

DEMONSTRATOARE MECATRONICE PENTRU ROBOTICĂ

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

Ing. Lucian Alexandru Șandru

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing Valer Dolga

Referenți științifici: Prof.univ.dr.ing. Vistrian Mătieș
Prof.univ.dr.ing. Mircea Nițulescu
Prof.univ.dr.ing. Inocențiu Maniu

Ziua susținerii tezei: 30.06.2017

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 2. Chimie | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 3. Energetică | 12. Ingineria sistemelor |
| 4. Ingineria Chimică | 13. Inginerie energetică |
| 5. Inginerie Civilă | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică | 15. Ingineria materialelor |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management |
| 8. Inginerie Industrială | 17. Arhitectură |
| 9. Inginerie Mecanică | 18. Inginerie civilă și instalații |

Universitatea Politehnica 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, 2017

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 Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

Cuvânt înainte

"Dacă veți avea credință în voi cât un grăunte de muștar, veți zice muntelui acestuia: Mută-te de aici dincolo, și se va muta; și nimic nu va fi vouă cu neputință."
Matei 17:20

"Fericit este omul care a aflat înțelepciunea și bărbatul care a dobândit priceperea."
Solomon 3:13.

Dedic această lucrare unor persoane deosebite: familiei mele și unchiului de la care a plecat inspirația mea spre direcția domeniului tehnic.

Teza de doctorat cu titlul „DEMONSTRATOARE MECATRONICE PENTRU ROBOTICĂ” este structurată în 7 capitole, urmate de Bibliografie și Anexe.

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Facultății de Mecanică, la Catedra de Mecatronică a Universității Politehnica Timișoara. Ca urmare a acestei activități, a rezultat și documentația pentru depunerea dosarului de înregistrare a unui brevet de invenții la oficiul național OSIM, din 2016.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat, prof.univ.dr.ing. Valer Dolga, atât pentru atenția, seriozitatea domniei sale, cât și pentru exigența prin care m-a îndrumat pe parcursul studiilor și cercetărilor necesare elaborării acestei lucrări de doctorat.

Adresez mulțumiri membrilor Departamentului de Mecatronică, din cadrul Facultății de Mecanică, în special domnilor Ș.L. dr. ing. Cristian Moldovan, Ciupe Valentin, doamnelor Sanda Grigorescu și Conf. dr. ing. Corina Gruescu 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.

Îmi exprim întreaga considerație față de membrii comisiei de doctorat, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile oferite și pentru timpul acordat lucrării.

Timișoara, Iunie, 2017

Șandru Lucian Alexandru

Șandru, Lucian Alexandru

DEMONSTRATOARE MECATRONICE PENTRU ROBOTICĂ

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 177, Editura Politehnica, 2015, 300 pagini, 409 figuri, 38 tabele.

ISSN:1842-4937

ISBN:978-606-35-0156-2

Cuvinte cheie: robot mobil, senzor ultrasonic, senzor în infraroșu, senzor accelerație, senzor giroscopic, senzor optic, demonstrator mecatronic, humanoid, drone, comandă, control

Rezumat,

În conformitate cu activitatea prevăzută în planul de cercetare, realizată în cadrul „Laboratorului de Senzori și Actuatoare al Departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara” și într-un program de cercetare desfășurat la universitatea „Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, departamentul de Mechanics applied to Mechanisms”, au fost cercetate aspectele teoretice și s-au dezvoltat experimente practice pentru atingerea scopului activității prevăzute.

O direcție a vizat elementele senzoriale cu utilitate în construcția roboților mobili, având ca scop obținerea de informații din mediul de lucru. A doua direcție a vizat dezvoltarea unei structuri pentru un robot mobil și analiza teoretică și experimentală a acesteia.

Funcțiile importante ale unui robot mobil sunt: funcția de conducere, funcția de comandă și funcția de percepere a mediului în care acesta își desfășoară activitatea. Datorită acestor funcții, robotul mobil interacționează cu mediul său prin acțiuni reciproce.

Acțiunile de contact ale robotului cu mediul pot conduce la erori de deplasare, erori de estimare a distanței, lipsa capacității de adaptare la mediul de lucru, lipsa menținerii echilibrului. La nivel senzorial, se observă o folosire a elementelor senzoriale complexe care oferă informații precise și de calitate superioară din mediul de lucru.

Unul dintre aspectele importante în domeniul senzorial este determinarea distanței și a obiectelor din mediul de lucru al robotului mobil, utilizând un sistem senzorial foarte avansat, prin care robotul poate lua decizii rapide pentru a corecta traiectoria și tipul unor acțiuni.

Rezultatele cercetărilor efectuate în vederea elaborării tezei de doctorat au fost valorificate prin publicarea unui număr de 8 lucrări la manifestări naționale, internaționale și în reviste de specialitate.

Cuprins

1. Introducere.....	19
1.1. Concepte și direcții în mecatronică și robotică.....	19
1.2. Motivația abordării temei tezei de doctorat.....	24
1.3. Obiectivele tezei de doctorat	24
1.4. Structura tezei de doctorat.....	26
2. Cercetări actuale referitoare la pendul invers și utilizarea acestuia în sisteme mecatronice.....	29
2.1. Introducere	29
2.2. Noțiunea de pendul fizic, pendul gravitațional și pendul invers	29
2.2.1. Generalități.....	29
2.2.2. Variante principale ale pendulului invers	32
2.2.3. Aspecte privind controlul sistemului pendul invers.....	36
2.3. Aplicații ale modelului pendulului invers în mecatronică	39
2.3.1. Roboții humanoizi	39
2.3.1.1. Introducere	39
2.3.1.2. Generalități	40
2.3.2. Stabilitatea clădirilor la oscilații perturbatoare	42
2.3.2.1. Introducere	42
2.3.2.2. Generalități	42
2.3.2.3. Modele matematice	44
2.3.3. Platformă de transport persoane. Platformă pe două roți	45
2.3.3.1. Introducere	45
2.3.3.2. Considerații teoretice.....	45
2.3.3.3. Concluzii	48
2.3.4. Dispozitiv de transport persoane cu o singură roată	49
2.3.4.1. Introducere	49
2.3.4.2. Considerații teoretice.....	49
2.3.5. Scaunul mobil pentru persoane cu dizabilități	50
2.3.5.1. Introducere	50
2.3.5.2. Considerații teoretice.....	51
2.3.6. Robot mobil aerian – Drone.....	52
2.3.6.1. Introducere	52

2.3.6.2. Generalități	53
2.3.7. Echilibrul rachetelor balistice	54
2.3.7.1. Introducere	54
2.3.7.2. Generalități	55
2.4. Concluzii finale	56
3. Demonstratoare mecatronice și principii de funcționare	57
3.1. Introducere	57
3.2. Generalități	57
3.3. Demonstratoare mecatronice în literatura de specialitate	57
3.3.1. Vehicul sferic.....	57
3.3.2. Demonstrator pentru sisteme de control în timp real.....	61
3.3.3. Demonstrator pentru liniarizarea unei caracteristici.....	65
3.3.4. Demonstratoare mecatronice hidro-pneumatice.....	67
3.3.5. Demonstratoare mecatronice humanoide.....	69
3.4. Concluzii	72
4. Proiectarea sistemelor mecatronice și demonstratoare reprezentative .73	
4.1. Introducere	73
4.2. Proiectare sistemică	73
4.2.1. Introducere.....	73
4.2.2. Concluzii.....	74
4.3. Demonstratoare mecatronice proprii pentru studiul roboților mobili	75
4.3.1. Demonstrator mecatronic humanoid (D-1)	75
4.3.2. Demonstrator pentru analiza caracteristicii senzorului optic [Sandru, 2016] (D-2)	78
4.3.3. Demonstrator mecatronic humanoid (D-3) [Sandru, 2017]	80
4.3.4. Demonstrator mecatronic pentru aplicație robotizată (D-4) [Crainic..., Sandru, 2014]	83
4.3.5. Demonstrator mecatronic autonom (D-5) [Sandru, 2016].....	93
4.3.6. Demonstrator pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil (D-6) [Stanescu..., Sandru, 2015].....	101
4.3.6.1. Introducere	101
4.3.6.2. Analiza constructivă a demonstratorului	101
4.3.6.3. Analiza experimentală a funcționării robotului în prezența unui obstacol	104
4.3.6.4. Concluzii	106

4.3.7. <i>Demonstrator mecatronic pentru studiul senzorilor ultrasonici (D-7) [Stanescu..., Sandru, 2015]</i>	107
4.3.7.1. Introducere	107
4.3.7.2. Demonstratorul mecatronic	108
4.3.7.3. Analiză experimentală și rezultate	108
4.3.7.4. Concluzii	114
4.3.8. <i>Demonstrator pentru comanda și controlul dronei Parrot AR 2 (D-8)[Sandru, 2016]</i>	114
4.3.8.1. Introducere	114
4.3.8.2. Demonstratorul D-8	115
4.3.8.3. Analiza experimentală și rezultatele pentru drona Parrot AR 2 ..	120
4.3.8.4. Concluzii	122
4.4. Concluzii finale	123
5. Analiza experimentală a senzorilor integrați în structura demonstratorului humanoid	125
5.1. Introducere	125
5.2. Analiza experimentală a elementelor senzoriale integrate în demonstratorul mecatronic	126
5.2.1. <i>Generalități</i>	126
5.2.2. <i>Procedura de lucru și prelevarea de semnale</i>	127
5.2.2.1. Experimente și rezultate obținute	128
5.2.2.2. Concluzii	130
5.2.3. <i>Rezultate obținute în urma mișcărilor de oscilație a senzorului optic față de suprafața de reflexie [Sandru, 2016]</i>	131
5.2.3.1. Introducere	131
5.2.3.2. Analiza rezultatelor experimentale	132
5.2.3.3. Concluzii	135
5.2.3.4. Determinarea caracteristicii elementului senzorial	136
5.2.3.5. Concluzii	137
5.2.4. <i>Studiul capacității senzorului S2 de accelerație</i>	137
5.2.4.1. Generalități	137
5.2.4.2. Analiza rezultatelor achiziționate pe parcursul experimentelor cu demonstratorul	140
5.2.4.3. Analiza probabilistică a procesului aleatoriu	142
5.2.4.4. Concluzii	147

5.2.5. Utilizarea sinergică a rezultatelor.....	148
5.2.5.1. Generalități	148
5.2.5.2. Analiza sinergică a valorilor achiziționate de la senzorul S3	150
5.2.6. Concluzii.....	154
5.3. Concluzii finale	154
6. Modelarea și simularea demonstratorului humanoid.....	155
6.1. Introducere	155
6.2. Dezvoltarea demonstratorului humanoid Lego	155
6.2.1. Variante ale demonstratorului	155
6.2.2. Analiza semnalelor de la elementele senzoriale integrate [Savu..., Sandru, 2016].....	156
6.2.2.1. Introducere	156
6.2.2.2. Analiza experimentală a demonstratorului D-1	156
6.2.2.3. Demonstrator 2 utilizând senzorul optic-S4	160
6.2.3. Concluzii.....	163
6.3. Modelarea elementelor componente din demonstratorului humanoid Lego ..	163
6.3.1. Introducere.....	163
6.3.2. Determinarea parametrilor geometrici și masici pentru elementul echivalent pendulului invers	164
6.3.2.1. Determinarea poziției centrului de greutate	164
6.3.2.2. Determinarea parametrilor masici	167
6.3.3. Modelul cinematic al demonstratorului humanoid	168
6.3.3.1. Introducere	168
6.3.3.2. Sisteme de coordonate	168
6.3.3.3. Demonstratorul humanoid și sistemele de coordonate	169
6.3.4. Modelul matematic al demonstratorului humanoid	175
6.3.4.1. Modelul matematic al servomotorului utilizat în structura demonstratorului humanoid	175
6.3.4.2. Modelul dinamic al robotului humanoid	179
6.4. Modelarea în mediul Matlab a demonstratorului humanoid	192
6.4.1. Introducere.....	192
6.4.2. Simularea demonstratorului humanoid în Matlab/Simulink	192
6.4.2.1. Generarea parametrilor modelului în spațiul virtual de lucru... ..	192
6.4.2.2. Simularea robotului humanoid mobil	194
6.4.3. Concluzii.....	198

6.5. Analiza critică a rezultatelor teoretice și experimentale. Concluzii finale ...	198
7. Concluzii finale și contribuții personale	201
7.1. Concluzii finale	201
7.2. Contribuții originale ale tezei	202
7.2.1. Contribuții la cercetarea fundamentală	202
7.2.2. Contribuții la cercetarea teoretică și experimentală	202
7.3. Diseminarea rezultatelor cercetărilor	204
7.3.1. <i>Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestații de specialitate indexate ISI</i>	<i>204</i>
7.3.2. <i>Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate în bază de date (Google Academic).....</i>	<i>205</i>
7.3.3. <i>Cerere pentru brevet de invenție</i>	<i>205</i>
7.4. Potențiale direcții viitoare de cercetare în domeniu	205
8. Bibliografie	207

Lista de figuri

Figura 1.1	Prezentarea bloc al conceptului de mecatronică	20
Figura 1.2	Evoluția sistemelor mecatronice	20
Figura 1.3	Hipersistemul mecatronic [***, 1.10].....	21
Figura 1.4	Proiectarea bazată pe model [***, 1.10]	22
Figura 1.5	Numărul unităților de roboți 2014-2015 [***, 1.12].....	22
Figura 1.6	Numărul unităților de roboți vândute în 2014-2015 [***, 1.12]	23
Figura 1.7	Vânzări între 2014-2015 și estimările până în 2019 [***, 1.12]....	23
Figura 1.8	Parcursul cercetării teoretice și experimentale.....	25
Figura 2.1	Pendulul fizic: a) în echilibru; b) în oscilație.....	29
Figura 2.2	Cronologia literaturii în dezvoltarea conceptului de pendul invers. .	31
Figura 2.3	Pendul invers cu mecanism pasiv (arc și amortizor).....	32
Figura 2.4	Pendul invers cu roată de reactiv	33
Figura 2.5	Pendul invers sferic [Kao, 2013]	33
Figura 2.6	Pendulul invers dublu [Bogdanov, 2004].....	33
Figura 2.7	Pendul invers triplu [Su, 2003].....	34
Figura 2.8	Pendul invers cuadruplu [Hongxing, 2004].....	34
Figura 2.9	Variante ale pendulului invers dublu [Barton, 2008]	35
Figura 2.10	a) Pendul Cazul A - translație; b) Pendul Cazul B - rostogolire	35
Figura 2.11	Sistemul și controlerul integrat	37
Figura 2.12	Aplicații ce folosesc conceptul de pendul invers.....	39
Figura 2.13	a) Exoschelet pneumatic; b) Pendulul invers robot humanoid	40
Figura 2.14	Exoschelet: a) Activ; b) Antrenat pneumatic; c) Electomecanic.....	40
Figura 2.15	Distribuția forțelor de contact [Vukobratović, 2006]	41
Figura 2.16	a) Traectoria ZMP și COG; b) Robotul WL-12; c) Robotul Honda..	42
Figura 2.17	Bloc oscilant.....	43
Figura 2.18	Rezervor de apă suspendat	43
Figura 2.19	Echivalare clădiri – pendul invers [***, 2.28].....	43
Figura 2.20	a) Taipei 101; b) Sistemul de amortizare; c) Principiu de amortizare	44
Figura 2.21	a) Principiul reglării masei de amortizare, b) Schema sistemului de amortizare.....	45
Figura 2.22	a) Platforma mobilă segway; b) Sistemul pendul invers aplicat platformei.	46
Figura 2.23	a) Prezentarea platformei; b) Prezentarea sistemului de coordonate	47
Figura 2.24	a) Unghiul de rotație al platformei; b) Unghiul de înclinare.....	47
Figura 2.25	Unghiurile de rotație a roților motrice [***, 2.27]	48
Figura 2.26	Parametrii geometrici și inerțiali ai sistemului [***, 2.27]	48
Figura 2.27	a) Operator pe dispozitivul monociclu; b) Dispozitivul monociclu ...	49
Figura 2.28	Modelul uniciclu [Hsu, 2012]	50
Figura 2.29	a) Scaun mobil din anul 1595; b) Scaun mobil din anul 1655	51
Figura 2.30	Control hardware și software al echilibrului scaunului mobil.....	51
Figura 2.31	Modelul scaunului mobil [***, 2.20].....	52
Figura 2.32	a) Sistemul de coordonate mobil; b) Pendul aflat în echilibru.....	53
Figura 2.33	Sistemul de coordonate general și sistemul atașat dronei.....	54
Figura 2.34	Sistemul de coordonate atașat rachetei și sistemul de coordonate general	54
Figura 2.35	Stabilitatea rachetei balistice [***, 2.23].....	55

Figura 3.1	Concepte pentru vehicul sferic [***, 3.6].....	58
Figura 3.2	Vehicul sferic [***, 3.7]	58
Figura 3.3	Variante de sisteme cu suport sferic pentru locomoție	59
Figura 3.4	a) Vehicul sferic; b) Modul de acționare	59
Figura 3.5	a) Disponerea componentelor sistemului; b) Modulele de acționare	60
Figura 3.6	Procesul de proiectare a demonstratorului mecatronic [Dirne, 2005]	61
Figura 3.7	Conceptul admis pentru demonstrații [Dirne, 2005]	62
Figura 3.8	a) Demonstratorul Linix; b) Modelul demonstratorului [Dirne, 2005]	63
Figura 3.9	Componente imprimantă și sistem de glisare [Dirne, 2005].....	63
Figura 3.10	Modelul sistemului de ordinul 6 [Dirne, 2005].....	64
Figura 3.11	Demonstratorul mecatronic realizat [Dirne, 2005].....	64
Figura 3.12	Sistemul mecatronic și subsistemele sale	65
Figura 3.13	Schema bloc de control PIP	66
Figura 3.14	Schema de control convențional SDP-PIP	66
Figura 3.15	Comparație sugestivă a controlului realizat prin abordările dezvoltate asupra aceluiași sistem, a) semnal brut; b) semnal controlat [Shaban, 2014]	66
Figura 3.16	Demonstrator Festo [***, 3.4]	67
Figura 3.17	a) Schema bloc a standului demonstrativ; b) Dispozitiv hidraulic giroinerțial cu ax orizontal [Cristescu, 2013]	68
Figura 3.18	a) Stație hidraulică cu sistem de recuperare a energiei; b) Sistem senzorial de măsurare cuplu și presiuni [Cristescu, 2013]	69
Figura 3.19	Robotul Simon în interacțiune cu un operator [Akgun, 2012].....	70
Figura 3.20	Abilități orientate spre scop (a-d) și orientate spre semnificație (e-h) [Akgun, 2012]	70
Figura 3.21	Robot în mediul de lucru [Akgun, 2012].....	71
Figura 3.22	Arhitectura hardware a robotului RoboPatriots [Sullivan, 2010]	71
Figura 3.23	a) Sistem senzorial vizual; b) Platforma humanoidă	72
Figura 4.1	Metodologia în „V” de proiectare	74
Figura 4.2	Variante ale demonstratorului humanoid.....	78
Figura 4.3	Demonstratorul D-2	78
Figura 4.4	Demonstratorul D-3: a) Vedere laterală; b) Vedere din față	80
Figura 4.5	Demonstratorul echipat cu: a) Senzor ultrasonic; b) Senzor în infraroșu	82
Figura 4.6	Schema de conexiune a componentelor hardware [Sandru, 2017].	82
Figura 4.7	Software-ul Arduino și biblioteca cu exemple de coduri	83
Figura 4.8	Efectorul final: a) dispozitivul real de scriere; b) modelul 3D	84
Figura 4.9	a) Robotul Mitshubishi RV-2AJ; b) Axele de mobilitate [Coman, 2009]	85
Figura 4.10	Modelul cinematic invers.....	86
Figura 4.11	Schema cinematică a robotului RV-2AJ	86
Figura 4.12	Punctul E1 în sistem de coordonate generalizat.....	86
Figura 4.13	Modelul 3D pentru cinematica directă al robotului RV-2AJ [Crainic..., Sandru, 2014]	89
Figura 4.14	Modelul 3D pentru cinematica inversă [Crainic..., Sandru, 2014] ..	89
Figura 4.15	Principiul de calibrare a robotului utilizând cele trei puncte.....	90
Figura 4.16	Sistemele de coordonate pentru scriere în plan înclinat [Crainic..., Sandru, 2014]	90
Figura 4.17	Scrierea pe plan înclinat [Crainic..., Sandru, 2014]	90

Figura 4.18	Pașii scriptului în Matlab [Crainic..., Sandru, 2014].	91
Figura 4.19	a) Codul binar criptat; b) Codul perforat pe hârtie.....	92
Figura 4.20	Desenarea pe plan orizontal	92
Figura 4.21	Desenul unei biciclete prin operație robotizată	92
Figura 4.22	a) Demonstratorul mecatronic; b) Placa de circuit PCB [Sandru, 2015].....	93
Figura 4.23	a) Interfața Android; b) Telefonul și senzorul video atașat robotului [Sandru, 2015].....	94
Figura 4.24	Interfața operator – PC [Sandru, 2015]	94
Figura 4.25	O traiectorie experimentată [Sandru, 2015]	95
Figura 4.26	Traectoria robotului descrisă de punctele A, B, C.....	96
Figura 4.27	Sistemul de coordonate și modulele de acționare ale robotului mobil	96
Figura 4.28	Sistemul de coordonate atașat, cu originea în centrul de greutate .	97
Figura 4.29	Schema electrică principală a unui modul de acționare.....	97
Figura 4.30	Corelarea sensului de mișcare	98
Figura 4.31	Metoda de comunicare și control între utilizator și robotul mobil....	98
Figura 4.32	Sistemul de control în buclă deschisă a robotului	100
Figura 4.33	Macheta prototipului funcțional	100
Figura 4.34	Demonstrator mobil humanoid [Stanescu..., Sandru, 2015]	102
Figura 4.35	Schema mecanismului de direcție [Stanescu..., Sandru, 2015] ...	102
Figura 4.36	Parte componentă din transmisie [Stanescu..., Sandru, 2015]..	102
Figura 4.37	Fragment sistem de direcție	103
Figura 4.38	Balansierul de oscilație	103
Figura 4.39	Amplasarea senzorială pe platforma mobilă.....	104
Figura 4.40	Traseu experimental.....	105
Figura 4.41	Traectoria robotului, timpul de întârziere 0 s.....	106
Figura 4.42	Traectoria robotului, timpul de întârziere 0,25s	106
Figura 4.43	Traectoria robotului, timpul de întârziere 0,5s	106
Figura 4.44	a) Stand experimental; b) Telemetru Bosch și senzorial ultrasonic	108
Figura 4.45	Sistemul de achiziție de date	108
Figura 4.46	Corelarea timpilor de emisie, recepție și de „zbor” [Stanescu..., Sandru, 2015]	109
Figura 4.47	Configurația geometrică senzor – obstacol [Stanescu..., Sandru, 2015]	110
Figura 4.48	Graficul de erori din experimentul unu și distanța de referință pentru forma paralelipipedică [Stanescu..., Sandru, 2015]	113
Figura 4.49	Reprezentarea erorilor în funcție de distanța de referință, prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma paralelipipedică	113
Figura 4.50	Graficul de erori din experimentul numărul doi și distanța de referință pentru un obstacol cilindric [Stanescu..., Sandru, 2015]	114
Figura 4.51	Graficul de erori pentru forma cilindrică	114
Figura 4.52	a) Drona; b) Telecomanda de control	115
Figura 4.53	a) Interfațarea operator dronă; b) Display telecomandă control ..	116
Figura 4.54	Drona Parrot rolling spider	117
Figura 4.55	a) Meniul de comandă pentru drona Parrot; b) Imaginea preluată de camera foto în timpul zborului	118
Figura 4.56	Parrot AR 2	119
Figura 4.57	Mănușa inteligentă de control a robotului mobil aerian.....	119
Figura 4.58	Componentele hardware și controlerul Raspberry PI v3.....	120

Figura 4.59	Butoanele de comandă pentru funcțiile: decolare și aterizare.....	120
Figura 4.60	Direcțiile de comunicare.....	121
Figura 4.61	Diagrama funcționării fiecărui pas decizional software [Sandru, 2016].....	121
Figura 4.62	Secvența din timpul controlului dronei Parrot AR 2.....	122
Figura 5.1	Robot mobil humanoid – demonstrator mecatronic echipat cu senzor optic.....	125
Figura 5.2	Schema principală a sistemului mobil dezvoltat (SM – servomotor electric) [Sandru, 2016].	126
Figura 5.3	a) Stand experimental: S1- senzor giroscopic, S2- senzor de accelerație, S3 – senzor rotație, S4- senzor optic; b) Stadul experimental (1) și sistemul de calcul (2) asociat [Sandru, 2016]	127
Figura 5.4	Achiziția datelor cu Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming	128
Figura 5.5	Semnale achiziționate în experimentul 1	129
Figura 5.6	Semnale achiziționate în experimentul 1	130
Figura 5.7	Forma generală a semnalelor de la S4 și S3 [Sandru, 2016].....	131
Figura 5.8	Semnale achiziționate de la S1, S2, S3, S4 în exp_11	133
Figura 5.9	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_12.....	133
Figura 5.10	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_11.....	133
Figura 5.11	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_22.....	134
Figura 5.12	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_21.....	134
Figura 5.13	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_32.....	134
Figura 5.14	Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_31.....	134
Figura 5.15	Caracterizarea sermnalelor achiziționate de la S4 și S3.....	135
Figura 5.16	Schema de legături pentru senzorul optic.....	136
Figura 5.17	Stand pentru citirea valorilor procentuale [%] și tensiuna aferentă în [v] a fiecărui procent.....	136
Figura 5.18	a) Reprezentare grafică $U=U(I)$; b) Erorile de ajustare	137
Figura 5.19	a) Senzorul de accelerație; b) Reprezentarea grafică a celor 3 axe ale senzorului	138
Figura 5.20	Senzorul S2 și modelul de lucru ca inclinometru.....	138
Figura 5.21	Poziția de referință a elementului (1).....	139
Figura 5.22	Corelarea semnalelor în funcție de poziția senzorului	139
Figura 5.23	Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 30^\circ$	140
Figura 5.24	Măsurători pentru mișcarea $\alpha'_y = 30^\circ$	141
Figura 5.25	Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 5^\circ$	141
Figura 5.26	Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 5^\circ$	142
Figura 5.27	Funcția de probabilitate în estimarea parametrului a (accelerație).....	143
Figura 5.28	Grafic de comparație între valori calculate și valori măsurate.....	144
Figura 5.29	Grafic de comparație ale valorilor calculate.....	145
Figura 5.30	Corelarea valorilor medii ax și az	146
Figura 5.31	Probabilitatea coeficientului de corelație.....	147
Figura 5.32	Schema demonstratorului pentru prelucrarea informației	148
Figura 5.33	Integrare numerică	149
Figura 5.34	Derivarea numerică.....	150
Figura 5.35	Parametrul viteză.....	151
Figura 5.36	Unghiul de rotație și valorile estimate	152

Figura 6.1	a) 1- Echilibrul robotului cu senzor giroscopic; b) 2- Echilibrul robotului cu senzor optic.....	155
Figura 6.2	Stand utilizând cele două platforme NXT-2 [Savu..., Sandru, 2016]	157
Figura 6.3	Semnal giroscopic al demonstratorului D1 folosind platforma NXT2	157
Figura 6.4	Schema de conexiune-colectare semnal senzor giroscopic [Savu..., Sandru, 2017]	158
Figura 6.5	Standul de lucru folosind osciloscopul	158
Figura 6.6	Semnalul achiziționat de la giroscop (demonstratorul D1)	159
Figura 6.7	Detaliul A al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)	159
Figura 6.8	Detaliul B al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)	160
Figura 6.9	Detaliul C al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)	160
Figura 6.10	a) Principiul de conexiune senzor optic; b) Semnalele distribuite pe cei 6 pini și culorile firelor	161
Figura 6.11	Semnalul optic achiziționat de la platforma NXT-2 (D2)	161
Figura 6.12	Grafic al semnalului optic folosind osciloscopul pentru demonstratorul D2	162
Figura 6.13	Valoarea senzorului optic la echilibrarea 1 pentru demonstratorul D2	162
Figura 6.14	Valoarea senzorului optic la echilibrarea 2 pentru demonstratorul D2	162
Figura 6.15	Valoarea senzorului optic la echilibrarea 3 pentru demonstratorul D2	163
Figura 6.16	Determinarea centrului de greutate	164
Figura 6.17	Demonstrator mecatronic humanoid	165
Figura 6.18	Poziția centrului de greutate la un obiect paralelipipedic.....	165
Figura 6.19	a) Determinarea centrului de greutate; b) Centru de greutate cu S1 + S5.	166
Figura 6.20	a) Centru de greutate cu S4 + S5; b) Centru de greutate cu S4 .	166
Figura 6.21	Măsurarea masei demonstratorului.....	167
Figura 6.22	a) Mărimea razei roții; b) Centrul de rotație în jurul punctului Δ ..	167
Figura 6.23	Modelul NXT, caracteristici pendul invers	168
Figura 6.24	Axele de orientare spațială.....	169
Figura 6.25	Demonstratorul humanoid și sistemele de coordonate	170
Figura 6.26	Sistemele de coordonate ale demonstratorului.....	170
Figura 6.27	Orientarea relativă a demonstratorului față de sistemul de coordonate al mediului	171
Figura 6.28	Orientarea relativă a demonstratorului față de sistemul de coordonate pe un plan înclinat	171
Figura 6.29	Orientarea relativă a demonstratorului la deplasarea pe o traiectorie (Γ)	172
Figura 6.30	Senzori integrați și sistemele de coordonate pentru S1-giroscop, S2-acc, S4-optic	172
Figura 6.31	Cinematica mișcării robotului humanoid	173
Figura 6.32	Poziția centrului instantaneu de rotație	174
Figura 6.33	Servomotorul electric și transmisia integrată (Anexa 4.2)	175
Figura 6.34	Schema de principiu a micromotorului electric [Dolga, 2009].....	176
Figura 6.35	Transmisia reductoare integrată.....	176
Figura 6.36	Senzorul de rotație integrat în structura servomotorului.....	176
Figura 6.37	Schema electrică a motorului [Dolga, 2009]	176

Figura 6.38	Caracteristici artificiale ale micromotorului	177
Figura 6.39	Schema cinematică a transmisiei	178
Figura 6.40	Influența momentului de inerție a roților	179
Figura 6.41	Modelul sistemului de acționare în Matlab/Simulink	188
Figura 6.42	Cuplu motor	189
Figura 6.43	Accelerația unghiulară a motorului	189
Figura 6.44	Viteza unghiulară a motorului (omega motor).....	189
Figura 6.45	Unghiul de rotație a motorului (tetha motor)	190
Figura 6.46	Parametrii din workspace, înregistrați în fișierul *.m din Matlab ..	193
Figura 6.47	Pașii de instalare a bibliotecii Lego Nxt-2 pentru Matlab/Simulink	194
Figura 6.48	Simulink, simulare demonstrator humanoid.....	195
Figura 6.49	Achiziție de date în timp real, de la platforma mobilă Lego	195
Figura 6.50	Semnalele achiziționate și funcția de export date	196
Figura 6.51	Semnale importate în generatorul de semnal Simulink.....	197
Figura 6.52	Semnale de la senzorul de rotație ale motoarelor stânga – dreapta	197
Figura 6.53	Date obținute în urma prelucrării matematice	198

Lista de tabele

Tabel 2.1	Bibliografie de specialitate pe subiectul abordat (după [Boubaker, ... 2012]).....	38
Tabel 2.2	Soluții prin sisteme integrate.....	44
Tabel 4.1	Descompunerea funcțiilor principale pe nivele (Funcții secundare).	76
Tabel 4.2	Componente hardware utilizate în demonstratoarele mecatronice proprii	77
Tabel 4.3	Descompunere la nivel organic	79
Tabel 4.4	Senzori integrați în sistem [Sandru, 2017]	81
Tabel 4.5	Relațiile care permit calculul valorilor pentru parametrii cinematici	88
Tabel 4.6	Semnificația notațiilor din sistemul de ecuații	98
Tabel 4.7	Protocolul de comenzi a datelor seriale pentru demonstrator.	99
Tabel 4.8	Rezultate obținute în funcție de timpul de răspuns al roților de direcție	105
Tabel 4.9	Rezultate prelucrate pentru forma paralelipipedică în urma procesului de analiză	111
Tabel 4.10	Rezultate prelucrate prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma paralelipipedică.....	112
Tabel 4.11	Rezultate obținute cu un obstacol cilindric	112
Tabel 4.12	Rezultate prelucrate prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma cilindrică	113
Tabel 4.13	Măsurători de forță pentru drona tip mașină.....	116
Tabel 4.14	Măsurători pentru forță Parrot rolling spider	118
Tabel 5.1	Tabel cu valori numerice achiziționate	128
Tabel 5.2	Tabel valori senzori achiziție experiment numărul 1.....	129
Tabel 5.3	Valori prelucrate statistic din experimentul 1	130
Tabel 5.4	Desfășurătorul ciclului de experimente.....	132
Tabel 5.5	Valori extreme pentru parametrul LP [%]	135
Tabel 5.6	Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 30^\circ$	140
Tabel 5.7	Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 30^\circ$	140
Tabel 5.8	Măsurători pentru mișcare $\alpha_y = 5^\circ$	141
Tabel 5.9	Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 5^\circ$	142
Tabel 5.10	Valori achiziționate și prelucrate de la senzorul S2	143
Tabel 5.11	Datele achiziționate și prelucrate în cadrul experimentelor de la S2 și S3 în funcție de timp	144
Tabel 5.12	Informațiile prelucrate de la senzorul S2	145
Tabel 5.13	Modelul liniar și parametrii statistici.....	146
Tabel 5.14	Coeficientul de corelație	147
Tabel 5.15	Informațiile achiziționate de la S3	151
Tabel 5.16	Parametrii estimați.....	152
Tabel 5.17	Estimarea valorilor unghiului de rotație.....	153
Tabel 5.18	Valorile estimate pentru unghiul de rotație a elementului (1).....	153
Tabel 6.1	Parametrii micro motorului electric.....	178
Tabel 6.2	Reprezentarea roților de angrenare și numărul de dinți aferenți ..	179
Tabel 6.3	Program Matlab pentru simularea menținerii echilibrului robotului mobil.....	193
Tabel 6.4	Date achiziționate în timp real de la senzorii Platformei Lego	196

Lista de Anexe

Anexa 2.1	Modelul matematic pentru cazul A și B.....	229
Anexa 2.2	Funcția de transfer și spațiul stărilor pentru modelele A și B.....	231
Anexa 2.3	Sisteme de control PID	232
Anexa 2.4	Dinamica și modelul matematic pentru echilibrul robotului mobil humanoid	233
Anexa 2.5	Principiul reglării masei de amortizare	234
Anexa 2.6	Modelarea sistemului de ecuații pentru platforma mobilă segway prezentată	236
Anexa 2.7	Modelarea sistemului de ecuații pentru căruciorul mobil.....	238
Anexa 2.8	Modelarea sistemului dinamic pentru demonstratorul mobil (D8), drona Parrot AR 2	239
Anexa 2.9	Modelarea sistemului dinamic pentru racheta balistică	240
Anexa 3.1	Demonstrator pentru efecte fizice în hidro-pneumatică	242
Anexa 3.2	Robot mobil care rulează pe o pernă magnetică	243
Anexa 3.3	Robot mecatronic care sudează și vopsește	245
Anexa 4.1	Date tehnice ale oscilatorului Fluke PM 3380A și telemetru laser Bosch DLE 70 Professional	246
Anexa 4.2	Caracteristici tehnice și constructive pentru componente Lego NXT-2	247
Anexa 4.3	Caracteristici tehnice și constructive componente electronice robot mobil.....	249
Anexa 4.4	Firmware-ul încărcat în controlerul Arduino Uno R3 pentru demonstratorul mecatronic humanoid (D3)	250
Anexa 4.5	Codul PS generat de softul Eagle pentru desenul unei biciclete ...	252
Anexa 4.6	Codul Matlab de generare a coordonatelor robotului pentru	desenarea bicicletei generate de software-ul Eagle..... 257
Anexa 4.7	Codul C# scris în Visual Studio pentru transmiterea și controlul mișcărilor demonstratorului mecatronic autonom (D5).....	259
Anexa 4.8	Firmware-ul încărcat în controlerul Atmel AVR pentru controlul demonstratorului mecatronic autonom (D5), scris în limbajul de programare C.....	264
Anexa 4.9	Programul integrat în sistemul de comandă, la demonstratorul pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil (D6)	266
Anexa 4.10	Caracteristici tehnice și constructive ale echipamentelor utilizate în demonstratoarele mecatronice proprii.....	267
Anexa 4.11	Codul sursă de comandă și control încărcat în platforma Raspberry, scris în Python 3 pentru controlul dronei Parrot AR 2	268
Anexa 4.12	Robot mobil zburător (dronă)	270
Anexa 5.1	Date preluate direct din fișierul creat automat din experimentul numărul 1	272
Anexa 5.2	Tabel și grafic ale valorilor neprelucrate din experimentul nr. 1, reprezentând semnalele senzorilor: s1, s2, s3, s4	273
Anexa 5.3	Tabele și grafice cu valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnalul senzorului optic și cel de rotație.....	274

Anexa 5.4	Valorile medii reprezentând semnale S3 și S4 din exp_11, în mediu cu lumină ambientală	279
Anexa 5.5	Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_21, în mediu cu lumină ambientală.....	280
Anexa 5.6	Valorile medii reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4, din exp_31 în mediu cu lumină ambientală.....	281
Anexa 5.7	Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_12, în mediu lipsit de lumină ambientală.....	282
Anexa 5.8	Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_22 în mediu lipsit de lumină ambientală.....	283
Anexa 5.9	Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_32 în mediu lipsit de lumină ambientală.....	284
Anexa 5.10	Corelarea luminozității relative a senzorului optic Lego NXT-2 în tensiune	285
Anexa 5.11	Achiziție semnalele pentru $\alpha_y = 30^\circ$	286
Anexa 5.12	Achiziție semnale pentru $\alpha'_y = 30^\circ$	287
Anexa 5.13	Achiziție semnalele pentru $\alpha_y = 5^\circ$	288
Anexa 5.14	Achiziție semnalele pentru $\alpha'_y = 5^\circ$	289
Anexa 5.15	Analiza sinergică a valorilor achiziționate de la senzorul S3	290
Anexa 5.16	Date preluate de către platforma NXT-2, de la senzorul optic în timpul menținerii echilibrului robotului mobil	291
Anexa 6.1	Ecuatii din modelul dinamic al robotului humanoid	292
Anexa 6.2	Modelare Matlab	293
Anexa 6.3	Codul Matlab pentru simularea menținerii echilibrului robotului mobil [***, 6.1].....	294
Anexa 6.4	Modelare Matlab/Simulink.....	295
Anexa 6.5	Date preluate de la robotul humanoid real în timpul menținerii echilibrului	297

1. INTRODUCERE

1.1. Concepte și direcții în mecatronică și robotică

Conceptul de mecatronică are ca origine activitățile și cercetările din Japonia anilor 1970-1973. Activitățile de cercetare și proiectare în echipe de lucru multidisciplinare au scos în evidență necesitatea unor concepte, proceduri și a unui limbaj comun pentru toți membrii echipelor de lucru. Termenul a fost brevetat de către grupul Yaskawa Electric și protejat până în anul 1982, ca marcă a acestei firme. Compania japoneză a renunțat la brevet pentru ca această denumire să poată fi utilizată peste tot în lume [Mishra, 2011], [Mori, 1969], [***, 1.1].

În prezent, mecatronica se constituie într-un domeniu multidisciplinar. Conceptul de mecatronică a generat controverse și diverse abordări atât cu privire la definiții, cât și la domeniile de interes pentru această tehnologie [Harshama, 1996], [Mishra, 2011].

Se consideră domenii de interes pentru noua tehnologie inovatoare: proiectarea sistemelor mecatronice, asigurarea unor sisteme de producție flexibile în concordanță cu direcțiile de proiectare DFX, dezvoltarea de metode și instrumente de lucru eficiente în zona calității și fiabilității sistemelor și, nu în ultimul rând, în educație.

În domeniul educației, mecatronica urmărește eliminarea unei bariere tradiționale dintre ingineria mecanică și electrică, pe de-o parte, și sistemele de control avansate, pe de altă parte.

Ca și mod de definire a mecatronicii, literatura de specialitate prezintă diverse abordări:

- Cuvântul „mechatronics” este o abreviere bazată pe „mecha” (din mechanism) și „tronics” (din electronics). Ko Kikuchi, președintele grupului Yaskawa este considerat autorul acestui concept [Mori, 1969];
- Integrarea electronicii, ingineriei de control și a ingineriei mecanice [Bolton, 1995];
- Aplicarea procesului decizional complex la funcționarea sistemelor fizice [Auslander, 1996];
- Integrarea sinergetică a ingineriei mecanice cu electronica și controlul inteligent în proiectarea și fabricarea de produse și procese industriale [Harshama, 1996];
- Utilizarea sinergică a ingineriei de precizie, a teoriei controlului, a informaticii și a senzorilor/actuatoarelor pentru a proiecta produse și procese de calitate [Ashley, 1997];
- Metodologia utilizată pentru proiectarea optimală a sistemelor electromecanice [Shetty, 1997];
- Domeniul de studiu care implică analiza, proiectarea și sinteza unor sisteme care combină componente electronice și mecanice cu un control modern și microprocesoare [Alciatore, 1998].

Evoluția în timp a tehnicii, care s-a concretizat prin mecanizare, automatizare și robotizare, a fost determinată în principal de posibilitatea de

utilizare în mod superior a informației [Dolga, 2007].

Dezvoltarea sistemelor mecatronice are la bază o integrare de componente hardware și o integrare software. Acest lucru rezultă din integrarea de cunoștințe din diferite domenii ale fizicii și disciplinelor tehnice. Această filozofie de proiectare urmărește să realizeze un efect sinergic definit prin produse cu parametri tehnici și economici de calitate. Sensorii și actuatorii, algoritmi decizionali și de control, sunt esențiali pentru domeniul mecatronic [***, 1.2], [***, 1.3], [***, 1.14].

În Figura 1.1 este prezentată schema bloc al unui sistem mecatronic și subsistemele componente ale acestuia.

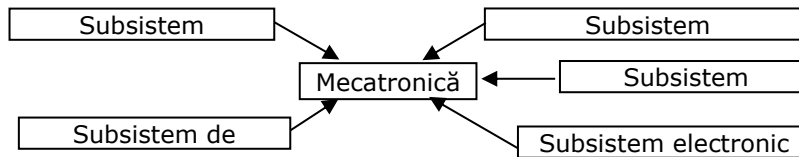


Figura 1.1 Prezentarea bloc al conceptului de mecatronică

Evoluția sistemelor mecatronice, de la revoluția industrială (reprezentată de regulatorul lui Watt) la revoluția informaticii (reprezentată de microcontroler și microprocesor), este sugerată în Figura 1.2 [***, 1.4], [***, 1.5], [***, 1.15].

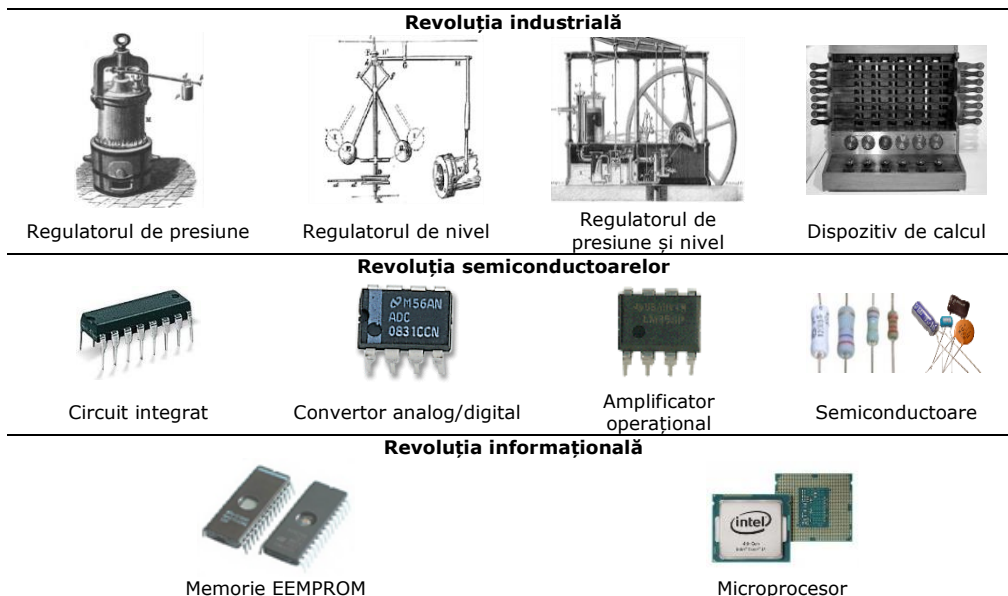


Figura 1.2 Evoluția sistemelor mecatronice

În 1681, Denis Papin inventează o supapă de siguranță pentru un fierbător. El a numit recipientul „digestor cu abur”, fiind construit din fontă cu un capac strâns etanșat și o supapă de eliberare automată a presiunii dacă se depășește pragul reglat (Figura 1.2) [***, 1.5], [***, 1.6].

În 1799, inventatorii R. Delap și M. Murray inventează regulatorul de presiune (Figura 1.2). În anul 1803, Boulton și Watt combină cele două sisteme inventate de D. Papin și cei doi inventatori R. Delap și M. Murray și dezvoltă regulatorul automat de presiune și nivel.

La începutul anilor 1800, Elias Howe inventează prima variantă a mașinii de cusut ajutând considerabil la mecanizarea activității în industria textilă. În scurt timp, și alte variante ale mașinii au fost introduse pe piață, cum ar fi mașina de cusut Wheeler & Wilson [***, 1.7], [***, 1.8].

Wilhelm Schickard în 1623, pune bazele calculatoarelor moderne inventând primul dispozitiv mecanic de calcul (Figura 1.2) [***, 1.9].

Toate aceste începuturi au pus bazele tehnologiilor moderne. În domeniul tehnic descoperirile au început să curgă cu pas alert în secolul XX. Printre aceste cronologii putem evidenția următoarele:

- 1940: Russell S. Ohl realizează joncțiunii „p-n” pe bază de siliciu;
- 1943: John Mauchly și Presper Eckert construiesc mașina de calcul cu o capacitate de 5000 de operații pe secundă;
- 1950: National Bureau of Standards construiește SEAC, primul computer cu logică pe bază de diode și program software;
- 1956: Primul computer tranzistorizat- IBM introduce prima unitate de disc RAMAC 305 cu capacitatea de 5 MB;
- 1960: Digital Equipment introduce primul minicomputer PDP-1, primul computer comercial echipat cu tastatură și monitor;
- 1971: Texas Instruments anunță obținerea unui „CPU on a chip”;
- 1986: Firma Compaq este prima companie care produce un PC 386;
- 1989: Intel anunță microprocesorul 80486 pe 32-bit;
- 1992: Motorola, IBM și Apple anunță dezvoltarea PowerPC 601 (pe 32 bit, bus 64-bit) ca o acțiune comună a firmelor.

Evoluția în timp a tehnicii, care s-a concretizat prin mecanizare, automatizare și robotizare, a fost determinată în principal de posibilitatea de utilizare în mod superior a informației [Dolga, 2007].

Dezvoltarea sistemelor mecatronice are la bază o integrare de componente hardware și, respectiv, o integrare de component software. Acest lucru rezultă din integrarea de cunoștințe din diferite domenii ale fizicii și ale disciplinelor tehnice. Această filozofie de proiectare urmărește să realizeze un efect sinergic definit prin produse cu parametri tehnici și economici de calitate [***, 1.15].

Hipersistemul mecatronic este o combinație a sistemelor mecanice și electrice controlate de un sistem eficient și dedicat. Cercetările din domeniul controlului permit ca pentru un sistem mecatronic codul integrat să fie dezvoltat simultan cu sistemele clasice mecanice și electrice. Aceste aspecte sunt sugerate în Figura 1.3.

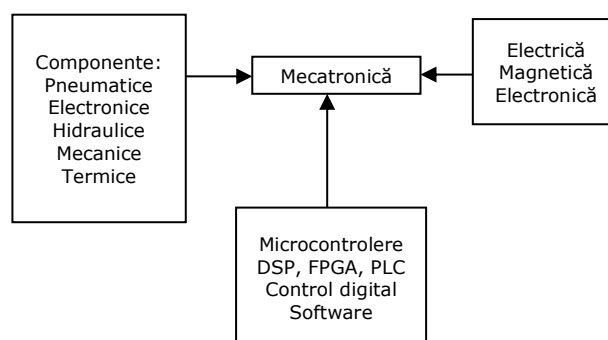


Figura 1.3 Hipersistemul mecatronic [***, 1.10]

Proiectarea bazată pe model (Model-based design) îl plasează pe acesta la nivel de sistem, în centrul procesului de dezvoltare a sistemelor mecatronice. Această abordare folosește un model la nivel de sistem pentru a defini o specificație executabilă (Figura 1.4) [***, 1.10].

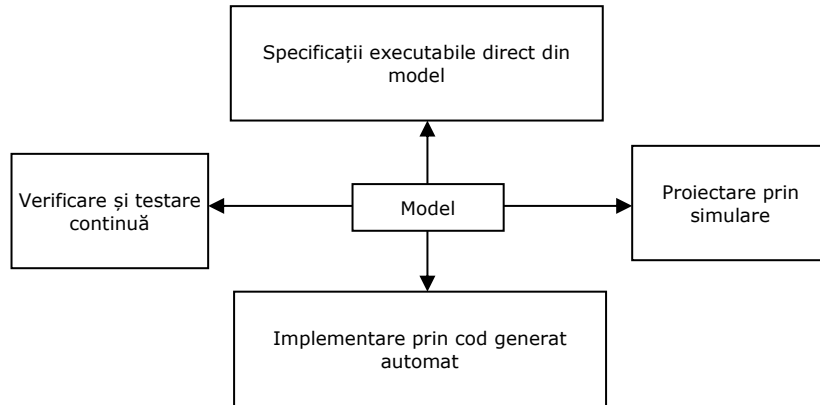


Figura 1.4 Proiectarea bazată pe model [***, 1.10]

Robotica a constituit, prin produsele și activitățile specifice, o arie de interes pentru tehnologia mecatronică. În timp, este sesizabilă o evoluție continuă a roboticii pe toate planurile [***, 1.11]. O statistică cu roboți de serviciu și humanoizi este prezentată în cele ce urmează.

Numărul roboților de servicii profesionale vânduți în 2015 a crescut considerabil, cu 25%, la 41.060 de unități față de anul 2014, vânzări îndreptate spre: logistică, mobilitate terestră, apărare, medicină, curățenie, construcții, inspecții, relații cu publicul, mediul subacvatic, securitate și salvare, precum și spre alte domenii de activitate (Figura 1.5), [***, 1.12].

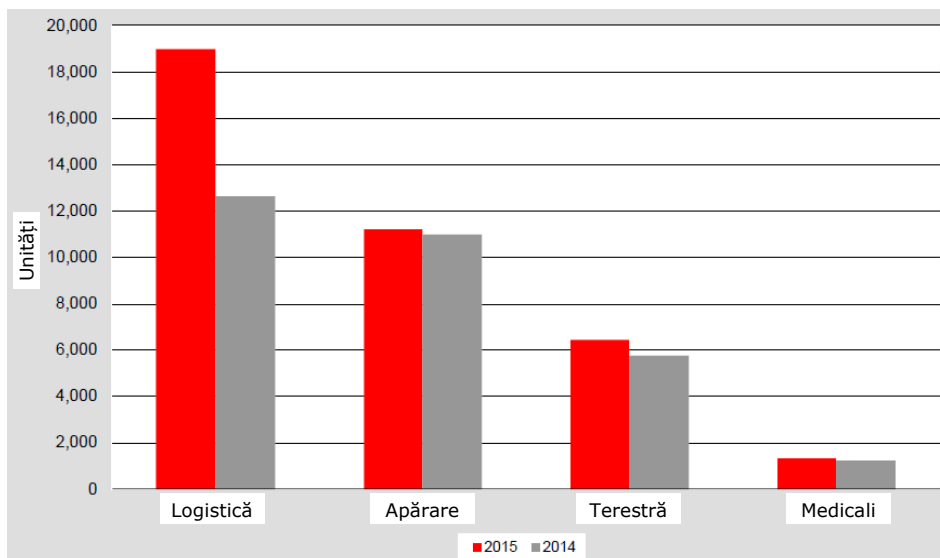


Figura 1.5 Numărul unităților de roboți 2014-2015 [***, 1.12]

Roboții de curățat pe jos vor fi utilizați tot mai mult în gospodăriile oamenilor. Estimările pentru anii 2016 - 2019 sunt situate la aproape 30 de milioane de unități vândute [***, 1.12]. În Figura 1.6 este prezentată statistica privind vânzările roboților pe criterii de activitate, desfășurate în perioada 2014-2015.

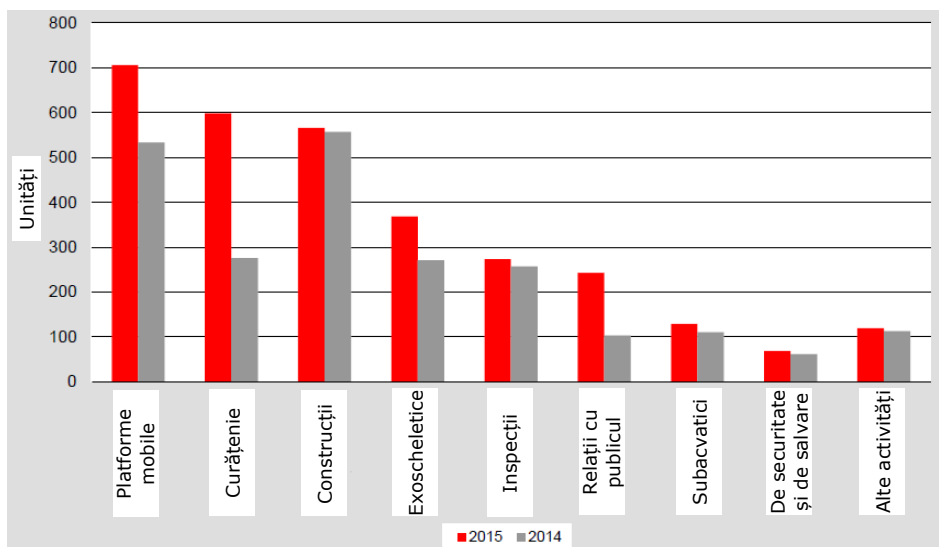


Figura 1.6 Numărul unităților de roboți vândute în 2014-2015 [***, 1.12]

Furnizorii roboților de servicii au estimat în 2010 o creștere puternică a vânzărilor roboților de tip humanoizi însoțitori/asistenți [***, 1.12]. Între anii 2016 - 2019 se estimează că 8.100 de unități ale acestor roboți vor fi vândute pe piață [***, 1.12].

Pentru anii ce urmează, până în 2019 predicțiile de vânzare pentru roboții de servicii, utilizați casnic, dar și industrial, se estimează a fi în jurul valorii de 42 de milioane de unități (Figura 1.7), [***, 1.12].

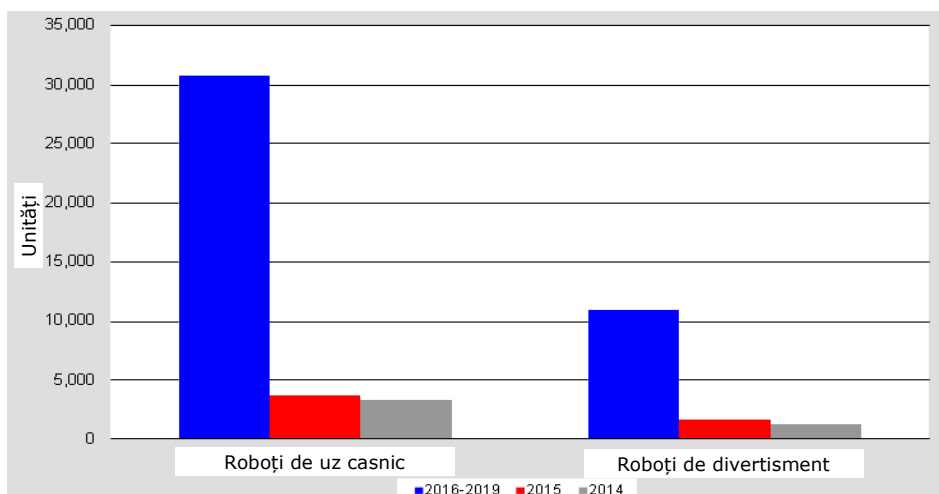


Figura 1.7 Vânzările între 2014-2015 și estimările până în 2019 [***, 1.12]

În concluzie, evoluția în sfera mecatronicii a cunoscut o dezvoltare remarcabilă, pornind de la primii pași de pionierat, în care se experimentau soluții la problemele tehnice din anii respectivi: limbaj comun în dezvoltarea sistemelor electromecanice, până la momentul actual în care sunt dezvoltați roboți sofisticăți cu sarcini complexe în medii nestructurate.

Domeniul auto și domeniul tehnic, în general, sunt ramurile care profită cel mai mult de pe urma dezvoltării sferei mecatronice și a roboților. Statisticile arată că numărul de roboți utilizați pentru diverse activități, este în continuă creștere.

Domeniul educației apelează la facilitățile mecatronicii în scopul instruirii specialiștilor în mediul multidisciplinar.

Pe măsură ce tehnologia evoluează, mecatronica contribuie cu idei noi, soluții și proceduri la rezolvarea problemelor tehnice actuale [***, 1.13], [***, 1.14], [Ivanescu, 2002].

1.2. Motivația abordării temei tezei de doctorat

Importanța cercetărilor din domeniul sistemelor autonome – sisteme mecatronice - este vizibilă prin aplicațiile directe din diversele structuri ale societății, prin creșterea calității produselor și a serviciilor.

Un sistem autonom, materializat printr-un robot mobil, este echivalat cu un produs de divertisment. Exemple multiple demonstrează însă complexitatea problemei prin implementări ale sistemelor mecatronice: roboți casnici și de serviciu, roboți mobili pentru explorare a unui mediu nestructurat, drone zburătoare, exoschelete cu sistem de control avansat ca ajutor a persoanelor cu probleme locomotorii etc. Există numeroase laboratoare de cercetare care au ca scop cercetarea și dezvoltarea unor sisteme mecatronice destinate persoanelor cu dizabilități, care contribuie la ajutorarea și integrarea lor în societate.

Dezvoltarea unor astfel de sisteme, din ce în ce mai sofisticate și cu aplicații largi, a condus implicit la abordarea unor concepte noi pentru modelare și simulare.

Conceptul pendulului invers este un astfel de exemplu prezent și astăzi în literatura de specialitate. Conceptul – pendul invers – prezintă interes, este recunoscut și acceptat atât în sensul producerii unor produse noi, cât și în scop educativ. Controlul unui sistem – pendul invers – este considerat astfel ca o problemă perfectă atât din punct de vedere hardware, cât și software.

Pornind de la aceste considerente, autorul dorește să dezvolte o clasă de demonstratoare mecatronice care se includ în domeniul sistemelor autonome. Cercetarea preconizată urmărește atât dezvoltarea hardware, în conceptul filozofiei mecatronice, cât și componenta software. În concordanță cu filozofia de proiectare mecatronică, dezvoltarea demonstratoarelor se dorește a fi simplă, flexibilă, modulară, cu posibilități disponibile și în mediul educațional.

Conceptul mecatronic de dezvoltare a unui produs recomandă un echilibru între simulare și partea experimentală. Acest considerent este avut în vedere în modul de structurare a cercetării și concretizare a analizelor teoretice și experimentale.

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

Teza de doctorat urmărește dezvoltarea unui suport teoretic și aplicativ/experimental pentru o clasă de demonstratoare mecatronice astfel încât să

evidențiază aplicabilitatea și utilitatea unor structuri modulare în acest demers și constrângerile ce se impun în controlul unui sistem mecatronic – pendul invers.

Obiectivul principal al tezei de doctorat constă din *analiza teoretică și experimentală a conceptului pendul invers pentru controlul unor demonstratoare mecatronice*.

Parcursul cercetărilor teoretice și experimentale este prezentat în Figura 1.8.

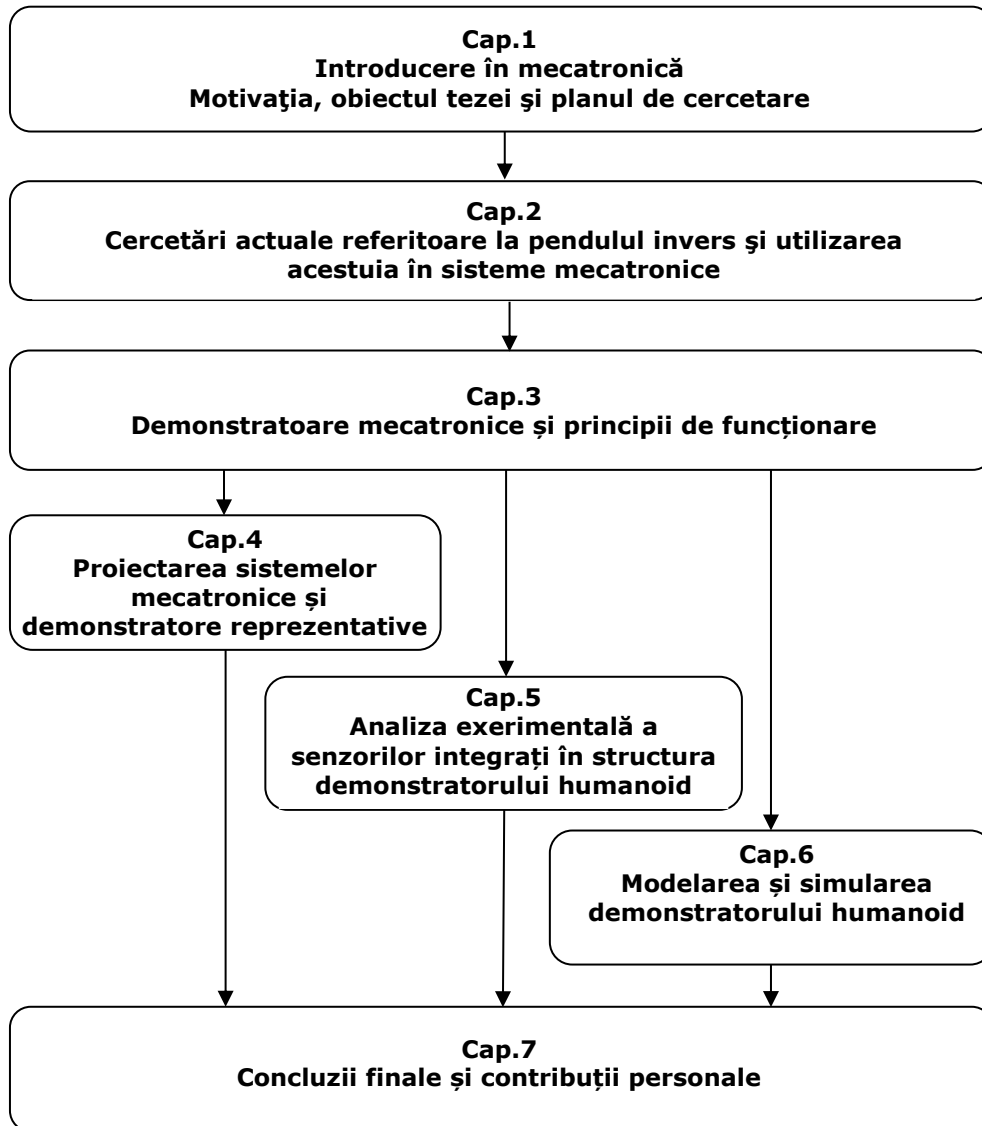


Figura 1.8 Parcursul cercetării teoretice și experimentale

În baza acestui proiect de cercetare, obiectivului principal al tezei i-au fost subordonate o serie de obiective operaționale sau specifice:

- Identificarea stadiului actual al cercetărilor cu referire la domeniul abordat, a problemelor conexe și a temei de doctorat preconizată;

- Realizarea unei sinteze, a bibliografiei de specialitate referitoare la modele matematice ale pendulului invers și aplicații ale acestuia în mecatronică;
- Sinteza bibliografiei referitoare la demonstratoare mecatronice;
- Materializarea filozofiei de proiectare mecatronică pentru demonstratoare în baza pendulului invers;
- Aplicarea filozofiei mecatronice referitoare la echilibrul dintre modelare/simulare și experiment pentru componente mecatronice din structura demonstratorului;
- Modelarea și analiza experimentală a unui demonstrator biped;
- Modelarea și simularea unui demonstrator biped;
- Diseminarea rezultatelor cercetărilor, evidențierea contribuțiilor și a direcțiilor de cercetare viitoare.

1.4. Structura tezei de doctorat

Modul de realizare a obiectivelor menționate anterior este descris în următoarele capitole ale tezei de doctorat, după cum urmează:

Capitolul 1 - Introducere - descrie domeniul și direcțiile de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat. Sunt evidențiate motivația temei, obiectivul principal și obiectivele operaționale ale tezei de doctorat. În finalul capitolului este prezentată structura tezei de doctorat pe capitole și extensia acestora. Capitolul are o extensie de 9 pagini și include 8 figuri.

Capitolul 2 - Cercetări actuale referitoare la pendulul invers și utilizarea acestuia în sisteme mecatronice - prezintă o sinteză bibliografică referitoare la conceptul de pendul invers, precum și aspecte ale integrării conceptului de pendul invers în menținerea echilibrului la diverse sisteme. Capitolul are o extensie de 28 de pagini și include 35 de figuri și 2 tabele și 11 relații de calcul.

Capitolul 3 - Demonstratoare mecatronice și principii de funcționare – debutează prin generalități referitoare la noțiunea și utilitatea unui demonstrator mecatronic. În continuarea capitolului este inserată o sinteză a unor demonstratoare de referință. În finalul capitolului sunt prezentate concluziile cercetărilor. Capitolul 3 are o extensie de 16 pagini în care sunt integrate: 23 de figuri și 2 relații de calcul.

Capitolul 4 - Proiectarea sistemelor mecatronice și demonstratoare reprezentative – prezintă rezultatele filozofiei de proiectare mecatronică prin demonstratoarele dezvoltate. În cadrul capitolului se prezintă și cazul de integrare software într-un demonstrator – robot serial. Capitolul 4 are o extensie de 51 de pagini și include 62 de figuri, 40 de relații de calcul și 14 tabele.

Capitolul 5 – Analiza experimentală a senzorilor integrați în structura demonstratorului humanoid – face obiectul modelării, simulărilor și analizelor experimentale pentru componente mecatronice senzoriale din structura unui demonstrator. Sunt incluse proceduri de lucru, rezultate din analiza experimentală și utilizarea sinergică a acestora. Rezultatele experimentale sunt însoțite de concluziile rezultate din prelucrarea datelor experimentale. O parte a datelor experimentale au fost incluse în anexele asociate acestui capitol. Concluziile rezultate în urma experimentelor încheie acest capitol care are o extensie de 30 de pagini și include 36 de figuri, 19 relații de calcul și 18 tabele.

Capitolul 6 - Modelarea și simularea demonstratorului humanoid - trece în revistă conceptul constructiv al demonstratorului, analize experimentale și

modelare, precum și analiza critică a rezultatelor. Capitolul are o extensie de 46 de pagini și include 139 de relații de calcul, 53 de figuri și 4 tabele.

Capitolul 7 – Concluzii finale și contribuții personale – evidențiază concluziile ce se desprind în urma activităților de cercetare desfășurate, trece în revistă contribuțiile personale, modalitățile de diseminare a rezultatelor și recomandările pentru cercetările viitoare. Capitolul 7 are o extensie de 5 pagini.

Bibliografia - include o parte din titlurile utilizate pe parcursul elaborării tezei. Bibliografia cuprinde 296 de titluri bibliografice. Aceasta are o extensie de 21 de pagini.

Anexele - includ materiale rezultate și prelucrate în perioada de elaborare a tezei. Aceste materiale au fost utilizate pentru redactarea capitolelor tezei. Anexele sunt asociate capitolelor tezei după cum urmează: Capitolul 2 - Anexa 2.1÷2.9; Capitolul 3 - Anexa 3.1÷3.3; Capitolul 4 - Anexa 4.1÷4.11, Capitolul 5 - Anexa 5.1÷5.16, Capitolul 6 - Anexa 6.1÷6.5. Anexele au o extensie de 70 de pagini.

2. CERCETĂRI ACTUALE REFERITOARE LA PENDULUL INVERS ȘI UTILIZAREA ACESTUIA ÎN SISTEME MECATRONICE

2.1. Introducere

Obiectivul acestui capitol este prezentarea unei sinteze, a bibliografiei de specialitate, referitoare la noțiunea de pendul invers, modele matematice și aplicații ale acestuia în mecatronică.

2.2. Noțiunea de pendul fizic, pendul gravitațional și pendul invers

2.2.1. Generalități

În literatura de specialitate, noțiunea de pendul este atribuită unui „...corp solid, greu care poate oscila în jurul unui punct fix sau al unei axe fixe când este scos din poziția sa de echilibru stabil” [Vâlcovici, 1968], [Silaș, 1968], [Groșanu, 1981], [***, 2.1], [***, 2.2].

Pendulul fizic este definit ca un corp solid (rigid), care poate oscila liber sub acțiunea forței gravitaționale, în jurul unei axe orizontale care nu trece prin centrul său de masă. În poziție de echilibru, centrul de masă C al corpului se află pe verticala dusă prin centrul de suspensie O (Figura 2.1.a). Dacă scoatem pendulul fizic din poziția de echilibru și îi dăm drumul, acesta va executa o mișcare oscilatorie (Figura 2.1.b).

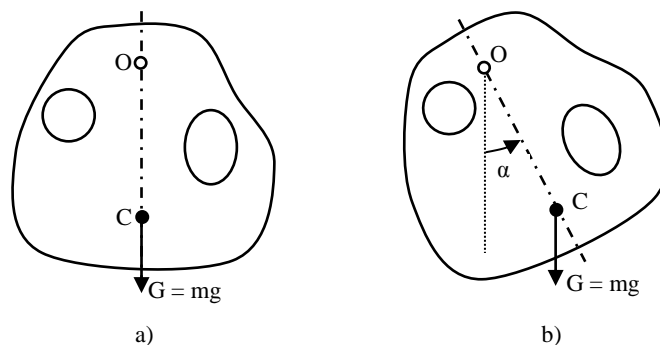


Figura 2.1 Pendulul fizic: a) în echilibru; b) în oscilație

Într-un mod asemănător se definește și pendulul gravitațional: un sistem fizic, format dintr-un corp de masă m suspendat de un punct fix printr-un fir de lungime l , care efectuează o mișcare oscilatorie sub acțiunea forței gravitaționale. Pendulul gravitațional a fost studiat pentru prima dată în profunzime de savantul italian Galileo Galilei și aplicat în studierea mișcării corpurilor [Vâlcovici, 1968], [Silaș, 1968], [Groșanu, 1981].

Pendulul ideal reprezintă un model matematic, unde se consideră că firul pendulului este inextensibil și nu are greutate proprie, iar corpul este punctiform și toată masa sa este concentrată în punctul respectiv [Vâlcovici, 1968], [Silaș, 1968], [Groșanu, 1981].

Pendulul invers (inversat) constă dintr-un pendul care are centrul său de masă deasupra punctului de pivotare. În mod inerent, acest pendul este instabil. Pentru a rămâne în poziția verticală care îl definește, pendulul trebuie să fie echilibrat în mod activ.

În literatura de specialitate se consideră și se apreciază că:

- Sistemul demonstrativ - pendul invers - este preferat pentru aplicații educative în fizică, dinamică și control [***, 2.3];
- Sistemul pendul inversat este o demonstrație frecventă de utilizare a controlului pentru a stabili un sistem instabil în buclă deschisă [***, 2.4];
- Pendulul invers este unul din mecanismele uzual utilizate în educație pentru aplicații în teoria controlului (control theory) și ale sistemelor electromecanice (mecatronică) [Sasaki, 2010].

În [Arnoldo, 2012] se evidențiază primele abordări ale unor cercetători în studiul pendulului invers. Cronologia prezintă evoluția cercetărilor asupra dinamicii și controlul pendulului inversat și evenimente marcante observate. Autorul localizează debutul preocupărilor la nivelul anului 1908, dar ia în considerare existența unor activități mai vechi, astfel:

- În 1908, Stephenson a examinat un pendul inversat și a demonstrat că ar putea fi stabilizat prin aplicarea unor oscilații rapide, verticale, armonice la baza sa [Stephenson, 1908];
- În 1909, Stephenson a dezvoltat condiții de stabilitate pentru pendule duble și triple inversate [Stephenson, 1909];
- În 1932, Lowenstern a dezvoltat ecuațiile generale ale mișcării pentru pendulul inversat. Condițiile sale de stabilitate corespund foarte bine cu cele ale Stephenson [Lowenstern, 1932].

O istorie a sistemelor realizate pe baza conceptului de pendul invers este prezentată în [Lundberg, 2010]. Câteva etape din evoluția abordărilor merită prezentate:

- Robergé demonstrează în cadrul lucrării de licență (1960) o soluție pentru un sistem pendul - invers [Robergé, 1960];
- Higdon descrie sistemele cu pendule inversate multiple și independente [Higdon, 1963];
- În 1966, Schaefer analizează sisteme realizate pe principiul pendulului inversat [Schaefer, 1967].

Aspecte referitoare la controlul poziției verticale a pendulului fizic devin probleme clasice în laboratoarele universitare și se regăsesc în lucrările lui [Dorf, 1967], [Ogata, 1970]. Truxal dezvoltă modelul de stare pentru un sistem pendul - invers [Truxal, 1965].

Aspectele de analiză a stabilității pendulului inversat se regăsesc și în lucrările lui [Kalmus, 1970]

Deși Åström și Furuta susțin într-un articol din 2000 că „sistemul pendul invers a făcut obiectul problemelor de control din laboratoare încă din 1950”, utilizează referiri privind activitatea lui Schaefer și Cannon. Mori se referă la același mod în momentul în care prezintă metode de control ale sistemului pendul invers în

lucrarea proprie, din 1976 [Mori, 1976].

În anul 1989, Yamakawa dezvoltă sistemele Fuzzi de control rapid. În anul 2002, este dezvoltată platforma mobilă (de către Grasser Joe) echipată cu două roți, utilizând sistemul pendul invers, după care, tot în același an spre sfârșit, se comercializează prima platformă Segway. În 2007, John Morrell publică algoritmul de control al platformei Segway [Morrell, 2007].

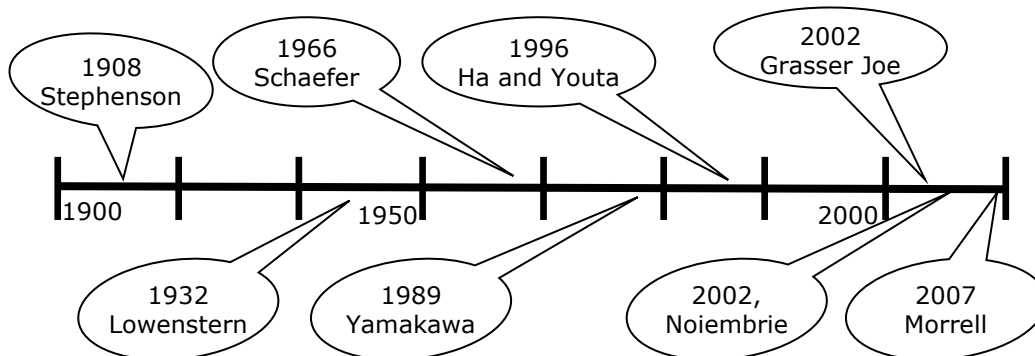


Figura 2.2 Cronologia literaturii în dezvoltarea conceptului de pendul invers

Pe parcursul anilor, aplicabilitatea pendulului invers și a sistemelor de echilibru într-un spațiu necontrolat s-au dezvoltat foarte mult și sunt prezente în literatura de specialitate.

Domeniul roboticii a oferit un câmp larg de aplicații teoretice și experimentale.

Sistemul pendulului invers, a atras atenția mai multor companii îndreptate spre cercetarea și dezvoltarea roboților mobili, datorită stării instabile a sistemului, [Schoonwinkel, 1987], [Vos, 1990], [Nakajima, 1997], [Sheng, 1997].

Cercetări tehnice de referință ale variantelor tehnice ce folosesc principiul de echilibru al pendulului invers au fost date de: Acrobot [Spong, 1995], Pendubot [Fantoni, 2000], Furuta Pendulum [Acosta, 2010], Inverted pendulum [Furuta, 1992], Reaction Wheel Pendulum [Block, 2007], Bicycle [Åström, 2005], VTOL aircraft [Martin, 1996], Beam-and-Ball system [Andreev, 2002], [Boubaker, 2013].

O dezvoltare intensă se poate observa în domeniul roboților pășitori, în special a celor bipezi. Sunt de remarcat firmele Honda cu un robot biped numit ASIMO și Sony cu robotul QRIO, dar și unele cercetări pe aceste tipuri de roboți [Endo, 2005], [***, 2.24], [***, 2.25], [***, 2.26].

O parte din roboții humanoizi, de exemplu Honda ASIMO, sunt concepuți pentru a fi personalizați, pentru a ajuta persoanele în vârstă sau cu dizabilități. Una din problemele de bază este sinteza mișcărilor, care, în cazul unei locomoții discrete, este mult mai dificilă în comparație cu locomoția continuă. Alte metode și soluții sunt inspirate din sfera biologică unde sunt descrise anumite puncte cheie ce necesită a le fi acordată o atenție mărită [Zielińska, 2003].

În cadrul studiului [Hirukawa, 2003], cercetătorii se concentrează pe sisteme sintetizate ale mișcărilor robotului, bazate pe simulări anterioare cu platforma OpenHRP. Atât simularea, cât și experimentele sunt utilizate pentru a determina componentele verticale ale forțelor de reacție cu solul. Mecanismul de picior este exprimat ca un sistem format din arc amortizor. Acest sistem permite amortizarea la impact a piciorului cu solul în timpul contactului.

În experimentele studiului [Kajita, 2005], se descrie sistemul de control

dezvoltat pentru un robot biped alergător.

Lucrarea [Kajita, 2004] este dedicată unei probleme în care este descrisă capacitatea robotului de a face salturi. Cercetătorii studiului [Anderson, 2005] prezintă mișcarea controlată pentru trei roboți bipezi diferiți, folosind rezultatele obținute în analiza unui mers pe jos pasiv.

Altă abordare științifică a fost abordată la Universitatea Cornell care a dezvoltat o dinamică pasivă 3D, ce nu necesită elemente de acționare. Acest concept a fost aplicat unui sistem format din două picioare și genunchi, care au o combinație de proprietăți și caracteristici, permițând mersul în echilibru pe diverse plane înclinate [Collins, 2005].

Cu scopul de a mări precizia, MIT's Leg Lab a dezvoltat o serie de roboți în 1980 și 1990 care utilizează actuatoare elastice pentru a ajuta la reducerea perturbanțelor și a preciziei servomotoarelor clasice [Pratt, 1997].

Cei de la MIT's Sensorimotor Neuro control group, au dezvoltat un model de control neuronal uman al mișcării care realizează în simulare un mers robust în plan vertical. Un model de robot a fost dezvoltat în 2004, care s-a dovedit stabil la apariția unor varietăți ale suprafeței de mers [Jo, 2004].

Abordări asemănătoare au fost aplicate pentru construirea unor mecanisme dedicate, care să înlocuiască cât mai mult posibil scaunul cu roți tradițional cu un mecanism de mers, care să ajute la mersul biped sau care să compenseze alte mișcări ale oamenilor cu dizabilități, cum ar fi mișcările aparatelor Waseda WL-16R, Toyota iFoot, KAIST Hubo FX-1 ce sunt controlate de oameni, [Vukobratovic, 1974], [Vukobratovic, 2001], [Hirose, 1997], [Hirai, 1998], [KRYCZKA, 2007].

O analiză extinsă în literatura de specialitate referitoare la pendulul invers – subiect de interes – în domeniul sistemelor de control și ale roboticii, este prezentată de Boubaker în [Boubaker, 2012].

2.2.2. Variante principiale ale pendulului invers

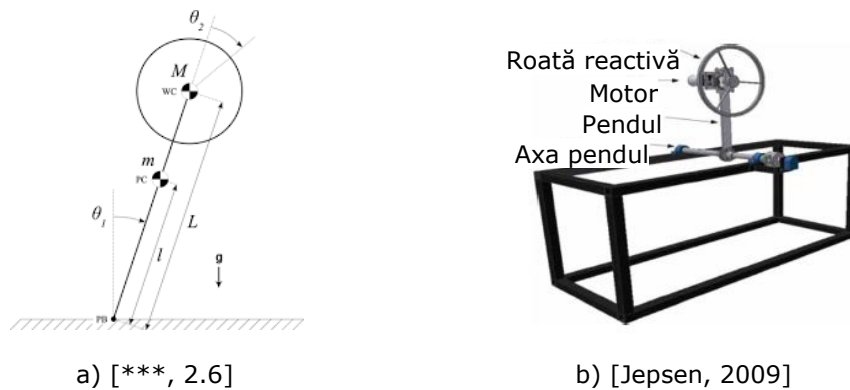
Cu toată structura sa teoretică simplă, pendulul invers se regăsește în diverse variante de studiu, a stat la baza dezvoltării unor variante mai complexe și astfel, la posibilități de abordare diferite a controlului. În [Boubaker, 2010] se evidențiază principal câteva din aceste variante. Variante principiale pentru pendulul invers sunt prezentate în continuare.

În Figura 2.3 este prezentată varianta unui sistem pendul invers clasic modelat pe baza unui element elastic și un amortizor [***, 2.5]. Varianta unui pendul invers Furuta este prezentată în Figura 2.3.b [***, 2.5]. Un modul de rotație în plan orizontal are atașat pendulul invers care poate oscila în plan vertical.



Figura 2.3 Pendul invers cu mecanism pasiv (arc și amortizor)

Pendulul invers cu reacție printr-o roată, este prezentat în Figura 2.4.a [Ruan, 2009], [Isomi, 2009], [***, 2.6], [***, 2.7]. În Figura 2.4.b se prezintă un model 3D referitor la modelul dezvoltat pentru un astfel de pendul invers [Jepsen, 2009].

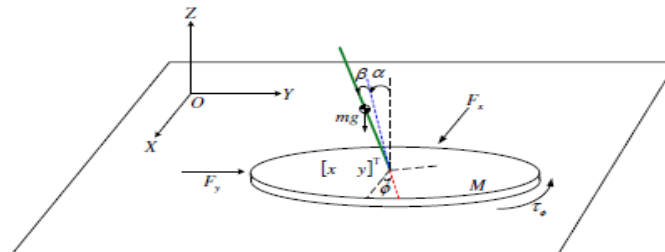


a) [***, 2.6]

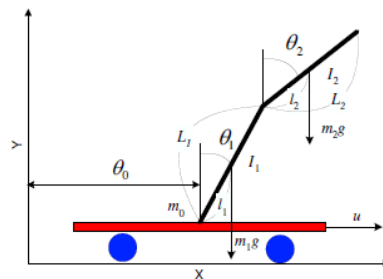
b) [Jepsen, 2009]

Figura 2.4 Pendul invers cu roată de reactiv

Schema principală a unui pendul invers spațial (3D) este prezentată în Figura 2.5 [Kao, 2013]. Notațiile din figură au următoarele semnificații: m – masa pendulului; M – masa robotului mobil; l – lungimea pendulului; β, α, φ – deplasările unghiulare ale pendulului în raport cu axele X , Y și, respectiv, Z ; F_x, F_y – forțele de control exercitate pe direcțiile axelor X , respectiv Y ; τ_φ – cuplul de rotație dezvoltat de robotul mobil.

**Figura 2.5** Pendul invers sferic [Kao, 2013]

Pornind de la structura pendulului invers clasic, a fost dezvoltată structura pendulului invers dublu (Figura 2.6) [Bogdanov, 2004]. Mecanismul plan format din două elemente este integrat în structura unui robot mobil.

**Figura 2.6** Pendulul invers dublu [Bogdanov, 2004]

Schema principală a unui sistem pendul invers triplu este prezentată în Figura 2.7 [Su, 2003]. Mecanismul pendulului este format din elementele (lungimi $l^{(1)}, l^{(2)}, l^{(3)}$) și cuplele cinematice de rotație (unghiurile $\theta_1, \theta_2, \theta_3$) și este inserat pe o structură mobilă în mișcare de translație.

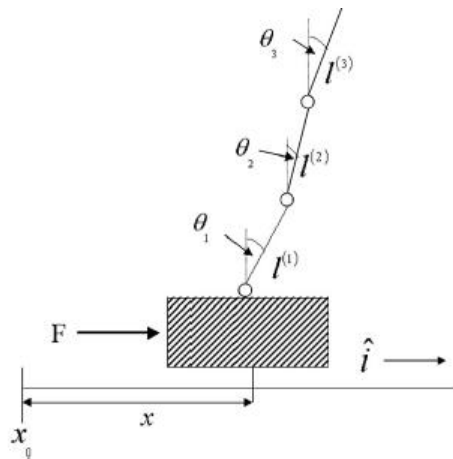


Figura 2.7 Pendul invers triplu [Su, 2003]

În Figura 2.8 se prezintă schema principală a unui sistem pendul invers cuadruplu [Hongxing, 2004]. Mecanismul pendulului format din elementele (1, 2, 3, 4) și cuplele cinematice (O_1, O_2, O_3, O_4) și este inserat pe structura unui robot mobil.

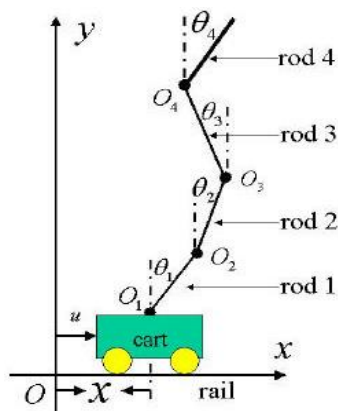


Figura 2.8 Pendul invers cuadruplu [Hongxing, 2004]

O extensie a pendulului invers clasic este varianta pendulului invers dual [Barton, 2008]. Sistemul constă din două pendule inversate independente, constrânse la o mișcare într-un singur plan și controlate prin mișcarea de translație a unui element (Figura 2.9.a) [Barton, 2008]. Această variantă nu trebuie confundată cu varianta pendulului invers dublu (Figura 2.9.b) [Barton, 2008]. O altă abordare este cea a variantei paralele pentru un pendul inversat dual (Figura 2.9.c) [Barton, 2008].

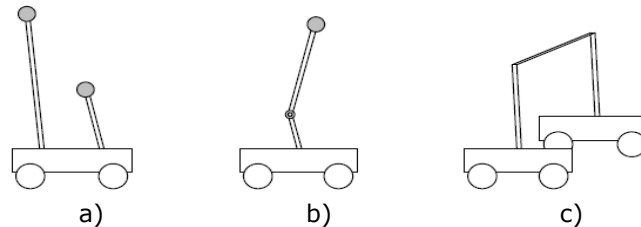


Figura 2.9 Variante ale pendulului invers dublu [Barton, 2008]

Varianta din Figura 2.9 (**cazul a**) se remarcă prin modul de sinteză a sistemului. Un pendul invers clasic este integrat într-un modul de translație care se poate materializa printr-un robot mobil. Aceasta reprezintă una dintre cele mai analizate variante privind analiza dinamică, stabilizarea pendulului și modul de control [Åström, 1996], [Kerschena, 2006], [Bugeja, 2002], [Åström, 2000], [Ibanez, 2005], [Muskinja, 2006], [Saleh, 2004], [Ding, 2009], [Shimada, 2006].

Figura 2.10.a reprezintă un cărucior cu un pendul invers. Acesta se mișcă pe axa orizontală x până la o poziție dorită. Poziția verticală a pendulului (în jurul valorii de 90 de grade față de orizontală) este controlată prin parametrii mișcării de translație. Notațiile din Figura 2.10.a sunt descrise prin următoarele unități: M - masa căruciorului; m - masa pendulului; b - coeficientul de amortizare; l - lungimea pendulului; F - forța aplicată căruciorului; x, y - sistemul de coordonate atașat mediului de mișcare al căruciorului; θ - unghiul dintre pendul și planul vertical [***, 2.8]. Modelul matematic al dinamicii sistemului este prezentat în Anexa 2.1.

Alte abordări și efectele produse de forțele de fricțiune în mișcarea modulului de translație, se regăsesc și au fost analizate în [Ding, 2009], [Shimada, 2006], [Aracil, 2004], [Sandru, 2016]. O sinteză specifică de abordare privind condițiile de disipare, a fost abordată în [Merakeb, 2013]. Modalitatea de aplicare a metodei corpului liber pentru modelul A și B se regăsește în Anexa 2.1.

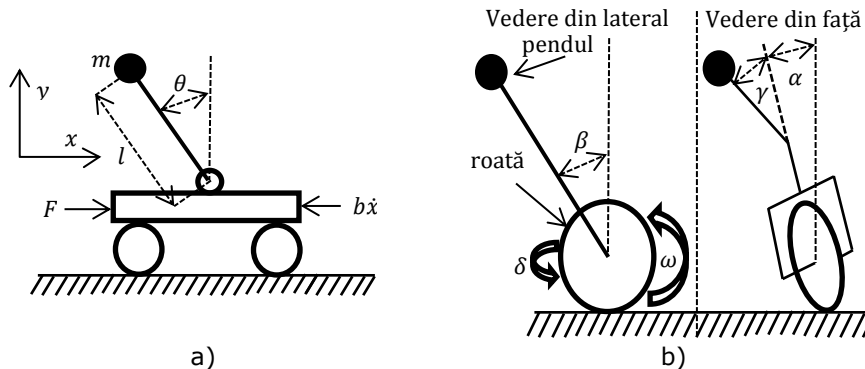


Figura 2.10 a) Pendul Cazul A - translație; b) Pendul Cazul B - rostogolire

Cazul B diferă de cel anterior prin modul de integrare al pendulului în structura sistemului. În acest caz, controlul stabilității pendulului este asigurat de un modul pe o roată, două roți sau un robot omnidirecțional (Figura 2.10.b) [Daud, 2013], [Xu, 2004], [Mamun, 2005], [Reza, 1999], [Ibanez, 2005], [Ibanez, 2008]. Pentru Figura 2.10.b, notațiile au următoarele semnificații: α - unghiul lateral de înclinare; β - unghi longitudinal de înclinare; γ - unghiul pendulului; δ - unghiul de rotire.

Dezvoltarea modelului matematic are la bază abordări diverse din literatura de specialitate specifică: metoda ecuațiilor de ordinul doi ale lui Lagrange [Bălan, 2013]; metoda echilibrului mecanic al corpului liber [Silaș, 1968]; metoda principiului lui Hamilton [Hamdi, 2015]; metoda Lagrange – Euler [Hu, 2007], [Chung, 2009], [Ortega, 1998], [Mei, 2012], [Mei, 2011], [Ren, 2010], [Ban, 2007], [Chen, 2012], [Wang, 2013], [Ma, 2015]. Pentru cazul B, modelul matematic al dinamicii sistemului este prezentat în Anexa 2.1 - Anexa 2.2, pentru diverse variante principiale [Xu, 2009], [Xu, 2010], [Nakajima, 1997], [Wang, 2004].

Moduri diverse de analiză pentru studiul stabilității au fost abordate atât individual [Ruan, 2009], [Muskinja, 2006], [Saleh, 2004], [Ma, 2007], cât și la diverse universități: Stanford University [Schoonwinkel, 1987], Massachusetts Institute of Technology [Vos, 1990], University of Tsukuba [Nakajima, 1997] sau University of Electronic Science and Technology of China [Sheng, 1997].

2.2.3. Aspecte privind controlul sistemului pendul invers

Studiul privind echilibrul sistemului pendul invers, reprezintă o problemă clasică ce ține de controlul acestuia. Astfel, sistemul este inclus în categoria sistemelor SIMO [Kim, 2008], [Lee, 2009]. O singură intrare trebuie să controleze atât unghiul de poziție a pendulului, cât și poziția sistemului mobil.

Pentru un pendul invers de masă m [kg] și lungime l [m], integrat în structura unui sistem mobil de masă M [kg], Dorf a dezvoltat modelul matematic descris de ecuațiile [2.1-2.2]:

$$M\ddot{y} + ml\ddot{\theta} = u(t) \quad (2.1)$$

$$ml\ddot{y} + ml^2\ddot{\theta} - mgl\theta = 0 \quad (2.2)$$

Autorii consideră că $M \gg m$ și ignoră momentul de inerție al pendulului. Referitor la soluția constructivă, autorul admite utilizarea unui traductor rezistiv pentru măsurarea rotației și, respectiv, un traductor pentru viteza cart-ului.

Sistemul de ecuații permite stabilirea matricei sistemului [Dorf, 1967], [Kim, 2008], [Lee, 2009]:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{g}{l} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Autorii au redus sistemul (au lăsat doar stările asociate cu poziția și viteza) pentru care au sintetizat un controler descris prin ecuația:

$$u(t) = h_1\theta + h_2\dot{\theta} \quad (2.4)$$

arătându-se că pentru stabilitatea pendulului sunt necesare condițiile:

$$h_2 > 0 ; \quad h_1 > g \quad (2.5)$$

Autorii recunosc însă că această variantă de control nu permite o stabilizare a mișcării sistemului mobil [Dorf, 1967], [Kim, 2008], [Lee, 2009].

Ogata [Ogata, 2011] apelează la un model matematic asemănător:

$$(J + ml^2)\ddot{\theta} + ml\dot{y} - mgl\theta = 0 \quad (2.6)$$

$$ml\ddot{\theta} + (m_c + m)\dot{x} = u \quad (2.7)$$

și, în final, la un control asemănător cu cel al lui Dorf [Dorf, 1967]:

$$u = M(a\theta + b\dot{\theta}) \quad (2.8)$$

Autorul arată că pentru asigurarea stabilizării pendulului trebuie respectate condițiile:

$$\begin{cases} b > 0 \\ a > \left(1 + \frac{m}{M}\right) \cdot g \end{cases} \quad (2.9)$$

Și în acest caz, soluția aplicată nu asigură controlul mișcării sistemului mobil. În domeniul controlului, în general este disponibil un suport bogat de metode, proceduri de analiză și metode de sinteză. Acest suport este compus din volume de curs, lucrări științifice. Pornind de la această realitate, se poate menționa că pendulul invers ocupă o poziție bine definită în ultima perioadă.

Reprezentarea schematică a unui sistem cu un controler integrat este prezentată în Figura 2.11. Notațiile din modelul grafic sunt cele clasice, aplicate în domeniu.

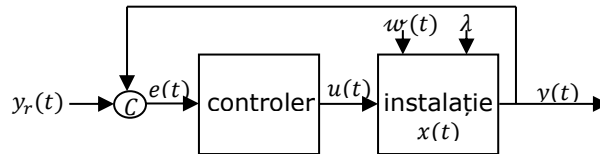


Figura 2.11 Sistemul și controlerul integrat

Obiectul problemei de control este semnalul de ieșire $y = y(t)$ pentru care există valorile de referință $y_r(t)$. Semnalul eroare $e(t)$ este utilizat în sinteza controlerului integrat în sistem. Ecuația ce descrie modelul controlerului este sintetică [Dorf, 1967]:

$$\mathcal{L}_c(u, e, \lambda) = 0 \quad (2.10)$$

unde λ este un parametru specific sistemului.

Una din cele mai simple metode de control este metoda BANG-BANG sau controler on-off, controler de histerzis, adică controler de feedback care comută brusc între cele două stări.

Stabilizarea mișcării pendulului presupune ca unghiul față de verticală a pendulului să rămână între două valori extreme:

$$-\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0 \quad (2.11)$$

Se asigură acest lucru prin generarea unui moment extern asupra pendulului corespunzător: $M = -M_0$ dacă unghiul tinde să depășească valoarea θ_0 și, respectiv, $M = M_0$ dacă unghiul tinde să scadă sub valoarea $-\theta_0$ [Dorf, 1967].

Aspecte generale privind controlere PID și aplicabilitatea pentru controlul pendulului invers sunt prezentate în Anexa 2.3

În mod ilustrativ se prezintă în Tabelul 2.1 o distribuție a literaturii de specialitate pe subiectul abordat [Boubaker, 2012].

Tabel 2.1 Bibliografie de specialitate pe subiectul abordat (după [Boubaker, 2012])

Metoda de control	Cărți științifice	Lucrări de cercetare	Lucrări de cercetare cu figuri
Control Bang-Bang	-	Sonneborn, 1965	Mori, 1976, Furuta, 1991
Controlul feed-forward	-	Mazenc, 1996	Mazenc, 2000 Mazenc, 2003
Metoda perturbației singulare	Kokotovic, 1986	Kokotovic, 1976 Dmitriev, 2006	Srinivasan, 2009
Control hibrid	Mariton, 1990 Savkin, 2002 Liberzon, 2003	Labinaz, 1997 Liberzon, 1999 Decarlo, 2000 Rugh, 2000 Sun, 2005	Guckenheimer, 1995 Åström, 1999 Zhao, 2001 Aracil, 2004 Li, 2009
Control prin glisare	Utkin, 1992 Utkin, 1999 Edwards, 1998	Utkin, 1977 Hung, 1993	Riachy, 2008 Riachy, 2008 Park, 2009
Control logic Fuzzy	Wang, 1994	Lee, 1990	Wang, 1996 Yi, 2001
Control robust	Boyd, 1994 Zhou, 1996 Zhou, 1998	Barmish, 1993 Lewis, 2007	Barya, 2010
Control optimal în timp	Lewis, 1995 Vinter, 2000 Boscain, 2004	Mayne, 1973	Xu, 2001 Holzhuter, 2004 Chernousko, 2007 Mason, 2008
Control PID	Åström, 1995	Landau, 1983 Åström, 1983 Ortega, 1989 Åström, 1993	Chang, 2002
Control prin rețele neuronale	Lewis, 1999, [Ge, 1998	Hunt, 1992	[Anderson, 1989]
Control predictiv	García, 1989 Allgöwer, 2000 Maciejowski, 2002 Findeisen, 2006 Magni, 2009	García, 1989 Morari, 1999 Mayne, 2000 Magni, 2004	Magni, 2002 Balan, 2005 Gawthrop, 2006 Mills, 2009
Control bazat pe energie	Glad, 1987 Isidori, 1995 Marino, 1995 Khalil, 2002	Syrmos, 1997 Kokotović, 2001	Chung, 1995 Spong, 1996 Spong, 1997 Åström, 2000 Lozano, 2000 Angeli, 2001 Chatterjee, 2002 Åström, 2008 Yang, 2009

2.3. Aplicații ale modelului pendulului invers în mecatronică

Mulți cercetători au încercat aplicarea metodei pendul invers pentru găsirea celor mai bune soluții de stabilizare a sistemelor robotice, aflate în ipostaza de a executa diferite acțiuni. Ținând cont de faptul că mediul de lucru nu este regulat, aceste cercetări vor fi prezentate în materialele ce urmează.

În Figura 2.12 sunt prezentate câteva modele ce apelează la principiul pendulului invers și care vor fi mai detaliat explicate în următoarele subcapitole.

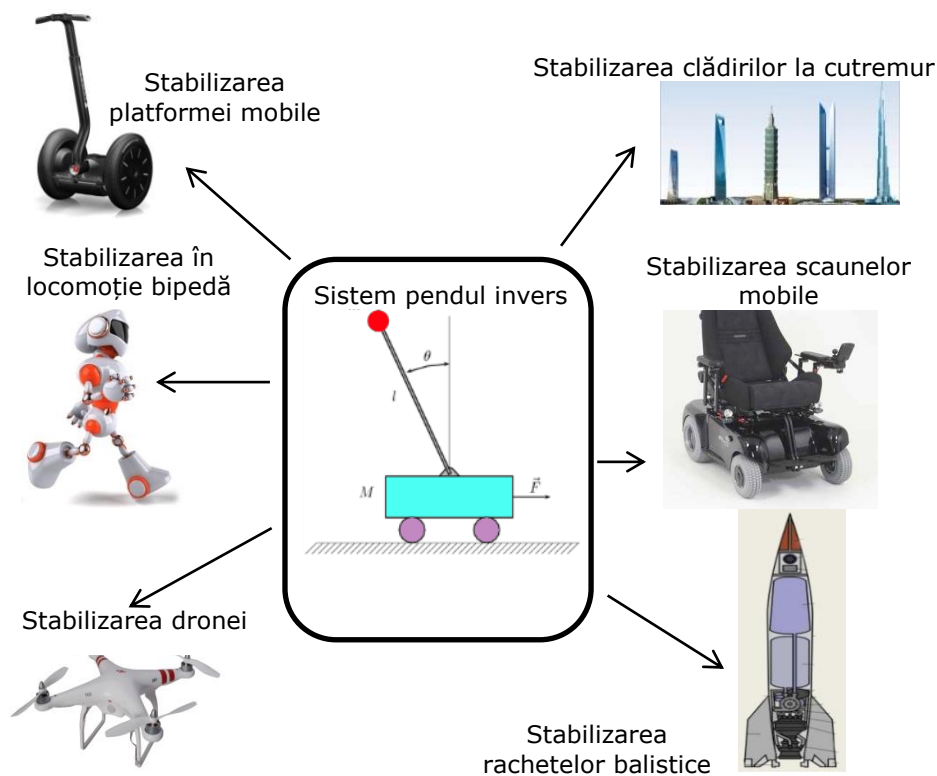


Figura 2.12 Aplicații ce folosesc conceptul de pendul invers

2.3.1. Roboții humanoizi

2.3.1.1. Introducere

Dezvoltarea roboților humanoizi coincide cu dezvoltarea sistemelor mecatronice exoscheletice.

Unul dintre pionieri în aceste cercetări este profesorul Vukobratovic. Trebuie remarcat faptul că sistemele de locomoție, picioarele, au fost printre primele sisteme dezvoltate [Vukobratovic, 1975], [Hristic, 1976].

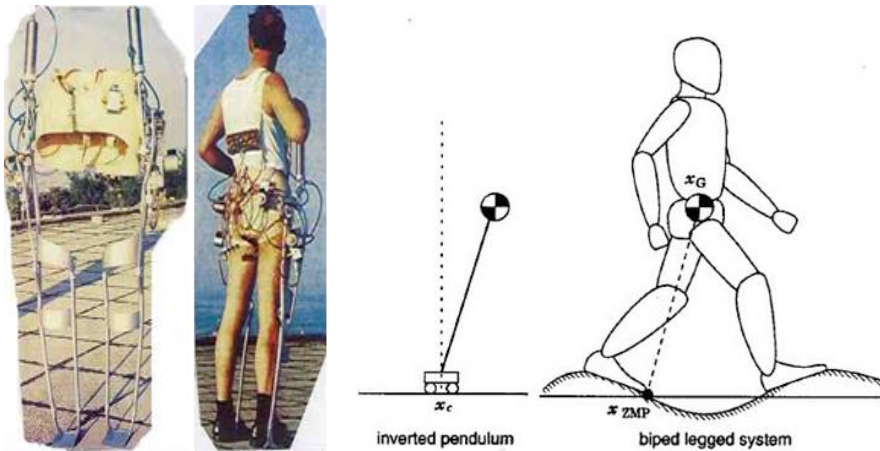
Prin urmare, se poate spune că studiul exoscheletului a pus bazele primelor cercetări, în domeniul roboților humanoizi.

Există un interes foarte mare în industria militară pentru dezvoltarea acestor tipuri de roboți. Unele exoschelete mecatronice sunt destinate consolidării

exoscheletului uman, care nu mai poate îndeplini funcțiile normale de mobilitate sau de stabilitate [***, 2.9].

2.3.1.2. Generalități

Primii cercetători în domeniu, au încercat să rezolve diferite probleme ale dizabilității oamenilor. Un model de exoschelet este cel prezentat în Figura 2.13.a [Vukobratović, 2006]. Sistemul exoscheletic are integrat o acționare pneumatică. Principiul de comandă și menținerea stabilității sistemelor moderne pe baza aplicării modelului pendul invers, sunt prezentate în Figura 2.13.b [Beranek, 2016].



a) [Vukobratović, 2006]

b) [Beranek, 2016]

Figura 2.13 a) Exoschelet pneumatic; b) Pendulul invers robot humanoid

Primul exoschelet activ dezvoltat și recunoscut în bibliografie este prezentat în Figura.2.14.a [Vukobratović, 2006]. Exoscheletul este antrenat pneumatic și controlat printr-un sistem electronic. Acesta a fost construit pentru a reproduce un mers uman, a fost realizat în anul 1969 de Mihailo Pupin, predecesor al mai multor exoschelete complexe care aveau ca rol principal susținerea exoscheletului persoanelor cu handicap.



a) [Vukobratović, 2006]

b) [Vukobratović, 2006]

c) [Vukobratović, 2006]

Figura 2.14 Exoschelet: a) Activ; b) Antrenat pneumatic; c) Electomecanic

O variantă mai avansată de exoschelet activ, folosită pentru reabilitarea persoanelor cu handicap, este prezentată în Figura 2.14.b [Vukobratović, 2006]. Sistemul de acționare este electromecanic (format din motoare electrice), programat și controlat electronic. Scopul principal al sistemului a fost acela de a dezvolta unitățile electromecanice pentru dispozitive de orteze active sau orteze braț activ [Vukobratović, 2006].

În Figura 2.14.c este prezentat un sistem modular ortetic, creat în anul 1978, pentru distrofia musculară. Este acționat electromecanic și controlat de un microcalculator [Vukobratović, 2006]. Sistemul de control și macro stabilizare, restaurează poziția de echilibru prin control activ [Vukobratović, 2006].

În cazul mecanismelor bipede este esențial, pentru stabilitatea dinamică a întregului sistem, controlul forțelor la contactul cu solul (Figura 2.15)[Vukobratović, 2006]. Una dintre cele mai interesante abordări a controlului, a fost a celor de la Honda, care au introdus noțiunea de *punct de moment zero* ZMP (*Zero Moment Point*) [Vukobratović, 2006]. Distribuția forțelor de contact pentru analiza cinetostatică este prezentată în Figura 2.15 [Vukobratovic, 1968], [Vukobratovic, 1969], [Vukobratovic, 1972], [Juricic, 1972], [Vukobratovic, 1975].

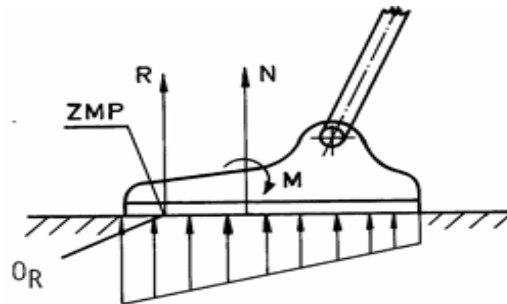


Figura 2.15 Distribuția forțelor de contact [Vukobratović, 2006]

Conceptul de ZMP (*Zero Moment Point*), aplicat robotului ASIMO pentru a menține robotul în starea de echilibru, a stat la baza sintezei sistemului de control prin: stabilirea obiectivelor țintă, contactul cu solul, comanda corectivă a actuatorilor pentru atingerea acestor poziții [Ramamoorthy, 2006].

