

# DEMONSTRATOARE MECATRONICE PENTRU ROBOTICĂ

**Teză de doctorat – Rezumat Română**

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Mecanică

**autor ing. Lucian Alexandru ȘANDRU**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Valer DOLGA

luna 06 anul 2017

Teza de doctorat, cu titlul DEMONSTRATOARE MECATRONICE PENTRU ROBOTICĂ, urmărește dezvoltarea unui suport teoretic și aplicativ/experimental pentru o clasă de demonstratoare mecatronice astfel încât să evidențieze 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 în analiza teoretică și experimentală a conceptului pendul invers pentru controlul unor demonstratoare mecatronice.

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.

Teza este structurată pe șapte capitole, bibliografie și anexe. Abordarea și realizarea obiectivelor este descrisă 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 tezei de doctorat, obiectivul principal și obiectivele operaționale. În finalul capitolului este prezentată structura tezei de doctorat pe capitole și extensia acestora.

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

**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 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 concluzii rezultate din prelucrarea datelor experimentale.

**Capitolul 6 – Modelarea și simularea demonstratorului humanoid** - trece în revistă conceptul constructiv al demonstratorului, analize experimentale și modelare, analiza critică a rezultatelor.

**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.

**Bibliografia** - include o parte din titlurile utilizate pe parcursul elaborării tezei.

**Anexele** - includ materiale rezultate și prelucrate în perioada de elaborare a tezei. Toate aceste materiale au fost utilizate pentru redactarea capitolelor tezei.

## 1. INTRODUCERE

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 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 [Mishra, 2011], [Mori, 1969], [\*\*\*, 1.1].

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]. 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].
- Integrarea sinergică a ingineriei mecanice cu electronica și controlul inteligent în proiectarea și fabricarea de produse și procese industriale [Harshama, 1996].

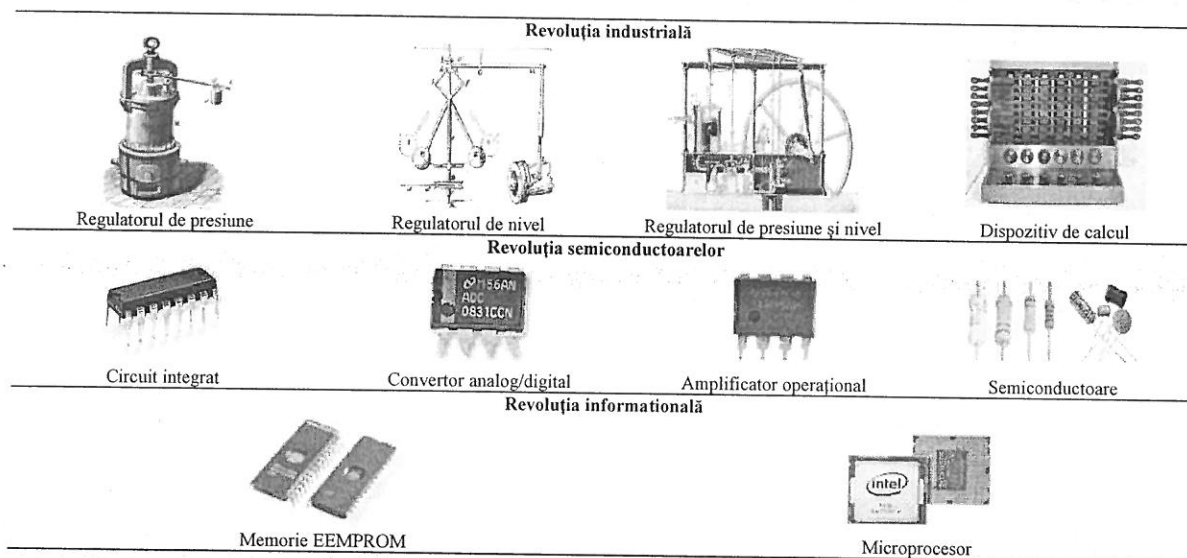
Evoluția sistemelor mecatronice de la revoluția industrială (reprezentată de regulatorul lui Watt) la revoluția informaticii (reprezentată de microcontroler și microprocesor) este sugerată în Figura 1.1 [\*\*\*, 1.4], [\*\*\*, 1.5], [\*\*\*, 1.15].

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 1.1) [\*\*\*, 1.5], [\*\*\*, 1.6].

În 1799 inventatorii R. Delap și M. Murray inventează regulatorul de presiune (Figura 1.1). 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, mașina de cusut Wheeler & Wilson [\*\*\*, 1.7]. Wilhelm Schickard în 1623 pune bazele calculatoarelor moderne inventând primul dispozitiv mecanic de calcul (Figura 1.1) [\*\*\*, 1.9].



**Figura 1.1** Evoluția sistemelor mecatronice

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 disciplinelor tehnice. Această filozofie de proiectare urmărește să realizeze un efect sinergic definit prin produse cu parametri tehnici și economici de calitate [\*\*\*, 1.15].

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]. Numărul roboților de servicii profesionale vânduți în 2015 a crescut considerabil, cu 25%, la 41,060 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 [\*\*\*, 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], [Ivanescu, 2002].

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

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.

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].

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).

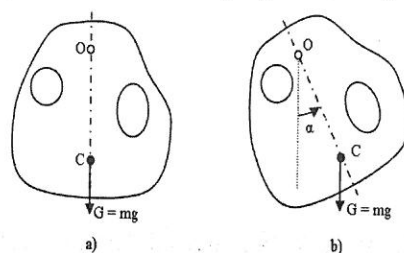


Figura 2.1 Pendulul fizic: a) în echilibru; b) în oscilație

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].

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].

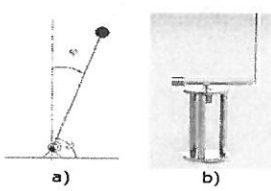
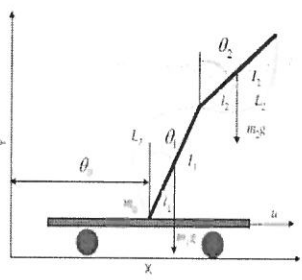
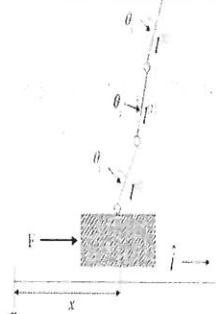
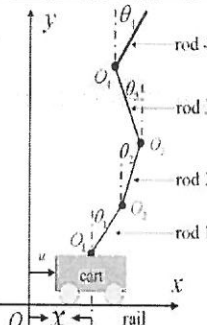
Pendulul invers (inversat) constă dintr-un pendul care are centrul său de masă deasupra punctului de pivotare. În mod inerent, acest pendul este instabil. Pentru a rămâne în poziția verticală care îl definește, pendulul trebuie să fie echilibrat în mod activ.

