus față de structurile clasice. Funcțiile conform teoriei mecatronice sunt regăsite și în cazul acestei structuri. Utilizarea principiilor de lucru în proiectarea sistemului mecatronic a evidențiat încă o dată în plus, necesitatea corelării dintre componenta experimentală și componenta de analiză teoretică.

## 8.2. Contribuții originale ale tezei

Principalele contribuții în dezvoltarea tezei de doctorat sunt:

- Analiza literaturii de specialitate, referitor atât la istoria și evoluția sistemelor tehnice, cât și a celor robotice.
- Activitatea s-a concretizat prin elaborarea Referatului nr.1, din programul de pregătire doctorală.
- Analiza literaturii de specialitate referitoare la stadiul actual al sistemelor robotice mobile.
- Analiza unui sistem biologic (animal) din perspectiva conceptului mecatronic la nivel funcțional și organic.
- Realizarea unei paralele sistem biologic-sistem tehnic (animal-robot mobil) din perspectiva conceptului mecatronic și evidențierea funcțiilor și a modurilor de inspirație dinspre sistemul biologic spre sistemul tehnic.
- Enunțarea conceptului extins de obstacol în viziunea prezentei teze și proiectarea etapelor experimentale pentru validarea elementelor senzoriale din componența unui sistem mecatronic autonom mobil.
- Desfășurarea unei activități experimentale vizând comportamentul elementelor senzoriale: senzorialor cu ultrasunet, senzorialor în infraroșu și senzor de accelerație;
- Analiza elementelor senzoriale cu care este echipat robotul Robotino și identificarea și corectarea problemelor apărute.
- Utilizarea conceptului mecatronic în analiza structurală a unui robot mobil la nivelul organic și funcțional.
- Sinteza sistemului mecatronic autonom util în concept mecatronic bazat pe tabela morfologică.
- Identificarea parametrilor geometrici și funcționali pentru elementele componente ale modulului mecatronic de tracțiune.
- Realizarea modelului matematic pe baza principiilor fizice și a parametrilor funcționali identificați.
- Elaborarea experimentelor de analiză a contactului roată motoare-cale de rulare.
- Realizarea unui model fizic de robot mobil dotat cu elemente senzoriale pentru navigarea în medii cu obstacole.

- Verificarea funcționării modelului fizic de sistem autonom mecatronic mobil într-un mediu de lucru real.
- Realizarea unui model fizic de sistem mecatronic mobil variabil.

### **8.3. Valorificarea rezultatelor cercetării**

Rezultatele cercetărilor dezvoltate în vederea elaborării tezei de doctorat au fost valorificate prin publicarea unui număr de 5 lucrări, la manifestări naționale și internaționale, dintre care 4 ca prim autor. Alături de lucrările publicate, s-au realizat și două referate, conform programului de pregătire doctorală.

Bîtea, M.A., Dolga, V., "Displacement Errors at a Pre-Defined Trajectory of a Mobile Robot", 20th International DAAAM Symposion, ISBN 978-3-901509-70-4, Vienna, 2009.

Bîtea, M.A., Dolga, V., "The Use of Sensors in Working Area of a Mobile Robot", Proc. 5th International Conference on: "OPTIMIZATION OF THE ROBOTS AND MANIPULATORS", OPTIROB 2010, Călimanesti, România, ISBN 978-981-08-5840-7, Vol.I, pp.352, May 2010.

Bîtea, M.A., Gauthier R., "Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor to Move with a Radar Display", Robotica & Management, Editura Eftimie Murgu, Reșița, Vol.16, nr.1, pp.8, ISSN 1453-2069, 2011.

Bîtea, M.A., Dolga, V., "Mobile Robot as Mechatronic System. Mobile Robot Movement on Different Trajectories in Working Area", Proc. 2nd International Conference on: „INFORMATIONAL TEHNOLOGY AND DEVELOPMENT OF EDUCATION”, ITRO 2011, Zrenjanin, Serbia, July 2011, pp.3.

### **8.4. Noi direcții de cercetare în domeniu**

- Rezultatele obținute în cadrul acestei teze, pot fi valorificate prin:
- Cercetări privind filozofia mecatronică în domeniul roboticii.
  - Cercetări privind îmbunătățirea calităților de funcționare ale celor două structuri robotice autonome și mobile.
  - Abordarea unor idei care să conducă la aplicații didactice și practice, privind noi abordări asupra concepțiilor de sistem mecatronic.
  - Abordarea unor idei care să permită îmbunătățirea și dezvoltarea celor două structuri robotice prezentate.



## BIBLIOGRAFIE

- 1 [A1] Adams, M.D., Probert, P.J., "Mobile Robot Motion Planning-Stability, Convergence and Control", IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS, Osaka, Vol.2, pp. 1019-1024, 1991.
- 2 [A2] Agarwal, A., Hiot, L., Joo, E., Nghia, N., "Rectilinear Workspace Partitioning for Parallel Coverage Using Multiple Unmanned Aerial Vehicles", Adv. Robot., Vol. 21, No. 1-2, pp. 105-120, 2007.
- 3 [A3] Arras, K.O., Persson, L., Tomatis, N., Siegwart, R., "Real-Time Obstacle Avoidance for Polygonal Robots with a Reduced Dynamic Window", IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2002), Washington, DC, pp. 3050-3055, 2002.
- 4 [A4] Arras, K.O., Tomatis, N., "Improving Robustness and Precision in Mobile Robot Localization by Using Laser Range Finding and Monocular Vision", 3rd European Workshop on Advanced Mobile Robots (Eurobot 99), Zurich, 1999.
- 5 [A5] Azizi, F., Houshangi, N., "Mobile Robot Position Determination Using Data from Gyro and Odometry", IEEE CCECE2004-CCGEI2004, Niagara Falls, 2004.
- 6 [B1] Balch, T., Arkin, R., "Behavior-Based Formation Control for Multirobot Teams", IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 14, No. 6, pp. 926-939, 1998.
- 7 [B2] Barraquand, J., Latombe, J.C., "Nonholonomic Multibody Mobile Robots: Controllability and Motion Planning in the Presence of Obstacles", Algorithmica, Vol. 10, pp. 121-155, 1993.
- 8 [B3] Barnard, K., Cardei V., Funt, B., "A Comparison of Computational Color Constancy Algorithms", IEEE Transactions in Image Processing, Vol.11, No.9, pp. 972-984, 2002.
- 9 [B4] Batavia, P., Nourbakhsh, I., "Path Planning for the Cye Robot", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'00), Takamatsu, Japan, Vol.1, pp. 15-20, 2000.
- 10 [B5] Batlle, J.A., Barjau, A., "Holonomy in Mobile Robots", Robotics and Autonomous Systems, Vol.57, pp 433-440, 2009.
- 11 [B6] Batlle, J.A., Font-Liagunes, J., Barjau, A., "Calibration for Mobile Robots with an Invariant Jacobian", Robotics and Autonomous Systems, Vol.58, No.1, pp. 10-15, 2010.
- 12 [B7] Bărbuceanu, G.F., "Implementarea Tehnicilor de Urmărire a Mișcărilor Ochilor în Planificarea în Medii Virtuale a Traietoriilor Roboților", Teză de Doctorat, Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2011.
- 13 [B8] Bekey, G.A., "Autonomous Robots", MIT Press, ISBN-10: 0-262-02578-7, Massachusetts, 2005.
- 14 [B9] Bekey, G., Yuh, J., "The Status of Robotics", IEEE Robot Automat. Mag., Vol 15, No. 1, pp. 80-86, 2008.
- 15 [B10] Besl, P.J., McKay, N.D., "A Method for Registration of 3D Shapes", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, Febr. 1992.
- 16 [B11] Berns, K., von Puttkamer, E., "Autonomous Land Vehicle. Steps Towards Service Robots", Vieger+Taubner, Wiesbaden, 2009.
- 17 [B12] Bloch, A., Reyhanoglu, M., McClamroch, N.H., "Control and Stabilization of Nonholonomic Dynamic Systems", IEEE Trans. Autom. Control, Vol.37, No. 11, pp. 1746-1757, Nov, 1992.

- 18 [B13] Bloch, A.M., Krishnaprasad, P.S., Marsden, J.E., Murray, R.M., "Nonholonomic Mechanical Systems with Symmetry", Arch. Ration. Mech. Anal., Vol. 136, pp. 21-99, 1996.
- 19 [B14] Bicchi, A., Fagiolini, A., Pallottino, L., "Toward a Society of Robots: Behaviors, Misbehaviors, and Security", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.17, No.4, ISSN 1070-9932, pp. 26-36, Dec 2010.
- 20 [B15] Bicchi, A., Danesi, A., Dini, G., La Porta, S., Pallottino, L., Savino, I.M., Schiavi, R., "Heterogeneous Wireless Multirobot System", IEEE Robot. Automat. Mag., Vol. 15, No.1, pp. 62-70, 2008.
- 21 [B16] Bîtea, M.A., "Boe-Bot Robot", Zilele Tehnice Studențești, Timișoara, Editura Politehnica, ISSN 1843-1917, pp.292-299, 2007.
- 22 [B17] Bîtea, M.A., "Commanding and Programming of Mobile Robots", Zilele Tehnice Studențești, Timișoara, Editura Politehnica, ISSN 1843-1917, pp.62-67, 2008.
- 23 [B18] Bîtea, M.A., Dolga, V., Gasparetto, A., "Comanda Roboților Mobili în Spațiul de Lucru", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2008.
- 24 [B19] Bîtea, M.A., Dolga, V., "Displacement Errors at a Pre-Defined Trajectory of a Mobile Robot", 20th International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-70-4, Vienna, 2009.
- 25 [B20] Bîtea, M.A., Dolga, V., "The Use of Sensors in Working Area of a Mobile Robot", Proc. 5th International Conference on: "OPTIMIZATION OF THE ROBOTS AND MANIPULATORS", OPTIROB 2010, Călimanești, România, ISBN 978-981-08-5840-7, Vol. I, pp.352, May 2010.
- 26 [B21] Bîtea, M.A., Gauthier R., "Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor to Move with a Radar Display", Robotica & Management, Editura Eftimie Murgu, Reșița, Vol.16, nr.1, pp.8, ISSN 1453-2069, 2011.
- 27 [B22] Bîtea, M.A., Dolga, V., "Mobile Robot as Mechatronic System. Mobile Robot Movement on Different Trajectories in Working Area", Proc. 2nd International Conference on: „INFORMATIONAL TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT OF EDUCATION”, ITRO 2011, Zrenjanin, Serbia, July 2011, pp. 3
- 28 [B23] Bogdanov, I., Maniu, I., Dolga, V., Rădulescu, C., Varga, Ș., Ciupe V., "Robotică. Sistemul de Conducere, Vol.III, Editura Politehnica, ISBN: 978-973-625-903-6, 2009.
- 29 [B24] Bonilla, E., Chai, K.M., Williams, C., "Multi-Task Gaussian Process Prediction", Advances in Neural Information Processing Systems 20, J. Platt, D. Koller, Y. Singer, and S. Roweis, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 153-160, 2007.
- 30 [B25] Borenstein, J., Koren, Y., "Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.11, No.1, pp 132-138, 1995.
- 31 [B26] Borges, G.A., Aldon, M.J., "Optimal Mobile Robot Pose Estimation Using Geometrical Maps", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.18, No.1, 2002.
- 32 [B27] Borgstrom, P.H., Jordan, B.L., Borgstrom, B.J., Stealey, M.J., Sukhatme, G.S., Batalin, M.A., Kaiser, W.J., "NIMS-PL: A Cable-Driven Robot with Self-Calibration Capabilities", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 25, No. 5, ISSN 1552-3098, pp. 1005-1015, Oct, 2009.



- 33 [B28] Borja, C.A., Mirats Tur, J.M., Gordillo, J.L., "Accurate Position Estimation and Propagation in Autonomous Vehicles", IEEE-Robotics & Automation Magazine, Vol.16, Nr. 2, ISSN 1070-9932, 2009.
- 34 [B29] Bostan, I., Liță, I., Franti, E., Dascălu, M., Moldovan, C., Goschin, S., "Systematic Odometry Errors Compensation for Mobile Robot Positioning", 7th International Conference on Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv-Slasko, pp. 574-576, 2003.
- 35 [B30] Boyle, P., Freaun, M., "Dependent Gaussian Processes", Advances in Neural Information Processing Systems 17, L. K. Saul, Y. Weiss, and L. Bottou, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 217-224, 2004.
- 36 [B31] Branicky, M.S., Borkar, V.S., Mitter, S.K., "A Unified Framework for Hybrid Control: Model and Optimal Control Theory", IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. 43, No. 1, pp. 31-45, 1998.
- 37 [B32] Brennan, S., Alleyne, A., "The Illinois Roadway Simulator: a Mechatronic Testbed for Vehicle Dynamics and Control", IEEE/ASME Transactions and Mechatronics, Vol.5, No.4, 2000.
- 38 [B33] Bullo, F., Lynch, K., "Kinematic Controllability for Decoupled Trajectory Planning in Underactuated Mechanical Systems", IEEE Trans. Robot. Autom, Vol. 17, No. 4, pp. 402-412, Aug.2001.
- 39 [B34] Byoung-Suk Choi, Ju-Jang Lee, "Localization of a Mobile Robot Based on an Ultrasonic Sensor Using Dynamic Obstacles", ISAROB, Artif. Life Robotics, 12.280-283, 2008.
- 40 [C1] Campion G., Bastin G., D'Andrea-Novel B., "Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.12, No.1, 1996.
- 41 [C2] Cheung, H.So, Ma, W., Chan, Y., "Least squares Algorithms for Time-of-Arrival-Based Mobile Location", IEEE Trans. Signal Process., Vol. 52, No. 4, pp. 1121-1127, Apr, 2004.
- 42 [C3] Choset, H., Nagatani, K., "Topological Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Toward Exact Localization Without Explicit Localization", IEEE Trans. Robot. Autom., Vol. 17, No. 2, pp. 125-137, Apr, 2001.
- 43 [C4] Choset, H., Walker, S., Eiamsa-Ard, K., Burdick, J., "Sensor-Based Exploration: Incremental Construction of the Hierarchical Generalized Voronoi Graph", The International Journal of Robotics Research, 19, 126-148, 2000.
- 44 [C5] Cochran, J., Kanso, E., Kelly, S.D., Xiong, H., Krstic, M., "Source Seeking for Two Nonholonomic Models of Fish Locomotion", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 25, No. 5, ISSN 1552-3098, pp. 1166-1176, Oct, 2009.
- 45 [C6] Cochran, J., Sinarosian, A., Ghods, N., Krstic, M., "3D Source Seeking for Underactuated Vehicles Without Position Measurement", IEEE Trans. Robot., Vol. 25, No. 1, pp. 117-129, Feb, 2009.
- 46 [C7] Coelho, P., Nunes, U., "Path-Following Control of Mobile Robots in Presence of Uncertainties", IEEE Transactions on Robotics, Vol.21, No.2, pp. 252-261, 2005.
- 47 [C8] Coman, M., "Contribuții și Cercetări Privind Controlul Roboților pe Baza Procesării de Imagini", Teză de Doctorat, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, 2011.
- 48 [C9] Consolini, L., Morbidi, F., Prattichizzo, D., "Stabilization of a Hierarchical Formation of Unicycle Robots with Velocity and Curvature Constraints",

- IEEE Transactions on Robotics, Vol. 25, No. 5, ISSN 1552-3098, pp. 1176-1184, Oct, 2009.
- 49 [C10] Consolini, L., Morbidi, F., Prattichizzo, D., Tosques, M., "Leader-Follower Formation Control of Nonholonomic Mobile with Input Constraints", *Automatica*, Vol. 44, No. 5, pp. 1343-1349, 2008.
- 50 [C11] Cordon, O., Gomide, F., Herrera, F., Hoffmann, F., Magdalena, L., "Ten Years of Genetic Fuzzy Systems: Current Framework and New Trends", *Fuzzy Sets and Systems* 141:5-31, 2004.
- 51 [C12] Cortes, J., Martinez, S., Karatas, T., Bullo, F., "Coverage Control for Mobile Sensing Networks", *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 20, No. 2, pp. 243-255, Apr, 2004.
- 52 [C13] Craig, J. J., "Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Ed.)", Prentice Hall, ISBN 0201543613, Upper Saddle River, NJ, 2003.
- 53 [D1] Davidescu, A., "Analiza și Procesarea Datelor în Matlab", Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
- 54 [D2] Dillman, R., Albiez, J., Gassmann, B., Kerscher, T., Zollner, M., "Biologically Inspired Walking Machines: Design, Control and Perception", *Phil. Trans.R. Soc., A* 2007 365, 133-151, 2007.
- 55 [D3] Dinh, H., Inanc, T., "Low Cost Mobile Robotics Experiment with Camera and Sonar Sensors", American Control Conference, St. Louis, California, 2009.
- 56 [D4] Dolga, V., "Senzori și Traductoare", Editura Eurobit, Timișoara, ISBN 973-99-227-9-1, 1997.
- 57 [D5] Dolga, V., "Proiectarea Sistemelor Mecatronice", Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-573-1, 2007.
- 58 [D6] Dong, W., Farrell, J.A., "Cooperative Control of Multiple Nonholonomic Mobile Agents", *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol. 53, No. 6, pp. 1434-1448, Jul, 2008.
- 59 [D7] Dongheui, Lee, Woojin Chung, "Discrete-Status-Based Localization for Indoor Service Robots", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.53, No.5, 2006.
- 60 [D8] Dudek, G., Jenkin, M., Milios, E., Wilkes, D., "Robotic Exploration as Graph Construction", *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 7, No. 6, pp. 859-865, Dec, 1991.
- 61 [D9] Durrant-Whyte, H., "A Critical Review of the State-of-the-Art in Autonomous Land Vehicle Systems and Technology", Sandia Nat. Lab., Albuquerque, NM, Tech. Rep. SAND2001-3685, 2001.
- 62 [D10] Durrant-Whyte, H., Bailey, T., "Simultaneous Localization and Mapping: Part. I", *IEEE Robot. Automat. Mag.*, Vol. 13, No.2, pp. 99-110, 2006.
- 63 [E1] El-Shenawy, A., Wagner, A., Badreddin, E., "Dynamic Model of a Holonomic Mobile Robot with Actuated Caster Wheels", *IEEE, ICARCV*, 1-4244-0342-1/06, 2006.
- 64 [F1] Fauroux, J.C., Vaslin, P., "Crawling, Walking or Rolling for Obstacle-Crossing? Bio-inspiration for the Open WHEEL i3R Agile Mobile Robot", International Workshop Bio-Inspired Robots, Nantes, 2011.
- 65 [F2] Fax, J.A., Murray, R.M., "Information Flow and Cooperative Control of vehicle Formations", *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol.49, No. 9, pp. 1465-1476, Sep, 2004.
- 66 [F3] Fedemba, J.T., Lewis, C., Schoenwald, D.A., "Decentralized Control of Cooperative Robotic Vehicles: Theory and Application", *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 18, No. 5, pp. 852-864, Oct, 2002.