În general, cercetătorii obțin modelul cinematic al roboților prin aplicarea criteriului ZMP [***, 2.10], [KIM, 2007], [LIM, 2005], [LIM, 2001], [MITOBE, 2004], [VUNDAVILLI, 2009], [MOUSAVI, 2008], [VUKOBRATOVIĆ, 2004]. Se rezolvă astfel problema cinematicii inverse și se realizează sinteza sistemului de control.

Un alt pas important în modelarea membrului inferior uman și controlul unui element artificial, cu particularitate la roboți bipezi, a fost introducerea metodei semi inverse (semi invers method), [Vukobratovic, 1969], [Vukobratovic, 1972], [Juricic, 1973]. Folosind conceptul ZMP și cel al centrului de greutate (COG – *center of gravity*), în anul 1984 cercetătorii au analizat mersul unui robot pășitor biped. Modelul dinamic este prezentat în Anexa 2.4. Forma semnalului achiziționat, de la sistemul senzorial al robotului, este prezentată grafic în Figura 2.16.a [Vukobratović, 2006]. Lucrări cu abordări asemănătoare sunt prezente în literatura de specialitate [Juricic, 1975], [Vukobratovic, 1975].

Cercetătorul Ichiro Kato a realizat pentru prima dată, în anul 1986, compensarea dinamică la mersul pe sol pentru robotul pășitor WL-12. Detalii sunt prezentate în Figura 2.16.b. [Vukobratović, 2006].

Robotul dezvoltat pe principiul (ZMP) de către cercetătorii de la Honda este

prezentat în Figura 2.16.c, fiind rezultatul cel mai de succes în locomoție bipedă până la acea dată [Hirose, 1997], [Hirai, 1998]. Pentru ca robotul mobil pășitor să atingă o stabilitate corespunzătoare, a fost dezvoltat un sistem de control și macro stabilizare original (Macro Stabilization Control) [Hirai, 1998], [Takenaka, 2006].

Rezultatele obținute în dezvoltarea roboților humanoizi sunt preluate pentru studii și aplicații în robotica de reabilitare.

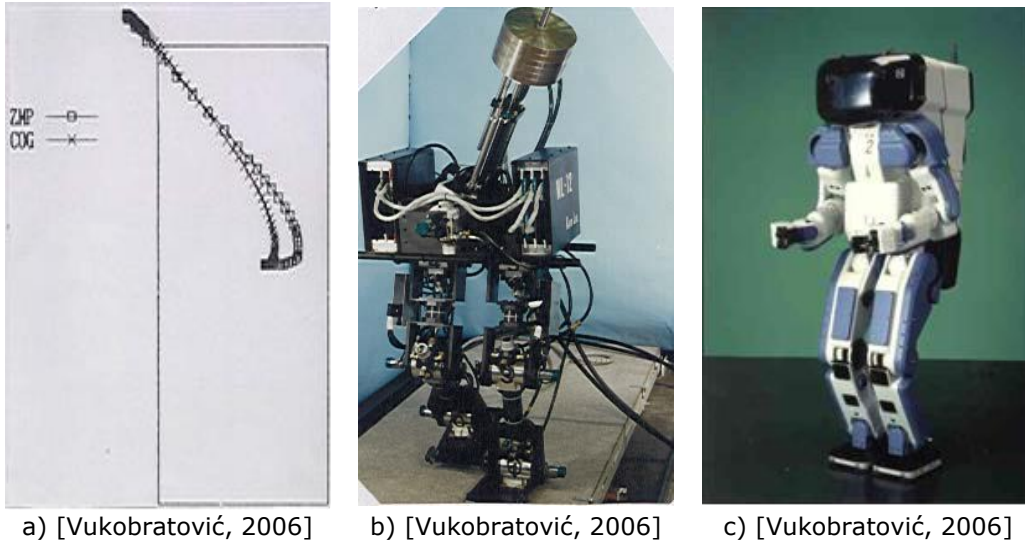


Figura 2.16 a) Traiectoria ZMP și COG; b) Robotul WL-12; c) Robotul Honda

În prezent se realizează cercetări avansate în ceea ce privește locomoția robotică bipedă. Aceasta este una dintre ramurile dificile ale studiului și implementării sistemelor de menținere a echilibrului robotului, în diverse situații de mișcare și acțiuni exterioare.

2.3.2. Stabilitatea clădirilor la oscilații perturbatoare

2.3.2.1. Introducere

Ingenieria civilă a adoptat modelul pendulului invers la studiul clădirilor înalte, afectate de forțe perturbatoare externe (vânt, cutremur). În acest mod, studiul pendulului invers a fost dezvoltat și în design-ul clădirilor conducând la creșterea siguranței clădirilor și la un confort sporit al persoanelor care își desfășoară activitatea în ele.

2.3.2.2. Generalități

Cutremure din India au scos în evidență pe parcursul timpului că o serie de clădiri și statui grele susținute de coloane au rămas în picioare deși structuri stabile din jur s-au prăbușit. În timpul cutremurului din California (21 iulie 1952), turnuri înalte din industria petrolieră (fixate elastic prin tiranți) au rezistat oscilațiilor. Cutremurul din Chile, ce a avut loc în anul 1960, a scos în evidență comportamentul diferit (și implicat consecințele cutremurului) al clădirilor monobloc, față de clădiri cu fundație elastică. Clădiri cu un aspect de instabilitate s-au comportat mai bine față de cele cu un aspect stabil și construcție rigidă

[Housner, 1963]. Un bloc rigid oscilează în jurul centrelor de rotație O și O' (Figura 2.17) [Housner, 1963].

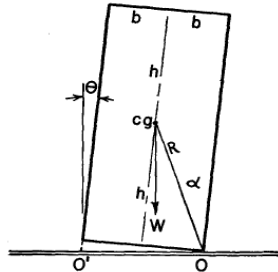


Figura 2.17 Bloc oscilant

Pornind de la oscilațiile blocului rigid, este analizat comportamentul sistemului în forme diverse de excitație externă [Housner, 1963]. Autorii analizează și modelul pentru un turn de apă (Figura 2.18). Este ușor sesizabilă echivalarea construcției cu un pendul invers (cg – centrul de greutate al rezervorului) [Housner, 1963].

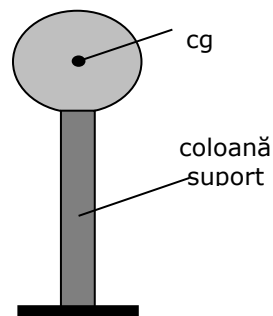


Figura 2.18 Rezervor de apă suspendat

O echivalare extrem de sugestivă a sistemului - pendul invers - este prezentată în Figura 2.19, printr-o clădire care oscilează [***, 2.28].

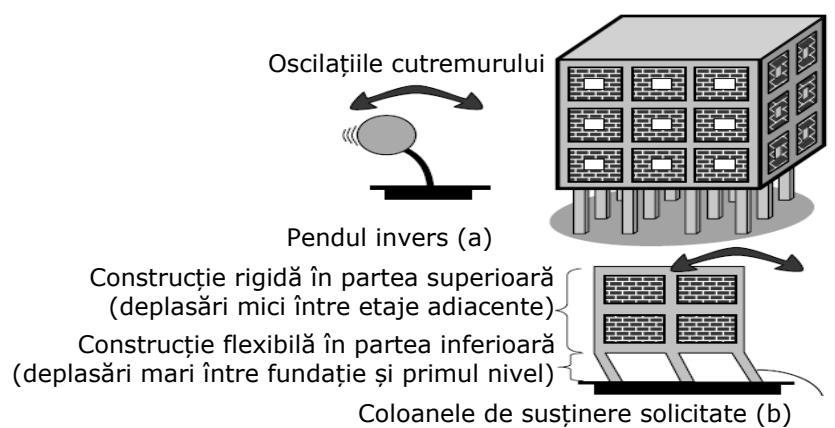


Figura 2.19 Echivalare clădiri – pendul invers [***, 2.28]

Cercetările din domeniul construcțiilor au condus la diverse soluții privind comportamentul sistemului. Cea mai vestită clădire este Taipei 101, situată în China, ce găzduiește centrul financiar Taipei [***, 2.11]. Această clădire are o înălțime de 508 m și este structurată pe 101 etaje. Proiectantul acestei clădiri, C.Y. Lee, a avut o idee ingenioasă, aceea de a-i oferi echilibrul dinamic prin a introduce în interiorul turnului, mai exact la vârf, o greutate (un pendul) de 728 de tone.

În Figura 2.20.a, este prezentată amplasarea pendulului pentru controlul oscilațiilor clădirilor la apariția unor oscilații de mișcare laterală. În Figura 2.20.b, este prezentată greutatea de contrabalansare, precum și principiul de funcționare al reducerii oscilațiilor, în Figura 2.20.c este prezentată forța gravitațională G , solicitările laterale și forța de contrabalansare [***, 2.12], [***, 2.13].

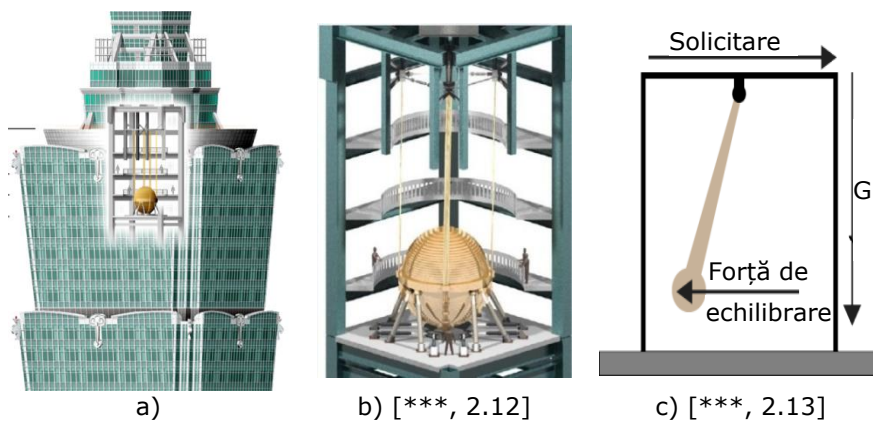


Figura 2.20 a) Taipei 101; b) Sistemul de amortizare; c) Principiu de amortizare

2.3.2.3. Modele matematice

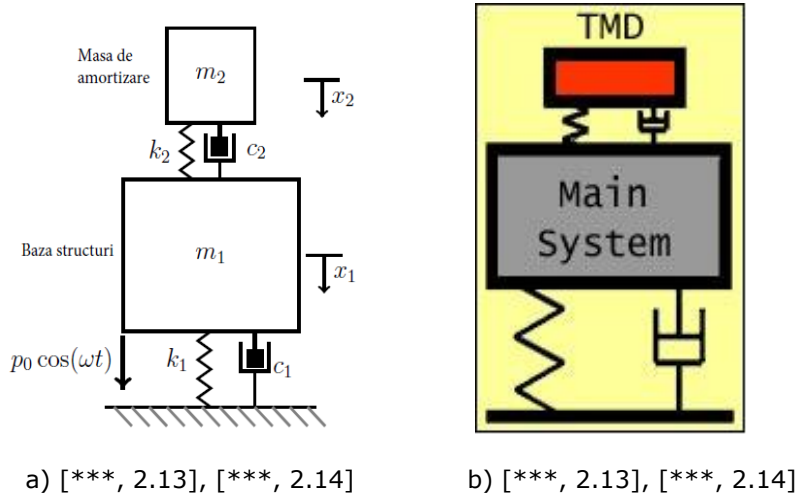
Pentru a asigura performanța funcțională a structurilor flexibile, au fost analizate și dezvoltate diverse variante de proiectare, variind de la sisteme structurale alternative, la utilizarea sistemelor de control pasive și active. În [Kareem, 1999] este prezentată o sinteză a metodelor de reducere a efectelor perturbatoare asupra clădirilor înalte. În Tabelul 2.2 este ilustrat modul de concretizare a soluțiilor prin sisteme integrate [Kareem, 1999].

Tabel 2.2 Soluții prin sisteme integrate

Metode pasive	Adiționarea de materiale cu proprietăți energetice disipative, crescând indicele de amortizare al clădirii	AO, ARO, AC, AF, AVE, AV, AU
	Adiționarea unei mase auxiliare sistemului pentru a crește nivelul de amortizare	AMr, ALr
Metode active	Generarea unei forțe de control utilizând efectele inerțiale pentru un răspuns minim	AMr, ALr
	Generarea unei forțe de control aerodinamice	AMa, AMh, SG
	Modificarea rigidității pentru evitarea rezonanței	RVA

OBS. AO – amortizor metalic; ARO – amortizor metalic de rotație; AF – amortizor prin fricțiune; AVE – amortizor vâsco-elastic; AD – amortizor vâscos; AU – amortizor cu ulei; AMa – amortizor cu masă activă; AMh – amortizor cu masă hibridă; SG – stabilizator giroscopic; AVS – rigiditate activă variabilă.

Schema principală a modelului abordat este prezentată în Figura 2.21.



a) [***, 2.13], [***, 2.14]

b) [***, 2.13], [***, 2.14]

Figura 2.21 a) Principiul reglării masei de amortizare, b) Schema sistemului de amortizare

Aspecte ale modelului matematic sunt prezentate detaliat, în Anexa 2.5.

2.3.3. Platformă de transport persoane. Platformă pe două roți

2.3.3.1. Introducere

Platforma de transport dotată cu două roți a fost propusă ca un posibil mijloc de transport a persoanelor, datorită eficienței sale în manevrare și gabarit redus. Acest sistem a fost sugerat ca fiind convenabil de utilizat atât acasă, cât și la locul de muncă. Modelul dezvoltat se încadrează în domeniul roboților mobili, iar platforma se poate analiza pe principiul pendulului invers.

2.3.3.2. Considerații teoretice

Platforma de transport constituie un subiect de interes pentru proiectanții și utilizatorii acesteia [***, 2.15], [***, 2.16], [***, 2.25]. Una dintre primele variante ale sistemului apare la finalul anului 1988 și este analizată pe principiul pendulului invers [***, 2.15], [***, 2.16], [***, 2.25].

Datorită unui gabarit redus și a construcției, platforma este utilizabilă pentru spații aglomerate și înguste. Modelele mai avansate de platforme mobile se pot deplasa și pe teren accidentat, iarbă sau nisip, fără a întâmpina probleme [***, 2.16].

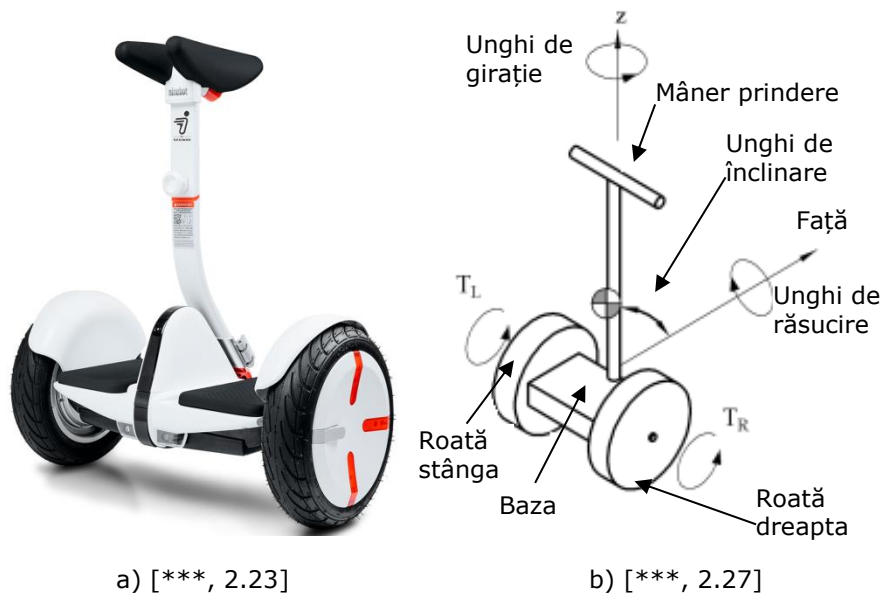
Sistemul - platformă mobilă - include un subsistem de acționare electrică alimentat de la un acumulator electric. În momentul în care platforma se află în mișcare de coborâre pe un plan înclinat sau înaintează din inerție, acumulatorul trece

în etapa de încărcare. Sistemul de acționare electrică funcționează în regim de recuperare a energiei, ca generator electric.

Un subsistem senzorial complex asigură preluarea informațiilor din mediu, prelucrarea acestora și furnizarea rezultatelor subsistemului de control [Dolga, 1999]. Controlul acestui sistem instabil devine o provocare. Dinamica complexă și neliniaritățile condițiilor mediului de rulare sunt analizate în [Takei, 2009], [Kao, 2013]. Senzori din clasa giroscopelor oferă informații privind unghiul de înclinare a platformei (cu persoana de pe suport) în plan vertical (giroscop) [***, 2.15]. În acest mod prin reacția sistemului de control se asigură momentul de echilibrare [Takei, 2009], [Sandru, 2016].

Platforma de transport (platforma Segway) este prezentată în Figura 2.22.a, iar echivalarea cu sistemul pendul invers este reprezentată în Figura 2.22.b [Takei, 2009].

Acest dispozitiv, de menținere automată a echilibrului la deplasare, a fost inventat de inginerul american Dean Kamen [***, 2.15].



a) [***, 2.23]

b) [***, 2.27]

Figura 2.22 a) Platforma mobilă segway; b) Sistemul pendul invers aplicat platformei

Un aspect constructiv general și subsistemele componente sunt prezentate în Figura 2.23.a. Robotul mobil dispune de subsistemul de locomoție compus din două roți acționate independent. Șasiului robotic îi este atașat un ghidon lung de sprijin pentru persoana transportată și pentru controlul mișcării. Ghidonul are posibilitatea unei mișcări spațiale și este conectat la subsistemul senzorial. Pentru a conduce și a asigura mișcarea de avans a platformei este necesară înclinarea ghidonului în față, pentru a trece platforma în regim de frânare, persoana – conducător trage de ghidon pe direcție inversă de deplasare [***, 2.27].

Modelul general al sistemului robot este prezentat în Figura 2.23.a, un ghidon este fixat pe șasiu, două motoare electrice asigură antrenarea roților motrice. În Figura 2.23.b este prezentat sistemul de coordonate general atașat mediului și parametrii geometrici care descriu mișcările în raport cu acesta: θ - unghiul de rotație în jurul axei y ; β - unghiul de rotație în jurul axei z ; γ - unghiul

de rotație în jurul axei x.

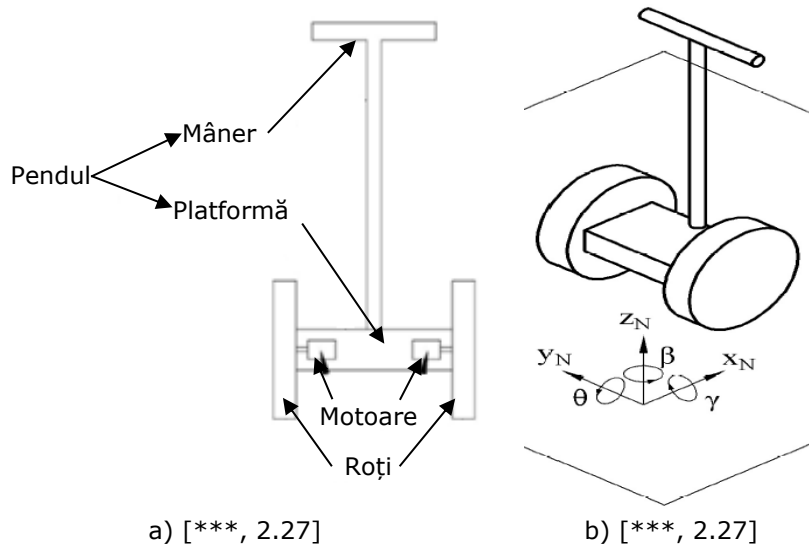


Figura 2.23 a) Prezentarea platformei; b) Prezentarea sistemului de coordonate

În Figura 2.24.a și 2.24.b sunt evidențiate sistemele de coordonate care permit descrierea orientării sistemului robot în mediul de lucru. Poziția sistemului robot este determinată prin rotațiile celor două roți motrice.

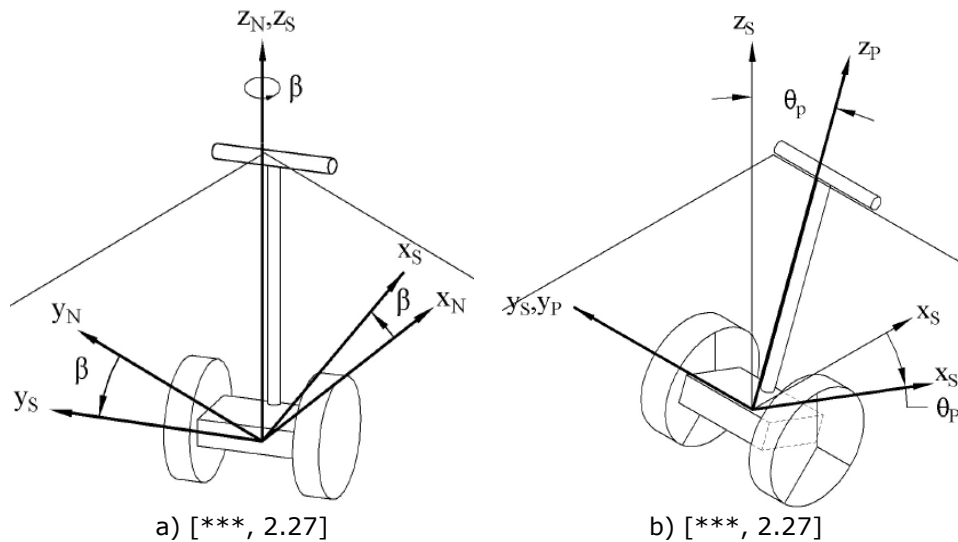


Figura 2.24 a) Unghiul de rotație al platformei; b) Unghiul de înclinare

Unghiurile de rotație a roților motrice, roata sângă cu unghiul θ_L și roata din dreapta cu unghiul θ_R , sunt prezentate în Figura 2.27.

Parametrii geometrici și inerțiali ai robotului mobil sunt prezentați în Figura 2.26.

Aspecte privind modelul matematic sunt prezentate în Anexa 2.6

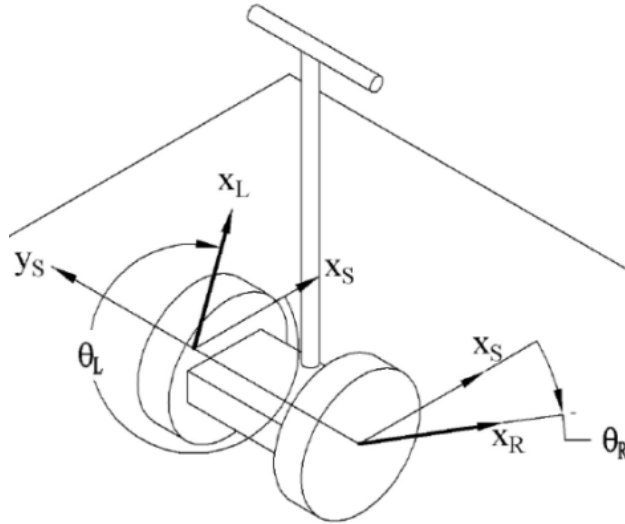


Figura 2.25 Unghiurile de rotație a roților motrice [***, 2.27]

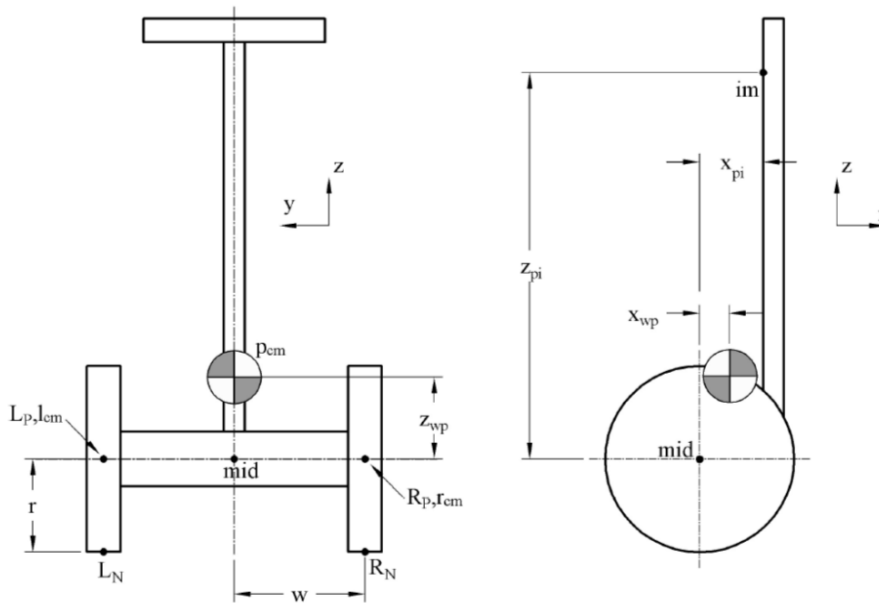


Figura 2.26 Parametrii geometrice și inerțiali ai sistemului [***, 2.27]

2.3.3.3. Concluzii

Sistemul prezentat în acest subcapitol reprezintă unul din cazurile de aplicare a principiului pendul invers.

Sistemul mobil este un produs ușor de utilizat. Utilizatorul are nevoie de noțiuni elementare de control al acestuia. Platforma atinge viteze medii până în 25km/h, viteză care este suficient de mare pentru deplasarea în orașe.

Mai mult decât atât, faptul că noile platforme pot fi utilizate pe mai multe tipuri de suprafețe (asfalt, iarbă, nisip) cu diferite grade de denivelări al acestor suprafețe de rulare, duce așadar la creșterea gradului de utilizare a platformelor.

2.3.4. Dispozitiv de transport persoane cu o singură roată

2.3.4.1. Introducere

Sistemul prezentat - Segaway Unicycle - are la bază invenția americanului Dean Kamen. Cercetători chinezi au realizat astfel de sisteme prin particularizarea variantei anterioare, studii bibliografice au fost studiate în [Daud, 2013], [Hsu, 2012], [Isomi, 2009], [Xu, 2009].

Modelul dezvoltat folosește principiul pendulului invers și principiul sistemului giroscop. Soluțiile constructive, metodele de modelare și simulare constituie câmp deschis de studiu.

2.3.4.2. Considerații teoretice

Modelul dezvoltat presupune un șasiu cu o platformă suport pentru o persoană. Corpul uman va materializa pendulul invers.

În Figura 2.27.a. este prezentată o variantă a sistemului. Acest model nu mai este prevăzut cu ghidon (așa cum este prezentat în cazul platformei mobile cu două roți), iar sprijinul utilizatorului se realizează prin cele două pedale suport amplasate deoparte și de alta a roții motrice (Figura 2.27.b) [***, 2.26]. Punerea în funcțiune a platformei are la bază mișcările corpului persoanei, înclinarea în față pentru mișcarea de înaintare și înclinarea în sens invers a corpului uman, pentru mișcarea de frânare.

Pentru a mări viteza de înaintare, utilizatorul trebuie să micșoreze unghiul de înclinare dintre poziția verticală a corpului cu planul suprafeței de deplasare, iar pentru a reduce viteza utilizatorul trebuie să revină la poziția inițială. [***, 2.17], [***, 2.18]. Pentru a controla sistemul de stabilitate, utilizatorul trebuie să-și folosească propriul centru de greutate, prin înclinarea corpului față de poziția axială a roții.



a)



b) [***, 2.26]

Figura 2.27 a) Operator pe dispozitivul monociclu; b) Dispozitivul monociclu

Sistemul de stabilitate, utilizează algoritmi ai principiului „pendul invers” și oferă sistemului un grad mare de control și stabilitate. Semnalele de la unitățile senzoriale sunt achiziționate printr-un sistem dedicat și sunt analizate prin intermediul unui CPU integrat. În acest mod, se analizează parametrii de stare a

poziției de echilibru în timp real și se asigură reacția necesară pentru echilibru. Pe bazele acestor principii, monociclu electric este auto echilibrat de către un motor electric care angrenează roata motrică.

Cele două sisteme de stabilizare a echilibrului (pendul invers și giroscop), coordonează mișcarea dispozitivului mobil uniciclu, pentru a menține stabilitatea balansului.

Schema principală pentru modelarea și simularea sistemului analizat este prezentată în Figura 2.28 [Hsu, 2012].

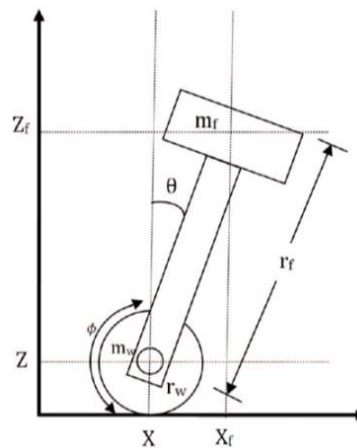


Figura 2.28 Modelul uniciclu [Hsu, 2012]

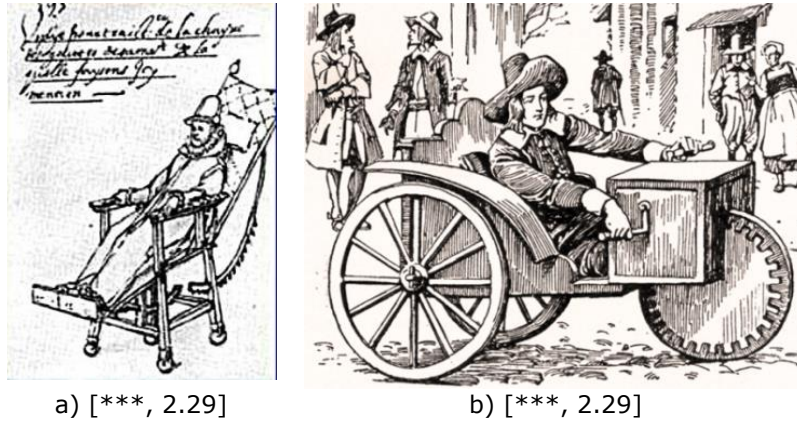
Semnificația notațiilor este următoarea: θ - unghiul de înclinare al dispozitivului [rad]; ϕ - unghiul de rotație al roții [rad]; m_f - masa dispozitivului [Kg]; m_w - masa roții [Kg]; r_w - raza roții [m]; X_f - distanța de la centru de masă al dispozitivului până la axa z [m]; Z_f - distanța de la centru de masă al dispozitivului până la axa x [m]; X - distanța dintre axa roții și axa Z [m]; Z - distanța dintre axa roții și axa X [m].

Conceptul acestui dispozitiv, monociclu, care utilizează principiul pendulului invers de menținere a stabilității, este o altă variantă de studiu privind dinamica unui sistem pendul invers.

2.3.5. Scaunul mobil pentru persoane cu dizabilități

2.3.5.1. Introducere

Scaunul mobil cu roți, a fost conceput ca un suport pentru persoanele cu dizabilități motorii pentru a facilita deplasarea acestora și, astfel, integrarea mai ușoară în societate. Un astfel de sistem este evidențiat pentru prima dată în China, în secolul 6 [***, 2.19]. Datări ulterioare apar în Spania anilor 1595, menționate de regele Phillip II (Figura 2.29.a) [***, 2.29]. În secolul al XVIII-lea au început să fie dezvoltate concepte noi de scaune mobile pentru persoanele cu dizabilități. Scaunul mobil, inventat de Stephen Farfler în anul 1655, păstrat până în zilele noastre, este prezentat în Figura 2.29.b [***, 2.29]. Mai mult decât atât, în USA scaunele mobile pentru persoanele cu dizabilități au fost utilizate și în timpul războiului civil pentru deplasări [***, 2.29].



a) [***, 2.29]

b) [***, 2.29]

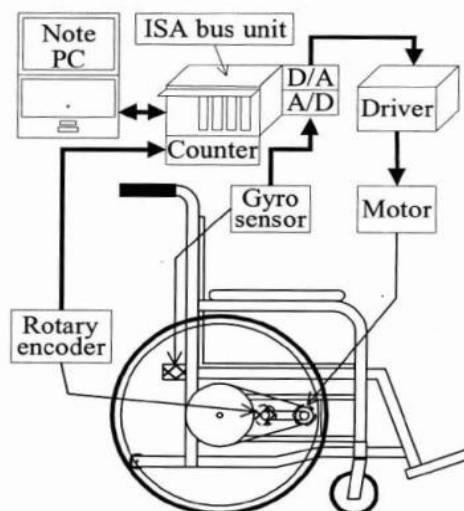
Figura 2.29 a) Scaun mobil din anul 1595; b) Scaun mobil din anul 1655

În timp, modelele dezvoltate ale scaunelor mobile au început să acopere activități mult mai complexe pentru facilitarea deplasărilor la întâmpinarea unor obstacole sau la urcarea și coborârea scârilor. În aceste cazuri modelarea este soluționată pe baza principiului pendulului invers.

2.3.5.2. Considerații teoretice

În Figura 2.30 este prezentat un scaun mobil cu sisteme moderne hardware și software [***, 2.20]. Acesta este echipat cu sistem senzorial, sistem de control și sistem de acționare al roților motrice.

Matsumoto [Matsumoto, 1990] prezintă controlul pendulului invers utilizând senzori interni, integrați în structura unui robot de dimensiuni mici. Pornind de la aceste rezultate, a fost dezvoltată o schemă de control al problemelor de echilibru folosind senzorii interni [Takahashi, 2005], [Khooban, 2012].

**Figura 2.30** Control hardware și software al echilibrului scaunului mobil [***, 2.20]

Abordări asemănătoare se regăsesc în [Khooban, 2012], [Takahashi, 2005] [***, 2.19], [***, 2.20].

Dinamica scaunului mobil este asemănătoare cu cea a unui pendul invers. Pentru acest model se ia în vedere analiza forțelor exercitate pe ambele roți stânga și dreapta. În Figura 2.31 este prezentată schema principală a modelului și forțele care sunt aplicate pentru modelul dinamic al scaunului mobil [***, 2.20]. Notațiile au următoarele semnificații: M_b este centrul de masă al modelului; ϕ este unghiul de înclinare al pendulului; θ este unghiul de rotire a roții; m_w reprezintă masa roții; r reprezintă raza roții.

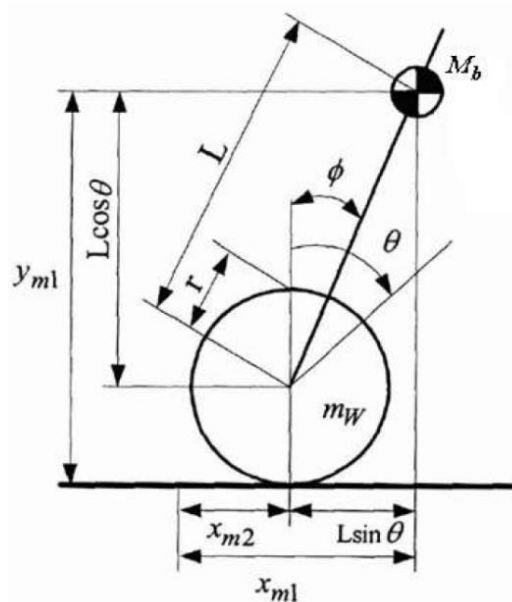


Figura 2.31 Modelul scaunului mobil [***, 2.20]

Modelul dinamic, prin utilizarea principiului pendulului invers, dezvoltat pentru un scaun mobil, este prezentat în Anexa 2.7.

Scaunele devin mai stabile la urcarea și coborârea unor suprafețe neregulate, oferind utilizatorului o siguranță mult mai mare la deplasare.

Stabilitatea și reacția de echilibru al scaunului mobil, depinde de distanța punctului centrului de masă față de axa roții. Cu cât sistemul este mai robust, cu atâta modelul matematic și sistemul de stabilitate sunt mai eficiente în menținerea poziției de echilibru [***, 2.20].

2.3.6. Robot mobil aerian – Drone

2.3.6.1. Introducere

Robotul mobil aerian constituie o categorie în plină dezvoltare și cu utilizări multiple. Aceste aparate de zbor mai poartă denumirea de drone și pot fi echipate cu mai multe motoare utilizate pentru deplasare.

O istorie a acestei clase de sisteme este prezentată în studiul bibliografic, iar variantele constructive și funcționale sunt diverse. Modelele cel mai des utilizate

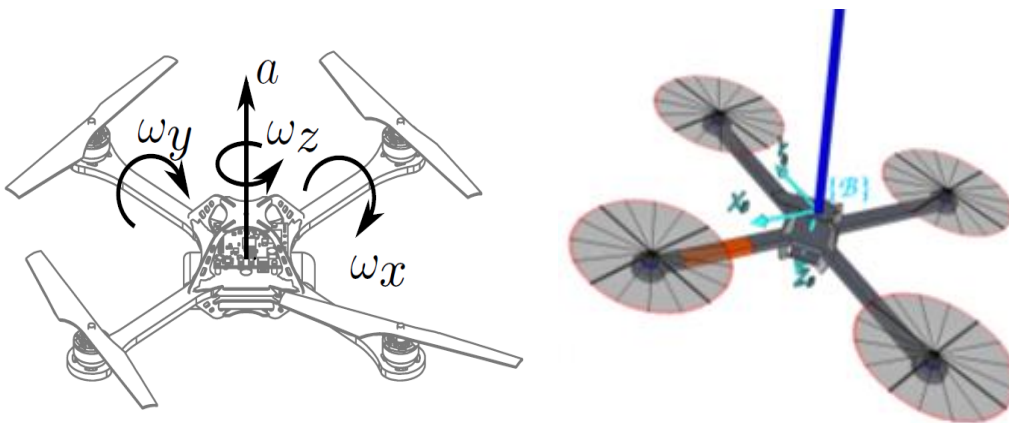
sunt cele cu patru motoare [***, 2.21].

Cercetările științifice au mers mai departe. Au fost dezvoltate echipamente de zbor, care folosesc principiul pendulului invers, pentru a readuce dispozitivul în poziția de echilibru, în momentele de staționare sau în momentul de deplasare.

2.3.6.2. Generalități

Un model de dronă este prezentat în Figura 2.32.a. Acesta este echipat cu patru motoare pentru mișcarea aeriană. Acest sistem are șase grade de libertate și se poate mișca liber pe toate cele trei axe spațiale. Prin modificarea valorilor de turație, a celor patru motoare, drona poate să execute deplasări pe oricare dintre axe, având o dinamică complexă [Ritz, 2012], [Mellinger, 2012].

Un model experimental al acestor aparate de zbor, are un corp sprijinit pe partea superioară a dronei (Figura 2.32.b) care echivalează cu un sistem - pendul invers - aflat în echilibru. Pendulul trebuie să fie controlat prin balansarea aparatului de zbor pentru a menține starea de echilibru [Michael, 2010], [Muller, 2011].



a) [Hehn, 2013]

b) [Figueroa, 2014]

Figura 2.32 a) Sistemul de coordonate mobil; b) Pendul aflat în echilibru

Stabilitatea și controlul acestui pendul zburător, solicită rezolvarea unor probleme complexe de manipulare al robotului mobil și menținerea echilibrului în zbor [Hehn, 2011], [Hehn, 2012]. Problema neliniară a fost rezolvată prin liniarizarea sistemului în zona poziției de echilibru și a stabilității.

Aspecte ce trebuie dezvoltate și îmbunătățite în controlul echilibrului sistemului pentru diverse stări de acțiune sunt menționate în [Hehn, 2011], [Figueroa, 2014].

Software-ul destinat robotului aerian constituie un alt domeniu de interes. Privind această arie, au fost abordate atât problemele clasice ale echilibrului [Bus, 2010], [Sutton, 1998] cât și soluții optimale pentru echilibru [Lupashin, 2010].

Utilizarea unor medii de lucru avansate, specifice învățării automate, pentru asigurarea echilibrului, a fost studiată în diverse lucrări [Faust, 2013], [Palunko, 2013], [Faust, 2013]. În acest mod s-a reușit generarea unor traiectorii pentru evitarea coliziunilor, cu oscilații minime reziduale [Faust, 2013].

Drona este modelată, ca un corp rigid, cu șase grade de libertate, în sistemul inerțial de coordonate O_{xyz} (Figura 2.33) [Hehn, 2013].

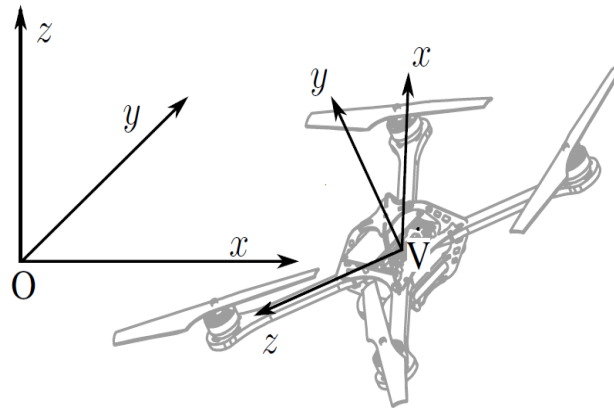


Figura 2.33 Sistemul de coordonare general și sistemul atașat dronei [Hehn, 2013]

În Anexa 2.8 este prezentat modelul matematic al unei drone. Alte informații se regăsesc și în literatura [Faust, 2013], [Hehn, 2013], [Figueroa, 2014].

Cercetările și rezultatele acestora au condus la realizarea de controlere liniare, utilizate pentru stabilizarea pendulului invers (aplicații dinamice) sau a unei drone [Mellinger, 2012], [Hehn, 2013].

Rezultate remarcabile ale cercetărilor pot fi menționate și în dezvoltarea unor noi software-uri de învățare și reglare optimă a parametrilor pentru coordonarea mișcărilor de echilibru [Mellinger, 2012], [Ritz, 2012].

2.3.7. Echilibrul rachetelor balistice

2.3.7.1. Introducere

Racheta balistică este un dispozitiv mobil de zbor cu șase grade de libertate, mișcându-se în planul celor trei axe, x , y , z , Figura 2.34. Cercetările din domeniul dezvoltării rachetelor cu rază lungă de acțiune au condus la soluții extrem de sofisticate. Pentru a putea controla traiectoria rachetei, s-a utilizat principiul de control al stabilității unui pendul invers.

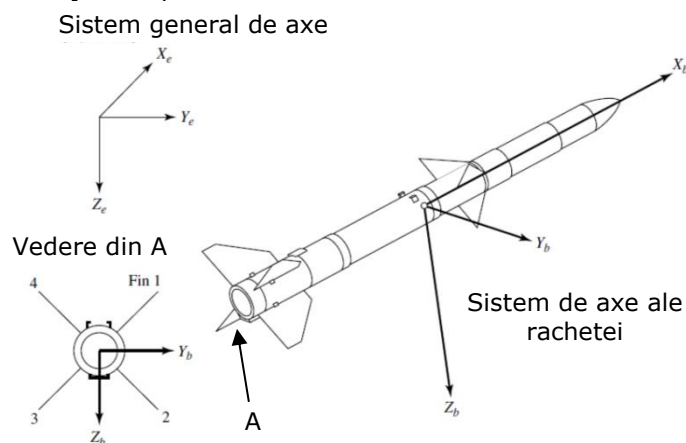


Figura 2.34 Sistemul de coordonate atașat rachetei și sistemul de coordonate general

Sistemul de control al rachetei trebuie să forțeze dinamica traiectoriei de zbor, pentru a urmări o traiectorie stabilă.

Dinamica rachetei este coordonată de ecuațiile fundamentale ale mișcării, ținând cont de caracteristicile specifice determinate de răspunsul aerodinamic al rachetei, propulsiei și de masa acesteia [Jackson, 2010].

Aspecte privind un model matematic al dinamicii rachetei sunt prezentate în Anexa 2.9.

2.3.7.2. Generalități

Pentru a controla racheta balistică, trebuie luate în calcul, greutatea încărcăturii, condițiile atmosferice, perturbații provenite de la motorul propulsor, dacă ținta se află în mișcare sau staționare etc.

În timpul zborului unei rachete, efectele perturbatoare (mici rafale de vânt, instabilități de acționare) pot provoca rachetei schimbări ale direcției sau schimbări de altitudine a acesteia în timpul zborului. Ca orice obiect în zbor, modelul rachetei se rotește în jurul propriului său centru de gravitație **cg** (Figura 2.35).

Rotația impune ca axa rachetei să fie înclinată la un anumit unghi în raport cu traiectoria de zbor. Pentru fiecare caz, în momentul în care racheta este înclinată în raport cu traiectoria de zbor, se poate preciza că este generată o forță de ridicare în timp ce rezistența aerodinamică aproximativă rămâne constantă pentru înclinații mici. Centrul de presiune **cp** al rachetei constituie un punct virtual de susținere și de referință al echilibrului. Prin poziția superioară a centrului de masă față de centrul de presiune, racheta în zbor se echivalează cu un pendul invers [***, 2.22].

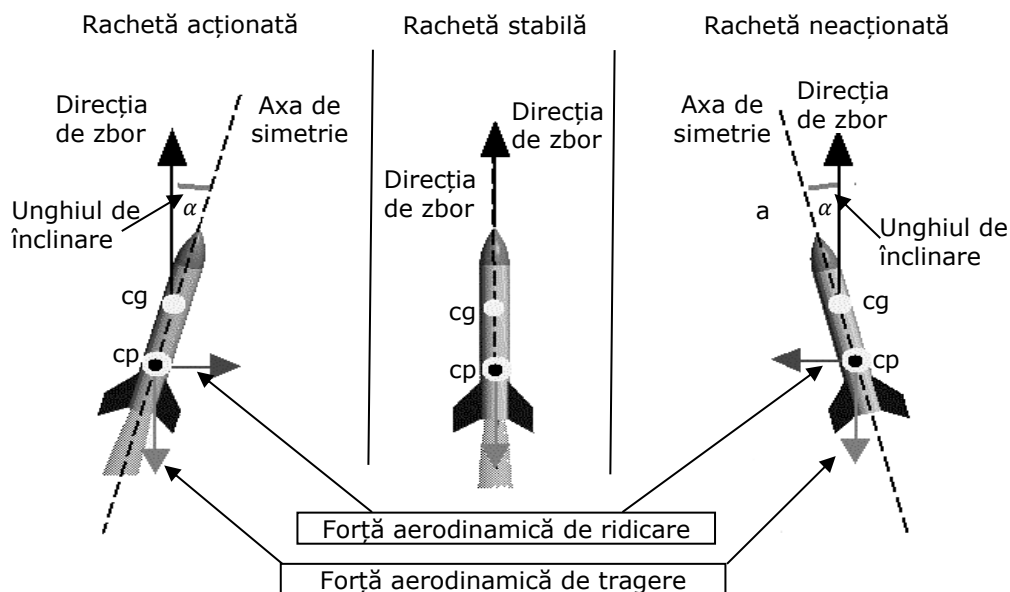


Figura 2.35 Stabilitatea rachetei balistice [***, 2.23]

Aplicațiile vaste ale rachetelor conduc spre soluții diverse privind dimensiunile, greutatea, capacitatea de transport, parametrii funcționali. Dezvoltarea unor astfel de produse trebuie să aibă în vedere: factori fizici de mediu, flexibilitate, soluții modulare [Chelaru, 2009].

2.4. Concluzii finale

Sinteza bibliografică prezentată scoate în evidență rezultatele analizei unui volum mare de literatură din domeniul tezei. Ca urmare a acestei sinteze, se consideră următoarele:

- Subiectul pendul invers este de actualitate prin prisma utilității în modelarea unor aplicații din domeniul roboticii;
- Problemele de control ocupă un procent ridicat din cercetările sistemelor mecatronice și din subiectele alocate în spațiul educativ și instruire;
- Dezvoltarea unor sisteme mecatronice de calitate dispune de principiile filozofiei mecatronice de proiectare și astfel se pot analiza demonstratoare utile cercetărilor și educației;
- Necesitatea unei analize bibliografice referitoare la principii și stadiul actual al demonstratoarelor mecatronice.

3. DEMONSTRATOARE MECATRONICE ȘI PRINCIPII DE FUNCȚIONARE

3.1. Introducere

Demonstratorul mecatronic este un sistem funcțional real, creat pentru a putea pune în evidență aspectele teoretice și practice ale cercetării din domeniul tehnic.

Demonstratorul mecatronic al unui produs este construit pentru a putea testa toți parametrii funcționali ai produsului, apăruți în timpul funcționării.

Aceste sisteme dezvoltate sunt un rezultat al procesului de simulare interdisciplinară prin care este implementată partea software, care controlează o combinație de componente mecanice și electrice de precizie [Isermann, 2005].

Obiectivul operațional al capitolului constă în realizarea unei sinteze a materialului bibliografic care să evidențieze aplicații, structuri principale, soluții constructive și direcții de lucru viitoare.

3.2. Generalități

Demonstratorul, prin definiție, se referă la produsul, dispozitivul, aparatul utilizat efectiv în demonstrațiile fizice de către: vânzători, cercetători, cadre didactice etc. [***, 3.11].

O altă definiție descrie demonstratorul ca fiind „un prototip”, exemplu aproximativ sau o versiune incompletă a unui produs imaginabil sau a unui viitor sistem, puse împreună, ca dovadă a conceptului cu scopul principal de a expune posibile aplicații, fezabilitatea, performanța și metoda unei idei pentru o nouă tehnologie [***, 3.12].

Există o sinergie pentru a putea integra componentele software și hardware, în dezvoltarea unui produs sau a unui proces. Sinergia poate fi creată doar dacă legăturile între aceste ramuri sunt corect combinate. Produsele mecatronice prezintă caracteristici de performanță care, anterior, au fost dificil de realizat fără această combinație sinergică [Isermann, 2005].

Demonstratoarele pot fi utilizate în demonstrații educaționale, producție sau cercetare, în scopul de a convinge o asistență de viabilitatea abordărilor alese.

În literatura de specialitate se fac numeroase referiri la diverse demonstratoare în domeniul științific, după cum vor fi prezentate în materialele ce urmează.

3.3. Demonstratoare mecatronice în literatura de specialitate

3.3.1. Vehicul sferic

Tematica unui produs – vehicul sferic – cu posibilități de deplasare multiple și pe teren accidentat, se regăsește în literatura de specialitate prin diverse lucrări.

Relley brevetează o soluție de vehicul sferic în anul 1941, iar brevetul este citat în alte 33 de lucrări. Se regăsesc astfel diverse denumiri pentru noile produse proiectate: de la vehicul sferic la vehicul amfibiu (1975), robot pășitor sferic (2007, 2010) sau platformă mobilă sferică (2011) [***, 3.5].

Gregory Schroll analizează în 2008 problema vehiculului sferic în [***, 3.6]. În ceea ce privește conceptul de vehicul sferic, autorul face referiri la cele mai cunoscute variante care se bazează pe modificarea poziției centrului de greutate al sistemului (Figura 3.1) [***, 3.6].

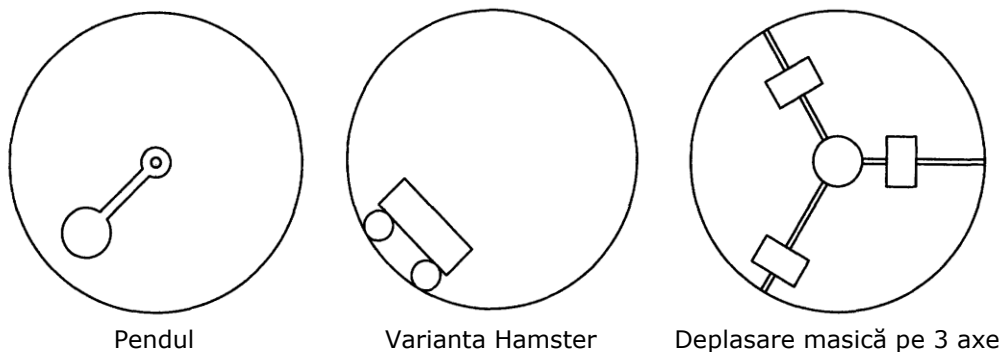


Figura 3.1 Concepte pentru vehicul sferic [***, 3.6]

Aspecte referitoare la proiectarea unui vehicul sferic se regăsesc în [***, 3.7]. Articolul nominalizează problemele care trebuie analizate prin proiect: roata sferică, sistemul de acționare, sistemul de control, sistemul de management al puterii (stocarea energiei și distribuția spre componente), senzori, batiu (Figura 3.2).

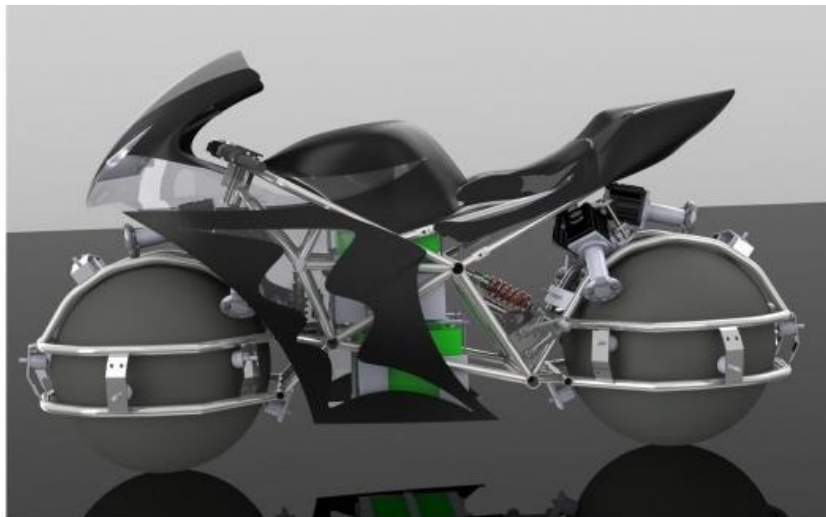


Figura 3.2 Vehicul sferic [***, 3.7]

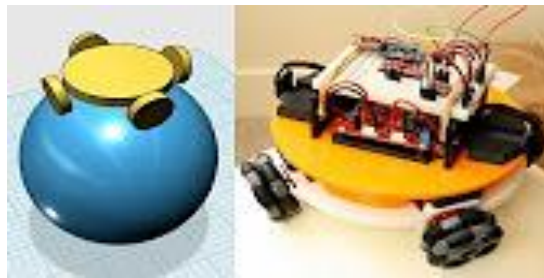
Mai mult decât atât, în [***, 3.7] se face referire la structuri mecatronice din clasa „ball balancing robot”, care abordează sinteza vehiculului sferic pe

principiul pendulului invers. În [***, 3.10] se nominalizează câteva variante de referință dintre multiplele variante existente:

- Ballbot, prima realizare de succes a prof. R. Hollis la Carnegie Mellon University (USA, 2005);
- BallIP, dezvoltat de prof. M. Kumagai la Tohoku Gakuin University (Japan, 2008) [Kumagai, 2010];
- Rezero, dezvoltat la ETZ Zurich (Elveția, 2010);
- Ballbot cu 2 grade de libertate (CMU-USA, 2011).



a) [***, 3.8]

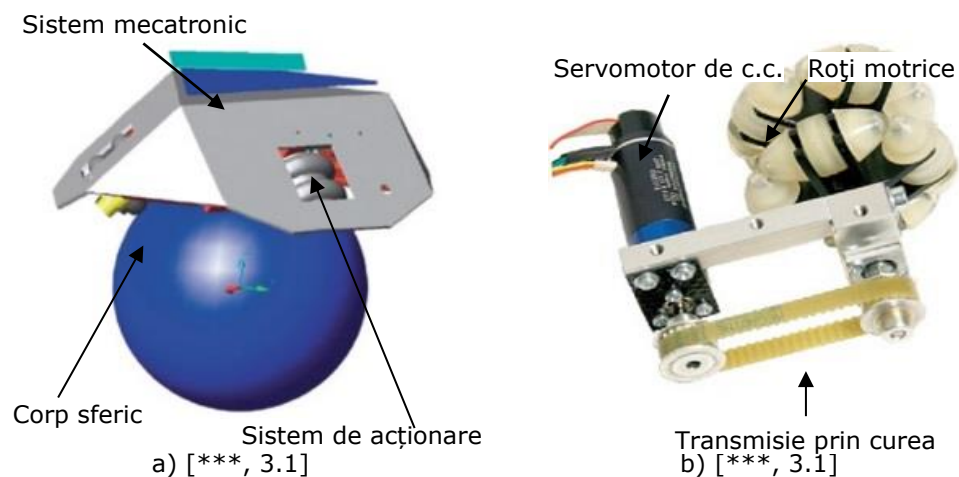


b) [***, 3.9]

Figura 3.3 Variante de sisteme cu suport sferic pentru locomoție

Un vehicul sferic reprezintă un caz al unui demonstrator mecatronic nominalizat în literatura de specialitate [***, 3.1]. Demonstratorul a fost realizat în zona educației printr-un suport financiar al firmei Gigatronik Stuttgart GmbH, cu scop demonstrativ la târguri sau zile de recrutare [***, 3.1].

Vehiculul sferic și o persoană bipedă sunt prezentate ca două sisteme pentru care poziția verticală este importantă în menținerea echilibrului, dar sunt menționate și alte aspecte de instabilitate în studiul bibliografic [***, 3.1]. Mențiunea autorilor face o legătură directă cu problema pendulului invers [***, 3.1]. Poziția demonstratorului are nevoie de corecții active în mod continuu, în Figura 3.1 sunt ilustrate aspecte constructive ale acestui demonstrator.



a) [***, 3.1]

b) [***, 3.1]

Figura 3.4 a) Vehicul sferic; b) Modul de acționare

Sistemul mecatronic este susținut de un corp sferic (Figura.3.5.a). Modificările poziției centrului de greutate al sistemului mecatronic generează deplasări ale corpului sferic pe o suprafață plană. În același timp, sunt necesare reajustări ale poziției sistemului mecatronic în raport cu corpul sferic și o poziție verticală impusă.

Sistemul poate fi echivalat cu un pendul tridimensional invers. Informația de menținere a stabilității provine de la: un senzor de accelerație, un senzor ce măsoară viteza de rotație și un senzor care determină orientarea modului în raport cu axa gravitațională.

Disponerea componentelor sistemului electronic și a acumulatorilor electrice este prezentată în Figura 3.5.a.

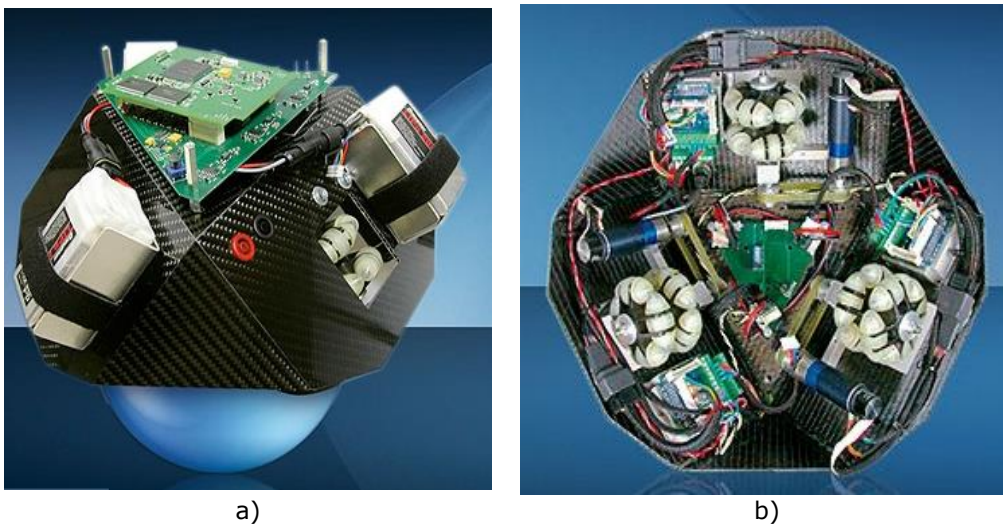


Figura 3.5 a) Disponerea componentelor sistemului; b) Modulele de acționare

Controlul efectiv al sistemului este modelat în programele de proiectare și simulare Matlab/Simulink. Codul generat este integrat în controler asigurându-se lucru în timp real.

Sistemul realizat dispune de două controlere PD care furnizează semnalele necesare pentru unitatea de stabilizare. Aceste semnale se constituie în final în semnale de comandă pentru cele trei sisteme de acționare integrate.

Sistemele de acționare sunt dispuse relativ la 120° și pot realiza o mișcare mecanică în raport cu suprafața sferică de sprijin (Figura 3.5.b). Pentru a putea asigura o dinamică de calitate sistemului, sunt necesare module de acționare compacte. Alegerea optimă pentru menținerea echilibrului s-a dovedit a fi oferită de servomotoare DC brushless cu encoder integrat. Diametrul servomotorului este de 20 mm și este compatibil cu diametrul reductorului de turație cu raportul 14:1. Modulul dispune și de o transmisie prin curea dințată care antrenează o roată omidirecțională (Figura 3.5.b).

Randamentul motorului este de 70%, iar al angrenajului de 80%. Autorul consideră că în acest mod este posibilă utilizarea de baterii reîncărcabile mici (Figura 3.5.b). Cele trei unități de antrenare sunt utilizate în mod continuu, în mod independent una față de cealaltă și convertesc astfel comenzile de control în propulsie mecanică.

3.3.2. Demonstrator pentru sisteme de control în timp real

Sistemul de control constituie o problemă actuală de interes pentru industrie, laboratoare de cercetare și educație. Din acest motiv, literatura de specialitate prezintă o serie de puncte de vedere referitoare la demonstratoare mecatronice.

Dirne (2005) se referă la un demonstrator ca fiind un suport, hardware și software, pe care se pot testa diferite sisteme de control, atât din punct de vedere teoretic, cât și practic. Acest demonstrator mecatronic a fost dezvoltat ca suport aplicativ la cursurile de inginerie tehnică ce cuprind arii din mecanică și electronică [Dirne, 2005].

Una din primele cerințe pentru demonstratorul proiectat a fost cea a unui „sistem de operare în timp real”. Un sistem în timp real, poate fi definit ca un sistem de informare, prin care funcționarea corectă nu depinde numai de ieșirea unui algoritm, ci și de promptitudinea răspunsului provenit în urma acțiunii [Groothuis, 2004]. Un sistem în timp real poate fi definit ca un "sistem capabil să garanteze cerințele de temporizare ale proceselor aflate sub controlul său" (Kopetz, 1997; Groothuis, 2004).

În Figura 3.6 este prezentată schema bloc a procesului de proiectare al demonstratorului [Dirne, 2005]. Autorul acceptă filozofia mecatronică de proiectare de integrare hardware și software pentru realizarea demonstratorului și menționează că acest lucru simplifică procesul de proiectare.

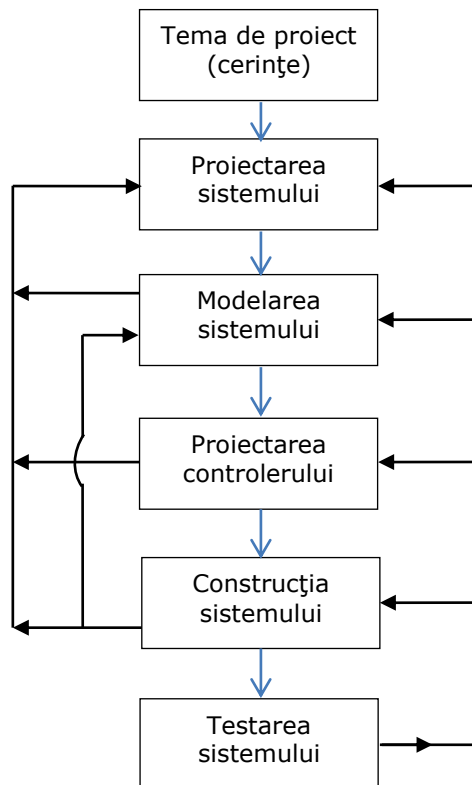


Figura 3.6 Procesul de proiectare a demonstratorului mecatronic [Dirne, 2005]

Demonstratorul realizat trebuie să asigure operarea sistemelor de control în conformitate cu dezvoltarea lor într-un mediu software de modelare. În primul rând, modelele vor fi generate și testate pe un PC prin simulare. La rezultate satisfăcătoare, aceste modele (de exemplu, un algoritm de control al PD), poate fi testat pe o configurație fizică reală [Dirne, 2005]. Conceptul este ilustrat sugestiv în Figura 3.7 pentru o aplicație robotizată care necesită un control în forță.

Referitor la cerințele de proiectare ale sistemului, autorul menționează următoarele:

- Sistemul să se încadreze în categoria celor mecatronice;
- Varianta folosită să aibă un grad de complexitate corespunzător;
- Demonstratorul dezvoltat, trebuie să cuprindă toate aspectele de comandă și control, într-un singur dispozitiv compact, folosind doar un cablu de alimentare și un cablu de internet, pentru a permite analiza de la distanță a datelor și trimiterea comenzilor necesare pentru execuție;

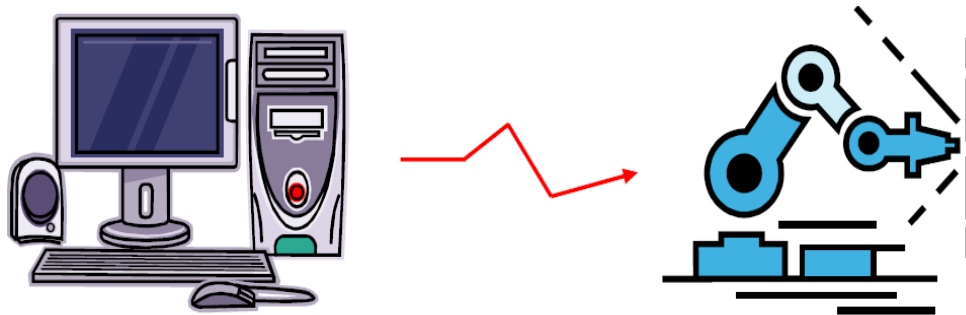


Figura 3.7 Conceptul admis pentru demonstrații [Dirne, 2005]

- Un sistem de ordinul 4, cu frecvență proprie scăzută, se consideră ideal pentru abordarea educațională a problemelor de modelare și control;
- Sistemul să fie portabil și ușor de configurat;
- Design robust, în condiții de siguranță și securitate intrinsecă;
- Nivel ridicat de observabilitate astfel încât să fie posibilă compararea valorilor măsurate cu cele estimate. Acest lucru presupune integrarea multiplă a senzorilor;
- Legătură clară cu dispozitiv practic bine cunoscut;
- Demonstrație clară pentru diverși algoritmi de control;
- Identificarea problemelor de studiu în domeniul controlului:
 - a) Identificarea parametrilor sistemelor;
 - b) Probleme de estimare;
 - c) Sisteme de control (de ex. PID);
 - d) Limitări funcționale (de ex. zgomot, discretizarea, saturație);
 - e) Procesare paralelă (de ex. control distribuit).

Autorul a analizat trei variante de lucru: un produs nou, un stand existent cu transformările ce se impuneau, respectiv un model de firmă educațional [Dirne, 2005].

Cea de-a doua variantă – demonstratorul Linux – este prezentat în Figura 3.8.a.

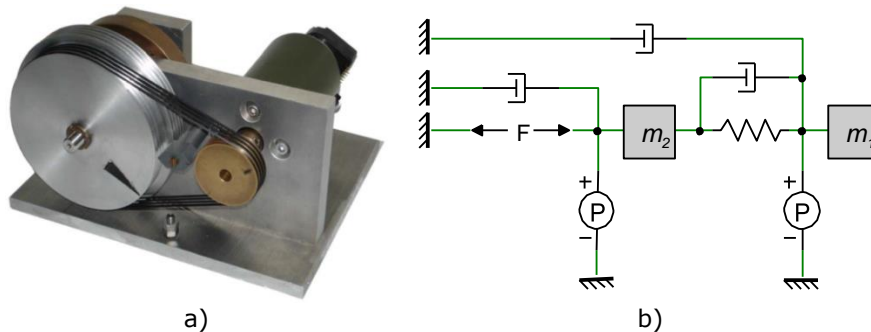


Figura 3.8 a) Demonstratorul Linix; b) Modelul demonstratorului [Dirne, 2005]

Demonstratorul Linix este un sistem de ordinul 4, echipat cu două roți inerțiale, o transmisie prin curea, un motor și doi senzori, unul pe motor și unul pe elementul condus/sarcină (Figura 3.8.a). Construcția modelului de simulare este prezentată în Figura 3.8.b și a fost dezvoltată în mediul 20Sim.

Sistemul Linix a fost testat pe larg cu algoritmi de control PID (Coelingh, 1997). Principalul dezavantaj al sistemului Linix este alunecarea ce are loc între cureaua de transmisie și flanșe, care introduce neliniarități în sistem, iar acest efect limitează lățimea de bandă a sistemului. Folosind un regulator LQG, performanța este crescută foarte puțin.

Vizualizând noul demonstrator dezvoltat de ordin 4, se poate vedea că acesta are o structură mult mai robustă, ușor de manevrat și, cel mai important, se poate vedea clar dificultatea sistemului de control din cauza lățimii de curea la dispozitivul din Figura 3.8.a.

Cea de-a treia variantă analizată a fost cea a unei structuri care modelează în timp real mișcările caracteristice ale unei imprimante. Se poate spune că demonstratorul se comportă ca un sistem de ordin 4, ceea ce îl face foarte utilizabil în scopurile propuse [Dirne, 2005]. Simulările s-au efectuat utilizând algoritmi de control PID și LQR (Linear-quadratic regulator) în combinație cu un model matematic al unei imprimante laser color în mediul 20Sim [Dirne, 2005].

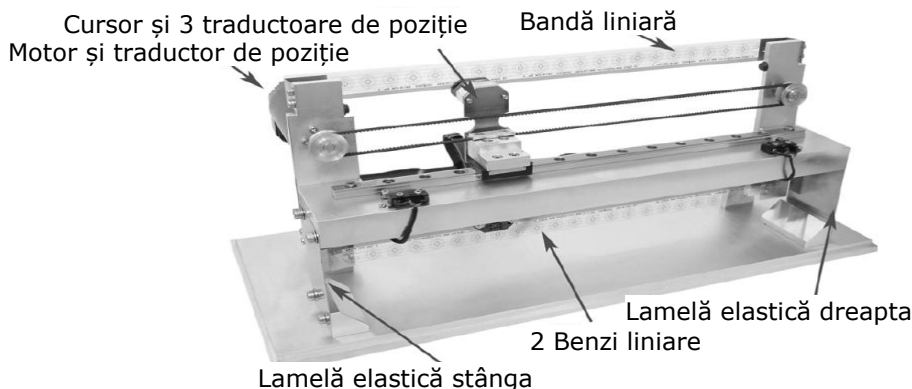


Figura 3.9 Componente imprimantă și sistem de glisare [Dirne, 2005]

În concordanță cu cerințele pentru sistemul mecatronic, au fost integrate patru elemente senzoriale pentru obținerea următoarelor informații:

- Poziția rotorului motorului de acționare – traductor de rotație;

- Poziția culisei în raport cu elementul fix – traductor linear;
- Poziția culisei în raport cu cadrul, senzorul superior – traductor linear;
- Poziția culisei în raport cu cadrul, senzorul inferior – traductor linear.

Pentru sistemul analizat, au fost construite două modele: modelul linear corespunzător unui sistem de ordinul 4 și, respectiv, modelul nelinear corespunzător unui sistem de ordinul 6.

În Figura 3.10 este prezentat modelul nelinear construit în mediul 20Sim. Abordarea cercetărilor, atât pe baza sistemului de ordinul 4, cât și a sistemului nelinear, oferă posibilitatea realizării de comparații privind influența diversilor parametri asupra dinamicii.

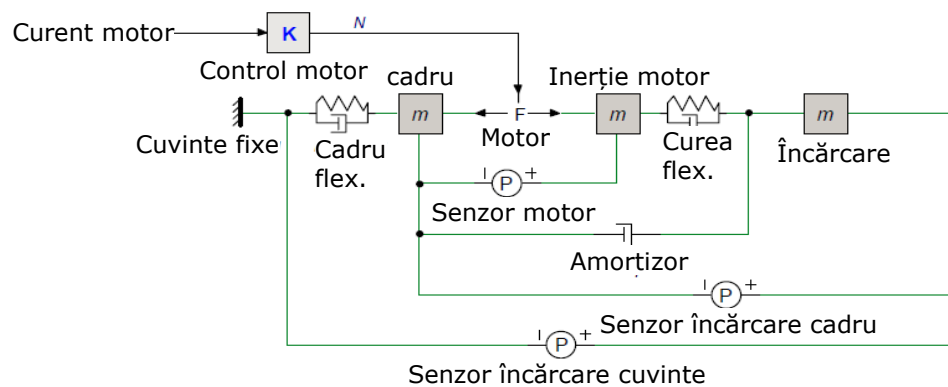


Figura 3.10 Modelul sistemului de ordinul 6 [Dirne, 2005]

Varianta finală realizată, pornind de la varianta 2, este dată de un demonstrator compact care reprezintă un dispozitiv fizic de testare în timp real a sistemului de control. După punerea în funcțiune a întregului sistem dezvoltat, s-a dovedit a fi un concept fiabil cu capabilități extinse. Parametrii care rulează pot fi modificați în timp real prin interfața admisă, iar variabilele sunt transmise la un PC pentru monitorizare sau procesare [Dirne, 2005].

Forma finală a demonstratorului mecatronic cu vizualizarea componentelor sistemului, este prezentată în Figura 3.11. [Dirne, 2005].

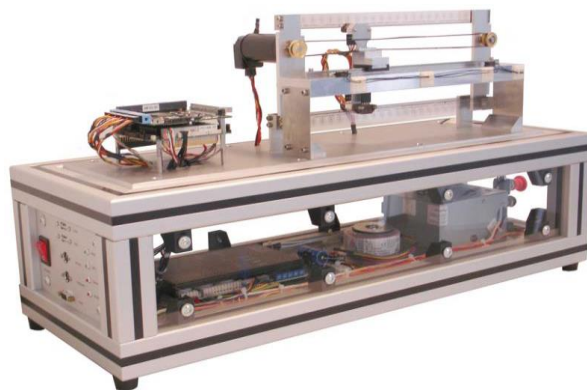


Figura 3.11 Demonstratorul mecatronic realizat [Dirne, 2005]

3.3.3. Demonstrator pentru liniarizarea unei caracteristici

În cadrul sistemelor mecatronice, un procent semnificativ îl reprezintă sistemele neliniare. Problema liniarizării acestor sisteme neliniare este de interes prin prisma dezvoltării unor metode cât mai eficiente și mai exacte.

Shaban [Shaban, 2014] realizează un demonstrator mecatronic ca suport pentru metoda de liniarizare propusă. Astfel, este demonstrată metoda de liniarizare exactă în urma unui semnal de feedback utilizând: parametrul dependent de stare SDP (State Dependent Parameter) și controlul proporțional PIP (Proportional-Integral-Plus – o extensie a metodei PI clasice) [Shaban, 2014], [Nada, 2014].

Demonstratorul este compus din sursa de putere (1), placa de configurare cu procesor pentru controlul în timp real (NI) sbRIO-9631 (2), conexiune Ethernet (3), PWM (4), motor de c.c. (5), transmisie prin curea (6), traductor incremental (7) (Figura 3.12) [Shaban, 2014].

Modulul mecatronic (NI) sbRIO-9631 dispune de un controler în timp real cu procesor pe 266 MHz, o placă reconfigurabilă FPGA și I/O într-o singură placă [Shaban, 2014].

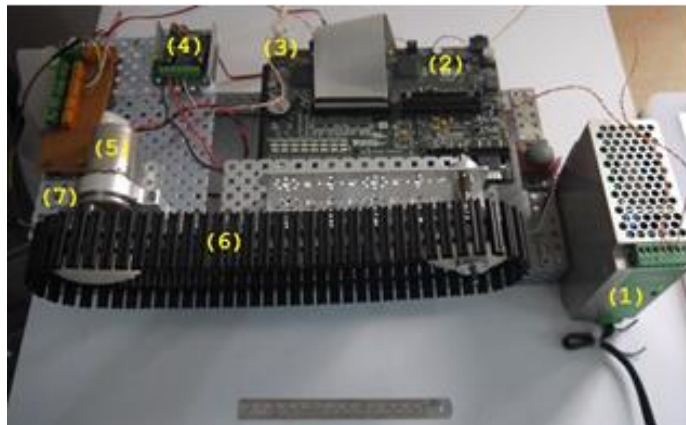


Figura 3.12 Sistemul mecatronic și subsistemele sale

Demonstratorul realizat este caracterizat de o dinamică rapidă ceea ce necesită o frecvență ridicată de eșantionare. Studiile experimentale inițiale au sugerat că o frecvență de eșantionare de 50 Hz este suficientă pentru a descrie dinamica sistemului și a controlului.

Pentru un sistem discret avem următoarea ecuație:

$$y_k = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} u_k = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u_k \quad (3.1)$$

Modelului îi este asociat sistemul de ecuații x_k și y_k corespunzător metodei NMSS (non-minimal state space). Legea de control asociată cu Modelul NMSS ia forma:

$$u_k = -kx_k \quad (3.2)$$

unde k este vectorul de control [Shaban, 2004].

Schema bloc principală a controlerului (2) prezentată în Figura 3.13. este o extensie a metodei clasice PI prin integrarea compensatorilor de ordin superior $1/G(z^{-1})$ și $F(z^{-1})$ [Shaban, 2004].

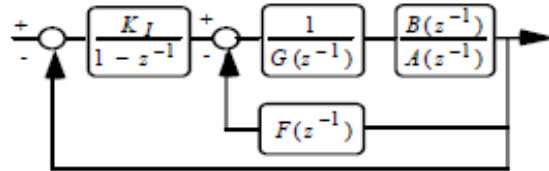


Figura 3.13 Schema bloc de control PIP

Demonstratorul permite dezvoltarea într-o abordare asemănătoare a modelului SDP-PIP (Figura 3.14.) și astfel, comparații între aceste abordări [Shaban, 2012]. Comparația sugestivă a controlului realizat prin abordările dezvoltate asupra aceluiași sistem [Shaban, 2014] este prezentată în Figura 3.15.

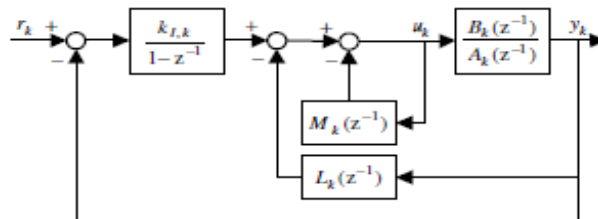


Figura 3.14 Schema de control convențional SDP-PIP

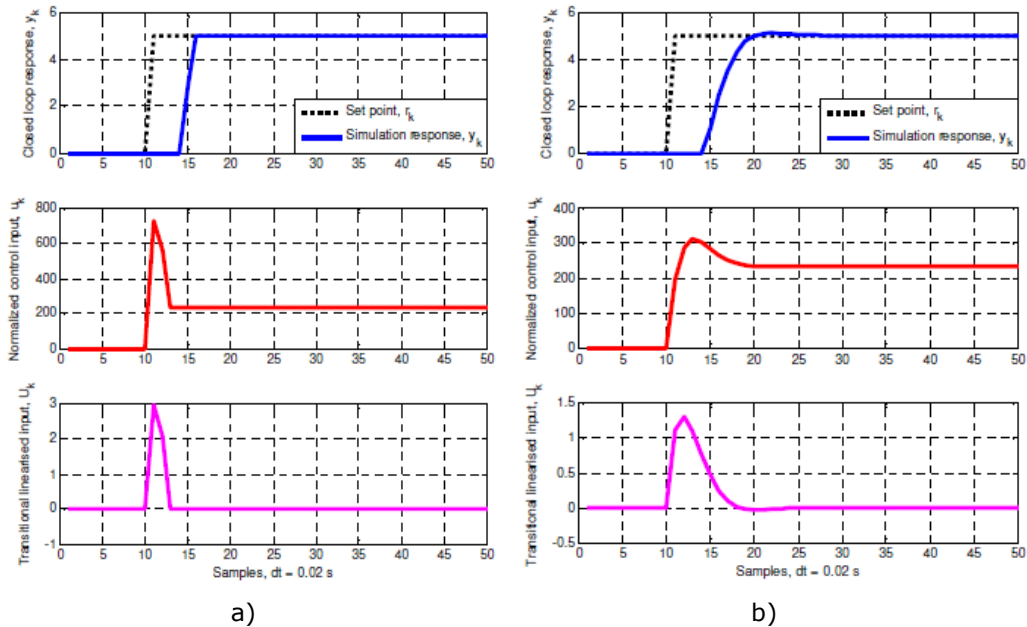


Figura 3.15 Comparație sugestivă a controlului realizat prin abordările dezvoltate asupra aceluiași sistem, a) semnal brut; b) semnal controlat [Shaban, 2014]

În concluzie, demonstratorul menționat în multiplele lucrări răspunde unor precizări specificate și în lucrările anterioare:

- Se încadrează într-un sistem mecatronic;
- A fost materializat printr-o structură compactă;
- Oferă multiple subiecte de analiză teoretică și experimentală;
- Urmărește un scop precis impus de un domeniu real: controlul unui excavator inteligent [Shaban, 2008].

3.3.4. Demonstratoare mecatronice hidro-pneumatice

Componenta hidro-pneumatică este puternic prezentă în cadrul sistemelor mecatronice. Din acest motiv, abordări diverse și multiple se regăsesc în literatura de specialitate, având ca subiect principal demonstratoare mecatronice [***, 3.2], MPS The Modular Production System [***, 3.3]. În Figura 3.16. este prezentat un detaliu referitor la unul din demonstratoarele Festo [***, 3.4], iar în Anexa 3.1 este evidențiat un alt demonstrator hidro-pneumatic.

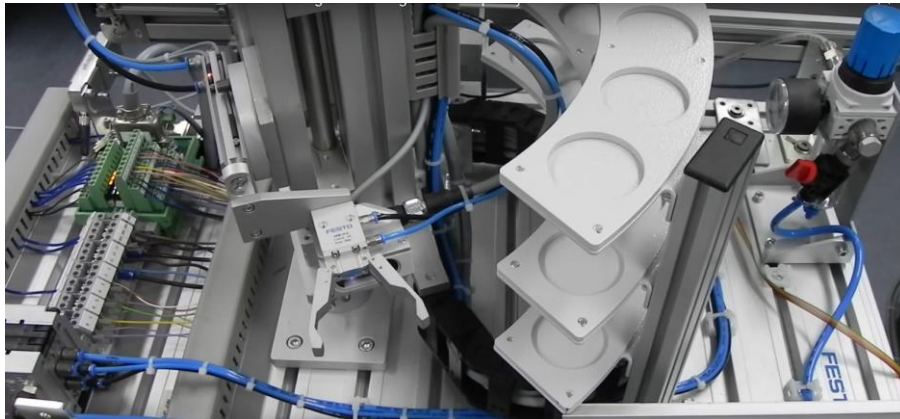


Figura 3.16 Demonstrator Festo [***, 3.4]

Cristescu este prezent în literatura de specialitate cu referiri la un demonstrator hidromecanic [Cristescu, 2013]. Demonstratorul dorește să prezinte posibilitățile de recuperare a energiei cinetice din mecanismele rotative cu acționare hidraulică din echipamentele tehnologice.

Realizarea demonstratorului are un scop precis, determinat de consumul de combustibil. Consumul combustibililor folosiți în mod accelerat și diminuarea acestor zăcămintele a determinat pe de-o parte o analiză amplă pentru a găsi noi surse de energie, iar pe de altă parte acțiuni de eficientizare energetică a mașinilor [Cristescu, 2008], [Cristescu, 2013].

În acest sens, una din căile de economisire a energiei și de eficientizare energetică, dezvoltată în ultimii ani, este aceea a recuperării unei părți cât mai mari a energiei transmise mașinilor și echipamentelor tehnologice, în fazele active ale ciclurilor de lucru, rămasă neutilizată după efectuarea lucrului mecanic util procesului tehnologic și reutilizarea energiei recuperate în fazele active ale următorului ciclu de lucru. Acest fapt duce la creșterea substanțială a randamentelor energetice, scăderea consumului de combustibil și, implicit, reducerea emisiilor poluante, cu efect benefic asupra mediului [Cristescu, 2013].

Pentru identificarea și testarea unei soluții tehnice de realizare și demonstrare experimentală a posibilității de recuperare a energiei cinetice de rotație la mecanismele cu mișcare de rotație, acționate de mașini hidraulice rotative, a fost necesară proiectarea și realizarea fizică a unui stand demonstrativ. Acesta permite atât desfășurarea de demonstrații funcționale, cât și realizarea unor teste care să evidențieze evoluția dinamică a parametrilor de proces [Cristescu, 2013].

Standul demonstrativ experimental informatizat pentru recuperarea energiei cinetice de rotație, se compune din următoarele 4 părți principale:

- 1) dispozitivul mecano-hidraulic giroinerțial cu ax orizontal care convertește energia hidrostatică în energie mecanică și invers;
- 2) stația hidraulică mobilă, care asigură fluidul sub presiune;
- 3) sistem electro-informatic de achiziție, comandă și control, care preia semnalele traductoarelor și prelucrează informațiile;
- 4) sistemul de recuperare a energiei cinetice de rotație.

În Figura 3.17.a este prezentată schema bloc a standului unde se remarcă prezența subsistemului informațional și achiziția datelor. Stația de presiune mobilă are o pompă cu pistoane axiale (1) care aspiră uleiul din rezervorul (2). Pompa este antrenată de motorul electric (3). Fluidul sub presiune ajunge la dispozitivul hidraulic giroinerțial, care realizează mișcarea de rotație al echipamentului integrat.

Dispozitivul hidraulic giroinerțial cu ax orizontal este prezentat în Figura 3.17.b [Cristescu, 2013]. Acest modul se compune din următoarele părți principale: unitatea hidrostatică cu pistoane axiale (1), subansamblu măsurare cuplu-turație cu traductor Lorenz (2); șasiul (3); lagărul radial (4); axul orizontal (5) și subansamblul disc portant al masei rotitoare (6).

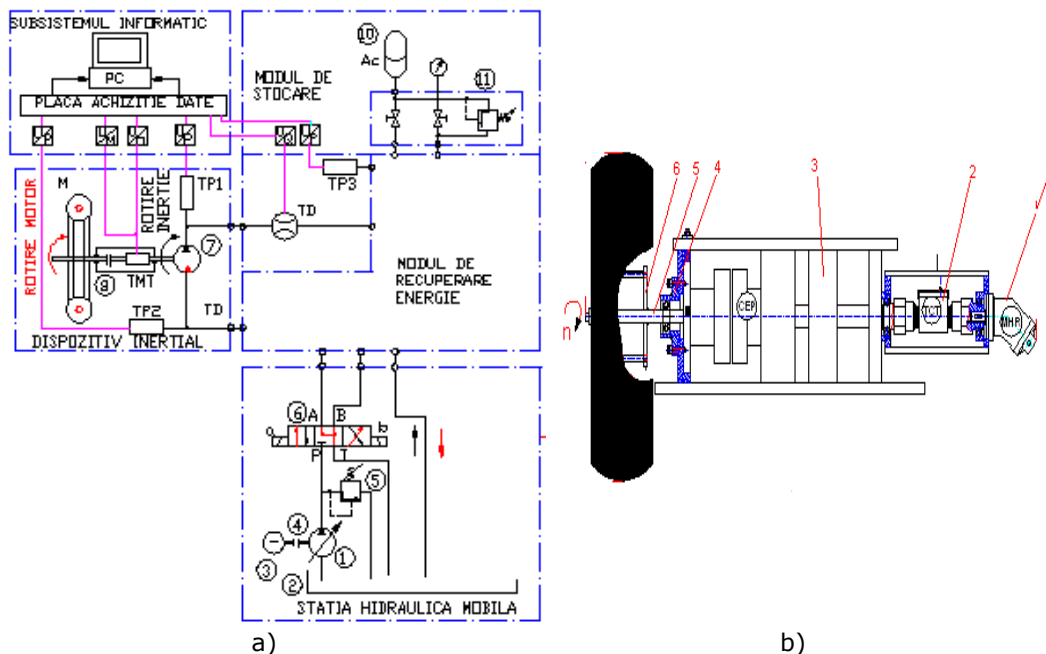


Figura 3.17 a) Schema bloc a standului demonstrativ; b) Dispozitiv hidraulic giroinerțial cu ax orizontal [Cristescu, 2013]

Figura 3.18. oferă imagini generale și de detaliu asupra standului demonstrativ [Cristescu, 2013].

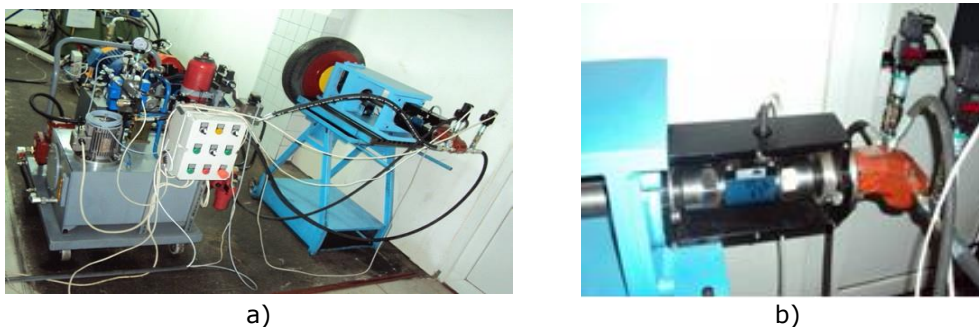


Figura 3.18 a) Stație hidraulică cu sistem de recuperare a energiei; b) Sistem senzorial de măsurare cuplu și presiuni [Cristescu, 2013]

Funcționarea standului demonstrativ presupune utilizarea unui sistem electro-informatic de achiziție a datelor (Figura 3.18.a), care asigură preluarea, stocarea și prelucrarea semnalelor traductoarelor din dotarea standului și, inclusiv, prezentarea grafică a variației parametrilor [Cristescu, 2013].

În concluzie, pentru demonstrarea posibilității recuperării energiei cinetice de rotație a fost realizat un stand demonstrativ, care permite efectuarea experimentărilor necesare prin care se pot obține informațiile referitoare la evoluția parametrilor dinamici caracteristici: momentul de inerție, turația, presiunile de acționare, stocare și reutilizare a energiei. Testările efectuate au validat soluția constructivă propusă [Cristescu, 2013].

3.3.5. Demonstratoare mecatronice humanoide

Literatura de specialitate evidențiază multiple cercetări referitoare la demonstratoare dedicate atât roboților clasici [Anexa 3.3], cât și roboților mobili [Matsumoto, 1990], [Takei, 2009], [Kim, 2008], [Lee, 2009], [Kao, 2013]. Aceste demonstratoare scot în evidență, pe de-o parte actualitatea problemei roboților mobili, iar pe de altă parte necesitatea unor demonstratoare dedicate pe activități specifice. Demonstratoarele utilizate pentru a învăța prin demonstrație LFD (Learning from Demonstration) sunt cele mai de succes metode de învățare și testare în timp real ale unor concepte teoretice. [Sullivan, 2010], [Akgun, 2012], prezintă realizări de astfel de sisteme pentru a învăța roboții mobili să execute anumite mișcări și activități, cu un cumul de traiectorii și erori de mișcare cât mai mic. Demonstratorul este dezvoltat și este analizat pentru trei activități dedicate:

- demonstrații de traiectorie;
- demonstrații de secvențe principale (keyframe);
- iterații ale secvențelor principale.

În toate cele trei activități, utilizatorii manipulează fizic brațul drept al robotului, având greutatea compensată pentru instruirea robotului. Fiecare activitate menționată este structurată în două faze [Akgun, 2012]:

- a) faza de interacțiune;
- b) faza de învățare,

urmate de experimente conforme cu procedurile precizate.

Robotul humanoid Simon, în interacțiune cu un operator uman, este prezentat în Figura 3.19. În Figura 3.20 sunt prezentate aptitudini orientate spre rezultat și spre semnificație.

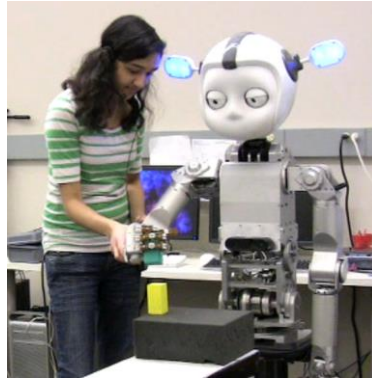


Figura 3.19 Robotul Simon în interacțiune cu un operator [Akgun, 2012]

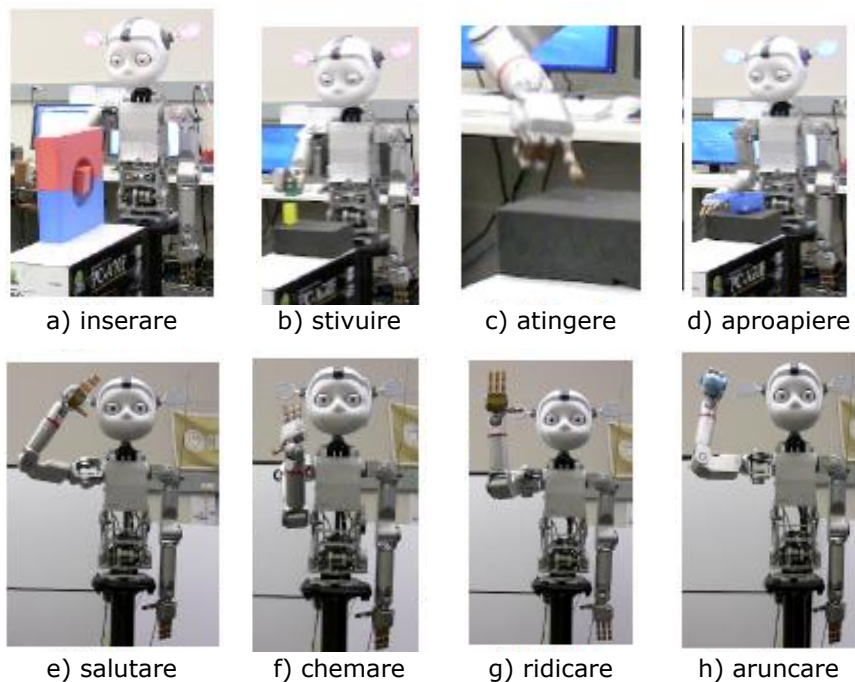


Figura 3.20 Abilități orientate spre scop (a-d) și orientate spre semnificație (e-h) [Akgun, 2012]

Robotul humanoid Simon este echipat cu două brațe (lanțurile cinematice sunt acționate de 7 motoare), două efectoare finale (echipate cu 4 motoare) și o expresie facială socială. Mișcările capului sunt realizate prin intermediul a două motoare [Akgun, 2012].

Profesorul care învață robotul să execute mișcări noi poate folosi comanda

vocală prin care îi dă robotului informații când să înregistreze o comandă nouă.

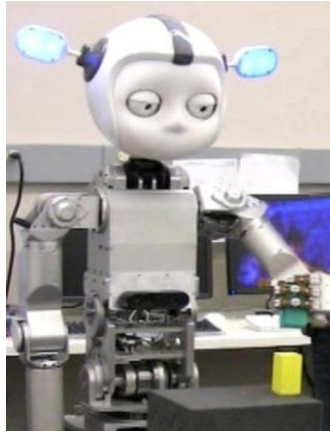


Figura 3.21 Robot în mediul de lucru [Akgun, 2012]

În timp ce brațele robotului sunt mișcate prin interacțiunea cu profesorul uman, coordonatele mișcării sunt înregistrate în memoria robotului și analizate cu ajutorul unui software dedicat. Datele sunt eșantionate pe criterii de lungime în intervale de timp, înainte să fie introduse în algoritmul de învățare. Software-ul utilizat prelucrează datele înregistrate și extrage din acestea un model mixt Gaussian (GMM) [Akgun, 2012]. Varianta regresiei mixte Gausiene (GMR) este folosită pentru generarea traiectoriilor în procesul de învățare a mișcărilor. Algoritmul permite învățarea acestor mișcări de la una sau mai multe repetări [Akgun, 2012].

Cel de-al doilea demonstrator humanoid realizat pe o tematică asemănătoare este prezentat în [Sullivan, 2010]. Scopul demonstratorului este de a învăța un robot humanoid să execute mișcări de deplasare ale unei mingi.

Arhitectura hardware a robotului RoboPatriots și fluxul informațional sunt prezentate în Figura 3.22. [Sullivan, 2010].

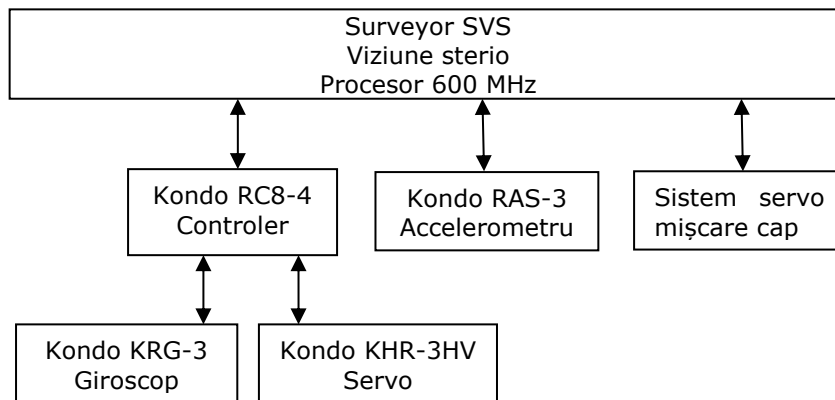


Figura 3.22 Arhitectura hardware a robotului RoboPatriots [Sullivan, 2010]

În Figura 3.23 sunt prezentate aspecte de ansamblu ale robotului humanoid și detalii de construcție ale sistemului senzorial de percepție imagini.

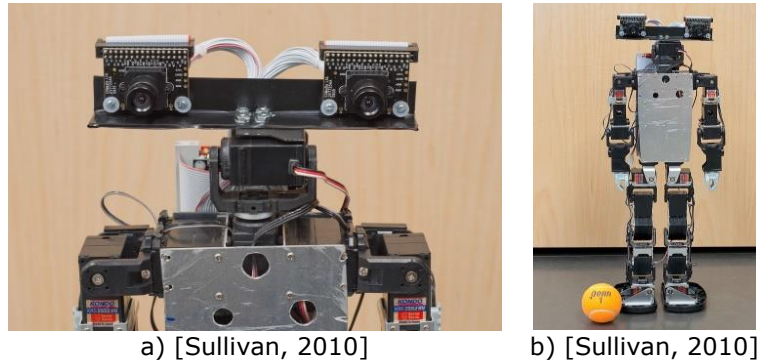


Figura 3.23 a) Sistem senzorial vizual; b) Platforma humanoidă

Experimentele cu acest demonstrator au avut rolul de a crea și îmbunătăți noi metode de reducere a complexității și a dimensiunii spațiului de învățare cât mai mult posibil. Pentru aceasta s-au folosit următoarele metode: descompunerea ierarhică a spațiului, reducerea acțiunilor, parametrizarea [Sullivan, 2010].

Aceste metode de învățare (prin mișcări repetate) implică o muncă complexă, dar oferă și posibilitatea de a testa aspecte teoretice ce au stat la baza proiectării platformei mobile în vederea obținerii unui rezultat real. Învățarea în timp real introduce unele erori și zgomot în traiectoria de mișcare și execuție a robotului [Sullivan, 2010].

3.4. Concluzii

Toate demonstratoarele prezentate în acest capitol au avut scopul principal de a transpune idei teoretice în modele practice reale. Modelele dezvoltate oferă o posibilitate reală de a studia la scară redusă efecte fizice în timpul diverselor procese. Demonstratoarele pentru roboți humanoizi ocupă un procent ridicat în abordările din literatura de specialitate:

Se pot enunța câteva dintre cerințele demonstratoarelor mecatronice:

- Sistemele să se încadreze în categoria sistemelor mecatronice;
- Varianta folosită trebuie să aibă un grad de complexitate corespunzător studiului teoretic și experimental;
- Structura demonstratorului trebuie să fie compactă și modulară;
- Ordinul sistemului să fie corespunzător (cel puțin ordinul 4) pentru o abordarea educațională a problemelor de modelare și control;
- Sistemul să fie portabil și ușor de configurat;
- Design robust, în condiții de siguranță și securitate intrinsecă;
- Nivel ridicat de observabilitate;
- Legătură clară a demonstratorului cu un sistem practic și aplicabilitate cunoscută;
- Flexibilitate în aplicațiile demonstrative posibile de realizat, în condiții diverse ale parametrilor structurali;
- Posibilitatea aplicațiilor de identificare a problemelor sistemului.

4. PROIECTAREA SISTEMELOR MECATRONICE ȘI DEMONSTRATOARE REPREZENTATIVE

4.1. Introducere

Obiectivul principal al acestui capitol este de a aplica filozofia mecatronică de proiectare a unui sistem pentru materializarea unor demonstratoare mecatronice. Aceste demonstratoare, conform obiectivelor operaționale din planul de cercetare, trebuie să permită modelarea aspectelor teoretice și a modelelor fizice dezvoltate în elaborarea tezei.

4.2. Proiectare sistemică

4.2.1. Introducere

Procesul de proiectare este o activitate complexă care trebuie să țină cont de o serie de aspecte. Pentru dezvoltarea unui sistem tehnic, proiectantul trebuie să aibă în vedere:

- Rezolvarea problemei specificațiilor și cerințelor inițiale, idei noi, evaluări calitative și cantitative;
- Corelarea de funcții tehnologice, principii de lucru și formă pentru sinteza unui sistem tehnic;
- Corelarea produsului analizat cu cerințele din societate, cu cerințele de fiabilitate și calitate.

Pentru aceeași problemă specifică, care are mai multe posibile rezolvări, se elaborează metode pentru generare de idei, prezentare de soluții și evaluarea acestora.

Dezvoltarea sistemelor tehnice se bazează pe concepte ingineresti care dezvoltă un produs funcțional din stagiul de idee abstractă până la forme reale, în cele mai mici detalii de funcționare.

Realizarea unui model, de la nivelul de concept, trecând prin etapa de construcție reală a machetei, până la produsul finit, are loc prin metode care țin cont de tehnologia disponibilă, energii, efecte fizice și chimice, informație etc.

Proiectarea în domeniul mecatronic impune o armonizare a procedurilor și metodologiilor de proiectare din domeniile mecanic, electric, electronic și informațional, într-un tot unitar.

În 1980, Andreasen a elaborat principii științifice utilizate pentru proiectarea mașinilor, dezvoltând metodologia domeniilor [Dolga, 2007], [Blanchard, 2006]. Conform acestei teorii, sinteza unei mașini presupune definirea succesivă a patru sisteme:

- Sistemul proces – se concretizează structural prin transformarea materialelor, energiei și informației;
- Sistemul funcțional – se concretizează prin structura funcțiilor admise pentru mașină astfel încât să se realizeze transformările dorite;
- Sistemul organic – care se concretizează prin componenta organologică

specifică unei funcții sau mai multor funcții cu efecte fizice;

- Sistemul subansamble – care se concretizează prin componente singulare care compun mașina.

În proiectarea unui produs mecatronic, literatura de specialitate se referă la dezvoltarea a două principii enunțate în teoria mașinilor [Dolga, 2007], [Dolga, 2009]:

- Principiul cauzalității verticale sau cauză – efect;
- Principiul funcțiilor secundare (funcția de comunicare, funcția de protecție, funcția de control, funcția putere, funcția structurală) localizate în jurul funcției principale.

Metodologia în „V” de proiectare și dezvoltare a unui sistem mecatronic este o abordare a școlii germane [Isermann, 2005]. Principiul de lucru este prezentat în Figura 4.1.

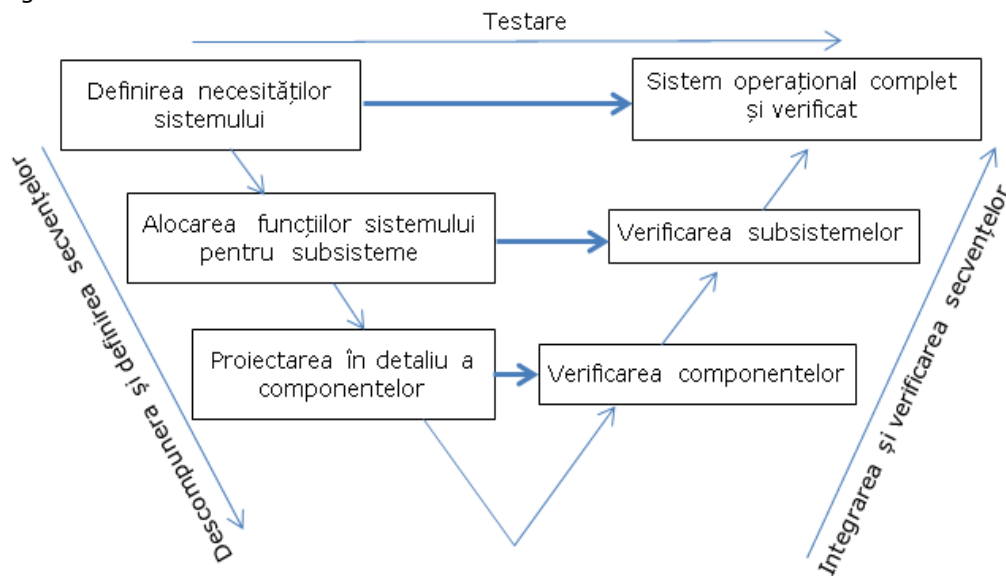


Figura 4.1 Metodologia în „V” de proiectare

Un rol esențial în procesul de proiectare a sistemului mecatronic îl are abordarea sistemică a activității și apelarea la metodele de dezvoltare a unor idei noi. Tabela morfologică este denumirea acordată metodologiei de examinare sistematică a unor posibile soluții pentru dezvoltarea unui sistem mecatronic [Shetty, 1997].

4.2.2. Concluzii

Având în vedere sintezele bibliografice realizate în cadrul capitolului 2 și a celor prezentate în §1.2.1, se poate concluziona:

- Demonstratoarele preconizate, pentru a fi materializate, trebuie să se încadreze în domeniul mecatronic;
- Pentru dezvoltarea demonstratoarelor este necesară o abordare sistemică conformă cu metodologia mecatronică de proiectare;
- Se va apela la descompunerea funcției principale, în funcții secundare care să

- se materializeze prin organologie adecvată;
- Se va apela la tabela morfologică pentru examinarea sistematică a variantelor;
- Se au în vedere obiective operaționale adecvate pentru secvențele de testare și verificare în conformitate cu metodologia în „V”.

4.3. Demonstratoare mecatronice proprii pentru studiul roboților mobili

Sintezele bibliografice prezentate în capitolele 2 și 3 au permis evidențierea interesului existent la ora actuală pentru roboții mobili. În același timp se poate constata că atât aspectele constructive și funcționale ale roboților mobili, cât și aplicațiile robotizate conduc spre dezvoltarea unor demonstratoare mecatronice.