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], Reaction Wheel Pendulum [Block, 2007], Bicycle [Åström, 2005], VTOL aircraft [Martin, 1996], Beam-and-Ball system [Andreev, 2002], [Boubaker, 2013].

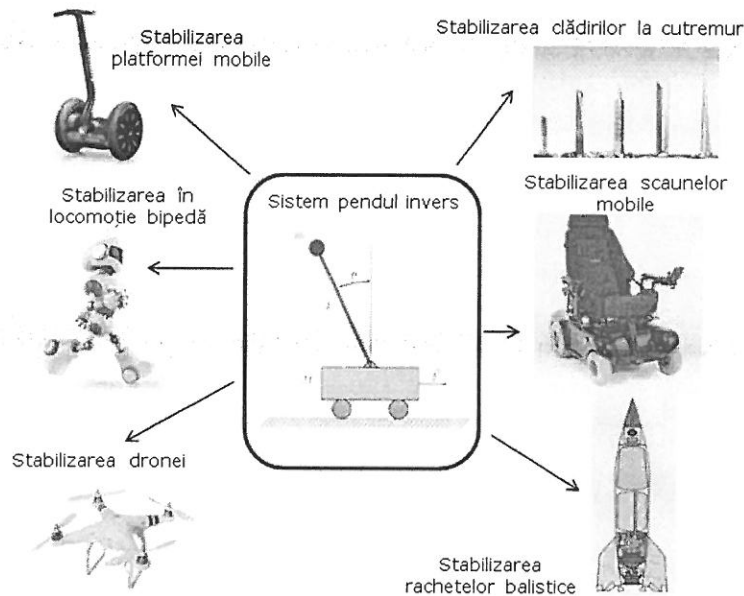
O dezvoltare intensă se poate observa în domeniul roboților pășitori, în special a celor bipezi. Sunt de remarcat firmele Honda cu un robot biped numit ASIMO și Sony cu robotul QRIO, dar și unele cercetări pe aceste tipuri de roboți [Endo, 2005].

Variante principale pentru pendulul invers sunt prezentate în Tabel 2.1, și anume: un sistem pendul invers clasic modelat pe baza unui element elastic și un amortizor, un modul de rotație în plan orizontal care are atașat pendul invers care poate oscila în plan vertical; structura pendulului invers dublu, mecanismul este format din două elemente integrate în structura unui robot mobil în mișcare de translație; sistem pendul invers triplu; sistem pendul invers cuadruplu [Hongxing, 2004].

**Tabel 2.1** Modele ale pendulului invers

			
<p>Pendul invers cu mecanism pasiv (arc și amortizor) [***,2.5]</p>	<p>Pendulul invers dublu [Bogdanov, 2004]</p>	<p>Pendul invers triplu [Su, 2003]</p>	<p>Pendul invers cuadruplu [Hongxing, 2004]</p>

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. În Figura 2.2 sunt prezentate câteva aplicații ce apelează la principiul pendulului invers pentru mentinerea echilibrului.



**Figura 2.2** Aplicații ce folosesc conceptul de pendul invers

Dezvoltarea roboților humanoizi mobili coincide cu dezvoltarea sistemelor mecatronice exoscheletice. Cele mai de interes cercetări în domeniul abordat sunt prezentate în (Tabel 2.2):

- Sistemele de locomoție bipedă au fost printre primele sisteme dezvoltate. Se poate considera că studiul unui exoschelet a pus bazele primelor cercetări în domeniul roboților humanoizi;
- Scaunul mobil cu roți, a fost conceput ca un suport pentru persoanele cu dizabilități motorii pentru a facilita deplasarea acestora;
- Platforma mobilă Segway;
- Dispozitivul de transport monociclu, nu mai este prevăzut cu ghidon iar sprijinul utilizatorului se realizează pe cele două pedale suport amplasate deoparte și de alta a roții motrice.

**Tabel 2.2** Sisteme de locomoție

<p>a) [Vukobratovic, 2006] b) [Bernik, 2016]</p>			
<p>a) Exoschelet pneumatic; b) Pendulul invers, robot humanoid</p>	<p>Scaun mobil acționat electric</p>	<p>a) Platforma mobilă Segway; b) Sistemul pendul invers aplicat platformei</p>	<p>a) Operator pe dispozitivul monociclu; b) Dispozitivul monociclu</p>

**În concluzie:**

- sinteza bibliografică prezentată scoate în evidență rezultatele analizei unui volum mare de literatură din domeniul tezei;
- 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;
- se consideră necesară o analiză bibliografică referitoare la principii și stadiul actual al demonstratoarelor mecatronice.

**3. DEMONSTRATOARE MECATRONICE ȘI PRINCIPII DE FUNCȚIONARE**

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, apăruiți în timpul funcționării.

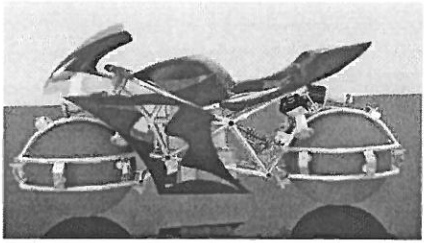
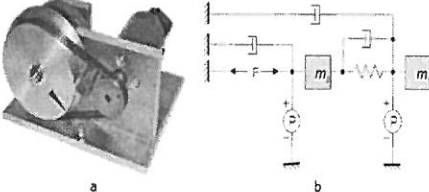
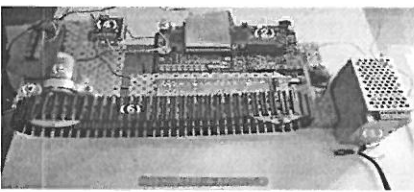
Aceste sisteme dezvoltate sunt un rezultat al procesului de simulare interdisciplinară prin care este implementată partea software, care controlează o combinație de componente mecanice și electrice de precizie [Isermann, 2005].