- 67 [F4] Filliat, D., Kodjabachian, J., Meyer, J.A., "Incremental Evolution of Neural Controllers for Navigation in a 6 Legged Robot", 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Oita Univ. Press, Sugisaka, Tanaka (eds) Proc, 1999.
- 68 [F5] Fogel, D.B., "Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence", IEEE Press, New York, 2000.
- 69 [F6] Fraichard, Th., Asama, H., "Inevitable Collision States-A Step Towards Safer Robots?", Adv. Robot., pp. 1001-1024, 2004.
- 70 [F7] Francis, B., "Distributed Control of Autonomous Mobile Robots", ECE1635 Course Notes, Version 1.3, November 2006.
- 71 [F8] Frazzoli, E., Dahleh, M.A., Feron, E., "Maneuver-Based Motion Planning for Nonlinear Systems with Symmetries", IEEE Trans. Robot., Vol. 21, No. 6, pp. 1077-1091, Dec, 2005.
- 72 [F9] Fredslung, J., Mataric, M.J., "A General Algorithm for Robot Formations Using Local Sensing and Minimal Communication", IEEE Trans. Robot. Autom., Vol. 18, No. 5, pp. 852-864, Oct, 2002.
- 73 [G1] Gavriluț, I., Tiponuț, V., Gacsadi, A., Tepelea, L., "Obstacles Avoidance Method for an Autonomous Mobile Robot Using Two IR Sensors", Journal of EEE, Oradea, Vol.1, Nr.1, pp. 194-197, 2008.
- 74 [G2] Gerkey, B.P., Mataric, M.J., "Sold!: Auction Methods for Multi-Robot Coordination", IEEE Trans Robot. Automat., Vol. 18, No. 5, pp. 758-768, 2002.
- 75 [G3] Gomez-de-Gabriel, J.M., Mandow, A., Fernandez-Lozano, J., Garcia-Cerezo, A.J., "Using LEGO NXT Mobile Robots with LabVIEW for Undergraduate Courses on Mechatronics", IEEE Transactions on Education, Vol.54. No.1, 2011.
- 76 [G4] Gonzalez, R., Rodriguez, F., Guzman, J.L., Berenguel, M., "Comparative Study of Localization Techniques for Mobile Robots Based on Indirect Kalman Filter", Symposium on Robotics, 2009.
- 77 [G5] Guizzo, E., "Three Engineers, Hundreds of Robots, One Warehouse", IEEE Spectr., Vol. 45, No.7, pp. 26--34, 2008.
- 78 [H1] Hafstein, S.F., "An Algorithm for Constructing Lyapunov Functions", Electronic Journal of Differential Equations, Monograph 08, 2007.
- 79 [H2] Heath, S., "Embedded Systems Design", EDN series for design engineers, 2003.
- 80 [H3] Henderson, T.C., Dekhil, M., Bruderlin, B., Schenkat, L., Veigel, L., "Flat Surface Reconstruction Using Minimal Sonar Readings", International Journal of Robotics Research, Vol 17, No. 5, pp. 504-511, 1998.
- 81 [H4] Higdon, D., "Space and Space-Time Modeling Using Process Convolutions", Quantitative Methods for Current Environmental Issues, C. W. Anderson, V. Barnett, P. C. Chatwin, and A. H. El-Shaarawi, Eds. New York: Springer-Verlag, pp. 37-54, 2002.
- 82 [H5] Hinders, M., Wen Gao, Fehlman, W., "Sonar Sensor Interpretation and Infrared Image Fusion for Mobile Robotics", Department of Applied Science, The College of William & Mary in Virginia NDE Lab @ 106 Jamestown Road, Williamsburg, VA 23187-8795.
- 83 [H6] Holland, J., "Designing Mobile Autonomous Robots", Elsevier, ISBN: 0-7506-7683-3, Oxford, 2004.
- 84 [H7] Hornby, G.S., Takamura, S., Yokono, J., Hanagata, O., Fujita, M., Pollack, J., "Evolution of Controllers from a High-Level Simulator to a High Dof Robot", Miller J (ed) Evolvable Systems: from Biology to Hardware, the 3rd International Conference (ICES 2000), Lecture Notes

- in Computer Science, vol. 1801, Springer, 2000.
- 85 [I1] Ishigami, G., Overholt, J., Iagnemma, K., "Multi-material Anisotropic Friction Wheels for Omnidirectional Ground Vehicles", Army Tank Automotive Research Development and Engineering Center Warren Mi, 2010.
- 86 [I2] Itineanțiu, A., Dolga, V., "Studiul Comportării Robotului Mobil într-un Mediu Accidentat", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2010.
- 87 [I3] Ivanjko E., Petrinić I., Petrović, I., "Modeling of Mobile Robot Dynamics", 7th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Prague, Czech Republic, Vol.2, 2010.
- 88 [I4] Ivănescu, M., Nițulescu, M., Stoian, V., Bîzdoacă, N., "Sisteme Neconvenționale pentru Conducerea Roboților", Editura Universitaria, Craiova, Seria Mecatronică, 2002.
- 89 [I5] Iwanowski, M., "An Application of Mathematical Morphology to Filtering and Feature Extraction for Pattern Recognition", Przegląd elektrotechniczny, Vol.80, No.4, 2004.
- 90 [J1] Jadbabaie, A., Lin, J., Morse, A.S., "Coordination of Groups of Mobile Autonomous Agents Using Nearest Neighbor Rules", IEEE Trans. Autom. Control, Vol. 48, No. 6, pp. 988-1001, Jun, 2003.
- 91 [J2] Jakobi, N., "Running Across the Reality Gap: Octopod Locomotion Evolved in a Minimal Simulation", Husbands P, Meyer J A (eds) Evolutionary Robotics: First European Workshop, EvoRobot98, Springer-Verlag, 1998.
- 92 [J3] Jianga, Z.P., Lefeber, E., Nijmeijer, H., "Saturated Stabilization and Tracking of a Nonholonomic Mobile Robot Systems & Control", Letters 42 (2001) 327-332.
- 93 [J4] Jianguo, Tao, Zongquan Deng, Zhenfa Bi, Rongqiang Liu, Jicheng Liu, "Characteristic Analysis of a Two-Wheeled Robotic Rover with Anti-Overturn Ability and Combinability", International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, 2006.
- 94 [J5] Jung, M.J., Kim, J.H., "Mobility Augmentation of Conventional Wheeled Bases for Omnidirectional Motion", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.18, No.1, 2002.
- 95 [J6] Junyi Zhou, Jing Shi, Xiuli Qu, "Statistical Characteristics of Landmark-Based Localization Performance", Int J Adv Manuf Technol, Springer – Verlag, London, 2009.
- 96 [K1] Kaess, M., Ranganathan, A., Dellaert, F., "iSAM: Incremental Smoothing and Mapping", IEEE Trans. Robot., Vol. 24, No. 6, pp. 1365-1378, Decembrie, 2008.
- 97 [K2] Katsura, S, Ohnishi, K., "Human Cooperative Wheelchair for Haptic Interaction Based on Dual Compliance Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.51, No.1, pp. 221-228, 2004.
- 98 [K3] Kazuya Yoshida, Hisafumi Asai, Hiroshi Hamano, "Motion Dynamics of Exploration Rovers on Natural Terrain: Experiments and Simulation", 6th International Symposium on Artificial Intelligence and Robotics & Automations in Space, St-Hubert, Quebec, 2001.
- 99 [K4] Kawai, K., Ishiguro, A., Eggenberger, P., "Incremental Evolution of Neurocontrollers with a Diffusion-Reaction Mechanism of Neuromodulators", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'01), Vol. 4. Maui, HI, 2001.

- 100 [K5] Kelly, S.D., Hukkeri, R.B., "Mechanics, Dynamics, and Control of a Single-Input Aquatic Vehicle with Variable Coefficient of Lift", IEEE Trans. Robot, Vol. 22, No. 6, pp. 1254-1264, Dec, 2006.
- 101 [K6] Kersting, K., Plagemann, C., Pfaff, P., Burgard, W., "Most Likely Heteroscedastic Gaussian Process Regression", Int. Conf. Machine Learning (ICML), pp. 393-400, 2007.
- 102 [K7] Khatib, O., Brock, O., Chang, K., Ruspini, D., Sentis, L., Viji, S., "Human-Centered Robotics and Interactive Haptic Simulation", The Int.Journ.of Robotics Res., Vol.23, No.2, pp.167-178, 2004.
- 103 [K8] Kishimoto, M., "On the Black-Scholes Equation: Various Derivations", MS&E 408 Term Paper, 2008
- 104 [K9] Kleeman, L., Kuc, R., "An Optimal Sonar Array for Target Localization and Classification", IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, SUA, Vol.4, pp. 3130-3135, 1994.
- 105 [K10] Kloeden, P., Buckwar, E., Riedler, M., "The Numerical Stability of Stochastic Differential Equations with Additive Noise.", Stochastics & Dynamics, Vol. 11 (2-3), 2011.
- 106 [K11] Kloeden, P.E., Platen, E., "Numerical Solution of Stochastic Differential Equations", Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- 107 [K12] Kolski, S., "Mobile Robots. Perception & Navigation", Advanced Robotic Systems International, ISBN 3-86611-283-1, Croatia, 2007.
- 108 [K13] Krstic, M., Wang, H., "Design and Stability Analysis of Extremum Seeking Feedback for General Nonlinear Systems", Automatica, Vol. 36, No. 2, pp. 595-601, 2000.
- 109 [K14] Kuipers, B., Modayil, J., Beeson, P., MacMahon, M., Savelli, F., "Local Metric and Global Topological Maps in the Hybrid Spatial Semantic Hierarchy", Proc. IEEE Conf. Robot. Autom., pp. 4845-4851, 2004.
- 110 [K15] Kühne, F., Fetter Lages, W., Gomes da Silva Jr, J.M., "Model Predictive Control of a Mobile Robot Using Linearization", APS/ECM, ISBN: 3-938153-30-X.
- 111 [L1] LaValle, S.M., "Motion Planning Part II: Wild Frontiers", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.18, No.2, ISSN 1070-9932, pp. 108-118, June 2011.
- 112 [L2] Lacroix, S., Dudek, G., "On the Identification of Sonar Features", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Grenoble, France, 1997.
- 113 [L3] Lacroix, S., Mallet, A., Bonnafous, D., Bauzil, G., Fleury, S., Herrb, M., Chatila, R., "Autonomous Rover Navigation on Unknown Terrains: Functions and Integration", Int. J. Robot. Res., Vol.21, No.10-11, pp. 917-942, 2002.
- 114 [L4] Lamon, P., Nourbakhsh, I., Jensen, B., Siegwart, R., "Deriving and Matching Image Fingerprint Sequences for Mobile Robot Localization", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001.
- 115 [L5] Larminie, J., Lowry, J., "Electric Vehicle Technology Explained", John Wiley & Sons, ISBN 0-470-85163-5, 2003.
- 116 [L6] Latombe, J.C., Barraquand, J., "Robot Motion Planning: A Distributed Presentation Approach", International Journal of Robotics Research, Vol.10, pp. 628-649, 1991.
- 117 [L7] Lauria, M., Estier, T., Siegwart, R., "An Innovative Space Rover with Extended Climbing Abilities", Video Proceedings of the 2000 IEEE

- International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, 2000.
- 118 [L8] Lazanas, A., Latombe, J.C., "Landmark-Based Robot Navigation", 10th National Conference on AI. San Jose, CA, 1992.
- 119 [L9] Lazanas, A., Latombe, J.C., "Motion Planning with Uncertainty: A Landmark Approach", *Artificial Intelligence*, Vol.76, pp. 285–317, 1995.
- 120 [L10] Le, Q., Smola, A., Canu, S., "Heteroscedastic Gaussian Process Regression", *Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, pp. 489–496, 2005.
- 121 [L11] Lee, D., "Passive Decomposition and Control of Nonholonomic Mechanical Systems", *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 26, No. 6, ISSN 1552-3098, pp.978-992, Dec, 2010.
- 122 [L12] Leal, J., Scheduling, S., Dissanayake, G., "3D mapping: A Stochastic Approach", *Australian Conf. Robotics and Automation*, pp. 135–140, 2001.
- 123 [L13] Lerner, R., Rivlin, E., Shimshoni, I., "Landmark Selection for Task-Oriented Navigation", *IEEE Transactions on Robotics*, Vol.23, No.3, pp. 494-505, 2007.
- 124 [L14] Lewis, A.D., "Simple Mechanical Control Systems with Constraints", *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol. 45, No. 8, pp. 1420-1436, Aug, 2000.
- 125 [L15] Lewis, C. L., Maciejewski, A., "Fault Tolerant Operation of Kinematically Redundant Manipulators for Locked Joint Failures", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol.13, No.4, 1997.
- 126 [L16] Lin Feng, Zhenyu Wu, Yanping Li, Jun Sun, "Research on Traction Force Allocation for Omni-directional Mobile Robots", 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, 2010.
- 127 [L17] Lin, H.Y., "Autonomous Mobile Robots. Lecture Set 05 Mobile Robot Localization", Robot Vision Lab, Department of Electrical Engineering, National Chung Cheng University.
- 128 [L18] Lindemuth, M., Murphy, R., Steimle, E., Armitage, W., Dreger, K., Elliot, T., Hall, M., Kalyadin, D., Kramer, J., Palankar, M., Pratt, K., Griffin, C., "Sea Robot-Assisted Inspection", *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol.18, No.2, ISSN 1070-9932, pp. 96-107, June 2011.
- 129 [L19] Lindsay, A., "Smart Sensors and Application", Parallax Inc., ISBN 1-928982-39-5, Rocklin-California, 2006.
- 130 [L20] Lipson, H., Pollack, J.B., "Automatic Design and Manufacture of Robotic Lifeforms", *Nature*, Vol.406, No.6799, pp. 974–978, 2000.
- 131 [L21] Liu, G., Li, Z., "A Unified Geometric Approach to Modelling and Control of Constrained Mechanical Systems", *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 18, No. 4, pp. 574-587, Aug, 2002.
- 132 [L22] Lund, H.H., Miglino, O., "From Simulated to Real Robots", *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, Nagoya, Japan, pp.362-365, 1996.
- 133 [L23] Lund, H.H., Miglino, O., Pagliarini, L., Billard, A., Ijspeert, A., "IEEE World Congress on Computational Intelligence", Anchorage, USA, pp.154-158, 1998.
- 134 [M1] Madhavan, R., Dissanayake, G., Durrant-Whyte, H., Roberts, J., Corke, P., Cunningham, J., "Issues in Autonomous Navigation of Underground Vehicles", *J. Mineral Resources Eng.*, Vol.8, No.3, pp. 313–324, 1999.
- 135 [M2] Madhavan, R., Fregene, K., Parker, L.E., "Distributed Cooperative Outdoor Multirobot Localization and Mapping", *Autonomous Robots*, Vol.17, No. 1, pp. 23–39, 2004.