Obiectivul operațional al demonstratoarelor avute în vedere urmăresc teme de interes precum:

- Analiza capacității unui robot mobil de a descrie o traiectorie impusă;
- Studiul subsistemelor – acționare, senzorial, control - integrate în robotul mobil;
- Dezvoltare de algoritmi și programare pentru aplicații diverse.

Demonstratoarele care fac obiectul acestui subcapitol au la bază activități de cercetare în grup, specifice domeniului mecatronic.

Sintezele bibliografice referitoare la demonstratoarele mecatronice au evidențiat că sunt utile dezvoltări de hipersisteme prin integrarea de demonstratoare mecatronice multiple.

Pornind de la acest aspect, programul de cercetare pentru elaborarea tezei a inclus și obiective operaționale referitoare la realizarea și studiul teoretic și experimental al unor demonstratoare mecatronice din domeniul roboticii.

4.3.1. Demonstrator mecatronic humanoid (D-1)

În baza sintezelor bibliografice din capitolele 2 și 3, am dezvoltat un prim demonstrator D-1, specific roboticii humanoide.

Obiectivul operațional alocat demonstratorului are în vedere modelarea unui sistem humanoid artificial pentru analiza stabilității, conform cu principiul pendulului invers. Se răspunde astfel condiției necesare unui demonstrator de a se referi la un produs real și de interes.

Cerințele impuse demonstratorului au avut în vedere:

- Să corespundă unei structuri humanoide, mobile, verticale;
- Să aibă la bază principiul pendulului invers;
- Să fie aplicabil problemelor de control a pendulului invers echivalat;
- Să aibă o construcție modulară;
- Să fie realizat la un preț de cost redus.

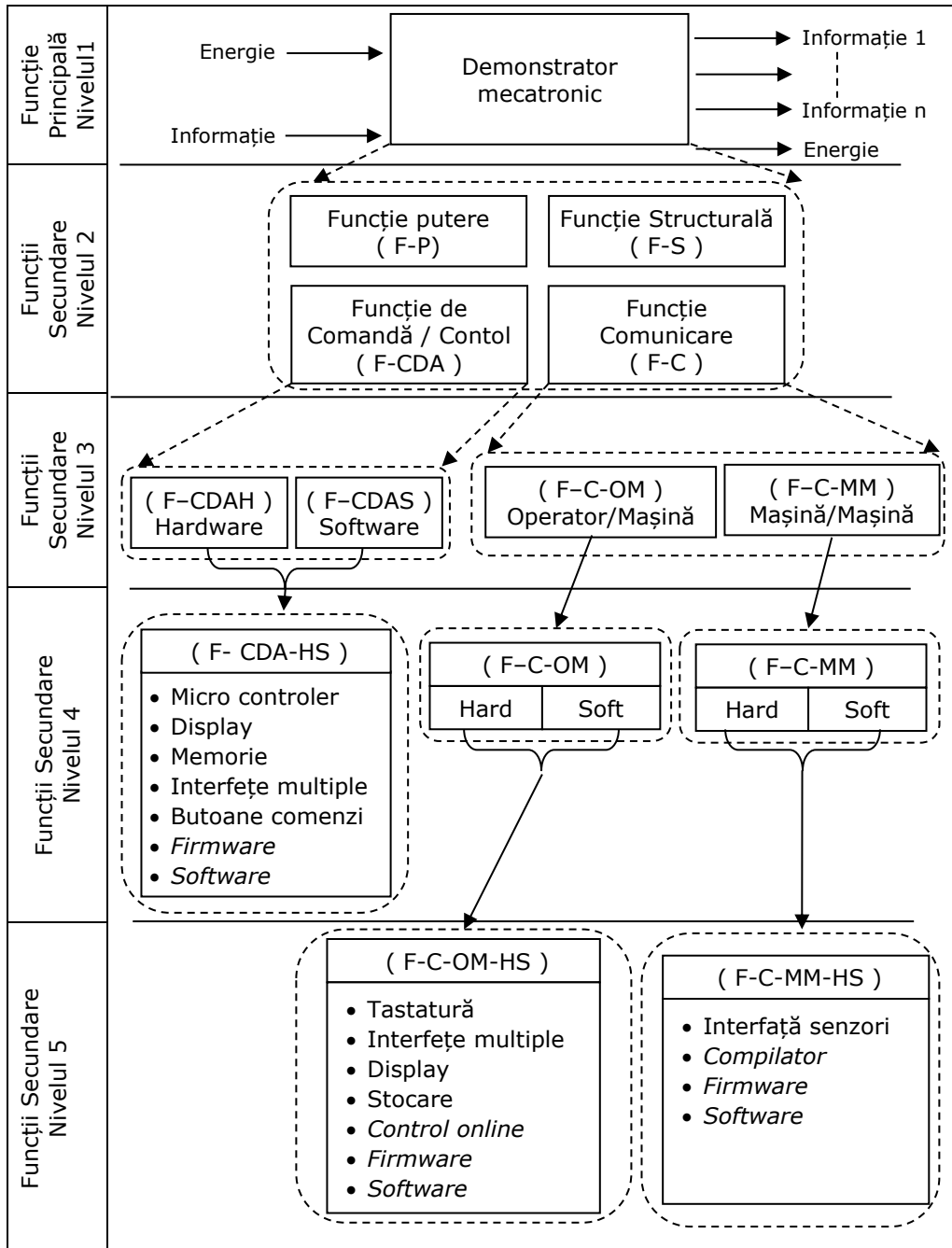
Descompunerea funcției principale în funcțiile secundare, necesare ca suport pentru integrarea hardware și software, este prezentată în Tabelul 4.1.

Componentele hardware avute în vedere sunt ilustrate în tabela morfologică din Tabelul 4.2.

Demonstratorul a fost realizat în două variante (Figura 4.2.a,b) utilizând componentele: A1; A2; A3; A4; A5; A6; B6; C6; D-6. La alegerea variantei preconizate s-au avut în vedere criteriile de comparație: compatibilitate între module,

gabarit, cost, disponibilitate.





























Tabel 4.1 Descompunerea funcțiilor principale pe nivele (Funcții secundare)



Pentru achiziția datelor de la senzorul giroscopic S1 și senzorul optic S4, am

utilizat un osciloscop Fluke, prezentat în Anexa 4.2.

Tabel 4.2 Componente hardware utilizate în demonstratorarele mecatronice proprii

Funcția		Model hardware			
		A	B	C	D
Locomoție	1	Roată Lego 	Roată Parallax 	Ansamblu pășitor 	Șenilă 
	2	Motor electric Lego 	Motor electric Parallax 	Motor electric dronă 	Motor hibrid electric-termic 
Comunicare	3	Bluetooth 	Wireles 	Cablu USB 	Radio 
	4	Acumulator 	Acumulator 	Sursă de tensiune 	Sursă pneumatică 
Control	5	Lego CPU Controller 	Arduino CPU Controller 	Raspberry pi 2 CPU Controller 	Arduino Controller motor 
	6	Senzor giroscopic 	Senzor optic 	Senzor ultrasonic 	Senzor de accelerație 
Senzorială	7	Senzor infraroșu 	Senzor giroscopic 	Senzor ultrasonic Parallax ping))) 	Senzor de accelerație - MPU 6050 

Varianta D-1.a (Figura 4.2.a) are integrat un senzor giroscopic (detalii în

Anexa 4.2) în bucla de reacție, iar varianta D-1.b (Figura 4.2.b) are integrat un senzor optic (detalii în Anexa 4.2) în bucla de reacție. Controlul este asigurat de către controlerul Lego NXT-2, iar sistemul de acționare de către servomotorul în curent continuu Lego NXT-2 (detalii în Anexa 4.2).

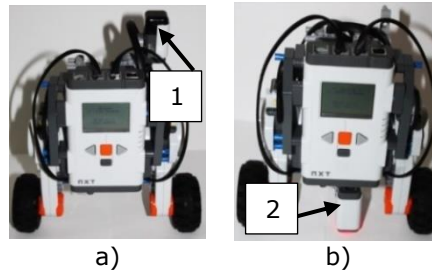


Figura 4.2 Variante ale demonstratorului humanoid

4.3.2. Demonstrator pentru analiza caracteristicii senzorului optic [Sandru, 2016] (D-2)

În baza sintezelor bibliografice din capitolele 2 și 3 am dezvoltat un prim demonstrator D-1, specific roboticii humanoide. Filozofia mecatronică de proiectare a unui sistem mecatronic impune studiul experimental al componentelor hardware ce urmează a fi integrate în sistem (metoda „V”). Prin aceasta, se urmărește să se certifice caracteristicile și parametrii funcționali ai componentei.

Obiectivul operațional alocat noului demonstrator constă în confirmarea parametrilor funcționali ai senzorului optic integrat în demonstratorul D-1 și posibilitatea de a corela informațiile cu ceilalți senzori. Se răspunde astfel condiției necesare unui demonstrator de a permite achiziționarea de informații necesare unei analize sinergice. Cerințele impuse demonstratorului D-2 au avut în vedere:

- Să corespundă unei structuri mecatronice;
- Să corespundă unei structuri apropiate dinamic de D-1, mobilă, verticală;
- Să fie aplicabil problemelor de control;
- Să aibă o construcție modulară;
- Să fie realizat la un preț de cost redus.

Pentru a asigura condițiile de lucru cât mai apropiate de cele reale și pentru a îndeplini condițiile necesare pentru demonstrator, am realizat o structură D-2 prin particularizarea demonstratorului D-1.

Un aspect general al demonstratorului este prezentat în Figura 4.3. În figură sunt evidențiate elementele senzoriale integrate în demonstrator (detalii tehnice în Anexele 4.1-4.5).

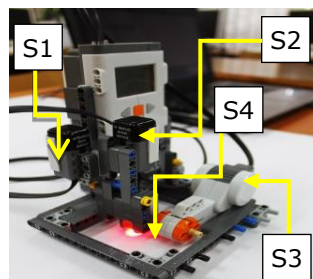


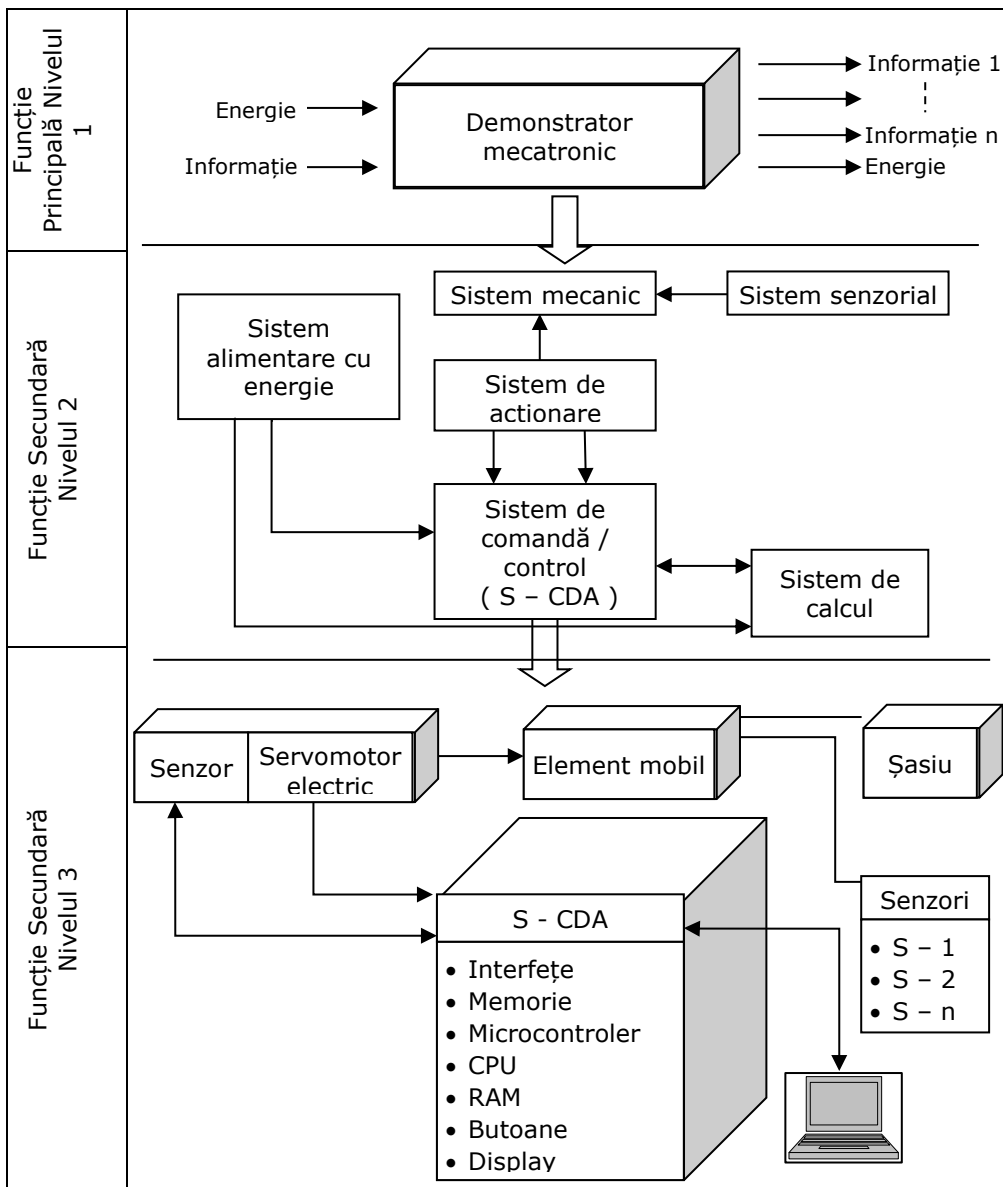
Figura 4.3 Demonstratorul D-2

Symbolistica notațiilor din Figura 4.2 este următoarea: S1- senzor giroscopic, S2- senzor de accelerație, S3 – senzor rotație, S4- senzor optic .

Echivalând sistemul autonom mobil cu un sistem mecatronic, în concordanță cu performanțele propuse, s-au putut stabili funcțiile suport secundare care să definească subsistemele hardware de nivel ierarhic inferior.

Pentru stabilirea unei anumite modalități de concretizare pentru o componentă ce va realiza o funcție dată, s-a apelat la o analiză pe baza tablei morfologice. Tabelul 4.3 corespunde metodei de analiză sistemică.

Tabel 4.3 Descompunere la nivel organic



În conformitate cu descompunerea funcțiilor prezentate în tabelul anterior și a disponibilităților hardware din Tabelul 4.2, s-a concretizat structura demonstratorului D-2 (Figura 4.2).

Stabilirea celei mai adecvate variante s-a bazat pe o analiză criterială. Criteriul esențial a fost cel de realizare a unei construcții modulare, cu reutilizare de componente. În acest mod, elementul mobil al pendulului (echivalent) a fost fixat pe un cadru fix cu o structură rigidă.

4.3.3. Demonstrator mecatronic humanoid (D-3) [Sandru, 2017]

Una din cerințele necesare a unui demonstrator se referă la posibilitatea de comparare a performanțelor acestuia în raport cu cele ale unor demonstratoare cu aceleași funcții.

Noul demonstrator trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- Să corespundă unei structuri humanoide, mobile, verticale;
- Să aibă la bază principiul pendulului invers;
- Să fie aplicabil problemelor de control a pendulului invers echivalat;
- Să aibă o construcție modulară diferită de cea a demonstratorului D-1;
- Să fie realizat la un preț de cost redus.

Pornind de la acest aspect, am dezvoltat demonstratorul D-3. Am urmat procedurile menționate în subcapitolele anterioare. Demonstratorul a fost materializat prin integrarea componentelor mecatronice (B1; B2; C3; A4; B5; B7; B7; C7; D-7) din Tabelul 4.2.

Pentru atingerea obiectivului operațional, au fost imaginate mai multe seturi de experimente, care urmăresc atât analiza comportamentului elementelor senzoriale, într-un mediu asemănător cu cel de evoluție al demonstratorului, cât și analiza posibilităților de integrare a componentelor utilizate.

Aspecte generale a demonstratorului sunt prezentate în Figura 4.4.

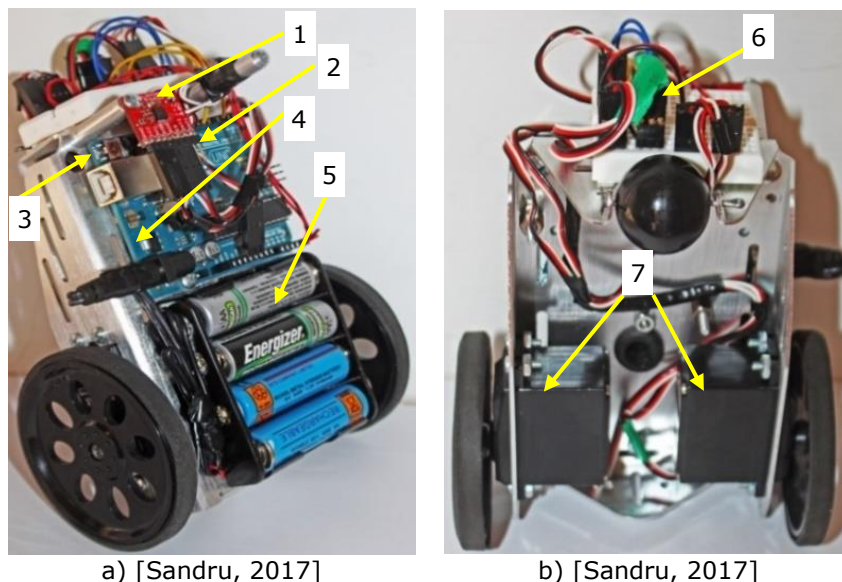


Figura 4.4 Demonstratorul D-3: a) Vedere laterală; b) Vedere din față

Notațiile din Figura 4.4 au următoarele semnificații: 1- senzor giroscopic L3G4200D (Anexa 4.6); 2 - placa de dezvoltare Arduino uno R3 (Anexa 4.3); 3 - port de date USB; 4 - mufa de conexiune la sursa de energie electrică; 5 - rak pentru acumulatori; 6 - placa PCB pentru realizarea conexiunilor electrice între componente electronice integrate; 7 - servomotoarele de tracțiune (Anexa 4.3) partea din stânga și partea din dreapta.

Conform cu tabela morfologică prezentată, am materializat demonstratorul humanoid.

Am modificat șasiul de la un robot mobil Parallax și am realizat adaptarea pentru modelul humanoid. Am utilizat suplimentar cele două servomotoare „Parallax continuous rotation”, detaliile acestora fiind prezentate în Anexa 4.3.



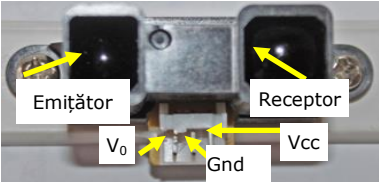
Pentru funcția de conducere a robotului am integrat placa de dezvoltare Arduino Uno R3. Controlerul Arduino Uno R3, integrat pe placa de dezvoltare, este un micro-controler, bazat pe tehnologia Atmega328 (Figura 4.5). Detalii privind parametrii plăcii sunt incluse în Anexa 4.3.

Achiziția informațiilor din mediu de evaluare a robotului humanoid se obțin de la (Tabelul 4.4):

- un senzor giroscopic cu 3 axe, model L3G4200D (informații referitoare la acest model se regăsesc în Anexa 4.3);
- un senzor ultrasonic model Parallax Ping))) 28015 Rev. A (detalii în Anexa 4.3);
- un senzor în infraroșu, model Sharp 2Y0A02 F 2Z (detalii în Anexa 4.3).

Sursa de energie pentru alimentarea componentelor sistemului, este oferită de un rak de acumulatori ce asigură o tensiune nominală de minim 6V. Schimbul de informații dintre robotul humanoid materializat și calculatorul de pe care se vor executa setări și modificări de parametrii în software-ul robotului, se realizează printr-un cablu normal USB.

Tabel 4.4 Sensori integrați în sistem [Sandru, 2017]

		
<p>Senzorul giroscopic L3G4200D</p>	<p>Senzorul ultrasonic Parallax Ping))) 28015</p>	<p>Senzorul infraroșu Sharp 2Y0A02 F 2Z</p>
<p>GND – terminal masă; Vcc – pin pentru borna pozitivă a tensiunii; SCL – linie semnal timp; SDA – linie semnal date;</p>	<p>Gnd – pinul se conectează la borna negativă a tensiunii; 5V – pinul se conectează la borna pozitivă a tensiunii (+); SIG – pinul pentru schimb de date I/O;</p>	<p>V₀ – pin ieșire semnal; GND – terminal masă; VCC – pin pentru alimentare +;</p>

În Figura 4.5.a și 4.5.b este prezentat demonstratorul humanoid echipat cu două variante de senzori integrați: senzor ultrasonic (a) și senzorul în infraroșu (b).

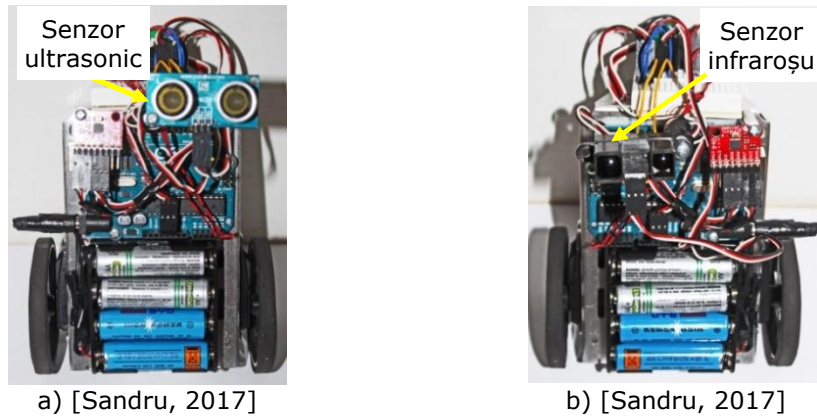


Figura 4.5 Demonstratorul echipat cu: a) Senzor ultrasonic; b) Senzor în infraroșu

Schema de realizare a conexiunilor electrice între componentele integrate este prezentată în Figura 4.6.

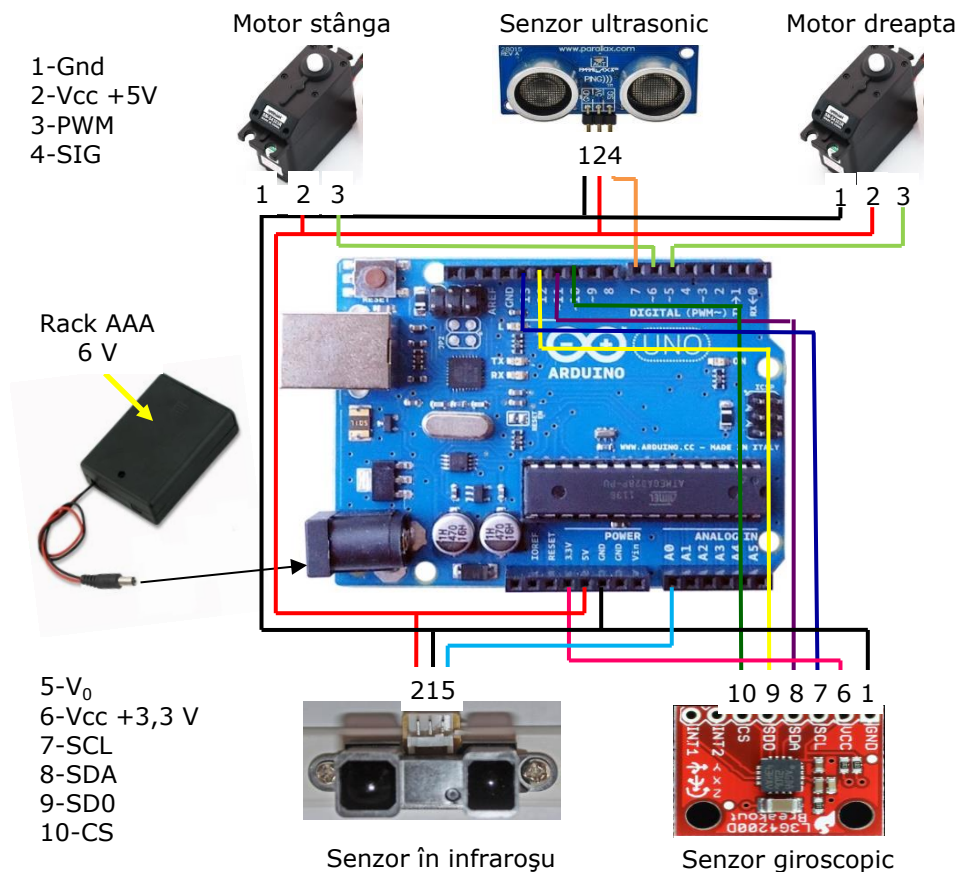


Figura 4.6 Schema de conexiune a componentelor hardware [Sandru, 2017]

Dezvoltarea software-ului necesar a fi integrat în structura sistemului, a constituit o etapă importantă a materializării demonstratorului în integritatea sa. Din posibilitățile existente (mediul propriu al producătorului Matlab/Simulink, Arduino) de utilizare a mediilor de lucru pentru programarea microprocesorului, s-a apelat la mediul Arduino. Acesta permite utilizatorilor să scrie codul de funcționalitate a modelului hardware, după care să îl compileze și să îl încarce în controler prin portul USB. Acest software are biblioteci dedicate (Figura 4.7) care pot fi încărcate automat în fereastra de scriere a codului, pentru a utiliza partea de cod necesară dispozitivului atașat platformei (Figura 4.5). Codul sursă original [***, 4.18] a fost particularizat pentru a fi compatibil cu componentele hardware integrate [Anexa 4.21].

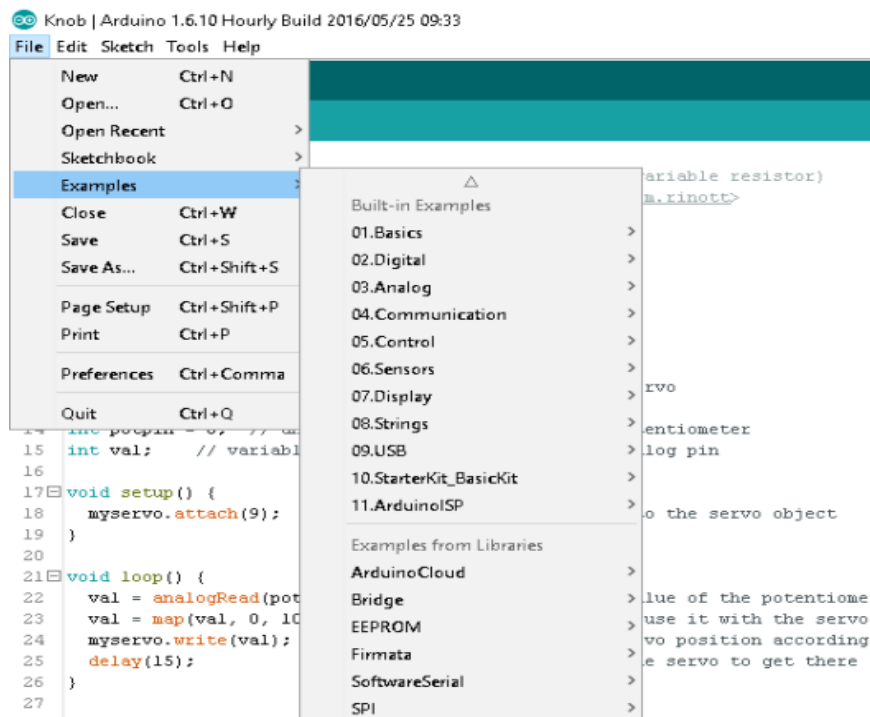


Figura 4.7 Software-ul Arduino și biblioteca cu exemple de coduri

Acest demonstrator a fost utilizat în analize experimentale, comparativ cu un model asemănător (de robot humanoid), dar cu o structură organologică diferită.

4.3.4. Demonstrator mecatronic pentru aplicație robotizată (D-4) [Crainic..., Sandru, 2014]

Obiectivul operațional al demonstratorului realizat a constat din dezvoltarea și integrarea unui model hardware și software pe un robot industrial în vederea unor operații robotizate speciale.

Cerințele impuse demonstratorului au avut în vedere:

- Să corespundă unei structuri mecatronice;
- Să se refere la o operație robotizată care să imite o operație a unui operator;

- Să permită abordări multiple de studiu, experiment, acumulare de cunoștințe din domenii colaterale, probleme de control;
- Să fie accesibil pentru domeniile educaționale.
Pentru demonstratorul preconizat s-a urmărit:
 - a) Dezvoltarea de experimente pentru operații de scriere, desenare sau alte operații grafice, executate cu un robot industrial;
 - b) Dezvoltarea de modele matematice care să susțină materializarea componentelor hardware și software și care se integrează în sistemul robotizat.

Pentru îndeplinirea obiectivului operațional precizat, am ales să utilizăm în cercetarea propusă un robot integrat într-o celulă compusă din [Crainic..., Sandru, 2014]:

- robotul RV-2AJ Mitsubishi;
- controlerul CR1-571;
- masa de lucru;
- un sistem software dedicat pentru procesarea datelor;
- un compresor de aer pentru alimentarea cu energie a cuplelor cinematice motoare ale robotului.

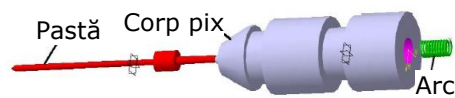
În structura acestui robot au fost efectuate mai multe modificări pentru fixarea efectorului final, respectiv a software-ului pentru scriere. Au fost avute în vedere posibilități multiple de experiment practic:

- în scop didactic, procedee diverse de scriere (de exemplu: scrierea în plan înclinat, pe o suprafață plană);
- procedee de ștampilare securizată a unor informații pe un suport de hârtie.
Acest procedeu de securizare oferă o autenticitate documentului prin perforarea acestuia, cu mici orificii, criptate printr-un limbaj de special construit.
Pentru materializarea efectorului final au fost realizate operațiile:
 - adaptarea unui pix normal, confecționând o teacă metalică, pentru a putea fi fixat, fără a fi distrus pe dispozitivul de ghidare al robotului;
 - modificarea mecanismului de scriere (tubul cu bila de scriere și pasta acestuia) prin integrarea unui arc de compresiune în vederea amortizării mișcărilor oscilatorii pe suprafața de scriere.

În Figura 4.8.a este prezentat elementul de scriere utilizat în experiment, precum și partea desfășurată a acestuia, desenată în CATIA (Figura 4.8.b).



a) [Crainic..., Sandru, 2014]



b) [Crainic..., Sandru, 2014]

Figura 4.8 Efectorul final: a) dispozitivul real de scriere; b) modelul 3D

Software-urile utilizate în dezvoltarea acestui demonstrator sunt: Eagle (CAD software pentru desenarea PCB), Matlab (utilizat pentru conversia codului PS în format Melfa IV) [***, 4.9], [***, 4.10], [4,28] RT Toolbox2 - RV-2AJ, pentru încărcarea scriptului [***, 4.11].

Vederea generală a robotului în celula Festo și axele de mobilitate pentru robotul utilizat sunt prezentate în Figura 4.9.a, respectiv Figura 4.9.b.

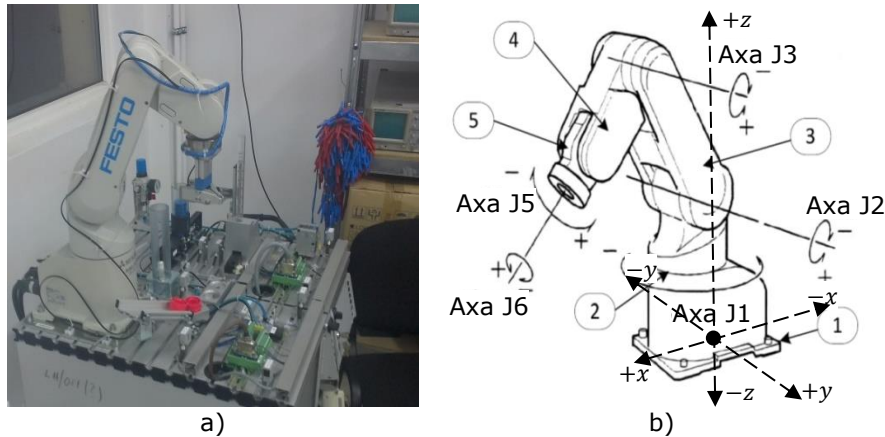


Figura 4.9 a) Robotul Mitsubishi RV-2AJ; b) Axele de mobilitate [Coman, 2009]

Scrierea de mână este considerată ca fiind aproape unică pentru fiecare persoană [Dolfing, 1998], [Franke, 2004]. Această operație biomecanică se poate modela ca și o operație robotizată. Se pot imagina operații pentru diverse categorii de documente: certificate, documente oficiale, diplome etc.

Robotul nu realizează o scriere tipic umană. Robotul asigură o scriere uniformă pentru toate caracterele. Din acest motiv vor apărea diferențe între cele două procedee [Franke, 2004].

Pentru aplicația robotizată preconizată, a fost dezvoltat un model matematic în concordanță cu cinematica problemei directe și cinematica problemei inverse.

Pentru construirea modelului matematic al cinematicii directe se consideră modelul 3D al robotului în care sunt evidențiate cuplele cinematice și parametrul geometric aferent acestora (Figura 4.9). Originea sistemului de coordonate general corespunde punctului O, iar poziția efectorului final corespunde punctului caracteristic E.

Modelul matematic referitor la poziția punctului E este descris de sistemul de ecuații următoare [Coman, 2009]:

$$\begin{aligned} X_E &= \cos(\theta_1) * [AB * \cos(\theta_2) + BC * \cos(\theta_3) + (CD + DE) * \cos(\theta_4)] \\ Y_E &= \sin(\theta_1) * [AB * \cos(\theta_2) + BC * \cos(\theta_3) + (CD + DE) * \cos(\theta_4)] \\ Z_E &= OA + AB * \sin(\theta_2) + BC * \sin(\theta_3) + (CD + DE) * \sin(\theta_4) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Modelul matematic pentru cinematica inversă și schema cinematică a robotului RV-2AJ cu 5 axe este prezentată în Figura 4.11.

Situarea punctului caracteristic E (extremitatea lanțului cinematic aparținând efectorului final) este descrisă prin coordonatele poziției punctului E în sistemul de coordonate general OXYZ și orientarea dreptei caracteristice atașate efectorului final [Varga, 2008].

Modul de construcție al modelului matematic este abordat în literatura de specialitate [Spong, 1995], [Coman, 2009].

Problema cinematicii inverse urmărește determinarea parametrilor din cuplele cinematice motoare în funcție de parametrii care descriu situarea punctului caracteristic. Mișcarea de supinație a efectorului nu afectează modelul matematic, fără să contribuie la cuplarea ecuațiilor.



Figura 4.10 Modelul cinematic invers

Schema cinematică a robotului RV-2AJ, cu precizarea parametrilor geometrice din cuplurile cinematice motoare, este prezentată în Figura 4.9 (§ 4.3.4).

Dintre metodele matematice de construcție a modelului, am optat pentru metoda geometrică cu utilizarea teoremelor lui Pitagora și teorema sinusurilor dintr-un triunghi oarecare [Postelnicu, 1980].

Pentru calculele geometrice se utilizează Figura 4.11.b, rezultată din Figura 4.11.a și Figura 4.12.

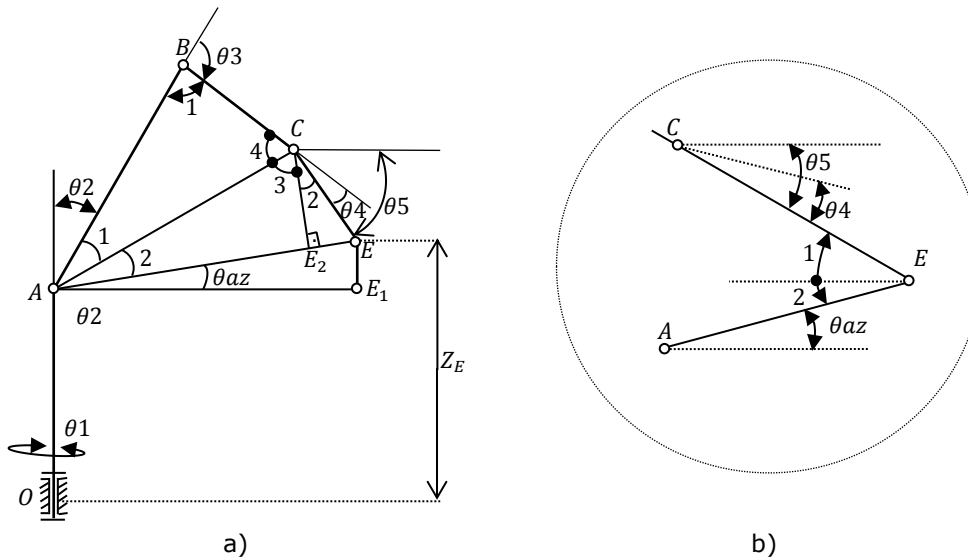


Figura 4.11 Schema cinematică a robotului RV-2AJ

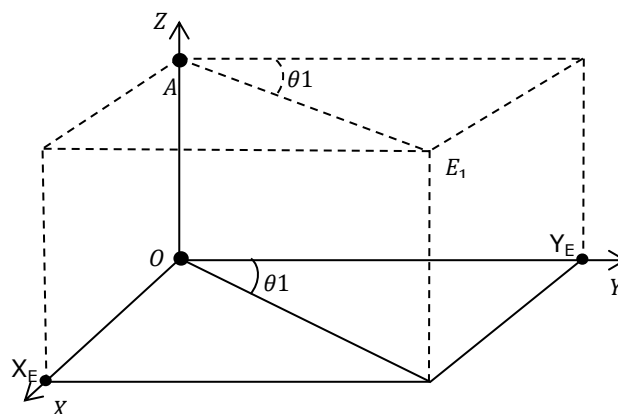


Figura 4.12 Punctul E1 în sistem de coordonate generalizat

Din Figura 4.11 se poate determina parametrul cinematic, din cupla O:

$$\theta_1 = a \tan\left(\frac{Y_E}{X_E}\right) \quad (4.2)$$

unde X_E și Y_E sunt coordonatele punctului caracteristic.

În același timp, se pot scrie și relațiile:

$$\overline{AE_1} = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2} \quad (4.3)$$

$$Z_E = l_1 + \overline{EE_1} = l_1 + \overline{AE_1} \cdot \text{tg}(\theta_{az}) \quad (4.4)$$

Din relațiile anterioare (4.2 și 4.3) se poate determina:

$$\theta_{az} = \text{atan}\left(\frac{Z_E - l_1}{\overline{AE_1}}\right) = \text{atan}\left(\frac{Z_E - l_1}{\sqrt{X_E^2 + Y_E^2}}\right) \quad (4.5)$$

Conform proprietăților unghiurilor din Figura 4.11.b, se pot scrie egalitățile:

$$\theta_{1E} = \theta_5 \quad (4.6)$$

$$\theta_{2E} = \theta_{az} \quad (4.7)$$

iar din relațiile anterioare rezultă:

$$\theta_E = \theta_{1E} + \theta_{2E} = \theta_5 + a \tan\left(\frac{Z_E - l_1}{\sqrt{X_E^2 + Y_E^2}}\right) \quad (4.8)$$

Introducem notațiile $l_2 = AB$, $l_3 = BC$, $l_4 = \overline{CE}$

Din $\triangle AEC$ se determină:

- prin aplicarea teoremei lui Pitagora generalizată, ecuația:

$$\overline{AC}^2 = l_{AE}^2 + l_4^2 - 2l_{AE}l_4 \cos(\theta_E) \quad (4.9)$$

- prin aplicarea teoremei sinusurilor, formula:

$$\frac{l_4}{\sin(\theta_{2A})} = \frac{\overline{AC}}{\sin(E)} \quad (4.10)$$

$$\theta_{3A} = \arcsin\left(\frac{l_4}{\overline{AC}} \cdot \sin(\theta_E)\right) \quad (4.11)$$

Din $\triangle ABC$ se determină:

- ecuația de mai jos, aplicând teorema lui Pitagora generalizată:

$$(\overline{AC})^2 = l^2 = l_2^2 + l_3^2 - 2 \cdot l_2 l_3 \cdot \cos(\theta_{1B}) \quad (4.12)$$

$$\theta_{1B} = \arccos\left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l^2}{2l_2 l_3}\right) \quad (4.13)$$

și respectiv:

$$\theta_3 = \pi - \theta_{1B} = \pi - \arccos\left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l^2}{2l_2 l_3}\right) \quad (4.14)$$

- teorema sinusurilor:

$$\frac{l}{\sin(\theta_{1b})} = \frac{l_3}{\sin(\theta_{2a})} = \frac{l_2}{\sin(\theta_{4c})} \quad (4.15)$$

Din relația anterioară se determină:

$$\theta_{2a} = \arcsin\left(\frac{l_3 \cdot \sin(\theta_{1b})}{l}\right) \quad (4.16)$$

În acest caz, parametrul cinematic al mișcării în cupla A va fi:

$$\theta_2 = \pi/2 - \theta_{2a} - \theta_{3a} - \theta_{za} \quad (4.17)$$

$$\theta_{42} = \pi - \theta_{2c} - \theta_{3c} - \theta_{4c} \quad (4.18)$$

În Tabelul 4.5 sunt prezentate concentrat relațiile care permit calculul valorilor pentru parametrii cinematici din cuplele cinematice motoare.

Tabel 4.5 Relațiile care permit calculul valorilor pentru parametrii cinematici

	Cuplă cinematică motoare			
	O	A	B	C
Parametrul cinematic	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4
Relațiile de calcul	(4.1)	(4.16) și (4.15), (4.10), (4.4)	(4.13)	(4.17)

Scopul cinematicii inverse constă în determinarea parametrilor cinematici în cuplele motoare, pentru poziția dată a punctului caracteristic atașat efectorului final (Figura 4.9.b) [Coman, 2009]. Figura 4.13 prezintă cinematica directă a robotului.

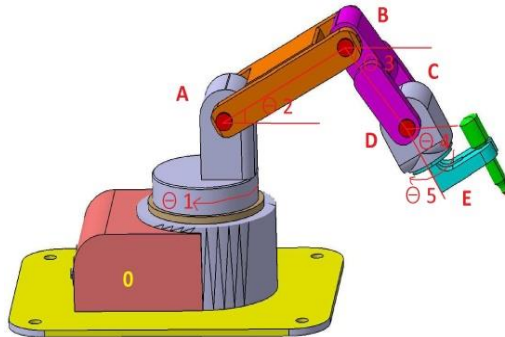


Figura 4.13 Modelul 3D pentru cinematica directă al robotului RV-2AJ [Crainic..., Sandru, 2014]

Modelul matematic utilizat în [Coman, 2009] se referea la o metodă vectorială cu modificări multiple a notațiilor inițiale utilizate pentru schema cinematică a robotului. Din acest motiv, a fost reconstruit modelul cinematicii inverse (Figura 4.14).

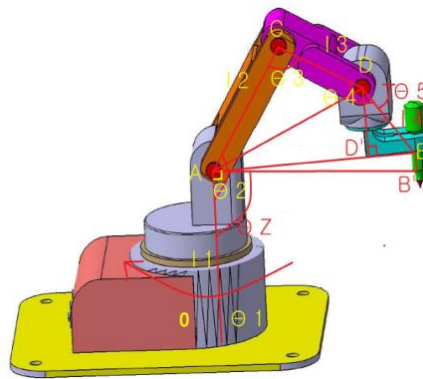


Figura 4.14 Modelul 3D pentru cinematica inversă [Crainic..., Sandru, 2014]

Aplicația de inscripționare – scriere sau desenare – a fost realizată apelând la mediul de lucru Eagle. Acest mediu este adecvat pentru lucru CAD [***, 4.8]. Destinat pentru tehnologii PCB, acest mediu de lucru are și posibilitatea de a lucra cu limbaje de programare CNC, generând diferite formate de ieșire cod-mașină și fișiere tip PS (fișiere cu linii vectoriale) [***, 4.12]. Codul generat de acest mediu de programare, pentru aplicația dată, este prezentat în Anexa 4.22.

După generarea codului PS pentru aplicația dată (desen sau text), acesta va fi convertit în cod Melfa IV (prelucrare în mediul Matlab) care este recunoscut de controlerul robotului [***, 4.9], [***, 4.10].

După ce se citesc manual cele trei puncte de coordonate (X, Y, Z, Figura 4.15) cu ajutorul consolei robotului, se introduc în scriptul Matlab (Anexa 4.23), care generează codul final de rulare.

Codul final ce se încarcă în controlerul robotului rezultă din combinarea și scalarea informațiilor vectoriale din fișierul PS generat de Eagle, la mărimea suprafeței de scriere și a coordonateelor celor trei puncte.

Pentru a calibra poziția robotului pe planul de scriere, se consideră trei puncte ale planului suport de inscripționare (Figura 4.15).

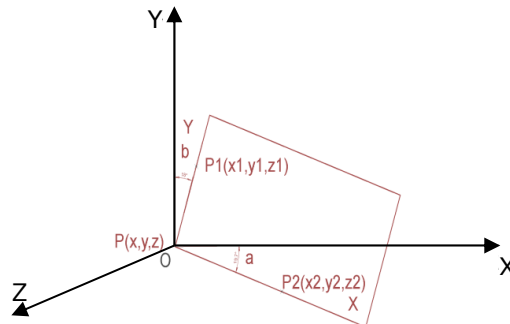


Figura 4.15 Principiul de calibrare a robotului utilizând cele trei puncte

Cu ajutorul consolei robotului (RV-J) prin manipularea manuală, se duce punctul caracteristic al robotului, succesiv, în fiecare punct și se citesc coordonatele caracteristice ale efectorului final (care are atașată ustensila de scriere) la contactul cu suprafața de scriere.

Calibarea reprezentată 3D pentru axa Z, este prezentată în Figura 4.16. Sistemul de coordonate al robotului pentru scrierea înclinată este X, Y, Z și pentru scrierea în plan, X1, Y1, Z1. Diferența între aceste două plane este coordonata Z al planului X, Y, Z, unde $Z=0$ și unde X1, Y1, Z1 sunt coordonate care trebuie calculate.

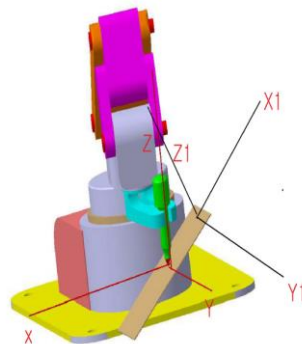


Figura 4.16 Sistemele de coordonate pentru scriere în plan înclinat [Crainic..., Sandru, 2014]

În Figura 4.17 este prezentat modelul real de scriere a robotului pe plan înclinat.



Figura 4.17 Scrierea pe plan înclinat [Crainic..., Sandru, 2014]

După „citirea” celor trei puncte de calibrare P, P1, P2, care se află pe planul

de scriere, trebuie determinată ecuația planului de scriere [Postelnicu, 1980]:

$$ax + by + cz + d = 0$$

(4.19)

Schema logică de conversie a codului PS în cod Melfa IV este prezentată în Figura 4.18. Codul astfel generat va fi transmis sistemului de conducere a robotului în vederea coordonării execuției operațiilor programate.

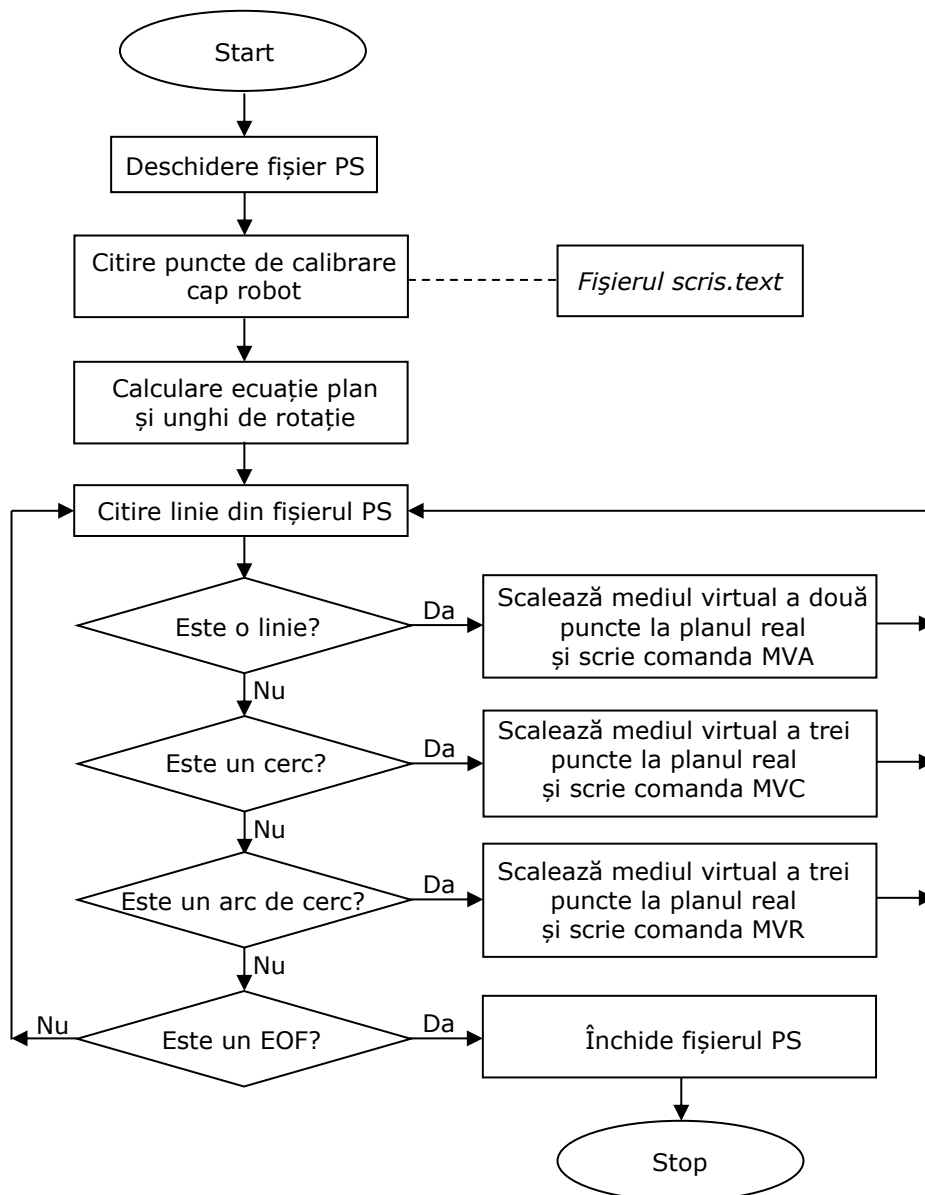


Figura 4.18 Pașii scriptului în Matlab [Crainic..., Sandru, 2014]

Sistemul de scriere securizată se face printr-un algoritm special, care generează un cod binar 0-1 al informației (Figura 4.19.a).

Acest cod este transmis robotului care perforază suportul de inscripționare: pentru „0” cu un orificiu, iar pentru „1” cu două orificii (Figura 4.19.b). Aceste perforări se realizează liniar, pentru fiecare șir de caractere.

Binary Code	Stamp code
01100011	..:....:
01101001	..:....:
01101110	..:....:
01101001	..:....:
01100001	..:....:
01110010	..:....:
01000011	..:....:
00100000	..:....:
01110011	..:....:
01110101	..:....:
01101001	..:....:



a) [Crainic..., Sandru, 2014]

b) [Crainic..., Sandru, 2014]

Figura 4.19 a) Codul binar criptat; b) Codul perforat pe hârtie

Pentru comanda diferitelor traiectorii ale punctului caracteristic - cercuri, linii, arce de cerc - s-au folosit algoritmi prescriși în codul controlerului robotului.

Acești algoritmi au fost implementați apelând la mediul Matlab pentru generarea codului final de execuție.

În Figura 4.20 este ilustrată o secvență din procesul de execuție, pe un plan orizontal, a desenului grafic ce reprezintă o bicicletă. În Figura 4.21 este prezentat desenul final, realizat prin operația robotizată de scriere în plan înclinat.



Figura 4.20 Desenarea pe plan orizontal

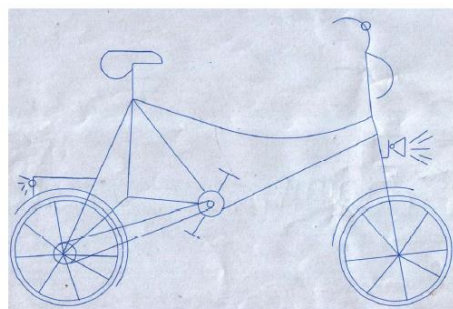


Figura 4.21 Desenul unei biciclete prin operație robotizată

În concluzie, se pot consemna următoarele:

- s-a demonstrat că se pot utiliza și alte tipuri de scriere, pentru autenticitatea documentelor, folosind un robot serial;
- s-a demonstrat că utilizând acest concept se poate scrie și pe un plan înclinat, având aceeași calitate a scrierii sau desenării, ceea ce la scris de mână ar fi mai dificil;

- pentru partea de securizare a unui document, s-a perforat documentul respectiv după un criteriu de securizare în cod binar, aspect care ar fi imposibil de reprodus de mâna umană, fără a se cunoaște limbajul de criptare.

În scop educațional, acest experiment este util pentru că permite aprofundarea și demonstrarea unor cunoștințe din domenii diferite: principii de programare în mediul Matlab, metode de calibrare a unui robot, implementare de concepte teoretice în practică.

4.3.5. Demonstrator mecatronic autonom (D-5) [Sandru, 2016]

Cerințele impuse demonstratorului realizat au avut în vedere:

- Să corespundă unei structuri mecatronice;
- Să scoată în evidență atât parcursul de materializare a sistemului mecatronic, cât și modalități de concretizare a analizei experimentale;
- Să permită abordări multiple de studiu teoretic și experiment cu domenii adiacente roboticii;
- Să fie accesibil pentru domeniile educaționale;
- Să permită analiza practică a erorii unei traiectorii realizată de un robot mobil care lucrează cu algoritm de control în bucla deschisă.

O vedere a demonstratorului dezvoltat este prezentată în Figura 4.22.a, pentru care a fost utilizat kit-ul (Anexa 4.10), iar placa electronică de comandă (PCB) se regăsește în Figura 4.22.b [Sandru, 2015].

Placa de comandă a servomotoarelor a fost proiectată cu ajutorul software-ului Eagle realizată și integrată în demonstrator [***, 4.8].

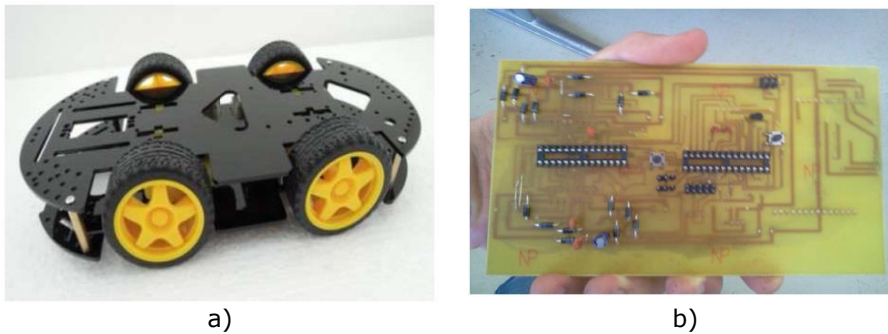


Figura 4.22 a) Demonstratorul mecatronic; b) Placa de circuit PCB [Sandru, 2015]

Demonstratorul permite un control prin joystick, facilitarea de comunicare bluetooth și achiziție de informație printr-un sistem wireless.

Pentru asigurarea autonomiei funcționale, demonstratorul este dotat cu un acumulator de 7,4 V. Pentru alimentarea micro-controlerului s-a utilizat un stabilizator de tensiune care menține tensiunea stabilă la 3,3 V.

În dezvoltarea acestui demonstrator, am apelat la trei medii de lucru software:

- Pentru programarea controlerului Atmel AVR s-a apelat la AvrStudio (programare în C), platformă dedicată dezvoltării de soft, incluzând librării pentru controler [***, 4.1], [***, 4.2], [***, 4.3];

- Programul prin care utilizatorul poate manipula acest robot este dedicat pentru sistemul de operare cu platforma mobilă Android [***, 4.4], [***, 4.5] (Figura 4.23.a);
- Utilizatorul poate selecta direcția de mișcare a robotului, poate modifica parametrii cinematici (viteză) și poate vizualiza pe display, mediul în care se deplasează robotul mobil (Figura 4.23.a);
- Achiziția imaginilor din mediu se obțin de la un senzor video încorporat în structura robotului (Figura 4.23.b), pe bază de comunicare wireless, prin protocol IP [***, 4.6].



a)



b)

Figura 4.23 a) Interfața Android; b) Telefonul și senzorul video atașat robotului [Sandru, 2015]

Programul principal (Anexa 4.25) care rulează pe un sistem PC dotat cu sistem de operare Windows 7, dispune de interfața grafică de manipulare (Figura 4.24).

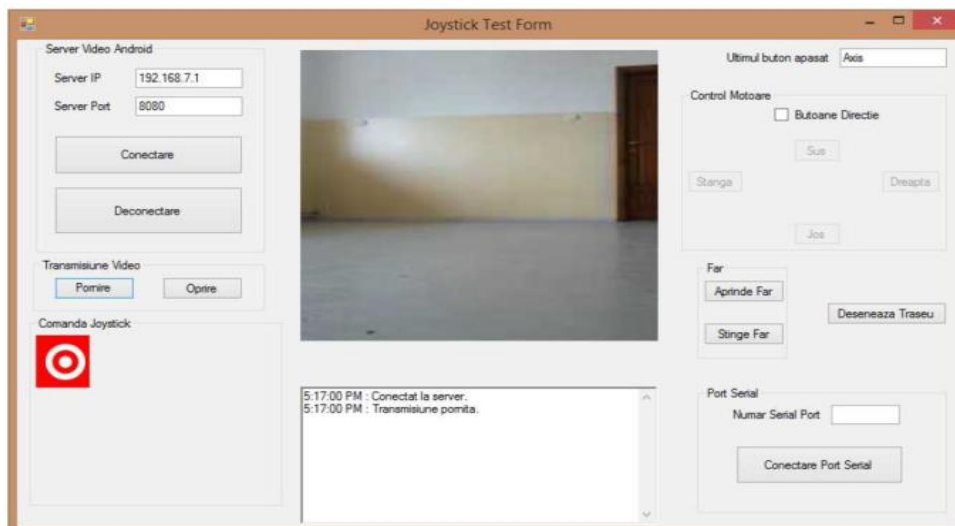


Figura 4.24 Interfața operator – PC [Sandru, 2015]

Programul (Anexa 4.25) este dezvoltat în mediul de programare C sharp [***, 4.7] și are două roluri:

- a) Controlează direcțiile de mișcare ale robotului mobil, utilizând mouse-ul calculatorului, prin care se stabilește o anumită traiectorie la o viteză aleasă. În același timp, se poate activa led-ul de la sistemul video și folosirea lui pentru iluminarea unui mediu cu lumină ambientală scăzută sau pe timp de noapte;
- b) Trasarea unor traiectorii în cadranul software aferent, instalat în PC (prin intermediul mouse-ului), pe care trebuie să se deplaseze robotul mobil. În final, robotul mobil trebuie să execute pe suprafața de lucru, traiectoria impusă.

În Figura 4.25 este prezentat un exemplu de traiectorie de realizat pentru robotul mobil. Distanța pe care robotul o va parcurge va fi egală cu suma lungimilor tuturor segmentelor trasate.

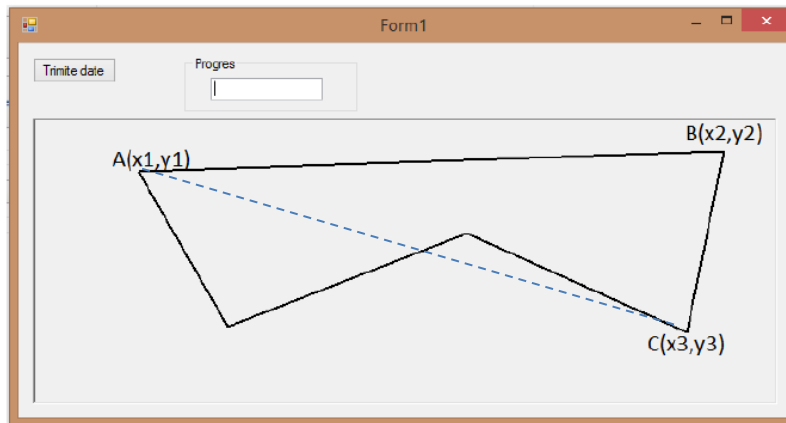


Figura 4.25 O traiectorie experimentată [Sandru, 2015]

Distanța între două puncte (în cazul de față A și B) se poate calcula pe baza relației [Postelnicu, 1980]:

$$l_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (4.20)$$

unde (x_A, y_A) și (x_B, y_B) sunt coordonatele punctului A și, respectiv, B.

Considerăm notațiile: l_{AC} – lungimea segmentului dintre punctele A și C; l_{BC} – lungimea segmentului dintre punctele B și C; l_{AB} – lungimea segmentului dintre punctele A și B.

Se consideră triunghiul format din segmentele (AB) , (BC) și (AC) . Pentru găsirea unghiului de viraj, de la segmentul (AB) la segmentul (BC) , este necesar să se determine unghiul \hat{B} din triunghiul ABC (Figura 4.4).

Utilizând teorema lui Pitagora, generalizată în triunghiul ABC, se poate scrie [Postelnicu, 1980]:

$$B = \arccos\left(\frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2 - l_{BC}^2}{2 \cdot l_{BC} \cdot l_{AB}}\right) \quad (4.21)$$

În prima etapă se va lua fragmentul de traiectorie descris doar de punctele A, B, C (Figura 4.26), pentru sensul de parcurgere a traiectoriei din punctul START până în punctul STOP. Pasul succesiv este de stabili poziția punctului C în raport cu segmentul (AB). Pot fi definite zonele spațiului în raport cu traiectoria și sensul de parcurgere în zona stângă, respectiv zona dreaptă (Figura 4.26).

Considerând dreptele trasate într-un plan, prin punctele (A, B) și, respectiv (B, C), se pot determina coeficienții unghiulari ai dreptelor [Sandru, 2015]:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \\ m_2 &= \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Pentru poziția relativă a celor trei puncte, există următoarele situații:

- Punctele sunt coliniare, dacă $m_1 = m_2$;
- Punctul C este în spațiul din stânga prelungirii dreptei (AB), dacă $m_2 > m_1$;
- Punctul C este în spațiul din dreapta prelungirii dreptei (AB), dacă $m_2 < m_1$.

În funcție de poziția relativă a acestor puncte se stabilește prin software-ul de lucru care este sensul de virare al robotului.

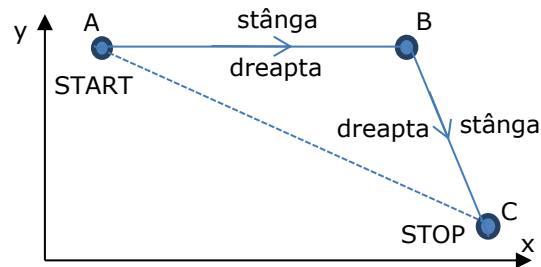


Figura 4.26 Traiectoria robotului descrisă de punctele A, B, C

Demonstratorul dispune de 4 subsisteme de acționare SA_j ($j=1\dots4$) independente (Figura 4.27). Fiecare subsistem este compus dintr-un servomotor de c.c. conectat la o roată motrică, prin intermediul unei transmisii cu roți dințate.

Sistemul de coordonate $O_{RI}x_{RI}y_{RI}$ atașat demonstratorului are originea în centrul de greutate $CG=O_{RI}$ al microrobotului (Figura 4.28).

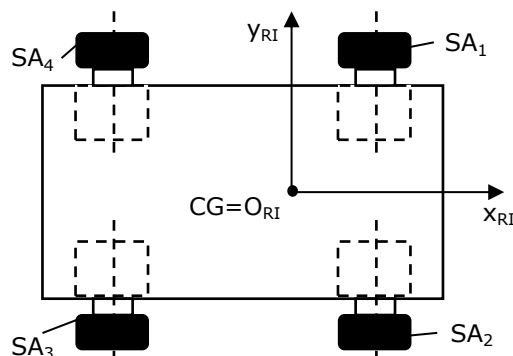


Figura 4.27 Sistemul de coordonate și modulele de acționare ale robotului mobil

Un modul de acționare este compus din: motorul de curent continuu cu magnet permanent, reductorul de turație cu raportul de transmitere (Anexa 4.24.).

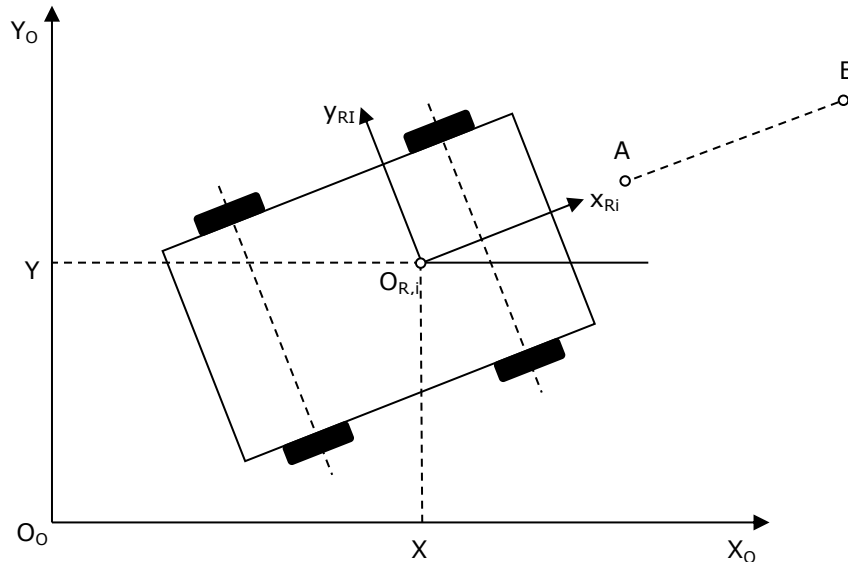


Figura 4.28 Sistemul de coordonate atașat, cu originea în centrul de greutate

Schema electrică principală a unui modul de acționare este prezentată în Figura 4.29.

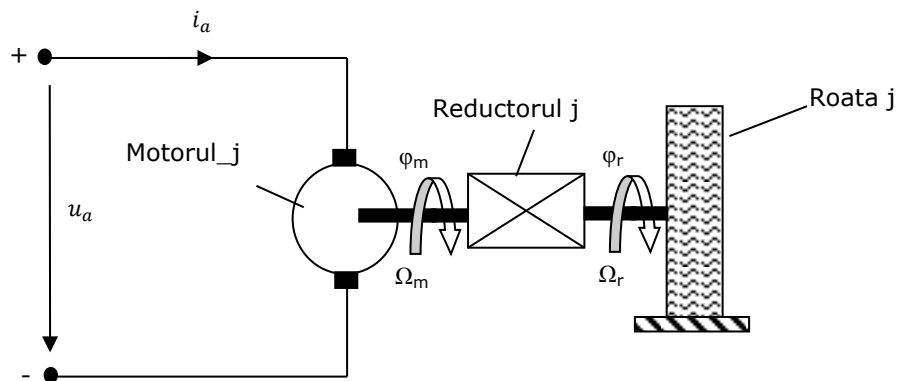


Figura 4.29 Schema electrică principală a unui modul de acționare

Modelul matematic al modului de acționare a unei roți (Figura 4.29) este descris de sistemul de ecuații:

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R_a}{L_a} i_a - \frac{k_e}{L_a} \Omega + \frac{u_a}{L_a} \quad (4.23)$$

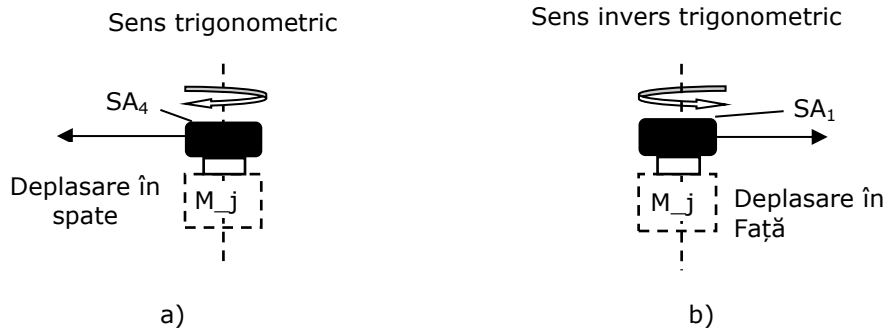
$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{k_m}{J} i_a - \frac{k_f}{J} \Omega - \frac{1}{J} m_s \quad (4.24)$$

Semnificația notațiilor din sistemul de ecuații este prezentată în Tabelul 4.6.

Tabel 4.6 Semnificația notațiilor din sistemul de ecuații

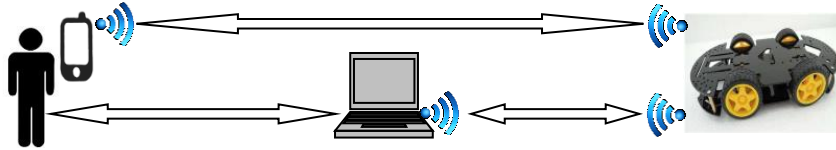
Simbol	Descriere	Unitate de măsură
K_m	Constanta de cuplu	$[Nm/A]$
K_f	Constanta frecărilor vâscoase	$\left[\frac{Nms}{rad}\right]$
M	Constanta frecărilor statice	$[-]$
R_a	Rezistența indusului	$[\Omega]$
L_a	Inductivitatea indusului	$[H]$
i_a	Curentul prin indus	$[A]$
m_a	Cuplu motor	$[Nm]$
Ω	Viteza unghiulară a rotorului	$[rad/s]$
J	Momentul de inerție, redus la rotor	$[kgm^2]$

Sensul de mișcare al robotului mobil pe o traiectorie liniară AB se definește prin orientarea prealabilă a robotului: axa O_{RiXi} sistemului atașat robotului să coincidă cu sistemul segmentului de realizat și orientat în sensul corespunzător (Figura 4.28). Suplimentar, menționăm faptul că folosim noțiunea de mișcare în față, respectiv în spate. Corelarea sensului de mișcare a robotului cu sensul de rotație a roții este prezentată în Figura 4.30.

**Figura 4.30** Corelarea sensului de mișcare

Virajul robotului se realizează prin modificarea turației fiecărui motor în parte, de către controlerul Atmel AVR care schimbă factorul de umplere PWM.

Metoda prin care se realizează datele de intrare și cele de ieșire din sistem, controlul utilizând un telefon și un calculator, sunt prezentate în Figura 4.31.

**Figura 4.31** Metoda de comunicare și control între utilizator și robotul mobil

Pentru a realiza o comunicare cu robotul, trebuie utilizat un protocol de comunicare între PC și controlerul acestui robot. Protocol de comunicare utilizat este pentru o interfață de comunicare serială. Transmisia datelor se realizează prin intermediul sistemului de comunicare la distanță bluetooth.

Pentru cele patru motoare integrate în robotul mobil, au fost stabilite valorile de comandă pe portul serial, comenzi care sunt recepționate și interpretate

de către controlerul Atmel AVR. Controlerul Atmel are încărcat în el firmware-ul scris în limbajul de programare C (Anexa 4.26), dedicat pentru a recunoaște comenzile primite de la softul „master” de control (care rulează pe un PC).

Portul serial este capabil să permita o transmisie pe 8 biți, cu un număr standard cuprins între 0 și 255 (în cazul utilizat de noi 0 până la 239), conform Tabelului 4.7.

Tabel 4.7 Protocolul de comenzi a datelor seriale pentru demonstrator.

Motoare	Acțiune	Caracterul corespunzător comenzii pentru:		
		Stop	Viteza minimă	Viteza maximă
Motor 1	rotație față	0	1	29
	rotație spate	30	31	59
Motor 2	rotație față	60	61	89
	rotație spate	90	91	119
Motor 3	rotație față	120	121	149
	rotație spate	150	151	179
Motor 4	rotație față	180	181	209
	rotație spate	210	211	239

Viteza este controlată prin semnal de tip PWM (Pulse Width Modulation). Valoarea echivalentă caracterului comenzii din protocolul prezentat în Tabelul 4.7 corespunde factorului de umplere al PWM-ului. Tensiunea de lucru pe motor se va situa între valoarea maximă HIGH=5V și LOW=0V.

Viteza minimă este dată de valoarea cea mai mică a numărului din setul corespunzător fiecărui motor. Viteza maximă corespunde valorii numerice maxime a setului corespunzător aceluiași motor. De exemplu, pentru Motor 1, cu sens de rotație față, valoare=0, motorul este oprit; Motor 1 valoare=1, viteza este minimă; Motor 1, valoare=29, viteza este Maximă, după cum se observă în Tabelul 4.7.

Perioada de timp corespunzătoare valorii ON dintr-un ciclu ON-OFF se numește factor de umplere și reprezintă, în medie, tensiunea primită de dispozitivul electronic alimentat. Această metodă este utilizată pentru a controla circuitele analogice, pentru a avea o variație de turație la un motor electric sau pentru a controla intensitatea luminoasă la un led [***, 4.13].

Pentru setul de caractere (rezervă) cuprins între numărul 239 și 255, comenzi ce pot fi transmise controlerului Atmel AVR prin protocolul de comunicare, se pot stabili alte funcții de comandă și control.

Gamepadul utilizat are două joystick-uri pentru controlul robotului la distanță, conectate la un PC pe care rulează softul dedicat. Softul a fost scris în C# și s-a utilizat DirectX SDK, [***, 4.14], [***, 4.15].

Pentru detectarea mișcărilor dispozitivelor de intrare și celor de la joystick, este creată automat o mărime variabilă care reprezintă Axele Ox și Oy. Variabilele salvate sunt între valorile 0 și 65535 și apoi divizate cu 2184.5, pentru a fi reduse în intervalul de valori 1 – 29. Variabilele sunt convertite corespunzător Tabelului 4.7, așadar mișcările robotului vor fi în concordanță cu mișcările poziției de joystick.

Informațiile de mișcare prelucrate sunt trimise de la PC prin intermediul unui Bluetooth, utilizând o întârziere de 50ms între seturile de date. Microcontrolerul utilizează un adaptor Bluetooth la UART (universal asynchronous receiver/transmitter), interfață prin care primește informațiile trimise de Bluetoothul calculatorului de comandă.

Informațiile primite sunt procesate ulterior după modelul din Tabelul 4.7 și vor fi actualizați regiștrii PWM, pentru fiecare motor.

Algoritmul de control al robotului mobil realizat este în buclă deschisă, conform schemei bloc prezentate în Figura 4.32

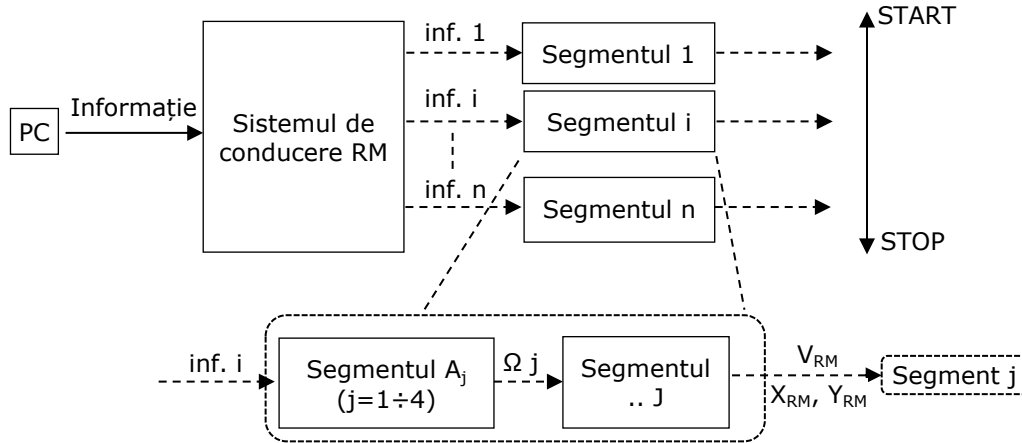


Figura 4.32 Sistemul de control în buclă deschisă a robotului

Demonstratorul realizat este destinat să evolueze în medii cu coeficienți de frecare diferiți. Asigurarea unei cinematici apropiate de cea estimată necesită cunoașterea coeficientului de frecare pentru roată cu suprafața de contact. Din acest motiv, înainte de lansarea pe traiectorie, se efectuează un test de calibrare. Testul de calibrare constă din comanda unei mișcări de rotație pentru microrobot în jurul unei axe centrale (5 rotații complete de rază minimă). Comanda se realizează prin acțiunea operator mașină. Prezentarea machetei prototipului original se află în Figura 4.33.

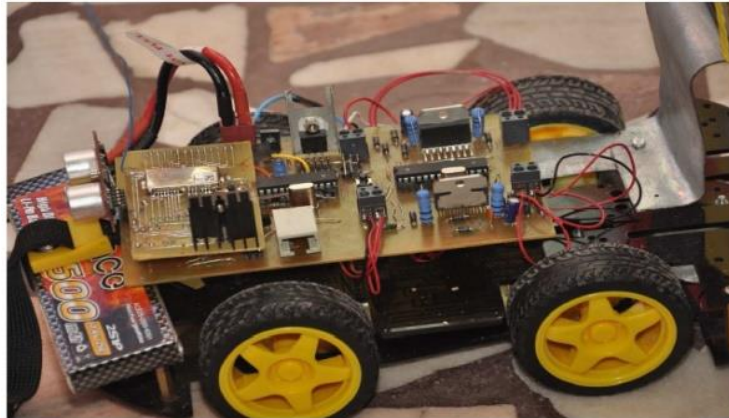


Figura 4.33 Macheta prototipului funcțional

Pentru cercetări viitoare, algoritmul de control trebuie să compenseze lipsa folosirii informațiilor de la prea mulți senzori, așa că se va încerca optimizarea la maximum a demonstratorului, astfel încât demonstratorul să poată funcționa în parametri ceruți de utilizator.

Pentru aceste tipuri de experimente viitoare, se va lua în considerare doar utilizarea unui senzor de tensiune și al unui senzor de curent, pentru fiecare motor (4

la numar), pentru a putea stabili viteza și cuplul de rotație.

La acest demonstrator s-a mai prevăzut și posibilitatea ca acesta să colaboreze cu o dronă care dispune de un senzor video. Imaginea achiziționată de dronă este transmisă la un PC (centrul de coordonare și control). Analiza imaginilor permite comandarea robotului în mediul de lucru pentru a evita anumite obstacole.

4.3.6. Demonstrator pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil (D-6) [Stanescu..., Sandru, 2015]

4.3.6.1. Introducere

Cerințele impuse demonstratorului au avut în vedere:

- să corespundă structurii mecanice specifice unui robot mobil;
- să dispună de o structură mecanică care să permită dezvoltări ulterioare pentru materializarea unor variante constructive;
- să permită abordări multiple pentru studiul și experimentarea unor probleme colaterale, specifice componentelor mecatronice: mecanisme; informatică; control. Se pot menționa în acest sens: compararea subsistemelor de locomoție cu alte variante, modalități de programare instruire ale robotului, studiul comportării robotului mobil într-un mediu cu obstacole.

4.3.6.2. Analiza constructivă a demonstratorului

Un robot mobil trebuie să dețină numeroase funcții pentru a putea exercita acțiuni în mediul de utilizare. Unele dintre acțiunile importante sunt date de capacitatea de a percepe informații din exterior și capacitatea de a identifica obiecte în aria de activitate.

Acest lucru se poate face prin folosirea unor sisteme senzoriale, în același timp sau pe rând, în funcție de informația care trebuie obținută [Martin, 1988], [Brownston, 1985].

Pentru a detecta obiecte din mediul în care robotul își desfășoară activitatea, au fost utilizați senzorii ultrasonici. Această metodă este des întâlnită datorită faptului că senzorii au un cost redus și sunt ușor de procurat, metodă utilizată și în studiul bibliografic: [Sungbok, 2012], [McKerrow, 1993], [Kim, 2010], [Almanza, 2015].

Acest demonstrator a fost dezvoltat pentru a detecta obiecte cu ajutorul senzorilor ultrasonici, aflate în calea traiectoriei robotului, și a le evita prin modificarea parametrilor de mers.

Demonstratorul a fost materializat prin integrarea componentelor mecatronice (B1; B2; A4; B5; A7; C7) din Tabelul 4.2.

Modelul de robot mobil utilizat în acest demonstrator, cât și componentele din care este alcătuit, sunt prezentate în Figura 4.34. În Anexa 4.9 este prezentat codul sursă pentru robotul mobil (D-6). Robotul este alcătuit din următoarele componente:

- Sistemul de deplasare este alcătuit din patru roți, cele două din spate sunt de tracțiune și cele două din față, pentru direcție;
- Micro-controlerul Arduino Uno (Anexa 4.3);
- Sistemul de alimentare ce asigură o tensiune de 9 V;
- Sistemul senzorial ultrasonic de la Parallax Ping (Anexa 4.3);
- Sistemul de trasare a traiectoriei.

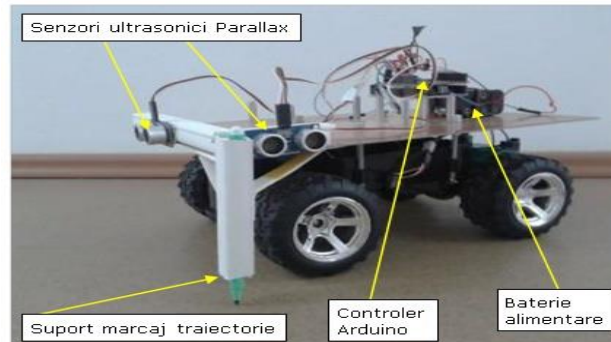


Figura 4.34 Demonstrator mobil humanoid [Stanescu..., Sandru, 2015]

Schema de acționare a mecanismului de direcție pentru acest demonstrator mecatronic este prezentată în Figura 4.35.

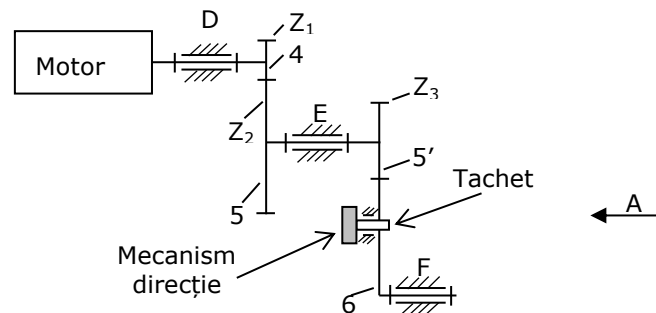


Figura 4.35 Schema mecanismului de direcție [Stanescu..., Sandru, 2015]

Notațiile pentru Figura 4.35 sunt următoarele: punctele 4, 5, 5' sunt roți dințate; 6 este sectorul dințat; D, E, F sunt cuplele cinematice. O vedere din direcția punctului A, a componentei de transmisie (Figura 4.3) formată din vectorul dințat (6), tchetul (T) și pinionul 5', este prezentată în Figura 4.36.

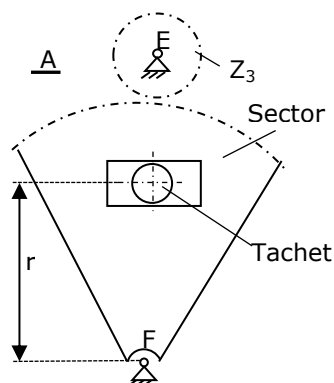


Figura 4.36 Parte componentă din transmisie [Stanescu..., Sandru, 2015]

Raportul de transmitere, pentru schema cinematică prezentată, se exprimă prin relația:

$$i_{46} = \frac{\omega_m}{\omega_{sd}} = \frac{Z_5}{Z_4} \cdot \frac{d_6}{d_5} = \frac{35}{10} \cdot \frac{50}{12} = 14.58 \quad (4.25)$$

Notațiile utilizate sunt cele clasice (mecanisme). Valorile parametrilor au fost identificate pe modelul fizic integrat în sistem. Viteza liniară a tachelului v_T , în direcția de mișcare, este dată de relațiile:

$$\begin{cases} v_T = \omega_{sd} \cdot r \\ \omega_{sd} = \frac{\omega_m}{i_{46}} \end{cases} \quad (4.26)$$

Sau:

$$v_T = \omega_m \cdot \frac{r}{i_{46}} \quad (4.27)$$

În Figura 4.37 este prezentat un fragment din sistemul de direcție.

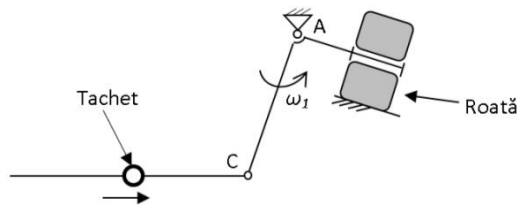


Figura 4.37 Fragment sistem de direcție

Conform cu notațiile și dimensiunile prezentate anterior, în Figura 4.38.a și Figura 4.38.b, se poate determina unghiul de oscilație a balansierului.

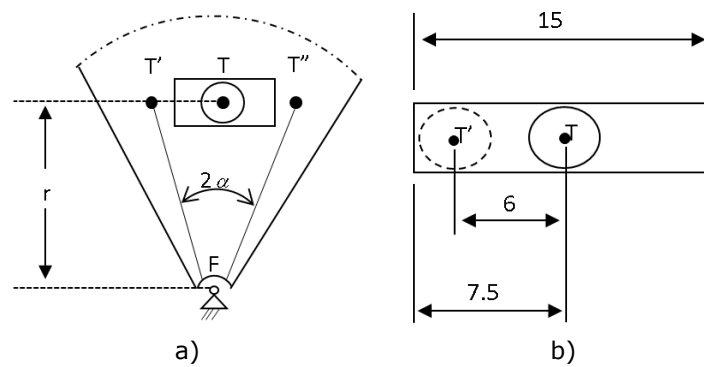


Figura 4.38 Balansierul de oscilație

Modelul matematic utilizat este:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{T'T}{TF} = \frac{6}{r} = \frac{6}{15} = 0.4 \quad (4.28)$$

$$\alpha_0 = a \tan(0.4) \quad (4.29)$$

$$\alpha_0 = 21.8^\circ \quad (4.30)$$

Având în vedere determinările anterioare, se poate calcula viteza de translație a tachelului (T), prin următoarea formulă:

$$l_{AC} = 16 \text{ mm} \quad (4.31)$$

$$v_T = v_C = \omega_1 \cdot l_{AC} \cdot \cos \alpha_0 \quad (4.32)$$

4.3.6.3. Analiza experimentală a funcționării robotului în prezența unui obstacol

Toate experimentele pentru detecția obstacolelor și modificarea direcției în urma detectării acestora, s-au realizat pe platforma mobilă prezentată în Figura 4.34. În Figura 4.39, senzorul S1 oferă informații despre apropierea unui obstacol din fața robotului. Senzorul S2 oferă informația detectării unui obstacol din direcția laterală a acestuia.

La apariția unui obstacol, semnalul de la S1 se modifică și robotul se oprește la o anumită distanță prescrisă de obiect. La modificarea semnalului de la S2, care înseamnă detecția unui obstacol lateral, robotul face un viraj opus direcției în care a fost detectat obstacolul, menținând o distanță constantă de 0,30 m, față de orice obiect lateral întâlnit.

Pentru a putea evidenția modificarea traiectoriei la întâmpinarea unor obstacole, s-a montat un obiect de scriere la capătul platformei robotului. Vârful de scriere trasează o linie pe o hârtie, amplasată sub robotul mobil, pe direcția acestuia de deplasare.

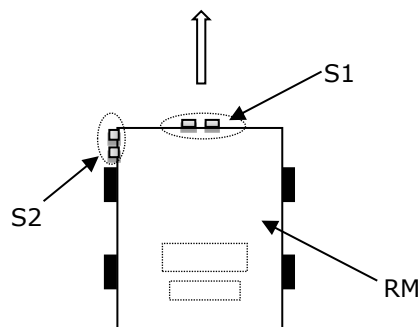


Figura 4.39 Amplasarea senzorială pe platforma mobilă

Lungimea traseului pe care s-a realizat experimentul a fost de 2 m. Traseul a avut sub platforma robotică o suprafață de hârtie pe care să poată fi trasată

diagrama modificării traseului, în funcție de obstacolele întâlnite.

Unul dintre experimente a fost acela de a amplasa la o distanță de 0,06 m față de perete un obstacol cu o lungime de 0,30 m. Traseul propus este prezentat în Figura 4.40.

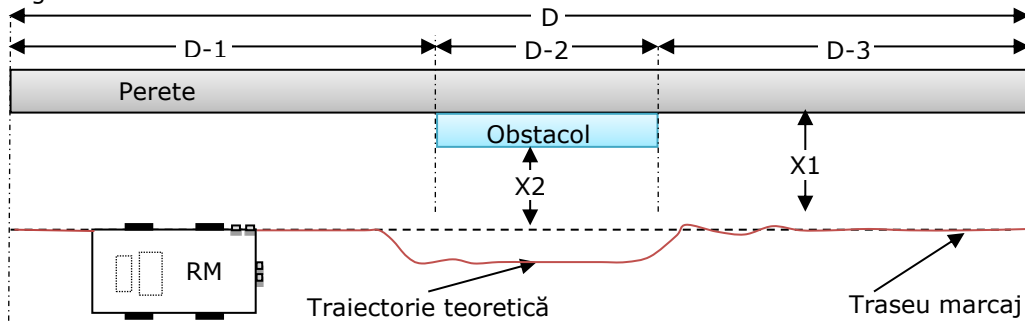


Figura 4.40 Traseu experimental

Notațiile din Figura 4.40 sunt următoarele: distanța totală a experimentului, notată cu $D = 2$ m, distanța până la primul obiect, notată cu $D-1 = 0,90$ m, lungimea obstacolului, notat cu $D-2 = 0,30$ m, lungimea de la obstacol până la finalizarea experimentului, notată cu $D-3 = 0,80$ m, distanța normală prescrisă față de robot și obiect este notată cu $X1 = 0,30$ m, distanța la detectare a unui obstacol este $X2 = 0,24$ m.

În dreptul senzorului S2, robotului i-a fost atașat un element de inscripționare cu ajutorul căruia a putut fi trasată traiectoria.

Au fost realizate trei experimente privind timpul de răspuns al direcției, modificând parametrii programului după cum urmează: întârziere de 0 s, întârziere 0,25 s și întârziere 0,5 s.

La fiecare 0,01 m a medianei a fost măsurată deviația robotului față de aceasta. Pentru o mai bună exemplificare asupra datelor, deviația mai mică de 0,30 m față de perete a fost notată cu semnul (+), iar deviația mai mare de 0,30 m a fost considerată negativă. O parte din rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.8.

Tabel 4.8 Rezultate obținute în funcție de timpul de răspuns al roților de direcție

Delay = 0		Delay = 0.250 s		Delay = 0.500s	
D [m]	ΔX [cm]	D [m]	ΔX [cm]	D [m]	ΔX [cm]
0	0	0	0	0	0
0.1	-0.8	0.1	-1	0.1	-0.9
0.2	-0.8	0.2	-0.7	0.2	0
0.3	-0.8	0.3	-1	0.3	-1.7
0.4	-0.5	0.4	-0.7	0.4	-0.6
0.5	-0.7	0.5	-0.7	0.5	-0.3
0.6	-0.4	0.6	-1.6	0.6	-1.8
0.7	-0.6	0.7	0	0.7	0.8
0.8	-0.7	0.8	0.6	0.8	0.5
0.9	-1.4	0.9	-1.8	0.9	-2.2
...

Prezentarea celor trei seturi de experimente ale traiectoriei desenate de robotul mobil, sunt prezentate în Figurile 4.41÷4.43.

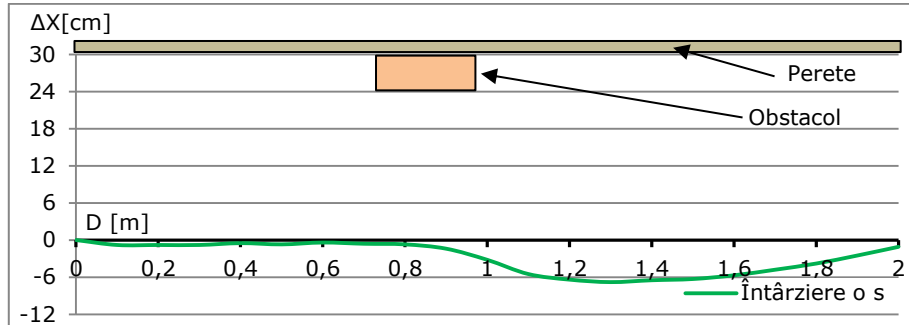


Figura 4.41 Traectoria robotului, timpul de întârziere 0 s.

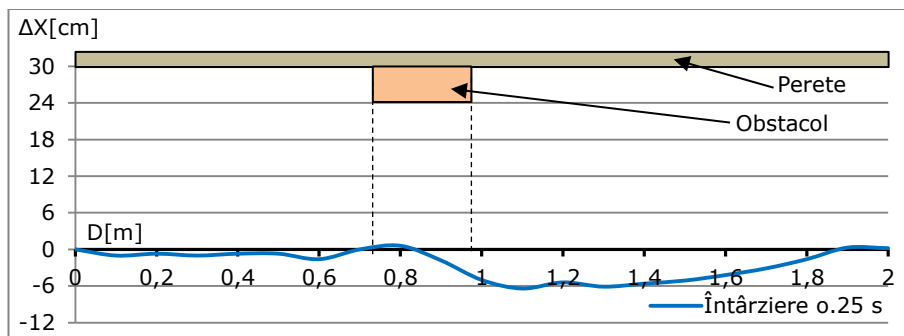


Figura 4.42 Traectoria robotului, timpul de întârziere 0,25s

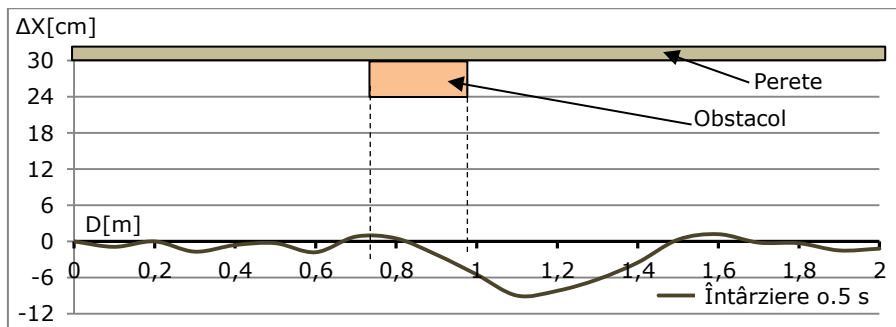


Figura 4.43 Traectoria robotului, timpul de întârziere 0,5s

4.3.6.4. Concluzii

În urma realizării experimentelor se pot concluziona:

- Deplasarea utilizând sisteme de control fuzzy oferă un comportament acceptabil al robotului mobil în mișcarea de evitare a obstacole, prezente în scena de lucru;
- Timpul de întârziere influențează traiectoria robotului. Din graficile obținute se

observă că deviația cea mai mare de la obstacol față de traiectoria teoretică, apare în cazul în care întârzierea a fost setată la cel mai mare răspuns;

- Din experimentele efectuate, se recomandă utilizarea unei întârzieri de 0 s, pentru ca robotul să răspundă în timp real la modificarea parametrilor de mers, în funcție de semnalul primit la apariția unor obstacole.

4.3.7. Demonstrator mecatronic pentru studiul senzorilor ultrasonici (D-7) [Stanescu..., Sandru, 2015]

4.3.7.1. Introducere

Senzorii ultrasonici sunt utilizați pe scară largă în structura roboților mobili, pentru a măsura distanțe până la un anumit obstacol.

Parametrii funcționali ai senzorilor ultrasonici sunt influențați de precizia elementelor senzoriale acustice și domeniile de lucru [Carpint, 2003].

În literatura de specialitate se fac referiri la variante constructive și funcționale ale elementelor senzoriale utilizate în percepția senzorială a informațiilor din mediul în care robotul își desfășoară activitatea. Una dintre metodele uzuale de lucru a senzorilor ultrasonici este cea a timpului de zbor (în engleză *time of flight* TOF). Elementul senzorial acustic bazat pe efectul Doppler este abordat într-o serie de lucrări [Ribeiro, 2004], [Dobashi, 2012].

O abordare de rezolvare a localizării unui obstacol pe baza unor surse acustice pasive multiple este tratată în [Lui, 2009]. Cercetătorii folosesc metoda timpilor diferiți de sosire (TDOA – time difference of arrival) pentru localizarea obstacolului.

În numeroase materiale bibliografice au fost studiate diverse metode de detectare a obiectelor într-un mediu de lucru. Rețelele neuronale și elementele senzoriale acustice sunt prezente în literatură [Mubarak, 2013], [Patil, 2012]. Sinteze de referință referitoare la procesul de detecție sunt prezente în cercetările autorilor [Chang, 1996], [Clerentin, 2000], [Harmanec, 1999].

Pentru a reduce unele erori de măsurare și interpretare, au fost abordate și aspecte de corecție probabilistică [Bison, 1997], [Meger, 2009], metode empirice de detecție cu utilizarea probabilisticii [Bishop, 2010] sau fuziunea senzorială și analiză cantitativă de localizare și mapare probabilistică [Klir, 1999].

Cu toate acestea, unii autori [Zouaghi, 2011] consideră că senzorii ultrasonici au limitări funcționale, datorită unor parametri constructivi cum ar fi: unghiul de directivitate, sensibilitate redusă la suprafețe lucioase [Dobashi, 2012], sensibilitate redusă în a detecta obiecte într-o zonă mică, sub 0.5 m [Toledo, 2000] sau erorile de măsurare datorate vitezei de propagare a sunetului în funcție de temperatura ambientală.

Cerințele impuse demonstratorului (D-7) au avut în vedere:

- Să corespundă unor analize multiple pe diverse variante de senzori ultrasonici;
- Să corespundă cerințelor unei structuri mecatronice;
- Să permită abordări multiple pentru studiul și experimentarea unor probleme colaterale specifice componentelor mecatronice: mecanisme; informatică; control. Se pot menționa în acest sens: analiza influențelor produse de mediu asupra caracteristicilor funcționale ale senzorilor; analiza probabilistică a fenomenelor prezente; posibilități de fuziune ale informațiilor.

Demonstratorul mecatronic (D-7) urmărește asigurarea condițiilor de lucru pentru determinarea caracteristicilor senzorilor ultrasonici, interpretarea acestora și evidențierea influenței temperaturii asupra acestora.

Testele experimentale au fost efectuate pe senzorul ultrasonic, Parallax Ping, a cărei frecvență de operare este de 40 KHz (Anexa 4.3).

4.3.7.2. Demonstratorul mecatronic

Demonstratorul a fost materializat prin integrarea componentelor mecatronice (B5 și B7) din Tabelul 4.2.

Pentru desfășurarea experimentelor s-a prevăzut utilizarea unei planșe gradate pe care s-au amplasat diferite corpuri geometrice (Figura 4.44.a). La celălalt capăt s-a amplasat sistemul senzorial ultrasonic Parallax Ping de detecție (Figura 4.44.b), conectat la controlerul Arduino Uno. Pentru a verifica caracteristica măsurată de senzorul ultrasonic pe durata experimentelor, distanța de referință dintre sistemul senzorial ultrasonic și obstacol a fost urmărită cu ajutorul telemetrului cu laser Bosch DLE 70 Professional (Anexa 4.1).

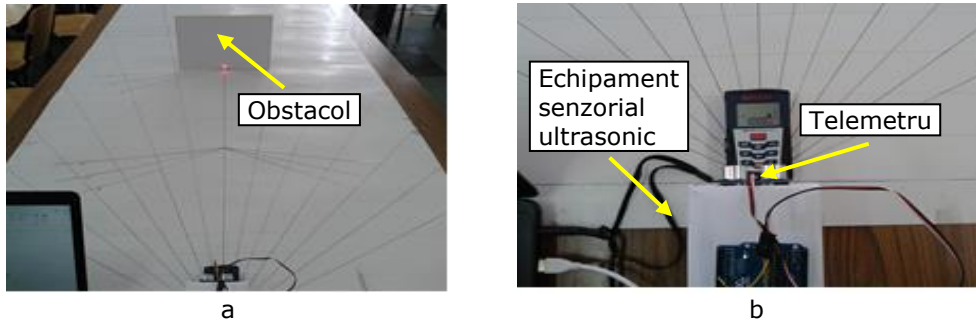


Figura 4.44 a) Stand experimental; b) Telemetru Bosch și senzorial ultrasonic

Sistemul senzorial de măsură, compus din senzorul ultrasonic și placa de achiziție Arduino, a fost conectat la un PC, pentru colectarea și analiza datelor (Anexa 4.3). Schema de conexiune este prezentată în Figura 4.45.

În cadrul standului a fost integrat un termometru de uz didactic pentru măsurarea temperaturii pe parcursul experimentelor.

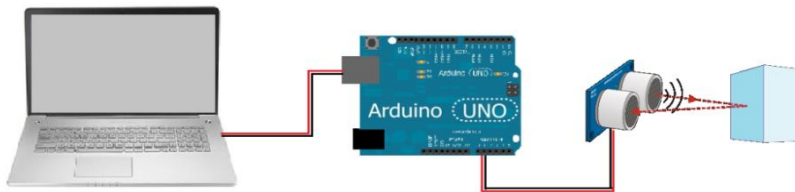


Figura 4.45 Sistemul de achiziție de date

4.3.7.3. Analiză experimentală și rezultate

Demonstratorul experimental este construit pentru a permite analiza influenței temperaturii mediului asupra caracteristicii senzorului ultrasonic și posibilitatea corecției în timp real a valorilor caracteristici prin măsurarea temperaturii și introducerea unui factor de corecție.

Procesul prin care se încearcă determinarea distanței de la senzorul ultrasonic până la obstacol are în vedere emiterea unei unde acustice în mediul

analizat, recepția undei reflectate și estimarea timpului de zbor (TOF).

Elementul senzorial emițător (E) transmite în mediu un set scurt de impulsuri, cu o durată de 2..5 μs. După terminarea transmisiei, este generat un semnal scurt care definește originea duratei de parcurgere a semnalului sonor. Se așteaptă recepționarea semnalului reflectat (750 μs), rezultat prin reflexia undei incidente pe obstacol. Caracteristici ale elementului senzorial pot fi vizualizate în Anexa 4.3.

Terminarea semnalului reflectat va confirma existența unui obstacol, iar timpul scurs până în acel moment va fi timpul t_0 de „zbor” al undei (Figura 4.46). Pe baza acestui timp, distanța parcursă de unda sonoră poate fi calculată prin:

$$d = \frac{c \cdot t_0}{2} \tag{4.33}$$

unde c [m/s] reprezintă viteza undei în spațiul de lucru, iar t_0 [s] timpul de zbor.

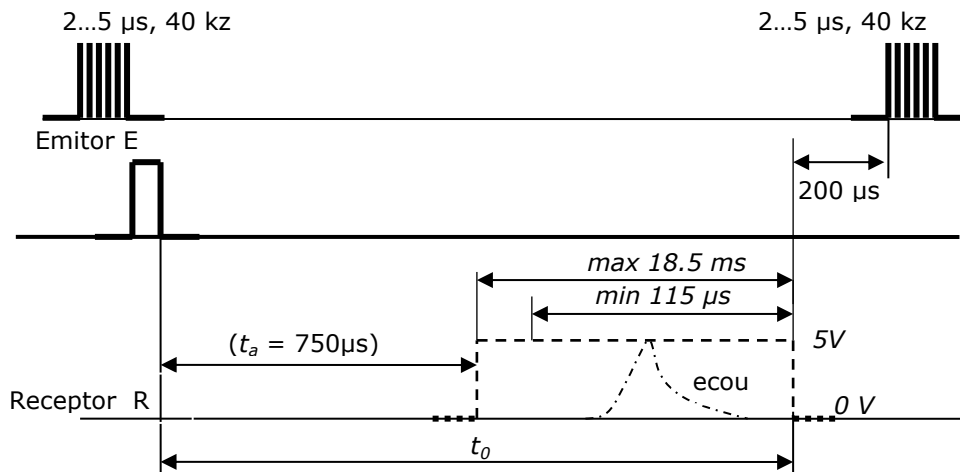


Figura 4.46 Corelarea timpurilor de emisie, recepție și de „zbor” [Stanescu..., Sandru, 2015]

Componenta hardware a sistemului de achiziție este manipulată prin intermediul software-ului Arduino 1.0.5. Este de remarcat faptul că varianta acestui program are o viteză prescrisă pentru unda acustică, corespunzătoare unei temperaturi a mediului de aproximativ 22°C. Acest lucru introduce o componentă de eroare în valoarea măsurii distanțelor, când temperatura mediului de lucru este mai mică sau mai mare de 22°C.

Pentru desfășurarea experimentului, se va construi mediul de lucru după cum este prezentat în Figura 4.47. Semnificațiile notațiilor sunt următoarele: E - elementul senzorial emițător, R - elementul senzorial receptor, D = 13 mm - diametrul elementului senzorial; D-1=25.4 mm - distanța dintre axele celor două elemente senzoriale; Ob - obstacol în scena de lucru; d_L - distanța de referință determinată cu ajutorul telemetrului laser.

Obstacolul de formă dreptunghiulară, cu $L = 30$ cm și $l = 20$ cm, a fost poziționat pe suportul grafic la distanțe diferite în raport cu sistemul senzorial.

Experimentul s-a desfășurat într-o incintă închisă, fără curenți de aer perturbatori. Pe parcursul desfășurării tuturor experimentelor, s-a înregistrat temperatura mediului ambiant cu ajutorul unui termometru integrat în sistem.

Experimentele au fost desfășurate în două variante.

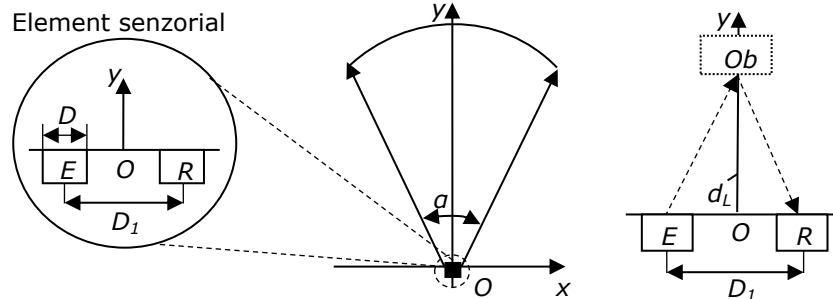


Figura 4.47 Configurația geometrică senzor - obstacol [Stanescu..., Sandru, 2015]

În primul experiment s-a încercat determinarea distanței în intervalul 0-150 cm, realizând măsurători din 10 în 10 cm, de la senzorul ultrasonic, la obiectul detectat. Obiectul aflat în fața senzorului, este un corp de formă paralelipipedică, cu $L=28,7$ cm și $l=5,8$ cm. Din datele obținute, s-a putut calcula diferența de măsură prin:

$$\Delta d = d - d_m \quad (4.34)$$

unde: d este distanța de referință, măsurată cu ajutorul telemetrului laser; d_m este distanța obținută prin măsurarea cu sistemul senzorial ultrasonic. Eroarea relativă, este dată de :

$$\varepsilon = \frac{d - d_m}{d} \cdot 100[\%] \quad (4.35)$$

Eroarea, relativă medie, este:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i}{i} [\%] \quad (4.36)$$

unde i este numărul de măsurători. Figura 4.49 reprezintă graficul obținut în urma acestor măsurători.