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

Articolul nominalizează problemele care trebuie analizate prin proiect (Tabel 3.1), prin diverse modele constructive, și anume:

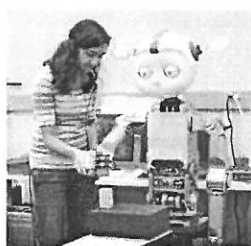
- Varianta de roata sferică aflată sub un șasiu în formă de motocicletă, sistemul de acționare, sistemul de control, sistemul de management al senzorilor, batui;
- Versiune de vehicul sferic sub forma unei mingi și sistemul de acționare în care sunt ilustrate aspecte constructive ale acestui demonstrator;
- Demonstratorul Linux, este un sistem de ordinul 4, echipat cu două roți inertiiale, o transmisie prin curea, un motor și doi senzori;
- Demonstrator pentru liniarizarea caracteristicii unei mișcări oscilatorii.

**Tabel 3.1** Modele constructive ale unor demonstratoare mecatronice

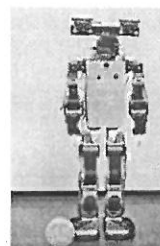
	
<p>Vehicul sferic [***, 3.7]</p>	<p>a) Vehicul sferic; b) Modul de acțiune</p>
	
<p>a) Demonstratorul Linix; b) Modelul demonstratorului [Dirne, 2005]</p>	<p>Sistemul mecatronic de liniarizare și subsistemele sale</p>

Literatura de specialitate evidențiază multiple cercetări referitoare la demonstratoare dedicate roboților mobili [Matsumoto, 1990].

Un robotul humanoid pe nume Simon în interacțiune cu un operator uman este prezentat în Figura 3.2.a Profesorul învață robotul să execute mișcări noi, prin comanda vocală sau prin mișcarea manuală a brațului robotic. În Figura 3.2.b sunt prezentate aspecte de ansamblu ale unui alt robot humanoid pentru percepția imaginilor din jur.



a)



b)

**Figura 3.2** a) Simon în interacțiune cu un operator uman; b) robot humanoid pentru percepția imaginilor din jur

**În concluzie**, toate demonstratoarele prezentate în acest capitol au avut scopul principal de a transpune idei teoretice în modele practice reale. Demonstratoarele 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:

- sistemul 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.

## 4. PROIECTAREA SISTEMELOR MECATRONICE ȘI DEMONSTRATOARE REPREZENTATIVE

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.





























Procesul de proiectare este o activitate complexă care trebuie să se 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 problema 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.

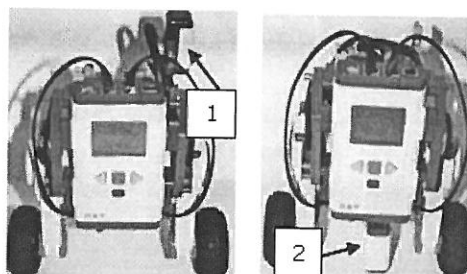
Aceste demonstratoare, conform obiectivelor operaționale din planul de cercetare, trebuie să permită modelarea aspectelor teoretice și a modelelor fizice dezvoltate în elaborarea tezei. În Figura 4.1 sunt prezentate componentele utilizate în construcția demonstratoarelor proprii pe funcții de utilizare.

Funcția	Model hardware			
	A	B	C	D
Locomoție	1 Roata Lego 	Roata Parallax 	Ansamblu pașitor 	Șenilă 
Tracțiune	2 Motor electric Lego 	Motor electric Parallax 	Motor electric dronă 	Motor hibrid electric-termic 
Comunicare	3 Bluetooth 	Wireles 	Cablu USB 	Radio 
Sursă energie	4 Acumulator 	Acumulator 	Sursa de tensiune 	Sursa pneumatică 
Control	5 Lego CPU Controller 	Arduino CPU Controller 	Raspberry pi 2 CPU Controller 	Arduino Controller motor 
Senzorială	6 Giroscopic 	Optic 	Ultrasonic 	Accelerație 
	7 Infraroșu 	Giroscop 	Ultrasonic Pralax ping ))) 	Accelerație - MPU 6050 

**Figura 4.1** Componentele utilizate în construcția demonstratoarelor proprii



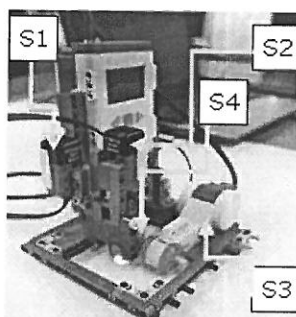
Construcția demonstratoarelor, a debutat cu D-1, un demonstrator mecatronic, robot humanoid Lego NXT-2. În baza sintezelor bibliografice din capitolele 2 și 3 am dezvoltat un prim demonstrator echipat cu senzor giroscopic (1) și senzor optic (2) specific roboticii humanoide (Figura 4.1).



**Figura 4.1** Variante ale demonstratorului humanoid (D-1) [Sandru, 2016]

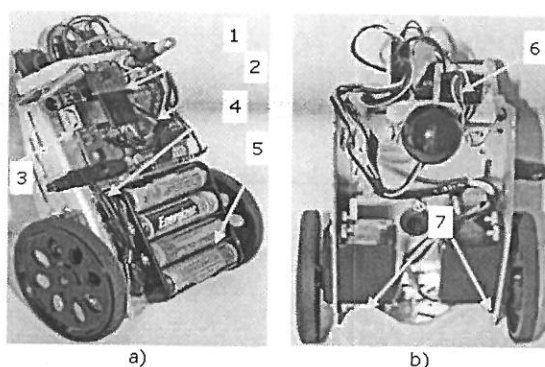
Obiectivul operațional alocat demonstratorului are în vedere modelarea unui sistem humanoid artificial pentru analiza stabilității conform cu principiul pendulului invers.

Următorul demonstrator (D-2) este destinat pentru analiza caracteristicii senzorului optic. Acest demonstrator dorește să confirme parametrii funcționali ai senzorului optic integrat în demonstratorul D-1 și posibilitatea de a corela informațiile cu ceilalți senzori (Figura 4.2).