- 136 [M3] Makris, N., "Unidetified Floating Objects", IEEE Spectrum, Vol. 48, No. 8, International, pp.44-50, Aug, 2011.
- 137 [M4] Maniu, I., Dolga, V., Ciupe, V., Bogdanov, I., Rădulescu, C., Varga, Ș., "Robotică. Sistemul de acționare", Vol.II, Editura Politehnica, ISBN: 978-973-625-996-8, 2007.
- 138 [M5] Marin, C., Petrișor, A., "Algoritmi pentru Conducerea Roboților Mobili în Medii Incerte", Editura Sitech, Craiova, ISBN 973-746-096-0, 2005.
- 139 [M6] Marinakis, D., Dudek, G., "Pure Topological Mapping in Mobile Robotics", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 26, No. 6, ISSN 1552-3098, pp.1051-1064, Dec, 2010.
- 140 [M7] Martinelli, A., "The Odometry Error of a Mobile Robot with a Synchronous Drive System", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.18, No.3, 2002.
- 141 [M7] Matieș, V., Mîndru, D., Bălan, R., Tătar, O., Rusu, C., "Tehnologie și Educație Mecatronică", Editura Todesco, Cluj, 500 pag., ISBN 973-8198-05-4, 2001.
- 142 [M8] Matieș, V., Bălan, R., Stan, S., Lăpușan, C., "A Control Approach for a 2 DOF Parallel Kinematics Machine, Journal of Romanian Society of Mechatronics, București, nr.2/2006, ISSN 1583-7653, pp.31-33, 2006.
- 143 [M9] Matijevics, I., "Infrared Sensors Microcontroller Interface System for Mobile Robots", 5th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, 2007.
- 144 [M10] Matthies, L., Gat, E., Harrison, R., Wilcox, B., Volpe, R., Litwin, T., "Mars Microrover Navigation: Performance Evaluation and Enhancement", Autonomous Robots, Vol.2, No.4, pp. 291-311, 1995.
- 145 [M11] Melodia, T., Pompili, D., Gungor, V.C., Akyildiz, I.F., "Communication and Coordination in Wireless Sensor and Actor Networks", IEEE Trans. Mobile Comput., Vol. 6, No. 10, pp. 1116-1129, 2007.
- 146 [M12] Miao, S., Howard, D., "Optimal Tripod Gait Generation for Hexapod Walking Machines", Journal Robotica, Cambridge University Press, New York, Vol.18, No.6, 2000.
- 147 [M13] Mitroi, A., Valuch, C., Diaconu, A., "Controlul Poziției Robotului Mobil în Scena de Lucru", Lucrare de Dizertație, Universitatea Politehnica, 2011.
- 148 [M14] Mohammad, T., "Using Ultrasonic and Infrared Sensors for Distance Measurement", World Acad. of Science, Engineering and Technology, 2009
- 149 [M15] Moonzoo Kim, Kyo Chul Kang, Hyoungki Lee, "ification of Robot Movements - a Case Study on Home Service Robot SHR100", IEEE/RSJ International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2005), pp.4739-4744, 2005.
- 150 [M16] Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., "Digital Terrain Modelling: A review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications", Hydrological Processes, Vol.5, No.1, pp. 3-30, 1991.
- 151 [M17] Morris, A., Kurth, D., Whittaker, W., Thayer, S., "Case Studies of a Borehole Deployable Robot for Limestone Mine Profiling and Mapping", Springer Tracts in Advanced Robotics, Vol.24, pp. 189-198, 2006.
- 152 [M18] Mourikis, A.I., Roumeliotis, S.I., "Optimal Sensor Scheduling for Resource-Constrained Localization of Mobile Robot Formations", IEEE Transactions on Robotics, Vol.22, pp. 917-931, 2006.
- 153 [M19] Mustafa, S.K., Yang, G., Yeo, S.H., Lin, W., Chen, I.M., "Self-Calibration of a Biologically-Inspired 7-DOF Cable-Driven Robotic Arm", IEEE Trans. Mechatronics, Vol. 13, No.1, pp. 66-75, Feb, 2008.

- 154 [M20] Murphy, R., "Marsupial and Shape-Shifting Robots for Urban Search and Rescue", *IEEE Expert Intell. Syst. Applicat.*, Vol. 15, No. 2, p. 14, 2000.
- 155 [M21] Murphy, R., Steimle, E., Griffin, C., Cullins, C., Hall, M. Murphy, R.R., Pratt, K., "Cooperative Use of Unmanned Sea Surface and Micro Aerial Vehicles at Hurricane Wilma", *J. Field Robot.*, Vol. 25, No. 3, pp. 164-180, 2008.
- 156 [N1] Nearchou, A.C., "Adaptive Navigation of Autonomous Vehicles Using Evolutionary Algorithms", *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol.13, No.2, pp.159-173, 1999.
- 157 [N2] Nearchou, A.C., "Path Planning of a Mobile Robot Using Genetic Heuristics", *Journal Robotica*, Cambridge University Press, New York, Vol. 16, No.5, pp.575-588, 1998.
- 158 [N3] Nicoară, I., Mădăraș, L., "Bazele Proiectării Transmisilor Mecanice. Transmisii prin Fricțiune", Editura de Vest, Timișoara, ISBN 973-36-0271-X, 1996.
- 159 [N4] Nițulescu, M., "Sisteme Robotice cu Capacitate de Navigatie", Editura Universitaria, ISBN 973-8043-143-3, Craiova, 2002.
- 160 [N5] Novotny, P.M., Ferrier, N.J., "Using Infrared Sensors and the Phong Illumination Model to Measure Distances", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, Vol.2, pp. 1644-1649, 1999.
- 161 [N6] New, A.A., Aung, W.P., Myint, Y.M., "Software Implementation of Obstacle Detection and Avoidance System for Wheeled Mobile Robot", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol.32, ISSN 2070-3740, 2008.
- 162 [O1] O'Callaghan, S., Ramos, F., Durrant-Whyte, H., "Gaussian Process Occupancy Maps Incorporating Sensor and Location Uncertainty", *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2010.
- 163 [O2] Ojeda, L., Cruz, D., Reina, G., Borenstein, J., "Current-Based Slippage Detection and Odometry Correction for Mobile Robots and Planetary Rovers", *IEEE Transactions on Robotics*, Vol.22, No.2, 2006.
- 164 [O3] O'Kane, J.M., "Global Localization Using Odometry", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, Florida, pp. 37-42, 2006.
- 165 [O4] Ortega, R., Spong, M.W., Gomez-Estern, F., "Stabilization of Underactuated Mechanical Systems Via Interconnection and Damping Assignment", *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol. 47, No. 8, pp. 1218-1233, Aug, 2002.
- 166 [O5] Otomanski, P., Szlachta, A., "The Evaluation of Expanded Uncertainty of Measurement Results in Direct Measurements Using the Lab VIEW Environment", *Measurement Science Review*, Vol.8, Section 1, No.6, 2008.
- 167 [Q1] Quinero-Candela, J., Rasmussen, C.E., Williams, C.K.I., "Approximation Methods for Gaussian Process Regression", *Large-Scale Kernel Machines*, L. Bottou, O. Chapelle, D. DeCoste, and J. Weston, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 203-223, 2007.
- 168 [P1] Papadopoulos, E., Misailidis, M., "On Differential Drive Robot Odometry with Application to Path Planning", *European Control Conference*, ISBN: 978-960-89028-5-5, Kos, Greece, 2007.
- 169 [P2] Peters, S.C., Iagnemma, K., "An Analysis of Rollover Stability Measurement for High-Speed Mobile Robots", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, pp. 3711-3716, 2006.
- 170 [P3] Philippsen, R., Siegart, R., "Smooth and Efficient Obstacle Avoidance for a Tour Guide Robot", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan, pp.446-451, 2003.



- 171 [P4] Porat, B., Neohorai, A., "Localizing Vapor-Emitting sources by Moving Sensors", IEEE Trans. Signal Process., Vol. 44, No. 4, pp. 1018-1021, Apr, 1996.
- 172 [P5] Pratihari, D.K., Deb, K., Ghosh, A., "A Genetic-Fuzzy Approach for Mobile Robot Navigation Among Moving Obstacles", International Journal of Approximate Reasoning, Vol.20, No.2, pp.145-172, 1999.
- 173 [P6] Prassler, E., Bischoff, R., Bruyninckx, H., "It's a Long Way to Useful Standards", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.17, No.3, pp. 18-19, 2010.
- 174 [R1] Ranganathan, A., Menegatti, E., Dellaert, F., "Bayesian Inference in the Space of Topological Maps", IEEE Trans. Robot., Vol. 22, No. 1, pp. 92-107, Feb, 2006.
- 175 [R2] Ramos Arreguin, I., "Automation and Robotics", I-Tech Education and Publishing, ISBN 978-3-902613-41-7, Croatia, 2008.
- 176 [R3] Rasmussen, C.E., Williams, C.K.I., "Gaussian Processes for Machine Learning", Cambridge, MA: MIT Press, 2006.
- 177 [R4] Rădulescu C., Negrea, G.A., "Robotul Mobil Pășitor", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2005.
- 178 [R5] Rădulescu C., Silvășan, C., "Navigarea Roboților Mobili pe Suprafețe cu Obstacole de Tip Treaptă", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2004.
- 179 [R6] Rădulescu C., Vatau, S., "Roboți Mobili - Vehicule Ghidate Automat", Vol.1, Editura Politehnica, ISBN 978-973-625-664-6, 2008.
- 180 [R7] Rekleitis, I., Bedwani, J., Gingras, D., Dupuis, E., "Experimental Results for Over-the-Horizon Planetary Exploration Using a LIDAR Sensor", 11th International Symposium Experimental Robotics, Vol.54, pp. 65-77, 2009.
- 181 [R8] Rembold, U., Fatikow, S., "Autonomous Microrobots", J.Intell. Robot. Syst., Vol. 19, pp. 375-391, 1997.
- 182 [R9] Riek, L.D., Watson, R.N.M., "The Age of Avatar Realism: When Seeing Shouldn't Be Believing", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.17, No.4, ISSN 1070-9932, pp. 37-42, Dec 2010.
- 183 [R10] Rimon, E., Koditschek, D.E., "Exact Robot Navigation Using Artificial Potential Fields", IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 8, No. 5, pp. 501-518, Oct, 1992.
- 184 [R11] Roberts, R.G., Lippit, T., "On the Inverse Kinematics, Statics and Fault Tolerance of Cable-Suspended Robots", J.Robot. Syst., Vol. 15, No.10, pp. 581-597, 1998.
- 185 [R12] Rozhok, A., "Orientation and Navigation in Vertebrates ", Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-78718-1 e-ISBN 978-3-540-78719-8, Berlin Heidelberg, 2008.
- 186 [R13] Rusu, R.B., Marton, Z.C., Blodow, N., Dolha, M., Beetz, M., "Towards 3D Point Cloud Based Object Maps for Household Environments", Robot. Autonom. Syst., Vol.56, No.11, pp. 927-941, 2008.
- 187 [S1] Savii, G., Sofronie, R.E., Prună, A.G., "Conducerea Robotului Mobil prin Comunicare Fără Fir", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2009.
- 188 [S2] Shinzato, T., "Box Muller Method", January 27, 2007.
- 189 [S3] Shu-Jun Liu, Krstic M., "Stochastic Source Seeking for Nonholonomicicycle", Automatica 46 (2010) 1443-1453.
- 190 [S4] Siegwart, R., Nourbakhsh, I., "Introduction to Autonomous Robot", MIT Press, ISBN 0-262-19502-X, Massachusetts, 2004.

## 196 Bibliografie

---

- 191 [S5] Song, K.T., Chen, Y.H., "Development of Multiple Sensor Fusion Experiments for Mechatronics Education", Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(D), Vol.9, No.2, pp 56-64, 1999.
- 192 [S6] Stankovic, M.S., Stipanovic, D.M., "Stochastic Extremum Seeking With Applications to Mobile Sensor Networks", 2009 American Control Conference, Hyatt Regency Riverfront, St. Louis, MO, USA, June 10-12, 2009.
- 193 [S7] Straszheim, T., Gerkey, B., Cousins, S., "The Ros Build System", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.18, No.2, ISSN 1070-9932, pp. 18-19, June 2011.
- 194 [S8] Sugihara, K., Smith, J., "Genetic Algorithms for Adaptive Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot", IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Monterey, USA, pp.138-143, 1997.
- 195 [S9] Sukhatme, G.S., "The Path to the Autonomous Robots", Springer Publishing Company, ISBN 0387857737 978-0-387-85773-2, New York, 2008.
- 196 [T1] Tabuada, P., Pappas, G.J., Lima, P., "Motion Feasibility of Multi-Agent Formations", IEEE Trans Robot., Vol. 21, No. 3, pp. 387-392, Jun, 2005.
- 197 [T2] Tan, Y., Netic, D., Mareels, I.M.Y., "On Non-Local Stability Properties of Extremum Seeking Controllers", Automatica, Vol. 42, pp. 889-903, 2006.
- 198 [T3] Takanishi, A., Hirano, S., Sato, K., "Development of an Anthropomorphic Head-Eye System for Humanoid Robotrealization of Human-Like Head-Eye Motion Using Eyelids Adjusting to Brightness", International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, Leuven, Belgium, pp. 1308-1314, 1998.
- 199 [T4] Tedrake, R., Manchester I.R., Tobenkin, M.M., Roberts, J.W., "Time Optimal Trajectories for Bounded Velocity Differential Drive Vehicles", Int. J. Robot. Res., Vol.29, No.10-11, pp. 1038-1052, July, 2010.
- 200 [T5] Tilneac, M., Dolga, V., Grigorescu, S., Bitea, M.A., "3D Stereo Vision Measurement for Weed-Crop Discrimination",
- 201 [T6] Tomatis, N., "BlueBotics: Navigation for the Clever Robot", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.18, No.2, ISSN 1070-9932, pp. 14-17, 2011.
- 202 [T7] Tomatis, N., Nourbakhsh, I., Arras, K., Siegwart, R., "A Hybrid Approach for Robust and Precise Mobile Robot Navigation with Compact Environment Modeling", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Vol. 2, pp. 1111-1116, 2001.
- 203 [T8] Torralba, A., Fergus, R., Freeman, W., "80 Million Tiny Data Set for Nonparametric Object and Scene Recognition", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol. 30, No. 11, pp. 1958-1970, 2008.
- 204 [T9] Tovar, B., Murrieta, R., LaValle, S.M., "Distance-Optimal Navigation in an Unknown Environment Without Sensing Distances", IEEE Trans. Robot, Vol. 23, No. 3, pp. 506-518, June, 2007.
- 205 [T10] Triebel, R., Pfaff, P., Burgard, W., "Multi-Level Surface Maps for Outdoor Terrain Mapping and Loop Closing", International Conference Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, pp. 2276-2282, 2006.
- 206 [T11] Tun Yang, Aitken, V., "Evidential Mapping for Mobile Robots with Range Sensors", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, pp. 2180-2185, 2005.
- 207 [V1] Van Ham, R., Vanderborght, B., Van Damme, M., Verrelst, B., Lefeber, D., "MACCEPA, the Mechanically Adjustable Compliance and Controllable Equilibrium Position Actuator: Design and Implementation in a Biped Robot", Robot. Autonom. Syst., Vol.55, No.10, pp. 761-768, 2007.