În cel de-al doilea experiment, obstacolul utilizat a fost un corp cilindric, cu un diametru de 8 cm și o lungime de 61 cm. Experimentul s-a desfășurat în aceleași condiții ca și în cazul primului experiment. Rezultatele obținute se află în Figura 4.50.

Având în vedere faptul că temperatura mediului a fost $\theta = 29^\circ\text{C}$, etapa următoare a constat în corecția rezultatelor obținute.

În literatura de specialitate se evidențiază relații diverse pentru calculul vitezei de propagare a sunetului într-un mediu gazos [Mihăilescu, 1958], [Dolga, 199], [Nițulescu, 2002], [Crețu, 1984], [Ohya, 1996]. Viteza sunetului în aer se consideră dependentă de temperatură prin relația:

$$c = 331.5 + a \cdot t \text{ [m/s]} \quad (4.37)$$

unde: t -temperatura mediului [$^{\circ}\text{C}$]; coeficientul a este întâlnit sub diverse valori, cea mai frecventă valoare fiind cea de $0,6 \left[\frac{\text{m/s}}{^{\circ}\text{C}} \right]$.

Utilizând [Ohya, 1996], am estimat că influența temperaturii asupra vitezei sunetului în aer este:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0,584...0,5744 \left[\frac{\text{m/s}}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (4.38)$$

pentru o variație a temperaturii între 20°C și 30°C .

Pentru temperatura $\Theta = 29^{\circ}\text{C}$, aplicând ecuațiile precedente, se obține o valoare a vitezei sunetului $c_1 = 348.9$ [m/s]. Știind că programul de achiziție de informație are o valoare presetată a vitezei sunetului $c_0 = 344.8$ [m/s], se poate calcula indicele de corecție:

$$k = \frac{c_1}{c_0} \quad [-] \quad (4.39)$$

$$k = 1.01189 \quad [-] \quad (4.40)$$

Datele obținute prin aplicarea indicelui de corecție sunt prezentate în Tabelele 4.9-4.12, iar reprezentarea grafică a erorilor este ilustrată în Figurile 4.48-4.51.

Tabel 4.9 Rezultate prelucrate pentru forma paralelipipedică în urma procesului de analiză

Distanța reală	Media distanțelor măsurate	Eroarea de măsurare	Eroarea relativă	Eroarea relativă medie
d [mm]	d_m [mm]	$d - d_m$ [mm]	ε [%]	$\bar{\varepsilon}$ [%]
100	99.50	0.50	0.50	1.38
200	198.90	1.10	0.55	
300	293.30	6.70	2.23	
400	391.20	8.80	2.20	
500	492.40	7.60	1.52	
600	592.00	8.00	1.33	
700	689.20	10.80	1.54	
800	788.70	11.30	1.41	
900	884.30	15.70	1.74	
1000	983.30	16.70	1.67	
1100	1084.80	15.20	1.38	
1200	1187.20	12.80	1.06	
1300	1278.00	22.00	1.69	
1400	1389.00	11.00	0.78	
1500	1482.40	17.60	1.17	

Tabel 4.10 Rezultate prelucrate prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma paralelipipedică

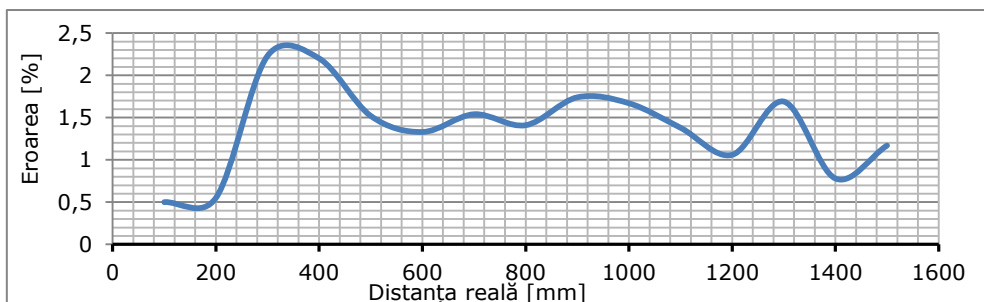
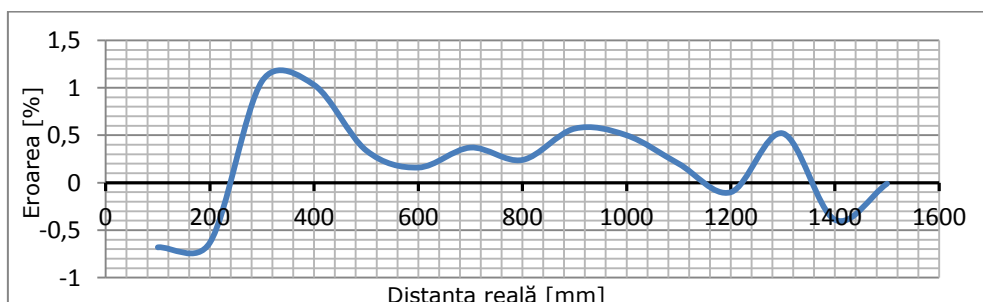
Distanța reală	Media distanțelor măsurate	Eroarea de măsurare	Eroarea relativă	Eroarea relativă medie
d [mm]	d_m [mm]	$d - d_m$ [mm]	ε [%]	$\bar{\varepsilon}$ [%]
100	100.68	-0.68	-0.68	0.21
200	201.26	-1.26	-0.63	
300	296.78	3.21	1.07	
400	395.85	4.14	1.03	
500	498.25	1.74	0.34	
600	599.03	0.96	0.16	
700	697.39	2.60	0.37	
800	798.07	1.92	0.24	
900	894.81	5.18	0.57	
1000	994.99	5.00	0.50	
1100	1097.69	2.30	0.20	
1200	1201.31	-1.31	-0.10	
1300	1293.19	6.80	0.52	
1400	1405.51	-5.51	-0.39	
1500	1500.02	-0.02	-0.01	

Tabel 4.11 Rezultate obținute cu un obstacol cilindric

Distanța reală	Media distanțelor măsurate	Eroarea de măsurare	Eroarea relativă	Eroarea relativă medie
d [mm]	d_m [mm]	$d - d_m$ [mm]	ε [%]	$\bar{\varepsilon}$ [%]
100	99.4	0.6	0.60	-0.115
200	198.9	1.1	0.55	
300	301.2	-1.2	-0.40	
400	402.6	-2.6	-0.65	
500	501	-1	-0.20	
600	602.9	-2.9	-0.48	
700	702	-2	-0.28	
800	803.6	-3.6	-0.45	
900	902.9	-2.9	-0.32	
1000	1001.4	-1.4	-0.14	
1100	1101	-1	-0.09	
1200	1202.3	-2.3	-0.19	
1300	1296.9	3.1	0.23	
1400	1400	0	0	
1500	1498.5	1.5	0.10	

Tabel 4.12 Rezultate prelucrate prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma cilindrică

Distanța reală	Media distanțelor măsurate	Eroarea de măsurare	Eroarea relativă	Eroarea relativă medie
d [mm]	d_m [mm]	$d - d_m$ [mm]	ε [%]	$\bar{\varepsilon}$ [%]
100	100,58	-0,58	-0,582	-1,305
200	201,26	-1,26	-0,632	
300	304,78	-4,78	-1,594	
400	407,39	-7,39	-1,847	
500	506,96	-6,96	-1,391	
600	610,07	-10,07	-1,678	
700	710,35	-10,35	-1,478	
800	813,15	-13,15	-1,644	
900	913,64	-13,64	-1,515	
1000	1013,31	-13,31	-1,331	
1100	1114,09	-14,09	-1,281	
1200	1216,60	-16,60	-1,383	
1300	1312,32	-12,32	-0,948	
1400	1416,65	-16,65	-1,189	
1500	1516,32	-16,32	-1,088	

**Figura 4.48** Graficul de erori din experimentul unu și distanța de referință pentru forma paralelipipedică [Stanescu..., Sandru, 2015]**Figura 4.49** Reprezentarea erorilor în funcție de distanța de referință, prin aplicarea indicelui de corecție pentru forma paralelipipedică

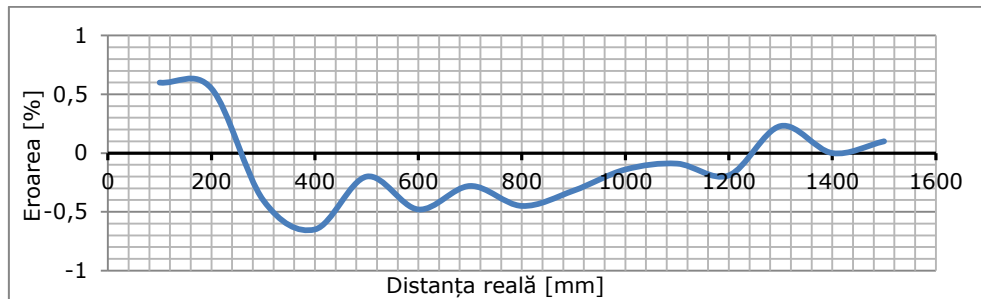


Figura 4.50 Graficul de erori din experimentul numărul doi și distanța de referință pentru un obstacol cilindric [Stanescu..., Sandru, 2015]

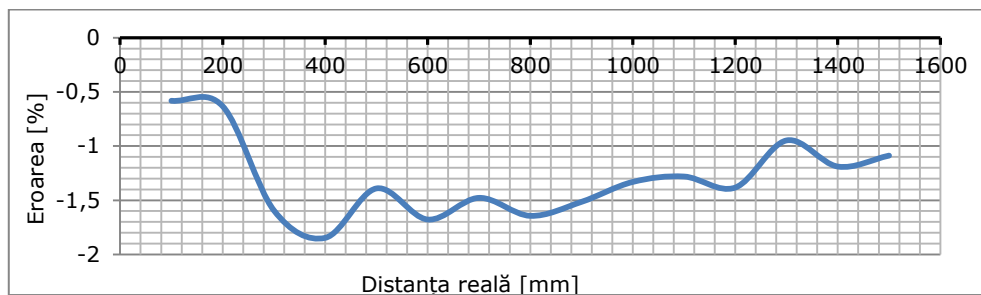


Figura 4.51 Graficul de erori pentru forma cilindrică

4.3.7.4. Concluzii

În urma realizării experimentelor, concluziile sunt următoarele:

- Media distanțelor măsurate de senzorul ultrasonic a fost întotdeauna mai mică decât distanța reală dintre senzor și obiectul paralelipipedic. În cazul obiectului cilindric există o dispersie mai mare a rezultatelor;
- După aplicarea indicelui de corecție, media distanțelor s-a apropiat de valoarea reală, în cazul obiectului paralelipipedic. În cazul obiectului cilindric erorile au crescut;
- Influența temperaturii asupra senzorilor ultrasonici determină schimbări în caracteristicile de funcționare ale acestora;
- Este necesară o analiză a influenței formei suprafețelor de reflexie ale obstacolelor prezente asupra caracteristicii senzorului ultrasonic;
- În sistemul mecatronic poate fi integrat un element senzorial pentru măsurarea temperaturii și astfel se pot aplica corecțiile necesare pentru procesul de măsurare.

4.3.8. Demonstrator pentru comanda și controlul dronei Parrot AR 2 (D-8)[Sandru, 2016]

4.3.8.1. Introducere

Prin tehnologia mecatronicii s-au putut realiza noi aparate care folosesc principiul pendulului invers, pentru menținerea stabilității. Unele dintre aceste aparate de zbor au fost denumite drone.

Dronele pot fi echipate cu diverse sisteme senzoriale inteligente, cum ar fi: camere video, GPS, sisteme de cartografiere, senzori de măsurare distanță, giroscop și accelerometru pentru a măsura viteza, presiunea atmosferică etc. [Grzonka, 2012], [Richter, 2013].

Drona trebuie să estimeze și să cunoască traiectoria aproximativă de deplasare, pentru a sta în apropierea zonei de desfășurare a activității, când obiectul se află în mișcare.

În literatura de specialitate sunt prezentate studii avansate al vehiculelor UAVs (Unmanned aerial vehicles) și drone [Mueller, 2013]. Literatura de specialitate abordează probleme diverse de studiu în domeniul dronelor:

- posibilități de modificare ale legilor de mișcare [Sahoo, 2015];
- algoritmi destinați a optimiza problemele legate de traiectoriile de mișcare: deplasare minimă [Mellinger, 2011], timp minim [Hehn, 2011], cel mai scurt drum în condiții nesigure de zbor [Vitus, 2012], [Richter, 2013];
- stabilitatea și dinamica în zbor a dronei [Hoffmann, 2008], [Cowling, 2010], [Bouktir, 2008], [Bellens, 2012];
- modele matematice ale factorilor perturbatori pentru funcționarea dronei [Ritz, 2012], [Hoffmann, 2007];
- controlul dinamic al dronelor [Wang, 2011], [Achtelik, 2013], [Fliess, 1995], [Murray, 1995], [Faiz, 2001], [Louembet, 2010].

Cerințele demonstratorului trebuie să se încadreze în categoria celor precizate anterior:

- demonstratorul trebuie să aparțină sistemelor mecatronice cu o conexiune la pendul invers;
- să ofere posibilități extinse pentru aplicații în domeniul controlului.

4.3.8.2. Demonstratorul D-8

În perioada de analiză a aspectelor teoretice și practice a sistemului dronă, am experimentat și analizat 3 variante de complexități diferite (de la simplu la complex):

- drona tip mașină (Flying car);
- drona Parrot rolling spider;
- drona Parrot AR 2.

Drona mașină (Flying car) (Figura 4.52.a) a fost prima variantă selectată datorită funcției duble pe care o poate îndeplini. Drona poate funcționa atât ca robot mobil aerian, cât și ca robot mobil terestru. Comunicarea operator-dronă se realizează pe baza telecomenzii radio din Figura 4.52.b.



a)



b)

Figura 4.52 a) Drona; b) Telecomanda de control

Telecomanda dispune de butoane tip joystick care au alocate atât funcții normale de control cât și funcții speciale, care asigură o manevrabilitate ridicată (de exemplu, în acrobații aeriene). Telecomanda funcționează pe 4 canale la o frecvență de 2.4 Ghz. Drona în modul de acțiune robot mobil terestru poate rula pe diferite terenuri dependent de obținerea dorită: înainte/înapoi, viraj la stânga/dreapta, accelerare. Telecomanda este dotată cu ecran LCD cu ajutorul căruia putem urmări vizual parametri setați pentru sistemul de acționare al dronei, astfel încât să se asigure stabilitatea pe durata zborului (Figura 4.53).

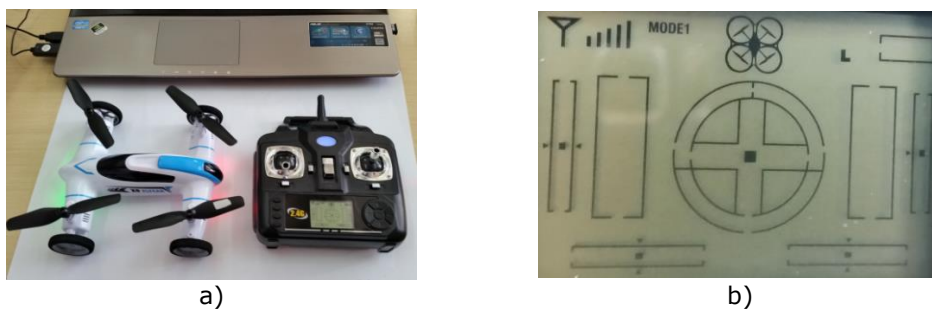


Figura 4.53 a) Interfațarea operator dronă; b) Display telecomandă control

Modelul X9 are o greutate de 150 grame cu o durată de zbor cuprinsă între 8 - 10 minute, distanța de control este de aproximativ 70 - 80 metri. Drona este echipată cu un acumulator de 3.7V 650 mAh (LitiuPolimer). După descărcarea completă a acumulatorului, timpul de încărcare este în jur de 90 minute [***, 4.19].

În cadrul experimentelor am urmărit determinarea unor valori maxime pentru masa suplimentară ce se poate atașa dronei în timpul zborului și gama de turații dezvoltate de sistemul de acționare al dronei.

Modul de lucru a prevăzut:

- așezarea dronei și a unei mase suplimentare pe un cântar electronic și înregistrarea indicației;
- acționarea dronei la turație maximă și înregistrarea indicației afișate;
- prelucrarea valorilor obținute.

În Tabelul 4.13 sunt prezentate valorile înregistrate și prelucrate.

Tabel 4.13 Măsurători de forță pentru drona tip mașină

Nr. probe	Greutate-stop [gf]	Forță ascensională maximă de ridicare [gf]	Diferență de ridicare [gf]
1	271	164	107
2		163	108
3		164	107
4		166	105
5		164	107
6		164	107
7		164	107
8		165	106
9		165	106
10		163	108

Din analiza constructivă și a funcționării dronei, au rezultat câteva concluzii:

- Dispozitivul mobil este ușor controlabil iar „învățarea” este rapidă;
- Stabilitatea în timpul zborului este dependentă de dexteritatea operatorului uman;
- Analiza unui spațiu de lucru necesită integrarea în structura dronei a unui senzor video cu posibilitate de memorare a imaginilor achiziționate. Orice integrare necesită o analiză experimentală privind forța portantă a dronei.

Din analiza valorilor obținute rezultă că drona nu dispune de o capacitate de ridicare mai mare de 108 g.

Viteza minimă de rotație, în timp ce drona se află la sol, se situează în jurul valorii de 2.561 rot/min. În timp ce drona se află în aer, viteza maximă de rotație se situează în jurul valorilor de 6870 rot/min. Valoarea rotației de desprindere de la sol se situează în jurul valorilor de 3.518 rot/min. Valorile obținute vor fi folosite pentru dezvoltarea modelului matematic al sistemului ascensional al dronei.

Drona Parrot rolling spider (cu patru motoare) a fost achiziționată pentru a putea face diferite experimente de control. Motoarele sunt acționate prin intermediul unui controler. Controlerul primește informații din mediul în care se desfășoară acțiunea de deplasare a dronei, de la un senzor de accelerație, giroscopic și un senzor ultrasonic.

Comunicarea între dronă și utilizator se face prin intermediul bluetooth versiunea 4, care funcționează până la aproximativ 20 metri depărtare între emițător și receptor. În Figura 4.54 este prezentată drona Parrot rolling spider.



Figura 4.54 Drona Parrot rolling spider

Acest robot mecatronic, este echipat cu un senzor giroscopic pe 3 axe, un accelerometru pe 3 axe, un senzor de presiune (care oferă informații despre altitudine), precum și cu un senzor ultrasonic care măsoară distanța pentru un zbor precis, în apropierea obstacolelor terestre.

Drona este echipată cu un senzor video (60 fps) [***, 4.20]. În timpul zborului se pot achiziționa imagini utilizând funcția de captură imagini implementată în softul de control a dronei. Imaginile achiziționate se stochează în memoria internă a dronei de unde pot fi descărcate ulterior pe un PC. Un detaliu de imagine achiziționată, este prezentat în Figura 4.55.b (rezoluția pozelor este de 300 Px).

Aplicația standard Free flight 3 (Figura 4.55.a) de comandă se poate descărca de pe internet și este disponibilă pentru versiunile de telefoane ce utilizează iOS, windows mobile, pentru desktop ce utilizează Windows 10 sau android având încorporate un Bluetooth Smart technology V4.0 BLE.

Distanța de zbor este de aproximativ 20 metri între dispozitivul de comandă și drona zburătoare.

Alimentarea se face de la un acumulator Lithium-Polymer care asigură o autonomie (în condițiile fără roți atașate) pentru un zbor de aproximativ 8 minute. Cu roțile atașate, autonomia de zbor este de aproximativ 6 minute. Acumulatorul

după o descărcare completă este încărcat în aproximativ 90 minute la capacitatea maximă.



a)



b)

Figura 4.55 a) Meniul de comandă pentru drona Parrot; b) Imaginea preluată de camera foto în timpul zborului

Analizele experimentale cu drone au scos în evidență problema descărcării rapide a acumulatorului. Pornind de la acest aspect, am considerat utilă promovarea unui dosar pentru brevetarea unei soluții de încărcare în timpul zborului al acestor tipuri de roboți mobili [„ÎNCĂRCARE AUTOMATĂ A DISPOZITIVELOR ELECTRICE DE ZBOR (DRONE) ÎN TIMPUL ZBORULUI DE LA LINII DE ÎNALTĂ TENSIUNE”, numărul de înregistrare OSIM A/10040/2016, din data de 21 iulie 2016].

Drona este echipată cu două leduri în față care, prin luminare intermitentă, indică stări ale dronului: conectivitatea cu dispozitivul de comandă, terminarea bateriei, conexiunea cu portul USB al calculatorului.

Detalii privind gabaritul dronului, spațiul motoarelor, greutatea și alte caracteristici constructive sunt prezentate în [***, 4.20].

Experimentele realizate cu această dronă au constatat din teste de comunicare între un calculator și dronă, teste prin care s-au măsurat timpii de zbor și teste pentru determinarea greutății maxime pe care aceasta poate să o ridice. Testele de comunicare au vizat procesul de funcționare și transferul de informații dronă-PC.

În Tabelul 4.14 sunt prezentate caracteristicile de ridicare pentru dronă Parrot rolling spider.

Tabel 4.14 Măsurători pentru forță Parrot rolling spider

Nr. probe	Greutate-stop [gf]	Forță ascensională maximă de ridicare [gf]	Diferență de ridicare [gf]
1	1185	1096	89
2		1108	77
3		1109	76
4		1116	69
5		1108	77
6		1109	76
7		1108	77
8		1109	76
9		1109	76
10		1108	77

În urma acestor teste, pentru dronă Parrot rolling spider, forța de ridicare este de 0,7525 N. Turațiile elicelor în timpul zborului ating (la o ascensiune maximă), între 20.000-21.280 rot/min. Turațiile au fost măsurate cu ajutorul

tahometrului DT-2234A.

Datorită faptului că aceste modele de drone nu dispun de biblioteci online și instrucțiuni prin care se pot apela regiștri acestora pentru a putea fi controlate, s-a trecut la analiza unui alt model mai avansat al dronei tip Parrot, care dispun de unele facilități de programare și dezvoltare.

Drona Parrot AR 2 - Selectarea ultimei variante s-a datorat facilităților pentru control la distanță și asigurarea stabilității în mediul de lucru, impuse de cerința unui sistem mecatronic, care pot fi integrate în sistemul mecatronic reprezentat de Parrot AR 2.

Concretizarea variantei demonstratorului a urmat procedura descompunerii funcției principale în funcțiile secundare și selectarea componentelor care corespund aplicației.

Varianta Parrot AR 2 este prezentată în Figura 4.56. Detalii suplimentare referitoare la acest model se regăsesc în Anexa 4.10.



Figura 4.56 Parrot AR 2

Demonstratorul a fost materializat prin integrarea componentelor mecatronice (C2; B3; B4; C5; D-7) din Tabelul 4.2.

Mănușa inteligentă (Figura 4.57), folosită la controlul dronei (Figura 4.56), este o mănușă modificată pe care s-a atașat un sistem senzorial de măsurare a accelerației.

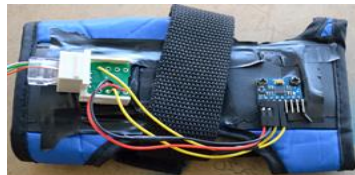


Figura 4.57 Mănușa inteligentă de control a robotului mobil aerian

Senzorul de accelerație MPU 6050 (Anexa 4.10) comunică cu o platformă de control Raspberry PI V3 (Anexa 4.10), [***, 4.16], (Figura 4.58), prin interfața de comunicare I2C. Accelerometrul poate să detecteze mișcările mâinii atunci când aceasta se mișcă în partea stângă, dreaptă, sus, jos.

Unitatea de control și comandă a întregului sistem robotizat, precum și interfața dintre utilizator și robotul mobil (drona), este formată din unitatea de calcul Raspberry PI v3 (Figura 4.58).

O componentă importantă de software, este reprezentată de sistemul de operare care rulează pe Raspberry PI. Sistemul de operare este bazat pe platforma Debian și se numește Raspbian [***, 4.21].

În configurația noastră, Raspberry PI funcționează ca un server. Este nevoie să fie instalate mai multe pachete de lucru și făcute unele configurări pentru ca sistemul să comunice și să funcționeze corect. Am apelat astfel la bibliotecile aferente [***, 4.21]: `sudo raspi-config`; `sudo apt-get update`; `sudo apt-get install python3-pi-camera python3-smbus`; `sudo apt-get install i2c-tools`; `sudo adduser pi i2c`.

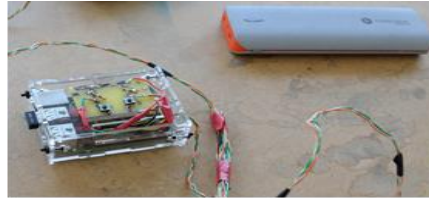


Figura 4.58 Componentele hardware și controlerul Raspberry PI v3

Am optat pentru acest controler pentru că este ușor de programat, are dimensiunile gabaritice destul de mici, consumul de energie electrică este scăzut și are numeroase căi de comunicare încorporate (adaptor wireless, pini I/O, interfața I2C).

4.3.8.3. Analiza experimentală și rezultatele pentru drona Parrot AR 2

Pentru atingerea obiectivului experimental, au fost imaginate mai multe seturi de experimente care urmăresc analiza comportamentului elementelor senzoriale și a robotului mobil aerian în mediul de lucru, la acțiunea de manipulare a unui operator uman.

Unul dintre experimentele propuse este acela de a comanda și controla drona utilizând mânășă inteligentă integrată în sistem și echipată cu senzorul de accelerație pe trei axe (are inclus și un giroscop) (Anexa 4.10), care comunică cu modulul de control modelul Raspberry PI (Anexa 4.10) [***, 4.16].

Raspberry PI „citește” valorile senzorului de accelerație în timpul mișcării mânășii, utilizând protocolul de comunicare I2C care interpretează valorile și trimite comenzile necesare droniei prin intermediul protocolului WIFI.

Softul dedicat acestui robot mobil zburător se află în memoria unității Raspberry PI, care citește valorile de la senzorul aflat pe mânășă inteligentă și transmite mai departe spre dronă comenzile de execuție.

Comenzile de execuție transmise de Raspberry urmăresc un protocol bine definit de comunicare. Acest protocol de comenzi este stabilit de producătorul droniei Parrot AR 2 (Anexa 4.10), iar comenzile sunt interpretate de controlerul integrat în sistemul de acționare și control al droniei [***, 4.17].

Carcasa cutiei de control este echipată cu două butoane, unul pentru decolarea droniei și unul pentru aterizarea acesteia (Figura 4.59).

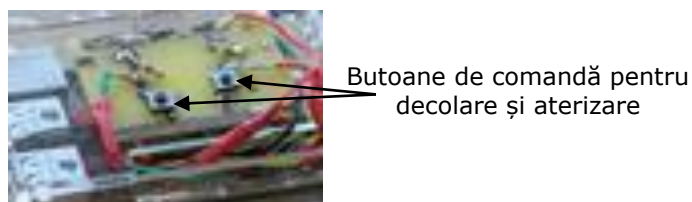


Figura 4.59 Butoanele de comandă pentru funcțiile: decolare și aterizare

Sistemul de control și comunicare între componentele sistemului sunt simbolizate în Figura 4.60. Datele transferate între Raspberry PI și dronă sunt realizate prin comunicare Wireless, fiecare dispozitiv având un IP. Drona AR 2 creează un hotspot și Raspberry PI se conectează automat la aparatul de zbor [Sandru, 2016].

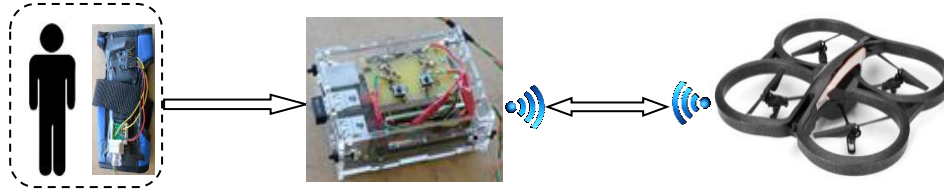


Figura 4.60 Direcțiile de comunicare

În Anexa 4.22 este prezentat întreg codul sursă (scris în Python 3), de control și interpretare a mișcărilor, folosit pentru comunicarea cu drona Parrot AR 2. În Figura 4.61 este prezentată schema logică pentru comanda dronei.

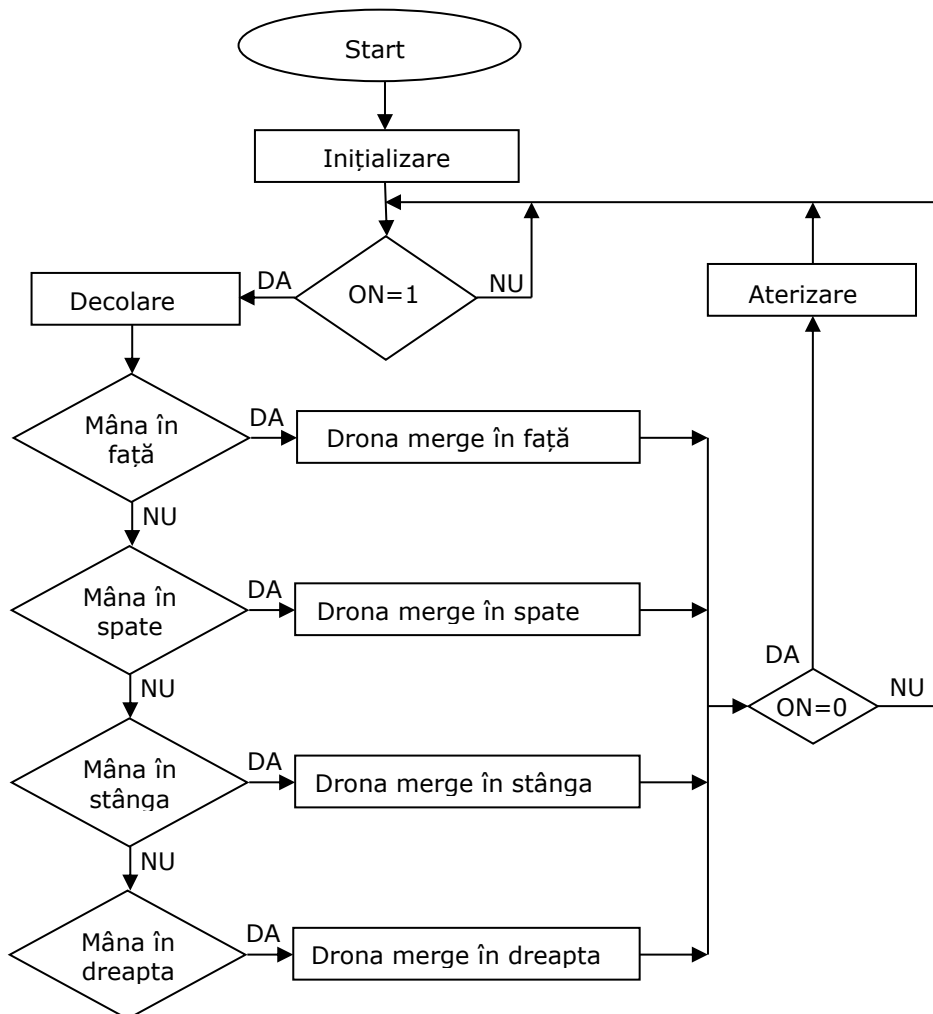


Figura 4.61 Diagrama funcționării fiecărui pas decizional software [Sandru, 2016]

Procedura de comandă și control haptic a sistemului mecatronic presupune alocarea pentru mișcările mâinii umane (cu mânășă atașată) următoarele convenții:

- Mișcare mână în față - drona merge în față;
- Mișcare mână în spate - drona merge în spate;
- Mișcare mână în stânga - drona merge în stânga;
- Mișcare mână în dreapta - drona merge în dreapta.

Atâta timp cât mâna echipată cu mânușa inteligentă se mișcă, înseamnă că drona se află în mișcare, iar valoarea parametrului de control software de aterizare este $ON=0$. Dacă mișcarea mâinii nu se mai realizează, valoarea parametrului de control software de aterizare devine $ON=1$, ceea ce înseamnă că aparatul va ateriza, iar soft-ul transmite regiștrilor dronei inițializarea parametrilor de aterizare.

Semnificația notațiilor și etapele procesului de lucru se referă la:

- Inițializarea: se apelează setările regiștrilor de comunicare și se recepționează informațiile parametrilor de stare, transmise de dronă;
- Recepția datelor cu valorile de stare și trecerea la pasul următor. Dacă nu s-a putut stabili o comunicare cu drona, se reapelează din nou regiștrii. Procesul de reapelare continuă până când se obține o legătură și un semnal de răspuns cu valorile parametrilor dispozitivului. Procesul de reapelare se oprește în cazul în care nu se obține o comunicare cu dispozitivul decât la intervenția operatorului;
- Decolarea: în momentul în care o legătură este stabilită între dronă și controlerul Rasbery, se inițializează transmiterea datelor de control și se așteaptă confirmarea recepționării acestora. După închiderea buclei, se poate trece la mișcarea mâinii (care are mânușa inteligentă atașată), semnificând trecerea la o nouă mișcare a dronei.

Cinematica robotului mobil aerian (dronă) este dată de o construcție robustă a șasiului robotic care are toate sistemele senzoriale încorporate în șasiul rigid. Cele patru motoare sunt construite foarte simplu din punct de vedere mecanic, ceea ce oferă o caracteristică de greutate foarte scăzută.

Pentru a compensa simplitatea ansamblului hardware, avem nevoie de un algoritm software de compensație destul de ridicat. În Anexa 4.12 este definită mișcarea inerțială pe axele x , y , z , care dau poziția dronei în spațiu.

În Figura 4.62 este prezentat un detaliu de control al dronei din timpul experimentelor desfășurate.



Figura 4.62 Secvența din timpul controlului dronei Parrot AR 2

4.3.8.4. Concluzii

La aceste experimente se pot enumera următoarele puncte de vedere:

- Avantajele sistemului de control dezvoltat au în vedere: învățarea ușoară a controlului și portabilității, ergonomia, învățarea în scop educațional utilizând diferite sisteme de comandă;
- Prin implementarea controlului la distanță pentru sistemul mecatronic-dronă,

- pilotarea este posibilă chiar pentru o persoană cu handicap locomotor, folosind mișcările mâinilor (pentru controlul robotului în zbor);
- Utilizând senzorul de accelerație pe trei axe, am obținut mișcarea tridimensională a dronei;
 - Utilizarea pentru o perioadă mai lungă de timp a unei comenzi prin joystick este obositoare din punct de vedere a solicitării fizice. Sistemul dezvoltat are o caracteristică ergonomică excelentă, deoarece mânușa stă confortabil pe mână și mișcările de control sunt mișcările tipice ale mâinii din viața de zi cu zi;
 - Utilizarea mănușii inteligente de control pentru dronă se face în mod intuitiv și ușor. Drona urmează mișcările mâinii și în acest fel, operatorul uman învață foarte ușor comenzile de bază;
 - Una dintre cele mai bune aplicații pentru acest proiect este în teatru și spectacole de divertisment. Persoana de pe scenă efectuează mișcări cu mâinile, iar drona echipată cu sisteme de iluminare, aflată deasupra persoanei, execută un concert de jocuri de lumină, în funcție de mișcările utilizatorului;
 - Acest proiect a avut puncte destul de provocatoare, a pus la încercare abilități de programare și de dezvoltare pentru integrarea părții de comandă ale mănușii cu sistemul de control a dronei, utilizând protocolul de comunicare la distanță Wi-Fi;
 - Sistemele mecatronice analizate permit instrucțiuni multiple și posibilitatea de activități colaborative dronă-robot mobil.

4.4. Concluzii finale

Demonstratoarele experimentale deschid orizonturi noi asupra aspectelor ce trebuie tratate pentru diferite fenomene fizice și la construcția unor noi structuri mecatronice.

Demonstratoarele prezentate au permis evidențierea atât a structurii mecatronice a sistemelor, cât și a multitudinii activităților posibile de realizat.

Utilizând demonstratoarele în scopuri didactice, dar nu numai, se poate observa mult mai ușor acțiunile ce au loc la transferul modelelor matematice în sisteme funcționale fizice.

S-au putut evidenția aspecte ce țin de roboții mobili și aplicarea principiului pendul invers pentru menținerea echilibrului acestora în timpul deplasării și efectuării anumitor sarcini.

Au fost puse în aplicare cunoștințe software și hardware care, prin integrare, au condus la materializarea unui număr variat de sisteme mecatronice funcționale.

Demonstratoarele roboților mobili au generat informații pe baza cărora s-au putut trage concluzii pertinente cu privire la problemele mecatronice actuale și posibile soluții pentru acestea.

Astfel, în urma analizelor teoretice și experimentale realizate, s-a stabilit parcursul cercetărilor pentru atingerea obiectivelor operaționale corespunzătoare capitolelor următoare.

Rezultatele enumerate în cadrul capitolului au fost diseminate în cadrul lucrărilor publicate (8 lucrări) și a dosarului de brevet de invenție depus la OSIM. Se poate considera îndeplinirea obiectivului operațional aferent capitolului 4.

5. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A SENZORILOR INTEGRATI ÎN STRUCTURA DEMONSTRATORULUI HUMANOID

5.1. Introducere

Obiectivul operațional al capitolului urmărește proiectarea și realizarea unui demonstrator folosind conceptul de pendul invers, bazat pe echilibrul și dezvoltarea unui robot mobil humanoid. Robotul mobil humanoid este identificat ca fiind un demonstrator mecatronic dezvoltat conform filozofiei mecatronice de proiectare a unui sistem mecatronic. Acesta este prezentat în Figura 5.1.

În ceea ce privește stabilitatea verticală a robotului, aceasta este asigurată pe baza informațiilor primite de la elemente senzoriale integrate în sistem.

Pentru atingerea obiectivului operațional, a fost imaginat un set de experimente care urmăresc atât analiza comportamentului elementelor senzoriale într-un mediu asemănător cu cel de evoluție al demonstratorului dezvoltat, cât și analiza posibilităților de integrare.



Figura 5.1 Robot mobil humanoid – demonstrator mecatronic echipat cu senzor optic

Analiza experimentală a fost proiectată în două faze. În prima fază am realizat analiza comportamentului elementelor senzoriale pe un stand experimental, dezvoltat special în acest scop. În faza a doua a fost realizat un set de experimente, direct pe structura demonstratorului în fază finală. S-a urmărit prin această abordare o comparare a rezultatelor.

5.2. Analiza experimentală a elementelor senzoriale integrate în demonstratorul mecatronic

5.2.1. Generalități

Standul a fost realizat pe baza componentelor Lego Mindstorm (Anexa 4.2). Schema principală este prezentată în Figura 5.2. Un element mobil (1) este antrenat în mișcarea de rotație de către un sistem de acționare care are integrat subsistemul senzorial S3 pentru achiziționarea unghiului de rotație φ . Pe elementul mobil sunt poziționați senzorii: S1 – senzor accelerație/încalinare, S2 – Senzor giroscopic, S4 – Senzor optic. Structura dezvoltată beneficiază de avantajele platformei Lego Mindstorm NXT-2 (Anexa 4.2) pentru a putea achiziționa datele și a le transfera pentru analiză unui sistem de calcul.

Obiectivul urmărit în cadrul experimentelor este de a prelua și a compara, în primul rând, informațiile de la senzorul optic S4 și cel de rotație S3. Se dorește analiza informațiilor senzorului optic în funcție de înclinația față de orizontală și de mediul de reflexie. În același timp, se achiziționează semnalele și de la senzorul giroscopic și senzorul de accelerație pentru o caracterizare multiplă a parametrilor mișcării. Comportamentul elementului senzorial optic a fost analizat pentru materiale de reflexie, diferite din mediul de lucru.

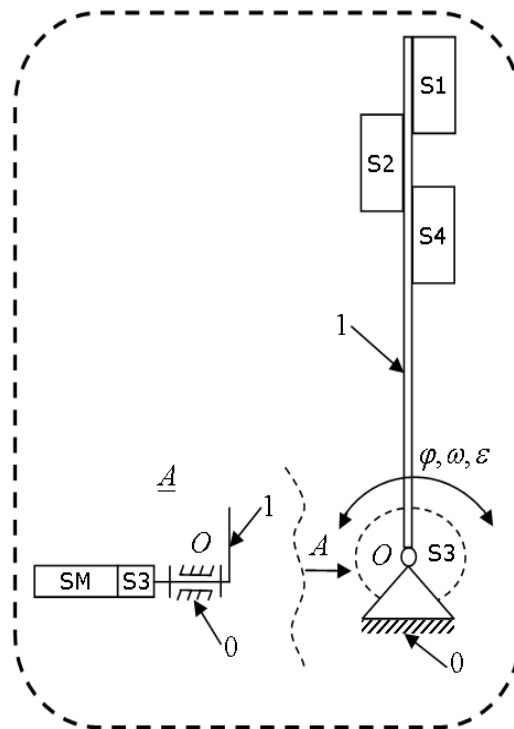


Figura 5.2 Schema principală a sistemului mobil dezvoltat (SM – servomotor electric) [Sandru, 2016]

Experimentul a fost desfășurat în laboratorul Senzori și Actuatore din cadrul Departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara. În

Figura 5.3 este prezentat aspectul general al standului dezvoltat în acest scop și elementele componente integrate.

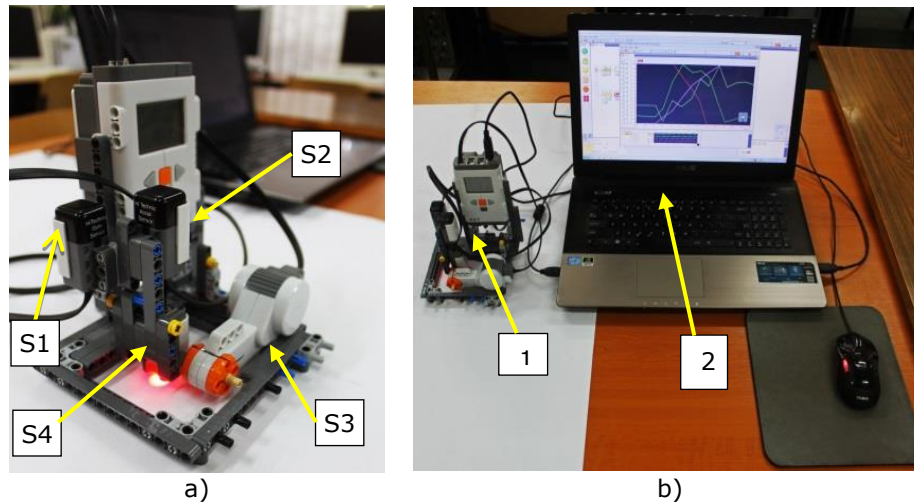


Figura 5.3 a) Stand experimental: S1- senzor giroscopic, S2- senzor de accelerație, S3 – senzor rotație, S4- senzor optic; b) Stadul experimental (1) și sistemul de calcul (2) asociat [Sandru, 2016]

5.2.2. Procedura de lucru și prelevarea de semnale

Pentru realizarea standului și achiziția semnalelor de la cei patru senzori, au fost efectuate următoarele acțiuni:

- Toate elementele senzoriale au fost conectate la porturile platformei Lego NXT-2, în porturile 1, 2, 3, și, respectiv, A (Anexa 4.2). Portul A este comun pentru semnalul electric de acționare a servomotorului (SM) și a semnalului de la senzorul S3. Platforma a fost conectată la sistemul de calcul prin intermediul unui cablu USB;
- Mediul de lucru LEGO MINDSTORMS Education NXT-2 Programming (Anexa 4.2) a permis următoarele setări:
 - durata totală de înregistrare a mișcării de rotație preconizată a elementului (1) - 0,65 ms;
 - frecvența în procesul de achiziție a informațiilor 20 Hz.
- În vederea unei vizualizări clare a semnalelor, a fost setată o întârziere de 0,04 ms între momentul de start al achiziției datelor și momentul de start al elementului mobil (1);
- La începutul experimentelor a fost derulat programul de calibrare a senzorului optic, utilizând meniul software de calibrare *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*. Informația furnizată de senzorul optic, comparată cu valoarea maximă posibilă, este redată printr-o valoare relativă (Anexa 4.2);
- Procedura de lucru a inclus 10 experimente în aceleași condiții de lucru, achiziția datelor și prelucrarea statistică a acestora.
- Au fost selectate un număr de 10 suprafețe de reflexie diferite pentru analiza semnalului provenit de la senzorul optic;

- Mișcarea elementului (1) este compusă din: o rotație de unghi $\varphi = 30^\circ$ într-un sens stabilit anterior; o pauză de 1 s; o rotație în sens invers pentru revenire la poziția inițială.

Detaliile referitoare la semnalele achiziționate și valorile semnalelor eșantionate pentru întreg setul de experimente, precum și alte detalii tehnice sunt prezentate în Anexele 4.1-4.4. Pentru prelucrarea datelor a fost utilizat mediul MS-Office Excel [***, 5.1].

5.2.2.1. Experimente și rezultate obținute

Pentru achiziția, prelucrarea și reprezentarea semnalelor a fost ales mediul software *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming* (Anexa 4.2) și pachetul Microsoft Office Excel 2010 [***, 5.1]. În Tabelul 5.1 sunt evidențiate modalități de prezentare a datelor colectate. Pentru fiecare semnal achiziționat se oferă informații suplimentare precum și prezentarea tabelară a valorilor medii, minime și maxime (Figura 5.4).

Tabel 5.1 Tabel cu valori numerice achiziționate

sensor= <i>Light Sensor</i> units= %+	Time	Light_p1_1
	0,078	64,000
	0,079	65,000

Explicitez câteva din semnificațiile de interes din Tabelul 5.1:

- *sensor* - Light Sensor – tipul senzorului utilizat;
- *units* - %+ - unitatea de măsură a parametrului achiziționat;
- *Time* - valoarea parametrului timp la care a avut loc achiziția;
- *Light_p1_1* - nume atribuit pentru setul de valori: Light- senzor de lumină S4; p1- portul nr.1 al platformei; 1- primul set de date înregistrat.

Informații suplimentare pentru senzorii utilizați, extrase direct din fișierul creat automat de softul de achiziție *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*, sunt prezentate în Anexa 5.1.

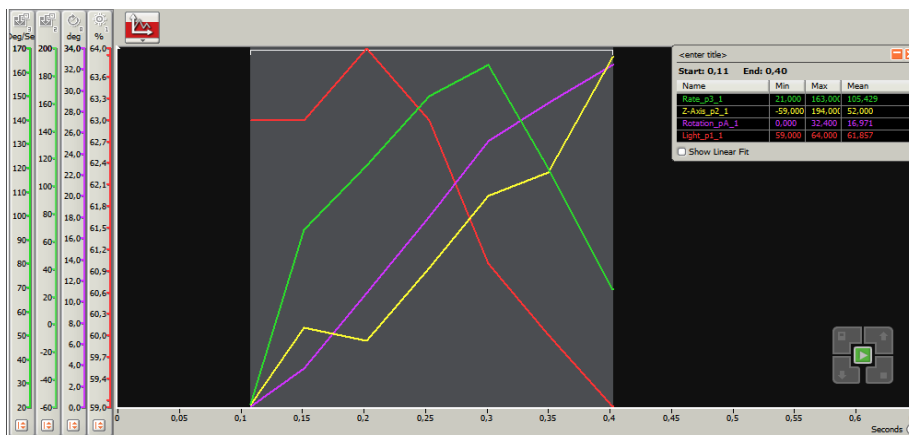


Figura 5.4 Achiziția datelor cu Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming

Semnificațiile notațiilor utilizate în Tabelele 5.2, 5.3 sunt următoarele:

- semnalele au fost achiziționate în intervalul de timp t [s];

- setul de valori a fost obținut de la senzori S1, S2, S3, S4;
- unitățile de măsură a semnalelor achiziționate: [$^{\circ}/s$] (grade pe secundă) - pentru senzorul giroscopic (S1); [g] - pentru senzorul de accelerație/înclinare (S2) referitor la axa Z; [$^{\circ}$] (grade) - pentru senzorul rotație (S3) integrat în structura servomotorului; [%] - pentru senzorul optic (S4).

În Tabelul 5.2 sunt redată valorile achiziționate și extrase din fișierul creat prin programul de achiziție *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming* (Anexa 4.2), în urma unei singure achiziții. Reprezentarea grafică a semnalelor, prelucrate în MS Excel 2010, poate fi vizualizată în Figura 5.5. Ca observație, precizez că suprafața de reflexie (utilizată pe parcursul experimentului prezentat) pentru senzorul optic a fost hârtie galbenă mată.

Tabel 5.2 Tabel valori senzori achiziție experiment numărul 1

Timp [s]	S1 [$^{\circ}/s$]	S2 axa Z [g]	S3 α [$^{\circ}$]	S4 [%]
0,000	9,0	-6,0	0,0	64,0
0,078	8,0	-5,0	0,0	63,0
0,108	21,0	-59,0	0,0	63,0
0,151	94,0	-3,0	3,6	63,0
0,202	121,0	-12,0	10,8	64,0
0,253	150,0	41,0	18,0	63,0
0,301	163,0	93,0	25,2	61,0

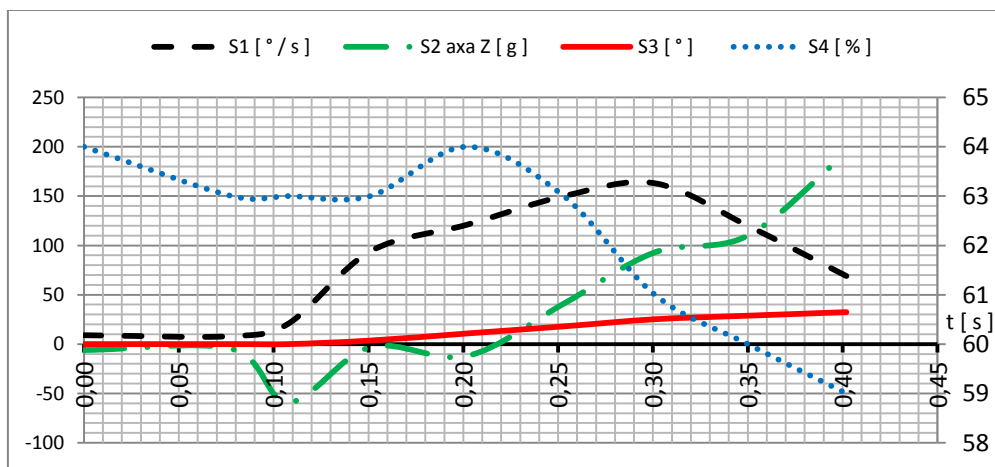


Figura 5.5 Semnale achiziționate în experimentul 1

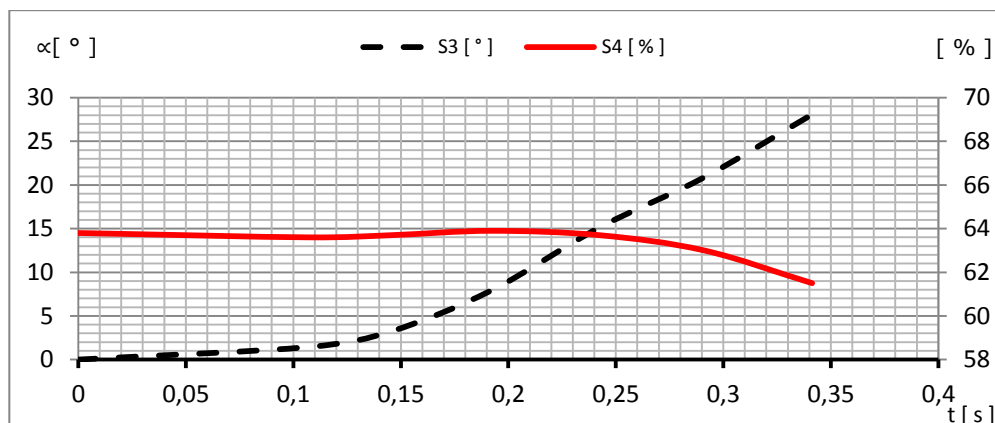
Semnalele achiziționate de la senzorii S1, S2 și S3 vor fi folosite pentru aprecierea corelației cu valorile achiziționate de la S4. Din acest motiv prezentăm pentru început analiza semnalelor achiziționate de la S4 (senzor optic). Această analiză are în vedere următoarele aspecte:

- influența materialului de reflexie;
- comportamentul senzorial în domeniul timp și domeniul unghiului de rotație a elementului (1).

Setul de valori prelucrate în urma experimentului 1, desfășurat în conformitate cu procedura descrisă anterior și graficele aferente, este prezentat în Tabelul 5.3 și Figura 5.6.

Tabel 5.3 Valori prelucrate statistic din experimentul 1

Timp [s]	S3 α [°]	S4 [%]
0,0000	0	63,8
0,1072	1,44	63,6
0,1456	3,24	63,7
0,1921	7,92	63,9
0,2423	15,12	63,7
0,2911	20,88	63
0,3413	28,08	61,5

**Figura 5.6** Semnale achiziționate în experimentul 1

Semnalele achiziționate (valoric și grafic) în cazul celorlalte experimente 2-10 (pentru diverse materiale reflexive: verde mat deschis, negru mat, alb mat, roșu lucios, violet lucios, albastru lucios, galben lucios, verde lucios, lemn pal lucios) sunt prezentate în Anexa 5.3.

5.2.2.2. Concluzii

Din analizele datelor și a graficelor fiecărui experiment, se prezintă o formă grafică generală pentru semnalele celor doi senzori S3 și S4 (Figura 5.7). Această reprezentare permite emiterea de concluzii referitoare la comportamentul elementului senzorial S3 prin prisma aspectelor avute în vedere.

Astfel, se pot menționa următoarele concluzii:

- Suprafața de reflexie și mediul ambiental au o influență importantă asupra semnalului achiziționat de la senzorul optic;
- Se pot defini valori de referință pentru analiza rezultatelor:
 - Valoarea de timp t_0 permite precizarea punctelor limită a și b (de pe cele două grafice), corespunzătoare unor variații liniare a semnalelor;
 - Unghiul de rotație α_0 (față de verticală) corespunzător punctului limită b;
 - Luminozitatea relativă rămâne aproximativ liniară între valorile LP1 și LP2 (corespunzătoare valorii de timp t_0 , punctului a, respectiv pentru o rotație de unghi α_0).

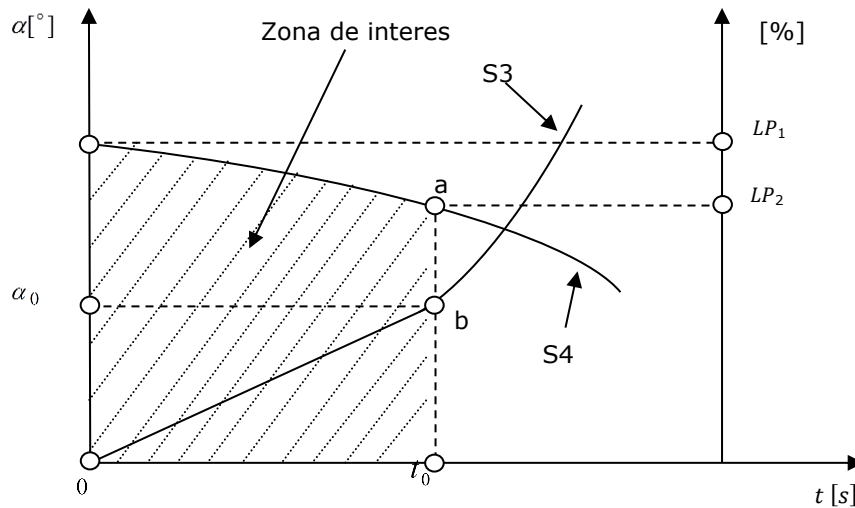


Figura 5.7 Forma generală a semnalelor de la S4 și S3 [Sandru, 2016]

- În urma experimentelor desfășurate, valorile luminozității relative se situează în intervalul $[35,3 \div 66]$ %, pentru cele 10 medii reflexive;
- Pentru experimentele în care au fost utilizate: hârtie galbenă mată, hârtie verde deschis mat, hârtie albă mată, hârtie galbenă lucioasă, $LP \in [58,5 \div 66]$ %;
- Pentru experimentele în care a fost utilizată hârtie roșie lucioasă și material pal lucios, $LP \in [55,6 \div 62]$ %;
- Pentru experimentele în care a fost utilizată hârtie violet lucioasă, $LP \in [59,4 \div 53,9]$ %;
- Pentru experimentele care cuprind: hârtie albastru lucios și verde lucios, s-a măsurat un interval, $LP \in [35,4 \div 46,7]$ %;
- Pentru experimentele care cuprind: hârtie negru mat, s-a măsurat o valoare de $LP \in [35,3 \div 36,1]$ %;
- Semnalele achiziționate prezintă o repetabilitate foarte bună în cadrul fiecărui experiment;
- Este de interes o analiză numerică a corelării datelor de la senzorii S1, S2, S3, S4 și analiza fuzionării informațiilor;
- Este de interes reducerea domeniului de mișcare analizat în jurul poziției verticale a elementului (1). Acest lucru rezultă din obiectivul urmărit: analiza stabilității unui pendul invers.

5.2.3. Rezultate obținute în urma mișcărilor de oscilație a senzorului optic față de suprafața de reflexie [Sandru, 2016]

5.2.3.1. Introducere

În continuarea analizei posibilităților de utilizare a elementelor senzoriale în funcționarea demonstratorului preconizat, am dezvoltat un nou set de experimente bazându-mă pe platforma prezentată anterior în Figura 5.3.

În cadrul experimentelor se dorește obținerea informațiilor privind caracteristica elementului senzorial optic S4 în jurul unei poziții de referință (poziția verticală de unghi $\alpha=0$), a elementului (1) (Figura 5.3). Această poziție corespunde poziției de lucru a unui pendul invers. Rezultatele analizei experimentale doresc să le utilizeze pentru demonstratorul – robot mobil humanoid din Figura 5.1.

Elementul senzorial S4 trebuie să execute mișcări oscilatorii până la unghiul α față de poziția de referință admisă. Suprafața de reflexie a razei de lumină utilizată în experiment este o hârtie galbenă mată. Experimentul a fost repetat de 10 ori în vederea prelucrării statistice ulterioare a datelor. Informația referitoare la unghiul α [°] este obținută de la traductorul integrat în structura servomotorului de acționare.

Fiecare experiment a avut o durată de aproximativ 6 secunde. Această valoare a fost setată prin intermediul interfeței mediului de lucru software Lego Mindstorm NXT-2 Education (Anexa 4.2), (Anexa 4.2). Frecvența de eșantionare a semnalelor achiziționate a fost setată la 25 Hz.

5.2.3.2. Analiza rezultatelor experimentale

Analiza experimentală a fost desfășurată în conformitate cu centralizatorul prezentat în Tabelul 5.4.

Tabel 5.4 Desfășurătorul ciclului de experimente

Domeniu unghi de rotație α	Mediu cu lumină ambientală	Mediu lipsit de lumină ambientală
$\alpha_1 \in [-30^\circ; +30^\circ]$	Experimentul exp_11 / Figura 5.10, Anexa 5.5	Experimentul exp_12/ Figura 5.9, Anexa 5.8
$\alpha_2 \in [-10^\circ; +10^\circ]$	Experimentul exp_21 / Figura 5.12, Anexa 5.6	Experimentul exp_22/ Figura 5.11, Anexa 5.9
$\alpha_3 \in [-5^\circ; +5^\circ]$	Experimentul exp_31/ Figura 5.14, Anexa 5.7	Experimentul exp_32/ Figura 5.13, Anexa 5.10

Analiza experimentală într-un mediu lipsit de lumină ambientală a urmărit evidențierea influenței parazite a luminii ambientale asupra senzorului de lumină. Experimentul s-a realizat introducând standul de probă într-o cutie de carton închisă.

Rezultatele achiziționate și prelucrate statistic din exp_11 sunt prezentate în Anexa 5.5. Forma grafică a semnalelor achiziționate pentru cei 4 senzori - S1, S2, S3, S4 - este prezentată în Figura 5.8. Se constată existența unei mișcări periodice.

Durata perioadei de mișcare este de aproximativ 0.7 s. În același timp, intensitatea luminoasă relativă de la S4 rămâne aproximativ constantă. Semnalul de la senzorul giroscopic, pe toate perioadele din experimentul analizat, are un caracter asemănător ca formă și valori extreme (Figura 5.8).

Pe același considerent ca în § 1.2.2, vom prezenta grafic, în continuare, doar semnalele achiziționate de la S3 și S4. Semnalele achiziționate de pe parcursul înregistrărilor sunt incluse în anexe conform Tabel 5.4.

Din reprezentările grafice se poate constata o diferență a semnalului achiziționat de la S4 pe durata celor două semiperioade din ciclul de mișcare. Acest lucru este cu atât mai vizibil cu cât scala de reprezentare din Figura 5.9 – 5.14 este mai adecvată variațiilor existente. Intensitatea luminoasă relativă achiziționată de la S4 rămâne într-un interval specific fiecărui experiment. Experimente desfășurate în paralele pe demonstratorul – robot humanoid - au evidențiat existența stabilității

acestui în domeniul unui unghi $\alpha \sim \pm 6^\circ$, față de poziția de verticală de 0° . Acest lucru a susținut experimentele exp_21 și exp_31.

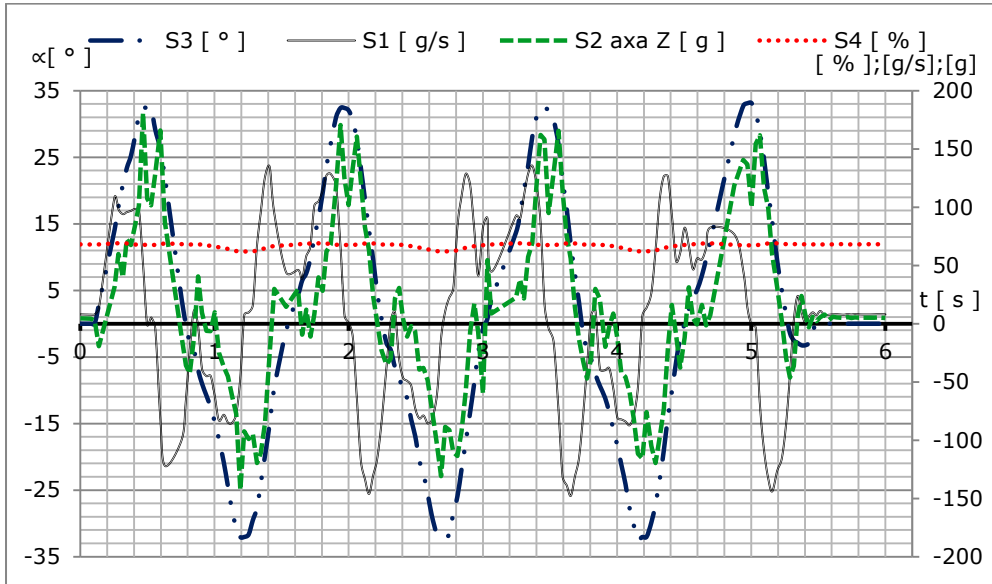


Figura 5.8 Semnale achiziționate de la S1, S2, S3, S4 în exp_11

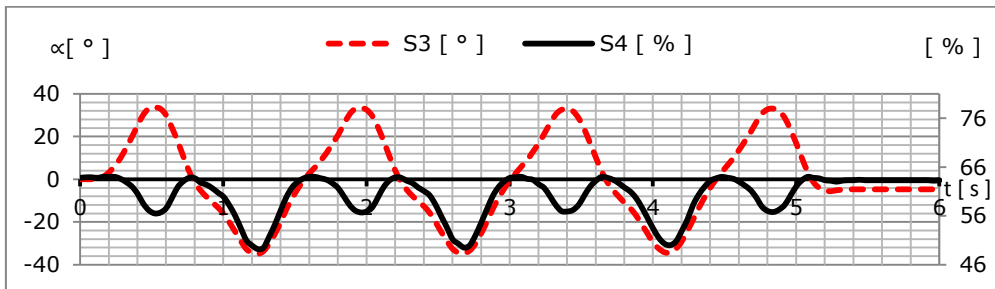


Figura 5.9 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_12

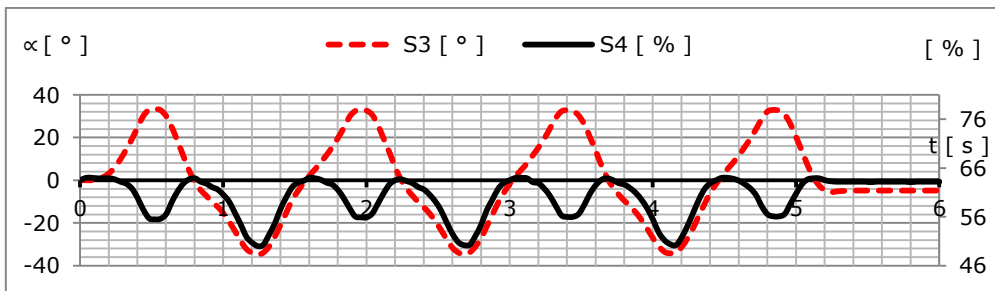


Figura 5.10 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_11

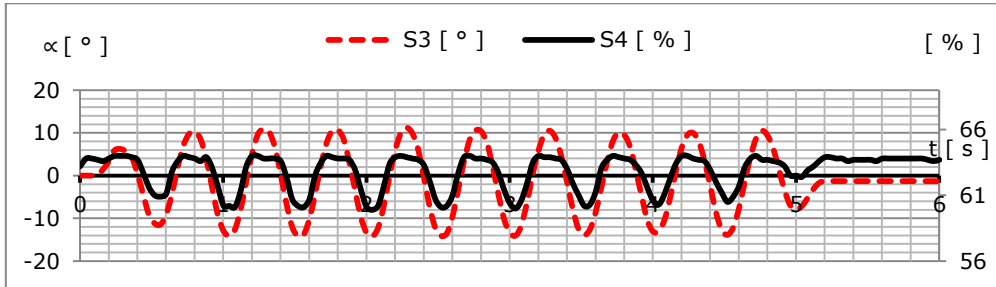


Figura 5.11 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_22

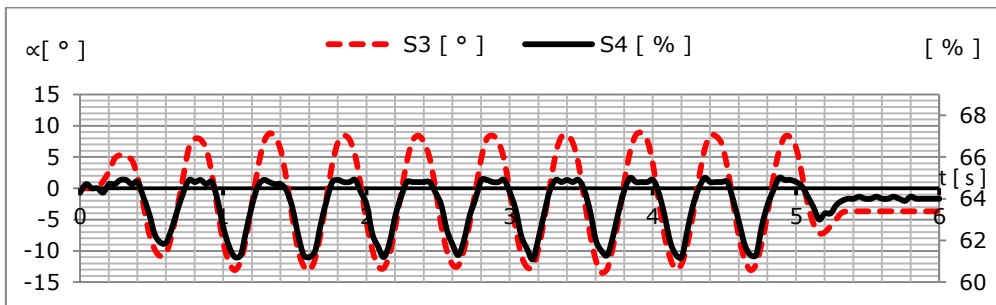


Figura 5.12 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_21

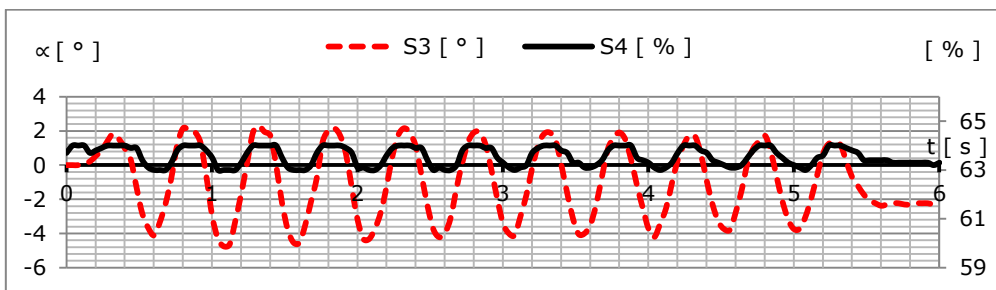


Figura 5.13 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_32

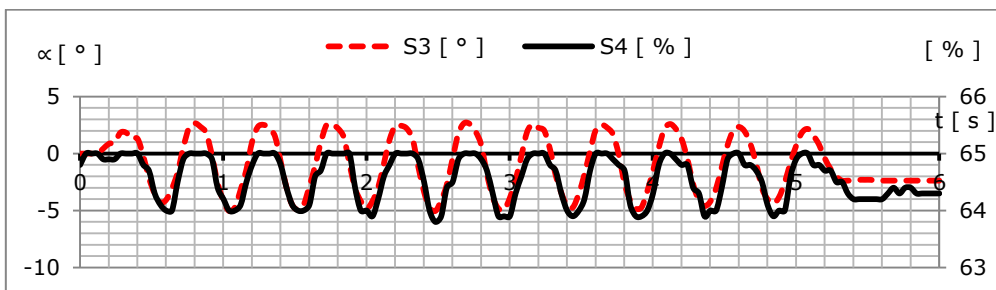


Figura 5.14 Semnale achiziționate de la S3 și S4 în exp_31

5.2.3.3. Concluzii

În Figura 5.15 sunt prezentate semnalele sintetizate pentru cazurile abordate în analiză, în scopul susținerii observațiilor care se impun.

Experimentele realizate permit efectuarea următoarelor observații:

- Sensul de mișcare este determinabil prin variația semnalului de la senzorul S3;
- Pe durata unei perioade a variației de rotație semnalul senzorului optic au loc 2 variații în limitele existente [LP_{Min} - LP_{Max}]. În fiecare experiment intervalul de variație este diferit.

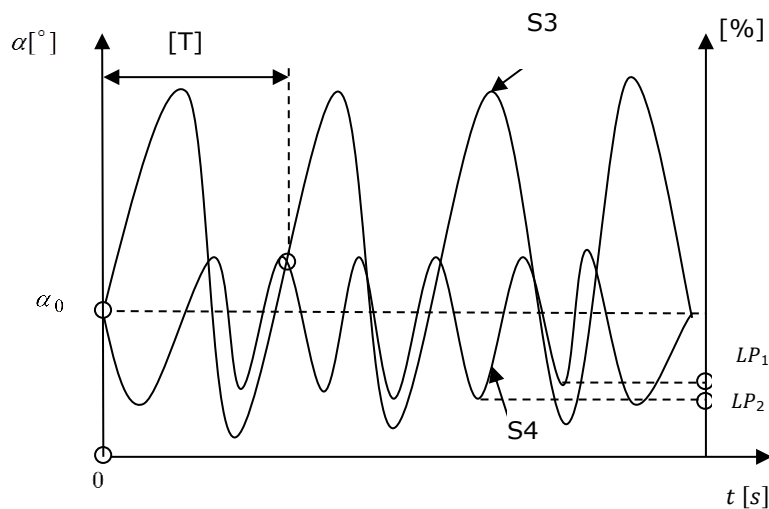


Figura 5.15 Caracterizarea semnalelor achiziționate de la S4 și S3

Tabel 5.5 Valori extreme pentru parametrul LP [%]

Domeniu de măsură [°]	Mediu cu lumină ambientală [%]	Mediu lipsit de lumină ambientală [%]
$\alpha_{Min - Max} [\pm 30^\circ]$	64-49,2	64-50
$\alpha_{Min - Max} [\pm 10^\circ]$	65-61,1	64-59,9
$\alpha_{Min - Max} [\pm 5^\circ]$	65-63,8	64-63

- Micșorarea plajei oscilatorii de înclinare a senzorului optic și achiziționarea semnalului, permit evidențierea dependenței sensibilității și erorii de măsură în timpul mișcării în raport cu gradul de înclinare a senzorului optic;
- Variația de semnal a senzorului S4 pentru materialul de reflexie hârtie galben mat, este într-un domeniu restrâns [65,4-67,2] %, într-un mediu ambiental și la un ciclu de oscilație de $\pm 10^\circ$.

Din experimentele realizate asupra semnalului optic într-un mediu lipsit de lumină ambientală, se pot observa că valorile sunt constante și repetitive.

5.2.3.4. Determinarea caracteristicii elementului senzorial

Rezultatele obținute din experimentele prezentate anterior, permit o analiză pentru fuziunea informației senzoriale.

Unghiul de rotație α [°] al demonstratorului a fost obținut de la traductorul S3 de rotație, integrat în structura servomotorului, iar gradul de luminozitate relativă [%], de la senzorul S4 (senzorii sunt amplasați conform datelor din Figura 5.2).

Pentru a putea exprima parametrul senzorului S4 într-un semnal analogic (în tensiune), a fost dezvoltat standul din Figura 5.17, folosit pentru a putea obține informații pe parcursul mișcării impuse modelului dezvoltat.

În structura standului a fost integrat voltmetrul UNI-T, conectat la pinii 1 și 2, conform Figura 5.16. Luminozitatea relativă [%], achiziționată de la S3, a fost urmărită pe monitorul PC-ului (utilizând softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming). Au fost modificate condițiile de iluminare, în mod succesiv, astfel încât să se obțină o creștere controlată a luminozității procentuale (de la 0 % la 100 %).

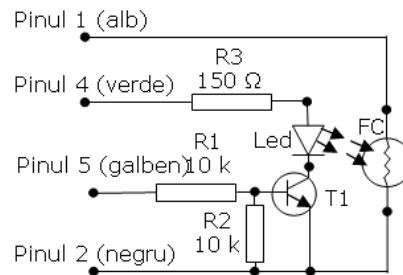


Figura 5.16 Schema de legături pentru senzorul optic

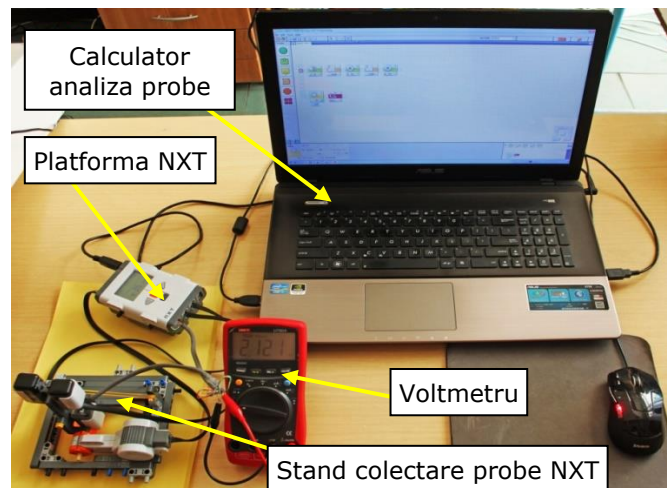


Figura 5.17 Stand pentru citirea valorilor procentuale [%] și tensiuna aferentă în [v] a fiecărui procent

Valorile înregistrate pe parcursul experimentului sunt prezentate în Anexa 5.11. Reprezentarea grafică a dependenței $U = U(I)$ (I – intensitatea luminoasă), pe baza acestor valori, se regăsește în Figura 5.18

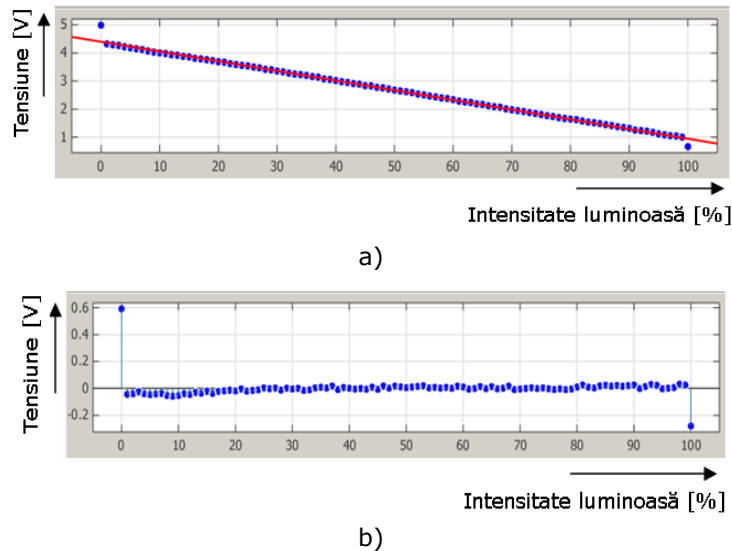


Figura 5.18 a) Reprezentare grafică $U=U(I)$; b) Erorile de ajustare

Pentru aproximarea matematică a setului de date obținut, am apelat la mediul de lucru Matlab/Cftool [***, 5.2], [***, 5.3].

Dependența matematică $U=U(IL)$, este descrisă prin expresia:

$$U = -0,03348 \cdot IL + 4,398 \text{ [V]} \quad (5.1)$$

Din relația anterioară se poate determina și funcția inversă $IL=IL(U)$:

$$IL = -29,868 \cdot U + 131,36 \text{ [%]} \quad (5.2)$$

5.2.3.5. Concluzii

În concluziile acestui subcapitol se pot face următoarele remarci:

- Semnalul sensorului optic, reflectat în mediul ambiental de pe o suprafață, diferă de semnalul optic reflectat în mediul lipsit de lumină a aceleiași suprafețe de reflexie;
- În domeniul de măsură $\alpha \in [+5^\circ; -5^\circ]$, domeniul aproximativ în care un robot mobil perpendicular, echipat cu două roți paralele, își menține echilibrul, se poate observa o bună sesibilitate a semnalului optic reflectat în ambele direcții (+;-) ale domeniului de echilibru;
- Din măsurătorile de aproximare între valoarea relativă [%] a sensorului optic și valoarea tensiunii în [V] măsurată cu voltmetul, există o foarte bună liniaritate.

5.2.4. Studiul capabilității sensorului S2 de accelerație

5.2.4.1. Generalități

Senzorul S2 din Figura 5.19, integrat în structura demonstratorului și utilizat pe parcursul experimentelor, face parte din kitul Lego Mindstorm NXT-2 (Anexa 4.2), (Anexa 4.2), (Anexa 4.2)], mai multe detalii se află în Anexa 5.4.

Senzorul se conectează la unul din cele 4 porturi ale platformei NXT, prin intermediul cablurilor de legătură, folosind protocolul de comunicare I2C.

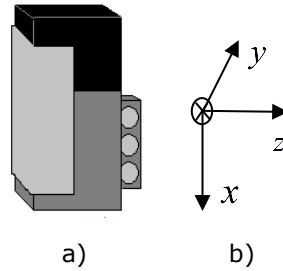


Figura 5.19 a) Senzorul de accelerație; b) Reprezentarea grafică a celor 3 axe ale senzorului

Senzorul oferă informații pe 3 axe: X, Y, Z. Senzorul permite lucrul în regim de: senzor de accelerație, inclinometru (Anexa 4.2), (Anexa 4.2), (Anexa 4.2)]. Parametrii de lucru și detalii constructive sunt prezentate în Anexa 5.x.

Din achiziționarea informațiilor senzorului S2 se poate determina înclinarea acestuia în raport cu un sistem de referință global pe baza relațiilor (5.3), (5.4), (5.5), (5.6):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_z}{a_x} \quad (5.3)$$

$$\alpha = a \tan \left(\frac{a_z}{a_x} \right) \quad (5.4)$$

$$\cos \alpha = \frac{a_x}{a} \quad (5.5)$$

$$\alpha = a \cos \left(\frac{a_x}{a} \right) \quad (5.6)$$

Valorile achiziționate pentru cele 3 axe sunt în concordanță cu orientarea sistemului de axe atașat lui S2 și cu semnul de mișcare a elementului (1) în jurul unui sistem de axe global.

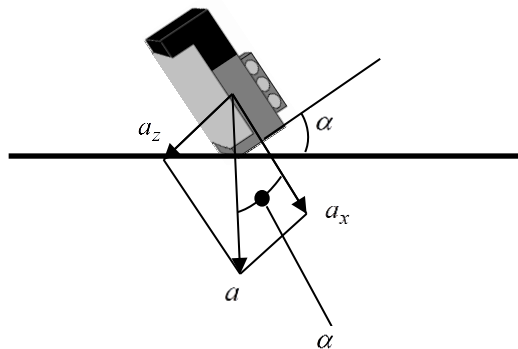


Figura 5.20 Senzorul S2 și modelul de lucru ca inclinometru

Poziția de referință a elementului (1) este verticală (Figura 5.21). De la

această poziție, elementul (1) execută mișcare de rotație de unghi α și α'_y .

Corelarea semnului componentelor a_x și a_z în raport cu mișcarea executată, este prezentată în Figura 5.22.

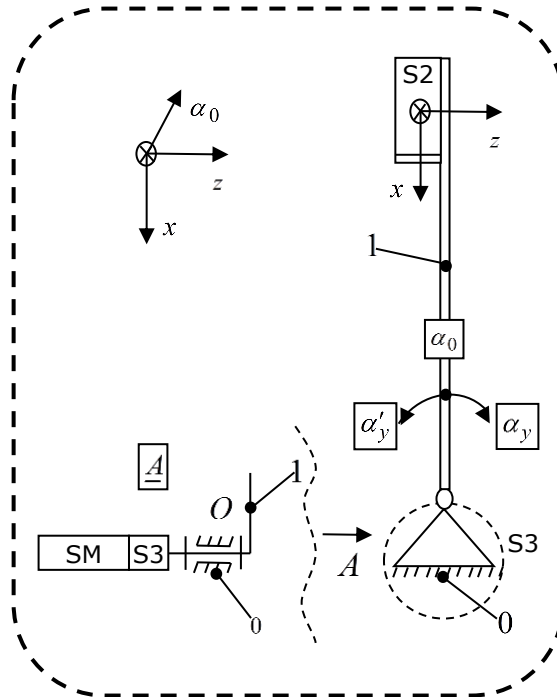


Figura 5.21 Poziția de referință a elementului (1)

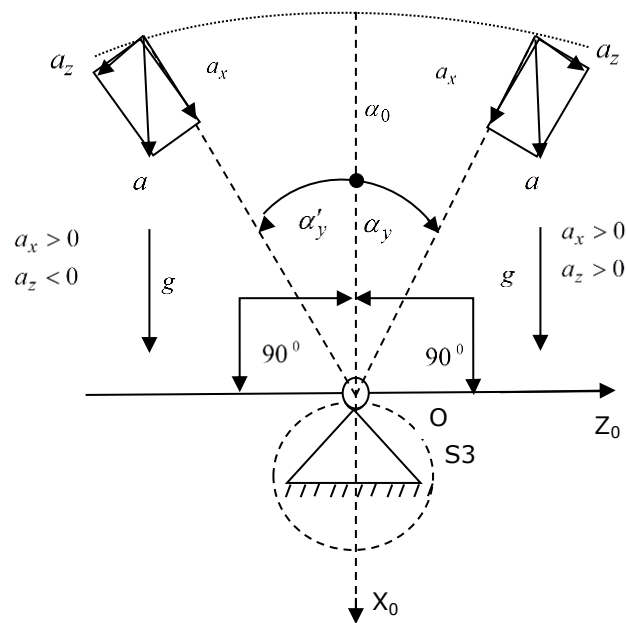


Figura 5.22 Corelarea semnalelor în funcție de poziția senzorului**5.2.4.2. Analiza rezultatelor achiziționate pe parcursul experimentelor cu demonstratorul**

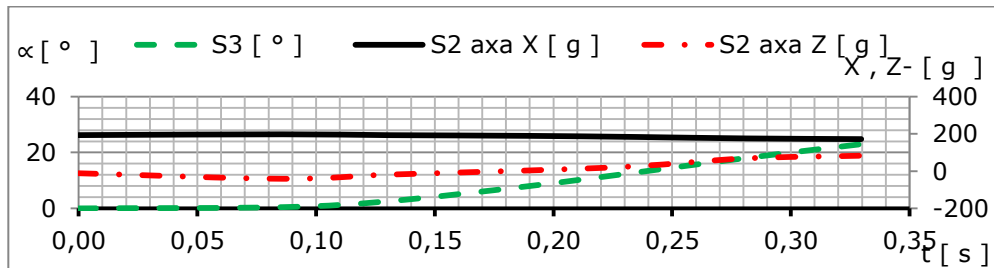
Pentru a putea trage concluzii pertinente referitoare la elementele senzoriale, am realizat experimentele următoare.

Primul set de măsurători a fost realizat pentru o mișcare în sensul unghiului $\alpha_y = 30^\circ$ (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*).

Reprezentarea grafică a parametrilor senzoriali S2 și S3 este prezentată în Figura 5.23. Au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori. O parte a valorilor prelucrate statistic (medii achiziționate) se regăsesc în Tabelul 5.6, iar în extenso, în Anexa 5.12.

Tabel 5.6 Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 30^\circ$

Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,412	-11,471
0,086	0,445	197,588	-41,059
0,131	2,584	193,118	-18,529
0,188	7,814	189,529	3,059
0,235	12,854	183,412	26,294
0,281	18,064	175,588	68,647
0,330	22,976	171,941	82,824

**Figura 5.23** Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 30^\circ$

Folosind aceleași setări (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*), s-au executat și mișcări în sensul unghiului $\alpha'_y = 30^\circ$.

Reprezentarea grafică a parametrilor senzoriali S2 și S3 este prezentată în Figura 5.24. Experimentul a fost repetat de 10 ori. O parte a valorilor prelucrate statistic (medii achiziționate) se regăsesc în Tabelul 5.7, iar în extenso în Anexa 5.13.

Tabel 5.7 Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 30^\circ$

Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0	0	192,8	9,2
0,078	0	193	9,2
0,136	-0,648	193,6	29,8
0,1948	-6,192	188	45
0,2528	-14,04	177,8	-6,6

0,315	-22,176	180,6	-86
0,3732	-27,864	185	-90,2

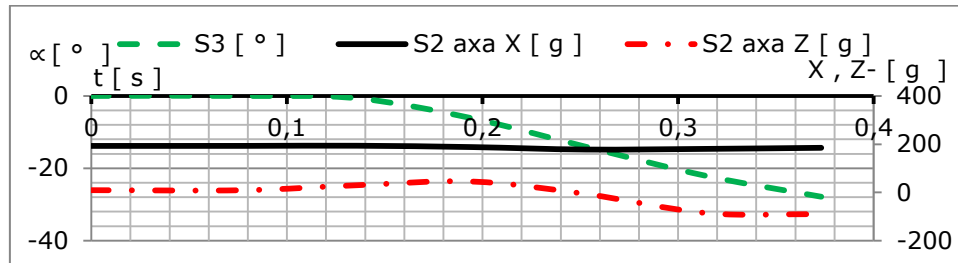


Figura 5.24 Măsurători pentru mișcarea $\alpha'_y = 30^\circ$

Din analiza rezultatelor primului set de valori achiziționate se poate remarca o mișcare inerțială contrară față de direcția de mișcare în primele zecimi de secundă de la startul mișcării. Este de interes analiza mișcărilor în zona unor unghiuri apropiate de poziția verticală a demonstratorului (α_y valori mici).

În concordanță cu precizarea anterioară, a fost realizat *un al doilea* set de măsurători. A fost realizată o mișcare în sensul unghiului $\alpha_y = 5^\circ$, (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*). Reprezentarea grafică a parametrilor senzoriali S2 și S3 este prezentată în Figura 5.25. Au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori. O parte a valorilor prelucrate statistic (medii achiziționate) se regăsesc în Tabelul 5.8, iar în extenso, în Anexa 5.14.

Tabel 5.8 Măsurători pentru mișcare $\alpha_y = 5^\circ$

Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	-13,200
0,085	0,000	193,000	-13,400
0,129	0,000	194,200	-38,200
0,173	0,864	192,200	4,000
0,217	1,944	192,200	-4,400
0,261	2,160	192,200	5,000

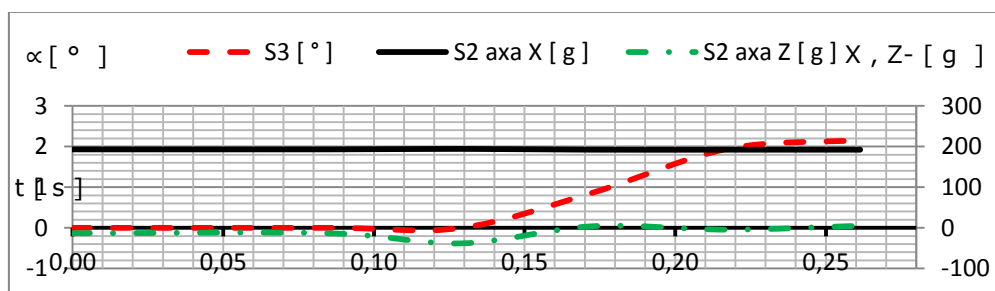


Figura 5.25 Măsurători pentru mișcarea $\alpha_y = 5^\circ$

Folosind aceleași setări (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2*

Programming) s-au executat și mișcări în sensul unghiului $\alpha'_y = 5^\circ$, reprezentarea grafică a parametrilor senzoriali S2 și S3 este prezentată în Figura 5.26.

Experimentul a fost repetat de 10 ori. O parte a valorilor prelucrate statistic (medii achiziționate) se regăsesc în Tabelul 5.9, iar în extenso, în Anexa 5.15.

Tabel 5.9 Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 5^\circ$

Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	11,571
0,071	0,000	193,000	11,571
0,114	-0,154	192,429	19,429
0,157	-1,234	189,857	26,286
0,200	-2,880	195,000	-26,143

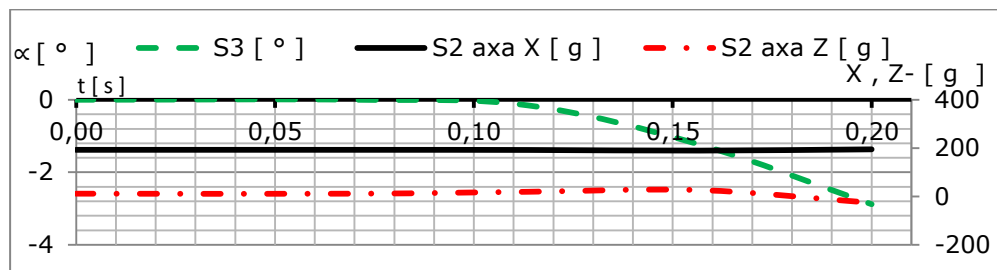


Figura 5.26 Măsurători pentru mișcare $\alpha'_y = 5^\circ$

O selecție a valorilor medii pentru senzorii S2 și S3, aflați pe elementul mobil (1), a fost prezentată în Tabelele (5.6 – 5.9). Variația în timp a parametrilor este ilustrată în Figurile (5.23 - 5.26).

Se constată pentru un interval scurt de timp $\Delta t_1 \cong 0.13$ secunde, în faza de start, o informație în sens opus față de sensul dorit de mișcare.

Acest lucru poate avea explicațiile:

- Poziția inițială a elementului mobil diferă de cea teoretică $\alpha_0 = 90^\circ$;
- Acțiunea unei forțe de inerție accentuate asupra elementului (1) pe intervalul de timp precizat care să conducă la modificări de poziție.

Pentru a elucida aspectele care au avut loc în momentul de start, a fost realizată cea de-a doua mișcare, singura deosebită față de cazul anterior unde ($\alpha_y < 0^\circ$), a constat în modificarea sensului de start a mișcării (cazul $\alpha'_y > 0^\circ$), care a fost invers față de cazul anterior. Valorile estimate pentru parametrii a_x , a_z , sunt, $a_x > 0$, $a_z > 0$. Din analiza semnalelor obținute se constată că pe intervalul $\Delta t_1 \cong 0.2$ secunde, parametrul $a_z > 0$.

În concluzie, setul de experimente desfășurat pe baza senzorilor S2 și S3 au scos în evidență:

- Necesitatea determinării corelației între unghiul de rotație achiziționat de la S3 și unghiul de rotație, față de poziția de referință, dat de S2;
- Necesitatea analizei aspectelor aleatorii ale procesului abordat;
- Extinderea analizei (apelarea la variante noi hardware și software) în zona valorilor pentru unghiuri $\leq 5^\circ$.

5.2.4.3. Analiza probabilistică a procesului aleatoriu

În Tabelul 5.10 este prezentat un fragment din setul de valori achiziționate de la senzorul S2. Cele trei componente, a_x , a_y , a_z ale semnalelor de la senzorul S2, permit determinarea modului pentru mărimea vectorială accelerație (a):

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (5.7)$$

Tabel 5.10 Valori achiziționate și prelucrate de la senzorul S2

Timp [s]	$S2 - a_y$ [g]	$S2 - a_x$ [g]	$S2 - a_z$ [g]	a [5.7]
0	14	193	-6	193,6001
0,077	14	194	-6	194,5970
0,141	17	200	-71	212,9084
0,199	7	201	-3	201,1442
0,256	-13	188	8	188,6187

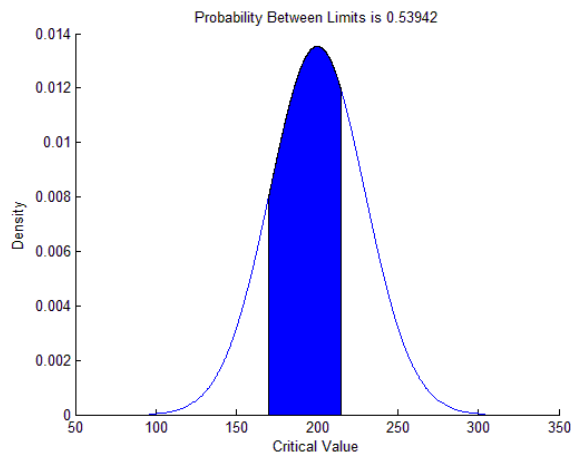
Sirul de valori achiziționate, au permis determinarea valorii medii a parametrului $|a|$ și a dispersiei. A fost utilizat mediul de lucru Microsoft Excel [***, 4.18] și [Davidescu, 2007]:

- Funcția AVERAGE/M-Excel: $a_{med} = 200,1673$ [g];
- Funcția STDEV/M-Excel: $\sigma = 29,4846$.

Valoarea medie a_{med} determinată este apropiată de cea specificată în documentația tehnică [Anexa 4.10], cu eroarea:

$$\varepsilon_a[\%] = \frac{200,1673 - 200}{200} * 100 = \frac{0,1673}{200} * 100 = 0.083\% \quad (5.8)$$

Pe baza acestor valori, a fost determinată probabilitatea de estimare a valorii parametrului $|a|$, în intervalul definit de valorile tabelului 5.10 [***, 5.4] (Figura 5.27).

**Figura 5.27** Funcția de probabilitate în estimarea parametrului a (acelerație)

În continuarea analizei aspectelor aleatorii s-a analizat achiziționarea informațiilor de la senzorii S2 și S3 (în Tabelul 5.11 se regăsesc datele achiziționate în funcție de timp). Semnificația notațiilor este cea anterioară. Valorile pentru unghiurile de rotație α' și α'' au fost determinate pe baza relațiilor (5.3 – 5.6). Dependența grafică reprezentativă a semnalelor S3, unghi calculat α' este prezentată în Figura 5.28.

$$a_{xz} = \sqrt{a_x^2 + a_z^2} \quad (5.9)$$

$$\alpha' = \text{asin}\left(\frac{a_z}{a}\right) * \frac{180^\circ}{3,14} \quad (5.10)$$

$$\alpha'' = \text{atan}\left(\frac{a_z}{a_x}\right) * \frac{180^\circ}{3,14} \quad (5.11)$$

Tabel 5.11 Datele achiziționate și prelucrate în cadrul experimentelor de la S2 și S3 în funcție de timp

Timp[s]	S3[°]	S2 [g]		a_{xz} [5.9]	α' [°]	α'' [°]
		a_x	a_z			
0,000	0,000	193,412	-11,471	193,752	-3,287	-3,396
0,086	0,445	197,588	-41,059	201,809	-11,843	-11,745
0,131	2,584	193,118	-18,529	194,005	-5,314	-5,483
0,188	7,814	189,529	3,059	189,554	0,876	0,925
0,235	12,854	183,412	26,294	185,287	7,552	8,163
0,281	18,064	175,588	68,647	188,530	20,067	21,364
0,330	22,976	171,941	82,824	190,849	24,454	25,733
0,376	26,725	169,118	107,824	200,566	32,609	32,537
0,422	28,758	159,882	142,647	214,267	45,473	41,761

Folosind datele din Tabelul 5.11, au fost construite graficele comparative din Figura 5.28 (valori calculate comparativ cu cele măsurate prin S3) și Figura 5.29 (valori calculate prin relațiile 5.10-5.11).

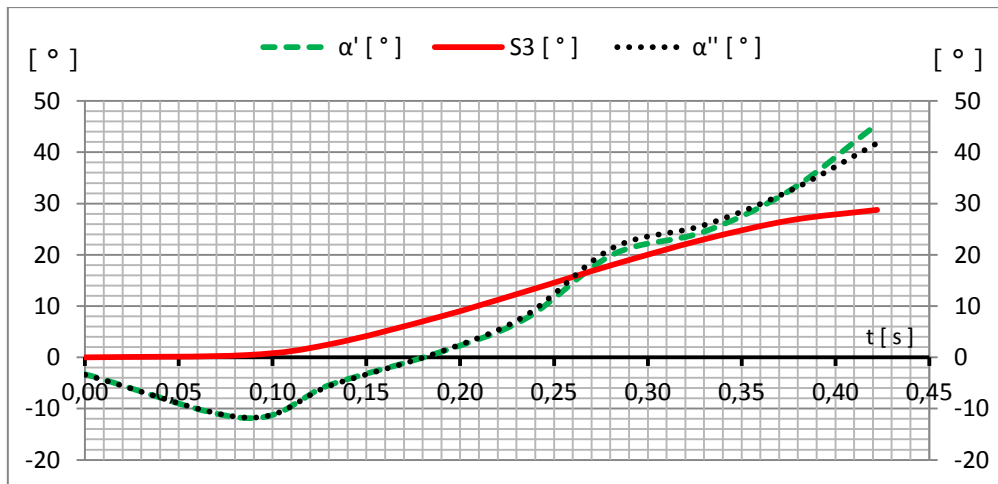


Figura 5.28 Grafic de comparație între valori calculate și valori măsurate

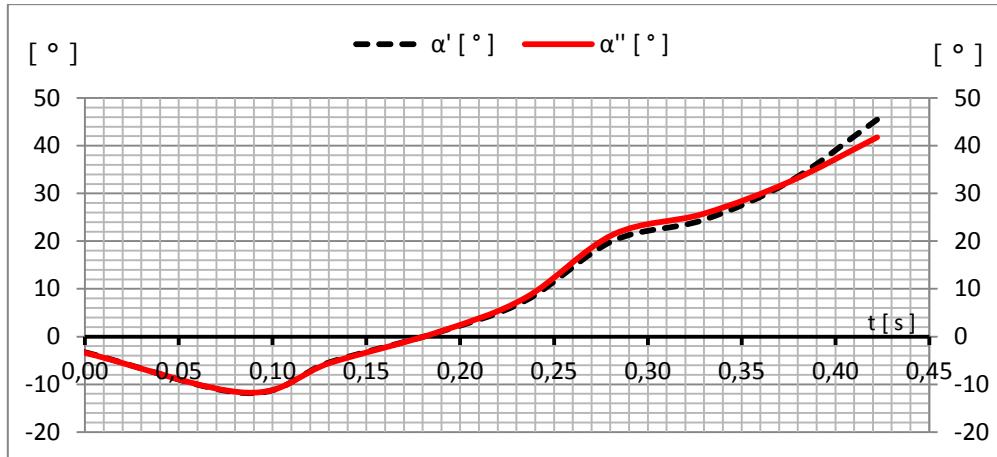


Figura 5.29 Grafic de comparație ale valorilor calculate

Din analiza rezultatelor, se poate constata și menționa:

- variația în timp a unghiurilor α' și α'' este neliniară;
- valorile pentru unghiurile α' și α'' sunt apropiate (așa cum este de așteptat);
- se poate constata că există o abatere relativ mare între cele două informații analizate;
- având în vedere importanța parametrului analizat în asigurarea stabilității pentru un sistem mecatronic pendul invers și abaterile constatate, se impune analiza procesului aleatoriu.

În sensul celor menționate anterior, considerăm un set de valori (a_{x1}, a_{z1}) , (a_{x2}, a_{z2}) , ..., (a_{xn}, a_{zn}) pe care îl analizăm ca un eșantion al variabilei aleatoare bidimensionale (a_x, a_z) .

Spunem că variabilele a_x , a_z sunt corelate dacă una dintre ele este o funcție față de cealaltă variabilă descrisă printr-o relație matematică (lineară sau neliniară) [Davideșcu, 2007].

În Tabelul 5.12 este prezentat eșantionul de valori corespunzător informațiilor prelucrate de la senzorul S2.

Tabel 5.12 Informațiile prelucrate de la senzorul S2

Nr. crt.	Valoarea medie \bar{a}_x [g]	Valoarea medie \bar{a}_z [g]
1	193,4117647	-11,47058824
2	197,5882353	-41,05882353
3	193,1176471	-18,52941176
4	189,5294118	3,058823529
5	183,4117647	26,29411765
6	175,5882353	68,64705882
7	171,9411765	82,82352941
8	169,1176471	107,8235294
9	159,8823529	142,6470588
10	170,4117647	88,52941176

În Figura 5.30 este redată reprezentarea perechilor de valori (a_{xi}, a_{zi}) $i=1...10$ din Tabelul 5.12.

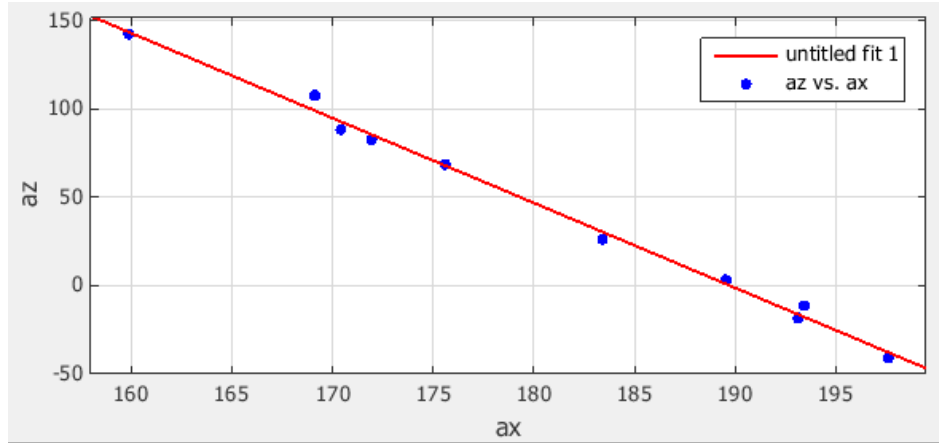


Figura 5.30 Corelarea valorilor medii \bar{a}_x și \bar{a}_z

Din simpla analiză vizuală a reprezentărilor, se poate remarca o corelație negativă între a_x și a_z .

Utilizând mediul de lucru Matlab/Cftools, a fost determinată dreapta pentru cea mai bună aproximare a setului de valori (vizibilă în Figura 5.30) [***, 5.3].

Tabel 5.13 Modelul liniar și parametrii statistici

Modelul liniar al polinomului $f(x) = p1 \cdot x + p2$ Coeficienții (95% confidence bounds): $p1 = -4.818$ (-5.103, -4.533) $p2 = 914$ (862.4, 965.6)	$a_z = -4.818a_x + 914$
Parametrii statistici: SSE: 179 R-square: 0,9948 Adjusted R-square: 0,9942 RMSE: 4.73	

Ca o măsură a corelației liniare între două variabile X și Y, se utilizează coeficientul de corelație Pearson (liniară) al selecției prin relația [Davidescu, 2007]:

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.12)$$

unde:

r_{xy} - este indicele de corelație între variabilele X și Y;

σ_{xy} - este covarianța variabilelor X,Y;

σ_x - este dispersia variabilei aleatoare X;

σ_y - este dispersia variabilei aleatoare Y;

$(x_i - \bar{x})$ - este abaterea variabilei X_i ;

$(y_i - \bar{y})$ - este abaterea variabilei Y_i .

În Tabelul 5.14 este prezentată selecția de valori analizată și valorile prelucrate în MS-Excel [***, 5.1], pentru coeficientul de corelație.

Tabel 5.14 Coeficientul de corelație

Nr.	A_{x1}	A_{x2}	A_{x3}	$A_{x..n}$	A_{x-med}	A_{z1}	A_{z2}	A_{z3}	$A_{z..n}$	A_{z-med}	r_{xz}
1	193	193	196	...	193,412	3	-10	-58	...	-11,471	-0,515
2	195	195	205	...	197,588	-44	-39	-15	...	-41,059	-0,391
3	200	187	197	...	193,118	-27	-13	-14	...	-18,529	-0,440
4	190	179	171	...	189,529	-20	104	119	...	3,059	-0,488
5	181	177	172	...	183,412	34	82	100	...	26,294	-0,860
6	178	166	170	...	175,588	51	163	184	...	68,647	-0,678
7	169	162	162	...	171,941	113	86	90	...	82,824	-0,696
8	166	170	170	...	169,118	85	104	125	...	107,824	-0,842
9	157	160	154	...	159,882	200	213	201	...	142,647	-0,683
10	167	159	159	...	170,412	60	97	120	...	88,529	-0,515
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	R_{xz-med}

Pentru coeficientul de corelație calculat, au fost determinate valorile:

- Valoare medie - $r_{xy} = -0.62139$;
- Dispersia - $\sigma_{r_{xz}} = 0.1709$.

Pe baza valorilor anterioare se poate estima funcția de probabilitate pentru coeficientul de corelație (Figura.5.31).

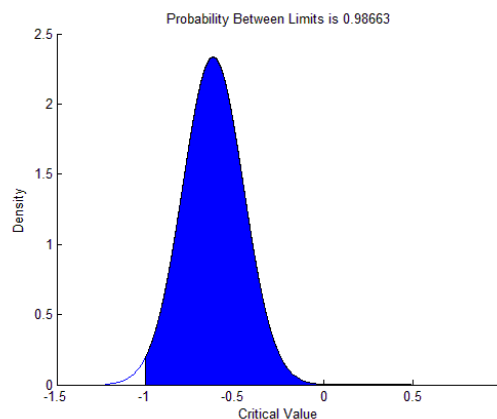


Figura 5.31 Probabilitatea coeficientului de corelație

5.2.4.4. Concluzii

Din experimentele de mai sus se pot evidenția:

- La prima mișcare a componentei (1) din poziția de staționare, senzorul de accelerație înregistrează o valoare contrară sensului de mișcare din cauza inerției;

- Posibilitatea analizei aspectului aleatoriu al înclinării elementului mobil al demonstratorului și al utilizării informației într-o modelare matematică ulterioară;
- Între informațiile senzorilor S2 și S3 există diferențe. Lipsa unei origini comune pentru elementele senzoriale poate să fie cauza acestor abateri.

