

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT CU TEMA

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

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

Teza de doctorat este structurată pe 8 capitole, urmate de Bibliografie și Anexe:

1. Introducere.
 2. Stadiul actual în robotica mobilă.
 3. Necesitatea, actualitatea și obiectivele tezei de doctorat.
 4. Paralelă biomecatronică între sistemul biologic și robotul mobil.
 5. Cercetări experimentale asupra obstacolelor din mediul de lucru al unui robot mobil.
 6. Robotul mobil sistem mecatronic. Analiză și sinteză funcțională și experimentală.
 7. Utilizarea conceptului mecatronic în proiectarea unui sistem autonom mobil cu structură variabilă.
 8. Concluzii generale și contribuții personale.
- Bibliografie
Anexe

1. Introducere. Evoluția sistemelor tehnologice.

În fig.1a se prezintă aplicația inițială a regulatorului pentru reglarea turației la locomotiva cu aburi. Principiul de funcționare are la bază forța centrifugă care acționează asupra contragreutăților E. Un mecanism cu bare permite acționarea clapetei V de admisie a aburului spre cilindrul mașinii.

Războiul de țesut creat de Jacquard (secolul al XVIII-lea) și-a adus contribuția atât la prima, cât și la cea de-a doua revoluție industrială. Prima contribuție a constat în mecanizarea industriei textile engleze (fig.1b). A doua contribuție s-a datorat faptului că sistemul cartelei perforate (cartelă cu orificii pe linie și coloană detectabile pe cale mecanică) (punch_card) a contribuit la dezvoltarea viitoarelor calculatoare.

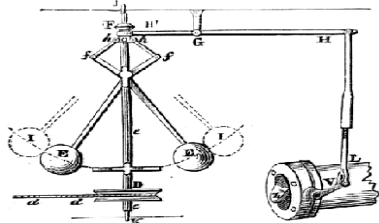


Fig.1 a)Regulatorul Watt



b)Război de țesut

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

- *mecanizare*: reprezintă introducerea în procesele de producție a mașinilor, mecanismelor, aparatelor etc. pentru executarea unor operații, activități, cu scopul de a înlocui sau a face mai eficientă munca fizică ori intelectuală a omului. Ex.: mașina cu apă în filatura de bumbac - Richard Arkwright în 1768; după 1790 acționare prin mașina cu abur (fig.2a).
- *automatizare* - acțiunea de a *automatiza*; folosire a automatelor în procesul de producție. Automatizarea urmărește eliminarea intervenției directe a omului în procesul de producție. Evoluția sistemului informatic și a electronicii au permis conducerea complexă a proceselor fără intervenția nemijlocită a omului (fig.2b).
- *robotizare* - a dota cu sisteme mecanice, informatice sau mixte, cu roboți, procesul de producție în scopul de a înlocui omul în operații repetabile sau vătămătoare (fig.2c).

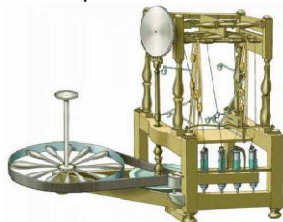


Fig.2 a)Mecanizare în filatura de bumbac b) Mașină unealtă cu comandă numerică c) Robotul Unimate

În anul 1969 cercetători ai firmei Yasukawa Electric Company au introdus noțiunea de mechatronics ca și o abreviere bazată pe mecha – „mechanism” + tronics – „electronics”. Termenul a fost utilizat pentru a descrie fuziunea tehnologică *mecanică – electronică – informatică*.

Noțiunea a generat controverse, discuții, analize și diverse abordări. Una dintre definiții este: mecatronica reprezintă „integrarea sistemelor mecanice, electronice și informatice pentru realizarea produselor și sistemelor tehnologice „inteligente”.

2. Stadiul actual în robotica mobilă.

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

Fiecare perioadă a fost marcată de apariția unui nou concept în acest domeniu. Câteva din domeniile de aplicație ale roboților mobili sunt:

- agricultură și recoltare
- curățenie și accesorii
- industria civilă
- educație
- combaterea incendiilor
- industria alimentară
- activități de inspecție
- medicină
- domeniul explorării
- mediul subacvatic
- mediul forestier
- domeniul militar

Numărul de aplicații scoate în evidență utilitatea și aplicabilitatea pe scară largă în diverse domenii.

Robotul mobil este definit ca un robot montat pe o platformă mobilă care îl transportă în zona în care acesta trebuie să îndeplinească o sarcină. Roboții mobili au capacitatea să se deplaseze în mediul de lucru și nu sunt definiți de un singur punct de localizare. Una din multitudinea de definiții este următoarea: robotul mobil reprezintă „un sistem mecatronic complex, care asigură un anumit grad de autonomie ce permite navigația în scenele de operare naturale sau preparate aprioric, capabil să execute o clasă de sarcini utile pe parcursul deplasării sale”.

Clasificarea roboților mobili se poate realiza după numeroase criterii, unele chiar contradictorii.

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

Fig.3 Clasificarea roboților mobili

O altă reprezentare este sub forma robotului mobil ca un „black box” insistându-se doar pe diagrama de navigare și modul de îndeplinire a sarcinilor în mediul de lucru. O altă abordare este prezentarea robotului mobil din punct de vedere al schemei structurale sistemice (fig.4).