- 208 [V2] Varga, Ș., Rădulescu, C., Bogdanov, I., Maniu, I., Dolga, V., Ciupe, V., "Robotică. Sistemul Mecanic", Editura Politehnica, Timișoara, Vol.I, 2008.
- 209 [V3] Varga, Ș., Vatau, S., "Platformă Mobilă Cvadruplă", Lucrare de Licență, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2004.
- 210 [V4] Vatau, S., "Optimizarea Constructiv-Funcțională a Roboților Mobili Patrupezi", Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara, 2008.
- 211 [V5] Vatau, S., Rădulescu, C., "Roboți Mobili - Roboți Mobili Pășitori", Vol.2, Editura Politehnica, ISBN 978-973-625-666-0, 2008.
- 212 [V6] Virk, G.S., "Standards for Mobile Service Robots", 9th International Conference on Climbing and Walking Robots, Bruxelles, Belgium, 2006.
- 213 [V7] Voinea, R., Vâlcovici, S., Bălan, "Mecanică tehnică", Editura Tehnică, București, 1969.
- 214 [W1] Wackernagel, H., "Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol.33, No.8, pp. 363A-363A(1), 1996.
- 215 [W2] Wada, N., Saeki, M., Chen, H., "Robust Tracking Control of a Nonholonomic Mobile Robot in the Presence of Disturbances", JSME International Journal Series C (Paper No.03-4106), 2003.
- 216 [W3] Wang, H., Krstic, M., "Extremum Seeking for Limit Cycle Minimization", IEEE Trans. Automat. Control, Vol. 45, No. 12, pp. 2432-2436, 2000.
- 217 [W4] Webers, C., Zimmer, U.R., "Motion Control of Mobile Robots—From Static Targets to Fast Drives in Moving Crowds", Autonomous Robots 12, 173–185, 2002.
- 218 [W5] Weiss, L.G., "Autonomous Robots in the Fog of War", IEEE Spectrum, Vol. 48, No. 8, International, pp.27-32, Aug, 2011.
- 219 [W6] Williams, C.K.I., "Computation with Infinite Neural Networks", Neural Computation, Vol.10, No.5, pp. 1203–1216, 1998.
- 220 [W7] Williams, C.K., "Prediction with Gaussian Processes: From Linear Regression to Linear Prediction and Beyond", Learning in Graphical Models, M. Jordan, Ed. New York, Springer-Verlag, pp. 599–622, 1998.
- 221 [W8] Wolf, D.F., Sukhatme, G.S., "Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping in Dynamic Environments", Autonomous Robots, Vol. 19, No. 1, pp. 53-65, Jul, 2005.
- 222 [W9] Wurman, P., D'Andrea, R., Mounyz, M., "Coordinating Hundreds of Cooperative, Autonomous Vehicles in Warehouses", AI Magazine, Vol.29, No.1, p.9, 2008.
- 223 [Z1] Zhang, B.T., Kim, S.H., "An Evolutionary Method for Active Learning of Mobile Robot Path Planning", IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Monterey, USA, pp. 312-317, 1997.
- 224 [Z2] Zhang, C., Siranosian, A., Krstic, M., "Extremum Seeking for Moderately Unstable Systems and for Autonomous Vehicle Target Tracking Without Position Meas", Automatica, Vol. 43, pp. 1832-1839, 2007.
- 225 [Z3] Zheng, X., Koenig, S., "Robot Coverage of Terrain with Non-Uniform Traversability", Proc. Int. Conf. Intell. Robots Syst, pp. 2300-2309, 2007.
- 226 [Z4] Zheng, X., Koenig, S., Kempe, D., "Multirobot Forest Coverage for Weighted and Unweighted Terrain", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 26, No. 6, ISSN 1552-3098, pp.1018-1031, Dec, 2010.
- 227 [Z5] Zuo, B.R., Chen, I.M., "A Dynamic Reachability Test for Sensor-Based Navigation with Unknown Obstacle Boundaries", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Maui, Hawaii, 2001.

## 198 Bibliografie

---

- 228 [Y1] Yamada, T., Watanabe, K., Kiguchi, K., Izumi, K., "Dynamic Model and Control for a Holonomic Omnidirectional Mobile Robot", *Autonomous Robots*, Vol.11, pp. 173-189, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- 229 [Y2] Yu, H., Wang, Y., "Coordinated Collective Motion of Groups of Autonomous Mobile Robots with Directed Interconnected Topology", *J. Intell. Robot. Syst.*, Vol. 53, No. 1, pp. 87-98, 2008.
- 230 [Y3] Yunchong, L., Kezhong, H., "A Novel Obstacle Avoidance and Navigation Method of Outdoor Mobile Robot", *12th International Conference on Advanced Robotics*, Seattle, pp. 653-656, 2005.
- 231 [\*\*\*1] \*\*\*, <http://ro.wikipedia.org/wiki/Robotic%C4%83>
- 232 [\*\*\*2] \*\*\*, [http://www.cscamm.umd.edu/lectures/EVandenLectures\\_final.pdf](http://www.cscamm.umd.edu/lectures/EVandenLectures_final.pdf).
- 233 [\*\*\*3] \*\*\* <http://www.iso.org/iso/home.html>
- 234 [\*\*\*4] \*\*\* <http://www.merriam-webster.com/>
- 235 [\*\*\*5] \*\*\* <http://know-about-robot.blogspot.com/2008/08/robotics-institute-of-america.html>
- 236 [\*\*\*6] \*\*\*, [http://www.bostondynamics.com/robot\\_bigdog.html](http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html)
- 237 [\*\*\*7] \*\*\*, [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-9162011000100013&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-9162011000100013&script=sci_arttext)
- 238 [\*\*\*8] \*\*\* <http://www.robotechsrl.com/dustclean.asp>
- 239 [\*\*\*9] \*\*\* <http://www.constructionweekonline.com/article-7496-robot-window-cleaners-to-take-over-dubai>
- 240 [\*\*10] \*\*\* [http://www.mobilerobots.com/Mobile\\_Robots.aspx](http://www.mobilerobots.com/Mobile_Robots.aspx)
- 241 [\*\*11] \*\*\* <http://www.parallax.com/>
- 242 [\*\*12] \*\*\* <http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>
- 243 [\*\*13] \*\*\* [http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_robot](http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_robot)
- 244 [\*\*14] \*\*\* <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13980>
- 245 [\*\*15] \*\*\* <http://www-robotics.jpl.nasa.gov/tasks/showTask.cfm?FuseAction=ShowTask&TaskID=39&tdaID=2685>
- 246 [\*\*16] \*\*\* <http://tech.uk.msn.com/features/photos.aspx?cp-documentid=158470903&page=8>
- 247 [\*\*17] \*\*\* <http://www.canadiandesignresource.ca/officialgallery/transportation/aqua2-underwater-robot/>
- 248 [\*\*18] \*\*\* <http://www.reuters.com/article/2009/03/20/us-robotfish-idUSTRE52J1RY20090320>
- 249 [\*\*19] \*\*\* <http://flickrhivemind.net/Tags/plustech>
- 250 [\*\*20] \*\*\* <http://www.scribd.com/doc/58609558/26/Structura-robotului>
- 251 [\*\*21] \*\*\* <http://www.slidefinder.net/l/localization/localization/8382575>
- 252 [\*\*22] \*\*\* <http://aer.ual.es/mrit/>
- 253 [\*\*23] \*\*\* <http://www.festo.com/>

# ANEXE

## Anexa 2.1

### Istoria roboților mobili

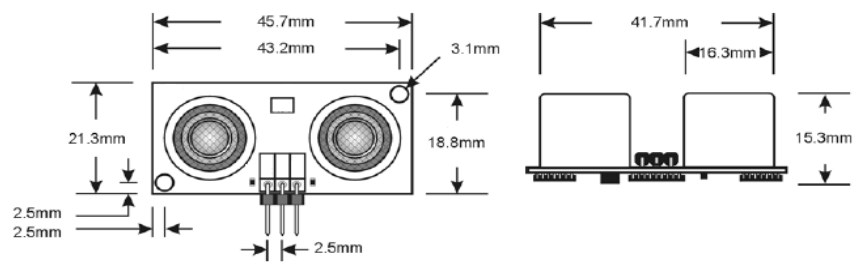
|                          |  |
|--------------------------|--|
| 1939 – 1945              | În timpul celui de-al doilea război mondial, primul robot mobil a apărut ca rezultat al progresului tehnic într-o serie de domenii de cercetare relativ noi, cum ar fi, informatica și cibernetica. Ei au fost în cea mai mare parte bombe aeriene. Exemple sunt bombele inteligente care se detonează numai într-un anumit interval de țintă, utilizează sisteme de ghidare și controlul radar. Rachetele V1 și V2 au avut "pilot automat" și sisteme automate de detonare. Ele au fost predecesoarele rachetelor de croazieră moderne.   |
| 1948 – 1949              | W. Grey Walter construiește Elmer și Elsie, doi roboți autonomi, denumiți Speculatrix Machina, deoarece acestor roboți le-a plăcut să-și exploreze propriul mediu. Elmer și Elsie au fost dotați fiecare cu un senzor de lumină. Dacă găseau o sursă de lumină se deplasau spre ea, evitând sau mutând obstacolele din calea lor. Acești roboți au demonstrat că un comportament complex ar putea apărea dintr-un design simplu.   |
| 1961 – 1963              | Universitatea Johns Hopkins dezvoltă "Beast". Acesta a folosit un sonar pentru a se deplasa. Atunci când bateriile erau pe terminate, acesta găsea o sursă de alimentare și se conecta la ea pentru reîncărcare.   |
| 1969                     | Mowbot a fost primul robotul care tunde în mod automat gazonul.  |
| 1970                     | Urmăritorul liniei, coșul Stanford, a fost un robot mobil capabil să urmeze o linie albă, folosind un aparat de fotografiat pentru a vedea. În aproximativ același timp (1966-1972) Institutul de Cercetare Stanford construiește și efectuează cercetări pe robotul Shakey, un robot numit astfel după mișcarea lui sacadată. Shakey a fost dotat cu un aparat de fotografiat, un telemetru, senzori de atingere și o conexiune radio. A fost primul robot care a putut să-și „înțeleagă” acțiunile. Acest lucru însemnând că Shakey putea da comenzi generale, și apoi își lua măsurile necesare pentru a realiza sarcina dată.<br>Uniunea Sovietică explorează suprafața Lunii cu Lunokhod 1, un rover lunar. |
| 1976                     | În programul său Viking NASA trimite două nave spațiale fără pilot pe Marte.   |
| 1980                     | Crește interesul public pentru roboți, rezultând roboți care ar putea fi achiziționați pentru uz casnic. Acești roboți au servit în scopuri de divertisment sau educaționale. Exemplele includ RB5X, care există și astăzi și seria HERO.  |
| La începutul anilor 1980 | Echipa lui Ernst Dickmanns de la Universitatea Bundeswehr din München construiesc primele mașini robot, care atingeau o viteză de până la 90 km/h.   |

|             |   |
|-------------|---|
| 1987        | Hughes Research Laboratories realizează prima hartă cross-country și senzori, bazată pe operațiuni autonome ale unui vehicul robotizat.   |
| 1989        | Mark Tilden inventează robotul BEAM.  |
| 1990        | Joseph Engelberger, tatăl brațului robotic industrial, lucrează împreună cu colegii săi pentru proiectarea primului robot mobil autonom comercial pentru spital, vândut de către Helpmate. Departamentul Apărării al SUA finanțează proiectul MDARS-I, bazat pe robotul interior pentru securitate Cybermotion.   |
| 1991        | Edo Franzi, André Guignard și Francesco Mondada l-au dezvoltat pe Khepera, un robot mobil autonom mic, destinat activităților de cercetare. Proiectul a fost sprijinit de laboratoarele LAMI-EPFL.  |
| 1993 – 1994 | Dante I și Dante II au fost elaborați de către Universitatea Carnegie Mellon. Ambii au fost roboți umblători folosiți în explorarea vulcanilor activi.  |
| 1994        | Cu oaspeți la bord, roboții gemeni VaMP și VITA-2 de la Daimler-Benz și Ernst Dickmanns de la UniBwM au condus mai mult de o mie de kilometri pe o autostradă cu trei benzi în Paris, în condiții standard de trafic intens, cu viteza de până la 130 km/h. Ei au demonstrat conducerea pe benzi libere, conducerea în convoi, și trecerea de pe o bandă pe cealaltă cu depășirea altor mașini.   |
| 1995        | Semi-autonomul ALVINN a condus în paralel cu o mașină, aproximativ 50 din 2850 mile, sub controlul computerului pentru toate, mai puțin accelerația și frânele, acționate de către un șofer uman.   |
| 1995        | În același an, una dintre mașinile-robot ale lui Ernst Dickmanns (cu accelerația și frânele controlate de către robot), a condus mai mult de 1000 de km de la München la Copenhaga și înapoi, în trafic, cu o viteză de până la 120 mph, executând ocazional manevre de depășire a altor mașini (doar în câteva situații critice un conducător de siguranță a preluat controlul). Viziunea activă a fost utilizată pentru a face față schimbărilor rapide ale scenelor de stradă. |
| 1995        | Robotul mobil programabil Pioneer devine disponibil pe piață la un preț accesibil, permițând o creștere pe scară largă a cercetărilor în robotică și a studiilor universitare, pentru următorul deceniu când roboții mobili devin o parte standard a curriculum-ului universitar.   |
| 1996 – 1997 | NASA trimite Pathfinder Mars cu Rover-ul Sojourner pe Marte. Rover-ul explorează suprafața, condus de pe Terra. Sojourner a fost echipat cu un sistem de evitare a pericolelor. Acest lucru i-a permis lui Sojourner să-și găsească singur drumul pe terenul marțian necunoscut.  |
| 1999        | Sony introduce Aibo, un câine robotic capabil să vadă, să meargă și să interacționeze cu mediul său. Este introdus robotul mobil militar cu telecomandă Packbot.  |
| 2001        | Începe proiectul roboții Swarm. Roboții Swarm seamănă cu colonii de insecte. De obicei, ei constau într-un număr mare de roboți individuali simpli, care pot interacționa între ei și împreună pot efectua sarcini complexe.  |
| 2002        | Apare Roomba, un robot mobil autonom pentru acasă care curăță podeaua.  |

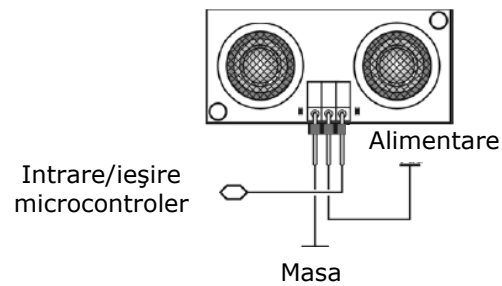
|      |  |
|------|--|
| 2003 | Axxon Robotica achiziționează Intellibot, fabricant al unei linii de roboți comerciali care curăță podelele din spitale, clădiri de birouri și alte clădiri comerciale. Roboții de îngrijirea podelei de la Intellibot Robotics LLC operează complet autonom, își cartografiază propriul mediu și folosesc o serie de senzori pentru evitarea obstacolelor în deplasare.   |
| 2004 | Robosapien, un robot jucărie biomorfic proiectat de Mark Tilden este disponibil în comerț.<br>În "Proiectul Centibots" 100 de roboți autonomi lucrează împreună pentru a face o hartă a unui mediu necunoscut și de căutare a obiectelor în cadrul acestui mediului.<br>În primul concurs DARPA Grand Challenge, vehicule complet autonom concurează unul împotriva celuilalt pe un curs de deșert.  |
| 2005 | Boston Dynamics creează un robot patruped destinat transportului unor încărcături grele pe teren prea dur pentru vehicule.   |
| 2006 | Sony oprește fabricarea robotului Aibo și HelpMate oprește producția, dar un robot PatrolBot cu un sistem autonom personalizabil și cu preț scăzut devine disponibil, roboții mobili continuând lupta pentru a deveni viabili din punct de vedere comercial. Departamentul Apărării al SUA abandonează proiectul MDARS-I, dar îl finanțează pe MDARS-E, un robot autonom de teren. TALON-Sword, primul robot comercial cu lansator de grenade și alte opțiuni de arme integrate disponibil, este eliberat. ASIMO de la Honda învață să alerge și să urce scările.  |
| 2007 | Istoria se face cu Urban DARPA Grand Challenge, cu șase vehicule completând în mod autonom un curs complex care implică vehicule disponibile și obstacole. [6] Roboții inteligenți Kiva Systems proliferază în operațiunile de distribuție; aceste unități inteligente sortează rafturile în funcție de popularitatea conținutului lor. Tug devine un mijloc popular pentru spitale pentru a muta dulapuri mari de stoc din loc în loc, în timp ce Speci-Minder [8] cu Motivity încep să care probele de sânge și alte probe ale pacienților de la cabinetele asistentelor medicale la diverse laboratoare. Seekur, primul robot non-militar, de serviciu în aer liber, disponibil la scară largă, trage un vehicul de 3 tone într-o parcare, conduce autonom în interior și începe să învețe cum să se navigheze singur afară. Între timp, PatrolBot învață să urmeze oameni și să detecteze uși care sunt întredeschise. |
| 2008 | Boston Dynamics a lansat imagini video de o nouă generație: BigDog capabil să meargă pe teren înghețat și să-și recupereze echilibrul atunci când e lovit din lateral.   |
| 2010 | Concursul internațional de robotică Multi Autonomous Ground are echipe de vehicule autonome care își mapează un mare mediu dinamic urban, identifică și urmărește oamenii și evită obiectele ostile.   |