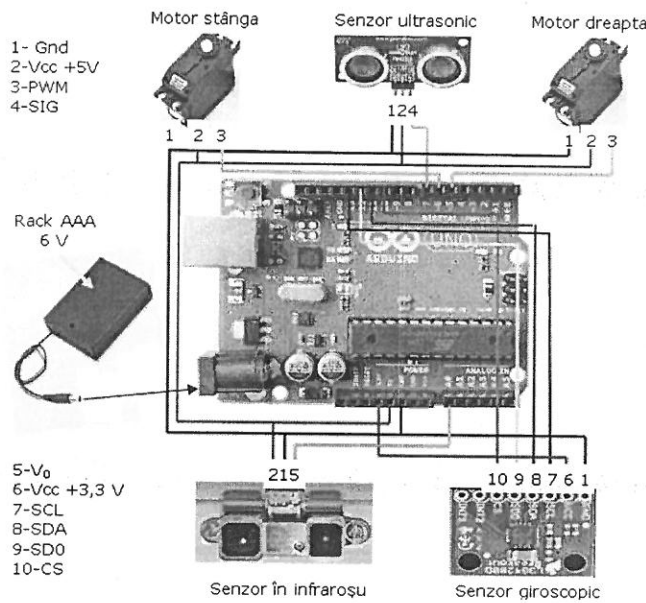
**Figura 4.2** Variante ale demonstratorului humanoid (D-2) [Sandru, 2016]

Demonstratorul D-3 materializează una din cerințele necesare demonstratorului mecatronic, prin combinarea mai multor componente mecatronice. Astfel, acesta oferă posibilitatea de comparare a performanțelor sale cu cele ale unor demonstratoare având aceleași funcții (demonstratorul D-1) (Figura 4.3).



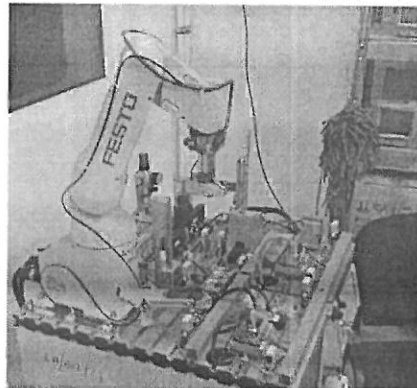
**Figura 4.3** Demonstratorul D-3: a) Vedere laterală; b) Vedere din față [Sandru, 2016]

Schema de conexiune a componentelor hardware utilizate pentru acest demonstrator humanoid mobil sunt prezentate în Figura 4.4.



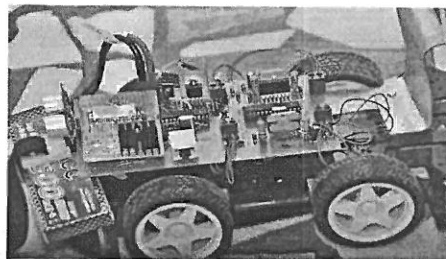
**Figura 4.4** Schema de conexiune a componentelor hardware

Demonstratorul D-4 dezvoltă experimente pentru operații de scriere, desenare sau alte operații grafice, executate cu un robot industrial Mitsubishi RV-2AJ pe diferite suprafețe cu înclinare variabilă. Acesta este prezentat în Figura 4.5.



**Figura 4.5** Robotul Mitsubishi RV-2AJ (D-4) [Crainic... Sandru, 2016]

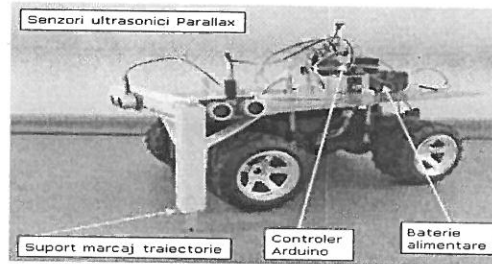
Demonstratorul D-5 este prezentat în Figura 4.6 [Sandru, 2015]. Cerințele impuse demonstratorului au avut în vedere: să scoată în evidență parcursul de materializare a sistemului mecatronic și concretizarea analizei experimentale pentru un sistem care rulează în buclă deschisă.



**Figura 4.6** Demonstrator mecatronic autonom (D-5) [Sandru, 2015]

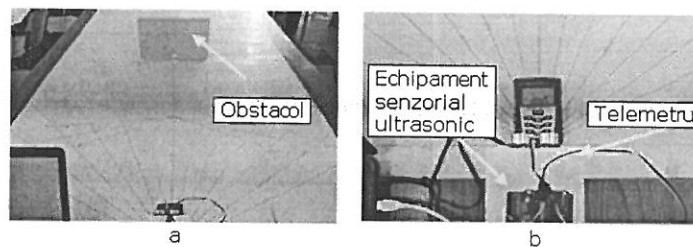
Demonstratorul D-6 a fost destinat pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil [Stanescu..., Sandru, 2015]. Mecanismul de direcție la robotul mobil (Figura 4.7) este pentru a putea analiza capacitatea de a percepe a informațiilor din exterior, capacitatea de

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.



**Figure 4.7** Demonstrator pentru analiza constructivă și funcțională a unui robot mobil [Stanescu..., Sandru, 2015]

Demonstratorul D-7 (Figura 4.8) urmărește testarea caracteristicilor senzorilor ultrasonici, precum și modul cum sunt aceștia influențați de temperatura din mediul exterior. Rezultatele analizelor au fost diseminate prin “Studiul influenței temperaturii asupra senzorilor ultrasonici” [Sandru, 2015].



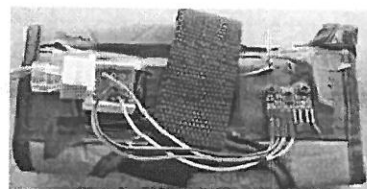
**Figura 4.8** a) Stand experimental; b) Telemetru Bosch și senzorul ultrasonic

Demonstratorul D-8 a avut în vedere posibilitatea utilizării tehnologiei mecatronicii în realizarea unor noi aparate care folosesc principiul pendulului invers pentru menținerea stabilității. Prin experimente utilizând drona Parrot AR 2 [Sandru, 2016] (Figura 4.9), se are în vedere dezvoltarea unor noi metode de comandă și control în zbor pentru drone.