5.2.5. Utilizarea sinergică a rezultatelor

5.2.5.1. Generalități

Sistemele mecatronice utilizează adeseori o singură categorie de elemente/sisteme senzoriale pentru descrierea aplicației de realizat. Evoluția sistemelor mecatronice în mediul de lucru devine incertă pe parcursul aplicației. Această incertitudine este generată de variabilitatea mediului de lucru.

Se impune astfel să se utilizeze pe scară mai largă interacțiunea cu mediul de lucru prin integrarea mai multor elemente senzoriale. Doar utilizarea multiplă a senzorilor nu este suficientă fără o fuziune a informațiilor obținute.

Obiectivul operațional al subcapitolului este de a analiza posibilitățile de aplicare a principiilor sinergice mecatronice pentru estimarea parametrilor de cinematică, al elementului mobil 1.

În Figura 5.32 se prezintă principiul de lucru pentru atingerea obiectivului și notațiile primare ale celor trei senzori (S1, S2, S3) care sunt utilizați în operațiile de calcul numeric, în vederea determinării parametrilor suplimentari.

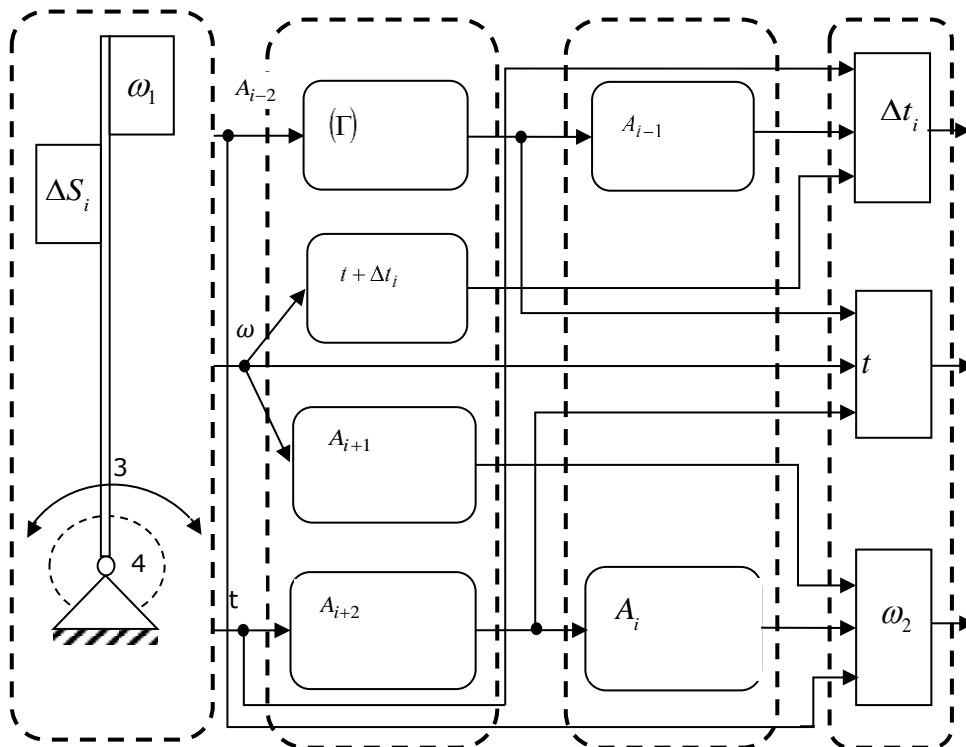


Figura 5.32 Schema demonstratorului pentru prelucrarea informației

Una din posibilitățile de evaluare a informației multisenzoriale în vederea fuziunii, are la bază interpretarea geometrică a parametrilor cinematici și metodele numerice de analiză. O altă variantă de analiză și utilizare a informației devine posibilă prin extrapolarea filtrului Kalman: un parametru cinematic măsurat este utilizat în estimarea altuia.

În mod exemplificativ se prezintă modul de determinare:

- A unghiului de rotație φ descris de un element în mișcare de rotație, pornind de la viteza unghiulară;
- A vitezei unghiulare a elementului pornind de la unghiul de rotație realizat.

Se consideră că viteza unghiulară a unui element în mișcarea de rotație este descrisă de curba (Γ) (Figura 5.33.)

$$\varphi = \int \omega \cdot dt$$

Particularizăm relația anterioară pentru un interval scurt de timp Δt_i . Unghiul de rotație pentru acest interval de timp se poate scrie sub forma:

$$\Delta\varphi_{i-1,t} = \int_{t_1}^{t_2} \omega \cdot dt \cong \omega_{imed} \cdot \Delta t \cong S_{1234}$$

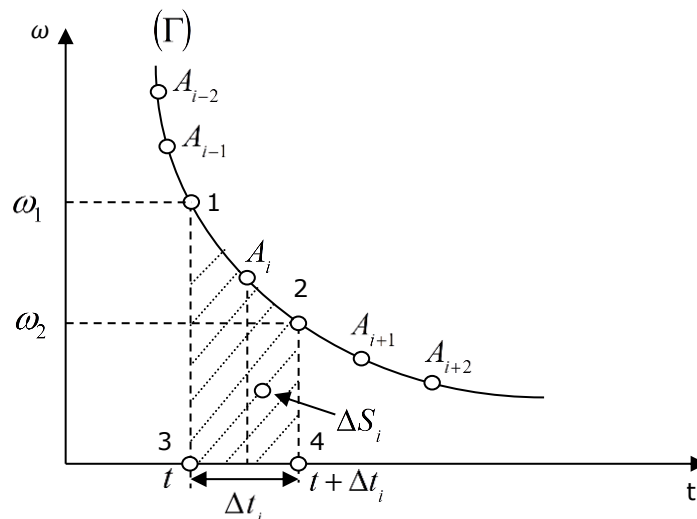
unde:

- viteza unghiulară medie pe intervalul de timp Δt_i este (ω_1 și ω_2 sunt vitezele unghiulare aferente momentelor de timp t_{i-1} și t_i):

$$\omega_{imed} = \frac{\omega_{i-1} + \omega_i}{2} \quad (5.13)$$

Suprafața patrulaterului curbiliniu (1,2,3,4) este aproximată astfel prin:

$$S_{1234} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot \Delta t = \omega_{med} \cdot \Delta t \quad (5.14)$$

**Figura 5.33** Integrare numerică

Conform principiilor mecanice clasice, pentru mișcarea de rotație se poate scrie relația de calcul a unghiului corespunzător intervalului de timp Δt_i :

$$\varphi_i = \varphi_i + \Delta\varphi_i = \varphi_i + \omega_{imed} \cdot \Delta t_i \quad (5.15)$$

Se presupune că un sistem senzorial asigură informațiile referitoare la unghiul de rotație φ a elementului mobil (Figura 5.32). Trajectoriile descrise permit stabilirea valorilor unghiului la momentele de timp t_i și t_{i+1} .

Conform principiilor mecanicii clasice, se poate defini parametrul cinematic cu ω [rad/s] pe baza relației:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (5.16)$$

sau pe un interval scurt de timp considerat:

$$\omega_{imed} \cong \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (5.17)$$

Semnificația geometrică a relației (5.18) corespunde (conform Figura 5.34) cu coeficientul unghiular al tangentei într-un punct al curbei (Γ). Prin urmare, viteza unghiulară medie pe intervalul considerat, va fi:

$$\omega_{imed} = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (5.18)$$

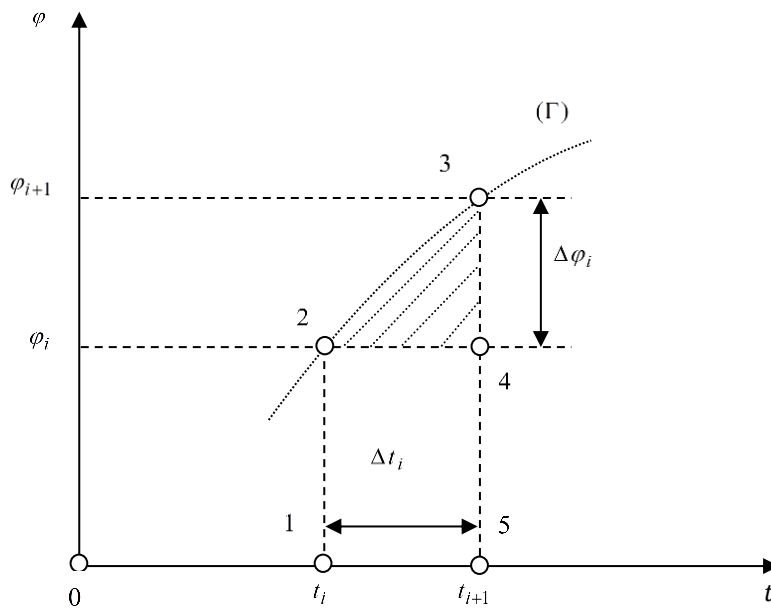


Figura 5.34 Derivarea numerică

Pe principii asemănătoare se pot determina oricare dintre parametrii cinematici pornind de la valori măsurate.

5.2.5.2. Analiza sinergică a valorilor achiziționate de la senzorul S3

Primul set de experimente a vizat estimarea vitezei de rotație a elementului (1) al demonstratorului, pornind de la unghiul de rotație achiziționat de la senzorul S3. Această informație va fi comparată cu valoarea achiziționată de la senzorul S1.

Informațiile achiziționate de la S3 au fost prelucrate statistic și sunt

prezentate în Anexa 5.16. Un fragment din acest set de valori este prezentat în Tabelul 5.15.

Tabel 5.15 Informațiile achiziționate de la S3

Timp [s]	S3 [°]	S1 [°/s]	Ω_{med} [°/s]
0,000	0,000	0,000	0,000
0,085	0,000	-0,200	0,005
0,129	0,432	7,200	9,854
0,173	2,952	55,000	57,014
0,217	6,552	79,800	81,818
0,261	10,800	91,600	96,109
0,309	16,128	101,800	111,000
0,354	20,232	82,800	92,018
0,398	23,760	72,400	80,182

În Tabelul 5.15 este prezentat și parametrul estimat Ω_{med} [°/s], conform cu metodele numerice. Valorile măsurate ale parametrului-viteză de rotație și reprezentarea grafică sunt vizibile în Figura 5.35.

Se constată existența unor diferențe valorice care au ca sursă de eroare aproximările admise și jocurile din sistemul mecanic al demonstratorului.

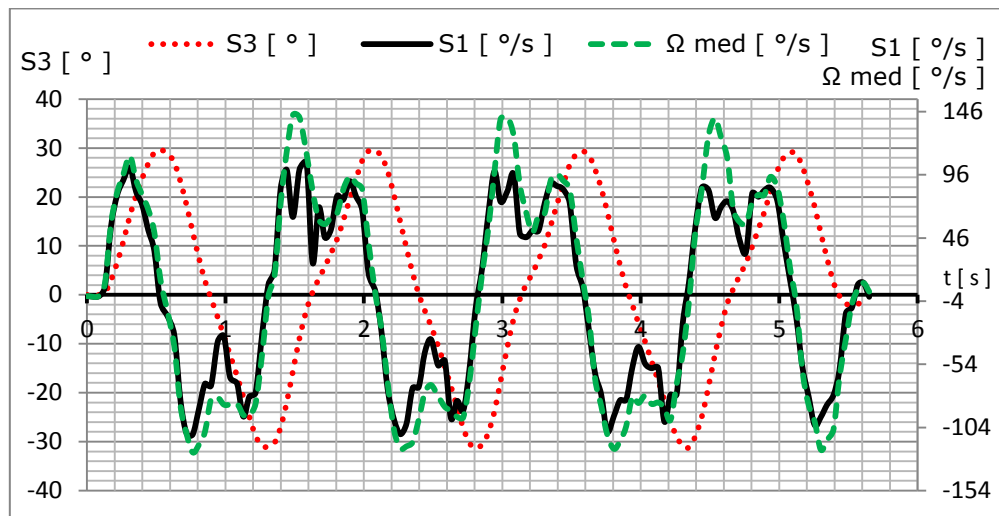


Figura 5.35 Parametrul viteză

Pe același principiu al calculului numeric se prezintă în continuare modul de estimare a unghiului de rotație a elementului (1), pornind de la viteza de rotație a acestuia, achiziționată prin intermediul senzorului giroscopic S1.

În Tabelul 5.16 este prezentat și parametrul estimat φ_1 [°], conform cu metodele numerice.

Valorile măsurate ale parametrului care dă unghiul de rotație și valorile estimate sunt vizibile grafic în Figura 5.36. Se constată existența unor diferențe valorice care au ca sursă de eroare aproximările admise și jocurile din sistemul mecanic al demonstratorului.

Tabel 5.16 Parametrii estimați

Timp [s]	S1 [°/s]	φ_1 [°]	S3 [°]
0.000	0.000	0.000	0.000
0.044	-0.100	-0.002	0.005
0.085	-0.200	-0.008	0.010
0.129	7.200	0.145	0.432
0.173	55.000	1.520	2.952
0.217	79.800	4.485	6.552
0.261	91.600	8.273	10.800
0.309	101.800	12.915	16.128
0.354	82.800	17.031	20.232
0.398	72.400	20.446	23.760
0.442	52.400	23.191	26.784
0.486	35.800	25.141	29.016

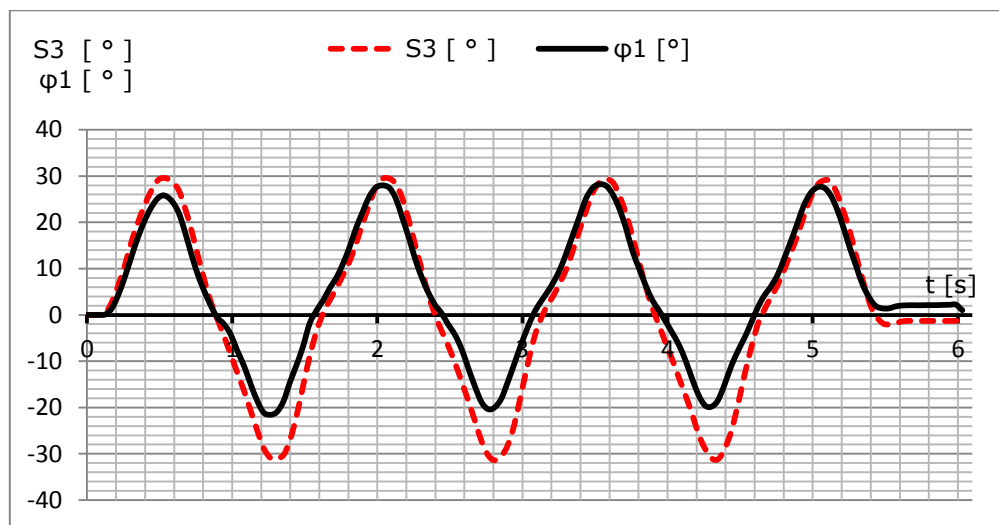


Figura 5.36 Unghiul de rotație și valorile estimate

Modelul matematic pentru filtrul Kalman cu estimarea parametrilor cinematici este prezentat prin relația [Lee, 2009]:

$$\begin{Bmatrix} \varphi_i \\ \omega_i \\ \varepsilon_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta & \Delta^2/2 \\ 0 & 1 & \Delta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varphi_{i-1} \\ \omega_{i-1} \\ \varepsilon_{i-1} \end{Bmatrix} \quad (5.19)$$

unde: Δ – reprezintă intervalul de timp admis între două iterații; φ_i , ω_i și ε_i – sunt parametrii cinematici în iterația i .

Pe baza modelului descris, au fost estimate valorile unghiului de rotație (Tabelul 5.17), utilizând viteza achiziționată de la senzorul S1.

Tabel 5.17 Estimarea valorilor unghiului de rotație

Timp [s]	S3 [°]	S1 [°/s]	φ_1' [°]
0.000	0.000	0.000	0.000
0.044	0.005	-0.100	-0.007
0.085	0.010	-0.200	-0.017
0.129	0.432	7.200	0.461
0.173	2.952	55.000	3.948
0.217	6.552	79.800	8.005
0.261	10.800	91.600	12.314
0.309	16.128	101.800	17.445
0.354	20.232	82.800	20.715
0.398	23.760	72.400	23.671
0.442	26.784	52.400	25.537
0.486	29.016	35.800	26.753

În Tabelul 5.18 se prezintă valorile estimate pentru unghiul de rotație a elementului (1) (conform cu Tabelul 5.17), comparativ cu valoarea $\varphi_1[^\circ]$ măsurată.

Tabel 5.18 Valorile estimate pentru unghiul de rotație a elementului (1)

Timp [s]	S3 $\varphi[^\circ]$	$\varphi_1 [^\circ]$	$\varphi_1' [^\circ]$	Eroare -1 [%]	Eroare -2 [%]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
0.044	0.005	-0.002	-0.007	140.00	240.00
0.085	0.010	-0.008	-0.017	180.00	270.00
0.129	0.432	0.145	0.461	66.44	-6.71
0.173	2.952	1.520	3.948	48.51	-33.74
0.217	6.552	4.485	8.005	31.55	-22.18
0.261	10.800	8.273	12.314	23.40	-14.02
0.309	16.128	12.915	17.445	19.92	-8.17
0.354	20.232	17.031	20.715	15.82	-2.39
0.398	23.760	20.446	23.671	13.95	0.37
0.442	26.784	23.191	25.537	13.41	4.66
0.486	29.016	25.141	26.753	13.35	7.80

Se poate constata că a doua metodă de analiză a valorilor este mult mai apropiată de valorile obținute prin măsurare. În același timp, metodele de estimare conduc la rezultate neconcludente în jurul poziției verticale a elementului (1).

5.2.6. Concluzii

În urma colectării și analizei datelor din experimentele anterioare se pot constata următoarele aspecte:

- Semnalul senzorului optic este foarte mult influențat de mediul de reflecție a semnalului luminos;
- La schimbarea mediului de reflecție apar praguri diferite de semnale optice, valori mai scăzute pentru suprafețele închise la culoare și mate, iar pentru suprafețele lucioase și mai deschise la culoare se poate observa o creștere considerabilă a semnalului luminos;
- Semnalul senzorului optic este influențat de lumina ambientală care introduce parametri parazitiți în recepționarea lumini reflectate pe senzorul optic;
- În experimentele situate între $\approx \pm 30^\circ$ semnalul luminos de la S4 atinge un prag depășit la care senzorul nu mai este sensibil la semnal;
- În experimentele situate între $\approx \pm 10^\circ$ semnalul luminos de la S4 începe să fie detectat în gama de sensibilitate a senzorului;
- În experimentele situate între $\approx \pm 6^\circ$ semnalul luminos de la S4 începe să se încadreze în gama sensibilității detectată de senzor;
- În urma experimentelor se observă că semnalul luminos de la S4 este foarte bine recepționat dacă înclinația senzorului este până în 5° față de orizontală.

5.3. Concluzii finale

În urma colectării și analizei datelor din subcapitolele anterioare și ale analizei datelor experimentale, se pot constata următoarele aspecte:

- Datorită demonstratorului dezvoltat s-au putut efectua teste experimentale asupra senzorului optic. Testele au scos în evidență impactul clar al mediului ambiental asupra semnalului recepționat de acesta. A fost identificat și efectul suprafețelor de reflexie asupra semnalului recepționat;
- Utilizând senzorul de accelerație cu funcția de înclinometru, au putut fi măsurate și calculate erorile de înclinație ale elementului mobil în comparație cu valorile citite de la senzorul de rotație integrat în servomotorul electric;
- Utilizând datele de la sistemul senzorial și combinând rezultatele obținute, s-a putut calcula coeficientul de corelare a valorilor analizate.

6. MODELAREA ȘI SIMULAREA DEMONSTRATORULUI HUMANOID

6.1. Introducere

Obiectivul operațional al acestui capitol urmărește modelarea și simularea demonstratorului humanoid Lego. Obiectivului operațional i se atașează obiective secundare, orientate spre: dezvoltarea modelului fizic al demonstratorului, determinarea unor caracteristici dimensionale și gabarit, modelarea clasică a unor componente din structura demonstratorului, simularea în timp real.

6.2. Dezvoltarea demonstratorului humanoid Lego

6.2.1. Variante ale demonstratorului

Pe baza considerentelor din capitolele anterioare și a principiilor de proiectare a unui sistem mecatronic, a fost dezvoltat modelul demonstratorului humanoid, prezentat în Figura 6.1. Modelul a fost realizat pe baza componentelor Lego Nxt-2 (Anexa 4.2).

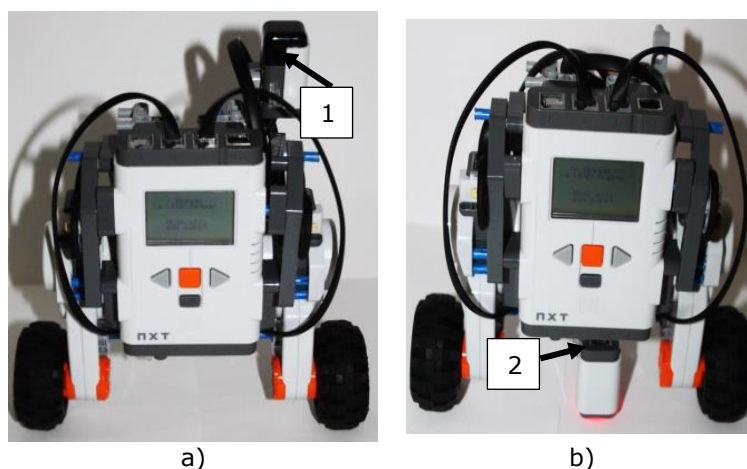


Figura 6.1 a) 1- Echilibrul robotului cu senzor giroscopic; b) 2- Echilibrul robotului cu senzor optic

Structura demonstratorului, robot mobil humanoid, a fost dezvoltată în concordanță cu structura cinematică din Capitolul 5, Figura 5.2 a unui pendul invers.

Pentru sinteza structurală a demonstratorului, am recurs la filozofia mecatronică de proiectare a unui sistem. Pentru stabilirea aspectelor constructive am ținut cont de cele menționate în cadrul capitolului 4 și de necesitatea evidențierii principiului pendulului invers pentru viitorul demonstrator.

Variante ale demonstratorului sintetizat și prezentat în Figura 6.1, se

regăsesc în literatura de specialitate [Shimada, 2006], [Acosta, 2010], [Anderson, 1989], [Arnoldo, 2012], [Balan, 2005], [Barya, 2010], [Boubaker, 2013].

Demonstratorul realizat a fost experimentat în două variante:

- Varianta D-1 (Figura 6.1.a) are integrat un senzor giroscopic în bucla de reacție;
- Varianta D-2 (Figura 6.1.b) are integrat un senzor optic în bucla de reacție.

Conform obiectivelor secundare admise pentru proiectul de cercetare, analiza semnalelor de la elementele senzoriale integrate în structura demonstratorului și comportamentul elementului senzorial optic S4 integrate în demonstratoarele precedente, au fost abordate în Capitolul 5.

Asigurarea parametrilor funcționali de calitate, pentru sistemul proiectat, impune dezvoltarea modelelor matematice ale elementelor componente, ale demonstratorului și validarea parametrilor finali, pe baza unor simulări adecvate.

6.2.2. Analiza semnalelor de la elementele senzoriale integrate [Savu..., Sandru, 2016]

6.2.2.1. Introducere

În analiza preconizată se urmărește achiziționarea prin intermediul unui osciloscop Fluke (metoda 1) a semnalelor de la senzorii S1-senzor giroscopic și S4-senzor optic. Semnalele astfel achiziționate vor fi comparate cu cele achiziționate prin intermediul platformei Lego (metoda 2), pe durata menținerii echilibrului demonstratorului humanoid.

Pentru a putea face măsurătorile necesare prin cea de-a doua metodă, am folosit două platforme Lego NXT-2. O platformă NXT-2 a fost utilizată pentru stabilizarea robotului mobil și o a doua pentru colectarea datelor. O singură platformă nu asigură desfășurarea celor două procese (de calcul pentru menținerea robotului în stare de echilibru și înregistrarea valorilor provenite de la senzori în momentul funcționării).

6.2.2.2. Analiza experimentală a demonstratorului D-1

Metoda de înregistrare, folosind cele două platforme NXT-2, a respectat următoarea procedură:

- A fost pregătită interfațarea componentelor sistemului (3 cabluri ce conțin 6 fire fiecare);
- Cablurile se inserează în mufe de tip YH-55-11 (6 pini);
- Au fost realizate conexiunile platformă-senzor având în vedere:
 - Semnalul de la portul numărul 1 al platformei robotului se conectează la senzorul giroscopic;
 - Conexiunea firelor între cele 2 mufe de legătură a platformelor LEGO NXT-2 se face 1 la 1, de la pinul 3 până la pinul 6;
 - Pinul 1 și pinul 2 de la prima platformă a robotului NXT-2 se leagă în serie cu pinul 1 și pinul 2 de la cea de-a doua platformă NXT-2, iar aceasta din urmă trebuie să citească aceleași valori ale senzorului conectat prin cablul de legătură la portul 1 a primei platforme;
- Interfațarea platformei NXT-2 (care primește datele) cu un PC prin intermediul unui cablu USB. Vizualizarea și înregistrarea datelor se realizează prin Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming instalat pe PC.

În Figura 6.2 este prezentat standul de lucru, folosind cele două platforme Lego NXT-2, pentru a înregistra parametrii și pentru a realiza analiza ulterioară a datelor.

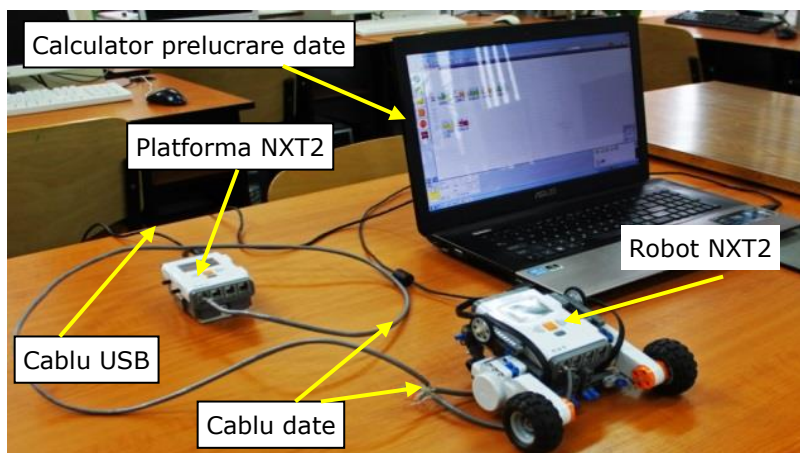


Figura 6.2 Stand utilizând cele două platforme NXT-2 [Savu..., Sandru, 2016]

În Figura 6.3 se pot observa informațiile achiziționate în timpul menținerii echilibrului robotului mobil, folosind senzorul giroscopic.

Datele preluate de cele două platforme NXT-2 sunt prezentate folosind mediul grafic MS Excel 2010. Valorile numerice ale datelor se află în Anexa 6.1.

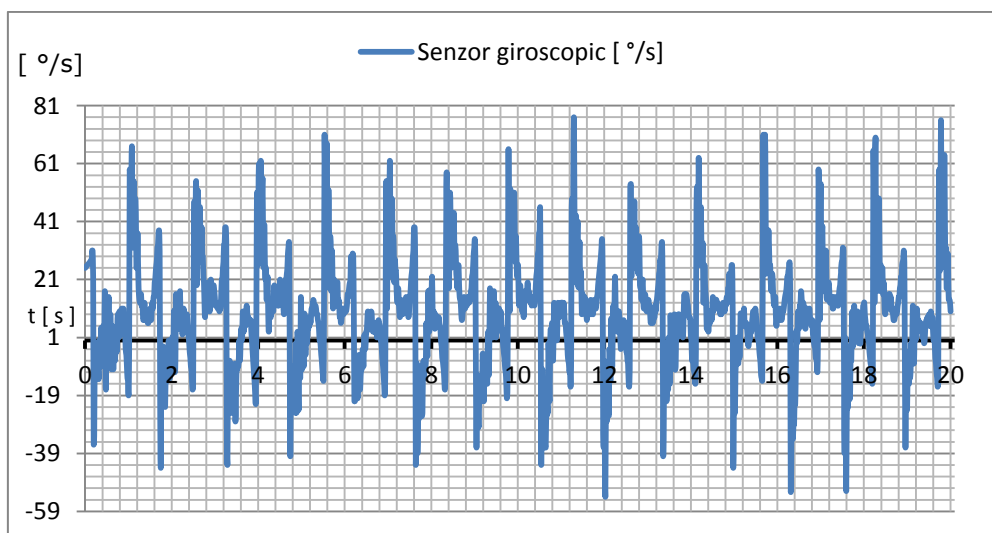


Figura 6.3 Semnal giroscopic al demonstratorului D1 folosind platforma NXT2

Pe parcursul experimentelor au putut fi sesizate influențe negative ale configurației platformei NXT-2, în comanda demonstratorului și achiziția informațiilor. Din acest motiv am dezvoltat o a doua variantă de achiziție a datelor folosind un osciloscop.

Schema de conexiune a osciloscopului la standul de probe este prezentată în

Figura 6.4. Pentru a putea folosi osciloscopul la achiziția semnalelor provenite de la senzorul giroscopic în timpul funcționării și menținerii robotului în starea de echilibru, s-a dezizolat cablu de conexiune (cablu cu conectori de tip YH-55-11) între senzor și portul 1 al platformei robotului NXT-2, reușind astfel să colectăm semnalul de pe pinul 1 și 2 al conectorului C2-YH-55-11.

Pinul numărul 1 este interfață analogică (+9 V) (fir culoare albă), iar pinul numărul 2 este potențial negativ (-) (fir de culoare neagră).

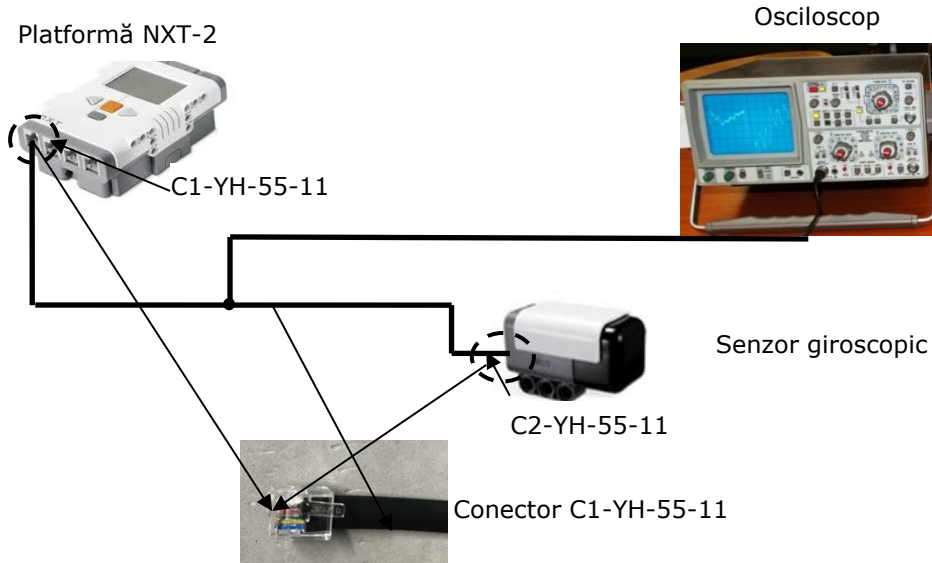


Figura 6.4 Schema de conexiune-colectare semnal senzor giroscopic [Savu..., Sandru, 2017]

Standul de probe realizat, folosind osciloscopul și elementele acestuia, este prezentat în Figura 6.5.

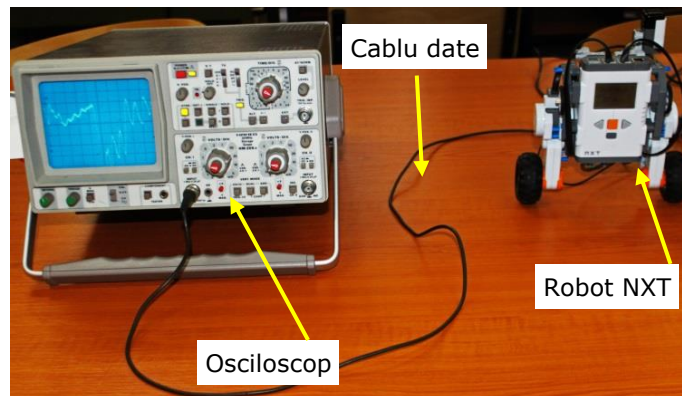


Figura 6.5 Standul de lucru folosind osciloscopul

Comportamentul demonstratorului D-1, pe parcursul colectării datelor în timpul menținerii echilibrului, se poate vedea în Figura 6.6. Date suplimentare din timpul experimentului se regăsesc în Anexa 6.2.

În Figura 6.6 este reprezentat semnalul de la senzorul giroscopic pe

parcursul a trei cicluri A, B, C de menținere a stabilității elementului mobil. Detaliile fiecărui ciclu în parte sunt prezentate în Figurile 6.7, 6.8, 6.9. În casetele din dreapta fiecărei figuri sunt prezentate valorile parametrilor de achiziție.

Parametrul de pe ordonată (axa y, [mV]), semnifică viteza de oscilație a demonstratorului față de vertical. Durata unui ciclu (axa x, [ms]) este asemănătoare pentru cele trei cazuri.

Detaliul E reprezintă valoarea extremă a semnalului corespunzător tendinței de pierdere/menținere a echilibrului. Valoarea pozitivă sau negativă a acestui semnal indică sensul de înclinare a elementului mobil.

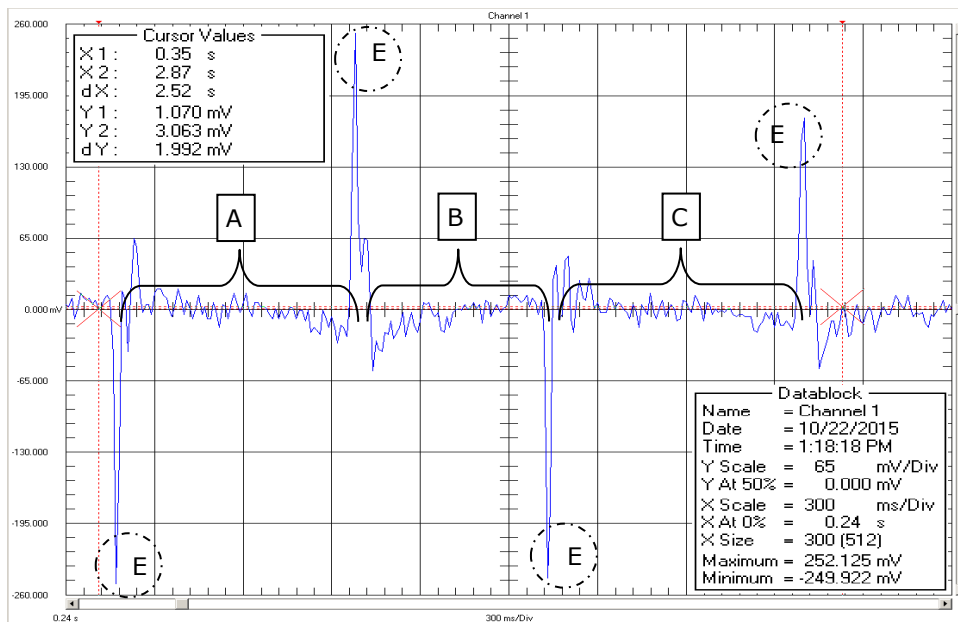


Figura 6.6 Semnalul achiziționat de la giroscop (demonstratorul D1)

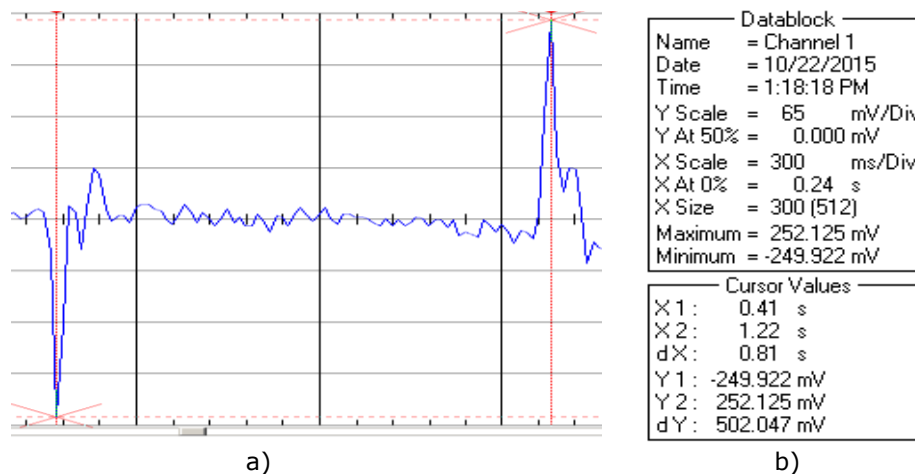


Figura 6.7 Detaliul A al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)

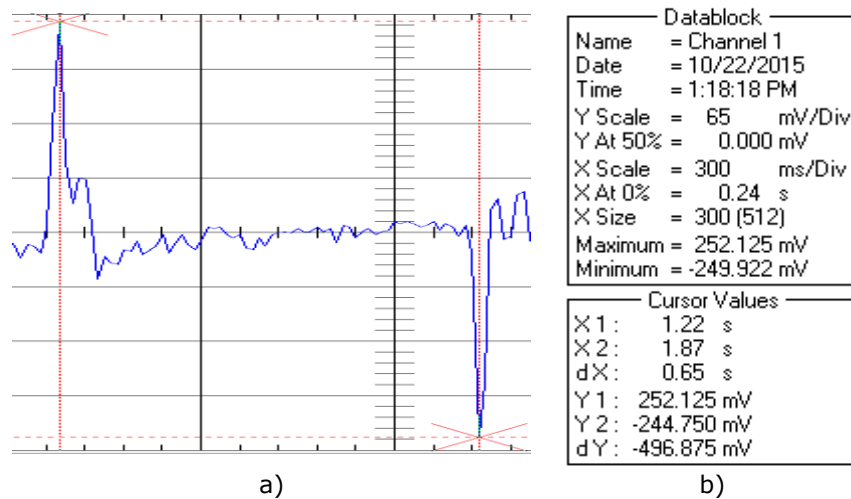


Figura 6.8 Detaliul B al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)

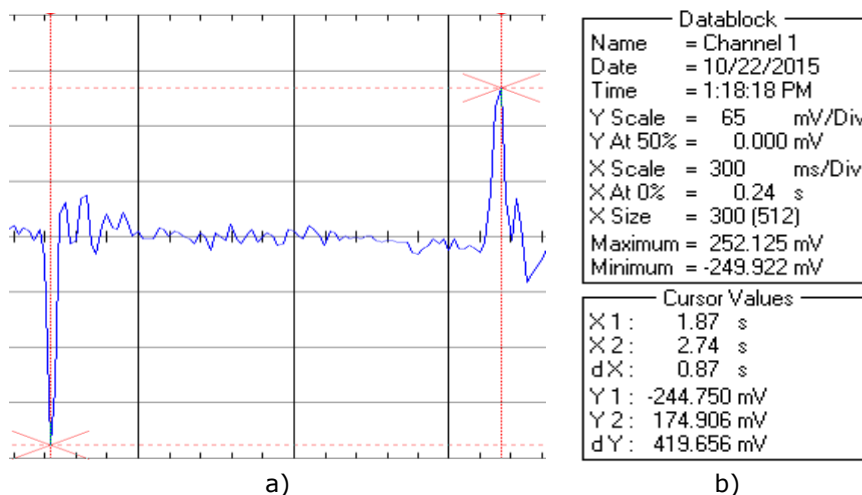


Figura 6.9 Detaliul C al semnalului de la giroscop (demonstratorul D1)

6.2.2.3. Demonstrator 2 utilizând senzorul optic-S4

Pentru a achiziționa semnalul optic folosind cele două platforme NXT-2 s-a utilizat schema de conexiune din Figura 6.10, în care este prezentată schema electronică de funcționare al senzorului S4. Conexiunea firelor între cele 2 mufe de legătură a platformelor LEGO NXT-2 se face 1 la 1 până la pinul 3. Pinul 1 și pinul 2 de la platforma robotului NXT-2 se leagă în serie cu pinul 1 și pinul 2 de la cea de-a doua platformă NXT-2. Această platformă trebuie să „citească” aceleași valori de la senzorul conectat la portul 1 al primei platformei.

În Figura 6.2 se poate vedea standul de probe, folosind cele două platforme Lego NXT-2, care sunt conectate printr-un cablu USB, la un calculator, pentru a înregistra parametrii și analiza ulterioară a datelor.

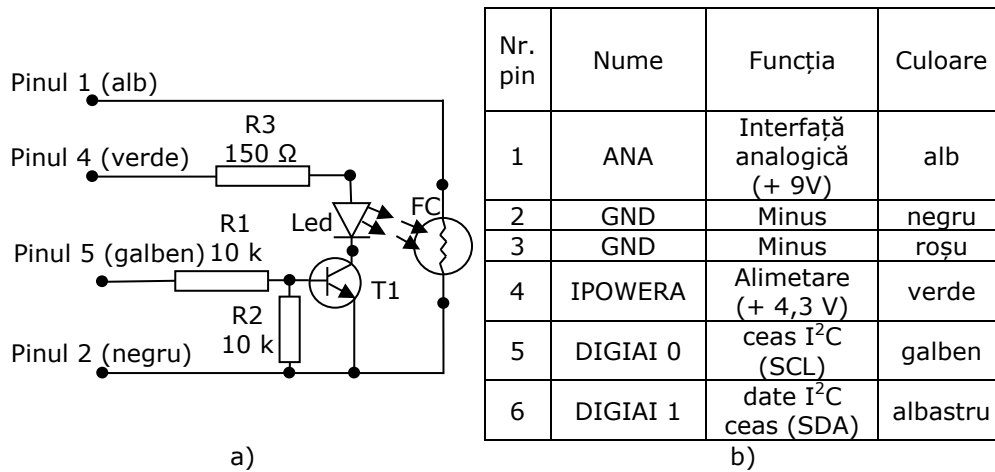


Figura 6.10 a) Principiul de conexiune senzor optic; b) Semnalele distribuite pe cei 6 pini și culorile firelor

În Figura 6.11 se observă parametrii semnalului pe durata menținerii echilibrului robotului mobil. Datele achiziționate de la platforma NXT-2 au fost prelucrate și prezentate grafic folosind mediul MS-Excel 2010. Valorile numerice achiziționate de la senzorul optic se regăsesc în Anexa 6.1.

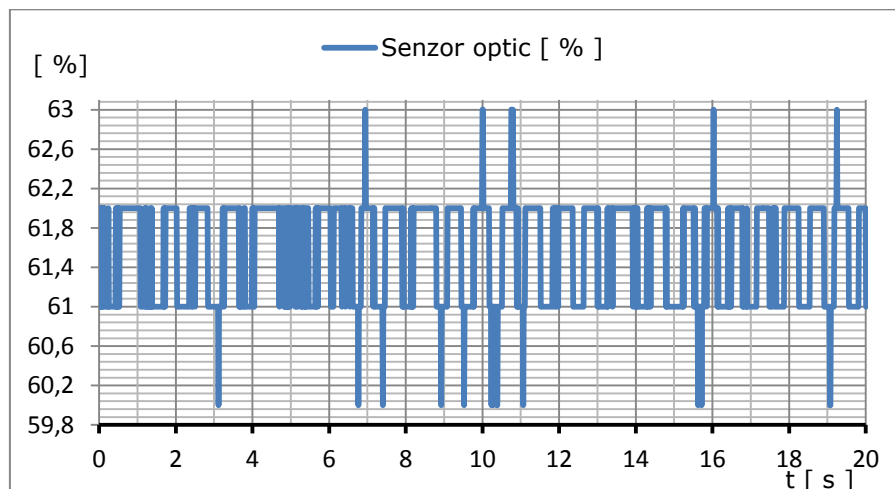


Figura 6.11 Semnalul optic achiziționat de la platforma NXT-2 (D2)

Conectând osciloscopul la cablul de date al senzorului robotului (conexiuni conform Figura 6.4), a fost achiziționat semnalul provenit de la S4. Acest semnal, corespunzător menținerii echilibrului robotului D-2, este prezentat în Figura 6.12. În Figura 6.12 sunt scoase în evidență trei zone A, B, C de menținere a echilibrului (folosind senzorul optic în reacție).

În figurile 6.13-6.15 sunt evidențiate variațiile semnalului între pozițiile extreme de lucru. În fiecare figură, în caseta atașată, pot fi identificate valorile numerice și durata unui astfel de ciclu. Aceste valori au putut fi folosite pentru analiza comportării sistemului.

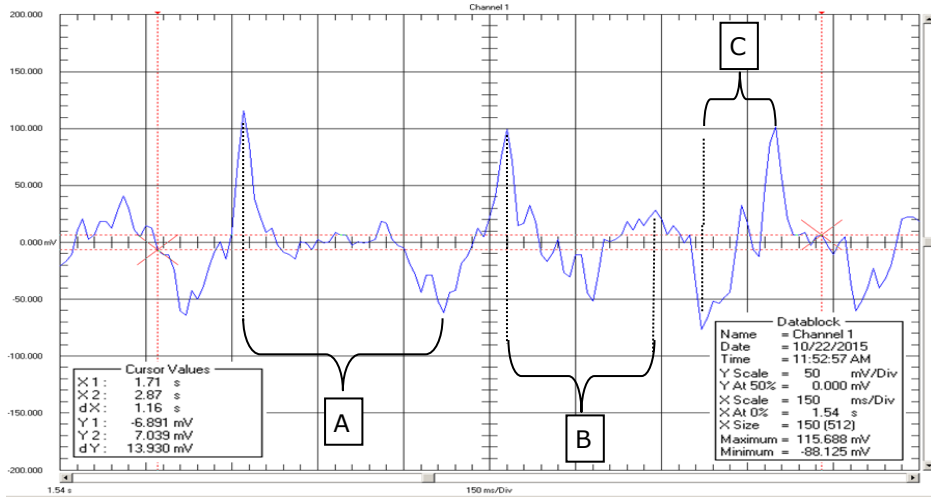


Figura 6.12 Grafic al semnalului optic folosind osciloscopul pentru demonstratorul D2

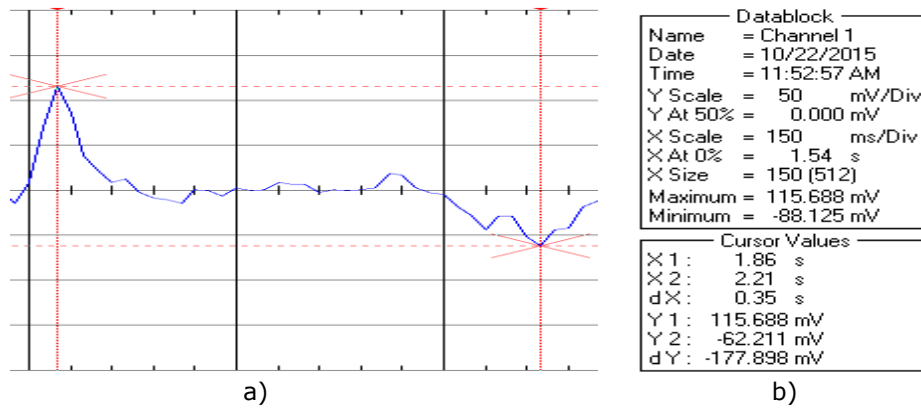


Figura 6.13 Valoarea senzorului optic la echilibrarea 1 pentru demonstratorul D2

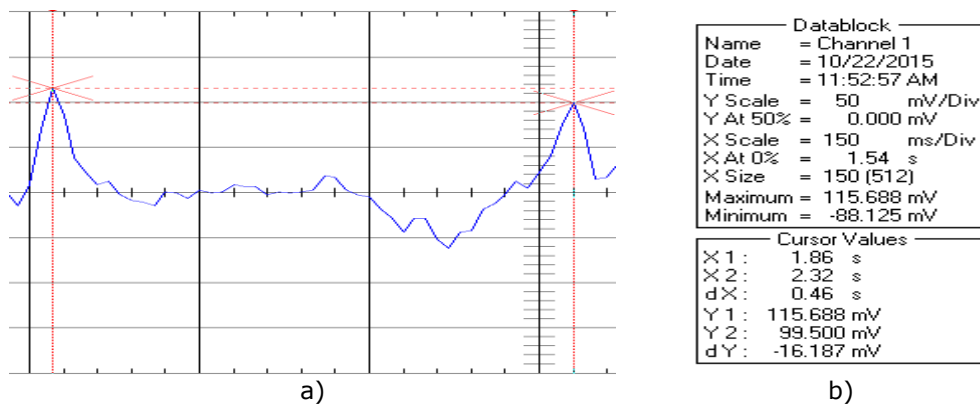


Figura 6.14 Valoarea senzorului optic la echilibrarea 2 pentru demonstratorul D2

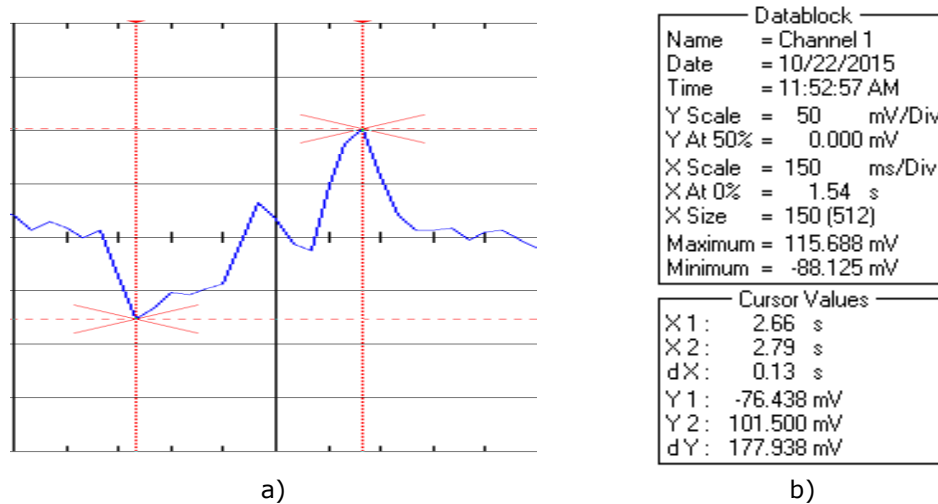


Figura 6.15 Valoarea senzorului optic la echilibrarea 3 pentru demonstratorul D2

6.2.3. Concluzii

În urma colectării și analizei datelor din experimentele de mai sus, au fost constatate următoarele aspecte:

- În cazul senzorului optic semnalul variază foarte mult și durata de stabilitate și revenire în cazul destabilizării robotului este mai mare;
- Semnalul senzorului optic este foarte mult influențat de mediul de reflexie a semnalului luminos;
- La schimbarea mediului de reflexie apar brusc praguri de semnale care destabilizează robotul făcându-l incapabil de a-și reveni în poziția de echilibru;
- Semnalul senzorului optic este influențat de lumina ambientală care introduce parametri paraziți;
- În cazul demonstratorului care are integrat senzorul giroscopic, durata de echilibru a robotului este mai mare. Procesul de reglare și menținerea stabilității este corespunzător;
- Timpul de revenire în cazul senzorului giroscopic la poziția de echilibru este mult mai mic față de cel al senzorului optic.

6.3. Modelarea elementelor componente din demonstratorul humanoid Lego

6.3.1. Introducere

În conceptul mecatronic de dezvoltare a produselor se prevede utilizarea modelului matematic, necesar simulării asistate de calculator, ca un model din seria 0 a proiectării clasice.

În ultima perioadă, dezvoltarea rapidă a produselor de calitate a început să fie caracterizată de o serie de aplicații software pentru simulare. Aceste aplicații

formează baza paradigmei Model-Based-Design. Se poate vorbi despre o simulare clasică și o simulare în timp real. În ambele cazuri se utilizează modele matematice din structura sistemului realizat.

Simularea clasică presupune apelarea la un mediu de lucru (Matlab, Modelica, Labview, Simulink etc.) pentru transpunerea modelului matematic într-un mediu virtual simulat.

Simularea în timp real (Real-Time Simulation) are ca scop reducerea timpului de lucru, creșterea calității în proiectare, reducerea costurilor etc. Simularea în timp real se regăsește în forme de realizare diverse:

- Rapid Control Prototyping (R.C.P)
- Hardware-In-The-Loop (H.I.L).

Un sistem mecatronic presupune existența unui proces controlat, compus din: echipament/instalație și un controler care acționează, asupra acestuia, în scopul menținerii unui parametru în domeniul impus. Metodologia de proiectare a controlerului este centrată pe utilizarea modelului sistemului, iar demonstratorul mecatronic humanoid se încadrează într-un astfel de caz.

În cadrul subcapitolului vom aborda determinarea informațiilor necesare pentru construcția modelelor matematice ale elementelor mecatronice în vederea formelor de simulare precizate.

6.3.2. Determinarea parametrilor geometrici și masici pentru elementul echivalent pendulului invers

6.3.2.1. Determinarea poziției centrului de greutate

Analiza dinamică a funcționării demonstratorului necesită estimarea parametrilor geometrici care definesc poziția centrului de greutate al celui de-al doilea subsistem.

Centrul de greutate se poate determina experimental în următorul mod [Gh. Silos]:

- Se suspendă corpul într-un punct, cu un fir de legătură, până când acesta intră în stare de echilibru. Ulterior se trasează o linie orientativă în prelungirea firului (dreapta AB din Figura 6.16.a);
- Se suspendă corpul într-o a doua poziție; se trasează din nou o linie; la intersecția celor două linii trasate, se află centrul de greutate (Figura 6.16.b).

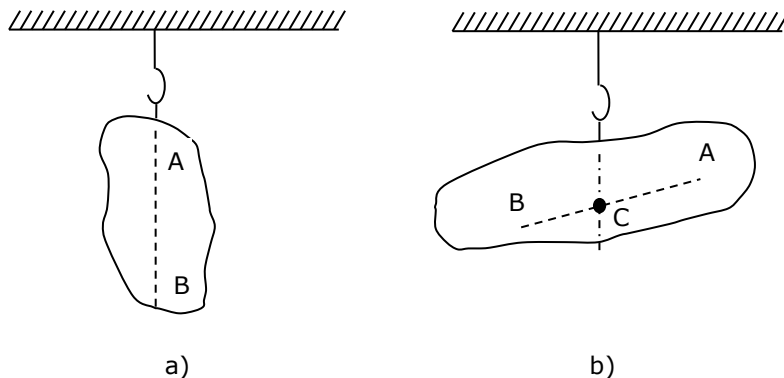


Figura 6.16 Determinarea centrului de greutate

6.3 - Modelarea elementelor componente din demonstratorul humanoid Lego **165**

În cele ce urmează se prezintă pașii realizați pentru determinarea poziției centrului de greutate al demonstratorului mecatronic humanoid (Figura 6.17).

Demonstratorul humanoid analizat poate fi echivalat prin două subsisteme. Primul subsistem asigură mobilitatea demonstratorului într-un mediu de lucru și este format din două roți. Al doilea subsistem (echivalent pendulului invers) este un subansamblu format dintr-un batiu, platforma NXT-2, senzori și sistem de acționare. Legătura mobilă dintre cele două subsisteme echivalează cu o cuplă cinematică de rotație. Poziția celui de-al doilea subsistem într-o funcționare corectă a demonstratorului trebuie să fie verticală, deasupra axei de rotație. Robotul este echipat cu un senzor giroscopic S1 și cu un senzor ultrasonic S5.

Din structura demonstratorului a fost îndepărtat subsistemul 1 (roțile suport) în vederea determinării poziției centrului de greutate.



Figura 6.17 Demonstrator mecatronic humanoid

Subsistemul analizat se poate echivala cu un paralelipiped, având dimensiunile $L \times B \times H$. Poziția spațială a centrului de greutate C presupune determinarea liniilor de intersecție, astfel încât să se determine parametrii geometrici ai punctelor C_1 și C_2 (Figura 6.18).

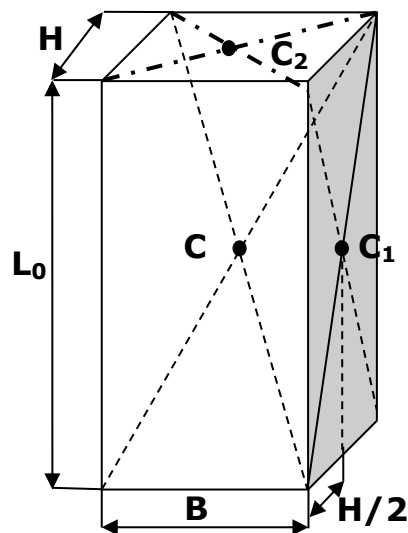


Figura 6.18 Poziția centrului de greutate la un obiect paralelipipedic

În Figura 6.19.a este prezentat modul în care se încearcă determinarea centrului de greutate (C_1) prin procesul experimental, conform condițiilor discutate anterior. În Figura 6.19.b este marcat centrul de greutate al demonstratorului echipat cu senzorii S5 + S1.

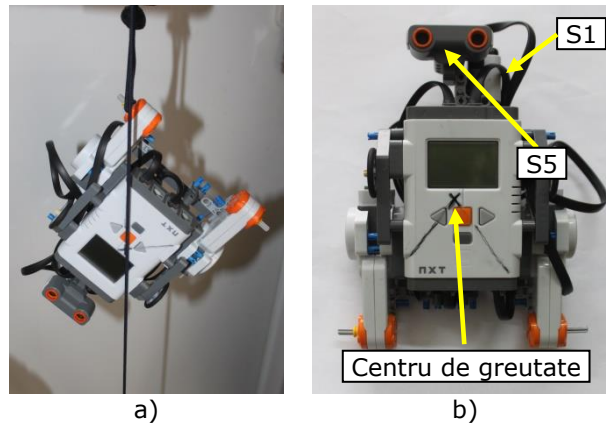


Figura 6.19 a) Determinarea centrului de greutate; b) Centru de greutate cu S1 + S5.

În corelație cu Figura 6.18, pentru subsistemul 2 al demonstratorului, avem următoarea echivalare: $H=0,060$ m; $L_0=0,135$ m; $B=0,13$ m.

Pe același principiu se determină poziția punctului C_2 , care permite și definirea parametrului geometric al centrului de greutate C.

Un alt experiment a fost efectuat pentru măsurarea centrului de masă, al demonstratorului, echipat cu senzorul S5 + S4 (Figura 6.20.a) și centrul de greutate, echipat doar cu S4 (Figura 6.20.b).

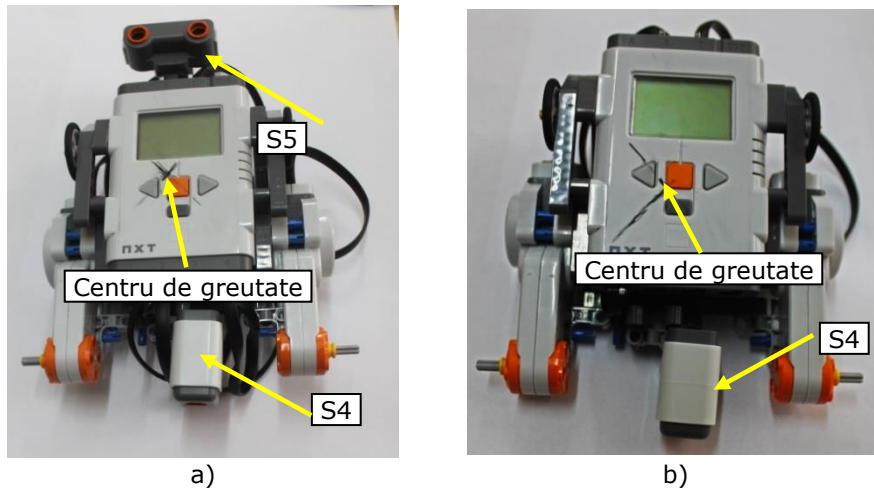


Figura 6.20 a) Centru de greutate cu S4 + S5; b) Centru de greutate cu S4

Procedând în acest fel a fost posibil a se defini centrul de greutate al modelului mecatronic, echipat cu fiecare componentă în parte, și distanța acestuia până la axa de rotație a roților.

6.3.2.2. Determinarea parametrilor masici

Pentru a putea determina greutatea elementului echivalent pendul invers, în fiecare variantă testată s-a măsurat masa acestuia, utilizând un cântar electronic, conform Figurii 6.21.

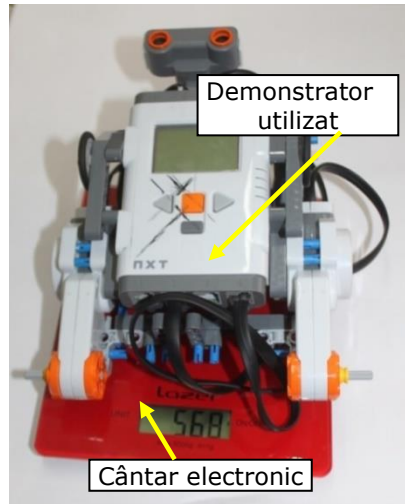


Figura 6.21 Măsurarea masei demonstratorului

Pentru subsistemul 1 (roți suport), se impune măsurarea masei și a diametrului roții (Figura 6.21.). Greutatea unei singure roți este de 0,019 Kg, iar diametrul roții $D = 0.056$ m (raza roții este $R = 0,028$ m).

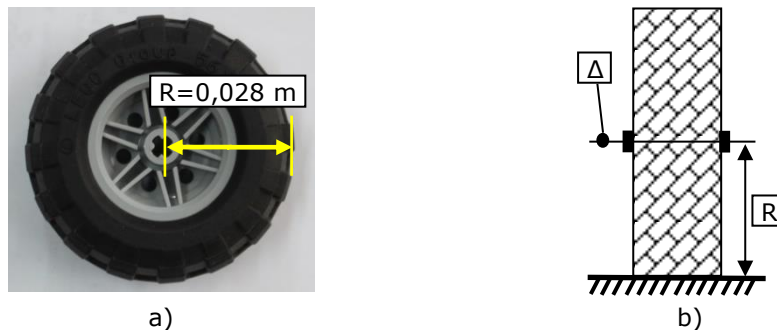


Figura 6.22 a) Mărimea razei roții; b) Centrul de rotație în jurul punctului Δ

Demonstratorul realizat admite pentru subsistemul 2 o mișcare de rotație, în jurul axei (Δ) (Figura 6.23). Momentul de inerție al subsistemului 2, în raport cu axa de rotație, se calculează pe baza relației lui Steiner [Silaș, 1968].

În următoarele ecuații se prezintă calculul pentru parametrii inerțiali, după cum urmează:

$$J_{\Delta} = J_x + m \cdot R_c^2 \quad (6.1)$$

unde: J_x -momentul de inerție al elementului mobil în raport cu axa OX al sistemului având originea în centrul de masă [Kgm^2]; m - este masa elementului mobil în mișcarea de rotație [Kg]; R_c - este poziția centrului de greutate, în raport cu axa de rotație (Δ) [m].

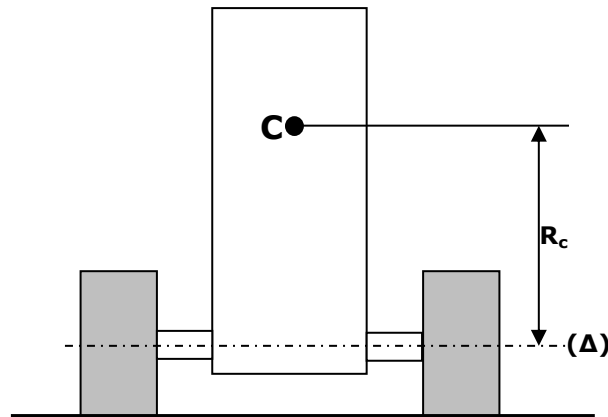


Figura 6.23 Modelul NXT, caracteristici pendul invers

Momentul de inerție față de axa OX este:

$$J_x = \frac{m}{12} \cdot (L^2 + B^2) \quad (6.2)$$

unde: m-este masa elementului [kg]; L, B- sunt prameetrii geometrice de echivalare ai demonstratorului cu un paralelipiped.

Pentru variantele demonstratoarelor realizate, menționăm următoarele valori ale parametrilor:

- varianta 1: demonstrator cu S1+S5, masa m = 0,569 Kg;
- varianta 2: demonstrator cu S1+S4+S5, masa m = 0,592 Kg;
- varianta 3: demonstrator cu S1, masa m = 0,527 Kg;
- $R_c=0,08$ m pentru varianta 2; $R_c=0,10$ m pentru varianta 1; $R_c=0,09$ m pentru varianta 3;
- $H=0,060$ m; $L=0,135$ m; $B=0,13$ m.

6.3.3. Modelul cinematic al demonstratorului humanoid

6.3.3.1. Introducere

Obiectivul operațional secundar al subcapitolului urmărește prezentarea sistemelor de coordonate integrate în construcția modelului analitic și modul de reprezentare a stării de orientare a demonstratorului în spațiu, cinematica și dinamica acestuia.

6.3.3.2. Sisteme de coordonate

Studiul analitic al mișcării unui sistem mobil (echivalat unui rigid), se poate face alegând un sistem de referință fix $O_1x_1y_1z_1$ și un sistem de referință mobil Oxyz, legat de sistemul mobil. Mișcarea sistemului va fi complet descrisă dacă se cunoaște mișcarea sistemului de referință Oxyz, în raport cu sistemul $Ox_1y_1z_1$ [Silaș, 1968].

Una din metodele uzuale de exprimare a stării/situării sistemului mobil, este cea dependentă de cele trei unghiuri de rotație ale lui Euler (Figura 6.24). Leonhard Euler, pentru a descrie orientarea unui solid rigid și pentru a descrie rotația acestuia în spațiu, a definit trei unghiuri:

- unghiul de nutație (pitch);

- unghiul de precesie (yaw);
- unghiul de rotație proprie (roll).

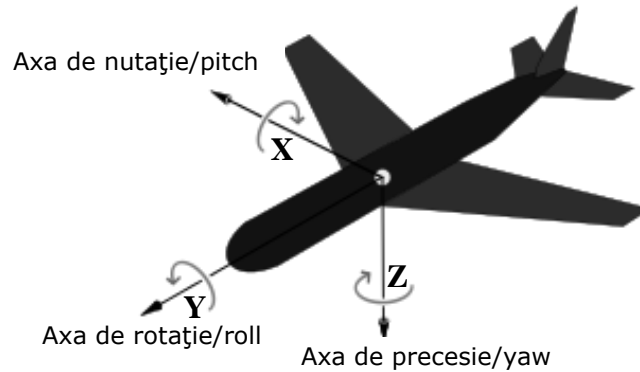


Figura 6.24 Axele de orientare spațială

Situarea sistemului $Oxyz$ (notat b) față de sistemul $O_1x_1y_1z_1$ (notat a) se poate exprima prin mișcările necesare coincidenței dintre cele două sisteme:

- translații după axele (x,y,z) – de parametri u,v,w – până când cele două origini O_1 și O coincid;
- o rotație după axa x de unghi θ (pitch);
- o rotație după axa y de unghi φ (roll);
- o rotație după axa z de unghi ψ (yaw).

Matricea care descrie trecerea din sistemul $Oxyz$ în sistemul $O_1x_1y_1z_1$, se exprimă matricial sub forma:

$${}^aT_b = \text{Trans}(u,v,w) \cdot \text{Rotz}(\psi) \cdot \text{Rotx}(\theta) \cdot \text{Roty}(\varphi) \quad (6.3)$$

unde semnificațiile notațiilor sunt corespunzătoare cu matematica sistemelor robotice [Varga, 2008].

Pentru stabilirea modului de orientare a axelor sistemelor, se utilizează o asociere a axelor sistemului cu punctele cardinale, după cum urmează [Keli]:

- axa x – axa punctelor *est*;
- axa y – axa punctelor *nord*;
- axa z – axa în sens *invers gravitației* locale.

6.3.3.3. Demonstratorul humanoid și sistemele de coordonate

Pe baza celor prezentate anterior, fiecărei entități a demonstratorului mobil humanoid i se poate atașa un sistem de axe, cu următoarea asociere (Figura 6.25):

- axa y – are sensul de mișcare în față;
- axa x – are sensul de mișcare spre dreapta;
- axa z – axa verticală în sens invers gravitației.

Demonstratorului humanoid i s-a atașat sistemul de axe $Ox_r y_r z_r$, având originea într-un punct median pe axa celor două roți (Figura 6.25).

Starea demonstratorului humanoid în mediul de lucru este descrisă în corespondență cu sistemul de coordonate absolute al mediului. În literatura de specialitate se mai utilizează noțiunea de „navigation frame” ($OXYZ$). Axă Z este

paralelă, dar de sens opus gravitației. Un al doilea sistem de coordonate este atașat demonstratorului humanoid (body frame) ($O_R X_R Y_R Z_R$).

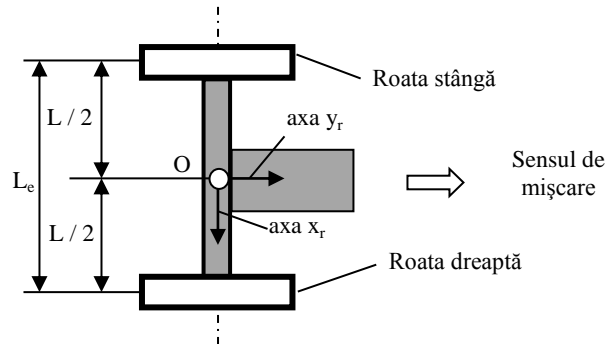


Figura 6.25 Demonstratorul humanoid și sistemele de coordonate

Elementele senzoriale care descriu starea robotului trebuie aliniate în concordanță cu acest sistem. Trei unghiuri (θ , φ , ψ) descriu orientarea relativă dintre „body frame” și „navigation frame”. [Kelly, 1995].

Elementelor componente ale demonstratorului le-au fost atașate suplimentar sistemele de coordonate (Figura 6.26):

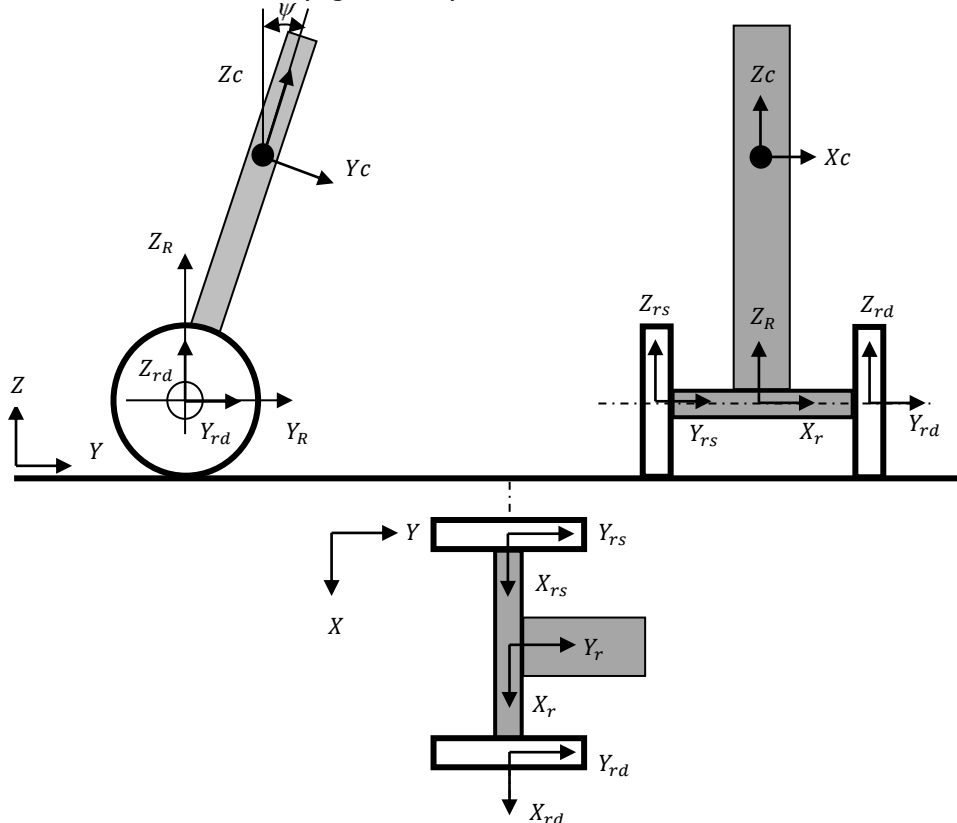


Figura 6.26 Sistemele de coordonate ale demonstratorului

- pentru roata dreaptă $OX_{rd}Y_{rd}Z_{rd}$;
- pentru roata stângă $OX_{rs}Y_{rs}Z_{rs}$;
- pentru elementul mobil echivalent pendulului $OX_CY_CZ_C$. Poziția elementului față de verticală, este dată de unghiul ψ .

În Figura 6.27 se prezintă deplasarea demonstratorului mobil în mod transversal pe un plan înclinat, sistemul de coordonate Ox,y,x este rotit față de sistemul de coordonate atașat mediului cu unghiul ϕ (rotație în jurul axei y), corespunzător planului înclinat.

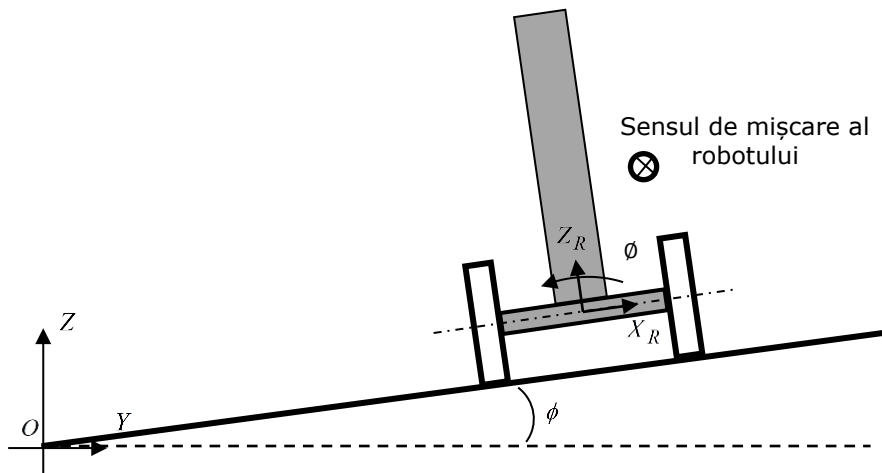


Figura 6.27 Orientarea relativă a demonstratorului față de sistemul de coordonate al mediului

În Figura 6.28 se prezintă deplasarea în mod longitudinal pe planul înclinat. Orientarea relativă a demonstratorului este caracterizată de unghiul θ , dat de o rotație în jurul axei x .

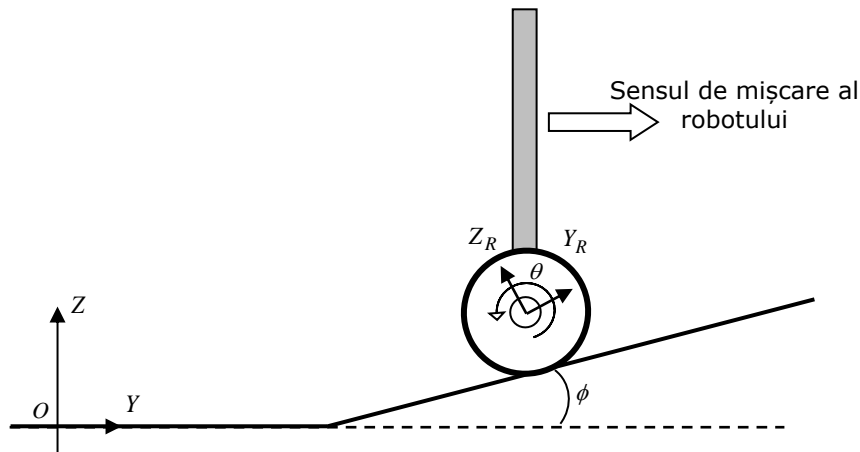


Figura 6.28 Orientarea relativă a demonstratorului față de sistemul de coordonate pe un plan înclinat

În Figura 6.29 se prezintă deplasarea sistemului mobil pe o traiectorie (Γ) curbă în planul orizontal. Orientarea relativă este caracterizată de unghiul ψ în jurul

axei z.

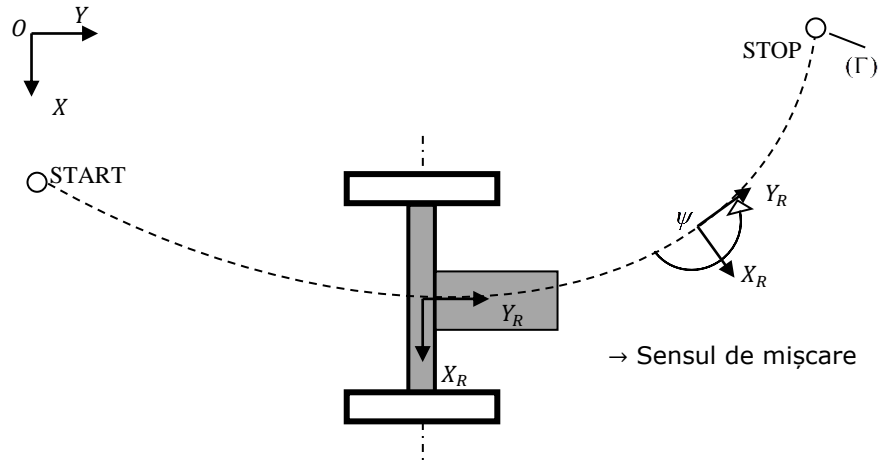


Figura 6.29 Orientarea relativă a demonstratorului la deplasarea pe o traiectorie (Γ)

În Figura 6.30 se prezintă sistemele de coordonate atașate celor trei sisteme senzoriale, integrate în structura demonstratorului, pentru fiecare experiment în parte.

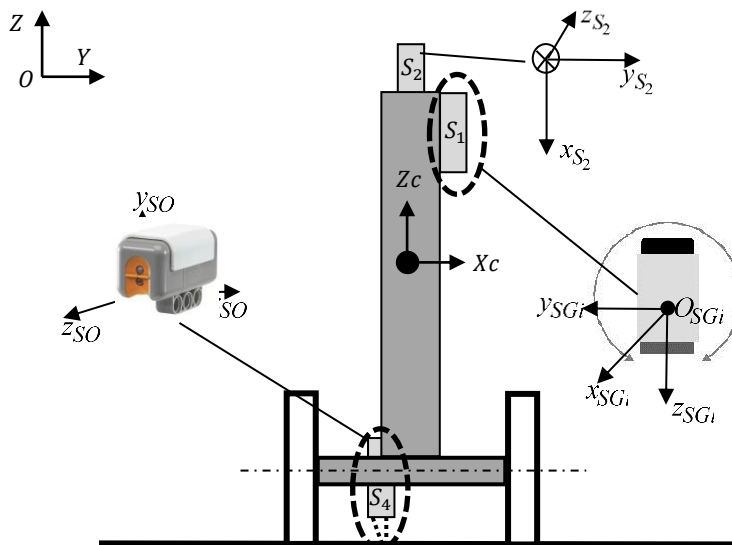


Figura 6.30 Senzori integrați și sistemele de coordonate pentru S1-giroscoap, S2-acc, S4-optic

Modelul matematic pentru acest robot humanoid cu două roți se poate dezvolta pornind de la principiul de funcționare al pendulului invers.

În Figura 6.31 este prezentată schema principială a robotului humanoid în cadrul unui mediu de lucru ce are atașat sistemul de axe OXYZ. Se evidențiază parametrii geometrici și coordonatele necesare dezvoltării modelului matematic.

Pentru a putea determina parametrul de stare a elementului mobil al

demonstratorului în raport cu axa verticală, se vor achiziționa informații de la (S1) (aceeași informație se poate achiziționa de la senzorul optic S3). Unghiul ψ va defini rotația elementului în raport cu sistemul de axe atașat demonstratorului (Figura 6.31).

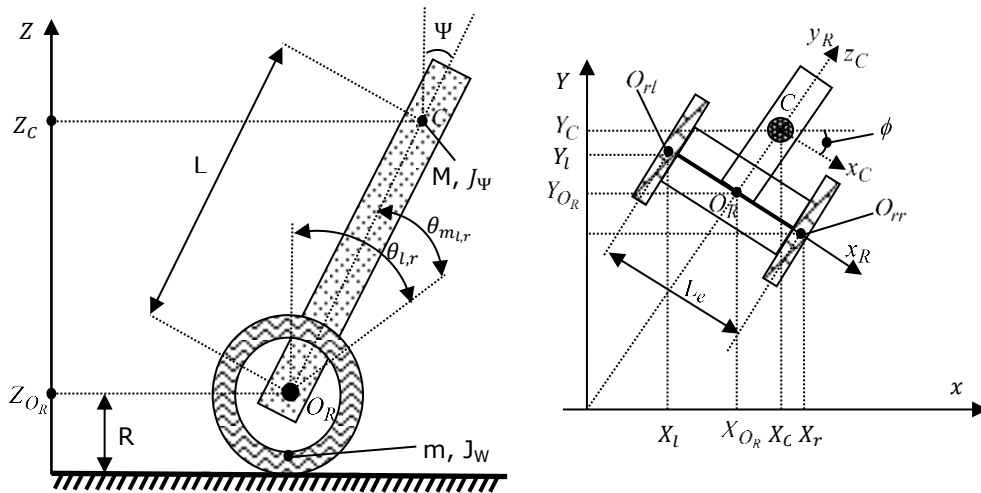


Figura 6.31 Cinematica mișcării robotului humanoid

Pentru estimarea mișcărilor robotului humanoid în mediul de lucru, se adoptă următoarele notații:

- θ_{ml}, θ_{mr} - unghiul de rotație al arborelui motorului stânga și, respectiv, a motorului dreapta. Acești parametri pot fi achiziționați de la senzorii (S_{3L}) și (S_{3R});
- θ_l, θ_r - unghiul de rotație a roții stânga și respectiv a roții dreapta;
- parametrul de rotație al motorului și cel al roții aferente, sunt în corelație cu raportul de transmitere al transmisiei integrate.

Coordonatele centrelor roților în sistemul de coordonate robot $O_R X_R Y_R Z_R$ sunt (conform notațiilor din Figura 6.25):

- pentru roata stângă - O_{rl}

$$\begin{bmatrix} -\frac{L_e}{2} & 0 & \frac{R}{2} \end{bmatrix}^T \quad (6.4)$$

- pentru roata dreaptă - O_{rr}

$$\begin{bmatrix} \frac{L_e}{2} & 0 & \frac{R}{2} \end{bmatrix}^T \quad (6.5)$$

Aplicând principiile de exprimare a coordonatelor din sistemul robot în sistemul de mediu (OXYZ), se poate determina matricea de trecere (conform cu relația 6.3):

$${}^m A_R = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 & x_{Or} \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 & y_{Or} \\ 0 & 0 & 1 & z_{Or} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

În consecință, coordonatele centrului roții stânga, în sistemul general, sunt:

$$\begin{cases} x_l = x_{O_R} - \frac{L_e}{2} \cdot \sin\phi \\ y_l = y_{O_R} + \frac{L_e}{2} \cdot \cos\phi \\ z_l = z_{O_R} \end{cases} \quad (6.7)$$

În același mod, se obțin centrele coordonatelor pentru centrul roții dreapta, în sistemul general:

$$\begin{cases} x_r = x_{O_R} + \frac{L_e}{2} \cdot \sin\phi \\ y_r = y_{O_R} - \frac{L_e}{2} \cdot \cos\phi \\ z_r = z_{O_R} \end{cases} \quad (6.8)$$

Deplasarea liniară a centrului unei roți, la o rotație a acesteia de un anumit unghi este:

$$\begin{cases} ds_l = \theta_l \cdot R \\ ds_r = \theta_r \cdot R \end{cases} \quad (6.9)$$

astfel că deplasarea punctului O_R va fi:

$$ds = \frac{ds_l + ds_r}{2} = \frac{\theta_l + \theta_r}{2} \cdot R \quad (6.10)$$

Pe baza relațiilor (6.9) și a semnificației parametrilor se poate calcula unghiul de rotație (ϕ) al robotului humanoid:

$$\operatorname{tg}\phi \cong \phi = \frac{ds_l - ds_r}{L_e} = \frac{\theta_l - \theta_r}{L_e} \cdot R \quad (6.11)$$

În Figura 6.32 este ilustrată poziția centrului instantaneu de rotație (CIR) al robotului humanoid și parametrii definitorii.

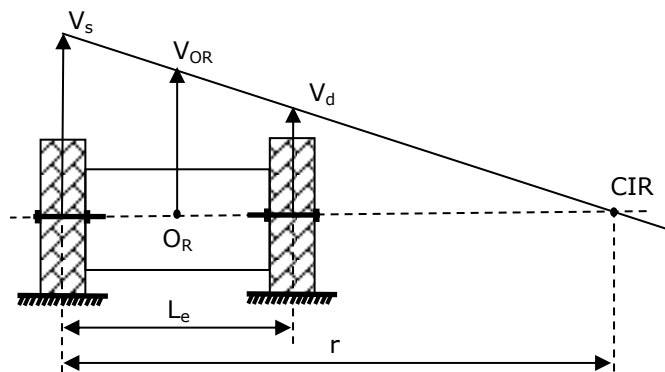


Figura 6.32 Poziția centrului instantaneu de rotație

Poziția centrului CIR se determină pe baza parametrilor cinematici și a parametrului geometric L_e :

$$r = \frac{V_s}{V_s - V_d} \cdot L_e \quad (6.12)$$

Viteza unghiulară de rotație a robotului în jurul punctului CIR, se poate

determina prin relația:

$$\omega_{CIR} = \frac{V_s}{r} = \frac{V_{O_R}}{r - \frac{L_e}{2}} = \frac{V_d}{r - L_e} \quad (6.13)$$

Având în vedere relația de calcul a vitezei periferice a unei roți ($v = \omega r$), viteza punctului O_R se poate exprima sub forma:

$$V_{O_R} = \frac{V_s + V_d}{2} = \frac{\dot{\theta}_s \cdot R + \dot{\theta}_r \cdot R}{2} = \frac{\dot{\theta}_s + \dot{\theta}_r}{2} \cdot R = \dot{\theta} \cdot R \quad (6.14)$$

Vectorul viteză a punctului O_R va avea în acest mod componentele în sistemul de axe general:

$$\begin{cases} V_{XO_R} = \frac{\dot{\theta}_s + \dot{\theta}_r}{2} \cdot R \cdot \cos\phi \\ V_{YO_R} = \frac{\dot{\theta}_s + \dot{\theta}_r}{2} \cdot R \cdot \sin\phi \end{cases} \quad (6.15)$$

În mod asemănător cu procedura de exprimare a unor coordonate din sistemul robot în sistemul de coordonate general, se pot calcula coordonatele centrului de masă (C) a elementului mobil al robotului (echivalentul pendulului invers):

$$\begin{cases} x_C = x_{O_R} + L \cdot \sin\psi \cdot \cos\phi \\ y_C = y_{O_R} + L \cdot \sin\psi \cdot \sin\phi \\ z_C = z_{O_R} + L \cdot \cos\psi \end{cases} \quad (6.16)$$

Așadar, parametrii determinați permit abordarea modelului dinamic al roboului humanoid.

6.3.4. Modelul matematic al demonstratorului humanoid

6.3.4.1. Modelul matematic al servomotorului utilizat în structura demonstratorului humanoid

A. Caracteristici ale motorului de curent continuu utilizat

Demonstratoarele analizate au integrate servomotoare electrice, care asigură o funcție esențială a demonstratorului: mișcarea unui ansamblu în jurul unei axe de rotații (conform cu schemele structurale, prezentate în subcapitolele și figurile fiecărui demonstrator).

Servomotorul (Figura 6.33) este compus din: micromotor de curent continuu (cu perii colectoare, rotor cilindric și excitație prin magnet permanent - Figura 6.34), transmisie, reductoare integrată (Figura 6.35) și senzor de rotație (Figura 6.36).

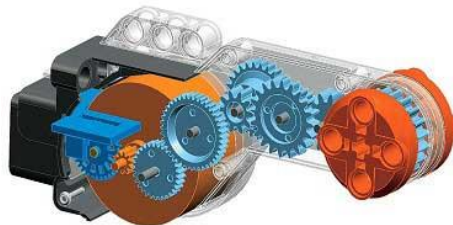


Figura 6.33 Servomotorul electric și transmisia integrată (Anexa 4.2)

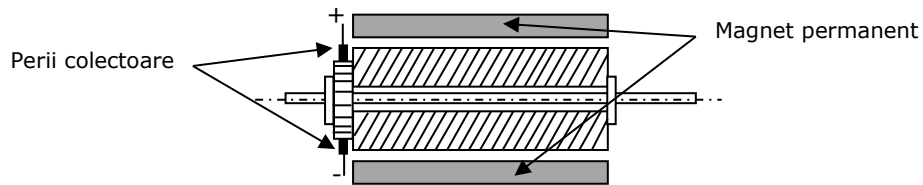


Figura 6.34 Schema de principiu a micromotorului electric [Dolga, 2009]

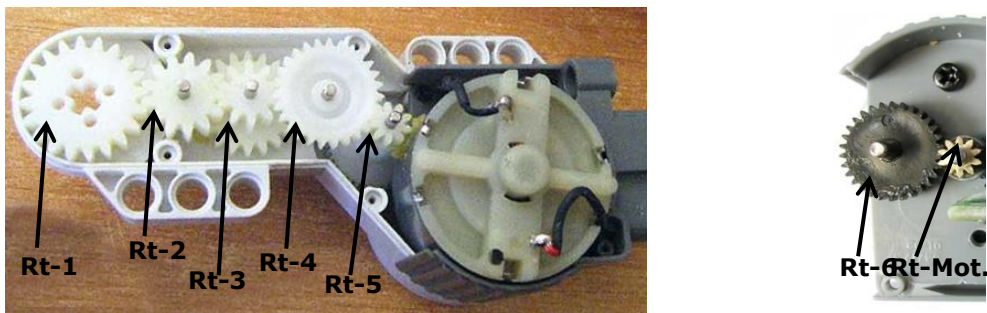


Figura 6.35 Transmisia reductoare integrată

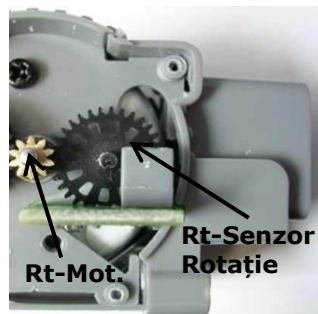


Figura 6.36 Senzorul de rotație integrat în structura servomotorului

Schema electrică echivalentă micromotorului este prezentată în Figura 6.36.

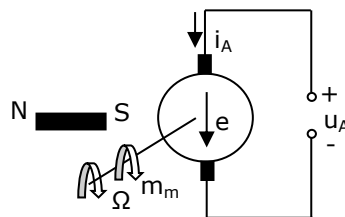


Figura 6.37 Schema electrică a motorului [Dolga, 2009]

B. Modelul matematic al servomotorului

Modelul matematic al micromotorului electric ia în considerare următoarele ipoteze: circuitul magnetic al micromotorului este fără reanență și histereză;

reacția indusului este neglijată și astfel se admite că fluxul de excitație pentru motor este $\Phi = \text{constant}$; căderea de tensiune la periile colectoare ale micromotorului este constantă, de valori reduse și se neglijează; elementele sistemului de acționare se consideră rigide și se neglijează eventualele elasticități (Anexa 4.2).

Modelul matematic al sistemului este descris de sistemul de ecuații:

- ecuația circuitului electric corespunzător micromotorului de c.c.:

$$u_A = R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + e = R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + K_e \cdot \Omega_r \quad (6.17)$$

unde: R_A - rezistența indusului; L_A - inductivitatea indusului; Ω_r - viteza unghiulară a rotorului; K_e - coeficientul t.e.m. [Maniu, 2009].

- ecuația de mișcare a sistemului mobil rotor - roată:

$$J_r \cdot \frac{d\Omega_r}{dt} = m_m - \sum m_{rj} = K_m \cdot i_A - m_r - K_{fv} \cdot \Omega_r \quad (6.18)$$

unde: J_r - momentul de inerție al sistemului mecanic mobil redus la arborele rotorului; $m_m = K_m \cdot i_A$ - momentul motor și K_m - constanta electrică a motorului; m_r - momentul rezistent redus la arborele motorului; K_{fv} - coeficientul frecărilor vâscoase.

Pentru regimul de funcționare stabilizat, ecuația (6.4) se poate scrie sub forma [Maniu, 2009]:

$$U_A = R_A \cdot I_A + K_e \cdot \Omega \quad (6.19)$$

care, după transformări, devine:

$$\Omega = \frac{U_A}{K_e} - \frac{R_A}{K_e} \cdot I_A = \frac{U_A}{K_e} - \frac{R_A}{K_e \cdot K_m} \cdot m_m \quad (6.20)$$

În Figura 6.37 sunt prezentate două caracteristici mecanice motoare, pentru micro-motorul utilizat. Caracteristicile corespund tensiunilor de alimentare situate între 7,2 V și 9 V. Aceste caracteristici, furnizate de către producător, prezintă o anumită neliniaritate. Din prelucrarea valorilor corespunzătoare punctelor de pe caracteristici, s-au determinat ecuațiile:

$$\Omega = -45 \cdot M + 13,72 \quad (6.21)$$

$$\Omega = -45 \cdot M + 17,44 \quad (6.22)$$

unde: Ω -este viteza unghiulara a rotorului [rad/s]; M - este momentul motor al micro-motorului [N/m].

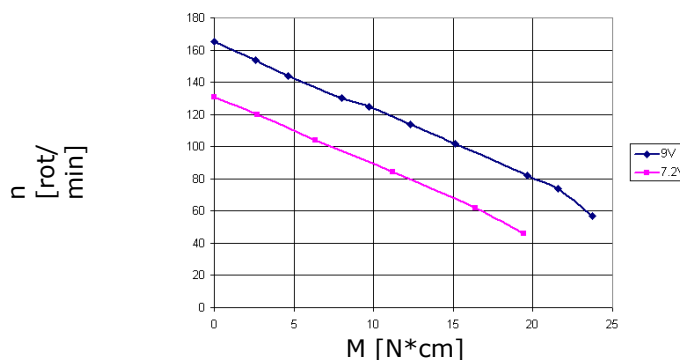


Figura 6.38 Caracteristici artificiale ale micromotorului

În Tabelul 6.1 sunt prezentate caracteristici ale motorului și parametri constructivi.

Tabel 6.1 Parametrii micro motorului electric

Tensiunea de operare	4,5 - 9 V c.c.
Curent, mers în gol	Max. 60mA (9 V)
Rotație, mers în gol	170 rot/min | 17.8 rad/s
Curent, în sarcină	Max. 600 mA
Cuplu de pornire	2N·mm
Tensiune de pornire	2V
Curent motor blocat	Max. 500mA
Momentul de inerție al rotorului (J)	132·e-5 Kg·m ²
Rezistența indusului (R _A)	5,26 Ω
Inductivitatea indusului (L _A)	4,7 mH
Constanta de cuplu al motorului (K _m)	323,3·10 ⁻³ N·m/A
Constanta electrică a motorului (K _e)	495,2·10 ⁻³ V/(rad/s)
Coeficientul frecărilor vâscoase (K _{fV})	6·10 ⁻⁴ N·m/(rad/s)
Cuplul frecărilor statice (M _f)	7,3·10 ⁻³ N·m

De remarcat faptul că la caracteristica statică sunt valorile care definesc viteza unghiulară de mers în gol Ω_0 și cuplul de pornire M_p :

$$\Omega_0 = \frac{U_{An}}{K_e} \quad (6.23)$$

$$M_p = \frac{K_e \cdot U_{An}}{R_A} \quad (6.24)$$

unde indicele „n” semnifică valoarea nominală.

Servomotorul utilizat are integrat o transmisie reductoare pe bază de roți dințate. Schema cinematică a transmisiei este prezentată în Figura 6.38. În tabelul 6.2, sunt prezentate etichetele de numerotare a roților dințate și numărul de dinți atribuiți fiecăreia.

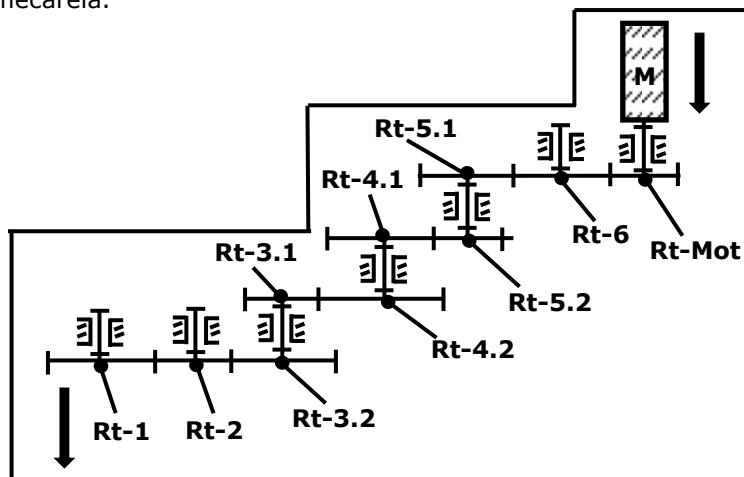


Figura 6.39 Schema cinematică a transmisiei

Tabel 6.2 Reprezentarea roților de angrenare și numărul de dinți aferenți

Numar roata	Rt Mot	Rt 6	Rt 5.1	Rt 5.2	Rt 4.1	Rt 4.2	Rt 3.1	Rt 3.2	Rt 2	Rt 1
Numar dinti	10	30	40	9	27	10	20	10	13	20

Conform teoriei mecanismelor [Perju, 1986], raportul de transmitere total este definit de relația:

$$i = \frac{\Omega_m}{\Omega_{tr}} = \frac{\Omega_m}{\Omega_1} \cdot \frac{\Omega_1}{\Omega_2} \cdot \frac{\Omega_2}{\Omega_3} \cdot \frac{\Omega_3}{\Omega_4} \cdot \frac{\Omega_4}{\Omega_5} \cdot \frac{\Omega_5}{\Omega_{tr}} =$$

$$\left(-\frac{z_6}{z_m}\right) \cdot \left(-\frac{z_{5.1}}{z_6}\right) \cdot \left(-\frac{z_{4.1}}{z_{5.2}}\right) \cdot \left(-\frac{z_{3.1}}{z_{4.2}}\right) \cdot \left(-\frac{z_2}{z_{3.2}}\right) \cdot \left(-\frac{z_1}{z_2}\right) = \quad (6.25)$$

$$\frac{z_{5.1} \cdot z_{4.1} \cdot z_{3.1} \cdot z_1}{z_m \cdot z_{5.2} \cdot z_{4.2} \cdot z_{3.2}} = \frac{40 \cdot 27 \cdot 20 \cdot 20}{10 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{16 \cdot 27}{9} = 48$$

Între parametrii de intrare și cei de ieșire ai servomotorului se poate scrie relația de legătură:

$$\eta = \frac{M_e \cdot \Omega_{tr}}{M_m \cdot \Omega_m} = \frac{M_e}{M_m \cdot i} \quad (6.26)$$

unde η - reprezintă randamentul ansamblului micro-motor-transmisie.

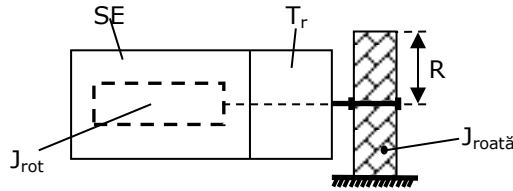


Figura 6.40 Influența momentului de inerție a roților

Pentru calculul matematic de inerție, redus la arborele servomotorului, se va utiliza relația:

$$J_r = J_{rot} + \frac{1}{i^2} \cdot J_{roată} = J_{rot} + \frac{1}{i^2} \cdot \frac{mR^2}{2} \quad (6.27)$$

Unde: i - raportul de transmisie; m - masa roții [Kg]; R - raza roții [m].

6.3.4.2. Modelul dinamic al robotului humanoid

Ecuatiile lui Lagrange constituie o metodă generală pentru studiul mișcării sistemelor de puncte materiale [Silaș, 1968]. Una din formele acestor ecuații este

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} = u_k \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (6.28)$$

unde notațiile au următoarele semnificații: L - funcția lui Lagrange definită prin

relația $L(q, \dot{q}) = E_c(q, \dot{q}) - U(q)$; q_k - coordonatele generalizate; \dot{q}_k - vitezele

generalizate; $E_c(q, \dot{q})$ - energia cinetică a sistemului; $U(q)$ - energia potențială a

sistemului; u_k - forțe nonconservative (externe sau disipative), forțe generalizate lucrând asupra coordonatelor generalizate (cuplu motor, forțe disipative ale

frecărilor vâscoase), forțe exterioare (nonconservative) aplicate sistemului.

Abordări asemănătoare, privind construcția modelului matematic, se regăsesc în [Chen, 2012], [Holzhuter, 2004], [Ruan, 2009].

Sistemului considerat – robotul humanoid – i se atașează coordonatele generalizate (Figura 6.31):

- θ - unghiul mediu de rotație a robotului humanoid (rel. 6.10) ;
- ψ - unghiul de înclinare a elementului mobil față de verticală;
- ϕ - unghiul de rotație proprie a robotului humanoid (rel. 6.11).

Energia cinetică a sistemului se compune din energia cinetică a celor două roți și energia cinetică a elementului mobil (echivalentul pendulului invers). Pentru calculul acestor energii, se aplică teorema lui Koenig [Silaș, 1968].

Energia cinetică a sistemului se compune din componenta de energie cinetică de rotație și energia cinetică de translație. Conform precizărilor anterioare și a notațiilor anterioare, energia cinetică de translație pentru elementele sistemului are expresia:

$$E_{c1} = \frac{1}{2} m(\dot{x}_l^2 + \dot{y}_l^2 + \dot{z}_l^2) + \frac{1}{2} m(\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2) + \frac{1}{2} M(\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2 + \dot{z}_C^2) \quad (6.29)$$

unde: m – este masa unei roți a sistemului [Kg]; M – este masa elementului mobil care materializează pendulul invers (structura sistemelor de acționare, platforma robotică NXT-2, senzori, elemente de conexiune între componente) [Kg].

Energia cinetică de rotație pentru elementele sistemului are expresia:

$$E_{c2} = \frac{1}{2} J_r \dot{\theta}_l^2 + \frac{1}{2} J_r \dot{\theta}_r^2 + \frac{1}{2} J_{em\psi} \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} J_{em\phi} \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} i^2 J_m (\dot{\theta}_l - \dot{\psi})^2 + \frac{1}{2} i^2 J_m (\dot{\theta}_r - \dot{\psi})^2 \quad (6.30)$$

unde: J_r – momentul de inerție al roții în raport cu axa sa de rotație [Kgm²]; $J_{em\psi}$ – momentul de inerție al elementului mobil în jurul axei de oscilație ($O_R X_R$) [Kgm²]; $J_{em\phi}$ – momentul de inerție al elementului mobil în jurul axei de pivotare a robotului humanoid ($O_R Z_R$) [Kgm²]; J_m – momentul de inerție al servomotorului de acționare [Kgm²].

Energia potențială a elementelor componente din sistem are expresia:

$$U = mgz_l + mgz_r + Mgz_C \quad (6.31)$$

unde notațiile au semnificațiile precizate anterior.

Pentru construcția modelului dinamic al sistemului a fost necesară preclucrarea matematică a ecuațiilor (6.4 ÷ 6.16).

Astfel, din relația (6.7) se obțin componentele vitezelor liniare pentru centrele roților motoare:

$$\begin{cases} \dot{x}_l = \dot{x}_{OR} - \frac{L_e}{2} \dot{\phi} \cos \phi \\ \dot{y}_l = \dot{y}_{OR} - \frac{L_e}{2} \dot{\phi} \sin \phi \\ \dot{z}_l = \dot{z}_{OR} \end{cases} \quad (6.32)$$

și respectiv:

$$\begin{cases} \dot{x}_r = \dot{x}_{OR} + \frac{L_e}{2} \dot{\phi} \cos \phi \\ \dot{y}_r = \dot{y}_{OR} + \frac{L_e}{2} \dot{\phi} \sin \phi \\ \dot{z}_r = \dot{z}_{OR} \end{cases} \quad (6.33)$$

În mod asemănător cu procedura exprimată anterior, se pot determina componentele vectorului de viteză a centrului de masă C pentru elementul mobil:

$$\begin{cases} \dot{x}_C = \dot{x}_{OR} + L(\dot{\psi} \cos \psi \cos \phi - \dot{\phi} \sin \psi \sin \phi) \\ \dot{y}_C = \dot{y}_{OR} + L(\dot{\psi} \cos \psi \sin \phi - \dot{\phi} \sin \psi \cos \phi) \\ \dot{z}_C = \dot{z}_{OR} - L\dot{\psi} \sin \psi \end{cases} \quad (6.34)$$

În conformitate cu coordonatele generalizate admise pentru sistemul analizat și a expresiei funcției Lagrange, ecuația (6.28) se poate particulariza :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial(E_C - U)}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial(E_C - U)}{\partial \theta} = F_\theta \quad (6.35)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial(E_C - U)}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial(E_C - U)}{\partial \psi} = F_\psi \quad (6.36)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial(E_C - U)}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial(E_C - U)}{\partial \phi} = F_\phi \quad (6.37)$$

unde : F_θ , F_ψ , F_ϕ - sunt forțele în sens generalizat ce acționează asupra sistemului.