### Caracteristicile senzorului cu ultrasunete PING

#### A. Caracteristici dimensionale



#### B. Schema de conectivitate electrică a senzorului



#### C. Caracteristicile timpilor de lucru ai senzorului

|                               |                            |                    |                                      |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Placă de bază<br>BASIC STAMP  | Semnal de început          | $t_{iesire}$       | $2\mu s$ (min), $5\mu s$<br>standard |
| Senzor Ping cu<br>ultrasunete | Așteptare ecou             | $t_{așteptare}$    | $750\mu s$                           |
|                               | Frecvență undă             | $t_{undă}$         | $200\mu s$ , 40 kHz                  |
|                               | Semnal de răspuns<br>minim | $t_{intrare\ min}$ | $115\mu s$                           |
|                               | Semnal de răspuns<br>maxim | $t_{intrare\ max}$ | $18,5\ ms$                           |
|                               | Pauză între<br>măsurători  |                    | $200\mu s$                           |



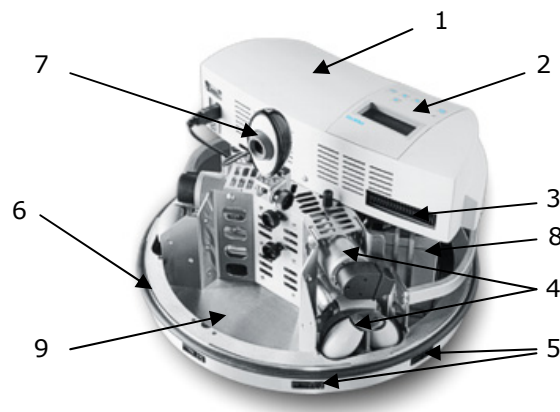
**Caracteristicile telemetrului laser  
BOSCH DLE 70 Profesional**



|   |  |
|---|--|
| Domeniu de măsurare   | 0,05 – 70 m  |
| Precizie la măsurare  | $\pm 1,5$ mm   |
| Distanță minimă indicată  | 1 mm   |
| Clasă laser   | 2  |
| Tip laser   | 635nm, < 1mW   |
| Clasă protecție praf, apă   | IP 54  |
| Alimentare  | Baterii: 4 x 1,5 V LR03 (AAA)<br>Acumulatori: 4 x 1,2 V LR03 (AAA) |
| Durată de viață baterii, aprox.<br>(mai puțin pentru acumulatori) | 30.000 măsurători individuale<br>5.000 măsurători continue         |
| Oprire automată după aprox.                                       | 20s (rază laser)<br>5 min (aparat)                                 |
| Adaptor stativ  | 1/4"   |
| Dimensiuni  | 59 x 100 x 32 mm   |
| Greutate  | cca. 180g  |

### Descriere robot mobil Robotino

#### A. Caracteristici generale



|   |  |
|---|--|
| 1 | Controler PC 104, cu interfață de intrare/ieșire. Sistem Linux de operare. |
| 2 | Panou de comandă   |
| 3 | Mufă serială de conectare la Ethernet                                      |
| 4 | 3 motoare cu transmisie prin curea la roata omnidirecțională               |
| 5 | 9 senzori cu infraroșu, model Sharp GPD 120                                |
| 6 | senzor de contact, pentru protecție  |
| 7 | Cameră de luat vederi  |
| 8 | 2 acumulatori de 24V   |
| 9 | Platformă pentru alte elemente senzoriale                                  |

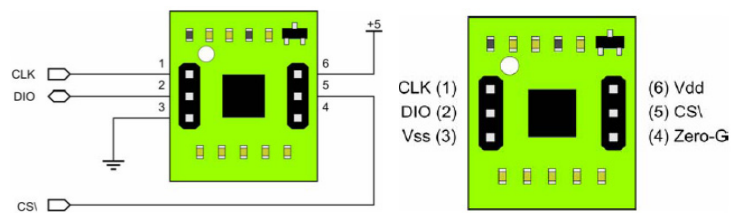
#### B. Caracteristicile senzorului în infraroșu SHARP GP2D 120



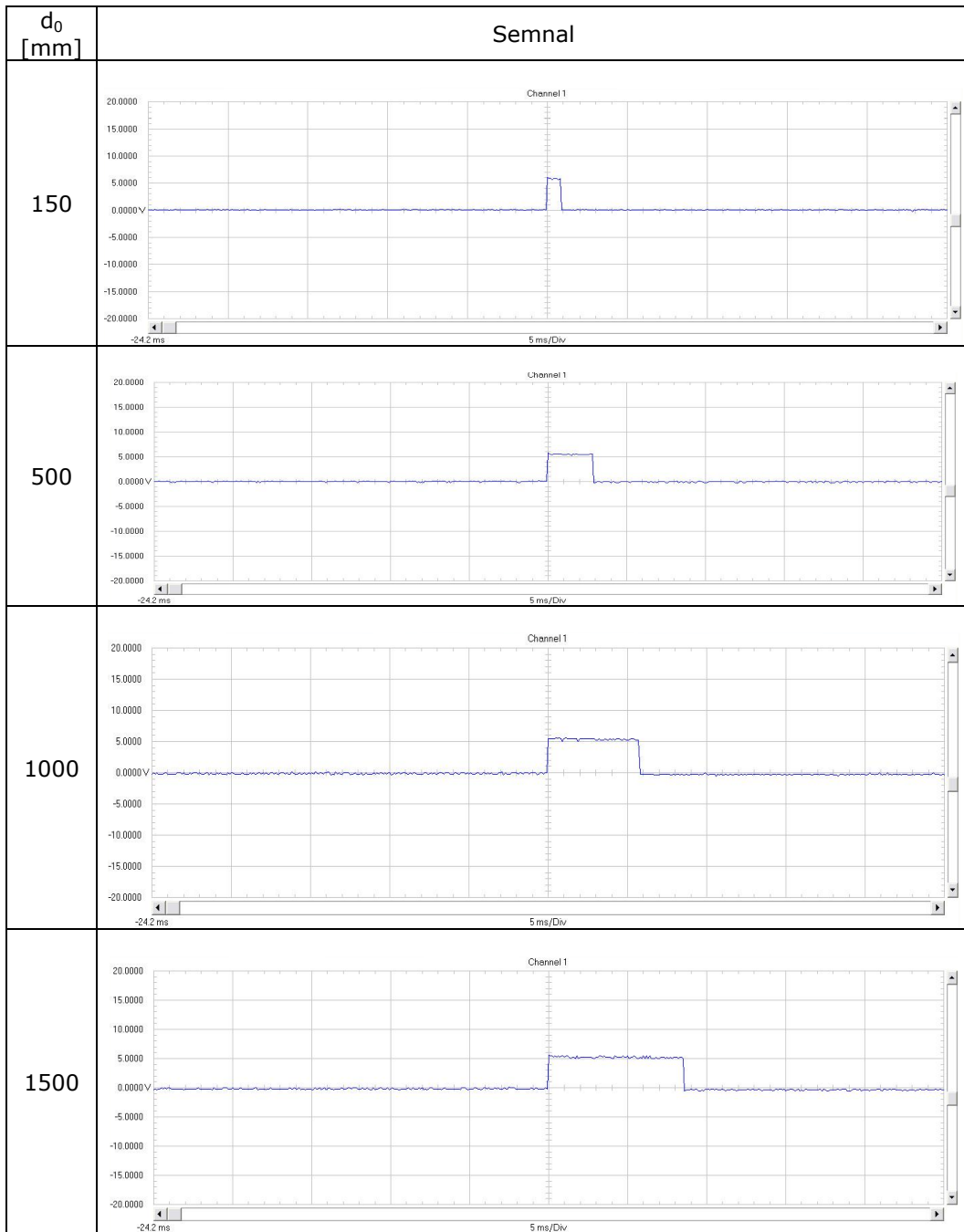
|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Raza de acțiune optimă   | 3cm-30cm   |
| Tensiunea de funcționare | 4,5V-5,5V  |
| Curent de funcționare    | 33mA-50mA  |
| Tensiunea de ieșire      | -0,3V-5,3V |
| Timp de răspuns          | 30ms       |
| Timp de start            | 44ms       |
| Tip semnal ieșire        | Analogic   |

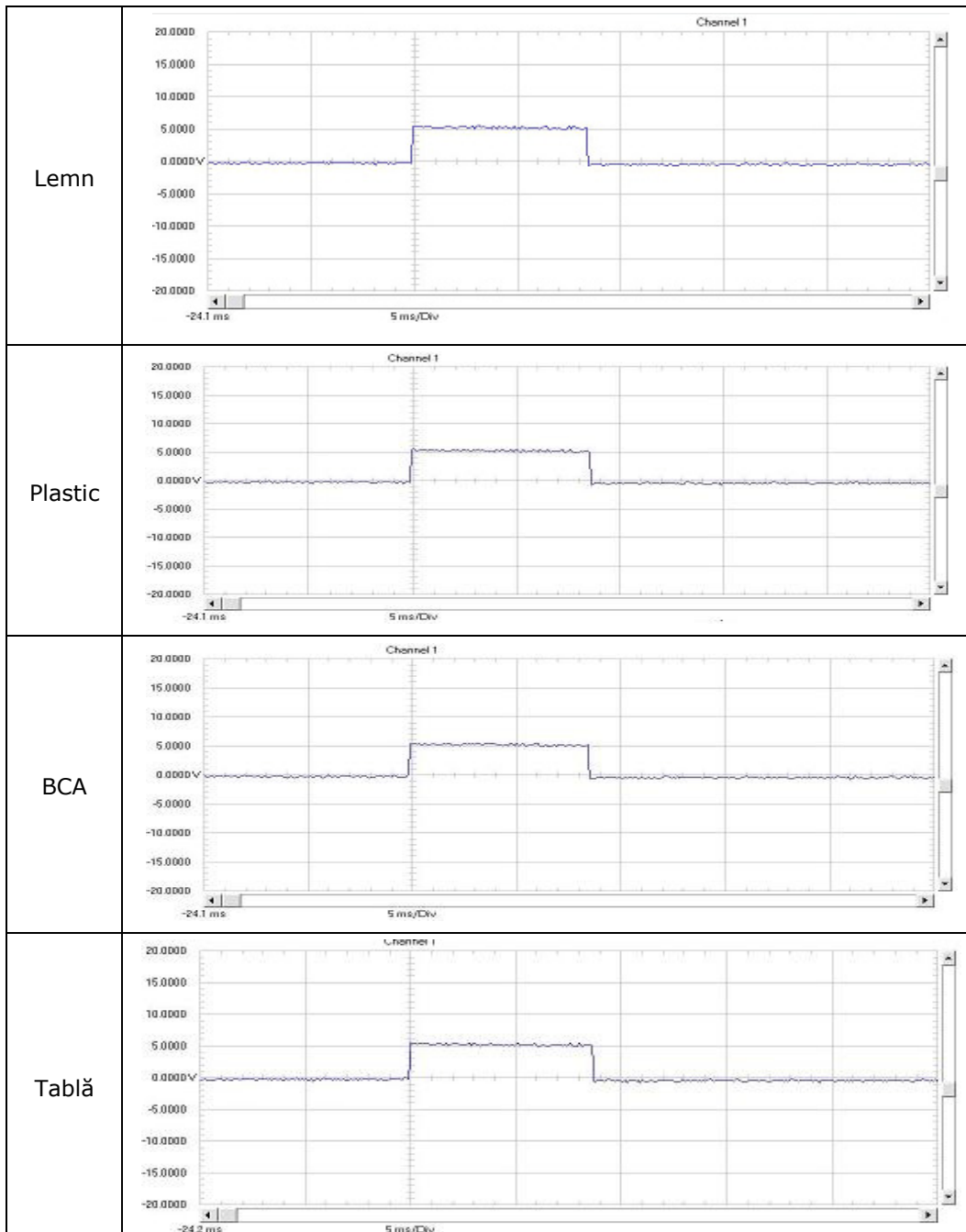
## Anexa 5.4

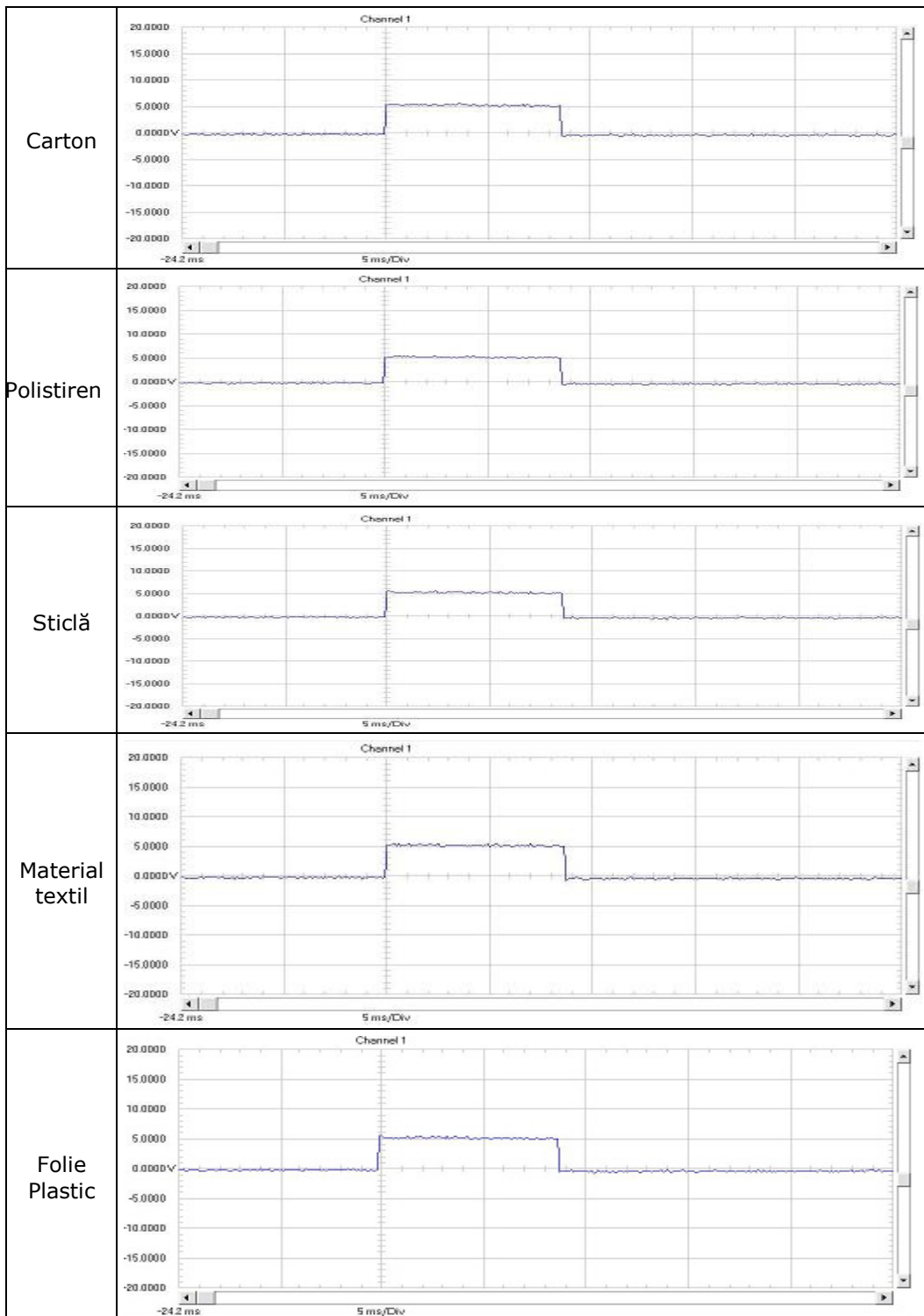
## Definirea pinilor senzorului in infraroșu H48C



|        |  |
|--------|--|
| CLK    | Intrări sincrone de timp                               |
| DIO    | Intrări bidirecționale de date din/spre microcontroler |
| Vss    | Masa (0V)  |
| Vdd    | Alimentare (5,5V)                                      |
| CS\    | Semnal intrare   |
| Zero-G | Semnal liber de ieșire                                 |

**Semnal recepționat de la senzorul ultrasonic și captat cu ajutorul osciloscopului pentru pal**

**A. Semnal recepționat de la senzorul cu ultrasunete și captat cu ajutorul osciloscopului pentru diferite tipuri de material**