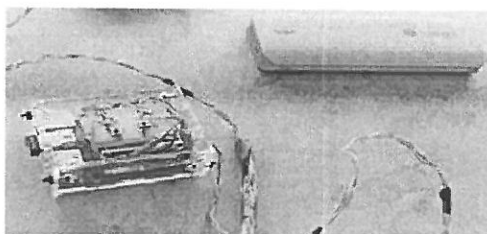
**Figura 4.9** Parrot AR 2

Unul dintre experimentele propuse este acela de a comanda și controla drona utilizând o mână inteligentă (Figura 4.10), echipată cu un senzor de accelerație pe trei axe, care comunică cu o placă de control modelul Raspberry PI (Figura 4.11).



**Figura 4.10** Mână inteligentă

Citirea momentelor de mișcare se realizează cu un dispozitiv senzorial care are încorporat în el un giroscop și un accelerometru pe trei axe (MPU 6050).



**Figura 4.11** Dispozitiv pentru citirea momentelor de mișcare

*În concluzie*, 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 acestor 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.

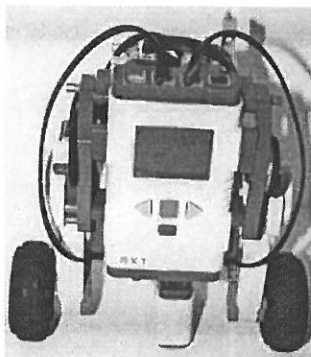
## **5. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A SENZORILOR INTEGRAȚI ÎN STRUCTURA DEMONSTRATORULUI HUMANOID**

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 un demonstrator mecatronic dezvoltat conform filozofiei mecatronice de proiectare, 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.

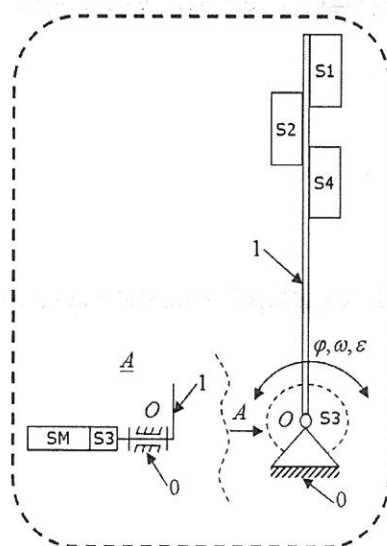
Analiza experimentală a fost proiectată în două faze. În prima fază am realizat analiza comportamentului elementelor senzoriale pe un stand experimental, dezvoltat special în acest scop. În faza a doua a fost realizat un set de experiment direct pe structura demonstratorului în fază finală. S-a urmărit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



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

Standul a fost realizat pe baza componentelor Lego Mindstorm. Schema principială 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  $\varphi$ . Pe elementul mobil sunt poziționați senzorii: S1 – senzor accelerație/inclinare, S2 – Senzor giroscopic, S4 – Senzor optic. Structura dezvoltată beneficiază de avantajele platformei Lego Mindstorm NXT-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 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.

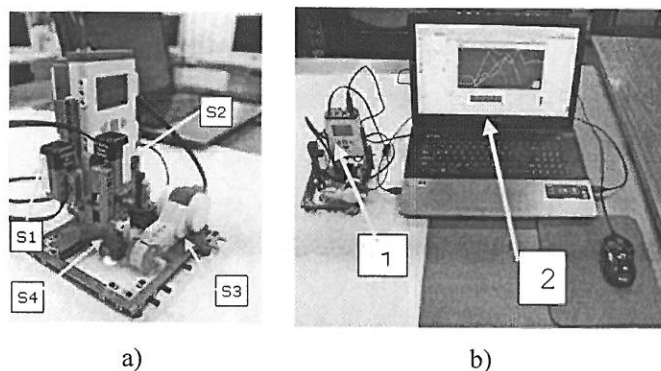


**Figura 5.2** Schema principială a sistemului mobil dezvoltat (SM – servomotor electric)  
[Sandru, 2016]

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.

Din analizele datelor și a graficelor fiecărui experiment, se prezintă o formă grafică generală pentru semnalele celor doi senzori S3 și S4 (Figura 5.4). Această reprezentare permite emiterea de concluzii referitoare la comportamentul elementului senzorial S3 prin prisma aspectelor avute în vedere.

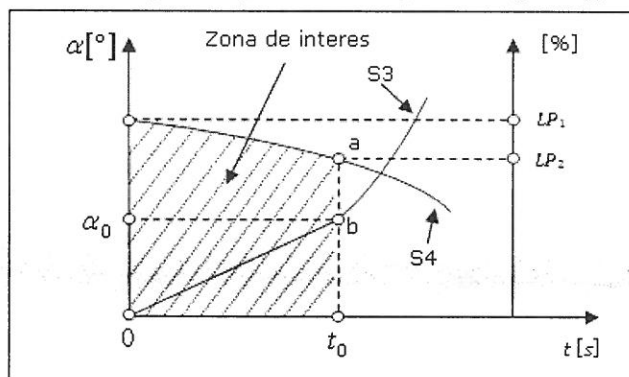


**Figura 5.3** a) Stand experimental: S1- senzor giroscopic; S2- senzor de accelerație; S3 – senzor rotație, S4- senzor optic;  
 b) Standul experimental (1) și sistemul de calcul (2) asociat [Sandru, 2016]

Astfel, se pot menționa următoarele concluzii:

- Suprafața de reflexie și mediul ambiant 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  $\alpha_0$  (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  $\alpha_0$ ).



**Figura 5.4** Forma generală a semnalelor de la S4 și S3

- 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.

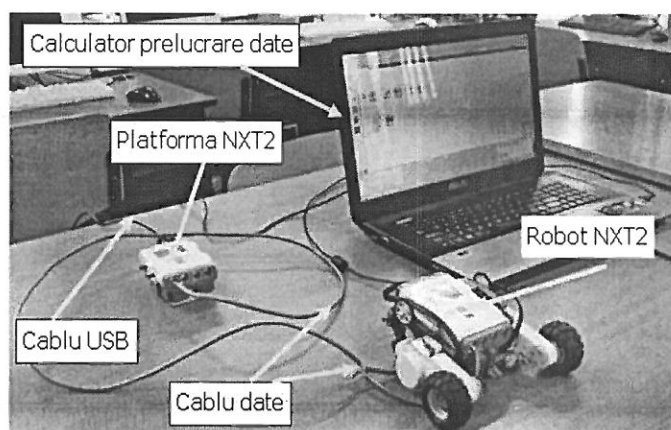
## 6. MODELAREA ȘI SIMULAREA DEMONSTRATORULUI HUMANOID

Obiectivul operațional al acestui capitol urmărește modelarea și simularea demonstratorului humanoid Lego NXT-2. 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.