Expresia (6.29) a energiei cinetice de translație se poate exprima simbolic sub forma:

$$E_{C1} = E_{C11} + E_{C12} + E_{C13} \quad (6.38)$$

și respectiv energia cinetică de rotație

$$E_{C2} = \sum_{i=1}^6 E_{C2i} \quad (6.39)$$

Conform cu precizarea anterioară și a modului de exprimare a energiilor cinetice, se pot descrie relațiile:

$$\frac{\partial E_{C11}}{\partial q_k} = \frac{1}{2} m_r \frac{\partial}{\partial q_k} (\dot{x}_l^2 + \dot{y}_l^2 + \dot{z}_l^2) \quad (k=1,2,3) \quad (6.40)$$

$$\frac{\partial E_{C12}}{\partial q_k} = \frac{1}{2} m_r \frac{\partial}{\partial q_k} (\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2) \quad (k=1,2,3) \quad (6.41)$$

$$\frac{\partial E_{C13}}{\partial q_k} = \frac{1}{2} M \frac{\partial}{\partial q_k} (\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2 + \dot{z}_C^2) \quad (k=1,2,3) \quad (6.42)$$

Pe baza relațiilor (6.32) se pot calcula expresiile pentru termenii ecuației (6.39):

$$\begin{cases} \dot{x}_l^2 = x_{OR}^2 - L_e \dot{x}_{OR} \dot{\phi} \cos \phi + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \cos^2 \phi \\ \dot{y}_l^2 = y_{OR}^2 - L_e \dot{y}_{OR} \dot{\phi} \sin \phi + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \sin^2 \phi \\ \dot{z}_l^2 = 0 \end{cases} \quad (6.43)$$

Apelând la relațiile (6.15) și însumând expresiile (6.43), se determină:

$$\dot{x}_l^2 + \dot{y}_l^2 + \dot{z}_l^2 = \dot{\theta}^2 R^2 - L_e \dot{\phi} \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \quad (6.44)$$

În mod asemănător (pe baza relațiilor în ordinea 6.33 și 6.15), se obține:

$$\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2 = \dot{\theta}^2 R^2 + L_e \dot{\phi} \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \quad (6.45)$$

Pentru a treia componentă a expresiei energiei cinetice de rotație, se obține în mod asemănător (pe baza relațiilor în ordinea (6.34) și (6.15)):

$$\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2 + \dot{z}_C^2 = \dot{\theta}^2 R^2 + 2LR \dot{\theta} \dot{\psi} \cos \psi + L^2 \dot{\psi}^2 + L^2 \dot{\phi}^2 \sin^2 \psi \quad (6.46)$$

Din analiza relațiilor (6.44÷6.46) se pot constata următoarele:

$$\frac{\partial E_{C11}}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial E_{C11}}{\partial \psi} = 0; \quad \frac{\partial E_{C11}}{\partial \phi} = 0; \quad (6.47)$$

$$\frac{\partial E_{C12}}{\partial \theta} = \frac{\partial E_{C12}}{\partial \psi} = \frac{\partial E_{C12}}{\partial \phi} = 0; \quad (6.48)$$

$$\frac{\partial E_{C13}}{\partial \theta} = \frac{\partial E_{C13}}{\partial \phi} = 0; \quad \frac{\partial E_{C13}}{\partial \psi} = -2LR \dot{\theta} \dot{\psi}^2 \sin \psi \quad (6.49)$$

Pe baza relațiilor (6.44÷6.46) se obțin expresiile prelucrate:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_{C11}}{\partial \dot{\theta}} &= \dot{\theta} m_r R^2 - \frac{L_e}{2} m_r R \dot{\phi} \\ \frac{\partial E_{C12}}{\partial \dot{\theta}} &= \dot{\theta} m_r R^2 + \frac{L_e}{2} m_r R \dot{\phi} \\ \frac{\partial E_{C13}}{\partial \dot{\theta}} &= \dot{\theta} M R^2 + L R M \dot{\psi} \cos \psi \end{aligned} \quad (6.50)$$

În baza relațiilor anterioare, se poate calcula:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial (E_{C1} - U)}{\partial \dot{\theta}} \right) = \frac{d}{dt} \left[(2m_r + M) R^2 \dot{\theta} + L R M \dot{\psi} \cos \psi \right] = (2m_r + M) R^2 \ddot{\theta} + L R M \ddot{\psi} \cos \psi - L R M \dot{\psi}^2 \sin \psi \quad (6.51)$$

În același mod (utilizând relația 6.43):

$$\left(\frac{\partial E_{C11}}{\partial \dot{\phi}} \right) = \frac{1}{2} m_r \frac{\partial}{\partial \dot{\phi}} \left(\dot{\theta}^2 R^2 - L_e \dot{\phi} \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \right) = \frac{1}{2} m_r \left(-L_e \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{2} \dot{\phi} \right) \quad (6.52)$$

$$\left(\frac{\partial E_{C12}}{\partial \dot{\phi}} \right) = \frac{1}{2} m_r \frac{\partial}{\partial \dot{\phi}} \left(\dot{\theta}^2 R^2 + L_e \dot{\phi} \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{4} \dot{\phi}^2 \right) = \frac{1}{2} m_r \left(L_e \dot{\theta} R + \frac{L_e^2}{2} \dot{\phi} \right) \quad (6.53)$$

$$\left(\frac{\partial E_{C13}}{\partial \dot{\phi}} \right) = ML^2 \dot{\phi} \sin^2 \psi \quad (6.54)$$

și în consecință:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C1}}{\partial \dot{\phi}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m_r L_e^2 \dot{\phi} + ML^2 \dot{\phi} \sin^2 \psi \right) = \left(\frac{1}{2} m_r L_e^2 + ML^2 \sin^2 \psi \right) \ddot{\phi} + 2ML^2 \dot{\phi} \dot{\psi} \sin \psi \cos \psi \quad (6.55)$$

În mod asemănător cu cele precizate anterior (pe baza relațiilor 6.44÷6.46) se determină:

$$\frac{\partial E_{C11}}{\partial \dot{\psi}} = \frac{1}{2} m_r \frac{\partial}{\partial \dot{\psi}} \left(\dot{\theta}^2 R^2 + L \dot{\phi} \dot{\theta} R + \dot{\phi}^2 \right) = 0 \quad (6.56)$$

$$\frac{\partial E_{C12}}{\partial \dot{\psi}} = 0 \quad (6.57)$$

$$\frac{\partial E_{C13}}{\partial \dot{\psi}} = \frac{1}{2} M \frac{\partial}{\partial \dot{\psi}} \left(\dot{\theta}^2 R^2 + 2LR \dot{\theta} \dot{\psi} \cos \psi + L^2 \dot{\psi}^2 \cos^2 \psi + L^2 \dot{\phi}^2 \sin^2 \psi \right) = MLR \dot{\theta} \cos \psi + ML^2 \dot{\psi} \quad (6.58)$$

Din relațiile anterioare (6.56÷6.58) se obține:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C1}}{\partial \dot{\psi}} \right) = \frac{d}{dt} \left(MLR \dot{\theta} \cos \psi + ML^2 \dot{\psi} \right) = MLR \ddot{\theta} \cos \psi - MLR \dot{\theta} \dot{\psi} \sin \psi + ML^2 \ddot{\psi} \cos^2 \psi - 2ML^2 \dot{\psi}^2 \cos \psi \sin \psi \quad (6.59)$$

Având în vedere expresia (6.31):

$$U = mgz_l + mgz_r + Mg(z_{OR} + L \cos \psi) \quad (6.60)$$

rezultă:

$$\frac{\partial U}{\partial \theta} = \frac{\partial U}{\partial \phi} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial U}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial U}{\partial \dot{\phi}} = 0 \quad (6.61)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \psi} = -MgL \sin \psi \quad (6.62)$$

Pe baza relațiilor (6.39) și a relațiilor următoare se pot menționa următoarele:

$$\frac{\partial E_{C2i}}{\partial q_k} = 0 \quad ; \quad i = 1..6 \quad ; \quad q_k = 1..3 \quad (6.63)$$

Pe baza relațiilor (6.11÷6.14) se pot scrie relațiile:

$$\begin{cases} \theta_r + \theta_l = 2\theta \\ \theta_r - \theta_l = \frac{L_e}{R} \phi \end{cases} \quad (6.64)$$

Din relațiile anterioare, se pot determina dependențele unghiurilor de rotație, de la nivelul celor două roți motoare, de coordonate generalizate:

$$\theta_r = \theta + \frac{L_e}{2R} \phi \quad (6.65)$$

$$\dot{\theta}_r = \dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \quad (6.66)$$

$$\theta_l = \theta - \frac{L_e}{2R} \phi \quad (6.67)$$

$$\dot{\theta}_l = \dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \quad (6.68)$$

Momentul de inerție al elementului mobil $J_{em\psi}$ se exprimă sub forma:

$$J_{em\psi} = J_{em\psi 0} + ML^2 \quad (6.69)$$

unde: $J_{em\psi 0}$ - este momentul de inerție al elementului mobil față de sistemul de axe cu originea în centrul de greutate C ; M - este masa elementului mobil; L - este distanța față de axa de rotație (Δ) a roților motoare (teorema lui Steiner).

$$J_{em\phi} = 2J_{r(\phi)} + m_r \frac{L_e^2}{2} + J_{em} \quad (6.70)$$

unde: $J_{r(\phi)}$ - este momentul de inerție al roții motoare față de axa ce trece prin centrul de masă O_r ; m_r - este masa unei roți; J_{em} - momentul de inerție al elementului mobil față de axa O_{zr} (Anexa 6.1).

Pe baza relației (6.30) și a relațiilor anterioare se pot determina:

$$E_{C21} = \frac{1}{2} J_r \dot{\theta}_l^2 = \frac{1}{2} J_r \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right)^2 \quad (6.71)$$

$$E_{C22} = \frac{1}{2} J_r \dot{\theta}_r^2 = \frac{1}{2} J_r \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right)^2 \quad (6.72)$$

$$E_{C25} = \frac{1}{2} J_m i^2 \left(\dot{\theta}_l - \dot{\psi} \right)^2 = \frac{1}{2} J_m i^2 \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right)^2 \quad (6.73)$$

$$E_{C26} = \frac{1}{2} J_m i^2 \left(\dot{\theta}_r - \dot{\psi} \right)^2 = \frac{1}{2} J_m i^2 \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right)^2 \quad (6.74)$$

$$\frac{\partial E_{C21}}{\partial \dot{\theta}} = J_r \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right) \quad (6.75)$$

$$\frac{\partial E_{C22}}{\partial \dot{\theta}} = J_r \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right) \quad (6.76)$$

$$\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\theta}} = i^2 J_m \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \quad (6.77)$$

$$\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\theta}} = i^2 J_m \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \quad (6.78)$$

și respectiv:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C21}}{\partial \dot{\theta}} \right) = J_r \left(\ddot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} \right) \quad (6.79)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C22}}{\partial \dot{\theta}} \right) = J_r \left(\ddot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} \right) \quad (6.80)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\theta}} \right) = i^2 J_m \left(\ddot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.81)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\theta}} \right) = i^2 J_m \left(\ddot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.82)$$

În același mod, pentru cea de-a doua coordonată generalizată:

$$\frac{\partial E_{C21}}{\partial \dot{\phi}} = -J_r \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right) \frac{L_e}{2R} \quad (6.83)$$

$$\frac{\partial E_{C22}}{\partial \dot{\phi}} = J_r \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} \right) \frac{L_e}{2R} \quad (6.84)$$

$$\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\phi}} = -i^2 J_m \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \frac{L_e}{2R} \quad (6.85)$$

$$\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\phi}} = i^2 J_m \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \frac{L_e}{2R} \quad (6.86)$$

și repectiv:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C21}}{\partial \dot{\phi}} \right) = -\frac{J_r L_e}{2R} \left(\ddot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} \right) \quad (6.87)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C22}}{\partial \dot{\phi}} \right) = \frac{J_r L_e}{2R} \left(\ddot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} \right) \quad (6.88)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\phi}} \right) = -i^2 J_m \frac{L_e}{2R} \left(\ddot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.89)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\phi}} \right) = i^2 J_m \frac{L_e}{2R} \left(\ddot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.90)$$

Pentru cea de-a treia coordonată generalizată, se pot scrie următoarele ecuații:

$$\frac{\partial E_{C21}}{\partial \dot{\psi}} = \frac{\partial E_{C22}}{\partial \dot{\psi}} = 0 \quad (6.91)$$

$$\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\psi}} = -J_m i^2 \left(\dot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \quad (6.92)$$

$$\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\psi}} = -J_m i^2 \left(\dot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - \dot{\psi} \right) \quad (6.93)$$

și repectiv:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C25}}{\partial \dot{\psi}} \right) = -J_m i^2 \left(\ddot{\theta} - \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.94)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C26}}{\partial \dot{\psi}} \right) = -J_m i^2 \left(\ddot{\theta} + \frac{L_e}{2R} \ddot{\phi} - \ddot{\psi} \right) \quad (6.95)$$

Având în vedere relațiile pentru momentele de inerție $J_{em\psi}$ și $J_{em\phi}$, se pot dezvolta ecuațiile:

$$E_{C23} = \frac{1}{2} J_{em\psi} \dot{\psi}^2 = \frac{1}{2} (J_{em(C)} + ML^2) \dot{\psi}^2 \quad (6.96)$$

$$E_{C24} = \frac{1}{2} J_{em\phi} \dot{\phi}^2 = \frac{1}{2} \left(J_{r(\phi)} + m_r \frac{L_e^2}{2} + J_{em(C)} \right) \dot{\phi}^2 \quad (6.97)$$

$$\frac{\partial E_{C23}}{\partial \theta} = \frac{\partial E_{C24}}{\partial \theta} = \frac{\partial E_{C23}}{\partial \phi} = \frac{\partial E_{C24}}{\partial \phi} = \frac{\partial E_{C23}}{\partial \psi} = \frac{\partial E_{C24}}{\partial \psi} = 0 \quad (6.98)$$

$$\frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\phi}} = 0, \quad \frac{\partial E_{C24}}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial E_{C24}}{\partial \dot{\psi}} = 0 \quad (6.99)$$

$$\frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\psi}} = (J_{em(0)} + ML^2) \dot{\psi} \quad (6.100)$$

$$\frac{\partial E_{C24}}{\partial \dot{\phi}} = \left(2J_{r(0)} + m_r \frac{L_e^2}{2} + J_{em} \right) \dot{\phi} \quad (6.101)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\theta}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\phi}} \right) = 0 \quad (6.102)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C23}}{\partial \dot{\psi}} \right) = (J_{em(C)} + ML^2) \ddot{\psi} \quad (6.103)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{C24}}{\partial \dot{\phi}} \right) = \left(2J_{r(0)} + m_r \frac{L_e^2}{2} + J_{em(C)} \right) \ddot{\phi} \quad (6.104)$$

Pe baza relațiilor (6.50), (6.79 ÷ 6.83), relația (6.35) poate fi scrisă sub forma:

$$\left[(2m_r + M)R^2 + 2J_r + 2i^2 J_m \right] \ddot{\theta} + (LMR \cos \psi - 2i^2 J_m) \ddot{\psi} - LRM \dot{\phi}^2 \sin \psi = F_\theta \quad (6.105)$$

Pe baza relațiilor (6.87 ÷ 6.90, 6.104) relația (6.36) poate fi scrisă sub forma:

$$\left[m_r L_e^2 + \frac{L_e^2}{2R^2} (J_r + i^2 J_m) + 2J_{r(0)} + J_{em(\phi)} + ML^2 \sin^2 \psi \right] \ddot{\phi} + 2ML^2 \dot{\phi} \dot{\psi} \sin \psi \cos \psi = F_\phi \quad (6.106)$$

În același mod, pe baza relațiilor (6.59, 6.62, 6.94, 6.95, 6.103), relația (6.37) poate fi scrisă sub forma:

$$(MLR \cos \psi - 2i^2 J_m) \ddot{\theta} + (ML^2 \cos^2 \psi + 2i^2 J_m + J_{em(C)}) \ddot{\psi} - MLR \dot{\theta} \dot{\psi} \sin \psi - ML^2 \dot{\psi} \cos \psi \sin \psi - MgL \sin \psi = F_\psi \quad (6.107)$$

Sistemul dinamic descris de ecuațiile (6.105 ÷ 6.107) este un sistem neliniar. În vederea simulării și proiectării unui control adecvat, este recomandată liniarizarea modelului menționat. În acest sens, în jurul punctului de funcționare se

consideră următoarele aproximări:

$$\sin\psi \rightarrow \psi ; \cos\psi \rightarrow 1 ; \dot{\psi}^2 \rightarrow 0 ; \ddot{\psi} \dot{\phi} \rightarrow 0 \quad (6.108)$$

În acest caz, ecuațiile (6.105 ÷ 6.107) devin:

$$\left[(2m_r + M)R^2 + 2J_r + 2i^2 J_m \right] \ddot{\theta} + (LMR - 2i^2 J_m) \ddot{\psi} = F_\theta \quad (6.109)$$

$$\left[m_r L_e^2 + \frac{L_e^2}{2R^2} (J_r + i^2 J_m) + 2J_{r(0)} + J_{em(\phi)} \right] \ddot{\phi} = F_\phi \quad (6.110)$$

$$(MLR - 2i^2 J_m) \ddot{\theta} + (ML^2 + 2i^2 J_m + J_{em(C)}) \ddot{\psi} - MgL\psi = F_\psi \quad (6.111)$$

Modelul liniarizat poate fi dezvoltat prin apelarea la modelul matematic al forțelor generalizate.

Forțele generalizate ce corespund coordonatelor generalizate, admise în modelare se determină în corespondență cu lucrul mecanic virtual [Silaș, 1968]:

$$\begin{cases} F_\theta = F_l + F_r = M_l - \Sigma M_{fvl} + M_r - \Sigma M_{fvr} \\ F_\psi = -(F_l + F_r) \\ F_\phi = \frac{L_e}{2R} (F_l - F_r) \end{cases} \quad (6.112)$$

unde: M_l, M_r – sunt momentele disponibile la nivelul roților motoare ; M_{fvr}, M_{fvl} – sunt momentele frecărilor vâscoase la nivelul axei roților (s-au neglijat frecările roată-sol).

Având în vedere modelul matematic al subsistemului de acționare, se pot scrie relațiile:

$$\begin{cases} F_l = M_l - \Sigma M_{fvl} = iM_{ml} - k_{fv} \left(\dot{\theta}_l - \dot{\psi} \right) \\ F_r = M_r - \Sigma M_{fvr} = iM_{mr} - k_{fv} \left(\dot{\theta}_r - \dot{\psi} \right) \end{cases} \quad (6.113)$$

Momentele disponibile la nivelul roților și modul de analiză a implicațiilor, se abordează pe baza relațiilor (6.17 ÷ 6.27).

Ecuațiile circuitului electric:

$$U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + k_e \Omega_m \quad (6.114)$$

ecuația cuplului motor:

$$m_m = k_m i_a \quad (6.115)$$

și ecuația frecărilor la nivelul axei motorului:

$$m_f = m_{fs} + k_{fv} \Omega_m \quad (6.116)$$

au stat la baza simulării sistemului de acționare.

În Figura 6.41.a,b sunt prezentate schemele bloc în mediul de lucru Matlab/Simulink. În Figura 6.41.a modelul dezvoltat neglijează inductivitatea motorului ($L_a=4,7$ mH), considerându-se că este o valoare redusă. Aproximarea se regăsește abordată și în literatura de specialitate studiată [Arnoldo, 2012], [Boubaker, 2012]. În Figura 6.41.b se renunță la aproximarea specificată, luându-se în considerare inductivitatea motorului. La construcția schemelor bloc s-au avut în vedere ecuațiile modelului dinamic prezentate la § 6.3.4.1.

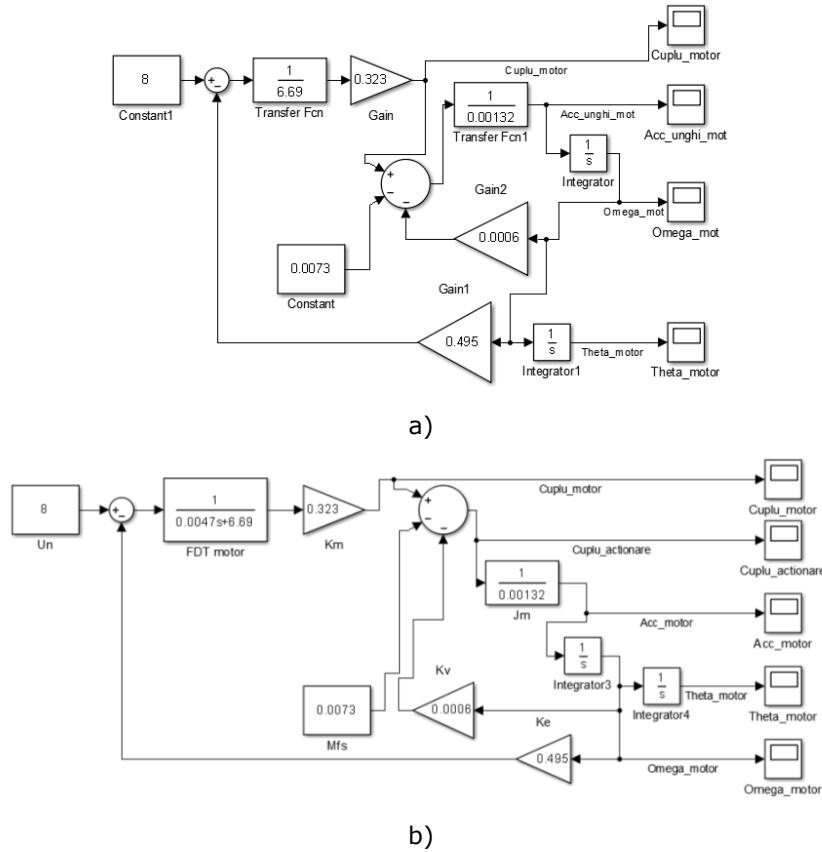


Figura 6.41 Modelul sistemului de acționare în Matlab/Simulink

În figurile 6.42÷6.46 sunt prezentate rezultatele simulărilor referitoare la răspunsul sistemului pentru un semnal de tip treaptă, aplicat motorului. Se constată (așa cum era de așteptat) diferențe între cele două cazuri admise. Simularea reală va răspunde mult mai fiabil la varianta optimă.

Din relațiile (6.17 și 6.20) se pot scrie ecuațiile (considerând neglijabilă inductivitatea motorului):

$$i_a = \frac{m_a - k_e \Omega_m}{R_a} \quad (6.117)$$

și corespunzător ecuația:

$$m_{ne} = k_m i_a = U_a \frac{k_m}{R_a} - \frac{k_m k_e}{R_a} \Omega_m \quad (6.118)$$

Având în vedere relațiile cinematice pentru roțile motoare:

$$\Omega_{r,l} = \dot{\theta}_{r,l} = \frac{\Omega_{m,l,r}}{i} \quad (6.119)$$

și

$$M_{m,l,r} = i M_m \quad (6.120)$$

se pot realiza calculele pentru definirea unei noi forme de exprimare a forțelor generalizate.

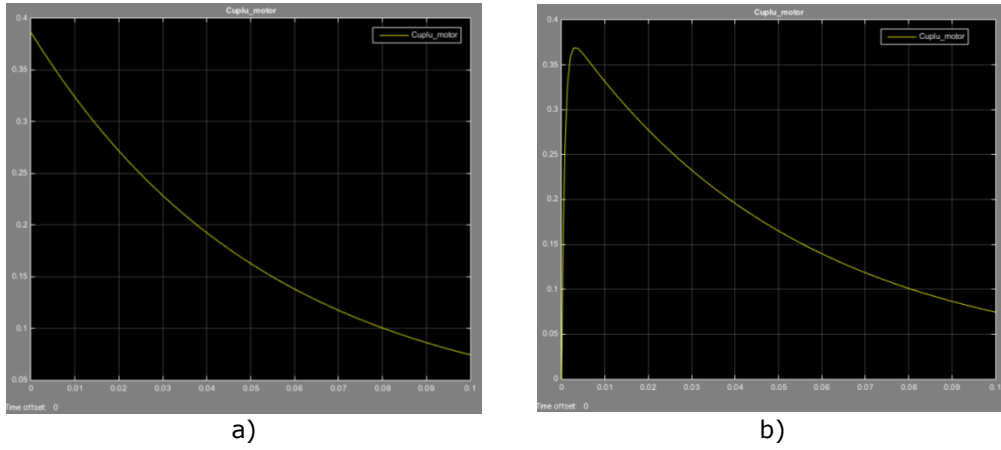


Figura 6.42 Cuplu motor

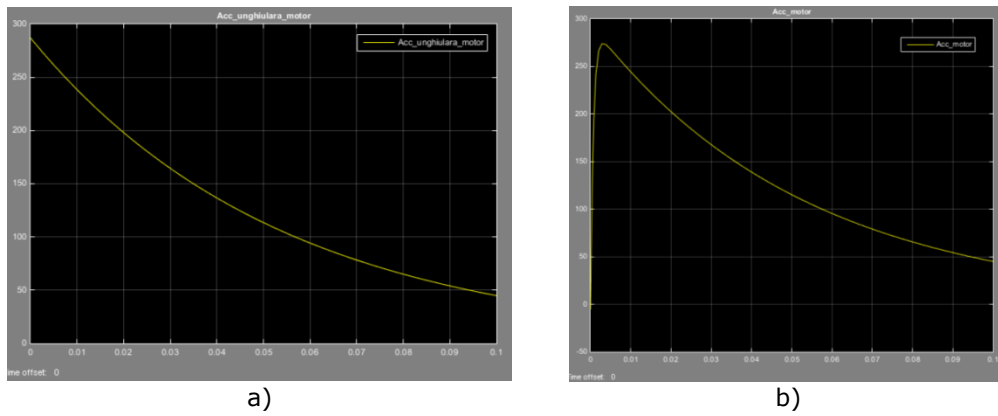


Figura 6.43 Accelerația unghiulară a motorului

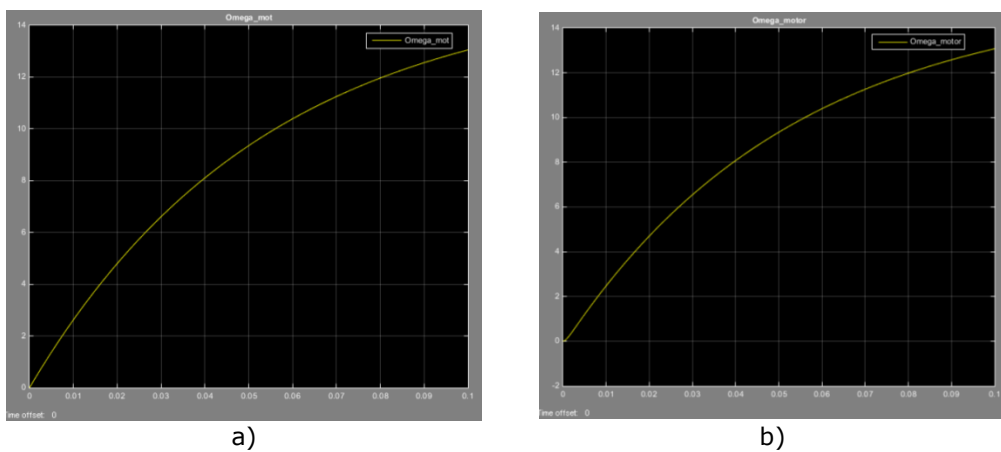


Figura 6.44 Viteza unghiulară a motorului (omega motor)

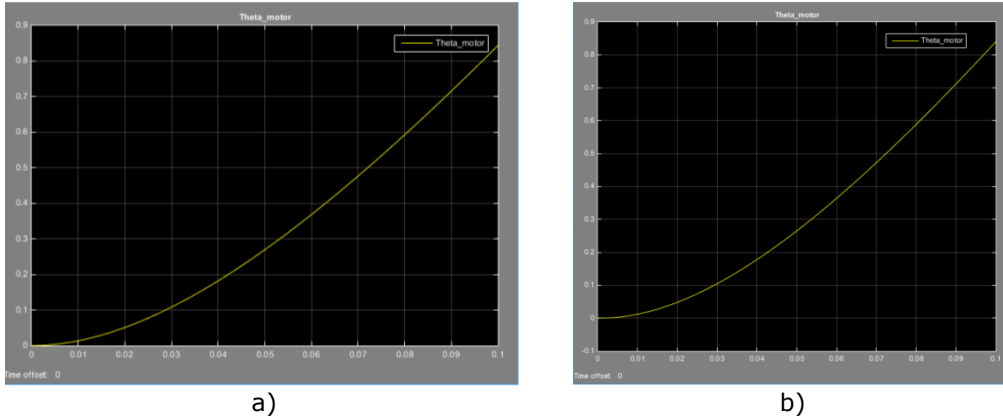


Figura 6.45 Unghiul de rotație al motorului (tetha motor)

Pornind de la relațiile (6.112-6.113), se calculează:

$$F_{\theta} = i \frac{k_m}{R_a} (U_{al} + U_{ar}) - \frac{2i^2 k_m k_e}{R_a} \dot{\theta} - 2k_{fv} \left(\dot{\theta} - \dot{\psi} \right) \quad (6.121)$$

Introducând notațiile:

$$a = i \frac{k_m}{R_a} ; \quad b = \frac{2i^2 k_m k_e}{R_a} ; \quad c = 2k_{fv} \quad (6.122)$$

relația anterioară se poate scrie:

$$F_{\theta} = a(U_{al} + U_{ar}) - (b+c)\dot{\theta} + c\dot{\psi} \quad (6.123)$$

În același mod, se pot scrie următoarele ecuații:

$$F_{\psi} = -a(U_{al} + U_{ar}) + (b+c)\dot{\theta} - c\dot{\psi} \quad (6.124)$$

și respectiv (prin utilizarea relației 6.11) :

$$F_{\phi} = \frac{L_e}{2R} \left[a(U_{al} - U_{ar}) - b \frac{L_e}{2R} \dot{\phi} - k_{fv} \frac{L_e}{R} \dot{\phi} \right] = a_1(U_{al} - U_{ar}) - b_1 \dot{\phi} \quad (6.125)$$

Unde notațiile suplimentare au următoarele semnificații:

$$a_1 = a \frac{L_e}{2R} ; \quad b_1 = b \frac{L_e^2}{2R^2} - k_{fv} \frac{L_e}{R} \quad (6.126)$$

Pe baza relațiilor (6.123 ÷ 6.125), modelul dinamic (relațiile 6.109 ÷ 6.111) se poate rescrie:

$$\left[(2m_r + M)R^2 + 2J_r + 2i^2 J_m \right] \ddot{\theta} + (LMR - 2i^2 J_m) \ddot{\psi} + (b+c)\dot{\theta} - c\dot{\psi} = a(U_{al} + U_{ar}) \quad (6.127)$$

$$\left[m_r L_e^2 + \frac{L_e^2}{2R^2} (J_r + i^2 J_m) + 2J_{r(0)} + J_{em(\phi)} \right] \ddot{\phi} + b_1 \dot{\phi} = a_1 (U_{al} - U_{ar}) \quad (6.128)$$

$$(MLR - 2i^2 J_m) \ddot{\theta} + (ML^2 + 2i^2 J_m + J_{em(C)}) \ddot{\psi} - MgL\psi - (b+c)\dot{\theta} + c\dot{\psi} = -a(U_{al} + U_{ar}) \quad (6.129)$$

sau:

$$\begin{cases} \lambda_1 \ddot{\theta} + (b+c)\dot{\theta} + \lambda_2 \ddot{\psi} + c\dot{\psi} = (U_{al} + U_{ar}) \\ \lambda_3 \ddot{\phi} + b_1 \dot{\phi} = a_1 (U_{al} - U_{ar}) \\ \lambda_4 \ddot{\theta} - (b+c)\dot{\theta} + \lambda_5 \ddot{\psi} + c\dot{\psi} - \lambda_6 \dot{\psi} = -a(U_{al} + U_{ar}) \end{cases} \quad (6.130)$$

unde notațiile au semnificațiile:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= (2m_r + M)R^2 + 2J_r + 2i^2 J_m \\ \lambda_2 &= (LMR - 2i^2 J_m) \\ \lambda_3 &= m_r L_e^2 + \frac{L_e^2}{2R^2} (J_r + i^2 J_m) + 2J_{r(0)} + J_{em(\phi)} \\ \lambda_4 &= MLR - 2i^2 J_m \\ \lambda_5 &= ML^2 + 2i^2 J_m + J_{em(C)} \\ \lambda_6 &= MgL\psi \end{aligned} \quad (6.131)$$

Considerând forma matricială pentru coordonatele generalizate $x = [\theta \ \psi \ \phi]^T$ și sistemul de ecuații (6.131), se poate scrie:

$$HU = E \ddot{x} + F \dot{x} + Gx \quad (6.132)$$

unde matricile H, E, F, U și G au următoarele structuri:

$$E = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (6.133)$$

$$F = \begin{bmatrix} b+c & c & 0 \\ -(b+c) & c & 0 \\ 0 & 0 & b_1 \end{bmatrix} \quad (6.134)$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.135)$$

$$H = \begin{bmatrix} a & a \\ -a & -a \\ a_1 & -a_1 \end{bmatrix}; U = \begin{bmatrix} U_{al} \\ U_{ar} \end{bmatrix} \quad (6.136)$$

Relația (6.132) poate fi modificată prin înmulțire cu E^{-1} și prelucrări viitoare.

$$\ddot{x} = E^{-1}HU - E^{-1}F\dot{x} - E^{-1}Gx \quad (6.137)$$

Noua formă a ecuației matriciale permite diverse abordări pentru modelele de simulare. Considerând o definiție a unor variabile de stare x_1 și x_2 de forma:

$$\begin{aligned} x_1 &= \begin{bmatrix} \theta & \psi & \dot{\theta} & \dot{\phi} \end{bmatrix}^T \\ x_2 &= \begin{bmatrix} \dot{\phi} & \phi \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.138)$$

Sistemul anterior se poate dezvolta pe baza modelului de stare [Nițulescu, 2002]:

$$\begin{aligned} \bullet \\ x_1 &= A_1 x_1 + B_1 U \\ \bullet \\ x_2 &= A_2 x_2 + B_2 U \end{aligned} \tag{6.139}$$

unde matricile de intrare și de comandă se determină din relațiile (6.133 ÷ 6.137).

6.4. Modelarea în mediul Matlab a demonstratorului humanoid

6.4.1. Introducere

Procesul de simulare se bazează pe modelul matematic al sistemului proiectat. În același timp, se impune și disponibilitatea unui mediu de lucru necesar simulării. În acest caz, procesul de simulare apelează la modelul matematic „mai mult sau mai puțin complex”, construit pe baza principiilor fizice de funcționare ale sistemului.

O altă variantă orientată preponderent spre optimizarea sistemului de control a sistemului mecatronic, presupune o apelare atât la modelul real al sistemului, cât și la modelul matematic al acestuia.

Se vor face simulări ale demonstratorului virtual în Simulink, în care se va studia reacția de acțiune și control a sistemului, utilizând parametri reali ai demonstratorului, împreună cu parametrii matematici generați de Matlab în spațiul virtual de lucru workspace [***, 5.6].

Rezultatele obținute în mediul de lucru permit ajustarea parametrilor modelului creat pentru a îndeplini cerințele dorite. Modalități de lucru sunt prezentate în Anexa 6.2.

6.4.2. Simularea demonstratorului humanoid în Matlab/Simulink

6.4.2.1. Generarea parametrilor modelului în spațiul virtual de lucru

Unul dintre obiectivele importante ale unei simulări virtuale este acela de a transpune modelul matematic și toate caracteristicile tehnice ale unui demonstrator experimental în limbaj software de programare și rulare.

Folosind informațiile anterioare, am construit în mediul de lucru Matlab fișierul de lucru necesar generării parametrilor în spațiul Workspace/Matlab.

În Tabelul 6.3, este prezentată o parte din fișierul de lucru *NXT_Parametrii_functionali.m* în mediul de lucru Matlab, preluată și modificată din [***, 6.1], prin care sunt definiți parametri fizici ai robotului mobil, precum și variabilele rezultate în urma modelării matematice. Ceilalți parametri definiți și generați se găsesc în Anexa 6.3.

Pentru a putea verifica comportamentul modelului dezvoltat într-o simulare virtuală, se apelează la mediul de modelare Matlab/Simulink [Meah, 2007].

Pentru a putea efectua în Simulink testări ale pendulului invers pentru modelul matematic dezvoltat (în capitolele anterioare), vom folosi datele prelucrate în *Matlab* și generate în *Workspace*, pentru acest model. Se va apela în plus la blocurile din librăria mediului de programare *Simulink*.

În Figura 6.46 se află un exemplu din generarea parametrilor de simulare

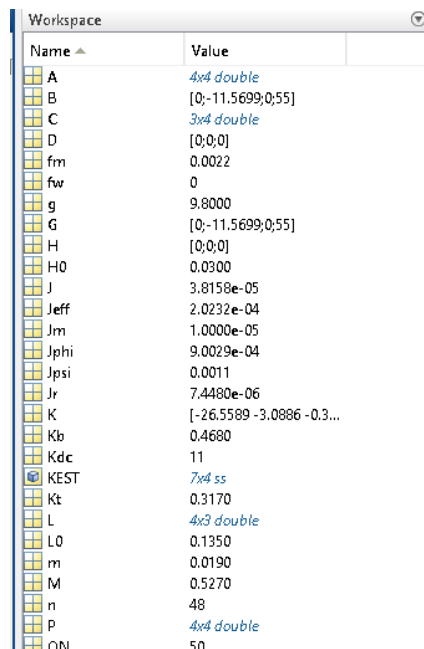
pentru modelul virtual al robotului humanoid mobil.

Tabel 6.3 Program Matlab pentru simularea menținerii echilibrului robotului mobil

```

%%NXT_Parametrii_functionali.m%%
%%Program_simulare_mentinere_echilibru_robot_mobil_humanoid%%
g = 9.81;           % forța gravitațională [m/sec^2]
m = 0.019;        % masa rotii motoare [Kg]
R = 0.028;        % raza rotii motoare [m]
Jr = m * R^2 / 2; % momentul de inerție a rotii [Kg*m^2]
M = 0.527;        % masa elementului mobil in cazul s1
LO = 0.135;       % înălțimea robotului
B = 0.13;         % lățimea robotului
H = 0.060;        % lățimea laterală a robotului
H0 = H / 2;       % poziția centrului de masă în planul vertical [m]
L=0.08           % poziția centrului de masă față de axa roților [m]
Jpsi = M * L^2 / 3; % momentul unghiului de înclinare al robotului [kgm^2]
Jphi = M * (W^2 + D^2) / 12; % momentul unghiului de rotație al robotului [kgm^2]
fm = 0.0022;      % coeficientul de frecare între motor și corpul robotului
fw = 0;           % coeficientul de frecare între suprafața și roata
% Parametrii motorului electric de acționare
Jm = 1e-5;        % Momentul de inerție a motorului [kgm^2]
Rm = 6.69;        % Rezistența motorului [Ohm]
Kb = 0.468;       % Constanta motorului electric (EMF) [Vsec/rad]
Kt = 0.317;       % Constanta de turație a motorului electric [Nm/A]
n = 48;           % Rata de transmisie

```



Name	Value
A	4x4 double
B	[0;-11.5699;0;55]
C	3x4 double
D	[0;0;0]
fm	0.0022
fw	0
g	9.8000
G	[0;-11.5699;0;55]
H	[0;0;0]
H0	0.0300
J	3.8158e-05
Jphi	9.0029e-04
Jpsi	0.0011
Jr	7.4480e-06
K	[-26.5589 -3.0886 -0.3...
Kb	0.4680
Kdc	11
KEST	7x4 ss
Kt	0.3170
L	4x3 double
LO	0.1350
m	0.0190
M	0.5270
n	48
P	4x4 double
ON	50

Figura 6.46 Parametrii din workspace, înregistrați în fișierul *.m din Matlab

6.4.2.2. Simularea robotului humanoid mobil

În cadrul simulării este necesară realizarea unei conexiuni între mediul Matlab și componentele *Lego Mindstorm NXT-2*. Blocurile generatoare de semnale dedicate (I/O) (*Lego Mindstorm NXT-2*) devin operaționale dacă biblioteca aferentă (acestei platforme) este instalată în mediul de lucru Matlab/Simulink.

În acest scop, procedura de lucru este prezentată în Figura 6.42.

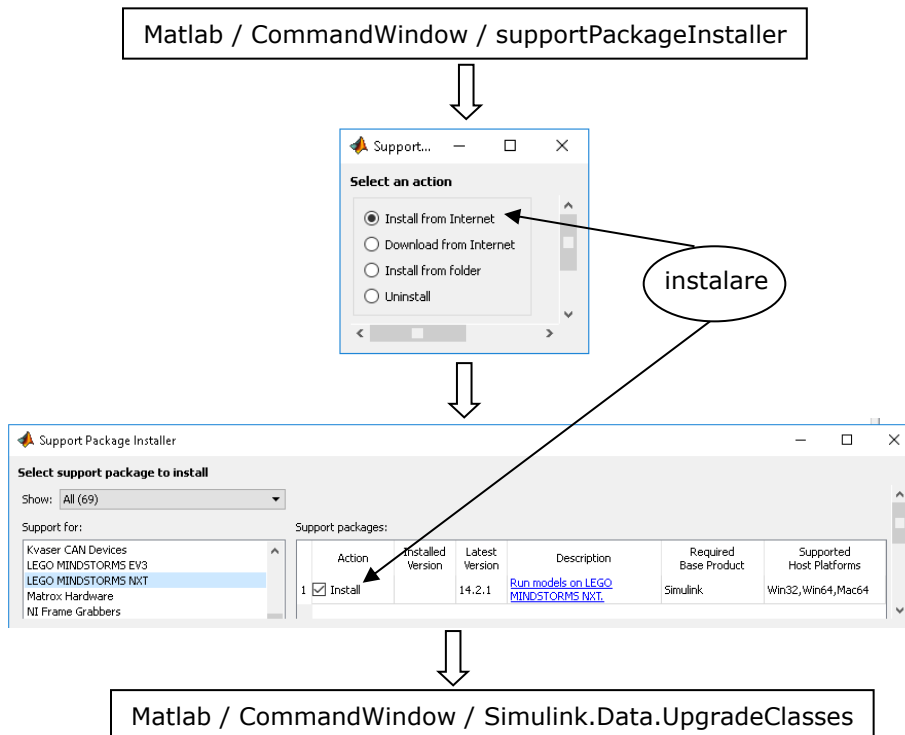


Figura 6.47 Pașii de instalare a bibliotecii Lego Nxt-2 pentru Matlab/Simulink

Trecerea la testarea funcționării unei platforme reale respectă procedura de lucru prezentată în pașii următori:

1. Start;
2. Instalare pachet Lego NXT 2 în Matlab/Simulink;
3. Încărcare soft dezvoltat în platforma NXT prin metoda External;
4. Stabilirea comunicării (Bluetooth) și a transferului de date NXT-2 <=> PC;
5. Înregistrarea în Simulink a datelor reale din timpul echilibrului robotului mobil;
6. Importarea în Matlab a datelor din Simulink prin modulul „To Workspace”;
7. Se colectează datele din blocul Simulink To workspace în Matlab;
8. Datele generate în Matlab / Workspace se exportă într-un fișier Excel;
9. Toate datele din primul Sheet de Excel se copiază în următoarele două Sheet-uri;

10. Fișierul Excel se încarcă în modulul Simulink, Signal Builder pentru generarea semnalelor modelului real;
11. După crearea generatorului de semnal, se rulează în Matlab fișierul NXT_Parametrii_functionali.m, care generează în Workspace, parametrii funcționali ai modelului real, utilizați pentru simulare;
12. După generarea semnalelor reale, după prelucrarea în modelul matematic, se verifică rezultatele liniarizate;
13. Stop.

Modelul dezvoltat pentru simulare (în urma modificărilor din codul original [***, 6.1]), în care utilizăm S1+S2 pentru menținerea echilibrului, este prezentat în Figura 6.48.

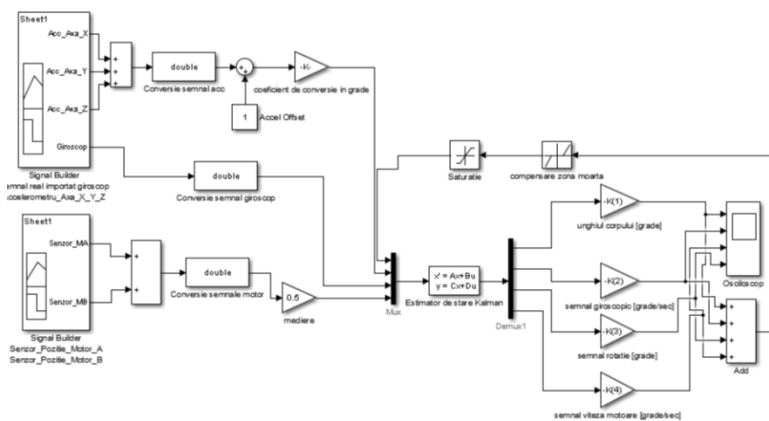


Figura 6.48 Simulink, simulare demonstrator humanoid

Pentru a putea realiza simulări cu semnale reale, generate în cazul intrărilor (pe modelul de robot humanoid prezentat în Figura 6.1) am încărcat în platforma NXT-2 programul de conducere a robotului. Au fost realizate modificările necesare care să permită achiziția datelor în timp real de la platforma mobilă. Pentru a obține acest lucru, am utilizat schema bloc din Figura 6.49, în care se pot observa conexiunile realizate pentru achiziția datelor de la senzorii de accelerație (axele X, Y, Z), senzorii de rotație ai motoarelor și de la senzorul giroscopic.

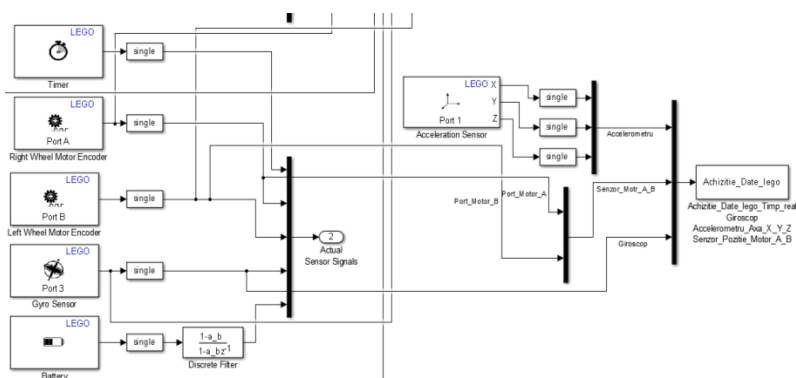


Figura 6.49 Achiziție de date în timp real, de la platforma mobilă Lego

În Figura 6.50, este prezentat un detaliu (din Figura 6.49) al blocurilor de lucru pentru achiziția datelor în timp real, transferarea acestora în Matlab și generarea fișierului *.m cu datele achiziționate.

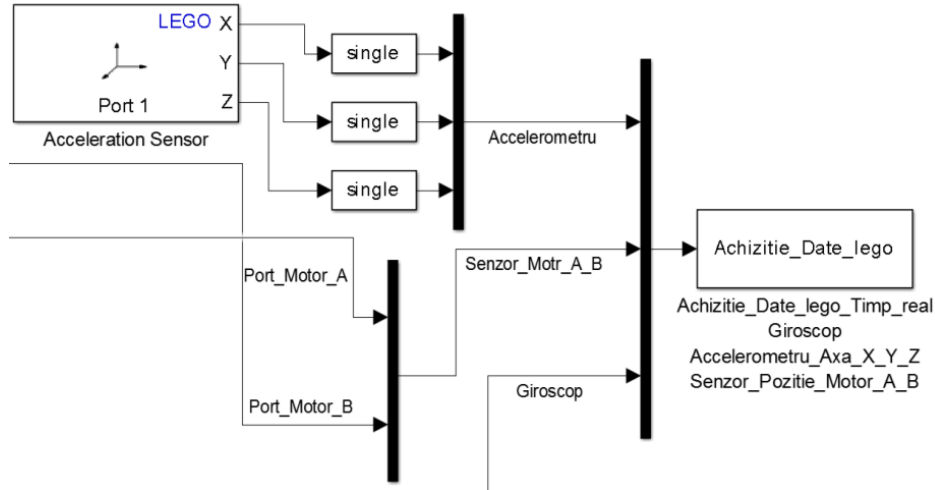


Figura 6.50 Semnalele achiziționate și funcția de export date

Achiziția datelor în timp real (între PC și platforma NXT-2) a fost facilitată de o conexiune Bluetooth, având ca suport funcția „External”, din meniul Simulink.

Achiziția datelor în timp real și facilitatea software permite ca orice modificare în Simulink să fie implementată automat și în software-ul dedicat din platforma NXT-2.

Un set de date achiziționate în timp real de la senzorii conectați, este prezentat în Tabelul 6.4, iar restul datelor achiziționate se regăsesc în Anexa 6.5.

Tabel 6.4 Date achiziționate în timp real de la senzorii Platformei Lego

Timpul	Acc_Axa_X	Acc_Axa_Y	Acc_Axa_Z	Senzor_MA	Senzor_MB	Giroscop
0,668	193	11	-11	0	0	603
0,672	193	11	-11	0	0	603
0,676	193	11	-11	0	0	604
0,68	193	11	-11	0	0	603
0,684	193	11	-11	0	0	604
...
4,896	190	25	29	107	116	546
4,9	192	8	22	110	118	554
4,904	192	8	22	112	121	554
4,908	192	8	22	115	124	548
4,912	192	8	22	117	126	548
...

Datele achiziționate în timp real devin informații transformate în semnale, utilizând generatorul de semnal al Simulink-ului, pentru simularea virtuală.

Prin accesarea blocului „Signal Builder” din librăria Simulink, vom importa semnalele și le vom selecta pentru simulator. Un exemplu de semnale încărcate în generatorul de semnale este prezentat în Figura 6.51. Este cazul semnalelor de la senzorul de accelerație (Axa, x, y, z) și, respectiv, senzorul giroscopic.

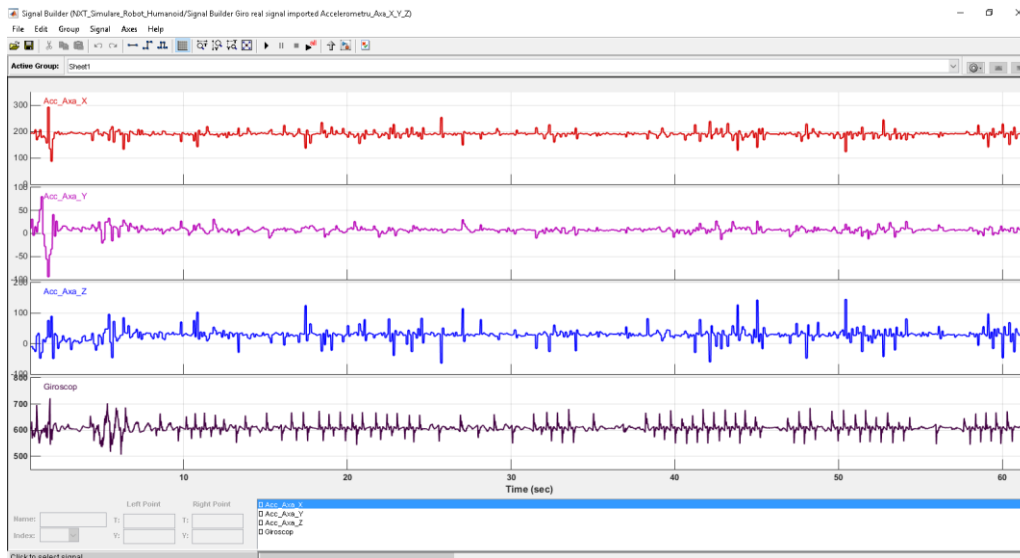


Figura 6.51 Semnale importate în generatorul de semnal Simulink

Pentru a crea condiții similare unui mediu real al platformei mobile în timpul menținerii echilibrului, în mediul virtual a fost integrat un generator de semnale pentru senzorii de rotație a roților de tracțiune (stânga și dreapta). Un exemplu de semnale generate este prezentat în Figura 6.52.

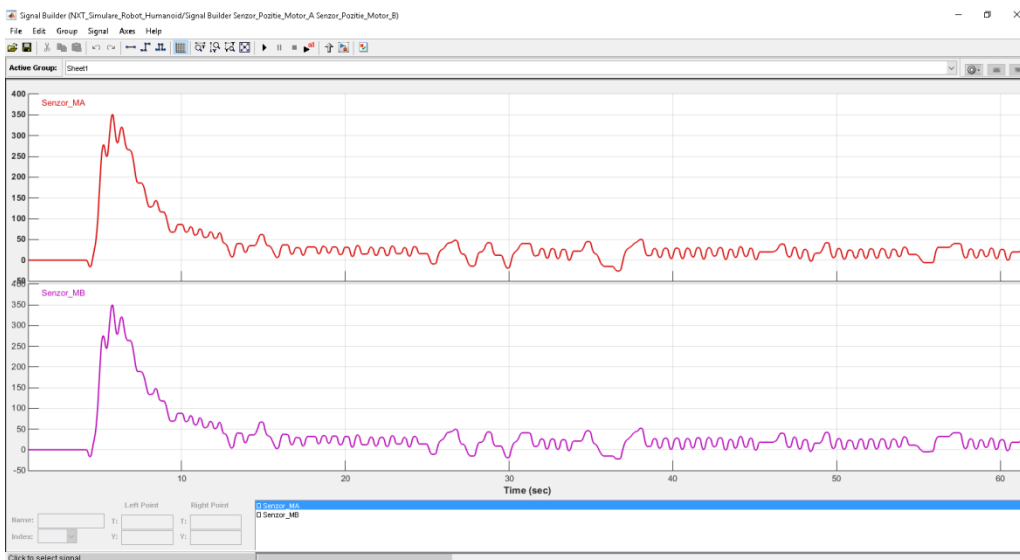


Figura 6.52 Semnale de la senzorul de rotație ale motoarelor stânga - dreapta

Având toate datele de intrare achiziționate de la un model real, vom simula în mediul Matlab/Simulink procesul de menținere al echilibrului robotului. Rezultatele simulării virtuale permit vizualizarea parametrilor de lucru și analiza acestora. Un exemplu al unei astfel de abordări este prezentat în Figura 6.53.

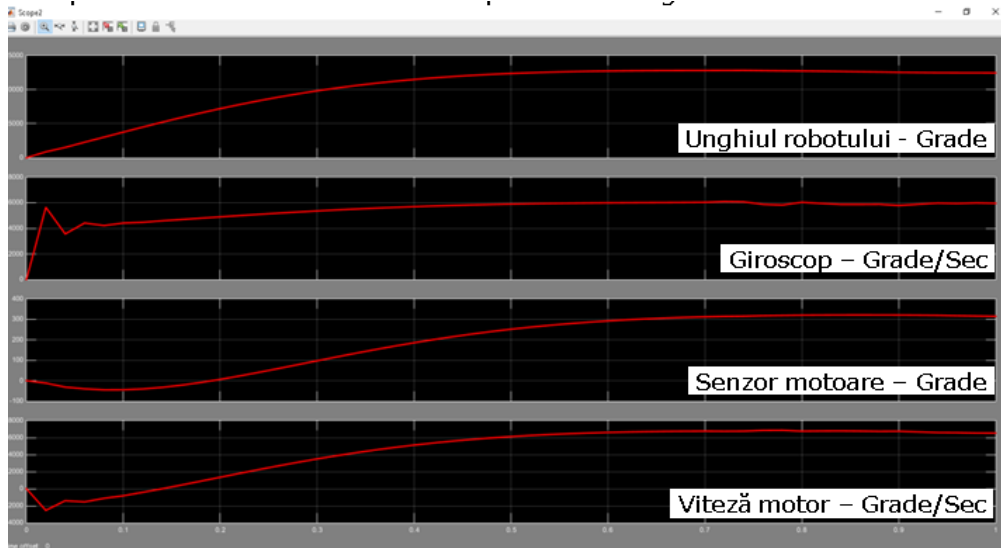


Figura 6.53 Date obținute în urma prelucrării matematice

6.4.3. Concluzii

În urma simulării, am obținut următoarele:

- S-au colectat date reale din timpul echilibrului robotului mobil, de la senzorul de: accelerație, giroscopic, rotație (motorul stânga și dreapta). Aceste date au fost utilizate ulterior la generatorul de semnal din Simulink, pentru a avea un semnal generat cât mai apropiat de modelul real;
- Generatorul de semnal din Simulink utilizează semnalele reale din timpul stabilității robotului în cadrul experimentului de simulare virtuală;
- Utilizând datele fizice reale de la robot, s-a putut genera în workspace - Matlab, parametrii necesari rulării modelului în Simulink.

6.5. Analiza critică a rezultatelor teoretice și experimentale. Concluzii finale

În urma experimentelor de simulare desfășurate se pot concluziona următoarele aspecte:

- În Simulink, datorită performanței software-ului și a filtrelor aplicate, semnalul din generatorul de semnal colectat în timpul de menținere a robotului real, a fost foarte repede liniarizat, pentru menținerea echilibrului;
- Se pot utiliza două platforme LEGO NXT-2: una folosită pe post de robot mobil și cealaltă legată în serie la semnalele senzorilor primei platforme pentru colectarea datelor;
- În urma colectării semnalelor de la cei doi senzori (optic, respectiv giroscopic), se poate observa o fluctuație mare în semnalul de menținere a echilibrului;
- În experimentul în care robotul utilizează semnal de la senzorul giroscopic,

6.5 - Analiza critică a rezultatelor teoretice și experimentale. Concluzii finale 199

acesta are o stabilitate mai mare și o liniaritate constantă a semnalului dat de senzorul giroscopic;

- Achiziționând semnalul de la sistemul senzorial (robot mobil humanoid) pe durata desfășurării experimentului de menținere a echilibrului, a fost posibilă generarea unui semnal virtual, asemănător cu semnalul real.

7. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. Concluzii finale

Dezvoltarea accelerată a tehnicii a condus la realizarea diferitelor tipuri de roboți mobili în variante constructive și funcționale diverse, cu scopul de a fi implementați cât mai bine în diferite domenii de activitate: armată, medicină, industrie, agricultură etc.

Sistemele robotice mobile sunt o adevărată provocare, folosind un sistem mecanic complex, în funcție de aplicația dată. Robotul mobil poate fi văzut ca o structură compusă din sisteme și subsisteme. Abordarea unei teme de cercetare referitoare la robotul mobil sau proiectarea optimală a unui astfel de sistem mecatronic, impune o analiză aprofundată a stadiului actual al roboților mobili. În final, un astfel de sistem se concretizează printr-un demonstrator cu utilități multiple.

În conformitate cu activitatea prevăzută în planul de cercetare, realizată în cadrul „Laboratorului de Senzori și Actuatore al Departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara” și într-un program de cercetare desfășurat la universitatea „Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, departamentul de Mechanics applied to Mechanisms”, au fost cercetate aspectele teoretice și s-au dezvoltat experimente practice pentru atingerea scopului activității prevăzute.

O direcție a vizat elementele senzoriale cu utilitate în construcția roboților mobili, având ca scop obținerea de informații din mediul de lucru. A doua direcție a vizat dezvoltarea unei structuri pentru un robot mobil și analiza teoretică și experimentală a acesteia.

Funcțiile importante ale unui robot mobil sunt: funcția de conducere, funcția de comandă și funcția de percepere a mediului în care acesta își desfășoară activitatea. Datorită acestor funcții, robotul mobil interacționează cu mediul său prin acțiuni reciproce.

Acțiunile de contact ale robotului cu mediul pot conduce la erori de deplasare, erori de estimare a distanței, lipsa capacității de adaptare la mediul de lucru, lipsa menținerii echilibrului. La nivel senzorial, se observă o folosire a elementelor senzoriale complexe care oferă informații precise și de calitate superioară din mediul de lucru.

Unul dintre aspectele importante în domeniul senzorial este determinarea distanței și a obiectelor din mediul de lucru al robotului mobil, utilizând un sistem senzorial foarte avansat, prin care robotul poate lua decizii rapide pentru a corecta traiectoria și tipul unor acțiuni.

Sistemul locomotor al robotului mobil prezintă un interes mare atât din punctul de vedere al construcției mecanice, cât și din punctul de vedere al controlului electronic-software care împreună alcătuiesc un sistem avansat.

Din analiza stadiului actual de integrare a elementelor senzoriale a rezultat o utilitate actuală a senzorilor ultrasonici, infraroșu, optic, giroscopic, de accelerație, pentru a detecta obstacole în mediul de lucru, precum și pentru a putea analiza mediul înconjurător.

Desfășurarea experimentelor în laborator au permis prelucrarea datelor obținute, compararea acestora și enunțarea unui criteriu de alegere optimă a celei mai bune variante de construcție a unui robot mobil. Considerentele teoretice referitoare la modelul teoretic au fost confirmate de analiza experimentală.

Materialul elaborat, prin conținutul și extensia realizată, a atins atât obiectivele operaționale, cât și obiectivul principal al tezei.

În raport cu obiectivul principal al tezei și pe baza conținutului teoretic și a celui experimental din cadrul volumului tezei elaborate, pot fi evidențiate contribuții personale. O parte din contribuțiile personale au fost valorificate prin publicații la conferințe indexate ISI sau publicate în reviste BDI și volume indexate în baze de date.

Pe baza precizărilor făcute, a materialului elaborat și a concluziilor enunțate, se poate considera că obiectivul tezei de doctorat a fost atins, iar activitatea de cercetare desfășurată cuprinde contribuții originale.

Construcția planului operațional a luat în considerare filozofia mecatronică de corelare a componentei teoretice cu cea de analiză experimentală. Planul de cercetare elaborat a fost structurat astfel încât, prin acțiunile prevăzute, să răspundă punctual obiectivelor specifice enunțate și, în final, să răspundă obiectivului principal al tezei.

Prin intermediul primelor capitole ale tezei (capitolul 1 și capitolul 2) a fost realizată introducerea în cadrul temei de cercetare. În capitolele succesive s-a urmărit enunțarea unor considerente teoretice necesare modelării și simulării proceselor specifice stabilite în planul de cercetare (capitolele 3, 4, 5 și 6).

7.2. Contribuții originale ale tezei

În raport cu obiectivul principal al tezei de doctorat și obiectivele operaționale asociate, cu planul de cercetare dezvoltat și pe baza conținutului teoretic și a celui experimental din cadrul volumului tezei elaborate, pot fi evidențiate următoarele contribuții personale ce vor fi prezentate în rândurile următoare.

7.2.1. Contribuții la cercetarea fundamentală

- Sinteza programului de cercetare, în conformitate cu obiectivul principal al tezei și enunțarea obiectivelor operaționale asociate (cap.1/1.2);
- Sinteza bibliografică referitoare la conceptul de pendul invers, aplicații ale acestuia în demonstratoare, robotică, clădiri inteligente și domeniul militar (cap. 2);
- Sinteza bibliografică referitoare la conceptul de demonstrator mecatronic și forme de materializare a acestuia cu aplicații în robotică (cap.3);
- Dezvoltarea metodologiei de proiectare a unui sistem mecatronic prin metoda funcției principale și a celor secundare asociate sistemului (cap.4)

7.2.2. Contribuții la cercetarea teoretică și experimentală

a) Contribuții teoretice

- Studiul influenței temperaturii mediului ambiant asupra parametrilor

- sensorilor ultrasonici (cap.4/4.3.7);
- Analiza procesului aleatoriu referitor la utilizarea senzorului de accelerație integrat în structura demonstratorului mobil humanoid (cap.5/5.2.4);
- Analiza teoretică privind utilizarea sinergică a rezultatelor experimentale de la senzorii giroscopici, accelerație și rotație din structura demonstratorului humanoid (cap.5/5.2.5).

b) Contribuții aplicative

- Realizarea aplicației robotizate cu robotul RJ2 de scriere a unui text și generarea unui suport grafic (cap.4/4.3.4);
- Modelarea 3D a robotului RJ2 în mediul Catia V6.

c) Contribuții privind modele fizice realizate

- Realizarea a două demonstratoare mecatronice pentru concretizarea unei funcții principale specifice unui operator humanoid (cap.4/4.3.1, 4.3.3);
- Realizarea demonstratorului mecatronic pentru analiza caracteristicii senzorului optic (cap.4/4.3.2);
- Realizarea demonstratorului mecatronic pentru concretizarea unei funcții principale specifice unui robot mobil cu 4 roți motoare și a plăcii de control a sistemului (mini-board) (cap.4/4.3.5);
- Realizarea componentelor hardware pentru studiul experimental al unei drone Parotar 2 (cap.4/4.3.8).

d) Contribuții software

- Dezvoltarea aplicației software pentru aplicația robotizată scriere / desenare (cap.4/4.3.4);
- Dezvoltarea aplicației software pentru interfața operator – calculator pentru demonstratorul mecatronic (sistem mobil) (cap.4/4.3.5);
- Dezvoltarea algoritmului de control pentru demonstratorul mecatronic (sistem mobil) (cap.4/4.3.5);
- Dezvoltarea aplicației software pentru interfața operator – drona Parotar 2 (cap.4/4.3.8);
- Modelarea și simularea funcționării în mediul Matlab a demonstratorului mobil humanoid (cap.6/6.4 și 6.5).

e) Contribuții privind analiza experimentală

- Analiza experimentală privind transferul informației traiectoriei, impusă de un operator unui sistem (robot) mobil și controlul sistemului în timp real prin aplicație mobilă (cap.4/4.3.5);
- Dezvoltarea suportului material pentru studiul experimental privind deplasarea unui robot mobil în scena de lucru (cap.4/4.3.6);
- Dezvoltarea structurii experimentale, a procedurilor de lucru și a sistemului de achiziție a informațiilor pentru demonstratorul humanoid (cap.5/5.2.1 și 5.2.2);
- Analiza experimentală a elementelor senzoriale integrate în demonstratorul humanoid dezvoltat:
 - senzor optic – (cap.5/5.2.3);

- senzor de accelerație - (cap.5/5.2.4);
- Dezvoltarea structurii experimentale, a procedurilor de lucru și a sistemului de achiziție a informațiilor pentru analiza stabilității demonstratorului humanoid cu utilizarea senzorului optic și giroscopic (cap.6/6.2.1 - 6.2.3);
- Dezvoltarea modelului matematic al demonstratorului humanoid (cap.6/6.3);
- Realizarea suportului material pentru cercetarea experimentală și integrarea acestuia într-un sistem de achiziție a datelor (cap.6/6.4).

7.3. Diseminarea rezultatelor cercetărilor

Rezultatele cercetărilor efectuate în vederea elaborării tezei de doctorat au fost valorificate prin publicarea unui număr de 8 lucrări la manifestări naționale, internaționale și în reviste de specialitate, astfel:

7.3.1. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestații de specialitate indexate ISI

1. Marius-Florin Crainic, Stefan Preitl, **Lucian Alexandru Șandru**, Valer Dolga, "Secure handwriting using a robot arm for educational purpose" in The 19 International Conference On Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR 2014, Polonia
2. **Lucian Alexandru ȘANDRU**, Marius-Florin CRAINIC, Stefan PREITL, Valer DOLGA, "Path calculation of 4 DOF remote vehicle for educational purpose" in IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2015, Slovacia
3. Stanescu T., **Sandru L. A.**, Dolga V., "Studies Regarding Detection of Obstacles with Different Geometric Shape Using Parallax Ping Sensor", in IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI 2015, 21 - 23 Mai 2015, Timișoara.
4. **L. Sandru**, V. Dolga, C. Moldovan and D. Savu, " Mechatronic demonstrator for testing sensors to be used in mobile robotics functioning on the inverted pendulum concept ", in 7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, ACME 2016, Iași.

(Lucrări publicate, în curs de indexare ISI)

5. **Lucian Alexandru SANDRU**, Marius Florin CRAINIC, Diana SAVU, Cristian MOLDOVAN, Valer DOLGA, Stefan PREITL, "Robotic System Construction with Mechatronic Components. Inverted Pendulum - Humanoid Robot", in The 9th International Conference on Machine Vision, ICMV 2016, Franta
6. **Sandru Lucian Alexandru**, Marius Florin Crainic, Cristian Moldovan, Diana Savu, Valer Dolga and Stefan Preitl, "Automatic Control of a Quadcopter, AR. Drone, using a Smart Glove", in The 4th International conference on Control, Mechatronics and Automation, ICCMA 2016, Spania
7. Diana Savu, **Lucian Alexandru Sandru**, Marius Florin Crainic, Cristian Moldovan, Valer Dolga and Stefan Preitl, "Multiple Methods of Data Acquisition for a LEGO NXT 2 Mobile Robot. The use of a Second NXT 2

Hardware Platform", in 5th International Conference on Mechatronics and Control Engineering, ICMCE 2016, Italia

7.3.2. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate în bază de date (Google Academic)

1. Stanescu T., Enache B., Savu D., **Sandru L.**, Dolga V., "Theoretical and Experimental Analysis of Steering Mechanism of a Mobile Robot", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 5, Issue 4, New Delhy, India, April 2015 (ISSN 2250 – 2459 (Online)) pag. 597 – 600.

7.3.3. Cerere pentru brevet de invenție

Pe durata desfășurării activității de doctorat, din considerente personale, studiind anumite probleme de fiabilitatea a echipamentelor electronice în timpul lucrărilor de cercetare asupra unor demonstratoare mecatronice, ce utilizează energia electrică pentru funcționare și deplasare, am analizat o soluție fiabilă pentru acest deficit al autonomiei energetice. Ideea este în curs de brevetare, este înregistrată la OSIM sub numele de „ÎNCĂRCARE AUTOMATĂ A DISPOZITIVELOR ELECTRICE DE ZBOR (DRONE) ÎN TIMPUL ZBORULUI DE LA LINII DE ÎNALTĂ TENSIUNE”, numărul de înregistrare este A/10040/2016, din data de 21 iulie 2016.

7.4. Potențiale direcții viitoare de cercetare în domeniu

În urma desfășurării activității de cercetare, a rezultatelor obținute și a analizei calitative și cantitative desfășurate, consider că sunt actuale și de viitor următoarele direcții de cercetare:

- Extinderea cercetărilor privind capabilitatea de conlucrare a mai multor categorii de senzori pentru localizarea unui obstacol și fuziunea informației;
- Dezvoltarea unui model probabilistic al sistemului mecatronic robot mobil prin evaluarea proceselor aleatoare interne ale sistemului și a celor externe;
- Analiza aspectelor aleatoare pe baza teoriei probabilistice;
- 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;
- Cercetări privind implementarea unui senzor de culoare, alături de senzorul optic utilizat în experimente, cu scopul de a diminua erorile de determinare date de diferite culori ale mediului de reflexie;
- Cercetări privind capabilitatea integrării și a altor categorii de senzori pentru localizarea obstacolelor, fuziunea informației și construcția hărții mediului nestructurat.

8. BIBLIOGRAFIE

1. [Achtelik, 2013] M. Achtelik, S. Weiss, M. Chli, and R. Siegwart, Path Planning for Motion Dependent State Estimation on Micro Aerial Vehicles, In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., 2013, Pp. 3926–3932.
2. [Acosta, 2010] J. Á. Acosta, Furuta' s Pendulum, A Conservative Nonlinear Model for Theory and Practice, Mathematical Problems In Engineering, Vol. 2010, 2010.
3. [Akgun, 2012] Baris Akgun, Maya Cakmak, Jae Wook Yoo, andrea L. Thomaz, Trajectories and Keyframes for Kinesthetic Teaching, A Human-Robot Interaction Perspective, Pp.391-398, 2012
4. [Alciatore, 1998] D. G. Alciatore and M. B. Hestand, Introduction To Mechatronics and Measurement Systems, Mcgraw Hill, 1998.
5. [Almanza, 2015] Almanza O., Gomar Vera, Y. 2015. Obstacle Detecction and Avoidance By A Mobile Robot Using Probabilistic Models, Dept. De Robot., Univ. Politec. De Guanajuato, Cortazar, Mexico
6. [Anderson, 1989] C. W. Anderson, Learning To Control An Inverted Pendulum Using Neural Networks, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 9, Pp. 31-37, 1989.
7. [Anderson, 2005] Anderson S. O., Wisse M., Atkeson C. G., Hodgins J. K., Zeglin G. J., Moyer B., Powered Bipedes Based on Passive Dynamic Principles, Proceedings Of 2005 5th IEEE-Ras International Conference on Humanoid Robots.
8. [Andreev, 2002] F. Andreev, D. Auckly, S. Gosavi, L. Kapitanski, A. Kelkar, W. White, Matching, Linear Systems, and The Ball and Beam, Automatica, Vol. 38, N°12, Pp. 2147-2152, 2002.
9. [Appunn, 2012] Rüdiger Appunn, Thomas Herold, Kay Hameyer, Development Of A Small Scale Magnetically Levitated Train As Demonstrator for Undergraduate Mechatronics Students, International Conference on Optimization Of Electrical and Electronic Equipment (Optim), Pp. 1295-1300, 2012
10. [Arnoldo, 2012] Arnoldo, Modeling and Dynamic Analysis Of A Two-Wheeled Inverted-Pendulum, In Requirements for The Degree Master Of Science In The George W. Woodru` School Of Mechanical Engineering 2012.
11. [Ashley, 1997] S. Ashley, Getting A Hold on Mechatronics, Mechanical Engineering, 119(5), 1997
12. [Åström, 1996] K. J. Åström, K. Furuta, Swinging Up A Pendulum By Energy Control, Ifac 13th World Congress, San Francisco, California, 1996, Pp 37-42,

13. [Åström, 2000] K. J. Åström and K. Furuta, *Swinging Up A Pendulum By Energy Control*, *Automatica*, Vol. 36, No. 2, Pp. 287-295, February 2000.
14. [Åström, 2005] K. J. Åström, R. E. Klein, A. Lennartsson, *Bicycle Dynamics and Control*, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 25, N°4, Pp. 26-47, 2005.
15. [Auslander, 1996] D. M. Auslander and C. J. Kempf, *Mechatronics, Mechanical System Interfacing*, Prentice-Hall, 1996.
16. [Balan, 2005] R. Balan, V. Maties, S. Stan, *A Solution Of The Inverse Pendulum on A Cart Problem Using Predictive Control*, In, *Proceedings Of The IEEE International Symposium on Industrial Electronic*, Dubrovnik, Pp. 63-68, 2005.
17. [Ban, 2007] X. Ban, X. Z. Gao, X. Huang, and A. V. Vasilakos, *Stability Analysis Of The Simplest Takagi–Sugeno Fuzzy Control System Using Circle Criterion*, *Inf. Sci.*, Vol. 177, No. 20, Pp. 4387–4409, 2007.
18. [Barton, 2008] Taylor Wallis Barton, *Stabilizing The Dual Inverted Pendulum, A Practical Approach*, Massachusetts Institute Of Technology, 2008
19. [Bălan, 2013] Adina Bălan, Alin Pleșa, Radu Donca, Mihai Drăghici, Vistrian Mătieș, *Stabilisation Of The Inverse Pendulum on A Cart Based on A Search Method*, *Acta Technica Napocensis, Series, Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 56, Issue Iv, November, 2013
20. [Bellens, 2012] S. Bellens, J. De Schutter, and H. Bruyninckx, *A Hybrid Pose/Wrench Control Framework for Quadrotor Helicopters*, In *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2012, Pp. 2269–2274.
21. [Beranek, 2016] Richard Beranek, Mojtaba Ahmadi, *A Learning Behaviour Based Controller for Maintaining Balance In Robotic Locomotion*, *Journal Of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 82, Issue 2, Pp 189–205, May 2016
22. [Bertsekas, 2005] D. P. Bertsekas, *Dynamic Programming and Optimal Control*, Vol. I. Belmont, Ma, Usa, Athena Scientific, 2005.
23. [Blanchard, 2006] Benjamin S. Blanchard, Wolter J. Fabrycky, *„Systems Engineering and Analysis“*, Prentice-Hall International Series In Industrial and Systems Engineering, 2006.
24. [Block, 2007] D. J. Block, K. J. Åström, and M. W. Spong, *The Reaction Wheel Pendulum*, San Rafael, Morgan and Claypool, 2007
25. [Bogdanov, 2004] Alexander Bogdanov, *Optimal Control Of A Double Inverted Pendulum on A Cart*, Technical Report Cse-04-006, December 2004.
26. [Bolton, 1995] W. Bolton, *Mechatronics, Electronic Control Systems In Mechanical Engineering*, Longman, 1995.
27. [Boubaker, 2012] Olfa Boubaker, *The inverted Pendulum: A fundamental Benchmark in Control Theory and Robotics*, *International Conference on Education and E-Learning Innovations* Pp.1-6, 2012.

28. [Boubaker, 2013] Olfa Boubaker, The Inverted Pendulum Benchmark In Nonlinear Control Theory, A Surveyint J Adv Robotic Sy, 2013, Vol. 10, 233, 2013
29. [Bouktir, 2008] Y. Bouktir, M. Haddad, and T. Chettibi, Trajectory Planning for A Quadro-Tor Helicopter, In Proc. Mediterranean Conf. Control Autom., Jun. 2008, Pp. 1258–1263.
30. [Brownston, 1985] Brownston L. and All., 1985 "Programming Expert System In Ops5, An Introduction To Rule-Based Programming", Addison-Wesley
31. [Bugeja, 2002] M. Bugeja, Non-Linear Swing-Up and Stabilizing Control Of An Inverted Pendulum System, University Of Malta, Msida, Malta, 2002.
32. [Bus, 2010] L. Bus, oniu, R. Babuška, B. D. Schutter, and D. Ernst, Reinforcement Learning and Dynamic Programming Using Function Approximators, 1st Ed. Boca Raton, Fl, Usa, Crc Press, Inc., 2010.
33. [Chelaru, 2009] Teodor-Viorel Chelaru, Cristian Barbu, Mathematical Model for Sounding Rockets, Using Attitude and Rotation Angles, International Journal Of Applied Mathematics and Informatics, Issue 2, Vol. 3, 2009
34. [Chen, 2012] G. Chen and F. L. Lewis, Distributed Adaptive Tracking Control for Synchronization Of Unknown Networked Lagrangian Systems, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern., Vol. 41, No. 3, Pp. 805–816, Jun. 2011.
35. [Cho, 2011] H. W. Cho, C. H. Kim, J. M. Lee, H. S. Han, Design and Characteristic Analysis Of Small Scale Magnetic Levitation and Propulsion System for Maglev Train Application, In, International Conference on Electrical Machines and Systems (Icems), Beijing, China, Aug. 20-23, 2011.
36. [Chung, 2009] S. J. Chung, U. Ahsun, and J. J. E. Slotine, Application Of Synchronization To formation Flying Spacecraft, Lagrangian Approach, J. Guid. Control Dyn., Vol. 32, No. 2, Pp. 512–426, 2009.
37. [Coelingh, 1997] Coelingh, H. J., (1997), Automated Conceptual Design Of Controllers for Mechatronic Systems, University Of Twente, Enschede
38. [Collins, 2005] Steve Collins, andy Ruina, Russ Tedrake, Martijn Wisse, Efficient Bipedal Robots Based on Passive-Dynamic Walkers, Pp. 1082-1085, 2005
39. [Coman, 2009] M. Coman, R. Bălan, Modelarea Parametrizată Si Simularea Robotului Serial Rv-2aj, Cnet&Te, Cluj –Napoca, Issn 2066-446x, 2009 (In Romanian).
40. [Cowling, 2010] I. D. Cowling, O. A. Yakimenko, J. F. Whidborne, and A. K. Cooke, Direct Method Based Control System for An Autonomous Quadrotor, J. Intell. Robot. Syst., Vol. 60, No. 2, Pp. 285–316, 2010.
41. [Crainic, 2014] Marius-Florin Crainic, Stefan Preitl, **Lucian Alexandru Şandru**, Valer Dolga, "Secure handwriting using a robot arm for educational purpose" in the 19th International Conference On Methods and Models in

- Automation and Robotics, MMAR 2014, Polonia
42. [Crețu, 1984] Crețu T., Fizica generala, vol.1, Editura Tehnică, București, 1984.
 43. [Cristescu, 2008] Cristescu, C., Drumea, P., Ilie I., Blejan, M., Dutu, I., Mechatronic System for Recovering Braking Energy Conceived for The Medium and Heavy Motor Vehicles, In, Vol. 'Abstract Proceedings', Paper Nr. F014, Isse 2008The 31-St International Spring Seminar on Electronics Technology-Reliability and Life, 2008
 44. [Cristescu, 2013] Corneliu Cristescu, Petrică Krevey, Liliana Dumitrescu, Ioana Ilie, Genoveva Vrînceanu, Constanța Cristescu, Stand Demonstrativ Pentru Recuperarea Energiei Cinetice De Rotație La Mecanisme Rotative Cu Acționare Hidraulică, A Xiii-A Conferinta Nationala Multidisciplinara-Cu Participare Interantionala, Sebes, 2013
 45. [Daud, 2013] Yohanes Daud, Abdullah Al Mamun, Jian-Xin Xu, Issues In Balancing Control Of Lateral-Pendulum Unicycle Robot By Separate Regulations Of Its Longitudinal and Lateral Modes, Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (Cis), Pp.72-77, 2013.
 46. [Davidescu, 2007] Arjana Davidescu, Controlul statistic al proceselor aplicatii in Matlab, Editura Politehnica Timisoara, 2007
 47. [Ding, 2009] Feng Ding, Jian Huang, Yongji Wang, Xueshan Gao, Takayuki Matsuno, Toshio Fukuda, Kosuke Sekiyama, Optimal Braking Control for Uw-Car Using Sliding Mode, Journal Of International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio), Pp. 337-344, 2009
 48. [Dirne, 2005] Hans Dirne, Demonstrator Of Advanced Controllers, Masters Thesis, 2005
 49. [Dolfing, 1998] H. Dolfing, Handwriting Recognition and Verification, A Hidden Markov Approach, Ph. D. Thesis, Eindhoven University Of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 1998.
 50. [Dolga, 1999] Dolga V., Senzori și traductoare, Editura Eurobit, Timișoara, 1999.
 51. [Dolga, 2007] Valer Dolga, Proiectarea Sistemelor Mecatronice, Editura Politehnica, 2007
 52. [Dolga, 2009] Robotica Sistemul De Conducere, Inocentiu Maniu, Corneliu Radulescu, Ivan Bogdanov, Stefan Varga, Valer Dolga, Valentin Ciupe Vol. 3
 53. [Dorf, 1967] Richard C. Dorf. Modern Control Systems, Pp. 276-279. Addison-Wesley, Reading, 1967
 54. [Dragos, 2010] C. A. Dragos, S. Preitl, R. E. Precup, E. M. Petriu, Magnetic Levitation System Laboratory-Based Education In Control Engineering, In, 3rd Conference on Human System Interactions (Hsi), Rzeszow, Poland, May 13-15, 2010.

55. [Endo, 2005] G. Endo, J. Nakanishi, J. Morimoto, G. Cheng, Experimental Studies Of A Neural Oscillator for Biped Locomotion With Qrio, In Proceedings Of The IEEE International Conference on Robotics and Automation. Barcelona, Spain, April 2005.
56. [Faiz, 2001] N. Faiz, S. Agrawal, and R. Murray, Differentially Flat Systems With Inequality Constraints, An Approach To Real-Time Feasible Trajectory Generation, *J. Guidance, Control, Dyn.*, Vol. 24, No. 2, Pp. 219–227, 2001.
57. [Fantoni, 2000] I. Fantoni, R. Lozano, M. W. Spong, Energy Based Control Of The Pendubot, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 45, N°4, Pp. 725–729, 2000.
58. [Faust, 2013] A. Faust, P. Ruymgaart, M. Salman, R. Fierro, and L. Tapia, Continuous Action Reinforcement Learning for Underactuated Dynamical System Control, Adaptive Motion Planning Research Group Technical Report Tr13-002, 2013, Under Submission. [online]. Available, <https://cs.unm.edu/amprg/publications/afaust-tr13-002.pdf>
59. [Figueroa, 2014] Rafael Figueroa, Aleksandra Faust, Patricio Cruz, Lydia Tapia, Rafael Fierro, Reinforcement Learning for Balancing A Flying Inverted Pendulum, *World Congress on Intelligent Control and Automation*, Pp.1787–1793, 2014
60. [Findeisen, 2006] R. Findeisen, F. Allgöwer, L. Biegler, Assessment and Future Directions Of Nonlinear Model Predictive Control, Berlin, Springer, 2006.
61. [Fliess, 1995] M. Fliess, J. Le´Vine, P. Martin, and P. Rouchon, Flatness and Defect Of Non-Linear Systems, *Introductory Theory and Examples*, *Int. J. Control*, Vol. 61, No. 6, Pp. 1327–1361, 1995.
62. [Franke, 2004] K. Franke and L. R. B. Schomaker, Robotic Writing Trace Synthesis and Its Application In The Study Of Signature Line Quality, *Journal Of forensic Document Examination* 16 (2004), No. 3, 119–146.
63. [Groothuis, 2004] Groothuis, M. A., (2004), Distributed Hil Simulation for Boderc, University Of Twente, Enschede
64. [Grzonka, 2012] S. Grzonka, G. Grisetti, and W. Burgard, A Fully Autonomous Indoor Quadrotor, *IEEE Trans. Robot.*, Vol. 28, No. 1, Pp. 90–100, Feb. 2012.
65. [Harshama, 1996] F. Harshama, M. Tomizuka, and T. Fukuda, Mechatronics-What Is It, Why, and How?-and Editorial, *IEEE/Asme Trans. on Mechatronics*, 1(1), 1-4, 1996.
66. [Hehn, 2011] M. Hehn and R. D’andrea, A Flying Inverted Pendulum, In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (Icra)*, 2011, Pp. 763–770.
67. [Hehn, 2012] M. Hehn, R. Ritz, and R. D’andrea, Performance Benchmarking Of Quadrotor Systems Using Time-Optimal Control, *Auton. Robots*, Vol. 33, Pp. 69–88, 2012.

68. [Hirai, 1998] Hirai K., Hirose M., Haikawa Y., Takenaka T., The Development Of Honda Humanoid Robot, Proc. Of The IEEE Intern. Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, Pp. 1321-1326, 1998
69. [Hirose, 1997] Hirose M., Takenaka T., Gomi H., Ozawa N., Honda Humanoid Robot (In Japanese), Journal Of The Robotic Society Of Japan, Vol. 15, No. 1, Pp. 983-987, 1997
70. [Hirukawa, 2003] Hirukawa H., Kanehiro F., Kajita S., Fujiwara K., Yokoi K., Kaneko K., Harada K., Experimental Evaluation Of The Dynamic Simulation Of Biped Walking Of Humanoid Robots, Proceedings Of The 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Taipei, Taiwan, September 2003, 14-19.
71. [Hoffmann, 2007] G. M. Hoffmann, H. Huang, S. L. Waslander, and C. J. Tomlin, Quadrotor Helicopter Flight Dynamics and Control, Theory and Experiment, In Proc. Aiaa Guidance, Navigation, Control Conf., 2007, Pp. 1-20.
72. [Hoffmann, 2008] G. M. Hoffmann, S. L. Waslander, and C. J. Tomlin, Quadrotor Helicopter Trajectory Tracking Control, In Proc. Aiaa Guidance, Navigation Control Conf. Exhibit, Honolulu, Hi, Usa, Aug. 2008, Pp. 1-14.
73. [Holzhuter, 2004] T. Holzhuter, Optimal Regulator for The Inverted Pendulum Via Euler-Lagrange Backward Integration, Automatica, Vol. 40, Pp. 1613-1620, 2004.
74. [Hongxing, 2004] Li Hongxing, Wang Jiayin, Gu Yundong, Feng Yanbin, Hardware Implementation Of The Quadruple Inverted Pendulum With Single Motor, Journal Progress In Natural Science Vol. 14, Pp. 822-827, 2004
75. [Housner, 1963] George W. Housner, The Behavior Of Inverted Pendulum Structures During Earthquakes, Bulletin Of The Seismological Society Of America. Vol. 53, No. 2, Pp. 403-417, Februarie 1963
76. [Hristic, 1976] Hristic D., Vukobratovic M., Active Exoskeletons Future Rehabilitation Aids for Severely Handicapped Persons, Orthopedie Technique, 12/1976, Pp. 221-224, Stuttgart, Germany
77. [Hsu, 2012], Yuan-Pao Hsu, Sheng-Han Huang, Chien-Hung Kuo, Hung-Chih Chen, Electric Unicycle From Image Signals, 2012
78. [Hu, 2007] G. Hu, C. Makkar and W. E. Dixon, Energy-Based Nonlinear Control Of Underactuated Euler-Lagrange Systems Subject To Impacts, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 52, No. 9, Pp. 1742-1748, September 2007.
79. [Ibanez, 2005] Carlos Aguilar Ibanez, O. Gutierrez Frias, M. Suarez Castanon, Lyapunov-Based Controller for The Inverted Pendulum Cart System Nonlinear Dynamics, V40, N4, June, 2005, Pp 367-374
80. [Ibanez, 2008] Carlos Aguilar Ibanez, O. Gutierrez Frias, Controlling The Inverted Pendulum By Means Of A Nested Saturation Function, Nonlinear Dy-

-
- Namics, V53, N4, September, 2008, Pp 273-280
81. [Isermann, 2005] Rolf Isermann, *Mechatronic Systems Fundamentals*, British Library Cataloguing, 2005
 82. [Isomi, 2009] Y. Isomi and S. Majima, , Tracking Control Method for An Underactuated Unicycle Robot Using An Equilibrium State, In *Seventh IEEE International Conference on Control and Automation*, Christchurch, New Zealand 2009.
 83. [Ivanescu, 2002] *Introducere In Mecatronica, Seria Mecatronica*, Mircea Ivanescu, Dorian Cojocaru, Ilie Diaconu, Editura Universitara Craiova, Isbn 973-8043-149-9 / 2002
 84. [Jackson, 2010] Paul B. Jackson, *Overview of Missile Flight Control Systems*, Johns hopkins apl technical digest, Vol. 29, No. 1, 2010
 85. [Jepsen, 2009] Frank Jepsen, *Development and Control Of An Inverted Pendulum Driven By A Reaction Wheel*, *Mechatronics and Automation*, Pp.2829-2834, 2009.
 86. [Jo, 2004] Sungho Jo and Steve G. Massaquo, *A Model Of Cerebellum Stabilized and Scheduled Hybrid Long-Loop Control Of Upright Balance*, *Biological Cybernetics*, Vol. 91, Issue 3, Pp 188–202, 2004
 87. [Juricic, 1973] Vukobratovic M., *How To Control Artificial Anthropomorphic Systems*, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. Smc-3, Sept. 1973
 88. [Juricic, 1975] Vukobratovic, M., Hristic D., Stojiljkovic Z., *Development Of Active Anthropomorphic Exoskeletons*, *Medical and Biological Engineering*, Vol. 12, No. 1, 1975
 89. [Kajita, 2004] Kajita S., Nagasaki T., Kaneko K., Yokoi K., Tanie K., *A Hop Towards Running Humanoid Biped*, *Proceedings Of The 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, New Orleans, La, April 2004, 629–635.
 90. [Kajita, 2005] Kajita S., Nagasaki T., Kaneko K., Yokoi K., Tanie K., *A Running Controller Of Humanoid Biped Hrp-2lr*, *Proceedings Of The 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, April 2005, 618–624.
 91. [Kalmus, 1970] Henry P. Kalmus. *The Inverted Pendulum*. *American Journal Of Physics*, Pp. 874–878, 1970.
 92. [Kao, 2013] Sho-Tsung Kao, Wan-Jung Chiou, Ming-Tzu Ho, *Balancing Of A Spherical Inverted Pendulum With An Omni-Directional Mobile Robot*, *International Conference on Control Applications (Cca)*, Pp.760-765, 2013
 93. [Kareem, 1999] A Kareem, T Kijewski, Y Tamura, *Mitigation Of Motions Of Tall Buildings With Specific Examples Of Recent Applications*, *Wind and Structures*, Vol. 2, NO. 3, Pp. 201-251, 1999

94. [Kerschena, 2006] G. Kerschena, K. Wordenb, A. F. Vakakisc, J. C. Golinval, Past, Present and Future Of Nonlinear System Identification In Structural Dynamics, Mechanical Sys-Tems and Signal Processing 20 (2006) 505–592
95. [Khooban, 2012] Mh Khooban, M Siah, Mr Soltanpour, Model-Based Fault Detection and Estimation In Robotic Wheelchair Using Sliding Mode Observer, Research Journal Of Applied Sciences, Engineering and Technology, P 2009-2016, 2012
96. [Kim, 2007] Kim J. -Y., Park I. -W., Oh J. -H., Walking Control Algorithm Of Biped Humanoid Robot on Uneven and Inclined Floor, Journal Of Intelligent and Robotic Systems, 2007, Vol. 48, No. 4, 457–484.
97. [Kim, 2008] S. S. Kim and S. Jung, Control Experiment Of A Wheel-Driven Mobile Inverted Pendulum Using Neural Network, IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol. 16, No. 2, Pp. 297-303, 2008.
98. [Kim, 2010] Kim S. and H. Kim H., 2010. High Resolution Mobile Robot Obstacle Detection Using Low Directivity Ultrasonic Sensor Ring, Lecture Notes In Artificial Intelligence 6216, Pp. 426-433, 2010.
99. [Kim, 2011] C. H. Kim, H. W. Cho, J. M. Lee, H. S. Han, B. S. Kim, D. S., Kim, Levitation Control Of A Hybrid-Excited Magnetic Levitation Vehicle, In, 11th International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas), Gyeonggi-Do, South Korea, Oct. 26-29, 2011.
100. [Kopetz, 1997] Kopetz, H., (1997), Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston
101. [Kryczka, 2007] [X19] Kryczka P., Chee-Meng Ch., The Design Of A Humanoidal Biped for The Research on The Gait Pattern Generators, Advances In Climbing and Walking Robots, Ming Xie At Al. (Editors), World Scentic, 2007, 435–444.
102. [Kumagai, 2010] M. Kumagai, T. Ochiai – Development of a robot balanced on a Ball – First report, Implementation of the robot and Basic Control, Journal of Robotics and Mechatronics, v.22, no.3,p.348, 2010
103. [Lee, 2009] H. J. Lee and S. Jung, "Gyro Sensor Drift Compensation By Kalman Filter To Control A Mobile Inverted Pendulum Robot System, IEEE International Conference on Industrial Technology, Pp. 1026-1031, 2009.
104. [Lewis, 2007] A. S. Lewis, Nonsmooth Optimization and Robust Control, Annual Reviews In Control, Vol. 31, Pp. 167-177, 2007.
105. [Li, 2009] H. L. Li, B. C. Chang, C. Jagadish, H. G. Kwatny, A Dsp Microprocessor Hybrid Control Of An Inverted Pendulum, In, Proceedings Of The 2009 IEEE International Conference on Control and Automation, Christchurch, Pp. 2317-2322, 2009.
106. [Lim, 2001] Lim H., Setiawan S. A., Takanishi A., Balance and Impedance Control for Biped Humanoid Robot Locomotion, Proceedings Of The 2001 IEEE/Rsj International Conference on Intelligent Robots and Systems, Maui,

- Hawaii, Usa, Oct. 29–Nov. 03, 2001, 494–499.
107. [Lim, 2005] Lim H., Takanishi A., Compensatory Motion Control for A Biped Walking Robot, *Robotica*, 2005, Vol. 23, 1–11.
 108. [Louembet, 2010] C. Louembet, F. Cazaurang, and A. Zolghadri, Motion Planning for Flat Systems Using Positive B-Splines, An Lmi Approach, *Automatica*, Vol. 46, No. 8, Pp. 1305–1309, 2010.
 109. [Lowenstern, 1932] Lowenstern, E. R., _Stabilising E_ect Of Imposed Oscillations on A Dynamical System, _ *Philosophical Magazine*, Vol. 13, Pp. 458–486, 1932
 110. [Lundberg, 2010] Kh Lundberg, Tw Barton, History Of Inverted-Pendulum Systems, *Ifac Symposium on Advances In Control Education*, Vol. 42, Issue 24, Pp. 131–135, 2010
 111. [Lupashin, 2010] S. Lupashin, A. Schöllig, M. Sherback, and R. D’andrea, A Simple Learning Strategy for High-Speed Quadrocopter Multi-Flips, In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (Icra)*, 2010, Pp. 1642–1648.
 112. [Ma, 2007] B. L. Ma, Comment* ‘Design Of A Stable Sliding-Mode Controller for A Class Of Second-Order Underactuated Systems’, *Iet Control Theory Appl.*, V1, N4, July, 2007, Pp 1186-1187
 113. [Ma, 2015] Chao Ma, Peng Shi, Xudong Zhao, Qingshuang Zeng, Consensus Of Euler–Lagrange Systems Networked By Sampled-Data Information With Probabilistic Time Delays, *Transactions on Cybernetics*, Pp.1126-1133, 2015
 114. [Mahony, 2012] R. Mahony, V. Kumar, and P. Corke, Aerial Vehicles, Modeling, Estima-Tion, and Control Of Quadrotor, *IEEE Robot. Autom. Mag.*, Vol. 19, No. 3, Pp. 20–32, Sep. 2012.
 115. [Mamun, 2005] Abdullah Al Mamun, Zhu Zhen, Prahlad Vadakkepat, Tong Heng Lee, Tracking Control Of The Gyrobot-A Gyroscopically Stabilized Single-Wheeled Robot, *Proceedings Of The Annual Conference Of The IEEE Industrial Electronics Society, Iecon 2005*, Raleigh, Usa, Nov 06-10, 2005, Pp. 1839-1844
 116. [Maniu, 2009] Inocențiu Maniu, Valentin Ciupe, Corneliu Rădulescu, Valer Dolga, Ivan Bogdanov, Ștefan Varga, *Robotică sistemul de acționare*, Editura politehnica, 2009.
 117. [Martin, 1988] Martin, W. N., Aggarwal, J. K., 1988, *Motion Understanding*, Kluwer Academic Publishers.
 118. [Martin, 1996] P. Martin, S. Devasia, B. Paden, A Different Look At Output Tracking, Control Of A Vtol Aircraft, *Automatica*, Vol. 32, N°1, Pp. 101-107, 1996.
 119. [Martin, 2010] P. Martin and E. SalauñN, The True Role Of Accelerometer Feedback In Quadrotor Control, In *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2010,

- Pp. 1623–1629.
120. [Matsumoto, 1990] O. Matsumoto, S. Kajita, K. Tani, "Estimation and Control Of The Attitude Of A Dynamic Mobile Robot Using Internal Sensors", *J. Of Robotics Society Of Japan*, Vol. 8, No. 5, Pp. 541, 1990
 121. [Mckerrow, 1993] Mckerrow, P. J., 1993. Echolocation From Range To Outline Segments, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 11, No. 4, Pp. 205-211.
 122. [Meah, 2007] [23] K. Meah, S. Hietpas, S. Ula, Rapid Control Prototyping Of A Permanent Magnet Dc Motor Drive System Using Dspace and Mathworks Simulink, In, *Applied Power Electronics Conference, Apec 2007*, California, Usa, Feb. 25-Mar. 1, 2007.
 123. [Mei, 2011] J. Mei, W. Ren, and G. Ma, Distributed Coordinated Tracking With A Dynamic Leader for Multiple Euler–Lagrange Systems, *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol. 56, No. 6, Pp. 1415–1421, Jun. 2011.
 124. [Mei, 2012] J. Mei, W. Ren, and G. Ma, Distributed Containment Control for Lagrangian Networks With Parametric Uncertainties Under A Directed Graph, *Automatica*, Vol. 48, No. 4, Pp. 653–659, 2012.
 125. [Mellinger, 2011] D. Mellinger and V. Kumar, Minimum Snap Trajectory Generation and Control for Quadrotors, In *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2011, Pp. 2520–2525.
 126. [Mellinger, 2012] D. Mellinger, N. Michael, and V. Kumar, Trajectory Generation and Control for Precise Aggressive Maneuvers With Quadrotors, *The International Journal Of Robotics Research*, Vol. 31, No. 5, Pp. 664–674, 2012
 127. [Merakeb, 2013] Abdelkader Merakeb, Farida Achemine, Frédéric Messine, Optimal Time Control To Swing-Up The Inverted Pendulum-Cart In Open-Loop form, *Electronics, Control, Measurement, Signals and Their Application To Mechatronics*, Pp.1-4, 2013
 128. [Michael, 2010] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey, and V. Kumar, The Grasp Multiple Micro Uav Testbed, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 17, No. 3, Pp. 56–65, 2010.
 129. [Mihăilescu, 1958] Mihăilescu N., Bălan V., Bunescu P., *Memorator matematic si tehnic*, editura Tehnica, Bucuresti, 1958.
 130. [Mishra, 2011] Pawan Mishra, Abhishek Ahuja and Tapas Shivpuri, *Mechatronics-Concept Of Past Core Competence Of Future*, Singaporean Journals Of Scientific Research Vol4 No2, 2011
 131. [Mitobe, 2004] Mitobe K., Capi G., Nasu Y., A New Control Method for Walking Robots Based on Angular Momentum, *Mechatronics*, 2004, 14, 163–174.
 132. [Mori, 1969] Mori, T., *Mechatronics*, Yasakawa Internal Trademark Application Memo 21. 131. 01, July 12, 1969
 133. [Mori, 1976] S. Mori, H. Nishihara, K. Furuta, Control Of Unstable Mechanical

-
- System-Control Of Pendulum, International Journal Of Control, Vol. 23, Pp. 673-692, 1976.
134. [Morrell, 2007] John B. Morrell, Doug Field, International Conference on Intelligent Robots and Systems, Pp.4059-4064, 2007
135. [Mousavi, 2008] Mousavi P. N., Nataraj C., Bagheri A., Entezari M. A., Mathematical Simulation Of Combined Trajectory Paths Of A Seven Link Biped Robot, Applied Mathematical Modelling, 2008, 32, 1445–1462.
136. [Mubarak, 2013] Mubarak M. N., Outdoor Obstacle Detection Using Ultrasonic Sensors for An Autonomous Vehicle Safe Operations, Master Of Science, Tampere University Of Technology, 2013.
137. [Mueller, 2013] M. W. Mueller, M. Hehn, and R. D’andrea, A Computationally Efficient Algorithm for State-To-State Quadrocopter Trajectory Generation and Feasi-Bility Verification, In Proc. IEEE/Rsj Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2013, Pp. 3480–3486.
138. [Mueller, 2015] Mark W. Mueller, Markus Hehn, and Raffaello D’andrea, A Computationally Efficient Motion Primitive for Quadrocopter Trajectory Generation, Transactions on Robotics, Vol. 31, No. 6, Pp.1294-1310, , December 2015
139. [Muller, 2011] M. Muller, S. Lupashin, and R. D’andrea, Quadrocopter Ball Juggling, In International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2011.
140. [Murray, 1995] R. M. Murray, M. Rathinam, and W. Sluis, Differential Flatness Of Me-Chanical Control Systems, A Catalog Of Prototype Systems, In Proc. Asme Int. Mech. Eng. Congr. Expo., 1995.
141. [Muskinja, 2006] N. Muskinja and B. Tovornik, Swinging Up and Stabilization Of A Real Inverted Pendulum, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 2, Pp, 631-639, 2006.
142. [Nada, 2014] Aa Nada, Em Shaban, The Development Of Proportional-Integral-Plus Control Using Field Programmable Gate Array Technology Applied To Mechatronics System, American Journal Of Research Communication, Vol 2(4). 2014
143. [Nakajima, 1997] Ryo Nakajima, Takashi Tsubouchi, Shin’ichi Yuta and Eiji Koyanagi, , A Development Of A New Mechanism Of An Autonomous Unicycle, IEEE, 1997.
144. [Nițulescu, 2002] Nițulescu M., Sisteme robotice cu capacitate de navigație, Editura Universitară Craiova, 2002.
145. [Ogata, 1970] Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering, Pp. 277–279. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1970
146. [Ogata, 2011] M. Ogata, K. Mizuno, Y. Arai, H. Hasegawa, T. Sasakawa, K. Nagashima, Trial Manufacture Of Small Hts Magnet Using 2g Tapes for Maglev

- Train Application, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 21 (3) (2011) 1556-1559.
147. [Ohya, 1996] Ohya A, Takayuki Ohno T, Yuta S.: Obstacle Detectability of Ultrasonic Ranging System and Sonar Map Understanding, Intelligent Robot Laboratory Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba Tsukuba 305, JAPAN, Robotics and Autonomous Systems 01/1996.
148. [Ortega, 1998] R. Ortega, Passivity-Based Control Of Euler-Lagrange Systems, Mechanical, Electrical and Electromechanical Applications. New York, Ny, Usa, Springer, 1998.
149. [Palunko, 2013] I. Palunko, A. Faust, P. Cruz, L. Tapia, and R. Fierro, A Reinforcement Learning Approach Towards Autonomous Suspended Load Manipulation Using Aerial Robots, In IEEE International Conference on Robotics and Automation (Icra), 2013, Pp. 4896-4901.
150. [Perju, 1986] Dan Perju - Mecanisme De Mecanica Fina (2 Vol.), Editura Litografia UPT, Anul 1986
151. [Postelnicu, 1980] Viorica Postelnicu, Silvia Coatu, Mica Enciclopedie Matematica (traducere limba engleză), Editura Tehnica Bucuresti, 926 Pag., 1980
152. [Pratt, 1997] J. Pratt, P. Dilworth, G. Pratt, Virtual Model Control Of A Bipedal Walking, Proceedings Of International Conference on Robotics and Automation, Volume, 1, Pp.193-198, 1997.
153. [Ramamoorthy, 2006] S Ramamoorthy, B Kuipers, Qualitative Hybrid Control Of Dynamic Bipedal Walking, Proceedings Of The Engineering Student Research Conferince, 2006
154. [Ren, 2010] W. Ren, Distributed Cooperative Attitude Synchronization and Tracking for Multiple Rigid Bodies, IEEE Trans. Control Syst. Technol., Vol. 18, No. 2, Pp. 383-392, Mar. 2010.
155. [Reza, 1999] Olfati-Saber Reza, Fixed Point Controllers and Stabilization Of The Cart-Pole System and The Rotating Pendulum, Decision and Control, Proceedings Of The 38th IEEE Conference, Vol. 2, 7-10 Dec. 1999, Pp1174-1181
156. [Riachy, 2008] S. Riachy, Y. Orlov, T. Floquet, R. Santiesteban, J. P. Richard, Second-Order Sliding Mode Control Of Underactuated Mechanical Systems II, Orbital Stabilization Of An Inverted Pendulum With Application To Swing Up/Balancing Control, International Journal Of Robust and Nonlinear Control, Vol. 18, Pp. 544-556, 2008.
157. [Richter, 2013] C. Richter, A. Bry, and N. Roy, Polynomial Trajectory Planning for Quadrotor Flight, Presented At Robotics, Science and Systems, Workshop on Resource-Efficient Integration Of Perception, Control and Navigation for Micro Aerial Vehicles, 2013.
158. [Ritz, 2012] R. Ritz, M. W. Müller, M. Hehn, and R. D'andrea, Cooperative

- Quadrocopter Ball Throwing and Catching, In International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012
159. [Robergé, 1960] J. K. Robergé, "The Mechanical Seal", May 1960.
 160. [Ruan, 2009] Xiaogang Ruan, Jingmin Hu and Qiyuan Wang, , Modeling With Euler Lagrange Equation and Cybernetical Analysis for A Unicycle Robot, In Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2009.
 161. [Sahoo, 2015] Satyabrata Sahoo, Bidyadhar Subudhi, Gayadhar Panda, Optimal Speed Control Of Dc Motor Using Linear Quadratic Regulator and Model Predictive Control, International Conference on Energy, Power and Environment, Towards Sustainable Growth, Pp.1-5, 2015
 162. [Saleh, 2004] Tanveer Saleh, Yap Haw Hann, Zhu Zhen, A. Al Mamun and V. Prahald, „Design Of A Gyroscopically Stabilized Single-Wheeled Robot, Proceedings Of The 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 2004.
 163. [Sandru, 2015] **Lucian Alexandru SANDRU**, Marius-Florin CRAINIC, Stefan PREITL, Valer DOLGA, "Path calculation of 4 DOF remote vehicle for educational purpose" in IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2015, Slovakia
 164. [Sandru, 2016] **L. Sandru** , V. Dolga , C. Moldovan and D. Savu, " Mechatronic demonstrator for testing sensors to be used in mobile robotics functioning on the inverted pendulum concept ", in 7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, ACME 2016, Iași.
 165. [Sandru, 2016] **Sandru Lucian Alexandru**, Marius Florin Crainic, Cristian Moldovan, Diana Savu, Valer Dolga and Stefan Preitl, "Automatic Control of a Quadcopter, AR. Drone, using a Smart Glove", in The 4th International conference on Control, Mechatronics and Automation, ICCMA 2016, Spania
 166. [Sandru, 2017] **Lucian Alexandru SANDRU**, Marius Florin CRAINIC, Diana SAVU, Cristian MOLDOVAN, Valer DOLGA, Stefan PREITL, "Robotic System Construction with Mechatronic Components. Inverted Pendulum - Humanoid Robot", in The 9th International Conference on Machine Vision, ICMV 2016, Franta
 167. [Sasaki, 2010] Ken Sasaki, Ifac Proceedings Volumes, Vol. 42, Issue 24, 2010, Pp. 136-139
 168. [Savkin, 2002] A. V. Savkin, R. J. Evans, Hybrid Dynamical Systems, Controller and Sensor Switching Problems, Boston, Birkhauser, 2002.
 169. [Savu, 2016] Diana Savu, **Lucian Alexandru Sandru**, Marius Florin Crainic, Cristian Moldovan, Valer Dolga and Stefan Preitl, "Multiple Methods of Data Acquisition for a LEGO NXT 2 Mobile Robot. The use of a Second NXT 2 Hardware Platform", in 5th International Conference on Mechatronics and