**B. Parametrii înregistrați pentru diferite tipuri de material**

| $d_0$ (mm)             | 15             |               | 50             |               | 100            |               | 150            |               | 200            |               | 250            |               |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                        | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) | $t'_0$<br>[μs] | $d_1$<br>(mm) |
| Parametri              |                |               |                |               |                |               |                |               |                |               |                |               |
| Lemn                   | 449            | 155.69        | 1434           | 497.24        | 2868           | 994.48        | 4291           | 1487.90       | 5739           | 1990.00       | 7186           | 2491.75       |
| Plastic                | 449            | 155.69        | 1447           | 501.75        | 2889           | 1001.76       | 4356           | 1510.44       | 5784           | 2005.60       | 7231           | 2507.35       |
| BCA                    | 447            | 155.00        | 1437           | 498.28        | 2890           | 1002.11       | 4308           | 1493.80       | 5739           | 1990.00       | 7189           | 2492.79       |
| Tablă                  | 445            | 154.30        | 1456           | 504.87        | 2942           | 1020.14       | 4337           | 1503.85       | 5770           | 2000.75       | 7234           | 2508.39       |
| Carton                 | 436            | 151.18        | 1427           | 494.81        | 2877           | 997.60        | 4310           | 1494.49       | 5743           | 1991.39       | 7196           | 2495.21       |
| Polistiren             | 417            | 144.59        | 1442           | 500.01        | 2901           | 1005.92       | 4311           | 1494.84       | 10571          | 3665.49       | 7272           | 2521.57       |
| Sticlă                 | 445            | 154.30        | 1440           | 499.32        | 2889           | 1001.76       | 4312           | 1495.19       | 5792           | 2008.38       | 7497           | 2599.58       |
| Material textil        | 509            | 176.50        | 1516           | 525.67        | 3012           | 1044.41       | 4405           | 1527.43       | 5833           | 2022.59       | 7386           | 2561.10       |
| Folie plastic          | 446            | 154.65        | 1469           | 509.38        | 2960           | 1026.38       | 4368           | 1514.60       | 5777           | 2003.17       | 7243           | 2511.51       |
| <b>M A T E R I A L</b> |                |               |                |               |                |               |                |               |                |               |                |               |

**Valorile corespunzătoare diagramei de directivitate a elementului senzorial**

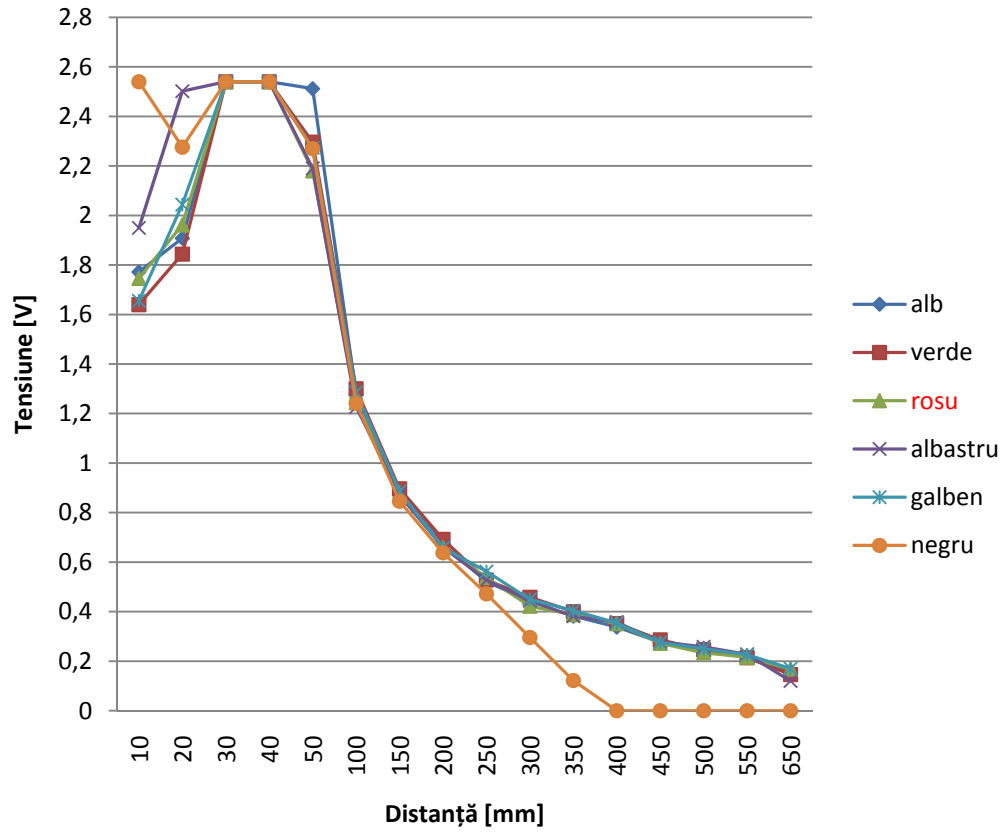
| Cadranul 1                                       |                      |               | Cadranul 2                                       |                   |               | Cadranul 3  |                   |            |
|--|----------------------|---------------|--|-------------------|---------------|---|-------------------|------------|
| Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucru | $t'_0$<br>[ $\mu$ s] | $d_1$<br>(mm) | Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucru | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$<br>(mm) | Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucrut | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) |
| 1A   | 156                  | 54.09         | 1A   | 165               | 57.21         | 10A   | 1482              | 513.88     |
| 2A   | 299                  | 103.68        | 2A   | 311               | 107.84        | 10B   | 1501              | 520.47     |
| 2B   | 454                  | 157.42        | 2B   | 456               | 158.12        | 11A   | 1618              | 561.04     |
| 3A   | 458                  | 158.81        | 3A   | 460               | 159.51        | 11B   | 1693              | 587.05     |
| 3B   | 567                  | 196.61        | 3B   | 632               | 219.15        | 12A   | 1757              | 609.24     |
| 4A   | 571                  | 197.99        | 4A   | 584               | 202.50        | 12B   | 1870              | 648.42     |
| 4B   | 651                  | 225.73        | 4B   | 684               | 237.18        | 12c   | 0                 | 0.00       |
| 5A   | 732                  | 253.82        | 5A   | 741               | 256.94        | 13A   | 1890              | 655.36     |
| 5B   | 817                  | 283.29        | 5B   | 824               | 285.72        | 13B   | 1997              | 692.46     |
| 6A   | 873                  | 302.71        | 6A   | 888               | 307.91        | 13C   | 2057              | 713.26     |
| 6B   | 919                  | 318.66        | 6B   | 966               | 334.96        | 14A   | 2031              | 704.25     |
| 7A   | 1031                 | 357.50        | 7A   | 1031              | 357.50        | 14B   | 2122              | 735.80     |
| 7B   | 1131                 | 392.17        | 7B   | 1122              | 389.05        | 14C   | 2223              | 770.83     |
| 7C   | 0                    | 0.00          | 7C   | 1271              | 440.72        | 15A   | 2190              | 759.38     |
| 8A   | 1151                 | 399.11        | 8A   | 1188              | 411.94        | 15B   | 2230              | 773.25     |
| 8B   | 1196                 | 414.71        | 8B   | 1233              | 427.54        | 15C   | 2251              | 780.53     |
| 8C   | 1290                 | 447.31        | 8C   | 1495              | 518.39        | 16A   | 2366              | 820.41     |
| 9A   | 1306                 | 452.86        | 9A   | 1334              | 462.56        | 16B   | 2396              | 830.81     |
| 9B   | 1365                 | 473.31        | 9B   | 1398              | 484.76        | 16C   | 2396              | 830.81     |
|  |                      |               | 9C   | 1485              | 514.92        | 16D   | 0                 | 0.00       |
|  |                      |               |  |                   |               | 17A   | 2463              | 854.05     |
|  |                      |               |  |                   |               | 17B   | 2551              | 884.56     |
|  |                      |               |  |                   |               | 17C   | 2524              | 875.20     |
|  |                      |               |  |                   |               | 17D   | 0                 | 0.00       |
|  |                      |               |  |                   |               | 18A   | 2619              | 908.14     |
|  |                      |               |  |                   |               | 18B   | 2622              | 909.18     |
|  |                      |               |  |                   |               | 18C   | 2695              | 934.49     |
|  |                      |               |  |                   |               | 18D   | 2728              | 945.93     |
|  |                      |               |  |                   |               | 18E   | 0                 | 0.00       |
|  |                      |               |  |                   |               | 19A   | 2760              | 957.03     |
|  |                      |               |  |                   |               | 19B   | 2818              | 977.14     |
|  |                      |               |  |                   |               | 19C   | 2828              | 980.61     |
|  |                      |               |  |                   |               | 19D   | 3001              | 1040.60    |
|  |                      |               |  |                   |               | 19E   | 0                 | 0          |



| Cadranul 4                                       |                   |            | cadranul 5                                       |                   |            | cadranul 6                                       |                   |            |
|--|-------------------|------------|--|-------------------|------------|--|-------------------|------------|
| Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucru | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucru | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) | Coordonat<br>ele celulei<br>din aria de<br>lucru | $t'_0$ [ $\mu$ s] | $d_1$ (mm) |
| 10A  | 1456              | 504.87     | 20A  | 2893              | 1003.15    | 20A  | 2903              | 1006.62    |
| 10B  | 1526              | 529.14     | 20B  | 2961              | 1026.73    | 20B  | 2963              | 1027.42    |
| 11A  | 1621              | 562.08     | 20C  | 3053              | 1058.63    | 20C  | 3001              | 1040.60    |
| 11B  | 1724              | 597.80     | 20D  | 3061              | 1061.40    | 20D  | 3089              | 1071.11    |
| 12A  | 1766              | 612.36     |  |                   | 0.00       |  | 3127              | 1084.29    |
| 12B  | 1831              | 634.90     | 21A  | 3050              | 1057.59    | 21A  | 3050              | 1057.59    |
| 12C  | 1900              | 658.83     | 21B  | 3191              | 1106.48    | 21B  | 3094              | 1072.84    |
| 13A  | 1903              | 659.87     | 21C  | 3158              | 1095.04    | 21C  | 3169              | 1098.85    |
| 13B  | 1957              | 678.59     | 21D  | 3223              | 1117.58    | 21D  | 3216              | 1115.15    |
| 13C  | 2023              | 701.48     |  |                   | 0.00       |  | 3281              | 1137.69    |
| 14A  | 2045              | 709.10     | 22A  | 3225              | 1118.27    | 22A  | 3198              | 1108.91    |
| 14B  | 2084              | 722.63     | 22B  | 3225              | 1118.27    | 22B  | 3245              | 1125.20    |
| 14C  | 2153              | 746.55     | 22C  | 3225              | 1118.27    | 22C  | 3292              | 1141.50    |
| 15A  | 2191              | 759.73     |  |                   | 0.00       |  | 3326              | 1153.29    |
| 15B  | 2230              | 773.25     |  |                   | 0.00       |  | 3456              | 1198.37    |
| 15C  | 2355              | 816.60     | 23A  | 3357              | 1164.04    | 23A  | 3356              | 1163.69    |
| 16A  | 2320              | 804.46     | 23B  | 3356              | 1163.69    | 23B  | 3381              | 1172.36    |
| 16B  | 2387              | 827.69     |  |                   | 0.00       | 23C  | 3454              | 1197.67    |
| 16C  | 2431              | 842.95     | 24A  | 3523              | 1221.60    | 24A  | 3489              | 1209.81    |
| 16D  | 2462              | 853.70     | 24B  | 3521              | 1220.91    | 24B  | 3523              | 1221.60    |
| 17A  | 2464              | 854.39     |  |                   | 0.00       | 24C  | 3581              | 1241.71    |
| 17B  | 2528              | 876.58     | 25A  | 3654              | 1267.02    | 25A  | 3628              | 1258.01    |
| 17C  | 2557              | 886.64     | 25B  | 3643              | 1263.21    | 25B  | 3692              | 1280.20    |
| 17D  | 2590              | 898.08     |  |                   | 0.00       | 25C  | 3755              | 1302.05    |
| 18A  | 2615              | 906.75     | 26A  | 3793              | 1315.22    | 26A  | 3787              | 1313.14    |
| 18B  | 2637              | 914.38     | 26B  | 3796              | 1316.26    | 26B  | 3851              | 1335.33    |
| 18C  | 2686              | 931.37     | 27A  | 3952              | 1370.36    | 27A  | 3955              | 1371.40    |
| 18D  | 2762              | 957.72     | 27B  | 3951              | 1370.01    | 27B  | 4007              | 1389.43    |
| 18E  | 2821              | 978.18     | 27C  | 3984              | 1381.45    |  |                   | 0.00       |
| 19A  | 2762              | 957.72     | 28A  | 4093              | 1419.25    | 28A  | 4070              | 1411.27    |
| 19B  | 2829              | 980.96     | 28B  | 4160              | 1442.48    | 28B  | 4117              | 1427.57    |
| 19C  | 2865              | 993.44     | 29A  | 4226              | 1465.37    | 29A  | 4248              | 1472.99    |
| 19D  | 2952              | 1023.61    | 29B  | 4261              | 1477.50    | 29B  | 4331              | 1501.77    |
| 19E  | 3043              | 1055.16    | 29C  | 4275              | 1482.36    |  |                   |            |