Pentru primul set al probelor de înregistrare s-au folosit două platforme NXT-2 (Figura 6.1) [Savu..., Sandru, 2016].

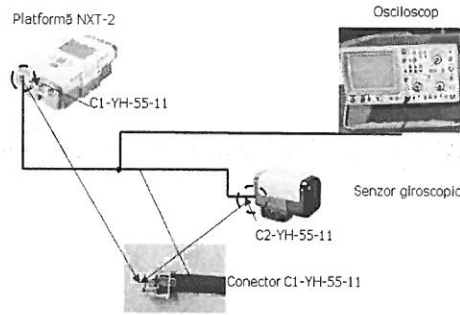
Metoda de înregistrare, folosind cele două platforme NXT-2, a respectat următoarea procedură:

- 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 al 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.



**Figura 6.1** Stand utilizând cele două platforme NXT-2

Metoda a doua în care este conectat osciloscopul la standul de probe este prezentat în Figura 6.2.

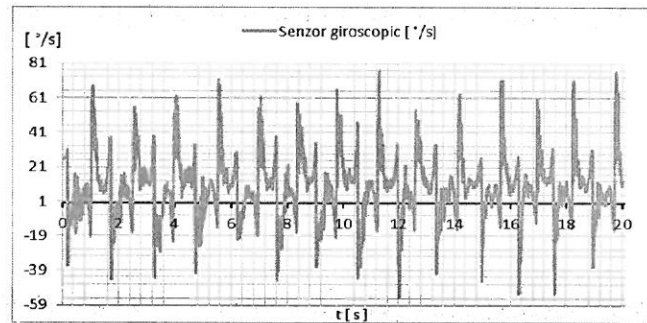


**Figura 6.2** Schema de conexiune

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 cablul 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).

În Figura 6.3 se pot observa informațiile achiziționate în timpul menținerii echilibrului robotului mobil, folosind senzorul giroscopic.

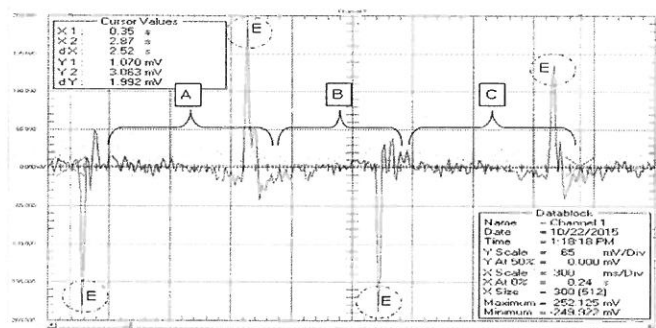


**Figura 6.3** Semnal giroscopic al Demonstratorului D1 folosind platforma NXT2

În Figura 6.4 este reprezentat semnalul de la senzorul giroscopic pe parcursul a trei cicluri A, B, C de menținere a stabilității elementului mobil. În casele din dreapta figurii sunt prezentate valorile parametrilor de achiziție.

Parametrul de pe ordonată (axa y, [mV]), semnifică viteza de oscilație a demonstratorului față de verticală. Durata unui ciclu (axa x, [ms]) este asemănătoare pentru cele trei cazuri.

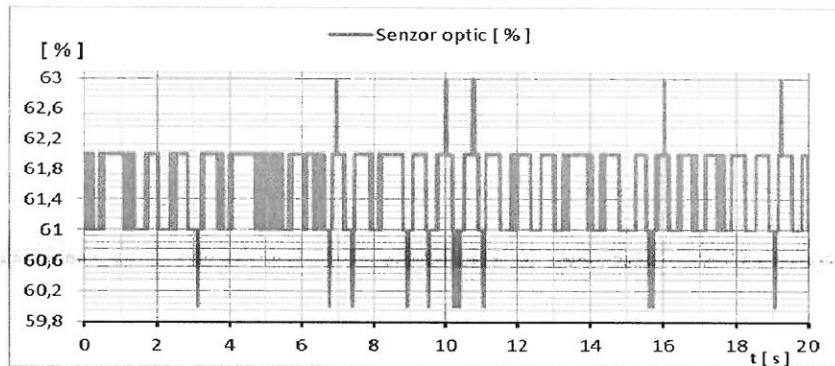
Detaliul E reprezintă valoarea extremă a semnalului corespunzător tendinței de pierdere/menținere a echilibrului. Valoarea pozitivă sau negativă a acestui semnal indică sensul de înclinare a elementului mobil.



**Figura 6.4** Semnal giroscopic al demonstratorului D1

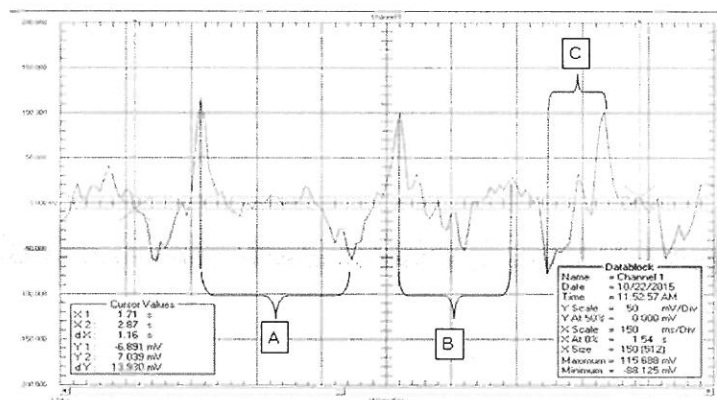


În Figura 6.5, se observă parametrii grafici colectați în timpul menținerii echilibrului robotului mobil, folosind senzorul optic, date preluate de către platforma NXT-2, și apoi prezentate folosind mediul grafic MS-Excel 2010.