- Control Engineering, ICMCE 2016, Italia.
170. [Schaefer, 1967] J. F. Schaefer, "A New Adaptive Technique", Proceedings Of The 1967 Joint Automatic Control Conference, Pp. 299-307.
 171. [Schoonwinkel, 1987] A. Schoonwinkel, Design and Test Of A Computer Stabilized Unicycle, Ph. D. Thesis, Stanford University (1987).
 172. [Shaban, 2008] Shaban, E. M., Ako, S., Taylor, C. J. and Seward, D. W., Development Of An Automated Verticality Alignment System for A Vibro-Lance, Automation In Construction, 17, Pp. 645-655, 2008
 173. [Shaban, 2012] Shaban. E. M., Deadbeat Response Of Nonlinear Systems Described By Discrete-Time State Dependent Parameter Using Exact Linearization. Journal Of American Science, 8, 355-366, 2012.
 174. [Shaban, 2014] E. M. Shaban, Ayman A. Nada, C. J. Taylor, Exact Linearization By Feedback Of State Dependent Parameter Models Applied To A Mechatronics Demonstrator, International Conference on Control, Pp.609-614, 2014
 175. [Sheng, 1997] Zaiquan Sheng and Kazuo Yamafuji, , Postural Stability Of A Human Riding A Unicycle and Its Emulation By A Robot, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 13, No. 5, Oct. 1997.
 176. [Shetty, 1997] Shetty D., Kolk A. R, Mechatronics System Design, Pws Publis. Comp., Boston, 1997.
 177. [Shiakolas, 2003] P. S. Shiakolas, D. Piyabongkarn, Development Of A Real-Time Digital Control System With A Hardware-In-The-Loop Magnetic Levitation Device for Reinforcement Of Controls Education, IEEE Transactions on Education 46 (1) (2003) 79-87.
 178. [Shimada, 2006] A. Shimada, N. Hatakeyama, High Speed Movement Control Making Use Of Zero Dynamics on Inverted Pendulums, Transactions Of The Society Of Instrument and Control Engineers, Journal Of Sice, Vol. 42, No. 9, Pp. 1035-041, 2006
 179. [Silaş, 1968] Silaş, Mecanica Editura Edp. Bucuresti 1968
 180. [Spong, 1995] M. W. Spong, The Swing Up Control Problem for The Acrobat, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 15, Pp. 72-79, 1995.
 181. [Stanescu, 2015] Stanescu T., **Sandru L. A.**, Dolga V., "Studies Regarding Detection of Obstacles with Different Geometric Shape Using Parallax Ping Sensor", in IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI 2015, 21 - 23 Mai 2015, Timișoara.
 182. [Stanescu, 2015] Stanescu T., Enache B., Savu D., **Sandru L.**, Dolga V., "Theoretical and Experimental Analysis of Steering Mechanism of a Mobile Robot", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 5, Issue 4, New Delhy, India, April 2015 (ISSN 2250 -

- 2459 (Online)) pag. 597 – 600.
183. [Stephenson, 1908] Stephenson, A., Memories and Proceeding Of The Manchester Literary and Philosophical Society, Vol. 52, Pp. 1–10, 1908.
184. [Stephenson, 1909] Stephenson, A., on Induced Stability, Philosophical Magazine, 1909.
185. [Su, 2003] H. Su, C. A. Woodham, on The Uncontrollable Damped Triple Inverted Pendulum, Journal Of Computational and Applied Mathematics Vol. 151, Issue 2, , Pp. 425–443, 15 February 2003
186. [Sullivan, 2010] K Sullivan, S Luke, Va Ziparo, Hierarchical Learning From Demonstration on Humanoid Robots, Proceedings Of Humanoid Robots Learning From Human Interaction Workshop, 2010.
187. [Sungbok, 2012] Sungbok Kim, Several Performance Measures for The Obstacle Detection Of An Overlapped Ultrasonic Sensor Ring, Dept. Of Digital Inf. Eng., Hankuk Univ. Of foreign Studies, Yongin, South Korea, 2012
188. [Sutton, 1998] R. S. Sutton and A. G. Barto, Introduction To Reinforcement Learning, 1st Ed. Cambridge, Ma, Usa, Mit Press, 1998.
189. [Takahashi, 2005] Y Takahashi, O Tsubouchi, Modern Control Approach for Robotic Wheelchair With Inverse Pendulum Control, Intelligent Systems Design and Applications, Pp.364-369, 2005
190. [Takei, 2009] T. Takei, R. Imamura, and S. Yuta, , Baggage Transportation and Navigation By A Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot, IEEE Transactions on Industrial Electronics, October 2009 Vol. 56, Pp. 3985–3995
191. [Takenaka, 2006] Toru Takenaka. The Control System for The Honda Humanoid Robot 2006.
192. [Truxal, 1965] J. G. Truxal. State Models, Transfer Functions, and Simulation. Monograph 8, Discrete Systems Concept Project, 1965
193. [Varga, 2008] Stefan Varga, Corenliu Radulescu, Ivan Bogdanov, Inocentiu Maniu, Valer Dolga, Valentin Ciupe, Robotica sistemul mecanic, Editura politehnica Timisoara, Vol. I, 2008
194. [Vâlcovici, 1968] Vâlcovici V., Bălan F., Voinea R., Mecanică Teoretică, Ed. Tehnică, Bucuresti, 1968.
195. [Vitus, 2012] M. P. Vitus, W. Zhang, and C. J. Tomlin, A Hierarchical Method for Stochastic Motion Planning In Uncertain Environments, In Proc. IEEE/Rsj Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2012, Pp. 2263–2268.
196. [Vos, 1990] David W. Vos and andreas H. Von Flotow, , Dynamics and Nonlinear Adaptive Control Of An Autonomous Unicycle, Theory and Experiment, Proceedings Of The 29th Conference on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, 1990.
197. [Vukobratovic, 1968] Vukobratovic M., Juricic D., A Contribution To The

- Synthesis Of Biped Gait, Ifac Symp. Technical and Biological Problem Of Control, Yerevan, Ussr, 1968
198. [Vukobratovic, 1969] Vukobratovic M., Juricic D., Contribution To The Synthesis Of Biped Gait, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. 16, No. 1, 1969
 199. [Vukobratovic, 1972] Vukobratovic M, Stepanenko Y. on The Stability Of Anthropomorphic Systems. Math Biosci 1972, 15.
 200. [Vukobratovic, 1974] Vukobratovic M., Hristic D., Stojiljkovic Z., Development Of Active Anthropomorphic Exoskeletons, Medical and Biological Engineering, Vol. 12, No. 1, 1974
 201. [Vukobratovic, 1975] Vukobratovic M., Stokic D., Dynamic Stability Of Unstable Legged Locomotion Systems, Mathematical Biosciences, Vol. 24, No. 1/2, 1975
 202. [Vukobratovic, 2001] Vukobratovic M., Borovac B., Stokic D., Surdilovic D., Active Exoskeleton, Ch. 27, Humanoid Robots, Pp. 727-777, Mechanical Systems Design Handbook, Modeling, Measure and Control, Crc Press, 2001
 203. [Vukobratović, 2004] Vukobratović M., Borovac B. V., Zero-Moment Point-Thirty Five Years Of Its Life, International Journal Of Humanoid Robotics, 2004, Vol. 1, No. 1, 157-173.
 204. [Vukobratović, 2006] Miomir Vukobratović, Humanoid Robotics-Past, Present State, Future -, Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, 2006
 205. [Vundavilli, 2009] Vundavilli P. R., Pratihari D. K., Soft Computing-Based Gait Planners for A Dynamically Balanced Biped Robot Negotiating Sloping Surfaces, Applied Soft Computing, 2009, 9, 191-208.
 206. [Wang, 2004] W. Wang, J. Li, D. Zhao and D. Liu, Design Of A Stable Sliding-Mode Controller for A Class Of Second-Order Underactuated Systems, Iee Proc. -Control Theory Appl., V151, N6, November, 2004, Pp 683-690
 207. [Wang, 2011] J. Wang, T. Bierling, L. Ho"cht, F. Holzappel, S. Klose, and A. Knoll, Novel Dynamic Inversion Architecture Design for Quadrocopter Control, In Advances In Aerospace Guidance, Navigation and Control. New York, Ny, Usa, Springer, 2011, Pp. 261-272.
 208. [Wang, 2013] H. Wang, Flocking Of Networked Uncertain Euler-Lagrange Systems on Directed Graphs, Automatica, Vol. 49, No. 9, Pp. 2774-2779, 2013.
 209. [Watkins, 2003] J. M. Watkins, G. E. Piper, An Undergraduate Course In Active Magnetic Levitation, Bridging The Gap, In, Proceedings Of The 35th Southeastern Symposium on System Theory, Morgantown, Usa, Mar. 18, 2003.
 210. [Xu, 2004] Yangsheng Xu, Samuel Kwok-Wai Au, Stabilization and Path

- Follow-Ing Of A Single Wheel Robot, IEEE/Asme Transactions on Mecha-
Tronics, Vol. 9, No. 2, June 2004, Pp 407-419
211. [Xu, 2009] Jian-Xin Xu, Abdullah Al Mamun, Yohanes Daud, , Pendulum-
Balanced Autonomous Unicycle, Conceptual Design and Dynamics Model, In
Fifth IEEE International Conference on Robotics, Automation and
Mechatronics, Qingdao, China 2009.
212. [Xu, 2010] Jian-Xin Xu, Zhao-Qin Guo, Tong Heng Lee, A Synthesized Integral
Sliding Mode Controller for An Underactuated Unicycle, International
Workshop on Variable Structure Systems (Vss), Pp.352-357, 2010
213. [Yen, 2012] F. Yen, S. Zheng, X. Chen, J. Li, Q. Lin, Y. Xu, Et Al.,
Superconducting Excitation System Of A Small Scale Linear Synchronous
Motor, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 22 (3) (2012)
5201103.
214. [Zhang, 2009], S. Zhang, F. L. Luo An Improved Simple Adaptive Control
Applied To Power System Stabilizer, " In IEEE Transactions on Power
Electronics, 2009, Vol. 24, No. 2.
215. [***, 1.1] www.yaskawa.co.jp/en/technology/history acc.10.12.2016
216. [***, 1.2] www.scribd.com/doc/151281721/Capitol-1 acc.10.12.2016
217. [***, 1.3] [www.scribd.com/document/245554924/lecture-Control-System-
Design](http://www.scribd.com/document/245554924/lecture-Control-System-Design) accesat la 10.12.2016 acc.10.12.2016
218. [***, 1.4] www.mec.upt.ro/dolga/PSM_1.pdf acc.10.12.2016
219. [***, 1.5] www.engineering.nyu.edu/mechatronics/Description/evolution.htm
acc.10.12.2016
220. [***, 1.6] www.eoht.info/page/Papin+digester acc.10.12.2016
221. [***, 1.7] www.sewalot.com/elias_howe.htm acc.10.12.2016
222. [***, 1.8]
www.sewalot.com/wheeler%20&%20wilson%20sewing%20machines.htm
acc.10.12.2016
223. [***, 1.9] www.en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Schickard acc.10.12.2016
224. [***, 1.10] [www.machinedesign.com/archive/model-based-design-
mechatronics-systems](http://www.machinedesign.com/archive/model-based-design-mechatronics-systems) acc.10.12.2016
225. [***, 1.11] [www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-
Industry-Insights/2016-The-Year-of-Robot-Democratization/content_id/5908](http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/2016-The-Year-of-Robot-Democratization/content_id/5908)
226. [***, 1.12]
[www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/World_Robotics/2016/Executiv
e_Summary_Service_Robots_2016.pdf](http://www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/World_Robotics/2016/Executive_Summary_Service_Robots_2016.pdf) acc.10.12.2016
227. [***, 1.13] www.mec.tuiasi.ro/diverse/Curs_CCD_MCT_Generala.pdf
acc.10.12.2016

-
228. [***, 1.14] www.engineering.nyu.edu/gk12/amps-cbri/pdf/Intro%20to%20Mechatronics.pdf acc.10.12.2016
229. [***, 1.15] www.umt.fme.vutbr.cz/ESF/files/opory/design_of_ms_zkraceno.pdf acc.10.12.2016
230. [***, 2.1] www.dexonline.ro/definitie/pendul acc.10.12.2016
231. [***, 2.2] www.manualdefizica.ro/wp-content/uploads/2013/03/OSCILATII-MECANICE.2.pdf acc.10.12.2016
232. [***, 2.3] www.ecee.colorado.edu/~taba7194/CPIFAC2oct11.pdf acc.10.12.2016
233. [***, 2.4] www.web.mit.edu/klund/www./papers/UNP_pendulum.pdf acc.10.12.2016
234. [***, 2.5] www.engr.usask.ca/classes/EE/480/Inverted%20Pendulum.pdf acc.10.12.2016
235. [***, 2.6] www.edgetriggered.wordpress.com/category/inertia-wheel-pendulum/page/2/ acc.10.12.2016
236. [***, 2.7] www.coursehero.com/file/9593328/ECE486-finalproj-Spring2014/ acc.10.12.2016
237. [***, 2.8] www.referatele.com/referate/fizica/online7/ALGORITMI--EVOLUATI--DE--REGLARE--NUMERICA-referatele-com.php acc.10.12.2016
238. [***, 2.9] www.bleex.me.berkeley.edu/bleex.htm acc.10.12.2016
239. [***, 2.10] www.honda.com acc.10.12.2016
240. [***, 2.11] www.ro.wikipedia.org/wiki/Taipei_101 acc.10.12.2016
241. [***, 2.12] www.usercontent2.hubimg.com acc.10.12.2016
242. [***, 2.13] www.greenbuildingelements.com/2011/02/24/building-earthquake-resistant-buildings-is-best-for-the-environment-and-the-people/ acc.10.12.2016
243. [***, 2.14] www.theconstructor.org/structural-engg/tuned-mass-dampers/1198/ acc.10.12.2016
244. [***, 2.15] www.en.wikipedia.org/wiki/Segway_PT acc.10.12.2016
245. [***, 2.16] www.authentic-travel.ro/pagini/despre-segway.html acc.10.12.2016
246. [***, 2.17] www.skateonroad.com/what-is-the-principle-of-self-balancing-unicycle.html acc.10.12.2016
247. [***, 2.18] www.skateonroad.com/the-principle-of-the-self-balancing-unicycle.html acc.10.12.2016
248. [***, 2.19] www.en.wikipedia.org/wiki/Wheelchair acc.10.12.2016

-
249. [***, 2.20]
www.staff.kfupm.edu.sa/se/mshahab/071_227598_SE514_Project.pdf
acc.10.12.2016
250. [***, 2.21] www.understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones acc.10.12.2016
251. [***, 2.22] www.rocketxtreme.wikispaces.com/Team+2 acc.10.12.2016
252. [***, 2.23]
www.spaceflightsystems.grc.nasa.gov/education/rocket/rktstab.html
acc.10.12.2016
253. [***, 2.24] www.sony.net/SonyInfo/News/Press_Archive/200312/03-060E/
acc.10.12.2016
254. [***, 2.25] www.segwayminipro.com/ acc.10.12.2016
255. [***, 2.26] www.en.wikipedia.org/wiki/ASIMO acc.10.12.2016
256. [***, 2.27]
www.smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/44897/castro_arnoldo_201208_mast.pdf?sequence=1&isAllowed=y acc.10.12.2016
257. [***, 2.28] www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip21.pdf acc.10.12.2016
258. [***, 2.29] www.mobilityscooters.co.nz/history/wheelchairs acc.10.12.2016
259. [***, 3.1] www.roboticstomorrow.com/article/2012/12/spherical-vehicle--mechatronics-demonstrator/110/ acc.10.12.2016
260. [***, 3.2] www.festo.com/cms/en-us_us/15291.htm acc.10.12.2016
261. [***, 3.3] www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/ acc.10.12.2016
262. [***, 3.4] www.youtube.com/watch?v=daHLnx2IsIs acc.10.12.2016
263. [***, 3.5] www.google.com/patents/US2267254 acc.10.12.2016
264. [***, 3.6] www.dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45296/311867673-MIT.pdf?sequence=2 acc.10.12.2016
265. [***, 3.7] www.sphericaldrivesystem.com/concept/ acc.10.12.2016
266. [***, 3.8] <http://www.instructables.com/id/How-to-make-a-Ball-Balancing-Robot/> acc.10.12.2016
267. [***, 3.9] www.youtube.com/watch?v=bI06lujiD7E acc.10.12.2016
268. [***, 3.10] www.en.wikipedia.org/wiki/Ballbot acc.10.12.2016
269. [***, 3.11] www.dexonline.ro/definitie/demonstrator acc.10.12.2016
270. [***, 3.12] www.dictionary.com/browse/demonstrator acc.10.12.2016
271. [***, 4.1] www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/start_now.aspx
acc.10.12.2016 acc.10.12.2016

-
272. [***, 4.2] www.atmel.com/tools/ATMELSTUDIO.aspx acc.10.12.2016
273. [***, 4.3] www.elec.uow.edu.au/avr/guides/Getting-started-C-programming-Atmel-Studio-6.pdf acc.10.12.2016
274. [***, 4.4] [www.en.wikipedia.org/wiki/android_\(operating_system\)](http://www.en.wikipedia.org/wiki/android_(operating_system)) acc.10.12.2016
275. [***, 4.5] www.developer.android.com/guide/platform/index.html acc.10.12.2016
276. [***, 4.6] www.en.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol acc.10.12.2016
277. [***, 4.7] [www.en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_\(programming_language\)](http://www.en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_(programming_language)) acc.10.12.2016
278. [***, 4.8] www.autodesk.com/products/eagle/overview acc.10.12.2016
279. [***, 4.9] www.rixan.com/Portals/0/RV-1A-2AJ/1n2setup.pdf acc.10.12.2016
280. [***, 4.10] www.dmi.uib.es/~jguerrero/instMelfa.pdf acc.10.12.2016
281. [***, 4.11] www.roboex.com/Mitsubishi%20Movemaster%20Robot%20Manual/RT%20ToolBox2%20%20Users%20Manual.pdf acc.10.12.2016
282. [***, 4.12] www.solvusoft.com/ro/file-extensions/file-extension-ps/ acc.10.12.2016
283. [***, 4.13] www.cs.curs.pub.ro/wiki/pm/lab/lab3 acc.10.12.2016
284. [***, 4.14] www.en.wikibooks.org/wiki/C_Sharp_Programming acc.10.12.2016
285. [***, 4.15] [www.msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ee663275\(v=vs.85\).aspx](http://www.msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ee663275(v=vs.85).aspx) acc.10.12.2016
286. [***, 4.16] www.en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi acc.10.12.2016
287. [***, 4.17] http://www.msh-tools.com/ardrone/ARDrone_Developer_Guide.pdf acc.10.12.2016
288. [***, 4.18] <http://www.instructables.com/id/Another-Easier-Inverted-Pendulum/?ALLSTEPS> acc.10.12.2016
289. [***, 4.19] <https://www.hippolandromania.ro/shop/jucarii-toys/jucarii-toys-jucarii-drone-elicoptere/mondo-ultra-drone-flying-car-xw18-0-x6/> acc.10.12.2016
290. [***, 4.20] <http://www.parrot.com/products/rolling-spider/gg> acc.10.12.2016
291. [***, 4.21] <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/raspi-config.md> acc.10.12.2016
292. [***, 5.1] www.hq.nasa.gov/office/itcd/ctc/documents/Intro-MS-Office.pdf acc.10.12.2016

-
293. [***, 5.2] www.mathworks.com/help/simulink/slref/memory.html,
acc.10.12.2016.
294. [***, 5.3]
www.mathstat.dal.ca/cluster/manuals/matlab/toolbox/curvefit/cftool.html
acc.10.12.2016.
295. [***, 5.4] <https://www.mathworks.com/help/stats/working-with-probability-distributions.html> acc.10.12.2016
296. [***, 6.1] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19147-nxtway-gs--self-balancing-two-wheeled-robot--controller-design?focused=5114162&tab=function> acc.10.12.2016

Anexa 2.1 Modelul matematic pentru cazul A și B

Modalitatea de aplicare a metodei corpului liber pentru modelul A, conform principiilor mecanicii clasice pentru sistemul analizat, poate fi descompusă în corpurile 1 și 2 aflate în echilibru (Figura 2.1.a și 2.1.b). Legătura dintre cele două corpuri a fost înlocuită cu reacțiunile N și P [***,2.29].

Pe baza notațiilor din Figura 2.2 și a principiilor mecanice clasice, mișcarea corpului de masă M este descrisă de ecuația (2.1).

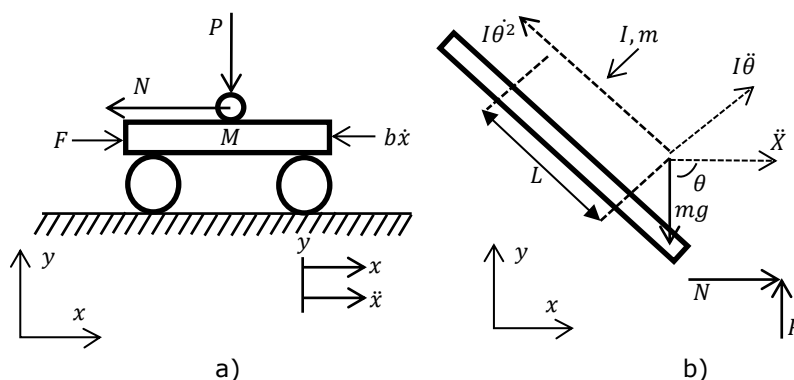


Figura 2.1 a) Corpul 1; b) Corpul 2

Notațiile simbolice au următoarele caracteristici: x - reprezintă spațiul de mișcare; $[m]$ - mișcarea de translație; \dot{x} - viteza corpului în mișcarea de translație $[\frac{m}{s}]$; \ddot{x} - accelerația corpului $[\frac{m}{s^2}]$; b - coeficientul de amortizare $[N \cdot \frac{s}{m}]$; N - reacțiunea pe axa O_x $[N]$; F - forța exterioară ce acționează asupra corpului 1 $[N]$.

Unde:

$$M \ddot{x} + b \dot{x} + N = F \quad (2.1)$$

Însumând forțele ce acționează asupra pendulului, se poate obține o ecuație pentru N :

$$N = m \ddot{x} = ml \ddot{\theta} \cos \theta - ml \dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (2.2)$$

Prin înlocuirea acestei ecuații în ecuația (2.1), se obține ecuația de mișcare a sistemului 1:

$$(M + m) \ddot{x} + b \dot{x} + ml \ddot{\theta} \cos \theta - ml \dot{\theta}^2 \sin \theta = F \quad (2.3)$$

Forma dezvoltată a ecuațiilor (2.2) și (2.3) este:

$$P \sin \theta + N \cos \theta - mg \sin \theta = ml \ddot{\theta} + m \ddot{x} \cos \theta \quad (2.4)$$

din care rezultă ecuația:

$$-Pl \sin \theta - Nl \cos \theta = I \ddot{\theta} \quad (2.5)$$

În urma prelucrărilor matematice a ecuațiilor (2.2)-(2.4), se obține ecuația de mișcare a corpului 2 (pendul invers):

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = -ml\ddot{x}\cos\theta \quad (2.6)$$

Sistemul neliniar al ecuațiilor (2.3), (2.6) poate fi liniarizat în jurul punctului de funcționare. Liniarizarea sistemului de ecuații (2.4) se realizează în jurul punctului de funcționare $\theta = \pi$, astfel vom avea $\theta = \pi + \Delta\theta$.

$$\sin\theta = \sin(\pi + \Delta\theta) = -\sin(\Delta\theta) \cong -\Delta\theta = -\phi \quad (2.7)$$

$$\cos\theta = \cos(\pi + \Delta\theta) = -\cos(\Delta\theta) \cong -1 \quad (2.8)$$

Aceste ecuații trebuie liniarizate, cu $\theta = \pi$. Presupunând că $\theta = \pi + \phi$ (unde ϕ reprezintă un unghi mic față de verticală), se obține $\cos(\theta) = -1$, $\sin(\theta) = -\phi$ și

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = 0.$$

După liniarizare, cele două ecuații de mișcare devin:

$$(I + ml^2)\ddot{\phi} - mgl\phi = ml\ddot{x} \quad (2.9)$$

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} - ml\ddot{\phi} = F \quad (2.10)$$

Unde F reprezintă forța de comandă.

Modalitatea de aplicare a metodei corpului liber pentru modelul B - folosind aceeași modalitate ca și în cazul modelului A, se poate dezvolta modelul matematic pentru modelul B. Modelul neliniar al sistemului se poate scrie prin teoria lui Lagrange-Euler [Xu, 2009], după cum urmează:

$$m_{11}\ddot{\beta} + m_{12}\ddot{\gamma} + m_{13}\ddot{\delta} + m_{14}\ddot{\omega} + c_{11}\dot{\beta}^2 + c_{12}\dot{\gamma}^2 + c_{13}\dot{\delta}^2 + c_{14}\dot{\alpha}\dot{\delta} + c_{15}\dot{\beta}\dot{\gamma} + c_{16}\dot{\beta}\dot{\delta} + c_{17}\dot{\gamma}\dot{\delta} = T_w \quad (2.11)$$

$$m_{21}\ddot{\alpha} + m_{22}\ddot{\beta} + m_{23}\ddot{\delta} + m_{24}\ddot{\omega} + c_{21}\dot{\alpha}^2 + c_{22}\dot{\delta}^2 + c_{23}\dot{\alpha}\dot{\gamma} + c_{24}\dot{\alpha}\dot{\delta} + c_{25}\dot{\beta}\dot{\gamma} + c_{26}\dot{\gamma}\dot{\delta} + c_{27}\dot{\delta}\dot{\omega} + g_{21} = -T_w \quad (2.12)$$

$$m_{31}\ddot{\alpha} + m_{32}\ddot{\beta} + m_{33}\ddot{\gamma} + m_{34}\ddot{\delta} + c_{31}\dot{\beta}^2 + c_{32}\dot{\gamma}^2 + c_{33}\dot{\delta}^2 + c_{34}\dot{\alpha}\dot{\beta} + c_{35}\dot{\alpha}\dot{\gamma} + c_{36}\dot{\beta}\dot{\gamma} + c_{37}\dot{\beta}\dot{\delta} + c_{38}\dot{\gamma}\dot{\delta} + c_{39}\dot{\delta}\dot{\omega} + g_{31} = 0 \quad (2.13)$$

$$m_{41}\ddot{\alpha} + m_{42}\ddot{\gamma} + m_{43}\ddot{\delta} + m_{44}\ddot{\omega} + c_{41}\dot{\alpha}^2 + c_{42}\dot{\beta}^2 + c_{43}\dot{\delta}^2 + c_{44}\dot{\alpha}\dot{\beta} + c_{45}\dot{\alpha}\dot{\delta} + c_{46}\dot{\beta}\dot{\delta} + c_{47}\dot{\delta}\dot{\omega} + g_{41} = T_p \quad (2.14)$$

$$m_{51}\ddot{\alpha} + m_{52}\ddot{\beta} + m_{53}\ddot{\gamma} + m_{54}\ddot{\delta} + m_{55}\ddot{\omega} + c_{51}\dot{\alpha}^2 + c_{52}\dot{\beta}^2 + c_{53}\dot{\gamma}^2 + c_{54}\dot{\alpha}\dot{\beta} + c_{55}\dot{\alpha}\dot{\gamma} + c_{56}\dot{\alpha}\dot{\delta} + c_{57}\dot{\alpha}\dot{\omega} + c_{58}\dot{\beta}\dot{\gamma} + c_{59}\dot{\beta}\dot{\delta} + c_{510}\dot{\gamma}\dot{\delta} + c_{511}\dot{\delta}\dot{\omega} = 0 \quad (2.15)$$

Anexa 2.2 Funcția de transfer și spațiul stărilor pentru modelele A și B

Obținerea pe cale analitică a funcției de transfer corespunzătoare ecuațiilor sistemului liniarizat, aplicând transformata Laplace a ecuațiilor (Cap. 2.2.2), este:

$$(I + ml^2)\Phi(s)s^2 - mg\Phi(s) = mlX(s)s^2 \quad (2.16)$$

$$(M + m)X(s)s^2 + bX(s)s - ml\Phi(s)s^2 = U(s) \quad (2.17)$$

Condițiile inițiale se presupun a fi egale cu 0. Se rezolvă ecuația în $X(s)$:

$$X(s) = \left[\frac{I + ml^2}{ml} - \frac{g}{s^2} \right] \Phi(s) \quad (2.18)$$

se înlocuiește în a doua ecuație:

$$(M + m) \left[\frac{I + ml^2}{ml} + \frac{g}{s^2} \right] \Phi(s)s^2 + b \left[\frac{I + ml^2}{ml} + \frac{g}{s^2} \right] \Phi(s)s - ml\Phi(s)s^2 = U(s) \quad (2.19)$$

Rezultă:

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s^2}{s^4 + \frac{b(I + ml^2)}{q}s^3 - \frac{(M + m)mgI}{q}s^2 - \frac{bmgI}{q}s} \quad (2.20)$$

unde,

$$q = [(M + m)(I + ml^2 - (ml)^2)] \quad (2.21)$$

Funcția de transfer are și pol și zero în origine. Funcția de transfer poate deveni:

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s}{s^3 + \frac{b(I + ml^2)}{q}s^2 - \frac{(M + m)mgI}{q}s - \frac{bmgI}{q}} \quad (2.22)$$

Ecuațiile sistemului liniarizat pot fi reprezentate în spațiul stărilor, sub următoarea formă matriceală:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.23)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (2.24)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ x \\ x \\ \dot{\Phi} \\ \Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(I + ml^2)b}{I(M + m) + Mml^2} & \frac{m^2gl^2}{I(M + m) + Mml^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{mlb}{I(M + m) + Mml^2} & \frac{mgI(M + m)}{I(M + m) + Mml^2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x \\ \Phi \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ I + ml^2 \\ 0 \\ ml \\ I(M + m) + Mml^2 \end{bmatrix} u \quad (2.25)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x \\ \Phi \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (2.26)$$

Matricea de ieșire returnează poziția căruciorului și poziția pendulului.

Anexa 2.3 Sisteme de control PID

Pentru echilibrul pendulului invers, a liniarizării stabilității acestuia, precum și a multor cracteristici de liniarizare în mecatronică, sunt folosite diverse filtre sau sisteme de control printre care cel mai utilizat este sistemul PID. Denumirea abreviată provine de la cei trei termeni care înseamnă: P – proporțional; I – integrativ; D – derivativ.

- *Regulatorul proporțional P* – este caracterizat printr-o relație de calcul de forma:

$$u(t) = K_P \cdot \varepsilon(t),$$

în care K_P reprezintă factorul de amplificare al regulatorului și este parametrul de reglare. Funcția de transfer este dată de:

$$H_R(s) = K_P.$$

- *Regulatorul proporțional integrativ PI* – este caracterizat printr-o relație de calcul de forma $u(t) = K_P \cdot \varepsilon(t) + K_I \cdot \int \varepsilon(t) dt$.

Funcția de transfer este dată de:

$$H_R(s) = K_P + \frac{K_I}{S}.$$

- *Regulatorul de tip proporțional derivativ PD* – introduce o componentă derivativă D, ultima componentă introducând o proporționalitate între mărimea de ieșire u și derivata în timp a mărimii de intrare ε , care este caracterizat printr-o relație de calcul de forma:

$$u(t) = K_I \cdot \varepsilon(t) + T_d \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt},$$

unde factorul T_d se numește constantă derivativă în timp.

- *Regulatorul de tip proporțional integrativ derivativ PID* – Algoritmul PID se obține ca o combinație liniară a celor trei moduri de acțiune: P, I, D, după cum urmează:

$$u(t) = K_P \cdot \varepsilon(t) + K_I \cdot \int \varepsilon(t) dt + K_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}.$$

Funcția de transfer este dată de: $H_R(s) = K_P + \frac{K_I}{S} + K_D \cdot s$.

Aceste regulatoare sunt cele mai complexe regulatoare cu acțiune continuă, care asigură performanțe de reglare superioare atât în regim staționar, cât și în regim tranzitoriu în care:

- P (proporțional) – asigură un răspuns proporțional (liniar) cu eroarea. Regulatorul P introdus într-o buclă de reglare poate conduce la o funcționare stabilă, însă cu o eroare staționară a cărei valoare variază invers cu factorul de amplificare a regulatorului;
- I (integrativ) – ține evidența erorilor acumulate în timp, având efect de filtrare;
- D (derivativ) – mărimea de comandă este proporțională cu viteza de variație a erorii, elementul de tip D reduce suprareglajul sistemului, dar necesită precauții la acordarea regulatorului în cazul unor procese cu timp mort.

Anexa 2.4 Dinamica și modelul matematic pentru echilibrul robotului mobil humanoid

Pentru a se putea rezolva problemele legate de stabilitate, au fost cercetate mai multe aspecte teoretice și practice legate de introducerea liniarității în modelul reglării de stabilitate a pendulului invers [Vukobratovic, 1972], [Vundavilli, 2009], [Vukobratović, 2006], [Beranek, 2016].

Modelul de echilibru al corpului uman, în deplasare și staționare, poate fi comparat cu cel al unui pendul, unde masa pendulului reprezintă centrul de greutate COM (center of mass / centrul punctului de masă) al întregului corp.

Utilizând acest model, de dinamică a sistemului [Vukobratovic, 1972], relația poate fi scrisă sub forma:

$$\ddot{x}_{COM} = w_G^2(x_{COM} - x_{ZMP}) \quad (2.27)$$

$$\ddot{y}_{COM} = w_G^2(y_{COM} - y_{ZMP}) \quad (2.28)$$

Unde :

$$w_G = \sqrt{\frac{\ddot{z}_{COM} + g}{z_{COM} - z_{ZMP}}} \quad (2.29)$$

în care notațiile utilizate sunt următoarele: x_{COM} , y_{COM} , z_{COM} - sunt pozițiile lui COM; x_{ZMP} , y_{ZMP} , z_{ZMP} - sunt pozițiile lui ZMP; g este accelerația gravitațională.

Din ecuațiile pentru dinamică se observă că există o relație între COM al corpului și ZMP (zero moment point / momentul punctului zero).

Cercetări în privința ZMP au făcut ca COM să fie mai bine controlat la mișcări de înclinare și rotație [Vukobratovic, 1972], unde a fost utilizat nivelul cinematicii vitezelor în relație cu vitezele unghiurilor punctelor $\vec{\theta}$ la viteza COM, \vec{X}_{COM} , după cum urmează:

$$\vec{X}_{COM} = J_{COM} \vec{\theta} \quad (2.30)$$

unde relația Jacobiana J_{COM} este definită ca și:

$$J_{COM} = \frac{\partial \vec{X}_{COM}}{\partial \vec{\theta}} \quad (2.31)$$

Oferindu-i punctului COM o referință și viteza \vec{X}_{rCOM} , inversa relației Jacobiane poate fi folosită ca punct de plecare pentru găsirea vitezelor unor puncte $\vec{\theta}_r$ ca și:

$$\vec{\theta}_r = J_{COM}^{-1} \vec{X}_{rCOM} \quad (2.32)$$

Sistemul de control și macro stabilizare, restaurează poziția de echilibru prin controlarea activă a distanței până când robotul își pierde echilibrul sau este pe punctul de a se dezechilibra.

Aceste cercetări au dus la dezvoltarea unor roboți foarte performanți care pot: pași, alerga, ridica greutăți, prinde obiecte în mișcare, fără a se dezechilibra.

Anexa 2.5 Principiul reglării masei de amortizare

Stabilitatea clădirilor la oscilații perturbatoare, în cazul în care se presupune că forța de amortizare este proporțională cu viteza, situație în care este prezentă permanent o forță a masei m_1 definită prin $P_0 \cos(\omega t)$, este ușor de a fi analizată folosind ecuațiile diferențiale, date de mișcarea sistemului.

Pentru a simplifica sistemul, vom lăsa $c_1=0$ și vom obține următoarele ecuații, unde x'_1 este derivata de timp a x_1

$$m_1 x_1'' + k_1 x_1 + k_2(x_1 - x_2) + c_2(x'_1 - x'_2) = p_0 \cos(\omega t) \quad (2.33)$$

$$m_2 x_2'' + k_2(x_2 - x_1) + c_2(x'_2 - x'_1) = 0 \quad (2.34)$$

Următoarea etapă este aceea de a găsi cea mai bună expresie matematică pentru soluția periodică ale acestor ecuații. Calculul este similar cu ceea ce ar rezulta în urma transformării unui sistem de ecuații diferențiale, de ordinul întâi.

Căutând o soluție periodică pentru forma $e^{i\omega t} \vec{K}$ a 4 vectori \vec{K} și înlocuind prima ecuație cu suma a două ecuații, va rezulta:

$$m_1 x_1'' + k_1 x_1 + m_2 x_2'' = p_0 \cos(\omega t) \quad (2.35)$$

$$m_2 x_2'' + k_2(x_2 - x_1) + c_2(x'_2 - x'_1) = 0 \quad (2.36)$$

Ca urmare, se poate găsi soluția periodică a formei în următoarele expresii:

$$x_1 = a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t) \quad (2.37)$$

$$x_2 = c \cos(\omega t) + d \sin(\omega t) \quad (2.38)$$

Transformând acestea în ecuații diferențiale, vom putea formula sistemul matricial matematic de ecuații:

$$\begin{pmatrix} k_1 - m_1 \omega^2 & 0 & -m_2 \omega^2 & 0 \\ 0 & k_1 - m_1 \omega^2 & 0 & -m_2 \omega^2 \\ -k_2 & -c_2 \omega & k_2 - m_2 \omega^2 & c_2 \omega \\ c_2 \omega & -k_2 & -c_2 \omega & k_2 - m_2 \omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.39)$$

Notând coeficientul matricial cu M, putem scrie inversul lui M sub forma:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \text{ atunci } M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}, \text{ unde:}$$

$$A = r_1 I; \quad B = r_2 I; \quad C = r_3 I - s_1 W; \quad D = r_4 I + s_1 W; \quad r_1 = k_1 - m_1 \omega^2; \quad r_2 = -m_2 \omega^2; \quad r_3 = -k_2; \\ r_4 = k_2 - m_2 \omega^2; \quad s_1 = c_2 \omega$$

La trecerea lui A și B în celaltă parte vom avea relația:

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} (AD - BC)^{-1} & 0 \\ 0 & (AD - BC)^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D & -B \\ -C & A \end{pmatrix} \quad (2.40)$$

Ulterior vom defini r și s cu relația:

$$AD - BC = (r_1 r_4 - r_2 r_3)I + s_1(r_1 + r_2)W = rI + sW$$

$$\Rightarrow (AD - BC)^{-1} = \frac{1}{r^2 + s^2} (rI - sW) \quad (2.41)$$

Combinând acestea, vom obține matricea de valori:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \frac{p_0}{r^2 + s^2} \begin{pmatrix} rr_4 + ss_1 \\ -rs_1 + sr_4 \\ -rr_3 + ss_1 \\ -rs_1 - sr_3 \end{pmatrix} \quad (2.42)$$

Dacă amplitudinea lui x_1 este $A_1 = \sqrt{a^2 + b^2}$ și a lui x_2 este $A_2 = \sqrt{c^2 + d^2}$, va rezulta:

$$A_1 = \frac{p_0}{r^2 + s^2} (r_4^2 + s_1^2) \quad (2.43)$$

$$A_2 = \frac{p_0}{r^2 + s^2} (r_3^2 + s_1^2) \quad (2.44)$$

Vom scrie A_1^2 și A_2^2 după cum urmează:

$$A_1^2 = p_0^2 \frac{c_2^2 \omega^2 + (k_2 - m_2 \omega^2)^2}{[(k_1 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2 m_2 \omega^2]^2 + c_2^2 \omega^2 (k_1 - m_1 \omega^2 - m_2 \omega^2)^2} \quad (2.45)$$

$$A_2^2 = p_0^2 \frac{c_2^2 \omega^2 + k_2^2}{[(k_1 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2 m_2 \omega^2]^2 + c_2^2 \omega^2 (k_1 - m_1 \omega^2 - m_2 \omega^2)^2} \quad (2.46)$$

Termenii și constantele utilizate sunt frecvențe proprii: $\omega_1^2 = \frac{k_1}{m_1}$, $\omega_2^2 = \frac{k_2}{m_2}$; raportul

masic $\mu = \frac{m_2}{m_1}$; raportul de amortizare: $\xi = \frac{c_2}{2m_2 \omega_2}$; deformarea statică: $u_{1,stat} = \frac{p_0}{k_1}$.

Din formula de mai jos, cu aceste cunoștințe, se pot scrie parametrii:

$$u_{1,stat} = \frac{A_1}{\sqrt{(\omega_1^2 - \omega^2)^2 (\omega_2^2 - \omega^2)^2 + \mu^2 \omega_2^4 \omega^4 - 2\mu \omega_2^2 \omega^2 (\omega_1^2 - \omega^2) (\omega_2^2 - \omega^2) + 4\xi^2 \omega_2^2 \omega^2 ((\omega_1^2 - \omega^2)^2 + \mu^2 \omega^4 - 2\mu \omega^2 (\omega_1^2 - \omega^2))}} \quad (2.47)$$

Anexa 2.6 Modelarea sistemului de ecuații pentru platforma mobilă segway prezentată

Viteza punctului de mijloc care se află între cele două roți, care respectă o inerție Netwoniana a planului N, este definită ca [***, 2.27]:

$$\vec{v}_{mid/N} = v_x \vec{x}_n + v_y \vec{y}_n \quad (2.48)$$

Un sistem de referință auxiliar denumit S, este sistemul de referință care se rotește în jurul sistemului N, respectând același unghi de rotație al platformei.

Acest sistem de referință este folosit pentru a simplifica definiția unghiului de rotație a roților care sunt în legătură cu platforma.

Viteza de rotație a sistemului de referință S în jurul lui N este:

$$\vec{\omega}_{S/N} = \dot{\beta} \cdot \vec{z}_N \quad (2.49)$$

Platforma mobilă se înclină față de suprafața de mers cu un unghi θ_p . Viteza unghiulară de rotire a pendulului care respectă sistemul S de referință este dată de:

$$\vec{\omega}_{P/S} = \dot{\theta} \vec{p}_{\bar{y}P} \quad (2.50)$$

Viteza unghiulară a pendulului care respectă legile Netwoniene ale sistemului N de referință, este dată de:

$$\vec{\omega}_{P/N} = \vec{\omega}_{P/S} + \vec{\omega}_{S/N} \quad (2.51)$$

De asemenea, ambele roți care sunt simbolizate prin L - stânga și R - dreapta, au viteza unghiulară descrisă de:

$$\vec{\omega}_{L/S} = \dot{\theta}_{L\bar{y}S} \quad (2.52)$$

$$\vec{\omega}_{L/N} = \vec{\omega}_{L/S} + \vec{\omega}_{S/N} \quad (2.53)$$

$$\vec{\omega}_{R/S} = \dot{\theta}_{R\bar{y}S} \quad (2.54)$$

$$\vec{\omega}_{R/N} = \vec{\omega}_{R/S} + \vec{\omega}_{S/N} \quad (2.55)$$

Poziția vectorului pentru punctele relevante ale platformei este definită respectând punctul de mijloc aflat între cele două roți. Poziția centrului de masă al pendulului și a celor două roți cu privire la acest punct sunt:

$$\vec{r}_{P_{cm}/mid} = xW\vec{E}P + ZW\vec{E}P \quad (2.56)$$

$$\vec{r}_{R_{cm}/mid} = -w\vec{y}p \quad (2.57)$$

$$\vec{r}_{L_{cm}/mid} = w\vec{y}p \quad (2.58)$$

Punctul de contact cu solul a fiecărei roți este definit de:

$$\vec{r}_{m/rcm} = -r\vec{z}_n \quad (2.59)$$

$$\vec{r}_{m/lcm} = -r\vec{z}_n \quad (2.60)$$

Utilizând aceste rezultate, se pot scrie vitezele tuturor punctelor relevante ale sistemului, prin:

$$\vec{v} P_{cm}/mid = \vec{\omega} P/N \times \vec{r} P_{cm}/mid \quad (2.61)$$

$$\vec{v} P/N = \vec{v} P_{cm}/mid + \vec{v}_{mid}/N \quad (2.62)$$

$$\vec{v} L_{cm}/mid = \vec{\omega} P/N \times \vec{r} L_{cm}/mid \quad (2.63)$$

$$\vec{v} L_{cm}/N = \vec{v} L_{cm}/mid + \vec{v}_{mid}/N \quad (2.64)$$

$$\vec{v} R_{cm}/mid = \vec{\omega} P/N \times \vec{r} R_{cm}/mid \quad (2.65)$$

$$\vec{v} R_{cm}/N = \vec{v} R_{cm}/mid + \vec{v}_{mid}/N \quad (2.66)$$

Pentru a se ține cont de viteza de alunecare a celor două roți, viteza punctelor de contact a fiecărei roți cu solul este dată de:

$$\vec{v}_{ln}/N = \vec{v} L_{cm}/N + \vec{\omega}_{L/N} \times \vec{r}_{ln}/L_{cm} = 0 \quad (2.67)$$

$$\vec{v}_{rn}/N = \vec{v} R_{cm}/N + \vec{\omega}_{R/N} \times \vec{r}_{rn}/R_{cm} = 0 \quad (2.68)$$

Rezultatul ecuației de mișcare este dat de:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_p = & (m_p(x_{wp} \sin(\theta_p) - z_{wp} \cos(\theta_p))(F_i + (T_l + T_r)/r + m_p(x_{wp} \cos(\theta_p)\dot{\theta}_p^2 + \\ & z_{wp} \sin(\theta_p)\dot{\theta}_p^2 + (x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p))\dot{\beta}^2)) - (m_p + 2m_w + 2I_{wy}/r^2)(T_l + \\ & T_r + F_i(x_{pi} \sin(\theta_p) - z_{pi} \cos(\theta_p)) - gm_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p)) - ((I_{px} - \\ & I_{py}) \sin(\theta_p) \cos(\theta_p) - m_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p))(x_{wp} \sin(\theta_p) - \\ & z_{wp} \cos(\theta_p)))\dot{\beta}^2))/((I_{py} + m_p(x_{wp}^2 + z_{wp}^2))(m_p + 2m_w + 2I_{wy}/r^2) - \\ & m_p^2(x_{wp} \sin(\theta_p) - z_{wp} \cos(\theta_p))^2) \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\beta} = & -(w(T_l - T_r)/r + \dot{\beta}(2(I_{px} - I_{py}) \sin(\theta_p) \cos(\theta_p)\dot{\theta}_p - m_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + \\ & z_{wp} \sin(\theta_p))(2x_{wp} \sin(\theta_p)\dot{\theta}_p - v - 2z_{wp} \cos(\theta_p)\dot{\theta}_p)))/(I_{py} + 2I_{wxz} + 2m_w w^2 + \\ & 2I_{wy} w^2/r^2 + (I_{px} - I_{py}) \sin(\theta_p)^2 + m_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p))^2) \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} \dot{v} = & ((I_{py} + m_p(x_{wp}^2 + z_{wp}^2))(F_i + (T_l + T_r)/r + m_p(x_{wp} \cos(\theta_p)\dot{\theta}_p^2 + z_{wp} \sin(\theta_p)\dot{\theta}_p^2 + \\ & (x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p))\dot{\beta}^2)) - m_p(x_{wp} \sin(\theta_p) - z_{wp} \cos(\theta_p))(T_l + T_r + \\ & F_i(x_{pi} \sin(\theta_p) - z_{pi} \cos(\theta_p)) - gm_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p)) - ((I_{px} - \\ & I_{py}) \sin(\theta_p) \cos(\theta_p) - m_p(x_{wp} \cos(\theta_p) + z_{wp} \sin(\theta_p))(x_{wp} \sin(\theta_p) - \\ & z_{wp} \cos(\theta_p)))\dot{\beta}^2))/((I_{py} + m_p(x_{wp}^2 + z_{wp}^2))(m_p + 2m_w + 2I_{wy}/r^2) - \\ & m_p^2(x_{wp} \sin(\theta_p) - z_{wp} \cos(\theta_p))^2) \end{aligned} \quad (2.71)$$

Anexa 2.7 Modelarea sistemului de ecuații pentru căruciorul mobil

Se poate elabora forma ecuațiilor de mișcare a unui sistem dinamic pentru scaunul mobil, iar cele două ecuații diferențiale care descriu mișcarea sunt [***, 2.20]:

$$(M_b L^2 + J_b + J_m K_g^2) \ddot{\phi} + (M_b r L \cos \phi - J_m K_g^2) \ddot{\theta} + K_{cs} (\dot{\phi} - \dot{\theta}) - M_b g L \sin \phi = - \frac{K_g K_t}{R} v \quad (2.72)$$

$$(M_b r L \cos \phi - J_m K_g^2) \ddot{\phi} + [(M_b + M_w) r^2 + J_w + J_m K_g^2] \ddot{\theta} - K_{cs} \dot{\phi} + (K_{cs} + K_{cf}) \dot{\theta} - M_b r L \sin \phi \cdot \dot{\phi}^2 = \frac{K_g K_t}{R} v \quad (2.73)$$

Notațiile parametrilor și variabilele implicate în aceste ecuații sunt următoarele: ϕ unghiul de înclinare a scaunului mobil în [rad]; θ unghiul de rotație a roților în [rad]; v este tensiunea de alimentare a motorului în [V]; R este rezistența motorului în [O_{nm}]; M_b este masa totală a scaunului împreună cu masa persoanei care se află pe el, exprimat în [Kg]; M_w este masa roților exprimată în [Kg]; J_b momentul total de inerție a scaunului mobil și a persoanei aflate în el, exprimat în [$Kg \cdot m^2$]; J_w este momentul de inerție a roților exprimat în [$Kg \cdot m^2$]; L este lungimea între mijlocul axului roții și centrul de gravitație a scaunului, exprimat în [m]; r este raza roții, exprimată în [m]; K_{cf} este constanta de amortizare dintre sol și roți, exprimată în [$\frac{N \cdot m}{rad/s}$]; K_{cs} este constanta de amortizare cu axa roții, exprimată în [$\frac{N \cdot m}{rad/s}$]; K_t este constanta de rotație a motorului, exprimată în [$\frac{N \cdot m}{A}$]; K_g este rata de transmisie.

Modelul matematic de liniarizare are scopul de a obține unghiul de înclinație cât mai aproape de 0, adică 90 de grade față de orizontală. Pentru liniarizare vom folosi următoarele caracteristici:

$\sin \phi \approx 1$; $\cos \phi \approx 1$; $\dot{\phi}^2 \approx 0$. Modelul matematic de liniarizare va fi:

$$(M_b L^2 + J_b + J_m K_g^2) \ddot{\phi} + (M_b r L - J_m K_g^2) \ddot{\theta} + K_{cs} (\dot{\phi} - \dot{\theta}) - M_b g L \phi = - \frac{K_g K_t}{R} v \quad (2.74)$$

$$(M_b r L - J_m K_g^2) \ddot{\phi} + [(M_b + M_w) r^2 + J_w + J_m K_g^2] \ddot{\theta} - K_{cs} \dot{\phi} + (K_{cs} + K_{cf}) \dot{\theta} = \frac{K_g K_t}{R} v \quad (2.75)$$

Sistemul de echilibru aplicat căruciorului mobil al pendulului invers, poate fi îmbunătățit.

Stabilitatea și reacția de echilibru a scaunului mobil depinde de distanța punctului centrului de masă față de axa roții. Cu cât sistemul este mai robust, cu atâta modelul matematic și sistemul de stabilitate sunt mai eficiente în menținerea poziției de echilibru [***, 2.20].

Introducerea unor modele matematice de stabilitate în echilibrul scaunelor mobile pentru persoanele cu dizabilități, îmbunătățește modul de utilizare al acestora.

Anexa 2.8 Modelarea sistemului dinamic pentru demonstratorul mobil (D8), drona Parrot AR 2

Poziția dronei pentru V , este definită de cele trei unghiuri ale lui Euler. Din coordonatele inerțiale ale sistemului, drona se poate roti, o dată în jurul axei z , cu un unghi de rotație α , iar în jurul axei y , cu unghiul de înclinare β și în jurul axei x , cu unghiul de înclinare γ [Hehn, 2013], unde:

$${}^O_V R(\alpha, \beta, \gamma) = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) \quad (2.76)$$

În care:

$$R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (2.77)$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (2.78)$$

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.79)$$

Accelerația de translație a dronei este dată de altitudinea vehicolului și forța propulsoare dezvoltată de cele patru motoare. Unde a reprezintă forța de tracțiune colectivă. Accelerația de translație în cadrul inerțial este:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = {}^O_V R(\alpha, \beta, \gamma) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (2.80)$$

Controlul intrărilor este influențat de ratele de rotație ale dronei în jurul axelor $\omega_y, \omega_x, \omega_z$ și de forța colectivă a normalizată în masă.

Rata unghiurilor Euler, ce sunt convertite la coordonatele corpului dispozitivului de zbor V , cu respectivele transformări, este dată de relația:

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + R_x^{-1}(\gamma) \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\beta} \\ 0 \end{bmatrix} + R_x^{-1}(\gamma)R_y^{-1}(\beta) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (2.81)$$

Ecuțiile de mai sus se pot scrie mai compact, utilizând rata Euler într-un singur vector, calculând pașii matricei de rotație și rezolvând rata unghiurilor Euler, prin:

$$\begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \cos\beta\cos\gamma & \cos\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (2.82)$$

Cercetările și rezultatele acestora au dezvoltat controlere liniare pentru stabilizarea pendulului sau a unei drone, care pot fi utilizate pentru stările statice sau dinamice ale echilibrului pendul invers. Controlul pentru stabilitatea circulară a fost validat experimental pentru rezolvarea problemei pendulului invers.

Anexa 2.9 Modelarea sistemului dinamic pentru racheta balistică

Accelerația în direcția normală A_z a rachetei derivă din două componente (forța aerodinamică de ridicare și forța aerodinamică de tragere), iar o diferență mai mare de 0 a lui AOA, generează forțe de ridicare. Accelerarea normală în planul unghiului de înclinare, dinamica și cinematica rachetei, pot fi descrise de patru variabile [Jackson, 2010].

A_z este componenta translației accelerației, normală pe axa longitudinală a rachetei. AOA de unghi α este măsura modului în care racheta este orientată relativ la curentul de aer și este unghiul între vectorul de viteză al rachetei și axa longitudinală a acesteia.

Traectoria de zbor de unghi γ este o măsură a direcției de zbor relativă la spațiul inerțial, care este dată de unghiul dintre vectorul de viteză a rachetei și forța inerțială de referință.

Unghiul de înclinare θ definește direcția relativă a rachetei la spațiul de inerție și este unghiul dintre referința inerțială și axul longitudinal al acesteia.

De asemenea, poate fi dezvoltat un control de intrare δ , cum ar fi devierea cozii rachetei la un anumit unghi.

În general, accelerația rachetei are, de asemenea, o componentă de-a lungul liniei centrale, datorită tracțiunii și rezistenței la înaintare. Pentru un model simplu, de test, se ia ca neglijabilă această accelerație.

Relația fundamentală dintre cele trei unghiuri discutate mai sus este [Jackson, 2010]:

$$\alpha = \theta - \gamma \rightarrow \dot{\alpha} = \dot{\theta} - \dot{\gamma} \quad (2.83)$$

Accelerația unghiulară este momentul aplicat corpului rachetei, divizat de momentul inerției:

$$\ddot{\theta} = \frac{M(\alpha, \delta)}{J} \quad (2.84)$$

Momentul aplicat corpului rachetei este reprezentat de o funcție a controlului de intrare δ și a forței aerodinamice indusă de AOA.

Rata de schimbare a traiectoriei de zbor este o componentă a accelerației rachetei, perpendicular pe vectorul de viteză, divizată de mărimea vectorului de viteză.

Presupunând că AOA este mic, unghiul traiectoriei de zbor va fi:

$$\dot{\gamma} = \frac{A_z \cos(\alpha)}{V} \approx \frac{A_z}{V} \quad (2.85)$$

Accelerația normală este determinată de forța aplicată rachetei, împărțită la propria masă:

$$A_z = \frac{F_z(\alpha, \delta)}{m} \quad (2.86)$$

Forța aplicată este o funcție de intrare, de control δ și forța aerodinamică indusă de AOA. Utilizând relațiile din ecuațiile de mai sus și combinând rezultatele, se obține:

$$\dot{\alpha} = \dot{\theta} - \frac{F_z(\alpha, \delta)}{mV} \quad (2.87)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{M(\alpha, \delta)}{J} \quad (2.88)$$

Cu toate că aceste ecuații diferențiale pot fi rezolvate numeric, o abordare analitică este mai avantajoasă pentru înțelegerea dinamicii rachetei. Presupunând că viteza este constantă, liniarizarea ultimei ecuații conduce la ordinul doi a stării spațiului, descris de dinamica rachetei:

$$\begin{bmatrix} \ddot{\alpha} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{Z_\alpha}{V} & 1 \\ M_\alpha & 0 \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} \alpha \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{Z_\delta}{V} \\ M_\delta \end{bmatrix}}_B \delta \quad (2.89)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ A_z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ A_\alpha & 0 \end{bmatrix}}_C \begin{bmatrix} \alpha \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ Z_\delta \end{bmatrix}}_D \delta \quad (2.90)$$

unde coeficienții numerici sunt definiți de:

$$Z_\alpha = \frac{1}{m} \frac{\partial F_z(\varepsilon, \delta)}{\partial \alpha} \quad (2.91)$$

$$Z_\delta = \frac{1}{m} \frac{\partial M(\alpha, \delta)}{\partial \alpha} \quad (2.92)$$

$$M_\alpha = \frac{1}{J} \frac{\partial M(\alpha, \delta)}{\partial \alpha} \quad (2.93)$$

$$M_\delta = \frac{1}{J} \frac{\partial M(\alpha, \delta)}{\partial \delta} \quad (2.94)$$

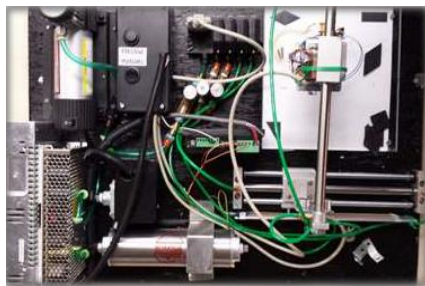
Datorită faptului că aceste ecuații diferențiale rezultă din liniarizare în jurul unui punct de operare, variabilele de stare, de intrare și de ieșire reprezintă, de fapt, perturbațiile de semnal mic în jurul acestui punct de operare.

Datorită importanței acestor dispozitive, atât în armată, cât și în misiuni spațiale, vor fi dezvoltate tot timpul noi sisteme de comandă și control al echilibrului acestora.

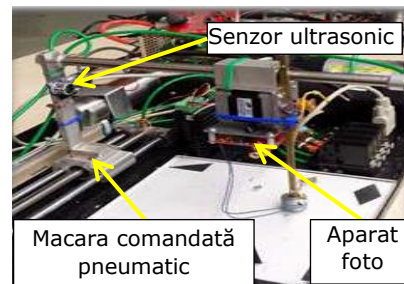
Anexa 3.1 Demonstrator pentru efecte fizice în hidro-pneumatică

Demonstratorul mobil pentru evidența puterii fluidelor din Figura 3.1 este dezvoltat pentru elevi și studenți pentru a înțelege efectele fizice și cum pot fi acestea aplicate în arii tehnice de dezvoltare: robotică și microcontrolere utilizate în electronică [Lumkes, 2014].

S-au utilizat actuatori de dimensiuni reduse precum și alte componente pentru a micșora considerabil gabaritul dispozitivului, făcându-l ușor de transportat. Acest sistem nu are nevoie de setări adiționale, nici umplerea cu apă a sistemului de acționare la fiecare utilizare, acesta se poate alimenta de la orice rețea electrică de 110-220 volți. Acest sistem oferă posibilitatea utilizatorilor de a înțelege cum funcționează și cum sunt integrate componentele electronice, microcontrolerele și actuatorii în sisteme fluidice [Lumkes, 2014].



a) [Lumkes, 2014]



b) [Lumkes, 2014]

Figura 3.1 Demonstrator: a) vedere de sus; b) vedere laterală [Lumkes, 2014]

Modelul are toate părțile componente ale unui circuit pneumatic care arată în mod clar sursa de curgere, ventilele de control, rezervorul și elementele de acționare. Configurarea ușoară a sistemului și simplitatea de transport fac ca acest dispozitiv să fie ideal pentru expunere la conferințe, vizite de formare prin predare etc. [Lumkes, 2014].

La proiectarea mecanică a sistemului, s-a atașat o macara de mici dimensiuni în consola fixă, cu comandă pneumatică și feedback de poziție, precum și un dispozitiv de prindere electromagnetic aflat la capătul unui troliu electric mic (Figura 3.1.b) [Lumkes, 2014]. Semnalul de feedback provine de la un senzor de distanță ultrasonic și un senzor de poziție format dintr-o rezistență variabilă. A fost montat și un aparat de fotografiat sub troliu, pentru a permite recunoașterea contrastului [Lumkes, 2014].

Dispozitivul este controlat de un microcontroler Arduino, care poate să ofere utilizatorilor interacțiunea cu softul de programare. Proiectarea demonstratorului a fost simplificată și îmbunătățită pentru a asigura o funcționare mai bună și mai coerentă a întregului sistem.

Camera folosită pentru identificarea de obiecte a fost montată pe efectorul final pentru o mai bună funcționalitate în urmărire și detectare [Lumkes, 2014].

Componenta electronică de bază, folosită pentru a controla electromagnetul, a fost făcută în așa fel încât să ușureze observarea efectelor și să ofere o mai bună înțelegere a metodelor de funcționare.

Anexa 3.2 Robot mobil care rulează pe o pernă magnetică

La institutul de mașini electrice a Universității Aachen, s-a construit un tren de dimensiuni mici care levitează pe o pernă magnetică. Acest proiect este dezvoltat pentru ca studenții să deprindă noțiuni ale mecatronicii, să poată vedea practic legile forțelor electromagnetice, comparativ cu noțiunile teoretice studiate [Appunn, 2012], [Nagashima, 2011] [Glehn, 2015].

Acest demonstrator se concentrează pe aspecte de proiectarea analitică magnetice, de circuit, simulare câmp numeric, modelare și controlul unui sistem cu mai multe grade de libertate, proiectare circuite electronice, setări de sistem și măsurători, dezvoltarea unui prototip de încercare.

Pentru a încuraja interesul pentru tehnologie și noi construcții tehnice, acest demonstrator, un tren electric, este dezvoltat de la prima fază până la testele de funcționalitate. Prin acest lucru, elevi, studenți și alți utilizatori pot înțelege fenomene fizice rezultante în urma experimentului. În Figura 3.2 este prezentat modelul dezvoltat în acest scop [Appunn, 2012], [Glehn, 2015].

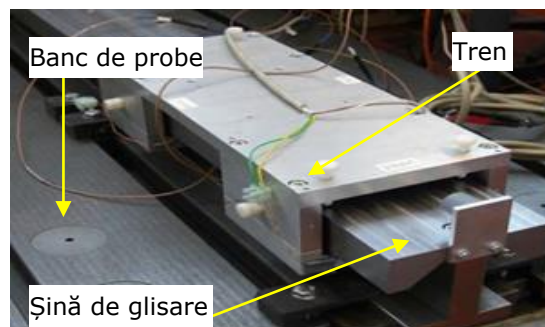


Figura 3.2 Trenul care levitează pe o pernă magnetică și bancul de teste [Appunn, 2012]

În literatura de specialitate se fac numeroase referiri la trenurile care plutesc pe o pernă magnetică, la construcția și principiul lor de funcționare [Kim, 2011], [Cho, 2011]. Trenul demonstrator din [Post, 2000], utilizează forțele de respingere create de matricea Halbach a magneților permanenți pentru levitarea magnetică. Mai multe dispozitive care levitează folosind energia magnetică sau se deplasează pe o pernă magnetică, sunt prezentate în referințele [Ogata, 2011], [Yen, 2012], [Watkins, 2003]. În alte materiale [Watkins, 2003], [Shiakolas, 2003], [Dragos, 2010], principiul de levitare magnetică și control al unor dispozitive este folosit pentru a demonstra studenților și utilizatorilor teoria studiată, combinată cu partea experimentală.

Așteptările din punct de vedere al dezvoltării demonstratorului se îndreaptă spre modelarea sistemelor cu mai multe grade de libertate, controlul spațiului de mișcare, dezvoltarea unui sistem de control liniar. Trenuri care funcționează pe o pernă magnetică sunt cele precum Transrapid din Germania sau Maglev din China.

Proiectul se împarte în etape individuale de proiectare, în dezvoltarea trenului la scară mică. Proiectarea circuitului magnetic al actuatorilor ce levitează și a sistemului de ghidare-levitație, s-a făcut în așa fel încât să reducă consumul

electric al trenului, folosind actuatore hibrid [Schmülling, 2007] care constă din magneți permanenți și bobine electrice.

Elementele de acționare sunt dimensionate pentru a putea compensa greutatea trenului, utilizând forțele de compensare create de magneți permanenți.

Bobinele sunt amplasate lateral, în interiorul șinelor, prin două configurații vizibile. În Figura 3.2.a [Appunn, 2012] este prezentat modelul T și modelul X. În Figura 3.2.b [Appunn, 2012] se poate vedea densitatea fluxului magnetic în jugul metalic tip T, al actuatorului magnetic permanent, folosit pentru levitare trenului, rezultat în urma forțelor de respingere.

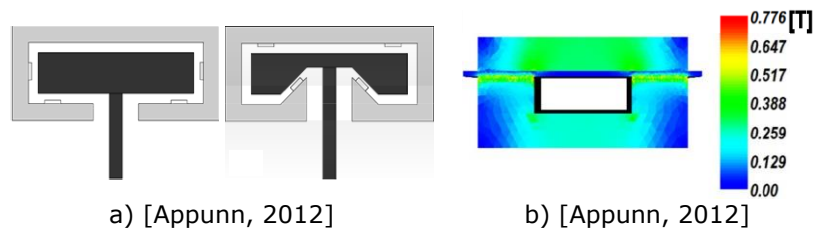


Figura 3.2 a) Sistemele de ghidare tip T și X; b) Densitate flux magnetic sistem tip T

Prin acest proiect, elevii, studenții și utilizatorii au înțeles și au dezvoltat un sistem mecatronic complex, folosit la integrarea teoriei cunoscute în proiectarea inginerescă a unui model fizic real.

Acest demonstrator construit poate fi utilizat la cursuri și laboratoare pentru o înțelegere mult mai clară a fenomenelor teoretice studiate, a fenomenelor de acționare magnetică, proiectare de componente noi, măsurători ale valorilor fizice apărute, modelarea și controlul în câmp magnetic, încercare de prototipuri dezvoltate.

- [Glehn, 2015] G Glehn, R Appunn, K Hameyer, A Small Scale Magnetically Levitated Train for Project-Based Laboratory Education, Archives Of Electrical Engineering. Vol. 64, Issue 4, Pp. 617-628, 2015.
- [Lumkes, 2014] John Lumkes, Fluid Power Mechatronics Demonstrator for Education and Outreach, Progress Report for Nfpa, April 2014.
- [Nagashima, 2011] K. Nagashima, Trial Manufacture Of Small Hts Magnet Using 2g Tapes for Maglev Train Application, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 21 (3) (2011) 1556-1559.
- [Post, 2000] R. F. Post, D. D. Ryutov, The Inductrack, A Simpler Approach To Magnetic Levitation, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 10 (1) (2000) 901-904.
- [Schmülling, 2007] B. Schmülling, O. Effing, K. Hameyer, State Control Of An Electromagnetic Guiding System for Ropeless Elevators, In, European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg, Denmark, Sept. 2-5, 2007. Epe, September 2007, Pp. 1-10.

Anexa 3.3 Robot mecatronic care sudează și vopsește

Un demonstrator care folosește tehnologia paralelă și construcția în concordanță cu principiile mecatronice, a fost construit pentru a putea demonstra utilizarea lui la scală industrială în procese de sudură și vopsire, prin pulverizare, model prezentat în Figura 3.3. [***.3.1].



Figura 3.3 Robot de serie pentru sudare sau vopsire prin pulverizare [***.3.1]

Roboții actuali, care execută aceste operații de sudare și vopsire, sunt produși în serie, au un volum considerabil, greutate mare și un preț ridicat.

Avansul rapid al tehnologiei face trecerea de la componentele mecanice – electrice, la folosirea lor într-o multifuncționalitate de procese, dezvoltând sisteme mecatronice complexe, constituite din parte electronică și software.

Soluțiile mecanicii tradiționale la sistemele mecatronice au fost mult îmbunătățite sau chiar înlocuite. Acest lucru aduce îmbunătățiri industriei cum ar fi: modularizarea; dezvoltarea caracteristicilor și a funcționalității; controlul de precizie în execuție; eficiență îmbunătățită; cost scăzut de achiziție și întreținere; flexibilitate în design; fiabilitate sporită; reducerea dimensiunii gabaritice; siguranță sporită în timpul funcționalității; legătura cu manipulatorul mult mai prietenoasă.

În cele mai multe cazuri, dezvoltarea unui robot este împărțită în două faze succesive. Una ține de proiectarea mecanică, iar cea de-a doua ține de proiectarea sistemului de control. Proiectarea, din punct de vedere al mecanicii, nu este influențată de construcția sistemului de control, proiectarea încearcă să ofere robotului o rigiditate cât mai crescută pentru a fi ușor de controlat în timpul execuțiilor [***.3.1].

Abordarea mecatronicii presupune în detaliile ei, o abordare concomitentă sau paralelă cu proiectarea, adică arhitectura mecanică este concepută în paralel cu o strategie mai sofisticată de control, bazată pe un model de bază.

Într-o arhitectură serială robotică, fiecare mișcare a axei dispozitivului de acționare este în linie față de cea precedentă, într-un lanț cinematic deschis. Într-o topologie paralelă, fiecare dintre motoare sau generatoare de mișcare generală au un aranjament fix și o poziție în spațiu.

Prin proiectarea unui sistem robotic hibrid, cu un aranjament combinat de mecanisme paralele și seriale, pot fi atinse cele mai bune caracteristici arhitecturale și funcționale.

Utilizând sistemele paralele în construcția roboților, rezultă roboți care au o stabilitate foarte crescută și brațul de manipulare mult mai rigid. De asemenea, rigiditatea structurală ridicată a unui lanț cinematic cu buclă închisă îi permite să exercite forțe puternice în spațiul de lucru al acestuia [***.3.1].

Topologia arhitecturii hibride crește fiabilitatea de manevrare în medii ambientale cu temperaturi diferite, are un consum de energie mic, costurile de producție sunt mai mici pentru acest tip de sistem mecatronic [***.3.1].

[***, 3.1] www.csir.co.za/msm/Mechatronics_&_Manufacturing/news/news01.html

Anexa 4.1 Date tehnice ale oscilatorului Fluke PM 3380A și telemetru laser Bosch DLE 70 Professional

Fluke PM 3380A



Este un dispozitiv de afișare grafică. În majoritatea aplicațiilor, graficul arată modul în care semnalele se modifică în timp: axa verticală (Y) reprezintă tensiunea și axa orizontală (X) reprezintă timpul, intensitatea sau luminozitatea ecranului se numește uneori axa Z.

Osciloscopul Fluke PM3380A poate reda detalii despre un semnal, cum ar fi: valorile în timp și de tensiune ale unui semnal, frecvența unui semnal oscilant, „piese în mișcare” ale unui circuit reprezentat de semnal, frecvența cu care o anumită parte a semnalului se produce în raport cu alte porțiuni, dacă există sau nu o componentă defectă (aceasta distorsionează semnalul), cât de mult un semnal este curent continuu (DC) sau curent alternativ (AC) și cât de mult semnalul conține zgomote de fundal și dacă zgomotul se schimbă treptat în timp.

Caracteristici tehnice osciloscop digital Fluke PM3380A:

Lățime de bandă: 100MHz;

Număr de canale: 2ch;

Rata de eșantionare: 100MSa / s;

100 MHz, 2 + 1 canal Combiscope.

[<http://www.testmart.com/sp.cfm/DIGOSC/FLU/PM3380A/1.html> acc.10.12.2016]

Telemetru laser Bosch DLE 70 Professional



Caracteristicile sunt conform documentației după cum urmează:

Domeniu de măsurare: 0.05 – 70 m

Precizie la măsurare: ± 1.5 mm

Distanța minimă indicată: 1 mm

Clasa laser: 2

Tip laser: 635 nm, <1mW

Clasa protecție praf, apă: IP 54

Alimentare: Baterii/Acumulatori 4 x 1.5 V (AAA)

Durata de viață baterii: aprox. 30.000 măsurători individuale;

5.000 măsurători continue

Oprire automată după aproximativ: 20 s (raza laser); 5 min (aparat)

Adaptator stativ: 1/4"

Dimensiuni: 59 x 100 x 32 mm

Masa: cca. 180 g

[www.bosch-professional.com acc.10.12.2016]

Anexa 4.2 Caracteristici tehnice și constructive pentru componente Lego NXT-2

Caracteristici tehnice și constructive componente electronice Lego NXT-2



CPU LEGO NXT-2 cu senzorii și actuatorii atașați consolei

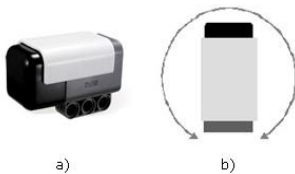
CPU: Microcontroler ARM7 pe 32-biți; Memorie: 256 Kbytes FLASH, 64 Kbytes RAM; Microcontroler AVR pe 8-biți; Memorie: 4 Kbytes FLASH, 512 Byte RAM; Comunicare Bluetooth; 1 port USB; 4 porturi de intrare; 3 porturi de ieșire; LCD cu rezoluția de 100x64 pixeli; Difuzor încorporat; Sunet cu rezoluție pe 8-biți; Alimentare: 6 baterii AA sau acumulatori.

Setul LEGO MINDSTORMS NXT-2 are în componență: 3 servomotoare cu senzori de rotație încorporați; 1 senzor acustic; 1 senzor ultrasonic; 1 senzor de atingere; 1 senzor de lumină; 3 becuri; 519 elemente constructive; 7 cabluri; 1 cablu de date suport USB 2.0. [***.1], [***.5], [***.6].

Senzorul giroscopic Lego NXT-2

Acesta dă numărul de grade pe secundă a rotației, iar măsura rotației are un spectru de $\pm 360^\circ$ pe secundă. Senzorul se conectează la portul platformei NXT-2 printr-un cablu standard, utilizând interfața analogică a acestuia.

Rata de citire a informației giroscopice se poate face cu aproximativ 300 Hz/secundă. Axa de măsură este pe plan vertical, cu capacul negru al senzorului giroscopic poziționat în sus, după cum este prezentat în a), iar în b) este poziționarea senzorului giroscopic în plan vertical. Ieșirea valorii senzorului poate fi influențată de temperatura și de toleranța de fabricare, la care, în cazul staționării senzorului, pot apărea valori diferite de zero. Pentru a compensa aceste probleme de zero ale senzorului, se poate ajusta offsetul cu valoarea pe care acesta o citește, în momentul în care poziția senzorului este fixă și nu se rotește [***.4].



a)

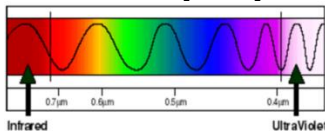
b)



a) Senzor de lumină



b) Modul de detecție a senzorului [***.2]



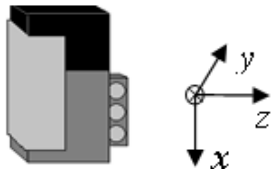
c) Spectrul electromagnetic de recepție al senzorului [***.2]

Senzor optic Lego NXT-2

Senzorul de lumină a), este construit cu un LED care emite lumină și o foto celulă care recepționează semnalul luminos emis de LED sau, în cazul în care ledul emițător este oprit, analizează intensitatea luminoasă din mediul înconjurător b). Senzorul de lumină detectează intensitatea luminoasă pe care o percepe și o convertește într-o valoare numerică exprimată în procente (%) din luminozitate maximă ce o poate detecta. Prin recepția luminii reflectate de suprafețe se poate stabili gradul de reflecție a suprafeței c). Senzorul poate măsura intensitatea luminii reflectată de suprafețe, dar la o distanță mică, cu cât crește distanța între senzor și suprafața, cu atât crește și gradul de eroare. Senzorul măsoară nivelul diferenței de luminozitate dintre întuneric și lumină al mediului ambiant. Detecția se face prin măsurarea pozitivă a luminii reflectată plus lumina ambiantă care dă o scală de luminozitate încadrată între 0 și 100, aspecte care pot fi evidențiate utilizând software-ul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming [***.1], [***.2].

Caracteristici tehnice și constructive componente electronice Lego NXT-2

Senzorul de accelerație Lego NXT-2



Senzorul de accelerație se conectează la unul din cele 4 porturi ale platformei NXT-2, folosind protocolul de comunicare I2C. Senzorul este construit pentru a măsura înclinarea în mod separat pe cele 3 axe: X, Y, Z. Intervalul de accelerație este -2g până la +2g, cu o frecvență de aproximativ 200 calcule/g. Când senzorul este în poziție statică (nu se mișcă), pe poziția orizontală, axa x și axa y sunt aproape de valoarea zero pentru că se află în poziție orizontală, pe când axa z va fi aproape de valoarea 200 care reprezintă 1 g. Dacă se înclină senzorul, forța gravitațională va fi detectată pe fiecare axă și valoarea axei z va scădea. Deoarece gravitația este distribuită între componenta celor trei vectori, înclinarea senzorului poate fi determinată [***.3].

Servomotorul electric Lego NXT-2



Motorul care face posibilă mișcarea are caracteristicile în funcție de tensiunea aplicată:

Tensiune 9 V – cuplu la blocaj 50 Ncm;

Tensiune 9 V – current la blocaj 2 A;

Tensiune 9 V – current fără sarcină 60 mA;

Tensiune 9 V – rotația de învârtire 170 rpm/min.

Fiecare motor are un senzor de rotație intern. Acest senzor oferă posibilitatea de control asupra motoarelor într-o manieră destul de precisă. Senzorul de rotație măsoară rotația în grade sau rotații complete, cu o eroare de ± 1 grad. Unei rotații complete îi corespunde o rotație de 360 de grade [***.4].

Adresele dedicate fiecărei axe ale senzorului de accelerație Lego NXT-2 [***.3]

Adresă	Tip	Conținut
42H	Byte	Axa superioară X 8 biti
43H	Byte	Axa superioară Y 8 biti
44H	Byte	Axa superioară Z 8 biti
45H	Byte	Axa inferioară X 8 biti
46H	Byte	Axa inferioară Y 8 biti
47H	Byte	Axa inferioară Z 8 biti

Caracteristici servomotor Lego NXT-2 în funcție de tensiune [***.4]

Voltaj	Cuplu	Viteza rotire	Curent	Putere mecanică	Putere electrică	Eficiență
4.5 V	16.7 N.cm	33 rpm	0.6 A	0.58 W	2.7 W	21.4 %
7 V	16.7 N.cm	82 rpm	0.55 A	1.44 W	3.85 W	37.3 %
9 V	16.7 N.cm	117 rpm	0.55 A	2.03 W	4.95 W	41 %
12 V	16.7 N.cm	177 rpm	0.58 A	3.10 W	6.96 W	44.5 %

[***.1] www.legoengineering.com/wp-content/uploads/2013/06/download-tutorial-pdf-2.4MB.pdf acc.10.12.2016

[***.2] www.teachengineering.org/collection/umo_/lessons/umo_sensorswork/umo_sensorswork_lesson05_presentation_v2_tedl_dwc.pptx acc.10.12.2016

[***.3] www.hitechnic.com/cgi-bin/commerce.cgi?preadd=action&key=NAC1040 acc.10.12.2016

[***.4] <http://www.philohome.com/motors/motorcomp.htm> acc.10.12.2016

[***.5] www.legoengineering.com/nxt-sensors acc.10.12.2016

[***.6] www.neisd.net/et/robotics/9797_LME_Userguide_low7.pdf acc.10.12.2016

Anexa 4.3 Caracteristici tehnice și constructive componente electronice robot mobil

Senzorul giroscopic L3G400D



Circuit integrat are un: accelerometru, giroscop și senzor de temperatură. Acesta poate comunica pe interfața I2C. Caracteristici tehnice: Rată de ieșire: 16 bit; Ieșirea datelor de temperatură: 8-bit; Tensiune de alimentare: 2.4V - 3,6V; Compatibilitate tensiune mică IOs (1.8 V); Tensiune magistrală I2C: 3.3V (MAX); Curent: 5mA; Plajă de programare pentru giroscop: ±250, ±500, ±1000, ±2000 dps; Plajă de programare pentru accelerometru: ±2g, ±4g, ±8g, ±16g; Interval măsurare temperatură: -40oC - +85oC; Frecvență maximă I2C/SPI: 400kHz; Stabilitate mare la modificări de temperature; Dimensiuni: 20mm x 15mm. [<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/04/46/d6/00/be/d9/46/ae/CD00265057.pdf/files/CD00265057.pdf/jcr:conte nt/translations/en.CD00265057.pdf>] acc.10.12.2016

Controlerul Arduino Uno R3



Controlerul Arduino Uno R3 este un micro-controler, bazat pe tehnologia Atmega 328. Caracteristicile tehnice ale plăcii de dezvoltare Arduino Uno, conform documentației [***, 4.8], sunt următoarele: Microcontroler: ATmega 328; Tensiune de operare: 5V; Tensiune de intrare (recomandat): 7 - 12V; Tensiune de intrare (limită): 6 -20V; Pini I/O digitali: 14; Pini analogici de intrare: 6; Curent DC pe I/O pin: 40mA; Curent DC pentru 3.3V pin: 50mA; Memorie flash: 32 KB; SRAM: 2 KB; EEPROM: 1 KB; Ceas intern: 16 MHz; Lungime x lățime: 68.6mm x 53.4mm; Masa: 25g. [www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage acc.10.12.2016]

Motor electric Parallax continuos rotation



Motoarele Parallax sunt foarte potrivite pentru diverse montaje robotizate în care este necesară o turație variabilă și schimbare de sens a direcției. Caracteristicile acestui servomotor electric sunt: rotație continuă bidirecțională; 0-50 RPM, cu un răspuns liniar PWM; Interfața poate fi stabilită cu orice micro controler Parallax sau alt dispozitiv care folosește sistemul PWM de comandă; Foarte ușor de controlat cu comanda PULSOUT în PBASIC sau SX/B; Cântărește 42,5 g; Alimentare nominală: 6 V; Cerințe de alimentare: 4 - 6 VDC; Curent maxim de absorbție 140 +/- 50 mA la 6 VDC atunci când funcționează fără să fie în sarcină, 15 mA atunci când este în poziția de staționare; Comunicare prin lățimea impulsului de modulare; Dimensiuni: (5.58x 1,9 x 4,06 cm); Interval temperatură de funcționare: 10 la +50 °C.

[<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/900-00008-Continuous-Rotation-Servo-Documentation-v2.2.pdf>] acc.10.12.2016

Senzorul ultrasonic Parallax Ping))) 28015



Acesta prezintă următoarele caracteristici funcționale: Tensiune de alimentare 5V cc; Curent absorbit: 30 mA tipic, 35 mA maxim; Domeniu de măsurare între 2 cm și 3 m; Impulsul de declanșare a măsurării: 2 μs minim, 5 μs tipic; Semnalul receptat ca ecou între 115 μs și 18.5 ms; Frecvența de baleiere 40 KHz pentru 200 μs. [www.parallax.com/product/28015] acc.10.12.2016

Senzorul infraroșu Sharp 2Y0A02 F 2



Caracteristici tehnice: Tensiune de alimentare între 4.5V și 5.5V cc; Curent absorbit 30 mA; Domeniu de măsurare între 10 cm și 80 cm; Tipul ieșirii: Voltaj analogic; Temperatura de funcționare între -10°C și 60°C; Masa: 3.5g.

[http://www.robotstorehk.com/gp2y0a02_e.PDF] acc.10.12.2016

Anexa 4.4 Firmware-ul încărcat în controlerul Arduino Uno R3 pentru demonstratorul mecatronic humanoid (D3)

Firmware-ul pentru demonstratorul mecatronic humanoid (D3).	
<pre> //---ROBOT MOBIL-ARDUINO+GIRO- 3G4200D+MOTOARE-PARALLAX CONTINUOS ROTATION ---//// #include <SPI.h> // Include biblioteca comunicare protocol SPI. #include <Servo.h> // Include servo library. #include <PID_v1.h> // #include <PID_AutoTune_v0.h> // Servo servoLeft; // Declare left servo signal. Servo servoRight; // Declare right servo signal. byte countS = 0; //03 int recOmegaI[10]; //05 int omegaI = 0; //06 long thetaI = 0; //07 long sumPower = 0; //08 long sumSumP = 0; //09 //"(powerScale)motor torque = k1 * angle of pendulum+ k2 * angular velocity of pendulum+ k3 * velocity of the lower end of pendulum+ k4 * displacement of the lower end of pendulum from a reference point" //"powerScale = (kAngle * thetaI / 100) + (kOmega * omegaI / 100) + (kSpeed * vE5 / 1000) + (kDistance * xE5 / 1000);" ///PARAMETRI REGLARE ECHILIBRU//////// const int kAngle = 50; //10 // 50 Modifica pt. echilibru. angle of pendulum const int kOmega = 500; //11 // 500 MODIFICA pt. echilibru. angular velocity of pendulum const long kSpeed = 60; //12 // 60 Modifica pt. echilibru (critic pt. echilibru).velocity of the lower end of pendulum const long kDistance = 18; //13 // 20 Modifica pt. echilibru. displacement of the lower end of pendulum from a reference point. (cade in fata sau in spate) ////////CONSTANTE REGLARE PID//////// int kAnglePID; // PID angle of pendulum int kOmegaPID; // PID angular velocity of pendulum long kSpeedPID; // PID velocity of the lower end of pendulum long kDistancePID; // PID displacement of the lower end of pendulum from a reference point long powerScale; //14 int power; //15 long vE5 = 0; //16 </pre>	<pre> chkAndCtl(); // //// Setare parametrui motoare echilibru -- PARALLAX continuous rotation -- // if (power > 0) // Actiune Intr-o parte // 32 { int val_A = map(val_A, power, -power, 1501, 1100); servoRight.writeMicroseconds(val_A); Serial .print("val_A"); Serial .println(val_A); int val_B = map(val_B, -power, power, 1501, 1900); servoLeft.writeMicroseconds(val_B); // Serial .print("val_B"); Serial .println(val_B); } else // Actiune in cealalta parte { int val_C = map(val_C, -power, power, 1501, 1900); servoRight.writeMicroseconds(val_C); // Serial .print("val_C"); Serial .println(val_C); int val_D = map(val_D, power, -power, 1501, 1100); servoLeft.writeMicroseconds(val_D); // Serial .print("val_D"); Serial .println(val_D); } } //////////END//////// // PARAMETRII ECHILIBRU//////// void chkAndCtl() { //55 R = 0; //DL26 (These 7 lines, DL26-DL32, //ry = -(L3G4200D_read(0x2B) << 8 ) | L3G4200D_read(0x2A)); //DL28 (linie originala) Y=(0x2B)H+ Y(0x2A)L-. (DACA sensul giro este pus invers, se inverseaza directia de actiune) ry = ((L3G4200D_read(0x2B) << 8 ) | L3G4200D_read(0x2A)); //DL28 (linie originala) Y=(0x2B)H+ Y(0x2A)L-. R = R + ry; //DL29 (linie originala) (ofsetul 0 + pozitia actuala axa Y, ????) delayMicroseconds(90); //DL30 } //DL31 </pre>

Firmware-ul pentru demonstratorul mecatronic humanoid (D3).	
<pre> long xE5 = 0; //17 int ry; //DL2 // GIRO long R; //DL3 // GIRO //DEFINIRE PARAMETRI GIROSCOP L3G4200D// void L3G4200D_write(byte reg, byte val) { //DL4 digitalWrite(10, LOW); //DL5 SPI.transfer(reg); //DL6 SPI.transfer(val); //DL7 digitalWrite(10, HIGH); //DL8 } //DL9 byte L3G4200D_read(byte reg) { //DL10 byte ret = 0; //DL11 digitalWrite(10, LOW); //DL12 SPI.transfer(reg | 0x80); //DL13 ret = SPI.transfer(0); //DL14 digitalWrite(10, HIGH); //DL15 return ret; //DL16 } //DL17 void setup () { //18 Serial .begin(9600); //19 ///// SETARE PARAMETRII MOTOARE //// servoLeft.attach(5, 1300, 1700); // Attach Left signal to pin 6.attach(pin, min, max) - Attaches to a pin setting min and max values in microseconds default min is 544, max is 2400 servoRight.attach(6, 1300, 1700); // Attach Right signal to pin 5. Attach(pin, min, max) - Attaches to a pin setting min and max values in microseconds default min is 544, max is 2400 for (int i = 0 ; i < 10 ; i++) { recOmegaI[i] = 0; //25 ("int" is added instead of line 2 omitted.) } ///// SETARE PARAMETRII GIRO-L3G4200D //// pinMode(10, OUTPUT); //DL18 (These 8 lines, DL18-DL25, are added in this version.) digitalWrite(10, HIGH); //DL19 SPI.begin(); //DL20 SPI.setBitOrder(MSBFIRST); //DL21 SPI.setDataMode(SPI_MODE3); //DL22 SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV2); //DL23 are added in this version.) for (int i = 0 ; i < 45 ; i++) { // DL27 ("int" is added instead of line 2 omitted.) L3G4200D_write(0x20, B11001111); //DL24 L3G4200D_write(0x23, B00000000); // DL25 delay(300); //26 } //30 void loop () { //31 </pre>	<pre> omegaI = R * 0.00875 / 45; //DL32 (original) // This sensor outputs angular velocity as a 16bit integer. In this instructable the minimum range (+/- 250dps) is adopted, where a digit of output means 0.00875dps. if (abs(omegaI) < 2) { omegaI = 0; //57 (The lower bound is less than 2 in this version.) } recOmegaI[0] = omegaI; thetaI = thetaI + omegaI; countS = 0; //60 for (int i = 0 ; i < 10 ; i++) { // ("int" is added instead of line 2 omitted.) if (abs(recOmegaI[i]) < 4) { countS++; //62 (The lower bound is less than 4 in this version.) } } if (countS > 9) { thetaI = 0; // 65 vE5 = 0; xE5 = 0; sumPower = 0; sumSumP = 0; } //70 for (int i = 9 ; i > 0 ; i--) { recOmegaI[i] = recOmegaI[i - 1]; // ("int" is added instead of line 2 omitted.) } //"(powerScale)motor torque = k1 * angle of pendulum+ k2 * angular velocity of pendulum+ k3 * velocity of the lower end of pendulum+ k4 * displacement of the lower end of pendulum from a reference point" powerScale = (kAngle * thetaI / 100) + (kOmega * omegaI / 100) + ((kSpeed * (kSpeedPID / 100)) * vE5 / 1000) + (kDistance * xE5 / 1000); // 72 power = max (min (95 * powerScale / 100 , 255) , -255); //power = max (min (95 * powerScale / 100 , 1700) , 1300); sumPower = sumPower + power; // 74 ?? sumSumP = sumSumP + sumPower; // 75 // 76 and 77 should be used to estimate variabel data in real time. vE5 = sumPower; //76a xE5 = sumSumP / 1000; // 1000 //77a } //78 //////////END//////// </pre>

Anexa 4.5 Codul PS generat de softul Eagle pentru desenul unei biciclete

Cod desen bicicletă	
<pre> %!PS-Adobe-3.0 EPSF-3.0 %%Title: EAGLE Drawing C:/Program Files (x86)/EAGLE-6.5.0/bitl-luk.brd %%Creator: EAGLE %%Pages: 1 %%BoundingBox: 0 0 576 810 %%EndComments % Coordinate transfer: /EU { 254 div 0.072 mul } def /inch { 72 mul } def % Linestyle: 1 setlinecap 1 setlinejoin % Drawing functions: /l { % draw a line /lw exch def /y2 exch def /x2 exch def /y1 exch def /x1 exch def newpath x1 EU y1 EU moveto x2 EU y2 EU lineto lw EU setlinewidth stroke } def /h { % draw a hole /d exch def /y exch def /x exch def d 0 gt { newpath x EU y EU d 2 div EU 0 360 arc currentgray dup 1 exch sub setgray fill setgray } if } def /b { % draw a bar /an exch def /y2 exch def /x2 exch def /y1 exch def /x1 exch def /w2 x2 x1 sub 2 div EU def /h2 y2 y1 sub 2 div EU def gsave x1 x2 add 2 div EU y1 y2 add 2 div EU translate an rotate </pre>	<pre> % set the origin: LeftMargin BotMargin translate RotateDrawing { 0 PageHeight translate -90 rotate PageHeight Column mul neg PageWidth Row mul neg translate } PageWidth Column mul neg PageHeight Row mul neg translate } ifelse } ifelse % move the lower left corner of the drawing to the origin: MinDrawX neg MinDrawY neg translate % Linestyle: 1 setlinecap 1 setlinejoin } def % TheDrawing gsave 0 0 SelectPage 260604 260604 254000 8128 c 1784604 260604 254000 8128 c 260604 260604 203200 4064 c 1784604 260604 203200 4064 c 260604 260604 50800 8128 c 1784604 260604 50800 8128 c 260604 260604 11000 4064 c 1784604 260604 11000 4064 c 1100428 277260 90000 4064 c 1784604 260604 30000 8128 c 1100428 277260 70000 4064 c 1096270 266156 8766 4064 c 300209 757842 18392 4064 c 159004 438404 260604 311404 4064 l 260604 463804 298704 286004 4064 l 463804 235204 298704 286004 4064 l 362204 438404 311404 247904 4064 l 425704 374904 298704 222504 4064 l 463804 286004 298704 222504 4064 l 451104 197104 273304 209804 4064 l 184404 70104 273304 209804 4064 l 400304 108204 247904 209804 4064 l 95504 146304 247904 209804 4064 l 273304 57404 209804 247904 4064 l 133604 95504 209804 273304 4064 l 70104 197104 222504 298704 4064 l 70104 311404 247904 311404 4064 l 400304 413004 235204 298704 4064 l 451104 336804 273304 311404 4064 l 425704 146304 311404 260604 4064 l </pre>

Cod desen bicicletă	
newpath	324104 70104 311404 273304 4064 |
w2 h2 moveto	57404 273304 222504 222504 4064 |
w2 neg h2 lineto	108204 387604 209804 260604 4064 |
w2 neg h2 neg lineto	222504 463804 222504 286004 4064 |
w2 h2 neg lineto	1695704 438404 1810004 298704 4064 |
closepath	1822704 463804 1835404 260604 4064 |
fill	1937004 120904 1835404 260604 4064 |
grestore	1937004 400304 1822704 235204 4064 |
} def	1835404 57404 1822704 235204 4064 |
/c { % draw a circle	1987804 298704 1822704 222504 4064 |
/lw exch def	1975104 184404 1797304 209804 4064 |
/rd exch def	1721104 70104 1797304 209804 4064 |
/y exch def	1898904 95504 1771904 209804 4064 |
/x exch def	1619504 146304 1771904 209804 4064 |
newpath	1784604 57404 1746504 235204 4064 |
lw EU setlinewidth	1670304 95504 1733804 260604 4064 |
x EU y EU rd EU 0 360 arc	1657604 413004 1733804 260604 4064 |
stroke	1771904 463804 1733804 260604 4064 |
} def	1594104 184404 1746504 286004 4064 |
/a { % draw an arc	1581404 286004 1759204 298704 4064 |
/lc exch def	1619504 374904 1771904 311404 4064 |
/ae exch def	1886204 438404 1771904 311404 4064 |
/as exch def	1962404 349504 1784604 311404 4064 |
/lw exch def	1987804 222504 1835404 286004 4064 |
/rd exch def	1581404 247904 1759204 222504 4064 |
/y exch def	1594104 336804 1733804 247904 4064 |
/x exch def	270300 255741 374947 535397 4064 |
lw rd 2 mul gt {	262650 258092 271013 4064 8.03 128.03 1
/rd rd lw 2 div add 2 div def	a
/lw rd 2 mul def	262947 263967 289192 4100 2.76 131.70 1
} if	a
currentlinecap currentlinejoin	532217 295303 551618 277260 4064 |
lc setlinecap 0 setlinejoin	97127 471702 70112 480035 4064 |
newpath	252289 259216 357609 552076 4064 |
lw EU setlinewidth	376285 536247 386675 531387 4064 |
x EU y EU rd EU as ae arc	386675 531387 401914 584849 4064 |
stroke	358274 552216 368665 577906 4064 |
setlinejoin setlinecap	344123 587832 26473 4064 337.98 371.66 1
} def	a
/p { % draw a pie	403300 585543 372128 593180 4064 |
/d exch def	372821 593088 365201 595864 4064 |
/y exch def	365201 595864 367972 604888 4064 |
/x exch def	367972 604888 409534 594476 4064 |
newpath	409534 594476 402607 584758 4064 |
x EU y EU d 2 div EU 0 360 arc	368696 604818 418584 764434 4064 |
fill	418584 764434 456000 756106 4064 |
} def	456000 756106 450457 736675 4064 |
/edge { 0.20710678119 mul } def	450457 736675 1281917 688096 4064 |
/o { % draw an octagon	1281917 688096 1287460 739450 4064 |
/an exch def	1287460 739450 1331805 725571 4064 |
/dy exch def	1331805 725571 1327608 678339 4064 |
/dx exch def	1327608 678339 1797444 257828 4064 |
/y exch def	1775271 253664 1319334 628414 4064 |

Cod desen bicicletă	
/x exch def	1772500 266156 1115623 282811 4064 |
gsave	1789129 248112 1085148 246724 4064 |
x EU y EU translate	411655 596491 425513 602042 4064 |
an dx dy lt { 90 add /dx dy /dy dx def def }	425513 602042 1083763 248112 4064 |
if rotate	1126759 278648 1318006 627026 4064 |
newpath	1121216 281423 1076868 285587 4064 |
0 dx 2 div sub EU	1076868 285587 429677 643681 4064 |
0 dy edge	429677 639517 449079 699200 4064 |
add EU moveto	449079 699200 1275045 645069 4064 |
0 dx dy sub 2 div sub dy edge sub EU 0	1275045 645069 1082412 281423 4064 |
dy 2 div add EU lineto	1094884 185654 1793352 228681 4064 |
0 dx dy sub 2 div add dy edge add EU 0	1097656 367477 1793352 291139 4064 |
dy 2 div add EU lineto	1096270 343882 1097656 267544 4064 |
0 dx 2 div add EU	1097656 267544 1158633 311959 4064 |
0 dy edge	1099042 266156 1165563 245336 4064 |
add EU lineto	1099042 266156 1040836 237009 4064 |
0 dx 2 div add EU	1100428 266156 1087955 206474 4064 |
0 dy edge	1097656 266156 1043608 314734 4064 |
sub EU lineto	1093499 271708 974316 225905 4064 |
0 dx dy sub 2 div add dy edge add EU 0	1103200 259216 974316 209249 4064 |
0 dy 2 div sub EU lineto	963229 218271 15393 4064 318.77 504.12 1
0 dx 2 div sub EU	0 dy edge
sub EU lineto	a
closepath	978473 209249 941055 187042 4064 |
fill	941055 187042 927197 206474 4064 |
grestore	953528 228681 923039 206474 4064 |
} def	1785037 261298 275678 4064 1.27 196.23 1
% the real drawing size:	a
/MinDrawX 0 EU def	1785081 260902 297700 4064 354.51
/MinDrawY 0 EU def	561.41 1 a
/MaxDrawX 2107224 EU def	1521094 181261 1508362 151507 4064 |
/MaxDrawY 974909 EU def	2061506 270522 2081312 225183 4064 |
% the usable page size:	1288929 738009 1280442 740843 4064 |
/LeftMargin 0.25 inch def % change these if	1280442 740843 1280442 755009 4064 |
drawing gets clipped!	1280442 755009 1344093 739426 4064 |
/BotMargin 0.25 inch def	1344093 739426 1346922 721010 4064 |
/PageWidth 7.7500 inch def	1346922 721010 1331363 723843 4064 |
/PageHeight 11.0000 inch def	1327120 743676 1341264 823007 4064 |
% are we going to rotate?:	1363930 823007 22666 4064 90.00 180.00 1
/RotateDrawing 1 0 ne def	a
% Media size functions:	1363930 845674 1370260 845674 4064 |
/AbortMessage { % Show a message in a	1370260 845674 1392180 846027 4064 |
box and stop printing	1392180 846027 1399258 861257 4064 |
/h 100 def	1387925 861257 11333 4064 0.00 90.00 1 a
/Courier findfont 12 scalefont setfont	1387925 872590 1355435 872590 4064 |
mediawidth pagemargin sub h 1 setpage	1355435 872590 1344093 872590 4064 |
newpath	1344093 849958 22632 4064 90.00 180.00 1
0 0 moveto	a
0 h rlineto	1321462 849958 1317218 837174 4064 |
mediawidth pagemargin sub 0 rlineto	1317218 837174 1300244 749342 4064 |
0 h neg rlineto	1370260 845674 1370260 827257 4064 |
closepath	1370260 827257 1381934 827611 4064 |
5 setlinewidth	1381934 827611 1382288 845317 4064 |
stroke	1355435 889589 17000 4064 180.00 270.00

Cod desen bicicletă	
newpath 50 60 moveto (ERROR: Jobsize exceeds physical printing area!) show	1 a 1338435 889589 1351166 889589 4064 I
newpath 50 40 moveto (Job has been aborted!) show	1358249 889589 7083 4064 180.00 270.00 1 a
showpage	1358249 882506 1397843 882506 4064 I
stop	1397843 882506 1398550 860883 4064 I
} def	1366725 862673 1337021 857007 4064 I
/SelectPage { % Select the page identified by Row and Column	1337021 857007 1324291 834340 4064 I
/Column exch def	1324291 834340 1365310 864090 4064 I
/Row exch def	1251494 912606 23297 4064 109.49 199.49 1 a
% the actually exposed area (if the machine knows these parameters!):	1230606 904465 1298459 905172 4064 I
/DrawX MaxDrawX MinDrawX sub def	1300405 891201 14106 4064 7.93 97.93 1 a
/DrawY MaxDrawY MinDrawY sub def	1315124 893420 1350805 894127 4064 I
statusdict /setpage known	1242703 934075 1447223 934782 4064 I
statusdict /mediawidth known and	1447223 899076 35706 4064 0.00 90.00 1 a
statusdict /medialength known and	1482929 899076 1359288 899076 4064 I
statusdict /pagemargin known and {	1359288 892005 7071 4064 90.00 180.00 1 a
% this is for machines that can tell the media size:	1397790 881753 1424980 881753 4064 I
statusdict begin	1424980 898369 16616 4064 270.00 360.00 1 a
/MediaW mediawidth pagemargin sub def	1386485 872171 1438063 872524 4064 I
DrawX DrawY ge {	1438063 872524 1439812 872524 4064 I
DrawX MediaW le DrawY medialength le and {	1436103 894621 22406 4064 279.53 369.53 1 a
MediaW DrawY 1 setpage	1370235 842830 1369882 888078 4064 I
MediaW DrawX sub 2 div 0	1369882 888078 1385072 888078 4064 I
translate	1382599 843183 1382599 888432 4064 I
{	1365996 833285 1389312 833638 4064 I
DrawY MediaW le DrawX medialength le and {	1389312 833638 1389312 820912 4064 I
MediaW DrawX 0 setpage	1389312 820912 1363523 820912 4064 I
0 MediaW DrawY sub 2 div	1363523 820912 1363523 833638 4064 I
translate	426098 762092 437414 797508 4064 I
{	437414 797508 327084 844257 4064 I
AbortMessage	327084 844257 349716 883923 4064 I
} ifelse	349716 883923 450144 842840 4064 I
} ifelse	450144 842840 460045 848507 4064 I
{	460045 848507 481262 847090 4064 I
DrawY MediaW le DrawX medialength le and {	481262 847090 501065 831507 4064 I
MediaW DrawX 0 setpage	501065 831507 479848 821591 4064 I
0 MediaW DrawY sub 2 div	479848 821591 478433 817341 4064 I
translate	478433 817341 496822 808841 4064 I
{	496822 808841 496822 798925 4064 I
DrawX MediaW le DrawY medialength le and {	496822 798925 465703 797508 4064 I
MediaW DrawY 1 setpage	465703 797508 454387 757842 4064 I
MediaW DrawX sub 2 div 0	431756 944838 312940 735176 4064 I
translate	312940 735176 276163 753592 4064 I
{	276163 753592 400637 970337 4064 I
DrawX MediaW le DrawY medialength le and {	400637 970337 428927 944838 4064 I
MediaW DrawY 1 setpage	301624 774842 410539 963254 4064 I
MediaW DrawX sub 2 div 0	424683 954754 317183 762092 4064 I
translate	404881 834340 444486 808841 4064 I
{	

Cod desen bicicletă	
AbortMessage	444486 808841 462874 811674 4064 |
} ifelse	462874 811674 465703 824424 4064 |
} ifelse	465703 824424 440243 837174 4064 |
} ifelse	440243 837174 410539 842840 4064 |
end	410539 842840 403466 835757 4064 |
}{	374722 634887 14265 4064 180.00 270.00 1
% this is for machines that can NOT tell	a
the media size:	360457 634887 380427 704912 4064 |
% (Ghostscript doesn't like this!)	359744 679197 25121 4064 52.27 284.80 1
/Product product length string def	a
/i 0 def	330501 663482 300545 652052 4064 |
product { dup 97 lt { 32 add } if Product	303398 673482 323369 676339 4064 |
exch i exch put /i i 1 add def } forall	311957 696340 324795 687768 4064 |
Product (ghostscript) search dup	327648 716341 333354 702055 4064 |
/IsGhostscript exch def	344766 724913 346192 709198 4064 |
{ pop pop } if	359030 723485 361883 709198 4064 |
pop	2045117 563476 2040837 563476 4064 |
IsGhostscript not {	2040837 563476 1455985 563476 4064 |
statusdict /setpage known {	2040837 563476 2049396 404897 4064 |
statusdict begin	1451736 573034 2049796 571608 4064 |
RotateDrawing {	2049796 571608 2041955 562335 4064 |
LeftMargin PageHeight add	2050509 571608 2063340 369741 4064 |
BotMargin DrawY add	2043937 519490 30569 4064 295.90 429.21
} {	1 a
BotMargin DrawY add LeftMargin	2065597 548680 2082343 564011 4064 |
DrawX add	2073079 539410 2096595 550463 4064 |
} ifelse	2079493 525506 2102652 527288 4064 |
0 setpage	2078067 511244 2101939 509105 4064 |
end	2075930 501262 2099089 488070 4064 |
} if	2069873 492705 2088756 474165 4064 |
} if	showpage grestore
% set clipping boundary:	
newpath	
LeftMargin BotMargin moveto	
0 PageHeight rlineto	
PageWidth 0 rlineto	
0 PageHeight neg rlineto	
closepath	
clip	