**Valorile înregistrate de către senzorul în infraroșu pentru obstacole de  
diferite culori**

|    | d <sub>0</sub> (mm) | 10            | 20   | 30   | 40   | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 450  | 500  | 550  | 650  |
|----|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nr | Culoare             | Tensiunea [V] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1  | alb                 | 1.86          | 1.94 | 2.54 | 2.54 | 2.29 | 1.28 | 0.88 | 0.67 | 0.53 | 0.44 | 0.36 | 0.31 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.11 |
| 2  |                     | 1.79          | 1.92 | 2.54 | 2.54 | 2.31 | 1.27 | 0.88 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.37 | 0.30 | 0.27 | 0.23 | 0.21 | 0.24 |
| 3  |                     | 1.79          | 1.89 | 2.54 | 2.54 | 2.31 | 1.28 | 0.89 | 0.68 | 0.52 | 0.45 | 0.36 | 0.41 | 0.26 | 0.24 | 0.21 | 0.13 |
| 4  |                     | 1.75          | 1.90 | 2.54 | 2.54 | 3.31 | 1.28 | 0.87 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.44 | 0.31 | 0.27 | 0.32 | 0.19 | 0.14 |
| 5  |                     | 1.67          | 1.89 | 2.54 | 2.54 | 2.34 | 1.28 | 0.88 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.38 | 0.36 | 0.32 | 0.24 | 0.30 | 0.15 |
|    | Media               | 1.77          | 1.91 | 2.54 | 2.54 | 2.51 | 1.28 | 0.88 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.38 | 0.34 | 0.28 | 0.25 | 0.22 | 0.15 |
| 1  | verde               | 1.62          | 1.84 | 2.54 | 2.54 | 2.29 | 1.30 | 0.89 | 0.66 | 0.52 | 0.44 | 0.36 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.11 |
| 2  |                     | 1.63          | 1.85 | 2.54 | 2.54 | 2.30 | 1.31 | 0.89 | 0.70 | 0.54 | 0.45 | 0.37 | 0.40 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.20 |
| 3  |                     | 1.62          | 1.84 | 2.54 | 2.54 | 2.29 | 1.30 | 0.90 | 0.70 | 0.52 | 0.45 | 0.48 | 0.33 | 0.30 | 0.24 | 0.30 | 0.13 |
| 4  |                     | 1.70          | 1.84 | 2.54 | 2.54 | 2.30 | 1.29 | 0.90 | 0.72 | 0.53 | 0.45 | 0.36 | 0.32 | 0.20 | 0.30 | 0.20 | 0.11 |
| 5  |                     | 1.63          | 1.85 | 2.54 | 2.54 | 2.30 | 1.30 | 0.90 | 0.68 | 0.53 | 0.50 | 0.43 | 0.39 | 0.40 | 0.23 | 0.19 | 0.18 |
|    | Media               | 1.64          | 1.84 | 2.54 | 2.54 | 2.30 | 1.30 | 0.90 | 0.69 | 0.53 | 0.46 | 0.40 | 0.35 | 0.29 | 0.25 | 0.21 | 0.15 |
| 1  | roșu                | 1.73          | 1.96 | 2.54 | 2.54 | 2.20 | 1.24 | 0.86 | 0.64 | 0.52 | 0.42 | 0.36 | 0.32 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.11 |
| 2  |                     | 1.73          | 1.95 | 2.54 | 2.54 | 2.20 | 1.24 | 0.87 | 0.64 | 0.53 | 0.42 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.21 |
| 3  |                     | 1.74          | 2.00 | 2.54 | 2.54 | 2.10 | 1.25 | 0.86 | 0.65 | 0.52 | 0.43 | 0.40 | 0.43 | 0.26 | 0.24 | 0.28 | 0.13 |
| 4  |                     | 1.73          | 1.95 | 2.54 | 2.54 | 2.20 | 1.24 | 0.90 | 0.70 | 0.60 | 0.40 | 0.44 | 0.33 | 0.30 | 0.23 | 0.19 | 0.21 |
| 5  |                     | 1.80          | 1.95 | 2.54 | 2.54 | 2.20 | 1.25 | 0.87 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.37 | 0.36 | 0.27 | 0.24 | 0.23 | 0.18 |
|    | Media               | 1.75          | 1.96 | 2.54 | 2.54 | 2.18 | 1.24 | 0.87 | 0.66 | 0.54 | 0.42 | 0.39 | 0.35 | 0.27 | 0.23 | 0.22 | 0.17 |
| 1  | albastru            | 1.94          | 2.49 | 2.54 | 2.54 | 2.19 | 1.24 | 0.86 | 0.64 | 0.52 | 0.42 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.11 |
| 2  |                     | 1.94          | 2.50 | 2.54 | 2.54 | 2.18 | 1.24 | 0.86 | 0.65 | 0.53 | 0.43 | 0.37 | 0.33 | 0.27 | 0.34 | 0.19 | 0.11 |
| 3  |                     | 1.93          | 2.51 | 2.54 | 2.54 | 2.19 | 1.26 | 0.87 | 0.65 | 0.52 | 0.51 | 0.38 | 0.42 | 0.32 | 0.23 | 0.32 | 0.09 |
| 4  |                     | 1.93          | 2.51 | 2.54 | 2.54 | 2.20 | 1.25 | 0.90 | 0.71 | 0.53 | 0.42 | 0.43 | 0.34 | 0.26 | 0.21 | 0.25 | 0.16 |
| 5  |                     | 2.01          | 2.50 | 2.54 | 2.54 | 2.19 | 1.14 | 0.87 | 0.65 | 0.54 | 0.44 | 0.36 | 0.38 | 0.28 | 0.28 | 0.19 | 0.13 |
|    | Media               | 1.95          | 2.50 | 2.54 | 2.54 | 2.19 | 1.23 | 0.87 | 0.66 | 0.53 | 0.44 | 0.38 | 0.36 | 0.28 | 0.26 | 0.23 | 0.12 |
| 1  | galben              | 1.64          | 2.05 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.27 | 0.88 | 0.67 | 0.53 | 0.44 | 0.36 | 0.30 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.22 |
| 2  |                     | 1.63          | 2.04 | 2.54 | 2.54 | 2.28 | 1.29 | 0.89 | 0.67 | 0.52 | 0.45 | 0.47 | 0.31 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.20 |
| 3  |                     | 1.64          | 2.05 | 2.54 | 2.54 | 2.28 | 1.28 | 0.90 | 0.65 | 0.61 | 0.43 | 0.36 | 0.41 | 0.30 | 0.24 | 0.31 | 0.11 |
| 4  |                     | 1.65          | 2.04 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.32 | 0.88 | 0.65 | 0.62 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.29 | 0.32 | 0.25 | 0.11 |
| 5  |                     | 1.72          | 2.04 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.27 | 0.88 | 0.65 | 0.53 | 0.51 | 0.41 | 0.34 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.21 |
|    | Media               | 1.66          | 2.04 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.29 | 0.89 | 0.66 | 0.56 | 0.45 | 0.40 | 0.35 | 0.28 | 0.25 | 0.23 | 0.17 |
| 1  | negru               | 2.54          | 2.28 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.24 | 0.84 | 0.61 | 0.44 | 0.26 | 0.14 |      |      |      |      |      |
| 2  |                     | 2.54          | 2.27 | 2.54 | 2.54 | 2.28 | 1.24 | 0.85 | 0.63 | 0.57 | 0.27 | 0.20 |      |      |      |      |      |
| 3  |                     | 2.54          | 2.28 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.25 | 0.86 | 0.71 | 0.45 | 0.38 | 0.06 |      |      |      |      |      |
| 4  |                     | 2.54          | 2.27 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.24 | 0.84 | 0.63 | 0.46 | 0.30 | 0.12 |      |      |      |      |      |
| 5  |                     | 2.54          | 2.28 | 2.54 | 2.54 | 2.26 | 1.24 | 0.84 | 0.61 | 0.44 | 0.27 | 0.09 |      |      |      |      |      |
|    | Media               | 2.54          | 2.28 | 2.54 | 2.54 | 2.27 | 1.24 | 0.85 | 0.64 | 0.47 | 0.30 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



Reprezentarea grafică a comportamentului senzorului în infraroșu față de obstacole de diferite culori

**Valorile înregistrate de către senzorul în infraroșu pentru pal**

| $d_0$<br>[mm] | 10           | 20   | 30   | 40   | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 420  | 450  | 500  | 550  | 600  | 620  |   |
|---------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| $d_1$<br>[mm] | Tensiune [V] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
| 10            | 2.54         | 2.54 | 2.54 | 2.19 | 1.47 | 1.09 | 0.72 | 0.61 | 0.52 | 0.4  | 0.3  | 0.21 | 0.15 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |   |
| 50            | 1.96         | 2.07 | 2.54 | 2.54 | 2.3  | 1.28 | 0.88 | 0.65 | 0.51 | 0.42 | 0.31 | 0.3  | 0.26 | 0.25 | 0.2  | 0.15 | 0.1  | 0    |   |
| 300           | 1.92         | 2.01 | 2.54 | 2.54 | 2.31 | 1.29 | 0.88 | 0.67 | 0.52 | 0.44 | 0.36 | 0.3  | 0.29 | 0.26 | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.11 | 0 |

**Anexa 5.10**

**Valorile înregistrate de către accelerometru pentru deplasarea robotului mobil pe diferite tipuri de suprafață**

| PVC      |                                       |                                       |                                       |   | Iarbă artificială |                                       |                                       |                                       |   |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| t<br>[s] | a <sub>x</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>y</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>z</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>calc.</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | t<br>[s]          | a <sub>x</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>y</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>z</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | a <sub>calc.</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] |
| 0        | -0.50                                 | -0.30                                 | 0.99                                  | 1.15                                      | 0                 | -0.05                                 | -0.01                                 | 0.97                                  | 0.97                                      |
| 1        | -0.05                                 | -0.01                                 | 0.99                                  | 0.99                                      | 1                 | -0.08                                 | 0.00                                  | 0.98                                  | 0.98                                      |
| 2        | -0.06                                 | -0.01                                 | 0.98                                  | 0.98                                      | 2                 | -0.05                                 | -0.01                                 | 0.99                                  | 0.99                                      |
| 3        | -0.08                                 | -0.07                                 | 0.98                                  | 0.99                                      | 3                 | -0.06                                 | 0.00                                  | 0.99                                  | 0.99                                      |
| 4        | -0.04                                 | 0.04                                  | 0.87                                  | 0.87                                      | 4                 | -0.06                                 | 0.00                                  | 0.98                                  | 0.98                                      |
| 5        | 0.00                                  | 0.05                                  | 0.97                                  | 0.97                                      | 5                 | -0.08                                 | -0.01                                 | 0.99                                  | 0.99                                      |
| 6        | 0.00                                  | 0.02                                  | 0.98                                  | 0.98                                      | 6                 | -0.08                                 | 0.00                                  | 0.98                                  | 0.98                                      |
| 7        | -0.05                                 | -0.04                                 | 0.99                                  | 0.99                                      | 7                 | -0.09                                 | 0.00                                  | 0.99                                  | 0.99                                      |
| 8        | -0.09                                 | 0.01                                  | 0.99                                  | 0.99                                      | 8                 | -0.06                                 | 0.00                                  | 0.99                                  | 0.99                                      |
| 9        | -0.06                                 | 0.00                                  | 0.97                                  | 0.97                                      | 9                 | -0.08                                 | 0.02                                  | 1.02                                  | 1.02                                      |
| 10       | 0.00                                  | 0.00                                  | 0.95                                  | 0.95                                      | 10                | -0.11                                 | 0.00                                  | 0.98                                  | 0.99                                      |
| 11       | -0.05                                 | -0.01                                 | 1.04                                  | 1.04                                      | 11                | -0.10                                 | -0.12                                 | 1.06                                  | 1.07                                      |
| 12       | -0.06                                 | 0.07                                  | 1.01                                  | 1.01                                      | 12                | 0.02                                  | -0.10                                 | 0.98                                  | 0.99                                      |
| 13       | -0.09                                 | 0.03                                  | 0.95                                  | 0.95                                      | 13                | -0.01                                 | -0.08                                 | 0.94                                  | 0.94                                      |
| 14       | -0.08                                 | -0.05                                 | 0.94                                  | 0.94                                      | 14                | -0.01                                 | 0.00                                  | 1.01                                  | 1.01                                      |
| 15       | -0.01                                 | 0.00                                  | 0.98                                  | 0.98                                      | 15                | -0.12                                 | -0.20                                 | 1.01                                  | 1.04                                      |
| 16       | -0.10                                 | 0.04                                  | 1.04                                  | 1.05                                      | 16                | -0.06                                 | -0.03                                 | 0.94                                  | 0.94                                      |
| 17       | -0.03                                 | 0.00                                  | 0.94                                  | 0.94                                      | 17                | -0.06                                 | 0.00                                  | 0.93                                  | 0.93                                      |
| 18       | -0.06                                 | 0.00                                  | 1.00                                  | 1.00                                      | 18                | -0.07                                 | 0.03                                  | 0.98                                  | 0.98                                      |
| 19       | -0.09                                 | -0.02                                 | 0.98                                  | 0.98                                      | 19                | -0.04                                 | 0.00                                  | 0.99                                  | 0.99                                      |

| <b>Pietriş</b>  |   |   |   |   | <b>Nisip</b>    |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| <b>t</b><br>[s] | <b>a<sub>x</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>y</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>z</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>calc.</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>t</b><br>[s] | <b>a<sub>x</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>y</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>z</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] | <b>a<sub>calc.</sub></b><br>[m/s <sup>2</sup> ] |
| 0               | -0.70                                       | 0.00  | 0.98  | 1.20  | 0               | -0.06                                       | -0.02                                       | 0.98  | 0.98  |
| 1               | -0.08                                       | 0.00  | 0.99  | 0.99  | 1               | -0.08                                       | -0.01                                       | 0.99  | 0.99  |
| 2               | -0.08                                       | 0.00  | 0.74  | 0.74  | 2               | -0.03                                       | -0.04                                       | 0.99  | 0.99  |
| 3               | -0.13                                       | 0.19  | 0.84  | 0.87  | 3               | -0.04                                       | -0.26                                       | 1.14  | 1.17  |
| 4               | -0.17                                       | 0.01  | 1.25  | 1.26  | 4               | -0.14                                       | -0.19                                       | 0.99  | 1.02  |
| 5               | -0.38                                       | -0.13                                       | 0.97  | 1.05  | 5               | -0.04                                       | -0.05                                       | 1.24  | 1.24  |
| 6               | -0.07                                       | 0.23  | 1.38  | 1.40  | 6               | -0.12                                       | -0.10                                       | 0.76  | 0.78  |
| 7               | -0.12                                       | -0.02                                       | 0.98  | 0.99  | 7               | 0.20  | 0.11  | 0.99  | 1.02  |
| 8               | -0.03                                       | 0.04  | 1.15  | 1.15  | 8               | 0.00  | -0.30                                       | 1.05  | 1.09  |
| 9               | -0.16                                       | 0.15  | 0.92  | 0.95  | 9               | -0.20                                       | 0.04  | 0.95  | 0.97  |
| 10              | -0.08                                       | -0.20                                       | 0.99  | 1.01  | 10              | -0.05                                       | 0.02  | 1.06  | 1.06  |
| 11              | -0.20                                       | -0.90                                       | 0.94  | 1.32  | 11              | 0.03  | -0.10                                       | 0.93  | 0.94  |
| 12              | -0.16                                       | 0.27  | 0.97  | 1.02  | 12              | -0.08                                       | -0.03                                       | 0.89  | 0.89  |
| 13              | -0.22                                       | 0.39  | 0.94  | 1.04  | 13              | -0.10                                       | 0.04  | 0.76  | 0.77  |
| 14              | -0.08                                       | 0.05  | 0.91  | 0.91  | 14              | 0.02  | 0.08  | 0.90  | 0.90  |
| 15              | 0.00  | 0.15  | 0.91  | 0.92  | 15              | -0.24                                       | 0.05  | 0.97  | 1.00  |
| 16              | 0.12  | 0.16  | 0.93  | 0.95  | 16              | -0.09                                       | -0.03                                       | 0.90  | 0.90  |
| 17              | -0.27                                       | -0.01                                       | 0.51  | 0.58  | 17              | -0.08                                       | 0.02  | 0.57  | 0.58  |
| 18              | -0.24                                       | -0.18                                       | 0.95  | 1.00  | 18              | -0.19                                       | 0.00  | 1.38  | 1.39  |
| 19              | -0.16                                       | -0.01                                       | 0.98  | 0.99  | 19              | 0.09  | -0.06                                       | 1.04  | 1.05  |

**Anexa 5.11****Programe de funcționare pentru experimentele efectuate.****A. Program de funcționare pentru senzorul cu ultrasunete**

```
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}
timp VAR Word

DO
PULSOUT 15, 5
PULSIN 15, 1, timp
DEBUG HOME, "timp = ", DEC5 timp
timp = timp ** 2251
DEBUG CR, "Distanta = ", DEC4 timp, " cm"
PAUSE 100
LOOP
```

**B. Program de funcționare pentru aplicația de tip radar**

```
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}
' {$PORT COM3}
pulsecount VAR Word
pulsecount1 VAR Word
cmConstant CON 2260
cmDistanta VAR Word
timp VAR Word

DO
FOR pulsecount = 0 TO 2
GOSUB motor_stanga

PULSOUT 15, 5
PULSIN 15, 1, time
cmDistanta = cmConstant ** timp

IF cmDistanta < 5 THEN
GOSUB intoarcere_dreapta
ELSE
GOSUB inainte
ENDIF

NEXT

FOR pulsecount = 0 TO 2
GOSUB motor_dreapta

PULSOUT 15, 5
PULSIN 15, 1, timp
```

```
cmDistanta = cmConstant ** timep
IF cmDistanta < 5 THEN
GOSUB intoarcere_stanga
ELSE
GOSUB inainte
ENDIF

NEXT

LOOP
'-----[ subrutine ]-----
motor_stanga:
PULSOUT 14, 850
PAUSE 20

motor_dreapta:
PULSOUT 14, 650
PAUSE 20

inainte:
FOR pulsecount1 = 1 TO 10
PULSOUT 12, 650
PULSOUT 13, 850
NEXT

intoarcere_stanga:
FOR pulsecount1 = 1 TO 12
PULSOUT 12, 650
PULSOUT 13, 650
NEXT

intoarcere_dreapta:
FOR pulsecount1 = 1 TO 12
PULSOUT 12, 850
PULSOUT 13, 850
NEXT
```

### C. Program de funcționare pentru senzorul în infraroșu

```
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}

SenzorIR VAR Bit
DO
FREQOUT 8, 1, 38500
SenzorIR = IN9
IF (SenzorIR = 0) THEN
HIGH 10
ELSE
LOW 10
ENDIF
```



```
DEBUG HOME, "SenzorIR = ", BIN1 SenzorIR
PAUSE 100
LOOP
```

#### **D. Programul de deplasare a robotului mobil, aferent unui pătrat**

```
' {$STAMP BS2}
' {$PBASIC 2.5}
```

```
counter VAR Word
FREQOUT 4, 2000, 3000
FOR counter = 1 TO 220
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 850
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 21
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 650
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 140
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 850
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 21
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 650
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 220
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 850
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 21
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 650
PAUSE 20
NEXT
```

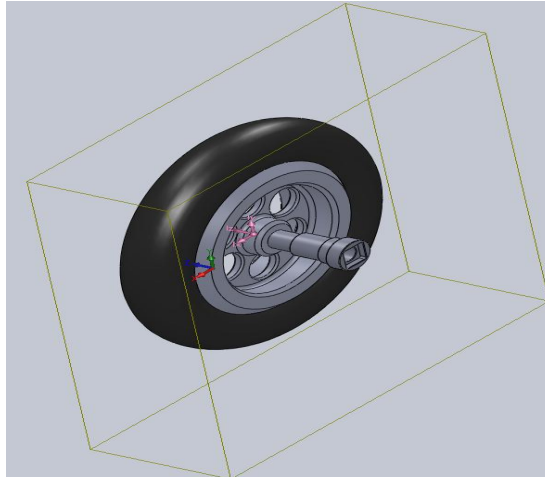
```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 140
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 850
PAUSE 20
NEXT
```

```
PAUSE 200
FOR counter = 1 TO 21
PULSOUT 13, 650
PULSOUT 12, 650
PAUSE 20
NEXT
```

```
END
```