**Figura 6.5** Grafic al semnalului optic folosind platforma NXT-2 timp de 20 s pentru demonstratorul D-2

Conectând osciloscopul la cablul de date al senzorului robotului (conexiuni conform Figura 6.3), a fost achiziționat semnalul provenit de la S4. Acest semnal, corespunzător menținerii echilibrului robotului D-2, este prezentat în Figura 6.6.



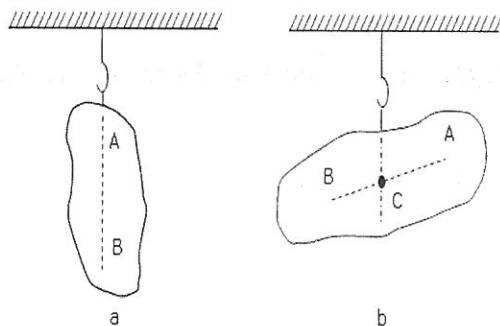
**Figura 6.6** Grafic al semnalului optic folosind osciloscopul pentru demonstratorul D-2

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.

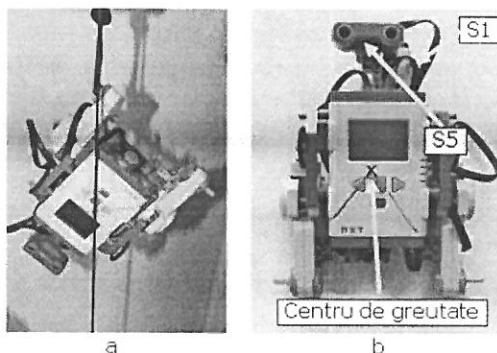
Analiza dinamică a funcționării demonstratorului necesită estimarea parametrilor geometrici care definesc poziția centrului de greutate al celui de-al doilea subsistem.

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 6.7.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 6.7.b).



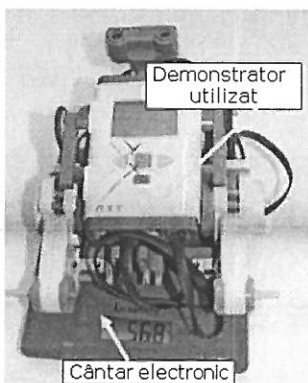
**Figura 6.7** Determinarea centrului de greutate

Figura 6.8.a, prezintă modul în care se încearcă aflarea centrului de greutate, prin procesul experimental. În Figura 6.8.b, este marcat centrul de greutate al demonstratorului echipat cu senzorul S5 + S1.



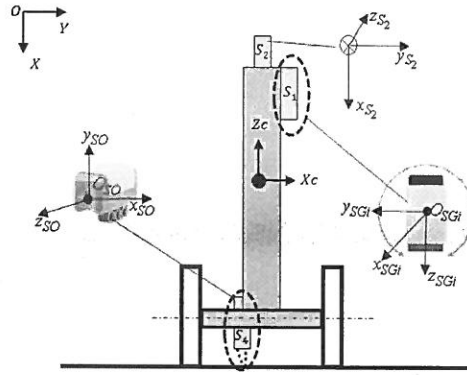
**Figura 6.8** a) Aflarea centrului de greutate; b) Centru de greutate cu S1 + S5

Pentru a putea afla greutatea elementului echivalent pendul invers, în fiecare variantă testată, s-a măsurat masa acestuia, utilizând un cântar electronic, conform Figura 6.9.



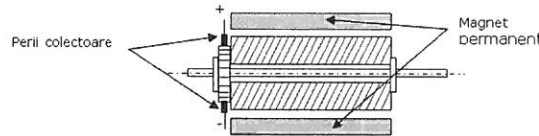
**Figura 6.9** Măsurarea masei demonstratorului

În Figura 6.10 se prezintă sistemele de coordonate atașate celor trei sisteme senzoriale, integrate în structura demonstratorului, pentru fiecare experiment în parte.



**Figura 6.10** Senzori integrați și sistemele de coordonate pentru S1-giroscop, S2-acc, S4-optic

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 este compus din: micro motor de curent continuu (cu perii colectoare, rotor cilindric și excitație prin magnet permanent) Figura 6.11.

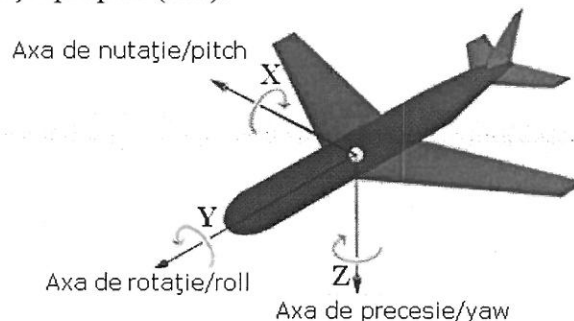


**Figura 6.11** Schema de principiu a micromotorului electric [ Dolga, 2009]

Studiul analitic al mișcării unui sistem mobil (echivalat unui rigid), se poate face alegând un sistem de referință fix  $O1x1y1z1$  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  $Ox1y1z1$ .

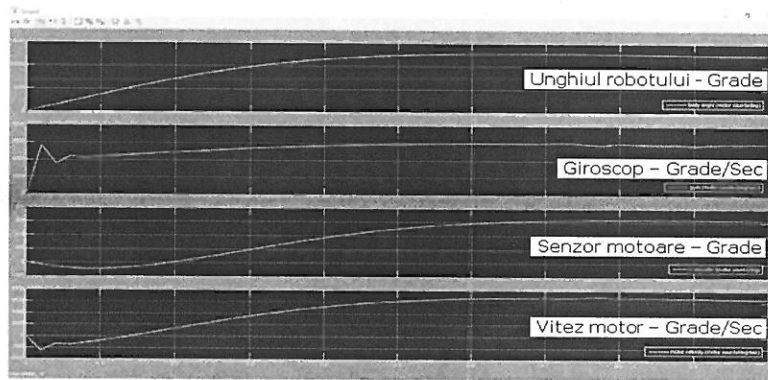
Una din metodele uzuale de exprimare a stării/situării sistemului mobil, este cea dependentă de cele trei unghiuri de rotație ale lui Euler (Figura 6.12). Leonhard Euler, pentru a descrie orientarea unui solid rigid și pentru a descrie rotația acestuia în spațiu, a definit trei unghiuri:

- unghiul de nutație (pitch);
- unghiul de precesie (yaw);
- unghiul de rotație proprie (roll).