Anexa 4.6 Codul Matlab de generare a coordonatelor robotului pentru desenarea bicicletei generate de software-ul Eagle

Script Matlab pentru conversia codului Eagle *.PS în limbajul controlerului robotului	
<pre> %fid = fopen('untitled.ps'); fid = fopen('ps6.ps'); wfid = fopen('scris.txt','w'); fprintf(wfid,'10 DEF POS Z1\n20 DEF POS AUX\n30 DEF POS AUX1\n40 DEF POS AUX2\n50 DEF POS AUX3\n'); fprintf(wfid,'60 Z1 = (+0.00,+0.00,+10.00,+0.00,+0.00)\n'); clc i=60; s=0;s1=0; %x=0;y=0; x3=0;y3=0; z1=0;z2=0; m=5000; p=[-99.57,-352.87,114.75] P1=[0,0,0]; P2=p-[170.86,-352.84,114.45] P3=p-[-99.58,-168.52,118.44] normal = cross(P1-P2, P1-P3) tline = fgets(fid); while ischar(tline) if (strncmp(tline,'/MinDrawX',9)) == 1 %disp(tline) Data = textscan(tline, '%s', 'Delimiter', ' '); words = Data{1}; n=length(words); MinDrawX=str2num(words{n-2}) s1=s1+1; end if (strncmp(tline,'/MinDrawY',9)) == 1 %disp(tline) Data = textscan(tline, '%s', 'Delimiter', ' '); words = Data{1}; n=length(words); MinDrawY=str2num(words{n-2}) s1=s1+1; end if (strncmp(tline,'/MaxDrawX',9)) == 1 %disp(tline) Data = textscan(tline, '%s', 'Delimiter', ' '); words = Data{1}; n=length(words); MaxDrawX=str2num(words{n-2}) s1=s1+1; end if (strncmp(tline,'/MaxDrawY',9)) == 1 </pre>	<pre> s1=0; end if (strncmp(tline,'gsave 0 0 SelectPage',20)) == 1 s=1; end if s==1 %disp(tline) Data = textscan(tline, '%s', 'Delimiter', ' '); words = Data{1}; n=length(words); if(words{n}=='I') x1=str2num(words{1}); x2=str2num(words{3}); y1=str2num(words{2}); y2=str2num(words{4}); line([x1,x2],[y1,y2]) z1= - normal*[x1/m,y1/m,0]'/normal(3); z2= - normal*[x2/m,y2/m,0]'/normal(3); if x1==x3 && y1==y3 i=i+10; fprintf(wfid,'%d AUX = (%.4f,%.4f,%.4f,+0.00,+0.00)\n',i,x2/m,y2/ m,z2); i=i+10; fprintf(wfid,'%d MOV P1+AUX\n',i); else i=i+10; %fprintf(wfid,'%d MOV P_CURR+Z1\n',i); %i=i+10; fprintf(wfid,'%d AUX = (%.4f,%.4f,%.4f,+0.00,+0.00)\n',i,x1/m,y1/ m,z1); i=i+10; fprintf(wfid,'%d MOV P1+AUX+Z1\n',i); i=i+10; fprintf(wfid,'%d MOV P1+AUX\n',i); i=i+10; fprintf(wfid,'%d AUX = (%.4f,%.4f,%.4f,+0.00,+0.00)\n',i,x2/m,y2/ m,z2); i=i+10; fprintf(wfid,'%d MOV P1+AUX\n',i); %line([words{1},words{3}],[words{2},words {4}]) </pre>

Script Matlab pentru conversia codului Eagle *.PS în limbajul controlerului robotului	
<pre> %disp(tline) Data = textscan(tline, '%s', 'Delimiter', ' '); words = Data{1}; n=length(words); MaxDrawY=str2num(words{n-2}) s1=s1+1; end if s1==4 %set(0,'DefaultAxesColorOrder',[0 0 1;1 1 1;1 0 1;1 0 0]); set(0,'DefaultAxesColorOrder',[0 0 1;0 0 1;1 0 1;0 0 0]); </pre>	<pre> %disp(tline) end x3=x2; y3=y2; end %disp(words{1}) end tline = fgets(fid); end fprintf(wfid,'%d MOV P_CURR + Z1\n',i+10); fprintf(wfid,'%d END\n',i+20); fclose(fid); fclose(wfid); </pre>

Anexa 4.7 Codul C# scris în Visual Studio pentru transmiterea și controlul mișcărilor demonstratorului mecatronic autonom (D5)

Cod pentru comanda și controlul demonstratorului mecatronic autonom (D5)	
<pre> using System; using System.Collections.Generic; using System.ComponentModel; using System.Data; using System.Drawing; using System.Text; using System.Windows.Forms; using System.Diagnostics; using System.IO; using System.Net; using System.Text; using System.Windows; using System.IO.Ports; namespace JoystickSample { public partial class frmMain : Form { private JoystickInterface.Joystick jst; String ip, port, url, image_url; int firstAxis, secondAxis; //valorile citite de pe axe int k; //secondAxis int v; //firstAxis int speedLeft, speedRight; //valoare carea care e trimisa pe serial SerialPort _serial = new SerialPort("COM12", 9600); byte[] byteArr = new byte[1] {0x40} ; char test = (char)65; int test2 = 65; bool portOpen = false, connectedToServer = false, streamIsOn = false; public frmMain() { InitializeComponent(); disableDirectionalButtons(); } private void frmMain_Load(object sender, EventArgs e) { try { // grab the joystick jst = new JoystickInterface.Joystick(this.Handle); string[] sticks = </pre>	<pre> MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); break; } } public string getTime() { return DateTime.Now.ToString("h:mm:ss tt"); } public void getStream() { imageTimer.Enabled = true; } private void pictureBox2_Click(object sender, EventArgs e) { } private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e) { pictureBox2.ImageLocation = image_url; } private void button2_Click(object sender, EventArgs e) { if (streamIsOn) { streamIsOn = false; imageTimer.Enabled = false; pictureBox2.ImageLocation = null; richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Trasmisiune oprita.\n"); pictureBox2.ImageLocation = null; } else { MessageBox.Show("Trasmisiunea este deja oprita!", "WARNING!!!", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning); } } private void button4_Click(object sender, EventArgs e) { /*WebRequest http = WebRequest.Create(url+"/enabletorch"); using (HttpWebResponse response = </pre>

Cod pentru comanda și controlul demonstratorului mecatronicii autonom (D5)	
<pre> jst.FindJoysticks(); jst.AcquireJoystick(sticks[0]); // add the axis controls to the axis container for (int i = 0; i < jst.AxisCount; i++) { Axis ax = new Axis(); ax.AxisId = i + 1; flpAxes.Controls.Add(ax); } // add the button controls to the button container for (int i = 0; i < jst.Buttons.Length; i++) { JoystickSample.Button btn = new Button(); btn.ButtonId = i + 1; btn.ButtonStatus = jst.Buttons[i]; flpButtons.Controls.Add(btn); } // start updating positions tmrUpdateStick.Enabled = true; } catch (Exception ex) { MessageBox.Show("Niciun joystick nu este conectat!\n", "Warning!", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning); } private void tmrUpdateStick_Tick(object sender, EventArgs e) { // get status jst.UpdateStatus(); /*Only for testing serial port * if (portOpen) { serialPort1.Write("1"); } */ // update the axes positions foreach (Control ax in flpAxes.Controls) { if (ax is Axis) </pre>	<pre> (HttpWebResponse)http.GetResponse() { Console.WriteLine(response.LastModified); }*/ if (connectedToServer) { System.Net.HttpWebRequest req = (HttpWebRequest)System.Net.HttpWebRequest. Create(url + "/enabletorch"); System.Net.HttpWebResponse res = (HttpWebResponse)req.GetResponse(); res.Close(); richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Blit pornit.\n"); } else { error(1); } private void button3_Click(object sender, EventArgs e) { if (connectedToServer) { System.Net.HttpWebRequest req = (HttpWebRequest)System.Net.HttpWebRequest. Create(url + "/disabletorch"); System.Net.HttpWebResponse res = (HttpWebResponse)req.GetResponse(); res.Close(); richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Blit oprit.\n"); } else { error(1); } } private void button8_Click(object sender, EventArgs e) { private void CBdirButtons_CheckedChanged(object sender, EventArgs e) { if (CBdirButtons.Checked) { enableDirectionalButtons(); richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Butoane de directie active.\n"); } } } </pre>

Cod pentru comanda și controlul demonstratorului mecatronic autonom (D5)	
<pre> { switch (((Axis)ax).AxisId) { case 1: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisA; break; case 2: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisB; break; case 3: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisC; break; case 4: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisD; break; case 5: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisE; break; case 6: ((Axis)ax).AxisPos = jst.AxisF; break; } } pictureBox1.Left = jst.AxisC / 350 - 2; pictureBox1.Top = jst.AxisA / 440 - 5; if (pictureBox1.Top == -5) { pictureBox1.Top = 7; } // update each button status foreach (Control btn in flpButtons.Controls) { if (btn is JoystickSample.Button) { ((JoystickSample.Button)btn).ButtonStatus = jst.Buttons[((JoystickSample.Button)btn).B uttonId - 1]; if (((JoystickSample.Button)btn).ButtonStatus == true) </pre>	<pre> else { disableDirectionalButtons(); richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Butoane de directie inactive.\n"); } } public void disableDirectionalButtons() { Bstanga.Enabled = false; Bsus.Enabled = false; Bjos.Enabled = false; Bdreapta.Enabled = false; } public void enableDirectionalButtons() { Bstanga.Enabled = true; Bsus.Enabled = true; Bjos.Enabled = true; Bdreapta.Enabled = true; } private void richTextBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e) { richTextBox1.ScrollToCaret(); } private void label4_Click(object sender, EventArgs e) { } private void button5_Click(object sender, EventArgs e) { try { if (textBox3.Text == "" || textBox2.Text == "") MessageBox.Show("Cel puțin un camp de text este gol!", "Eroare!!!", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); else { ip = textBox2.Text; port = textBox3.Text; url = "http://" + ip + ":" + port; System.Net.HttpWebRequest req = (HttpWebRequest)System.Net.HttpWebRequest. Create(url); System.Net.HttpWebResponse res = (HttpWebResponse)req.GetResponse(); res.Close(); </pre>

Cod pentru comanda și controlul demonstratorului mecatronic autonom (D5)	
<pre> { int buttonId = ((JoystickSample.Button)btn).ButtonId; textBox1.Text = ((JoystickSample.Button)btn).ButtonId.ToSt ring(); switch (buttonId) { case 8: //bifare checkbox pentru butoanele de directie CDirButtons.Checked = !CDirButtons.Checked; break; case 5: //porneste streamingul de poze button1.PerformClick(); break; case 1: button4.PerformClick(); break; case 2: button3.PerformClick(); break; case 7: button2.PerformClick(); break; } } //textBox1.Text = ((JoystickSample.Button)btn).ButtonStatus. ToString(); } } private void flpAxes_Paint(object sender, PaintEventArgs e) { } private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e) { } private void pictureBox1_Click(object sender, EventArgs e) { } private void </pre>	<pre> connectedToServer = true; richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Conectat la server.\n"); } } catch { error(3); } } private void label3_Click(object sender, EventArgs e) { } private void button6_Click(object sender, EventArgs e) { if (textPortNumber.Text == "") { MessageBox.Show("Niciun numar de port specificat","Eroare!", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); } else if (!portOpen) { portOpen = true; button6.Text = "Inchide Port"; try { serialPort1.PortName = "COM" + textPortNumber.Text; serialPort1.Open(); richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Conectat la " + serialPort1.PortName + " .\n"); portTimer.Enabled = true; } catch (Exception ex) { MessageBox.Show("Error : " + ex.Message); } } else { serialPort1.Close(); portOpen = false; button6.Text = "Open Port"; portTimer.Enabled = false; } } </pre>

Cod pentru comanda și controlul demonstratorului mecatronicii autonom (D5)	
<pre> textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e) { } private void button1_Click(object sender, EventArgs e) { if (streamIsOn) return ; if (connectedToServer) { streamIsOn = true; image_url = url + "/shot.jpg"; getStream(); } richTextBox1.AppendText(getTime() + " : Transmisiune pornita.\n"); } else { error(1); } } public void error(int message) { switch (message) { case 1: MessageBox.Show("Nu sunteti conectat la niciun server Android!", "Eroare!!!", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); break; case 2: MessageBox.Show("Deja sunteti conectat!\nDeconectati-va inainte si dupa conectati-va la alt server!", "Eroare!!!", MessageBoxButtons.OK ,MessageBoxIcon.Error); break; case 3: MessageBox.Show("Nu s-a putut stabili o conexiune la adresa IP specificata!", "Eroare!!!", </pre>	<pre> } private void button7_Click(object sender, EventArgs e) { connectedToServer = false; textBox2.Text = ""; textBox3.Text = ""; url = ""; port = ""; ip = ""; } private void portTimer_Tick(object sender, EventArgs e) { firstAxis =(int) Math.Round(jst.AxisA / 1092.25); //1092.25 ca sa avem valori intre 0 si 60 pentru 65535/1092.25 secondAxis = (int)Math.Round(jst.AxisC / 1092.25); k = secondAxis; v = firstAxis; serialSend(); //byteArr[0] = 0x20; //firstAxis = jst.AxisA / 256; //test = firstAxis.ToString();//int.Parse(textBox1.Text); //serialPort1.Write(firstAxis.ToString()+""); } public void serialSend() { for (int i = 0; i < 4; i++) { string str = "v" + i + " "+ v + ";\r\n"; serialPort1.Write(str); v += 60; System.Threading.Thread.Sleep(10); } } } } } </pre>

Anexa 4.8 Firmware-ul încărcat în controlerul Atmel AVR pentru controlul demonstratorului mecatronic autonom (D5), scris în limbajul de programare C

Firmware-ul controlerului Atmel AVR pentru demonstratorul mecatronic autonom (D5)	Firmware-ul controlerului Atmel AVR pentru demonstratorul mecatronic autonom (D5)
<pre> #ifndef F_CPU #define F_CPU 16000000UL #endif #include <AVR/IO.h> #include <AVR/interrupt.h> #include <math.h> #include <util/delay.h> #include <string.h> #include <stdio.h> #include <stdlib.h> #define BAUD 9600 #define ubrr 51 const double pi = 3.14159265358979323846; int i=1,contor_led,u=0,cont_tmr1=0,cont_tmr0 =0,t=0,t1=0; volatile int j=1; long suma=0; int timpSenzorUS=0; int timpPauzaSenzorUS=0; //float y,z; unsigned char r,c; char buff[100]; void initserial(void){ SREG=SREG&127; UCSR0B=(1<<RXEN0)|(1<<TXEN0);//enable transmitter and reciever UBRR0H=(unsigned char) (ubrr>>8);//set transfer rate UBRR0L=(unsigned char) ubrr ; UCSR0C=0x86;//8 data bit+1 stop data UCSR0B=UCSR0B|192;//enable USART interupt TXCIE/RXCIE //UCSRA=UCSRA|128;//activare recieve complete interupt SREG=SREG|128; } //***** INTRERUPERE TIMER0***** ISR(TIMER0_OVF_vect) { //TIMSK=TIMSK&254; }//***** ***** int prints(char *string) { </pre>	<pre> else if(r>=90&&r<=119) { PORTD=PORTD|128; PORTB=PORTB&254; sprintf(buff," 6 \n\r "); } else if(r>=120&&r<=149) { PORTD=PORTD|64; PORTD=PORTD&239; sprintf(buff," 7 \n\r "); } else if(r>=150&&r<=179) { PORTD=PORTD|16; PORTD=PORTD&191; sprintf(buff," 8 \n\r "); } else if(r>=180&&r<=209) { PORTD=PORTD|4; PORTD=PORTD&247; sprintf(buff," 9 \n\r "); } else if(r>=210&&r<=239) { PORTD=PORTD|8; PORTD=PORTD&251; sprintf(buff," 10 \n\r "); } prints(buff); } int main(void) { //DDRD=DDRD|224; // pin 7,6,5 config ca iesiri //DDRB=DDRB|6; //pin pb1, pb2 ca iesiri DDRB = DDRB| 49; //inputurile 1,2,3 de la primul I298 DDRD = DDRD| 128; //input 4 primul I298 DDRD = DDRD|92; //toate inputurile de la doilea I298 //LM 1 DDRB = DDRB| 8; DDRB = DDRB| 4; //PWM-URI PORTB = PORTB| 8; PORTB = PORTB| 4; </pre>

Firmware-ul controlerului Atmel AVR pentru demonstratorul mecatronic autonom (D5)	Firmware-ul controlerului Atmel AVR pentru demonstratorul mecatronic autonom (D5)
<pre> int count =0; while ((string[count]) != '\0') { while (!(UCSR0A & (1<<UDRE0)); // Wait for empty transmit buffer UDR0 = (char)string[count++]; } //TxByte('_'); UCSR0A=UCSR0A & 32; return 0; } ISR (USART_TX_vect){ } //***** INTRERUPERE RECIEVE COMPLETE***** ISR (USART_RX_vect){ //ISR(USART_RXC_vect){ unsigned char r; r=UDR0; sprintf(buff," %d \n\r ",r); if (r>=0&&r<=29) { PORTB=PORTB|32; PORTB=PORTB&239; sprintf(buff," 3 \n\r "); } else if (r>=30&&r<=59) { PORTB=PORTB|16; PORTB=PORTB&223; sprintf(buff," 4 \n\r "); } else if(r>=60&&r<=89) { PORTB=PORTB|1; PORTD=PORTD&127; sprintf(buff," 5 \n\r "); } } </pre>	<pre> PORTB = PORTB | 2; PORTD = PORTD | 32; //ENABLE-URI PORTB = PORTB| 1; PORTD = PORTD& 127; PORTB = PORTB| 32; PORTB = PORTB& 239; PORTD = PORTD | 128; PORTB = PORTB & 254; PORTD = PORTD | 64; PORTD = PORTD & 239; PORTD = PORTD | 4; PORTD = PORTD & 247; initserial(); PORTD=PORTD|128; sprintf(buff," Eroare de program! \n\r "); prints(buff); SREG=SREG|128; while(1) { /*PORTD=PORTD|128; PORTD=PORTD&223;//59 PORTD=PORTD&191; _delay_ms(1000); PORTD=PORTD|64; PORTD=PORTD&223; PORTD=PORTD&127; _delay_ms(1000); PORTD=PORTD|32; PORTD=PORTD&127; PORTD=PORTD&191; _delay_ms(1000);*/ } return 0; } </pre>

Anexa 4.9 Programul integrat în sistemul de comandă, la demonstratorul pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil (D6)

Cod încărcat în controlerul Arduino

```

/* Ping)) Sensor const int pingPin = 7;
int pwm_a = 3; //PWM control for motor outputs 1 and 2 is on digital pin 3 int pwm_b = 11;
//PWM control for motor outputs 3 and 4 is on digital pin 11 int dir_a = 12; //dir control for
motor outputs 1 and 2 is on digital pin 12
int dir_b = 13; //dir control for motor outputs 3 and 4 is on digital pin 13
void setup() {
// initialize serial communication: Serial.begin(9600);
pinMode(pwm_a, OUTPUT); //Set control pins to be outputs pinMode(pwm_b, OUTPUT);
pinMode(dir_a, OUTPUT); pinMode(dir_b, OUTPUT);
}
void loop()
{
long duration, cm, sw; pinMode(pingPin, OUTPUT); digitalWrite(pingPin, LOW);
delayMicroseconds(2); digitalWrite(pingPin, HIGH); delayMicroseconds(5); digitalWrite(pingPin,
LOW); pinMode(pingPin, INPUT);
duration = pulseIn(pingPin, HIGH);
cm = microsecondsToCentimeters(duration); Serial.print(cm);
Serial.print("cm"); Serial.println();
{
digitalWrite(dir_a, HIGH); analogWrite(pwm_a, 150);
}
if (cm<30) {
//digitalWrite(dir_a, LOW);
//analogWrite(pwm_a, 200); digitalWrite(dir_b, HIGH); analogWrite(pwm_b, 250);
//delay(500);
}
else {
digitalWrite(dir_b, LOW); analogWrite(pwm_b,250);
}
//delay(500);
}
long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
// The speed of sound is 340 m/s or 29 microseconds per centimeter.
// The ping travels out and back, so to find the distance of the
// object we take half of the distance travelled. return microseconds / 29 / 2;
}

```

Anexa 4.10 Caracteristici tehnice si constructive ale echipamentelor utilizate în demonstratoarele mecatronice proprii

Șasiu robot 4WD



Șasiul este prevăzut cu două punți, are spațiu generos pentru a instala diverse plăci și senzori, este simplu și ușor de ansamblat. Dispune de diverse găuri și decupaje pentru a ușura fixarea diverselor module din proiectul dumneavoastră.

Specificații tehnice: Dimensiune de bază: 245 x 155 mm; Sarcină utilă: 2 kg (cu motoarele alimentate la 6V); Material: plexiglas (acrylic) 2.5 mm grosime; Tensiune de lucru motor: 4.8 - 7.2 V/ 12500 rpm; Turație cu reductor (fără sarcină) la 5 V: 220 rpm; Cuplu motor: 0.3 kg-cm; Diametru roți: 65 mm; Lățime roți: 26 mm.

[www.sierra.ro/Sasiu-pentru-robot-4WD-295-x-150-mm-p6129p.html acc.10.12.2016]

Drona Parrot AR 2



Parrot AR.Drone 2.0 Elite Edition este un quadcopter ce poate fi controlat intuitiv folosind un smartphone sau o tabletă, iar protocolul de comunicare este ușor de utilizat.

Prezintă următoarele caracteristici tehnice: Conectivitate Wi-Fi; Interfață USB; Senzori: Accelerometru 3 axe; Giroscop 3 axe; Magnetometer 3 axe; Presiune +/- 10 Pa; Dimensiuni 77.7 x 38.3 x 12.5 cm; Greutate 31 gr; Frecvență: 5 Hz; Acuratete +/- 2 metri; CPU ARM Cortex A8; Frecvență CPU 1000 Mhz; GPU DSP TMS320DMC64x, 800 Mhz; Memorie RAM 1 GB; Rezoluție video 720p @30 fps; Unghi de vizualizare 92 de grade.

[www.parrot.com/us/drones/parrot-ardrone-20-elite-edition acc.10.12.2016]

[www.msh-tools.com/ardrone/ARDrone_Developer_Guide.pdf acc.10.12.2016]

Accelerometru - MPU 6050



Caracteristici tehnice:

Tensiune de alimentare: 3.3V - 5V (regulator LDO inclus);

Tensiune magistrală I2C: 3.3V (MAX);

Curent: 5mA;

Range programabil giroscop: ±250, ±500, ±1000, ±2000 o/s;

Range programabil accelerometru: ±2g, ±4g, ±8g, ±16g;

Interval măsurare temperatură: -40°C - +85°C;

Frecvență maximă I2C: 400kHz.

Dimensiuni: 20mm x 15mm.

[<http://www.daedalus.ei.tum.de/attachments/article/57/PS-MPU-6000A.pdf> acc.10.12.2016]

CPU Raspberry PI V3



Raspberry Pi 3 este generația a 3-a Raspberry Pi, înlocuiește vechiul model Raspberry Pi 2 Model B. Caracteristicile Raspberry Pi 3 sunt următoarele: Procesor A 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8; Transmisie Wireless 802.11n; Bluetooth 4.1 - Bluetooth Low Energy (BLE); 1GB RAM; 4 USB ports; 40 pini GPIO; Port Full HDMI ; Port internet; Semnal video compozit și 3.5 mm jack audio; Interfață cameră video (CSI); Interfață de afișare (DSI); Slot card Micro SD; Procesor video IV 3D.

[<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> acc.10.12.2016]

Anexa 4.11 Codul sursă de comandă și control încărcat în platforma Raspberry, scris în Payton 3 pentru controlul dronei Parrot AR 2

Codul software de comunicare scris în Python 2.7	
#!/usr/bin/python import smbus import RPi.GPIO as GPIO import math import time import libardrone import os #<<<<< Reading data from accelerometer >>>>> # Power management registers power_mgmt_1 = 0x6b power_mgmt_2 = 0x6c def read_byte(adr): return bus.read_byte_data(address, adr) def read_word(adr): high = bus.read_byte_data(address, adr) low = bus.read_byte_data(address, adr+1) val = (high << 8) + low return val def read_word_2c(adr): val = read_word(adr) if (val >= 0x8000): return -((65535 - val) + 1) else: return val def dist(a,b): return math.sqrt((a*a)+(b*b)) def get_y_rotation(x,y,z): radians = math.atan2(x, dist(y,z)) return -math.degrees(radians) def get_x_rotation(x,y,z): radians = math.atan2(y, dist(x,z)) return math.degrees(radians) def get_z_rotation(x,y,z): radians = math.atan2(z, dist(x,y)) return math.degrees(radians) bus = smbus.SMBus(1) address = 0x68 bus.write_byte_data(address, power_mgmt_1, 0) # Initial values # accel accel_xout = read_word_2c(0x3b) accel_yout = read_word_2c(0x3d) accel_zout = read_word_2c(0x3f) accel_xout_scaled = accel_xout / 16384.0 accel_yout_scaled = accel_yout / 16384.0 accel_zout_scaled = accel_zout / 16384.0 xInit = math.floor(get_x_rotation(accel_xout_scaled,	#Accelerometer accel_xout = read_word_2c(0x3b) accel_yout = read_word_2c(0x3d) accel_zout = read_word_2c(0x3f) accel_xout_scaled = accel_xout / 16384.0 accel_yout_scaled = accel_yout / 16384.0 accel_zout_scaled = accel_zout / 16384.0 x math.floor(get_x_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)) y math.floor(get_y_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)) z math.floor(get_z_rotation(accel_xout_scaled, #gyro gyro_zout = read_word_2c(0x47) zgyro = gyro_zout/131 # takeoff if (not buttonOn and on == 0): drone.takeoff() on = 1 print "Decoleaza" if on == 1: # forward / backward if x > xInit+40: drone.move_forward() print "In fata" time.sleep(0.25) elif x < xInit-40: drone.move_backward() print "In spate" time.sleep(0.25) # left / right if y > yInit+40: drone.move_left() print "La stanga" time.sleep(0.25) elif y < yInit-40: drone.move_right() print "La dreapta" time.sleep(0.25) # up / down if (not buttonOn): drone.move_up() print "Sus" elif (not buttonOff): drone.move_down()

Codul software de comunicare scris în Python 2.7	
<pre> accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)) yInit math.floor(get_y_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)) zInit math.floor(get_z_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)) #gyro gyro_xout = read_word_2c(0x43) gyro_yout = read_word_2c(0x45) gyro_zout = read_word_2c(0x47) gzInit = gyro_zout / 131 GPIO.setmode(GPIO.BCM) GPIO.setup(22,GPIO.IN) GPIO.setup(23,GPIO.IN) #on = 0 #<<<<< Data processing and sending >>>>> def main(): drone = libardrone.ARDrone() running = True on = 0 while running: buttonOn = GPIO.input(22) buttonOff = GPIO.input(23) </pre>	<pre> print "Jos" =# turn left / turn right ""if zgyro > gzInit+40: drone.turn_left() print "Rotire stanga" time.sleep(0.25) elif zgyro < gzInit-40: drone.turn_right() print "Rotire dreapta" time.sleep(0.25)"" # land if (not buttonOff and not buttonOn): drone.land() on = 0 print "Aterizeaza" #drone.reset() print "Shutting down...", drone.halt() print "Ok." if __name__ == '__main__': main() </pre>

Anexa 4.12 Robot mobil zburător (dronă)

În Figura 4.1.a este prezentat un model dinamic al dronelor echipate cu patru motoare de tracțiune, ce se deplasează sub acțiunea forței gravitaționale (g). Forța de tracțiune (f), acționând de-a lungul axei ω_3 , cu o rotație unghiulară de rată $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$, care este poziționată în spațiul inerțial dat de axele vectoriale x_1, x_2, x_3 este prezentată în Figura 4.1.b [Mueller, 2015].

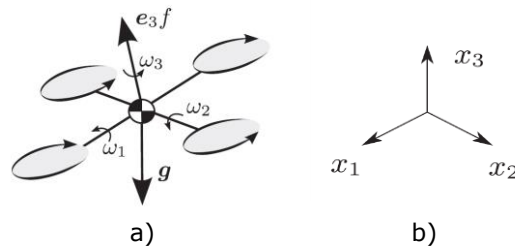


Figura 4.1 Modelul dinamic al dronului sub acțiunea forței gravitaționale [Mueller, 2015]

Au fost dezvoltate modele de drone: aerodynamic drag [Martin, 2010] sau propeller speeds [Mahony, 2012], modele precedente care au dezvoltat soluții pentru dinamica și problema generării traiectoriilor pentru dispozitivele actuale. Ecuațiile diferențiale care reglementează zborul dronului, pot fi tratate ca cele ale unui corp rigid [Zipfel, 2007]. Traiectoria optimă se poate rezolva direct utilizând principiile minime ale Pontryagin's [Bertsekas, 2005]. În Figura 4.1 este prezentată mișcarea inerțială pe axele x, y, z , ce definesc poziția liniară absolută a dronului.

Figura 4.2 prezintă schema cinematică pentru problema inversă [Zhang, 2009]. Poziția unghiulară este definită de cele trei unghiuri cunoscute sub numele de: unghi de înclinare, unghi de rotație, unghiul de girație. Ecuațiile (4.1-4.9) definesc vectorii liniari și vectorii unghiulari.

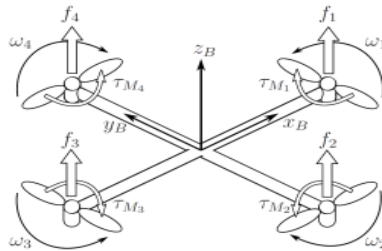


Figura 4.2 Schema cinematică pentru problema inversă [S. Zhang, 2009]

$$\xi = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Ecuația (4.2) arată viteza liniară V_B și viteza unghiulară v .

$$V_B = \begin{bmatrix} v_x, B \\ v_y, B \\ v_z, B \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Rotația șasiului robotic este descrisă utilizând matricea de rotație prezentată în Ecuția (4.3). Unde $S_x = \sin(x)$ și $C_x = \cos(x)$.

$$R = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Ecuțiile (4.4) și (4.45) prezintă matricea de transformare de la șasiul caroseriei la cadrul inerțial și unghiurile de viteză de la viteza unghiulară a corpului la [Zhang, 2009].

$$v = W_\eta \times \dot{\eta},$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -S_\theta \\ 0 & C_\phi & C_\theta S_\phi \\ 0 & -S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$\dot{\eta} = W_\eta^{-1} \times v,$$

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & S_\phi T_\theta & C_\phi T_\theta \\ 0 & C_\phi & -S_\phi \\ 0 & S_\phi / C_\theta & C_\phi / C_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Ecuția din (4.6) arată matricea inerțială a quadcopterului, dacă brațele cu motoare sunt aliniate pe axele x, y.

$$I = \begin{bmatrix} I_{XX} & 0 & 0 \\ 0 & I_{YY} & 0 \\ 0 & 0 & I_{ZZ} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

În ecuația (4.7) este arătată turația motoarelor, creată de viteza unghiulară și de accelerația motoarelor.

$$f_i = k\omega_i^2, \quad \tau_{M_i} = b\omega_i^2 + I_M \dot{\omega}_i \quad (4.7)$$

Ecuțiile de tracțiune sunt prezentate în (4.8). Tracțiunea este orientată în direcția axei Z.

$$T = \sum_{i=1}^4 f_i = \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad T^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Ecuțiile de cuplu sunt prezentate în (4.9). Acestea sunt descrise de trei componente de torsiune pentru fiecare unghi al corpului.

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lk(-\omega_2^2 + \omega_4^2) \\ lk(-\omega_1^2 + \omega_3^2) \\ \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Anexa 5.1 Date preluate direct din fișierul creat automat din experimentul numărul 1

Experimentul numărul 1 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S1, S2, S3, S4, în mediul ambiental cu un material de reflexie din hârtie de culoare galben mat deschis. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducere (Capitolul 5).

Date preluate în timpul experimentului			
[ExpProps 0] rate=20,000000 duration=0,650000 rateMode=0 decimal=, durationUnits=0	[Axis 4] color=FF3334 unit=%+ sensor=Light Sensor axisNum=3 port=0 sensorData=0 auto=true [Sensor 1] color=2BDE2B sensor=Gyro axisNum=0 port=2 sensorData=0 auto=true	Sensor port=0 units=%+ sensorData=0 [Graph 1] name=Rate_p3_1 start=12.10.2015 13:01:23 code=3527488883,751000 axis=0 units=Deg/Sec sensor=Gyro Sensor color=2874923 visible=true style=0 port=2 sensorData=0 [Graph 2] name=Z-Axis_p2_1 start=12.10.2015 13:01:23 code=3527488883,751000 axis=1 units= sensor=Acceleration color=16777011 visible=true style=0 port=1 sensorData=2 [Graph 3] name=Rotation_pA_1	start=12.10.2015 13:01:23 code=3527488883,751000 axis=2 units=deg sensor=FP Rotation Sensor color=13644799 visible=true style=0 port=4 sensorData=0 [Graph 4] name=Light_p1_1 start=12.10.2015 13:01:23 code=3527488883,751000 axis=3 units=%+ sensor=Light Sensor color=16724788 visible=true style=0 port=0 sensorData=0 [Stats 1] start=0,108000 end=0,402000 pos=0,683123 -0,024038 tack=false min=false title=<enter title> linFit=false
[Axis 1] color=2BDE2B unit=Deg/Sec sensor=Gyro Sensor axisNum=0 port=2 sensorData=0 auto=true	[Axis 2] color=58DE59 unit= sensor=Acceleratio n Sensor axisNum=1 port=1 sensorData=2 auto=true	[Axis 3] color=D033FF unit=deg sensor=FP Rotation Sensor axisNum=2 port=4 sensorData=0 auto=true	

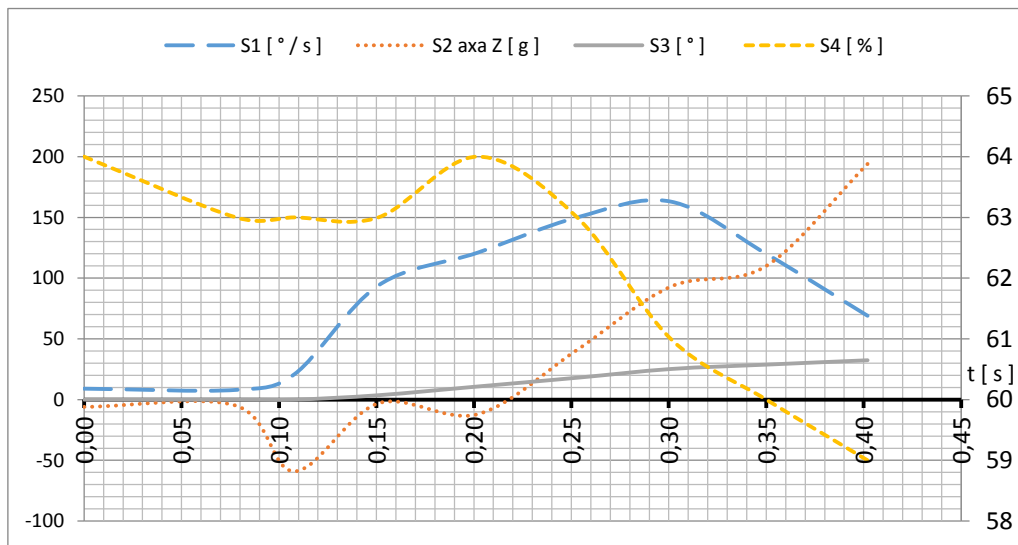
Time	Rate_p3_1	Z-Axis_p2_1	Rotation_pA_1	Light_p1_1
0,000	9,000	-6,000	0,000	64,000
0,078	8,000	-5,000	0,000	63,000
0,108	21,000	-59,000	0,000	63,000
0,151	94,000	-3,000	3,600	63,000
0,202	121,000	-12,000	10,800	64,000
0,253	150,000	41,000	18,000	63,000
0,301	163,000	93,000	25,200	61,000
0,350	120,000	110,000	28,800	60,000
...

Anexa 5.2 Tabel și grafic ale valorilor neprelucrate din experimentul nr. 1, reprezentând semnalele senzorilor: s1, s2, s3, s4

Experimentul numărul 1 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S1, S2, S3, S4 în mediul ambiental, cu un material de reflexie din hârtie de culoare galben mat deschis. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducere. Valorile extrase direct din fișierul creat automat în urma colectării datelor, reprezentate prin mediul Microsoft Office 2010 și graficul obținut, se află în Tabelul 5.1 și Figura 5.1.

Valori din experimentul numărul 1

Timp [s]	S1 [° / s]	S2 axa Z [g]	S3 [°]	S4 [%]
0,000	9,0	-6,0	0,0	64,0
0,078	8,0	-5,0	0,0	63,0
0,108	21,0	-59,0	0,0	63,0
0,151	94,0	-3,0	3,6	63,0
0,202	121,0	-12,0	10,8	64,0
0,253	150,0	41,0	18,0	63,0
0,301	163,0	93,0	25,2	61,0
0,350	120,0	110,0	28,8	60,0
0,402	69,0	194,0	32,4	59,0



Semnale achiziționate în experimentul numărul 1

Anexa 5.3 Tabele și grafice cu valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnalul sensorului optic și cel de rotație

Pe durata experimentelor au fost folosite precizările făcute în introducerea capitolului 5. Media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Office Excel 2010 și graficele obținute sunt reprezentate în cele ce urmează.

Experimentul *numărul 1* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare galben mat deschis (Tabelul 5.1 și Figura 5.1).

Tabel 5.1 Valori din experimentul numărul 1

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	63,8
0,1072	1,44	63,6
0,1456	3,24	63,7
0,1921	7,92	63,9
0,2423	15,12	63,7
0,2911	20,88	63
0,3413	28,08	61,5

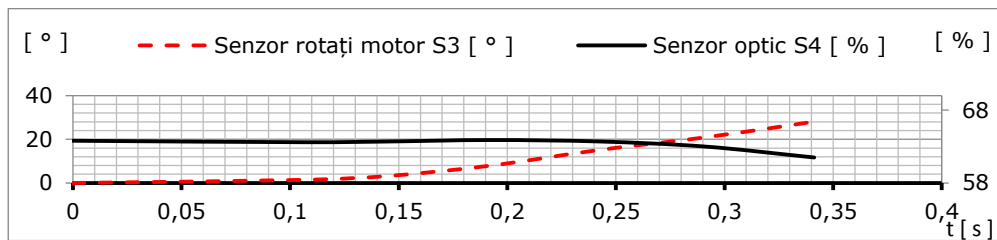


Figura 5.1 Semnale achiziționate în experimentul numărul 1

Experimentul *numărul 2* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare verde mat deschis (Tabelul 5.2 și Figura 5.2.)

Tabel 5.2 Media valorilor din experimentul numărul 2

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	59,9
0,1518	3,6	60
0,2013	9	60,8
0,2522	14,04	60,8
0,3025	22,32	60,1
0,3512	27,36	59,1
0,4017	32,4	58,5

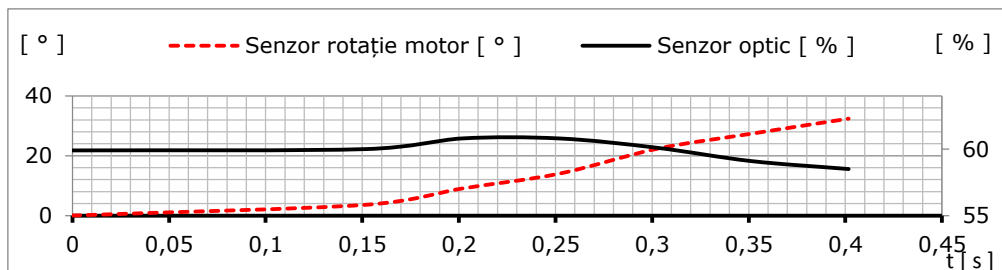


Figura 5.2 Semnale achiziționate în experimentul numărul 2

Experimentul *numărul 3* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare negru mat (Tabelul 5.3 și Figura 5.3).

Tabel 5.3 Media valorilor din experimentul numărul 3

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0,72	35,3
0,1387	3,24	35,7
0,1872	7,92	36,1
0,2369	14,04	36,1
0,2875	21,96	35,5
0,337	27,72	35,3
0,3869	32,4	35,6

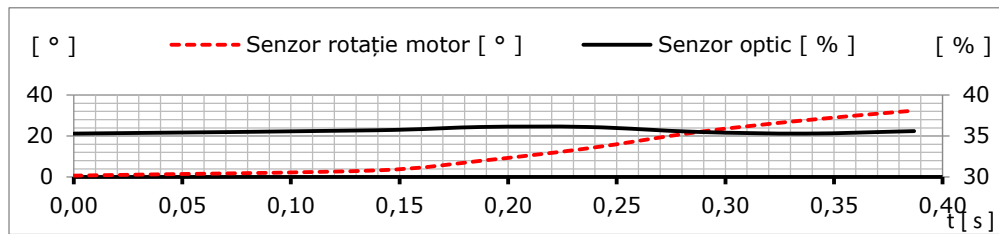


Figura 5.3 Semnale achiziționate în experimentul numărul 3

Experimentul *numărul 4* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare alb mat (Tabelul 5.4 și Figura 5.4).

Tabel 5.4 Media valorilor din experimentul numărul 4

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	65
0,1512	3,6	65
0,2011	8,64	65
0,2522	14,04	64,9
0,3008	21,96	63,9
0,3509	27,72	62,3
0,4016	32,4	61,1

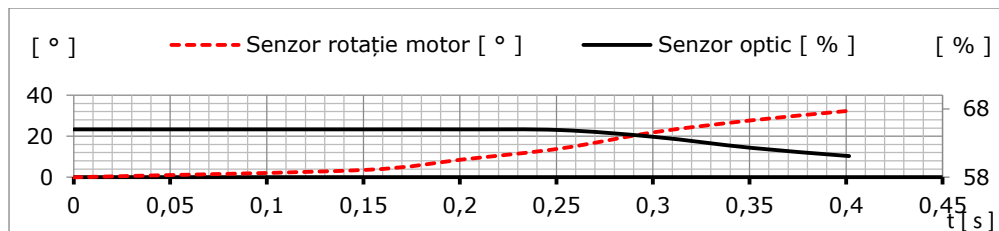
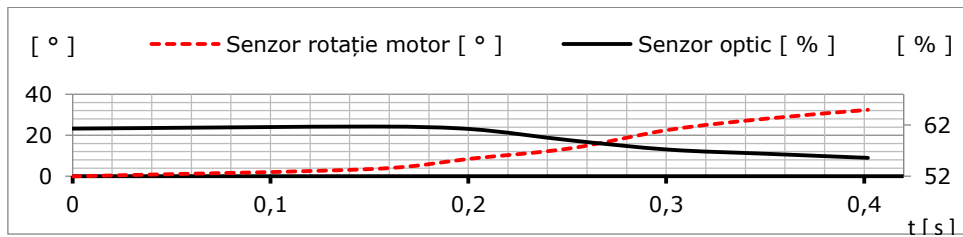


Figura 5.4 Semnale achiziționate în experimentul numărul 4

Experimentul *numărul 5* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare roșu lucios (Tabelul 5.5 și Figura 5.5).

Tabel 5.5 Media valorilor din experimentul numărul 5

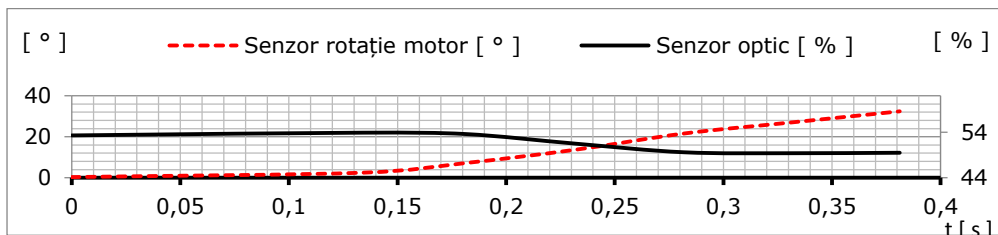
Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	61,3
0,152	3,6	61,7
0,2014	8,64	61,2
0,2519	13,68	59
0,3015	22,68	57,2
0,3504	28,08	56,4
0,4019	32,4	55,6

**Figura 5.5 Semnale achiziționate în experimentul numărul 5**

Experimentul *numărul 6* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiental, cu un material de reflexie din hârtie de culoare violet lucios (Tabelul 5.6 și Figura 5.6).

Tabel 5.6 Media valorilor din experimentul numărul 6.

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0,36	53,3
0,1343	2,52	53,9
0,1812	7,2	53,6
0,2318	13,68	51,5
0,2819	21,6	49,6
0,3315	27	49,4
0,3812	32,4	49,5

**Figura 5.6 Semnale achiziționate în experimentul numărul 6**

Experimentul *numărul 7* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiental, cu un material de reflexie din hârtie de culoare albastru lucios (Tabelul 5.7 și Figura 5.7).

Tabel 5.7 Media valorilor din experimentul numărul 7

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	44,3
0,151	3,6	46,4
0,2019	9,36	45,1
0,2515	14,76	38,6

0,305	23,4	35,4
0,3513	28,44	36
0,4014	32,4	37

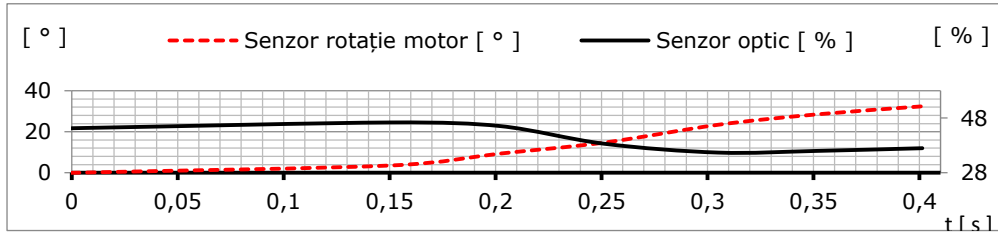


Figura 5.7 Semnale achiziționate în experimentul numărul 7

Experimentul *numărul 8* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare galben lucios (Tabelul 5.8 și Figura 5.8).

Tabel 5.8 Media valorilor din experimentul numărul 8.

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	65,7
0,1522	3,6	66
0,201	8,64	65,9
0,252	13,68	64,5
0,3037	22,32	62,7
0,3514	28,8	61,5
0,4017	32,4	60,5

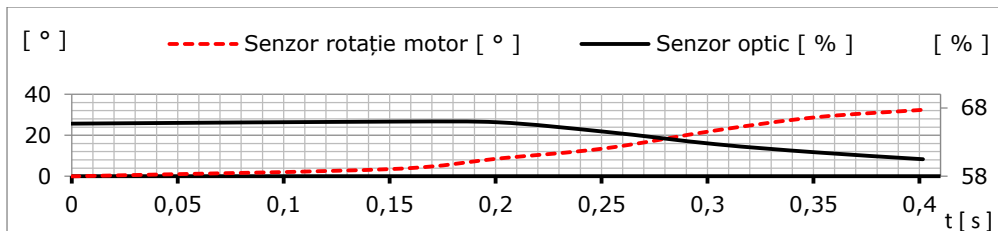


Figura 5.8 Semnale achiziționate în experimentul numărul 8

Experimentul *numărul 9* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiant, cu un material de reflexie din hârtie de culoare verde lucios (Tabelul 5.9 și Figura 5.9).

Tabel 5.9 Media valorilor din experimentul numărul 9.

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	45,8
0,1519	3,6	46,7
0,2015	8,64	45,4
0,2522	14,04	39,5
0,3017	23,04	36,3
0,3511	27,72	36,3
0,4019	32,4	36,8

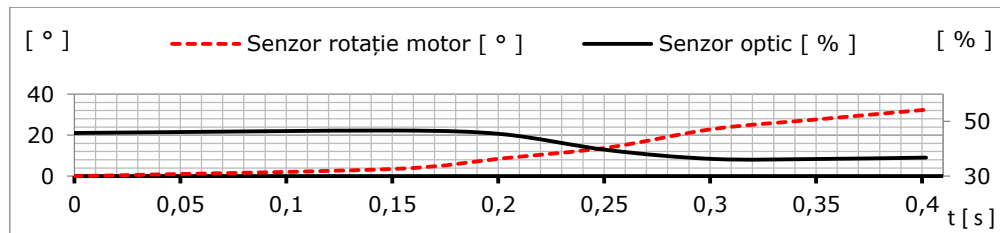


Figura 5.9 Semnale achiziționate în experimentul numărul 9

Experimentul *numărul 10* a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul ambiental, cu un material de reflexie din hârtie de culoare lemn pal lucios (Tabelul 5.10 și Figura 5.10).

Tabel 5.10 Media valorilor din experimentul numărul 10.

Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0,0000	0	61,9
0,1514	3,6	62
0,2021	9,72	61,8
0,2521	15,12	60,1
0,303	22,32	58,9
0,3512	28,8	57,8
0,4011	32,4	56,7

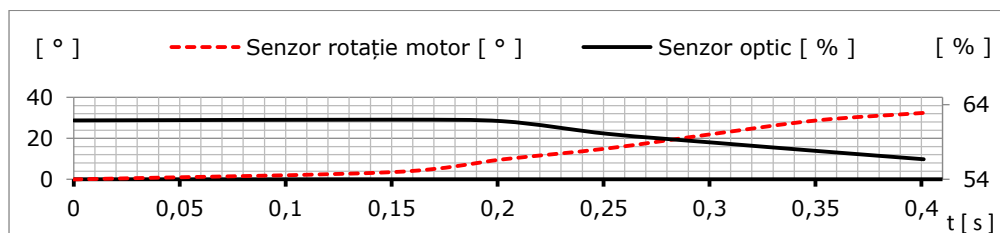


Figura 5.10 Semnale achiziționate în experimentul numărul 10

Anexa 5.4 Valorile medii reprezentând semnale S3 și S4 din exp_11, în mediu cu lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_11 (mediu cu lumină ambientală). Experimentul exp_11 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul cu lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-30^\circ; +30^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_11 pentru S3, S4, în mediu cu lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-30^\circ; +30^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2...-... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA _1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	64	...	0	0	63,8
0,043	0	64	...	0,0422	0	63,9
0,083	0	64	...	0,0818	0	63,9
0,123	1,08	64	...	0,122	0,216	63,8
0,16	2,16	64	...	0,1612	1,188	64
0,2	5,04	64	...	0,2015	3,24	64
0,241	9	64	...	0,2422	6,264	64
0,28	12,96	63	...	0,2817	9,9	63,6
0,321	19,08	62	...	0,3222	14,832	62,9
...
2,481	-23,04	57	...	2,4818	-20,016	58,3
2,523	-28,08	54	...	2,5224	-24,696	55,9
2,563	-32,04	51	...	2,5621	-28,944	53,6
2,604	-33,84	50	...	2,6014	-32,616	51,2
2,64	-34,92	50	...	2,6414	-34,38	50,3
2,68	-33,84	49	...	2,6818	-34,596	49,5
2,721	-30,96	51	...	2,7217	-33,336	50
2,762	-27	53	...	2,7623	-30,024	52,1
...
2,962	-2,16	63	...	2,9625	-4,32	63,1
3,003	2,16	64	...	3,0029	-0,324	63,8
5,4	-5,04	63	...	5,4021	-4,716	63,3
5,44	-5,04	63	...	5,4413	-4,716	63,4
5,48	-5,04	63	...	5,4809	-4,716	63,3
5,52	-5,04	63	...	5,5208	-4,716	63,3
5,563	-5,04	63	...	5,5611	-4,716	63,3
5,602	-5,04	63	...	5,602	-4,716	63,3
5,642	-5,04	63	...	5,6422	-4,716	63,3
5,682	-5,04	63	...	5,6818	-4,716	63,3
5,722	-5,04	63	...	5,7225	-4,716	63,3
5,761	-5,04	63	...	5,7614	-4,716	63,3
5,801	-5,04	63	...	5,8012	-4,716	63,3
5,84	-5,04	63	...	5,8407	-4,716	63,3
5,88	-5,04	63	...	5,8808	-4,716	63,3
5,92	-5,04	63	...	5,9209	-4,716	63,3
5,963	-5,04	63	...	5,9612	-4,716	63,2
6,003	-5,04	63	...	6,0017	-4,716	63,3

Anexa 5.5 Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_21, în mediu cu lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_21 (mediu cu lumină ambientală). Experimentul exp_21 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul cu lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-10^\circ; +10^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_21 pentru S3, S4, în mediu cu lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-10^\circ; +10^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA_1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	64	...	0	0	64,3
0,041	0	64	...	0,0424	0	64,7
0,081	0	64	...	0,0818	0	64,5
0,121	0	64	...	0,1215	0,1083	64,5
0,16	1,08	64	...	0,1612	1,1526	64,3
0,2	2,88	64	...	0,2015	2,6651	64,7
...
2,204	-10,08	62	...	2,2024	-6,0494	63,2
2,244	-5,04	63	...	2,2425	-0,7914	64,1
2,283	1,08	64	...	2,2822	4,2502	64,8
2,32	6,84	64	...	2,3211	7,5628	64,8
2,361	10,08	64	...	2,3614	8,4265	64,8
2,401	9	64	...	2,4009	7,3822	64,8
2,442	7,92	64	...	2,441	4,8611	64,8
...
4,363	7,92	65	...	4,3617	6,1942	65
4,4	10,08	64	...	4,401	8,4265	64,8
4,44	10,08	64	...	4,4421	8,3179	64,8
4,48	9	64	...	4,4815	7,0931	64,8
4,521	5,04	64	...	4,522	3,1317	64,8
4,561	-2,16	64	...	4,5622	-2,5225	63,9
4,602	-9	63	...	4,6011	-7,7796	62,9
4,642	-12,96	62	...	4,6416	-11,3799	61,8
...
5,52	-3,96	64	...	5,5215	-3,6731	64
5,56	-3,96	64	...	5,5614	-3,6731	64,1
5,603	-3,96	64	...	5,6016	-3,6731	64
5,643	-3,96	64	...	5,642	-3,6731	64
5,682	-3,96	64	...	5,6812	-3,6731	64,1
5,723	-3,96	64	...	5,7219	-3,6731	64
5,761	-3,96	64	...	5,7613	-3,6731	63,9
5,801	-3,96	64	...	5,8013	-3,6731	64,1
5,84	-3,96	64	...	5,8411	-3,6731	64
5,88	-3,96	64	...	5,8811	-3,6731	64
5,92	-3,96	64	...	5,9212	-3,6731	64
5,963	-3,96	64	...	5,9616	-3,6731	64
6,003	-3,96	64	...	6,0016	-3,6731	64

Anexa 5.6 Valorile medii reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4, din exp_31 în mediu cu lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_31 (mediu cu lumină ambientală). Experimentul exp_31 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediul cu lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-5^\circ; +5^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_31 pentru S3, S4, în mediu cu lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-5^\circ; +5^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA_1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	65	...	0	0	64,8
0,043	0	65	...	0,0417	0	65
0,082	0	65	...	0,0816	0	65
0,122	0	65	...	0,1217	0	65
0,161	1,08	65	...	0,1617	0,432	64,9
0,201	1,08	65	...	0,2018	0,864	64,9
...
4,161	2,88	65	...	4,1613	2,16	64,9
4,202	2,88	65	...	4,2015	1,26	64,8
4,242	1,08	65	...	4,2415	-0,468	64,8
4,283	-2,16	65	...	4,282	-2,7	64,4
4,323	-3,96	65	...	4,322	-4,14	64,3
4,36	-5,04	64	...	4,3611	-4,608	63,9
4,4	-6,12	64	...	4,4014	-4,212	64
4,442	-5,04	64	...	4,442	-3,06	64
4,481	-2,88	65	...	4,4815	-1,188	64,4
4,522	-1,08	65	...	4,5217	0,72	64,9
4,563	1,08	65	...	4,5622	2,052	65
4,601	2,88	65	...	4,6011	2,34	65
4,641	2,88	65	...	4,6413	1,944	64,8
4,682	2,88	65	...	4,682	0,828	64,8
...
5,401	-2,16	64	...	5,4018	-2,376	64,2
5,441	-2,16	64	...	5,4414	-2,304	64,2
5,481	-2,16	64	...	5,4812	-2,304	64,2
5,52	-2,16	64	...	5,5206	-2,304	64,2
5,56	-2,16	64	...	5,5608	-2,376	64,2
5,6	-2,16	65	...	5,6017	-2,376	64,2
5,643	-2,16	65	...	5,642	-2,376	64,3
5,682	-2,16	65	...	5,6818	-2,376	64,4
5,723	-2,16	64	...	5,7226	-2,376	64,3
5,762	-2,16	65	...	5,7616	-2,376	64,4
5,801	-2,16	65	...	5,8014	-2,376	64,4
5,841	-2,16	65	...	5,8414	-2,376	64,3
5,881	-2,16	64	...	5,8812	-2,376	64,3
5,92	-2,16	64	...	5,9211	-2,376	64,3
5,96	-2,16	64	...	5,9612	-2,376	64,3
6	-2,16	64	...	6,0012	-2,376	64,3

Anexa 5.7 Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_12, în mediu lipsit de lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_12 (mediu lipsit de lumină ambientală). Experimentul exp_12 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-30^\circ; +30^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_12 pentru S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-30^\circ; +30^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2...Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA_1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	63	...	0	0	63,5
0,043	0	64	...	0,042	0	64
0,082	0	64	...	0,0823	0	64
0,122	0	64	...	0,1218	0,324	63,9
0,162	1,08	63	...	0,1617	1,476	63,9
0,203	2,88	63	...	0,2018	3,204	63,9
...
4,001	-24,84	57	...	4,0018	-27,18	55,4
4,042	-29,16	54	...	4,0414	-30,924	52,8
4,084	-33,12	52	...	4,082	-33,552	51,2
4,12	-33,84	51	...	4,1213	-34,2	50,4
4,16	-33,84	50	...	4,1614	-33,696	50,2
4,201	-33,12	51	...	4,2016	-31,248	51,8
4,241	-29,16	53	...	4,2415	-27,252	54,1
4,281	-24,84	56	...	4,2814	-22,428	56,8
4,321	-19,08	59	...	4,3214	-16,596	59,5
...
5,242	-6,12	63	...	5,2411	-5,58	63,3
5,282	-6,12	63	...	5,2813	-5,256	63,2
5,321	-5,04	63	...	5,3211	-5,04	63,2
5,361	-5,04	63	...	5,3617	-4,932	63,2
5,401	-3,96	63	...	5,402	-4,824	63,2
5,44	-3,96	63	...	5,441	-4,824	63,2
5,48	-3,96	63	...	5,4816	-4,824	63,2
5,52	-3,96	63	...	5,5215	-4,824	63,1
5,563	-3,96	63	...	5,5618	-4,824	63,2
5,602	-3,96	63	...	5,6016	-4,824	63,2
5,642	-3,96	63	...	5,6411	-4,824	63,2
5,681	-3,96	63	...	5,6814	-4,824	63,2
5,722	-3,96	63	...	5,7225	-4,824	63,2
5,761	-3,96	63	...	5,7615	-4,824	63,2
5,8	-3,96	63	...	5,8012	-4,824	63,1
5,84	-3,96	63	...	5,8412	-4,824	63,2
5,883	-3,96	63	...	5,8815	-4,824	63,2
5,923	-3,96	63	...	5,9213	-4,824	63,2
5,962	-3,96	63	...	5,9616	-4,824	63,2
6,002	-3,96	63	...	6,0015	-4,824	63,2

Anexa 5.8 Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_22 în mediu lipsit de lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_22 (mediu lipsit de lumină ambientală). Experimentul exp_22 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-10^\circ; +10^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_22 pentru S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-10^\circ; +10^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2...Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA_1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	63	...	0	0	63,2
0,042	0	64	...	0,0425	0	63,8
0,082	0	64	...	0,0823	0	63,8
0,122	0	64	...	0,1223	0,216	63,7
0,162	1,08	63	...	0,1626	1,548	63,6
0,202	2,88	63	...	0,2017	3,42	63,8
...
4,04	-12,96	61	...	4,0419	-12,924	60,3
4,081	-14,04	61	...	4,0817	-10,332	61,1
4,122	-10,08	61	...	4,1216	-5,076	62,3
4,162	-3,96	63	...	4,1612	0,972	63,4
4,203	2,88	64	...	4,2018	6,552	64
4,24	9	64	...	4,2421	9,54	64
4,281	11,16	63	...	4,2818	9,972	63,8
4,32	11,16	63	...	4,3218	7,848	63,7
4,36	9	63	...	4,3615	3,456	63,6
4,401	3,96	64	...	4,4023	-2,592	62,9
...
5,321	-2,16	64	...	5,3218	-1,296	63,8
5,361	-2,16	63	...	5,3614	-1,296	63,6
5,401	-2,16	63	...	5,4018	-1,296	63,7
5,44	-2,16	63	...	5,4407	-1,296	63,7
5,483	-2,16	63	...	5,4812	-1,296	63,7
5,523	-2,16	63	...	5,5213	-1,296	63,7
5,562	-2,16	63	...	5,5614	-1,296	63,6
5,602	-2,16	64	...	5,6018	-1,296	63,8
5,641	-2,16	64	...	5,6417	-1,296	63,8
5,681	-2,16	64	...	5,6818	-1,296	63,8
5,721	-2,16	64	...	5,7232	-1,296	63,8
5,76	-2,16	64	...	5,7616	-1,296	63,8
5,8	-2,16	64	...	5,8011	-1,296	63,8
5,843	-2,16	64	...	5,8413	-1,296	63,8
5,883	-2,16	64	...	5,8814	-1,296	63,8
5,922	-2,16	63	...	5,9208	-1,296	63,7
5,962	-2,16	63	...	5,961	-1,296	63,6
6,002	-2,16	63	...	6,0015	-1,296	63,7

Anexa 5.9 Valorile medii reprezentând semnale de la S3 și S4 din exp_32 în mediu lipsit de lumină ambientală

Mai jos regăsim tabelul ce conține valorile medii a celor 10 experimente, reprezentând semnale achiziționate de la S3 și S4 din exp_32 (mediu lipsit de lumină ambientală). Experimentul exp_32 a avut ca subiect analiza comportamentului elementelor senzoriale S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală, pentru un material de reflexie de culoare galbenă. Domeniul unghiului de rotație este $\alpha \in [-5^\circ; +5^\circ]$. Pe durata experimentului au fost folosite precizările făcute în introducerea Capitolului 5. Valorile originale sunt prezentate în tabelul de mai jos, precum și media celor 10 valori prelucrate în mediul MS-Excel 2010.

Exp_32 pentru S3, S4, în mediu lipsit de lumină ambientală la unghiul de rotație $\alpha \in [-5^\circ; +5^\circ]$

Proba Nr.1			Proba Nr.2...Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10		
Time	Rotation_pA_1	Light_p1_1	...	Timp [s]	S3 [°]	S4 [%]
0	0	64	...	0	0	63,7
0,043	0	64	...	0,0419	0	64
0,082	0	64	...	0,0818	0	64
0,123	0	64	...	0,122	0,108	64
0,163	0	64	...	0,1614	0,216	63,7
0,203	1,08	64	...	0,202	0,5403	63,8
...
4,282	2,16	64	...	4,2812	1,7286	64
4,321	2,16	64	...	4,3212	1,6926	64
4,362	0	64	...	4,3617	0,6486	63,8
4,403	-2,88	64	...	4,4022	-0,9354	63,7
4,445	-3,96	63	...	4,4418	-2,3037	63,4
4,48	-5,04	63	...	4,4815	-3,3126	63,3
4,52	-5,04	63	...	4,5215	-3,7451	63,2
4,56	-3,96	63	...	4,5616	-3,7814	63,1
4,601	-2,16	63	...	4,602	-2,7374	63,1
4,642	0	63	...	4,6417	-1,4771	63,2
4,682	2,16	64	...	4,6818	0,1072	63,5
...
5,28	2,16	64	...	5,2819	1,2966	64
5,321	1,08	64	...	5,3214	1,1886	64
5,36	-1,08	64	...	5,3613	0,2166	63,9
5,404	-2,16	64	...	5,402	-0,7194	63,8
5,443	-2,88	63	...	5,4419	-1,2237	63,7
5,482	-2,88	63	...	5,4821	-1,7283	63,4
5,522	-2,88	63	...	5,5217	-2,0526	63,4
5,561	-2,88	63	...	5,5615	-2,2326	63,4
5,601	-2,88	63	...	5,6016	-2,3768	63,4
5,641	-2,88	63	...	5,6415	-2,3048	63,4
5,68	-2,88	63	...	5,6806	-2,2328	63,3
5,72	-2,88	63	...	5,7215	-2,2328	63,3
5,763	-2,88	63	...	5,7617	-2,3048	63,3
5,803	-2,88	63	...	5,8014	-2,3048	63,3
5,842	-2,88	63	...	5,8416	-2,2328	63,3
5,882	-2,88	63	...	5,8815	-2,2328	63,3
5,922	-2,88	63	...	5,9219	-2,2328	63,3
5,961	-2,88	63	...	5,9617	-2,3048	63,2
6,001	-2,88	63	...	6,0016	-2,3048	63,3

Anexa 5.10 Corelarea luminozității relative a senzorului optic Lego NXT-2 în tensiune

În structura standului a fost integrat voltmetrul UNI-T, conectat la pinii 1 și 2, conform Capitolului 5. Luminozitatea relativă [%], achiziționată de la S3, a fost urmărită pe monitorul PC-ului (utilizând softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming). Au fost modificate condițiile de iluminare în mod succesiv, astfel încât să se obțină o creștere controlată a luminozității procentuale (de la 0 % la 100 %). Valorile originale sunt prezentate în Tabelul 5.11, iar graficul valorilor în Figura 5.11, reprezentate prin mediul MS-Excel 2010.

Tabel 5.11 Valori Luminozitate relativă % și tensiune V

Luminozitate [%]	Tensiune [v]	Luminozitate [%]	Tensiune [v]	Luminozitate [%]	Tensiune [v]
0	4,99	34	3,23	67	2,09
1	4,32	35	3,20	68	2,07
2	4,29	36	3,16	69	2,01
3	4,27	37	3,14	70	1,98
4	4,22	38	3,08	71	1,95
5	4,18	39	3,06	72	1,92
6	4,15	40	3,02	73	1,88
7	4,12	41	2,98	74	1,85
8	4,07	42	2,95	75	1,81
9	4,03	43	2,91	76	1,77
...
21	3,67	54	2,54	88	1,38
22	3,62	55	2,51	89	1,35
23	3,59	56	2,47	90	1,32
24	3,56	57	2,44	91	1,26
25	3,54	58	2,40	92	1,24
26	3,50	59	2,38	93	1,22
27	3,47	60	2,34	94	1,18
28	3,42	61	2,29	95	1,12
29	3,40	62	2,26	96	1,09
30	3,36	63	2,24	97	1,06
31	3,33	64	2,19	98	1,05
32	3,28	65	2,17	99	1,01
33	3,25	66	2,12	100	0,67

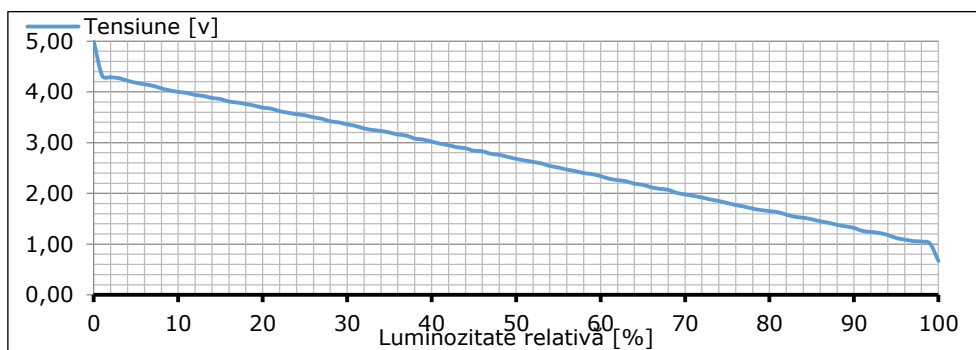


Figura 5.11 Graficul de comparație dintre luminozitate relativă % și tensiune V

Anexa 5.11 Achiziție semnalele pentru $\alpha_y = 30^\circ$

Achiziția semnalelor $\alpha_y = 30^\circ$ a fost realizată pentru o mișcare (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*) în sensul unghiului $\alpha_y = 30^\circ$. Astfel, au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori, iar o parte originală a valorilor din proba Nr.1 și a valorilor medii, se regăsește mai jos.

Achiziție semnalele $\alpha_y = 30^\circ$

Proba Nr.1				Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10			
Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]	...	Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	3,000	...	0,000	0,000	193,412	-11,471
0,085	0,000	195,000	-44,000	...	0,086	0,445	197,588	-41,059
0,129	2,160	200,000	-27,000	...	0,131	2,584	193,118	-18,529
0,173	6,120	190,000	-20,000	...	0,188	7,814	189,529	3,059
0,216	10,080	181,000	34,000	...	0,235	12,854	183,412	26,294
0,261	15,120	178,000	51,000	...	0,281	18,064	175,588	68,647
0,309	20,880	169,000	113,000	...	0,330	22,976	171,941	82,824
...
2,307	-10,080	186,000	-9,000	...	2,462	-2,541	178,176	3,000
2,352	-14,040	181,000	4,000	...	2,511	-5,760	171,235	-20,588
2,396	-20,160	167,000	3,000	...	2,560	-9,508	165,412	-43,235
2,440	-25,920	141,000	-95,000	...	2,609	-13,045	168,471	-93,941
2,491	-32,040	160,000	-143,000	...	2,659	-15,946	165,235	-64,118
2,538	-33,840	151,000	-214,000	...	2,710	-18,275	165,353	-99,706
2,583	-34,920	155,000	-72,000	...	2,760	-18,889	166,000	-81,118
2,627	-33,840	168,000	-244,000	...	2,809	-17,958	165,412	-93,294
2,671	-29,880	151,000	-154,000	...	2,857	-15,607	167,765	-64,647
2,715	-23,040	164,000	-116,000	...	2,906	-12,875	166,588	-27,412
...
2,803	-6,840	154,000	107,000	...	3,004	-9,508	182,647	-22,765
2,851	1,080	182,000	-45,000	...	3,054	-8,852	178,588	-28,588
2,896	5,040	182,000	62,000	...	3,102	-8,259	181,294	-41,706
2,948	7,920	200,000	11,000	...	3,151	-6,925	183,000	-42,059
2,992	9,000	194,000	23,000	...	3,200	-3,812	183,176	-25,882
3,036	10,080	189,000	3,000	...	3,251	0,508	183,353	-31,353
...
5,575	-2,160	193,000	-4,000	...	4,658	-1,186	158,588	-4,412
5,617	-2,160	194,000	-6,000	...	4,693	-1,144	158,765	-9,000
5,658	-2,160	194,000	-4,000	...	4,728	-1,144	158,882	-5,765
5,700	-2,160	193,000	-4,000	...	4,763	-1,144	158,941	-8,529
5,743	-2,160	193,000	-6,000	...	4,798	-1,144	158,824	-7,118
5,791	-2,160	193,000	-6,000	...	4,833	-1,144	159,059	-7,647
5,832	-2,160	193,000	-4,000	...	4,868	-1,144	159,059	-7,706
5,874	-2,160	194,000	-6,000	...	4,902	-1,144	158,824	-7,647
5,915	-2,160	194,000	-5,000	...	3,872	-0,826	124,824	-6,647
5,956	-2,160	193,000	-5,000	...	2,111	-0,508	68,000	-3,765
5,998	-2,160	194,000	-5,000	...	2,127	-0,508	68,059	-3,706

Anexa 5.12 Achiziție semnale pentru $\alpha'_y = 30^\circ$

Achiziția semnalelor $\alpha'_y = 30^\circ$ a fost realizată pentru o mișcare (utilizând softul *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*) în sensul unghiului $\alpha_y = 30^\circ$. Astfel, au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori, iar o parte originală a valorilor din proba Nr.1 și a valorilor medii, se regăsește mai jos.

Achiziție semnalele $\alpha'_y = 30^\circ$

Proba Nr.1				Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10			
Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]	...	Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	4,000	...	0,000	0,000	192,800	9,200
0,078	0,000	193,000	4,000	...	0,078	0,000	193,000	9,200
0,136	-1,080	192,000	4,000	...	0,136	-0,648	193,600	29,800
0,195	-6,840	176,000	111,000	...	0,195	-6,192	188,000	45,000
0,253	-14,040	195,000	29,000	...	0,253	-14,040	177,800	-6,600
0,315	-20,880	173,000	-129,000	...	0,315	-22,176	180,600	-86,000
0,373	-25,920	192,000	-110,000	...	0,373	-27,864	185,000	-90,200
0,431	-29,880	177,000	-178,000	...	0,432	-30,528	185,400	-67,600
...
3,462	-32,040	180,000	-180,000	...	3,466	-25,488	176,200	-75,800
3,523	-25,920	176,000	-73,000	...	3,526	-16,776	176,200	26,000
3,582	-16,920	172,000	17,000	...	3,585	-7,848	182,600	21,400
3,640	-7,920	175,000	94,000	...	3,643	-0,720	183,000	55,600
3,699	0,000	209,000	-61,000	...	3,701	3,168	198,200	-8,800
3,757	3,960	176,000	83,000	...	3,760	6,120	188,600	36,200
3,819	6,840	199,000	14,000	...	3,821	9,576	189,400	31,200
3,878	9,000	193,000	-9,000	...	3,879	14,760	177,000	39,800
3,936	14,040	181,000	26,000	...	3,938	20,592	168,000	78,200
...
5,065	-11,160	167,000	77,000	...	5,068	-3,240	181,200	31,000
5,124	-2,160	182,000	29,000	...	5,126	0,864	183,800	25,800
5,181	2,880	190,000	16,000	...	5,182	2,088	195,800	15,400
5,237	2,880	194,000	-6,000	...	5,238	1,440	193,800	13,600
5,301	2,160	191,000	10,000	...	5,300	0,864	190,200	7,400
5,356	1,080	195,000	-5,000	...	5,358	0,864	192,000	17,600
5,416	0,000	194,000	12,000	...	5,416	0,648	192,200	11,600
5,471	0,000	189,000	2,000	...	5,472	0,648	192,400	13,600
5,527	0,000	194,000	6,000	...	5,527	0,648	193,600	13,600
5,583	0,000	193,000	5,000	...	5,583	0,648	192,800	12,400
5,641	0,000	193,000	6,000	...	5,640	0,648	193,000	13,200
5,696	0,000	194,000	5,000	...	5,696	0,648	193,000	12,600
5,754	0,000	193,000	5,000	...	5,753	0,648	192,600	12,600
5,812	0,000	194,000	5,000	...	5,809	0,648	192,800	12,400
5,867	0,000	193,000	5,000	...	5,865	0,648	192,400	12,800
5,923	0,000	193,000	5,000	...	5,921	0,648	192,800	13,000
5,979	0,000	193,000	5,000	...	5,979	0,648	193,000	13,000
6,035	0,000	193,000	5,000	...	6,040	0,648	192,800	13,200

Anexa 5.13 Achiziție semnalele pentru $\alpha_y = 5^\circ$

Achiziția semnalelor $\alpha_y = 5^\circ$ a fost realizată pentru o mișcare (utilizând *softul Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*) în sensul unghiului $\alpha_y = 5^\circ$. Astfel au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori, iar o parte originală a valorilor din proba Nr.1 și a valorilor medii, se regăsește mai jos.

Achiziție semnalele $\alpha_y = 5^\circ$

Proba Nr.1				Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10			
Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]	...	Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	-10,000	...	0,000	0,000	193,000	-13,200
0,085	0,000	193,000	-10,000	...	0,085	0,000	193,000	-13,400
0,129	0,000	192,000	-28,000	...	0,129	0,000	194,200	-38,200
0,173	0,000	191,000	14,000	...	0,173	0,864	192,200	4,000
0,217	1,080	193,000	-44,000	...	0,217	1,944	192,200	-4,400
0,261	2,160	186,000	68,000	...	0,261	2,160	192,200	5,000
0,310	2,160	199,000	-22,000	...	0,310	1,728	192,000	-1,400
...
3,131	-1,080	192,000	-11,000	...	3,131	1,584	188,400	61,000
3,178	2,160	186,000	67,000	...	3,177	2,736	189,400	-7,200
3,223	2,880	191,000	-66,000	...	3,222	2,736	191,400	16,800
3,267	2,880	192,000	34,000	...	3,266	1,656	188,600	11,400
3,312	2,160	189,000	25,000	...	3,310	-0,648	188,000	-15,600
3,356	-1,080	188,000	-14,000	...	3,355	-2,952	195,600	-56,800
3,401	-3,960	200,000	-75,000	...	3,399	-4,392	192,800	-29,600
3,446	-5,040	192,000	-24,000	...	3,444	-4,176	194,000	-81,200
3,494	-3,960	195,000	-95,000	...	3,492	-2,088	191,800	-22,600
3,538	-2,160	193,000	-8,000	...	3,536	0,936	191,000	11,800
3,582	2,160	194,000	23,000	...	3,581	2,736	186,200	12,600
3,634	2,880	193,000	-23,000	...	3,630	2,880	193,800	11,800
3,679	2,880	194,000	11,000	...	3,677	2,088	189,200	9,800
3,723	2,880	190,000	54,000	...	3,721	-0,072	189,000	0,000
...
5,486	-2,160	193,000	-18,000	...	5,470	-2,160	192,600	-19,600
5,528	-2,160	193,000	-17,000	...	5,511	-2,160	192,600	-19,400
5,576	-2,160	193,000	-17,000	...	5,557	-2,160	192,600	-19,400
5,617	-2,160	193,000	-17,000	...	5,601	-2,160	192,600	-19,400
5,658	-2,160	193,000	-17,000	...	5,643	-2,160	192,600	-19,400
5,699	-2,160	193,000	-17,000	...	5,684	-2,160	192,600	-19,400
5,742	-2,160	193,000	-17,000	...	5,727	-2,160	192,600	-19,200
5,784	-2,160	193,000	-17,000	...	5,768	-2,160	192,600	-19,200
5,825	-2,160	193,000	-17,000	...	5,810	-2,160	192,600	-19,200
5,866	-2,160	193,000	-17,000	...	5,851	-2,160	192,600	-19,400
5,907	-2,160	193,000	-17,000	...	5,892	-2,160	192,600	-19,400
5,948	-2,160	193,000	-17,000	...	5,934	-2,160	192,600	-19,200
5,989	-2,160	193,000	-17,000	...	5,975	-2,160	192,600	-19,400

Anexa 5.14 Achiziție semnalele pentru $\alpha'_y = 5^\circ$

Achiziția semnalelor $\alpha'_y = 5^\circ$ a fost realizată pentru o mișcare (utilizând softul *Lego Mindstorms Education NXT-2 Programming*) în sensul unghiului $\alpha_y = 5^\circ$. Astfel, au fost achiziționate semnalele de la senzorul S2 axa X, S2 axa Z și S3. Experimentul a fost repetat de 10 ori, iar o parte originală a valorilor din proba Nr.1 și a valorilor medii, se regăsește mai jos.

Achiziție semnalele $\alpha'_y = 5^\circ$

Proba Nr.1				Proba Nr.2... Nr.10	Media experimentelor Nr.1...Nr.10			
Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]	...	Timp [s]	S3 [°]	S2 axa X [g]	S2 axa Z [g]
0,000	0,000	193,000	14,000	...	0,000	0,000	193,000	11,571
0,070	0,000	193,000	15,000	...	0,071	0,000	193,000	11,571
0,113	0,000	193,000	20,000	...	0,114	-0,154	192,429	19,429
0,156	-1,080	187,000	36,000	...	0,157	-1,234	189,857	26,286
0,199	-2,880	198,000	-44,000	...	0,200	-2,880	195,000	-26,143
0,242	-2,880	211,000	-1,000	...	0,243	-2,880	198,857	-11,000
0,285	-2,880	190,000	-8,000	...	0,287	-2,777	195,714	-9,000
0,331	-2,160	189,000	-45,000	...	0,332	-1,234	194,143	-25,286
...
4,843	0,000	193,000	14,000	...	4,855	0,463	193,571	11,143
4,884	0,000	193,000	12,000	...	4,896	0,463	193,143	12,286
4,924	0,000	193,000	7,000	...	4,936	0,463	193,286	11,429
4,964	0,000	193,000	12,000	...	4,976	0,463	193,000	10,714
5,004	0,000	192,000	13,000	...	5,017	0,463	192,857	11,857
5,044	0,000	193,000	11,000	...	5,057	0,463	193,000	11,286
5,089	0,000	193,000	11,000	...	5,098	0,463	192,714	10,286
5,129	0,000	193,000	12,000	...	5,138	0,463	193,143	11,143
5,170	0,000	193,000	12,000	...	5,179	0,463	193,000	11,000
5,210	0,000	193,000	12,000	...	5,219	0,463	193,000	11,286
5,250	0,000	193,000	11,000	...	5,260	0,463	193,000	10,857
5,290	0,000	193,000	11,000	...	5,300	0,463	193,000	11,000
5,330	0,000	193,000	11,000	...	5,346	0,463	193,000	10,857
5,370	0,000	193,000	12,000	...	5,388	0,463	193,000	11,143
5,412	0,000	193,000	12,000	...	5,429	0,463	193,000	11,000
5,453	0,000	193,000	11,000	...	5,469	0,463	193,000	11,000
5,501	0,000	193,000	11,000	...	5,511	0,463	193,000	11,000
5,541	0,000	193,000	12,000	...	5,551	0,463	193,000	10,857
5,581	0,000	193,000	11,000	...	5,593	0,463	193,000	11,000
5,621	0,000	193,000	12,000	...	5,633	0,463	193,000	11,143
5,661	0,000	193,000	11,000	...	5,674	0,463	193,000	10,857
5,701	0,000	193,000	11,000	...	5,715	0,463	193,000	11,000
5,745	0,000	193,000	11,000	...	5,757	0,463	193,000	11,000
5,787	0,000	193,000	11,000	...	5,798	0,463	193,000	11,143
5,828	0,000	193,000	12,000	...	5,839	0,617	193,000	11,143
5,869	0,000	193,000	12,000	...	5,882	0,617	193,000	11,000
5,910	0,000	193,000	11,000	...	5,924	0,617	193,000	11,000
5,950	0,000	193,000	11,000	...	5,965	0,617	193,000	11,000
5,990	0,000	193,000	11,000	...	6,005	0,617	193,000	11,000

Anexa 5.15 Analiza sinergică a valorilor achiziționate de la senzorul S3

Primul set de experimente a vizat estimarea vitezei de rotație a elementului (1) al demonstratorului, pornind de la unghiul de rotație achiziționat de la senzorul S3. Această informație va fi comparată cu valoarea achiziționată de la senzorul S1.

Informațiile achiziționate de la S3 au fost prelucrate statistic și sunt prezentate mai jos.

Analiza sinergică a valorilor achiziționate de la senzorul S3

Timp [s]	S3 [°]	S1 [°/s]	Ω med [°/s]
0,000	0,000	0,000	0,000
0,085	0,000	-0,200	0,005
0,129	0,432	7,200	9,854
0,173	2,952	55,000	57,014
0,217	6,552	79,800	81,818
0,261	10,800	91,600	96,109
0,309	16,128	101,800	111,000
0,354	20,232	82,800	92,018
0,398	23,760	72,400	80,182
...
3,437	22,392	84,800	91,636
3,486	26,496	74,000	84,793
3,534	28,728	24,400	45,926
3,581	29,304	6,600	12,255
3,626	28,512	-27,000	-17,838
3,670	25,632	-61,200	-65,455
3,714	21,816	-77,800	-86,727
3,758	16,992	-107,200	-109,636
...
5,435	-0,216	-58,600	-64,225
5,482	-1,800	-13,600	-34,138
5,524	-2,088	-9,400	-6,729
5,567	-1,872	9,000	5,023
5,609	-1,440	10,600	10,385
5,650	-1,296	-0,600	3,495
5,692	-1,296	3,400	0,000
5,735	-1,296	-2,200	0,000
5,777	-1,296	1,000	0,000
5,818	-1,296	0,400	0,000
5,859	-1,296	0,000	0,000
5,901	-1,296	0,600	0,000
5,946	-1,296	1,000	0,000
5,987	-1,296	0,600	0,000
6,031	-1,296	0,400	0,000

Anexa 5.16 Date preluate de către platforma NXT-2, de la senzorul optic în timpul menținerii echilibrului robotului mobil

Date preluate de către platforma NXT-2, de la senzorul optic în timpul menținerii echilibrului robotului mobil, se regăsesc mai jos.

Date preluate de către platforma NXT-2

Timp [s]	Senzor optic [%]	Timp [s]	Senzor optic [%]	Timp [s]	Senzor optic [%]	Timp [s]	Senzor optic [%]
0	62	4,98	61	9,989	62	14,987	61
0,013	61	4,993	62	10,002	63	15	61
0,025	62	5,006	62	10,014	63	15,013	61
0,038	61	5,019	62	10,027	62	15,026	61
0,051	61	5,032	62	10,04	62	15,038	61
0,063	62	5,045	62	10,053	62	15,051	61
...
2,948	61	7,95	61	12,939	62	17,958	62
2,961	61	7,963	61	12,952	62	17,971	62
2,974	61	7,976	61	12,965	62	17,984	62
2,987	61	7,989	61	12,978	62	17,997	62
3	61	8,002	61	12,99	62	18,01	62
3,013	61	8,014	61	13,007	61	18,023	62
3,026	61	8,027	61	13,02	62	18,036	62
3,039	61	8,04	61	13,033	61	18,049	62
3,051	61	8,053	61	13,046	61	18,062	62
3,065	61	8,066	61	13,059	61	18,075	62
3,077	61	8,079	61	13,072	61	18,092	62
...
3,103	61	8,105	61	13,097	61	18,118	62
3,116	60	8,117	61	13,11	61	18,131	62
3,129	61	8,13	61	13,123	61	18,144	62
3,142	61	8,143	62	13,136	61	18,157	62
3,155	61	8,156	61	13,149	61	18,17	62
...
4,665	62	9,651	61	14,647	62	19,682	61
4,678	62	9,664	61	14,66	62	19,695	61
4,691	62	9,677	61	14,673	62	19,708	61
4,704	61	9,69	61	14,686	62	19,721	61
...
4,915	61	9,899	62	14,893	61	19,928	62
4,928	61	9,912	62	14,906	61	19,941	62
4,941	62	9,925	62	14,922	61	19,954	62
4,954	61	9,937	62	14,936	61	19,967	62
4,967	62	9,95	62	14,949	61	19,983	62
4,98	61	9,963	62	14,961	61	19,996	62
4,993	62	9,976	62	14,974	61	20,009	61

Anexa 6.1 Ecuții din modelul dinamic al robotului humanoid

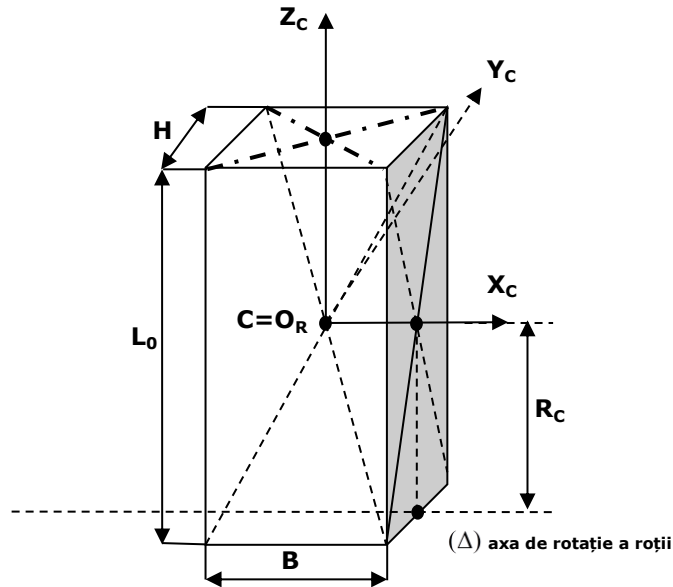


Figura 6.1 Evaluarea momentului de inerție față de axa de rotație a roții

$$J_{X_C} = \frac{M}{12}(L^2 + H^2) \quad (6.1)$$

$$J_{Z_C} = \frac{M}{12}(H^2 + B^2) \quad (6.2)$$

$$J_{\Delta} = J_{x_c} + MR_C^2 \quad (6.3)$$

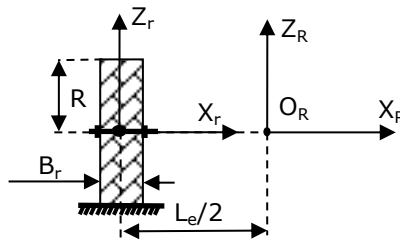


Figura 6.2 Evaluarea momentului de inerție a roții față de axa $O_R Z_R$

$$J_{X_r} = \frac{m_r R^2}{2} \quad (6.4)$$

$$J_{Z_r} = \frac{1}{4} m_r \left(R^2 + \frac{B_r^2}{3} \right) \quad (6.5)$$

$$J_{Z_R} = J_{Z_r} + m_r \frac{L_e^2}{4} \quad (6.6)$$

Anexa 6.2 Modelare Matlab

Pentru a putea genera rezultatele ecuațiilor și a constantelor, se va folosi limbajul de programare Matlab, care face posibilă conversia din sistemele matematice în limbajul de simulare.

Pentru a face acest lucru, se va deschide programul Matlab. Imediat după deschidere, va apărea o fereastră principală în care se pot scrie diferite comenzi de execuție, setare, prescurtări, pentru diferite acțiuni. Câmpul în care se vor scrie comenzile rapide apare sub forma „>>” (Figura 6.3). Pentru a învăța cum se folosesc sintaxele și sistemul de programare, se tastează comanda „helpdesk” sau „help”, care va deschide un chenar ajutător cu informații de utilizare.

Pentru a crea un nou fișier în care vom scrie toate datele pe care dorim să le rulăm și să le generăm în workspace, se tastează comanda „edit”, iar fișierul salvat va avea extensia „.m” (Figura 6.3.a).

În fereastra deschisă se pot genera și calcule pentru orice model matematic. Pentru a genera, de exemplu, un vector se va tasta $X = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5]$ și se va executa funcția „Run” din meniul Matlab. Pentru a vizualiza vectorul generat, se scrie doar „X” în tabela de comenzi rapide și va apărea rezultatul „1 2 3 4 5”. La fel se procedează și pentru matrici, însă numerele vor fi despărțite prin semnul „;”. Spre exemplu: matricea A va fi scrisă: $A = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5; 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5; 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5]$ (Figura 6.3).

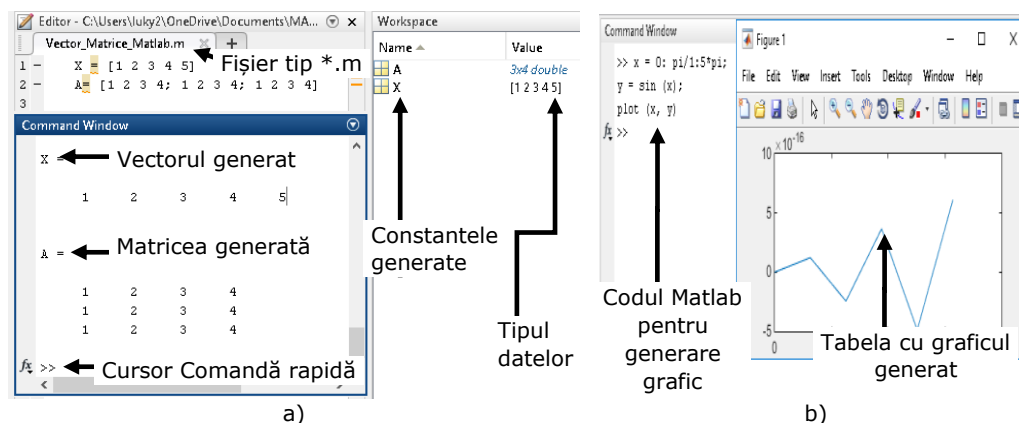


Figura 6.3 a) Comenzi și valori generate în Matlab; **b)** Comandă și graficul generat în Matlab

În cazul în care se folosesc multe variabile generate în workspace și nu se mai pot identifica, se tastează comanda rapidă „whos” care va returna informații despre fiecare valoare sub formă tabelară. Operațiile cele mai uzuale sunt date de simbolurile: + adunare; - scădere; * înmulțire; / împărțire; ^ ridicare la putere; sqrt rădăcină pătrată.

Pentru a face un grafic simplu, se va folosi următoarea expresie: $x = 0: \pi/1: 5*\pi$, în care definim întâi pe „x”, în care 0 reprezintă numărul de start și merge până la $5*\pi$ în pași de câte $\pi/1$. După ce am definit „x”, vom defini axa următoare a graficului, axa Y prin expresia $y = \sin(x)$, în loc de sin, se poate scrie orice altă variantă de modelare. După ce am definit cele două axe, se scrie comanda: plot(x, y) pentru a crea graficul (Figura 6.3.b). Pentru a putea insera un comentariu, o linie de program, care să nu fie luată în calcul la rulare, se folosește simbolul „%” la începutul fiecărui rând, care se dorește a fi luat ca și o descriere, nu ca și un cod.

Anexa 6.3 Codul Matlab pentru simularea menținerii echilibrului robotului mobil [***, 6.1]

Codul Matlab pentru simularea menținerii echilibrului robotului mobil	
<pre> % Robot mobil pe două roți % Parametrii si calculul matricii spatiului de stare. % Constantă fizică g = 9.81; % forța gravitațională [m/sec^2] m = 0.019; % masa rotii motoare [Kg] R = 0.028; % raza rotii motoare [m] Jr = m * R^2 / 2; % momentul de inertie a rotii [Kg*m^2] M = 0.527; % masa elementului mobil in cazul s1 L0 = 0.135; % inaltimea robotului B = 0.13; % latimea robotului H = 0.060; % latimea laterala a robotului H0 = H / 2; % pozitia centrului de masa in planul vertical [m] L=0.08 % pozitia centrului de masa fata de axa rotilor [m] Jpsi = M * L^2 / 3; % momentul unghiului de înclinare al robotului [kgm^2] Jphi = M * (W^2 + D^2) / 12; % momentul unghiului de rotație al robotului [kgm^2] fm = 0.0022; % coeficientul de frecare intre motor si corpul robotului fw = 0; % coeficientul de frecare intre suprafata si roata % Parametrii motorului electric de acționare Jm = 1e-5; % Momentul de inertie a motorului [kgm^2] Rm = 6.69; % Rezistenta motorului [Ohm] Kb = 0.468; % Constanta motorului electric (EMF) [Vsec/rad] Kt = 0.317; % Constanta de turatie a motorului electric [Nm/A] n = 48; % Rata de transmisie % Calculul matricial al spatiului de stare alpha = n * Kt / Rm; beta = n * Kt * Kb / Rm + fm; tmp = beta + fw; E_11 = (2 * m + M) * R^2 + 2 * Jw + 2 * n^2 * Jm; E_12 = M * L * R - 2 * n^2 * Jm; </pre>	<pre> E_22 = M * L^2 + Jpsi + 2 * n^2 * Jm; detE = E_11 * E_22 - E_12^2; A1_32 = -g * M * L * E_12 / detE; A1_42 = g * M * L * E_11 / detE; A1_33 = -2 * (tmp * E_22 + beta * E_12) / detE; A1_43 = 2 * (tmp * E_12 + beta * E_11) / detE; A1_34 = 2 * beta * (E_22 + E_12) / detE; A1_44 = -2 * beta * (E_11 + E_12) / detE; B1_3 = alpha * (E_22 + E_12) / detE; B1_4 = -alpha * (E_11 + E_12) / detE; A1 = [0 0 1 0 0 0 0 1 0 A1_32 A1_33 A1_34 0 A1_42 A1_43 A1_44]; B1 = [0 0 0 0 B1_3 B1_3 B1_4 B1_4]; C1 = eye(4); D1 = zeros(4, 2); I = m * W^2 / 2 + Jphi + (Jw + n^2 * Jm) * W^2 / (2 * R^2); J = tmp * W^2 / (2 * R^2); K = alpha * W / (2 * R); A2 = [0 1 0 -J / I]; B2 = [0 0 -K / I K / I]; C2 = eye(2); D2 = zeros(2); clear alpha beta tmp clear E_11 E_12 E_22 detE clear A1_32 A1_33 A1_34 A1_42 A1_43 A1_44 B1_3 B1_4 I J K </pre>

Anexa 6.4 Modelare Matlab/Simulink

Pentru a folosi softul Simulink, trebuie executați câțiva pași de bază pentru a putea rula o simulare. Pentru acest lucru, direct în fereastra Matlab de comandă rapidă „<<” se scrie comanda „Simulink”, după care se apasă tasta „enter” și apare meniul de Simulink.

După ce a apărut meniul, pentru a putea începe să facem o simulare, trebuie să deschidem un fișier nou. Această operațiune se face din meniu, accesând „new model”. Înainte de a putea executa simularea blocurilor construite, trebuie să salvăm fișierul salvat. Acest fișier va avea extensia *. Mdl.

Pentru a insera blocuri, în fereastra de lucru se accesează în meniul „view” după se accesează „Library browser” (Figura 6.4), după care accesăm biblioteca din meniu și va apărea un ecran cu modele din care putem să alegem ce bloc se dorește pentru utilizare.

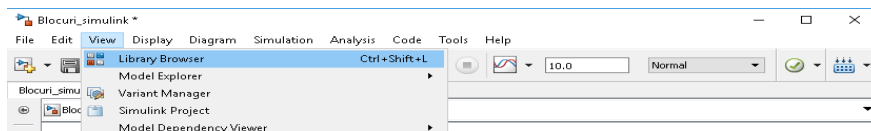


Figura 6.4 Bara de meniu pentru bibliotecă

În fereastra nou deschisă vom încerca să adăugăm blocuri de comenzi, în funcție de necesitățile simulării pe care dorim să o executăm (Figura 6.5). Pentru a utiliza blocul selectat, se trage de acesta direct în fereastra de lucru.

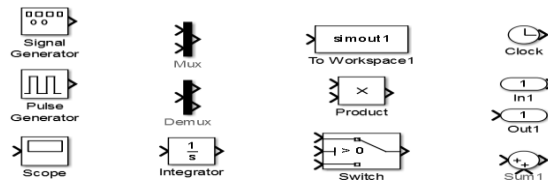


Figura 6.5 Funcții Simulink

Cele mai dese funcții și blocuri utilizate sunt: sources, sine wave, signal generator, pulse generator - utilizate în generarea diferitelor semnale; sinks, scope - utilizate în afișarea semnalelor generate, acestea pot afișa mai multe semnale deodată în același ecran, în funcție de câte intrări sunt setate pentru blocul respectiv; discrete - conține elemente liniare; transfer function - funcții de transfer; blocurile liniare - conțin ecuații de stare, sumatoare, amplificatoare etc.; blocurile nonliniare - conțin elemente de saturație, întârziere; conexiunile între mai multe semnale se poate face prin blocurile mux și demux.

Blocurile de semnale și condiții se leagă între ele printr-o linie de conexiune. Această linie se trage de la blocul de la care pleacă semnalul, la blocul la care dorim să primim semnalul. Direcția semnalului este indicată de direcția săgeții liniei. De la aceeași linie se poate pleca cu o altă linie, la alt bloc de intrare, iar punctul în care se unesc cele două linii se cheamă nod de legătură. Două semnale generate nu pot fi conectate cu aceeași linie. Pentru a conecta cele două semnale la o singură linie se folosesc blocurile speciale.

După ce este construit un model Figura 6.6 pe care dorim să îl simulăm, trebuie să facem setări ale parametrilor de simulare.

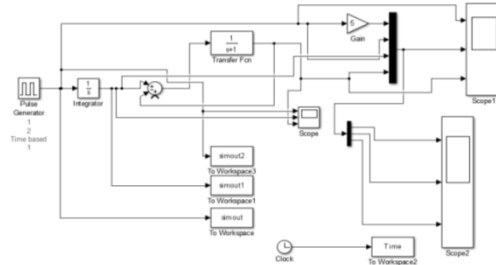


Figura 6.6 Model de simulare în Simulink

Aceste setări se realizează din meniul *Simulation*, după care se accesează sub meniul *Configuration Parameters*. În setări se introduc parametrii de bază, cum ar fi limitele minime și maxime ale variabilelor, precum și timpul de rulare. După efectuarea setărilor de bază a simulării, se accesează butonul verde, *Run*, care pornește simularea Figura 6.7.

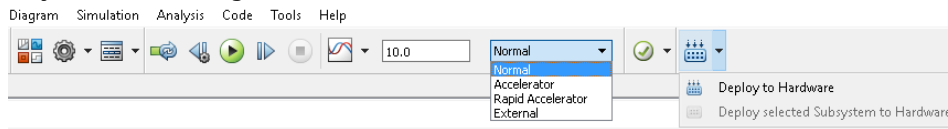


Figura 6.7 Bara de simulare și încărcare în controler

Odată ce simularea este rulată și nu apare nicio eroare, se poate simula direct pe un dispozitiv real platforma Lego NXT sau Arduino. Pentru a face acest lucru, mai întâi se compilează toate blocurile în cod sursă, din meniul *Tools – Run on target hardware*, după care se accesează *Deploy to Hardware*, moment în care codul generat va fi transferat în controlerul respectiv.

După ce s-a încărcat programul, se selectează funcția *External* și se execută comanda *Run* de la butonul verde. În cazul rulării, *Run-External*, pot fi vizualizați în timp real toți parametrii din timpul funcționării controlerului. Această funcție este utilă, pentru că grație acesteia se pot schimba parametrii în program, care se schimbă automat în timp real și în controlerul dispozitivului.

O altă funcție foarte importantă pe care cei de la Matlab-Simulink au implementat-o este aceea de a putea transfera datele simulărilor dintr-o parte în alta. Acest lucru se poate face prin inserția blocurilor: Simulink spre Matlab prin „To Workspace” și din Matlab spre Simulink prin „From Workspace”, Figura 6.8.

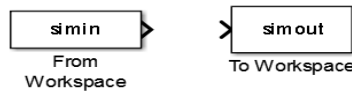


Figura 6.8 Blocurile de transfer între Simulink și Matlab

Toate aceste valori importate și exportate pot fi vizualizate numeric în tabela Workspace din Matlab și importate dacă este necesar, în format Excel.

Anexa 6.5 Date preluate de la robotul humanoid real în timpul menținerii echilibrului

Un set de date preluate de la robotul humanoid real, în timpul menținerii echilibrului, utilizând mediul de programare Matlab/Simulink, este prezentat în Tabelul 6.1.

Tabelul 6.1 Date preluate de la robotul humanoid real în timpul menținerii echilibrului

Timpul	Acc_Axa_X	Acc_Axa_Y	Acc_Axa_Z	Senzor_MA	Senzor_MB	Giroscop
0,668	193	11	-11	0	0	603
0,672	193	11	-11	0	0	603
0,676	193	11	-11	0	0	604
0,68	193	11	-11	0	0	603
0,684	193	11	-11	0	0	604
0,688	193	11	-11	0	0	605
0,692	193	11	-11	0	0	607
0,696	193	11	-11	0	0	608
...
1,024	169	3	26	0	0	674
1,028	169	3	26	0	0	696
1,032	169	3	26	0	0	694
1,036	169	3	26	0	0	683
1,056	169	3	26	0	0	659
1,06	169	3	26	0	0	653
1,064	169	3	26	0	0	640
1,068	169	3	26	0	0	635
1,072	169	3	26	0	0	622
1,076	169	3	26	0	0	617
1,08	169	3	26	0	0	613
1,084	169	3	26	0	0	606
...
1,248	207	52	-48	0	0	576
1,252	207	52	-48	0	0	577
1,256	207	52	-48	0	0	579
1,26	207	52	-48	0	0	582
1,264	207	52	-48	0	0	582
1,268	207	52	-48	0	0	582
1,292	207	52	-48	0	0	587
1,296	207	52	-48	0	0	589
1,3	178	80	-29	0	0	592
1,304	178	80	-29	0	0	598
1,308	178	80	-29	0	0	601
1,312	178	80	-29	0	0	602
1,336	178	80	-29	0	0	592
1,34	178	80	-29	0	0	591
1,344	178	80	-29	0	0	590
1,348	178	80	-29	0	0	589
1,352	178	80	-29	0	0	588
1,356	178	80	-29	0	0	588
1,384	178	80	-29	0	0	598
...

Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT” seria 9: Inginerie Mecanică

1. **Claudiu Ion Gruescu** – *Contribuții la reducerea concentrației emisiilor poluante de mercur provenite din incinerarea deșeurilor municipale*, ISBN: (10) 973-625-367-8, (13) 978-973-625-367-6, (2006);
2. **Lucian Rusu** – *Implante chirurgicale. Studii și cercetări în vederea omologării*, ISBN: (10) 973-625-375-9, (13) 978-973-625-375-1, (2006);
.....
.....
170. **Adrian Pop** - *Contribuții privind utilizarea și optimizarea roboților industriali în aplicații de prelucrare prin așchiere*, ISBN:978-606-35-0040-4, (2016);
171. **Alin-Florin Totorean** – *Curgerea în tuburi elicoidale. Aplicații medicale în intervențiile chirurgicale de tip Bypass coronarian*, ISBN:978-606-35-0060-2, (2016);
172. **Bogdana Simina Fulga** - *Inline quality control system for a reliable additive manufacturing layer-by-layer inspection* , ISBN:978-606-35-0106-7, (2016);
173. **Ioan Laza** – *Micro-sisteme de răcire cu nanofluid ca și fluid de lucru*, ISBN:978-606-35-0120-3, (2016);
174. **Ștefan-Eusebiu Katona** - *Eroziunea cavitațională a oțelurilor inoxidabile cu transformare martensitică indirectă*, ISBN: 978-606-35-0124-1, (2017);
175. **Bianca-Cristina Lengyel** - *Cercetări privind durabilitatea înlocuitorilor de piele*, ISBN: 978-606-35-0145-6, (2017);
176. **Cornelia Laura Sălceanu** - *Curgerea în vanele fluture și eroziunea prin cavitație a componentelor din oțeluri inoxidabile austenitice*, ISBN:978-606-35-0146-3, (2017);
177. **Lucian Alexandru Șandru** – *Demonstratoare mecatronice pentru robotică*, ISBN:978-606-35-0156-2, (2017).



EDITURA POLITEHNICA

Lista completă a tezelor publicate sub sigla Editurii Politehnica poate fi consultată
la adresa: <http://www.editurapolitehnica.upt.ro>