**Anexa 6.1**

**Modelarea CAD, în mediul de lucru SolidWorks, a modelului simplificat al roții motrice**



|  |                 |                 |
|--|-----------------|-----------------|
| Mass properties of Roata cu ax ( Assembly Configuration - Standard )                       |                 |                 |
| Output coordinate System: -- default --  |                 |                 |
| Mass = 203.06 grams  |                 |                 |
| Volume = 203061.07 cubic millimeters   |                 |                 |
| Surface area = 104133.23 millimeters <sup>2</sup>  |                 |                 |
| Center of mass: ( millimeters )  |                 |                 |
| X = -29.33   |                 |                 |
| Y = 9.46   |                 |                 |
| Z = -0.87  |                 |                 |
| Principal axes of inertia and principal moments of inertia: ( grams * square millimeters ) |                 |                 |
| Taken at the center of mass.   |                 |                 |
| Ix = (1.00, -0.00, 0.00)   | Px = 298016.35  |                 |
| Iy = (0.00, 1.00, 0.00)  | Py = 298017.56  |                 |
| Iz = (0.00, 0.00, 1.00)  | Pz = 546783.88  |                 |
| Moments of inertia: ( grams * square millimeters )   |                 |                 |
| Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.                 |                 |                 |
| Lxx = 298016.35  | Lxy = -0.00     | Lxz = -0.00     |
| Lyx = -0.00  | Lyy = 298017.56 | Lyz = -0.00     |
| Lzx = -0.00  | Lzy = -0.00     | Lzz = 546783.88 |
| Moments of inertia: ( grams * square millimeters )   |                 |                 |
| Taken at the output coordinate system.   |                 |                 |
| Ixx = 316331.05  | Ixy = -56332.55 | Ixz = 5183.28   |
| Iyx = -56332.55  | Iyy = 472906.52 | Iyz = -1671.03  |
| Izx = 5183.28  | Izy = -1671.03  | Izz = 739680.03 |

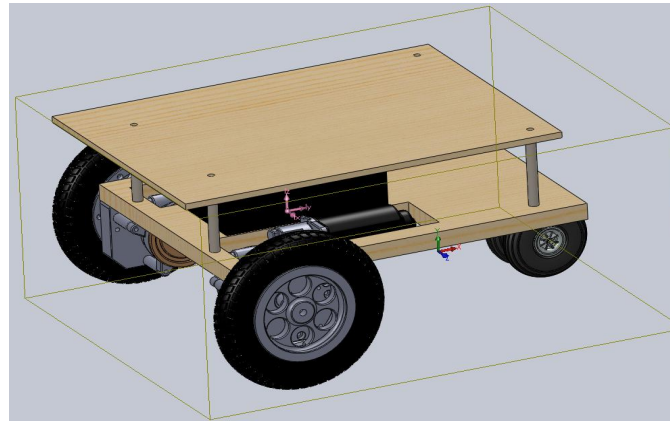
## Valorile înregistrate în cadrul experimentului

| <b>0</b> | <b>U</b><br>[A] | <b>I</b><br>[A] | <b>I<sub>m</sub> calc</b><br>[A] | <b>Nr<sub>impuls</sub></b> | <b>ω<sub>roată</sub></b><br>[rad/s] | <b>ω<sub>med</sub></b><br>[rad/s] |
|----------|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 8               | 1.63            | 3.1464                           | 533                        | 9.30                                | 8.96                              |
| 2        |                 | 1.67            |                                  | 487                        | 8.50                                |                                   |
| 3        |                 | 1.62            |                                  | 546                        | 9.52                                |                                   |
| 4        |                 | 1.72            |                                  | 509                        | 8.88                                |                                   |
| 5        |                 | 1.64            |                                  | 493                        | 8.60                                |                                   |
| 6        | 8               | 2.11            | 4.0622                           | 487                        | 8.50                                | 8.6978                            |
| 7        |                 | 2.10            |                                  | 511                        | 8.91                                |                                   |
| 8        |                 | 2.20            |                                  | 492                        | 8.58                                |                                   |
| 9        |                 | 2.15            |                                  | 501                        | 8.74                                |                                   |
| 10       |                 | 2.13            |                                  | 502                        | 8.76                                |                                   |
| 11       | 8               | 2.50            | 4.7234                           | 480                        | 8.37                                | 8.4606                            |
| 12       |                 | 2.48            |                                  | 491                        | 8.57                                |                                   |
| 13       |                 | 2.49            |                                  | 484                        | 8.44                                |                                   |
| 14       |                 | 2.52            |                                  | 487                        | 8.50                                |                                   |
| 15       |                 | 2.44            |                                  | 483                        | 8.43                                |                                   |
| 16       | 8               | 2.76            | 5.415                            | 451                        | 7.87                                | 7.8116                            |
| 17       |                 | 2.92            |                                  | 432                        | 7.54                                |                                   |
| 18       |                 | 2.80            |                                  | 463                        | 8.08                                |                                   |
| 19       |                 | 2.84            |                                  | 450                        | 7.85                                |                                   |
| 20       |                 | 2.93            |                                  | 443                        | 7.73                                |                                   |

| Nr. crt. | U<br>[A] | I<br>[A] | I <sub>m calc</sub><br>[A] | Nr <sub>impuls</sub> | $\omega_{roată}$ [rad/s] | $\omega_{med}$<br>[rad/s] |
|----------|----------|----------|----------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1        | 12       | 1.90     | 3.6024                     | 874                  | 15.25                    | 15.069                    |
| 2        |          | 1.91     |                            | 884                  | 15.42                    |                           |
| 3        |          | 1.96     |                            | 852                  | 14.86                    |                           |
| 4        |          | 1.83     |                            | 867                  | 15.12                    |                           |
| 5        |          | 1.88     |                            | 842                  | 14.69                    |                           |
| 6        | 12       | 2.44     | 4.5828                     | 823                  | 14.36                    | 14.28                     |
| 7        |          | 2.38     |                            | 818                  | 14.27                    |                           |
| 8        |          | 2.43     |                            | 808                  | 14.10                    |                           |
| 9        |          | 2.39     |                            | 826                  | 14.41                    |                           |
| 10       |          | 2.42     |                            | 818                  | 14.27                    |                           |
| 11       | 12       | 2.56     | 4.7804                     | 818                  | 14.27                    | 14.235                    |
| 12       |          | 2.57     |                            | 838                  | 14.62                    |                           |
| 13       |          | 2.48     |                            | 804                  | 14.03                    |                           |
| 14       |          | 2.47     |                            | 818                  | 14.27                    |                           |
| 15       |          | 2.50     |                            | 802                  | 13.99                    |                           |
| 16       | 12       | 2.97     | 5.5632                     | 773                  | 13.48                    | 13.387                    |
| 17       |          | 2.98     |                            | 743                  | 12.96                    |                           |
| 18       |          | 2.94     |                            | 771                  | 13.45                    |                           |
| 19       |          | 2.86     |                            | 778                  | 13.57                    |                           |
| 20       |          | 2.89     |                            | 772                  | 13.47                    |                           |

| <b>Nr. crt.</b> | <b>U<br/>[A]</b> | <b>I<br/>[A]</b> | <b>I<sub>m calc</sub><br/>[A]</b> | <b>Nr<sub>impuls</sub></b> | <b><math>\omega_{roata}</math> [rad/s]</b> | <b><math>\omega_{med}</math><br/>[rad/s]</b> |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|--|
| 1               | 14.5             | 187              | 3.5074                            | 1113                       | 19.42                                      | 18.641                                       |
| 2               |                  | 189              |                                   | 1048                       | 18.28                                      |  |
| 3               |                  | 182              |                                   | 1067                       | 18.61                                      |  |
| 4               |                  | 185              |                                   | 1044                       | 18.21                                      |  |
| 5               |                  | 180              |                                   | 1071                       | 18.68                                      |  |
| 6               | 14.5             | 237              | 4.4574                            | 1066                       | 18.60                                      | 18.83  |
| 7               |                  | 233              |                                   | 1094                       | 19.08                                      |  |
| 8               |                  | 235              |                                   | 1080                       | 18.84                                      |  |
| 9               |                  | 230              |                                   | 1073                       | 18.72                                      |  |
| 10              |                  | 238              |                                   | 1084                       | 18.91                                      |  |
| 11              | 14.5             | 260              | 5.0616                            | 1047                       | 18.26                                      | 18.17  |
| 12              |                  | 264              |                                   | 1031                       | 17.99                                      |  |
| 13              |                  | 259              |                                   | 1052                       | 18.35                                      |  |
| 14              |                  | 291              |                                   | 1044                       | 18.21                                      |  |
| 15              |                  | 258              |                                   | 1034                       | 18.04                                      |  |
| 16              | 14.5             | 302              | 5.7684                            | 963                        | 16.80                                      | 17.287                                       |
| 17              |                  | 301              |                                   | 997                        | 17.39                                      |  |
| 18              |                  | 298              |                                   | 1002                       | 17.48                                      |  |
| 19              |                  | 313              |                                   | 981                        | 17.11                                      |  |
| 20              |                  | 304              |                                   | 1012                       | 17.65                                      |  |

## Sistem mecatronic autonom mobil



|  |                    |                   |
|--|--------------------|-------------------|
| Mass properties of Robot ( Assembly Configuration - Standard )                             |                    |                   |
| Output coordinate System: -- default --  |                    |                   |
| Mass = 3053.29 grams   |                    |                   |
| Volume = 4078868.64 cubic millimeters  |                    |                   |
| Surface area = 808425.17 millimeters <sup>2</sup>  |                    |                   |
| Center of mass: ( millimeters )  |                    |                   |
| X =  | -78.63             |                   |
| Y =  | 13.54              |                   |
| Z =  | -128.60            |                   |
| Principal axes of inertia and principal moments of inertia: ( grams * square millimeters ) |                    |                   |
| Taken at the center of mass.   |                    |                   |
| Ix = (-0.03, 0.00, 1.00)   |                    | Px = 33053444.42  |
| Iy = (1.00, 0.00, 0.03)  |                    | Py = 34513878.62  |
| Iz = (-0.00, 1.00, -0.00)  |                    | Pz = 54382688.29  |
| Moments of inertia: ( grams * square millimeters )   |                    |                   |
| Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.                 |                    |                   |
| Lxx = 34512867.19  | Lxy = 83760.77     | Lxz = -44688.45   |
| Lyx = 83760.77   | Lyy = 54382322.64  | Lyz = 16177.15    |
| Lzx = -44688.45  | Lzy = 16177.15     | Lzz = 33054821.50 |
| Moments of inertia: ( grams * square millimeters )   |                    |                   |
| Taken at the output coordinate system.   |                    |                   |
| Ixx = 85567351.65  | Ixy = -3166151.09  | Ixz = 30830434.53 |
| Iyx = -3166151.09  | Iyy = 123755900.28 | Iyz = -5298922.55 |
| Izx = 30830434.53  | Izy = -5298922.55  | Izz = 52492848.24 |



|  |   |
|--|---|
| <b>Curriculum vitae<br/>Europass</b>         |  |
| <b>Informații personale</b>                  |   |
| Nume / Prenume                               | <b>BÎTEA MIHAI ALIN</b>   |
| Adresa(e)                                    | Str. Bucovinei, Bl. C34, 300665, Timișoara, România                                 |
| Telefon(-oane)                               | 0256 / 22 67 13 sau 0722 656 199  |
| E-mail(uri)                                  | alin.bitea@yahoo.com / alin.bitea@mec.upt.ro  |
| Naționalitate(-tăți)                         | Română  |
| Data nașterii                                | 07. 07. 1984  |
| Sex  | Masculin  |
| <b>Experiența profesională</b>               |   |
| Perioada                                     | Ianuarie 2010- prezent  |
| Funcția sau postul ocupat                    | Inginer   |
| Principalele activități și responsabilități  | Geodezie, topografie, navigare  |
| Numele și adresa angajatorului               | SC GAUSS SRL- Str. Paris nr. 2A, Timișoara, România                                 |
| Tipul activității sau sectorul de activitate | Geodezie, cadastru  |
| Perioada                                     | August 2008- Decembrie 2010   |
| Funcția sau postul ocupat                    | Inginer vânzări   |
| Principalele activități și responsabilități  | Service și mentenanță HVAC, Vânzări   |
| Numele și adresa angajatorului               | SC AGASI SRL- Str. Venus, nr. 1, Timișoara, România                                 |
| Tipul activității sau sectorul de activitate | Climatizare, încălzire, ventilație  |
| Perioada                                     | Aprilie 2007- Februarie 2008  |
| Funcția sau postul ocupat                    | Inginer producție   |



|   |  |
|---|--|
| Principalele activități și responsabilități                         | Optimizarea liniilor de producție, analiză rapoarte de producție                         |
| Numele și adresa angajatorului                                      | SC TRW Automotive Safety Systems SRL- Str. Macin, nr. 16, Timișoara, România             |
| Tipul activității sau sectorul de activitate                        | Industria constructoare de mașini  |
| Perioada  | Septembrie 2006- Februarie 2007  |
| Funcția sau postul ocupat   | Inginer vânzări  |
| Principalele activități și responsabilități                         | Analiză piața de vânzări, menținerea portofoliului de clienți                            |
| Numele și adresa angajatorului                                      | SC Contitech Power Transmission Romania SRL- Str. Otto Rudolf, nr. 2, Timișoara, România |
| Tipul activității sau sectorul de activitate                        | Constructoare de mașini  |
| <b>Educație și formare</b>  |  |
| Perioada  | 2008-prezent   |
| Calificarea / diploma obținută                                      | Doctorand  |
| Discipline principale studiate / competențe dobândite               | Electronică, Robotică, MathLab, Mecatronică, Proiectare asistată pe calculator           |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Universitatea „Politehnica” din Timișoara  |
| Nivelul în clasificarea națională sau internațională                | Universitate cu rang înalt de încredere  |
| Perioada  | 2003-2008  |
| Calificarea / diploma obținută                                      | Inginer mecanic  |
| Discipline principale studiate / competențe dobândite               | Robotică, mecatronică, electronică și automatică   |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Universitatea „Politehnica” din Timișoara  |
| Nivelul în clasificarea națională sau internațională                | Universitate cu rang înalt de încredere  |
| Perioada  | 1999-2003  |
| Calificarea / diploma obținută                                      | Tehnician comunicații  |

|   |   |        |                |              |                  |
|---|---|--------|----------------|--------------|------------------|
| Discipline principale studiate / competențe dobândite               | Electronică, matematică,  |        |                |              |                  |
| Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare | Gr. Sc. de Poștă și Telecomunicații Timișoara   |        |                |              |                  |
| Nivelul în clasificarea națională sau internațională                | Nivel 2   |        |                |              |                  |
| <b>Aptitudini și competențe personale</b>                           |   |        |                |              |                  |
| Limba(i) maternă(e)   | <b>Română</b>   |        |                |              |                  |
| Limba(i) străină(e)   |   |        |                |              |                  |
| Autoevaluare  | <b>Înțelegere</b>   |        | <b>Vorbire</b> |              | <b>Scriere</b>   |
| <i>Nivel european (*)</i>   | Ascultare   | Citire | Conversație    | Discurs oral | Exprimare scrisă |
| <b>English</b>  | 5   | 5      | 5              | 5            | 5                |
| <b>Italian</b>  | 4   | 4      | 4              | 4            | 3                |
| <b>French</b>   | 3   | 3      | 2              | 2            | 2                |
| Competențe și abilități sociale                                     | Lucru în echipă, seriozitate, comunicare și capacitate de adaptare  |        |                |              |                  |
| Competențe și aptitudini organizatorice                             | Membru în echipa de organizare a „Zilelor educației mecatronice” 2011   |        |                |              |                  |
| Publicații  | 5 lucrări în volume sau în cadrul unor conferințe naționale și internaționale, la 4 lucrări în calitate de prim autor |        |                |              |                  |
| Competențe și aptitudini tehnice                                    | Robotică, Proiectarea sistemelor robotice, Electronică  |        |                |              |                  |
| Competențe și cunoștințe de utilizare a calculatorului              | MathCad, Visual Basic, AutoCAD, MathLab, Maple, Open Office, Catia, RoboView<br>Microsoft Office, Basic Stamp editor  |        |                |              |                  |
| Alte competențe și aptitudini                                       | Elaborarea de rapoarte și prezentări la un nivel înalt.   |        |                |              |                  |
| Permis(e) de conducere  | Categorii A, B, C din 2002  |        |                |              |                  |