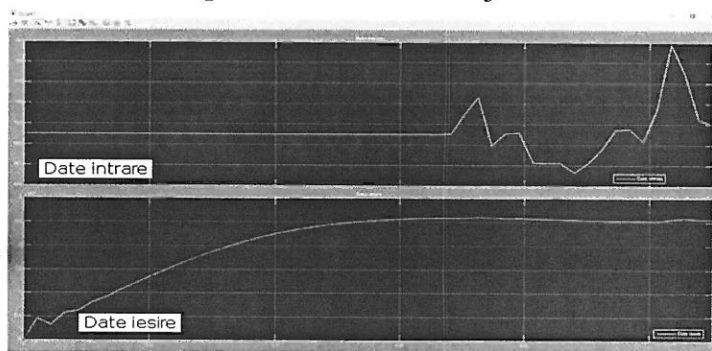
**Figura 6.12** Axele de orientare spațială

Având toate datele de intrare, date achiziționate de la un model real, s-a modelat semnalele prin modelul matematic, de menținere a echilibrului robotului mobil, utilizând principiul pendulului invers. Datele de ieșire, în urma modelării matematice sunt prezentate în Figura 6.13 și sunt prezentate mărimi exprimate în grade/secundă.



**Figura 6.13** Date în urma prelucrării matematice

În Figura 6.14 sunt prezentate semnalele de I/O. Semnalul de ieșire în urma modelării matematice pentru liniarizare este prezentat în caseta de jos.



**Figura 6.14** Semnalul de intrare și cel de ieșire

**În concluzie**, ca urmare a experimentelor desfășurate se pot descrie următoarele aspecte:

- 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, acesta are o stabilitate mai mare și o liniaritate constantă a semnalului dat de senzorul giroscopic. Colectând semnalul de la sistemul senzorial în momentul funcționării modelului robotic real, a fost posibilă crearea unui generator de semnal virtual, identic cu semnalul din timpul de lucru a modelului robotic realizat.

## 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 ai roboților mobili. În final, un astfel de sistem se concretizează printr-un demonstrator cu utilități multiple.

## **7.2. Contribuții originale ale tezei**

În raport cu obiectivul principal al tezei de doctorat și obiectivele operaționale asociate, cu planul de cercetare dezvoltat, pe baza conținutului teoretic și a celui experimental din cadrul volumului tezei elaborate, pot fi evidențiate următoarele contribuții personale.

### **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 senzorilor 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 al 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)

### 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 capacitatea 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. [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.
4. [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.
5. [Block, 2007] D. J. Block, K. J. Åström, and M. W. Spong, The Reaction Wheel Pendulum, San Rafael, Morgan and Claypool, 2007
6. [Bolton, 1995] W. Bolton, Mechatronics, Electronic Control Systems In Mechanical Engineering, Longman, 1995.
7. [Boubaker, 2013] Olfa Boubaker, The Inverted Pendulum Benchmark In Nonlinear Control Theory, A Surveyint J Adv Robotic Sy, 2013, Vol. 10, 233, 2013
8. [Dolga, 2007] Valer Dolga, Proiectarea Sistemelor Mecatronice, Editura Politehnica, 2007
9. [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.
10. [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.
11. [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.
12. [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
13. [Isermann, 2005] Rolf Isermann, Mechatronic Systems Fundamentals, British Library Cataloguing, 2005
14. [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.
15. [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.

16. [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
17. [Mori, 1969] Mori, T., Mechatronics, Yasakawa Internal Trademark Application Memo 21. 131. 01, July 12, 1969
18. [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
19. [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.
20. [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
21. [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
22. [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.
23. [Silaș, 1968] Silaș, Mecanica Editura Edp. Bucuresti 1968
24. [Spong, 1995] M. W. Spong, The Swing Up Control Problem for The Acrobat, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 15, Pp. 72-79, 1995.
25. [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.
26. [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 Delhi, India, April 2015 (ISSN 2250 – 2459 (Online)) pag. 597 – 600.
27. [Vâlcovici, 1968] Vâlcovici V., Bălan F., Voinea R., Mecanică Teoretică, Ed. Tehnică, Bucuresti, 1968.
28. [\*\*\*, 1.1] [www.yaskawa.co.jp/en/technology/history](http://www.yaskawa.co.jp/en/technology/history) acc.10.12.2016
29. [\*\*\*, 1.4] [www.mec.upt.ro/dolga/PSM\\_1.pdf](http://www.mec.upt.ro/dolga/PSM_1.pdf) acc.10.12.2016
30. [\*\*\*, 1.5] [www.engineering.nyu.edu/mechatronics/Description/evolution.htm](http://www.engineering.nyu.edu/mechatronics/Description/evolution.htm) acc.10.12.2016

31. [\*\*\*, 1.6] [www.eoht.info/page/Papin+digester](http://www.eoht.info/page/Papin+digester) acc.10.12.2016
32. [\*\*\*, 1.7] [www.sewalot.com/elias\\_howe.htm](http://www.sewalot.com/elias_howe.htm) acc.10.12.2016
33. [\*\*\*, 1.9] [www.en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Schickard](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Schickard) acc.10.12.2016
34. [\*\*\*, 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)
35. [\*\*\*, 1.12]  
[www.ifr.org/fileadmin/user\\_upload/downloads/World\\_Robotics/2016/Executive\\_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
36. [\*\*\*, 1.13] [www.mec.tuiasi.ro/diverse/Curs\\_CCD\\_MCT\\_Generala.pdf](http://www.mec.tuiasi.ro/diverse/Curs_CCD_MCT_Generala.pdf) acc.10.12.2016
37. [\*\*\*, 1.14] [www.engineering.nyu.edu/gk12/amps-cbri/pdf/Intro%20to%20Mechatronics.pdf](http://www.engineering.nyu.edu/gk12/amps-cbri/pdf/Intro%20to%20Mechatronics.pdf) acc.10.12.2016
38. [\*\*\*, 1.15] [www.umt.fme.vutbr.cz/ESF/files/opory/design\\_of\\_ms\\_zkraceno.pdf](http://www.umt.fme.vutbr.cz/ESF/files/opory/design_of_ms_zkraceno.pdf) acc.10.12.2016