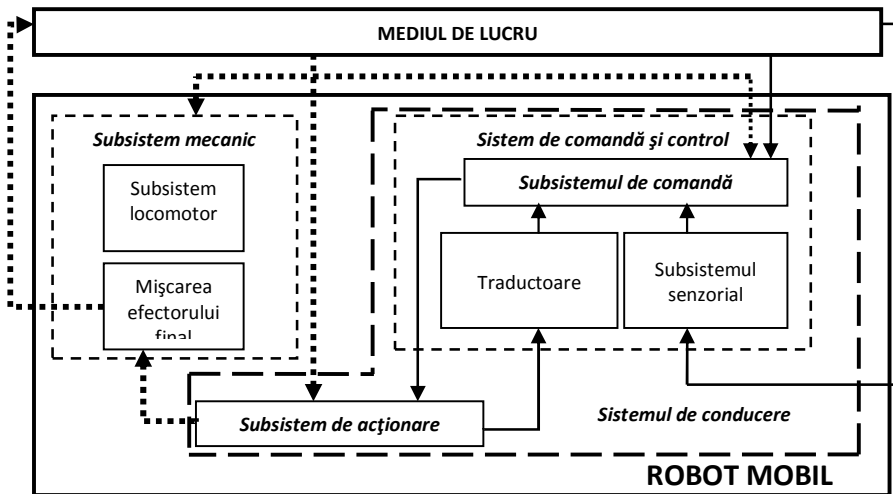


Fig.4 Schema structurală sistemică a unui robot mobil

3. Necesitatea, actualitatea și obiectivele tezei.

Robotica și mecatronica reprezintă două direcții de cercetare, educație care nu mai necesită explicații suplimentare. Analiza constructivă, experimentală și aplicativă a roboților mobili este o necesitate cu o extensie deosebită.

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

Obiectivul principal al tezei de doctorat îl reprezintă aplicarea „filozofiei” mecatronice în analiza teoretică și experimentală pentru realizarea suportului necesar sintezei teoretice, constructive și experimentale a unui sistem mecatronic mobil și autonom, destinat cercetărilor de laborator sau cercetărilor dintr-un mediu nestructurat. Obiectivului principal i-au fost subordonate o serie de obiective operaționale sau specifice:

- elaborarea materialelor sintetice referitoare la evoluția sistemelor tehnice și la stadiul actual din domeniul roboticii mobile;
- realizarea unei paralele biomecatronice între sistemul biologic specific unui animal (în general) și a sistemului mecatronic echivalent unui robot mobil;
- enunțarea noțiunii de obstacol preluată pentru studiu, a parametrilor acestora și proiectarea unor experimente pentru evaluarea elementelor senzoriale prevăzute pentru a fi integrate hardware și software în construcția unui robot mobil;
- realizarea standurilor de lucru pentru experimentarea senzorilor ultrasonici, a senzorilor în infraroșu și desfășurarea experimentelor;
- elaborarea unui material suport pentru analiza și sinteza sistemului robot mobil ca și sistem mecatronic;
- modelarea și analiza experimentală a modului mecatronic pentru asigurarea funcției motrice;
- experimentarea într-un mediu nestructurat, pe un traseu simplu, a robotului construit;
- analiza teoretică în viziunea mecatronică a unui sistem autonom mobil cu structură variabilă.

4. Paralela biomecatronică între sistemul biologic și robotul mobil.

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

În domeniul mecatronic se utilizează o descompunere având ca suport funcția sistemului. Modul de abordare a lucrului poate fi dezvoltat de la abstract la o formă concretă. Stabilirea structurii sistemului mecatronic se bazează pe două principii dezvoltate din teoria mașinilor:

- Principiul cauzalității verticale (cauză – efect);

• Principiul funcțiilor secundare, conform căruia în jurul funcției principale se găsesc un set de funcții secundare.

Există șapte funcții secundare ale unui animal, în jurul funcției principale care îl caracterizează. Acestea sunt prezentate în fig.5.

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

Fig.5 Descompunerea unui sistem biologic la nivel funcțional și organic

Informații suplimentare și concluzii concludente pentru paralela sistem biologic-sistem mecatronic se pot obține printr-o analiză la nivel organic. În teză s-a abordat doar paralela pentru funcțiile comune celor două sisteme: funcția locomotoare, funcția de percepție senzorială și funcția de navigare.

Funcția locomotoare. Sistemele biologice reușesc generarea mișcării printr-o mare varietate de medii dure. Prin urmare, poate s-a dorit a se copia sistemele lor de locomoție. Complexitatea mecanică este ușor de realizat în sistemele biologice, datorită reproducerii structurale. De asemenea *subsistemul biologic de stocare a energiei, subsistemul muscular și cel osos* folosite de animale mari și insecte, ating un cuplu, timp de răspuns și eficiență în conversie care în prezent depășesc sistemele tehnice similare create de către om. Eficiența sistemului de locomoție care folosește roți depinde în mare măsură de *calitățile mediului*, și în special de *planeitatea și duritatea suprafeței de rulare*, în timp ce eficiența sistemului de locomoție care folosește membre, depinde de *masa membrului și a corpului*, ambele componente care trebuie susținute de către robot la diferite puncte, atunci când se mișcă.

Funcția de percepție senzorială. Se poate remarca numărul relativ ridicat de variante constructive pentru elementele senzitive ale sistemelor tehnice în raport cu sistemele biologice. Se poate estima că optimizarea acestora și alegerea optimală a unei variante de element senzitiv este una din direcțiile ce trebuie avute în vedere.

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

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

Păsările navighează folosind câmpul magnetic al Pământului, orientarea față de soare, orientarea față de stele și aproape de destinație folosesc repere cum ar fi munții și lacurile.

Funcția de navigare la roboți este răspunzătoare de stabilirea poziției robotului față de operatorul uman sau față de alți roboți sau obstacole pe parcursul dezvoltării acțiunilor propuse.

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

Evoluția „inspirațiilor” dinspre sistemul biologic spre zona mecatronică este de actualitate și de viitor.

5. Cercetări experimentale asupra obstacolelor din mediul de lucru al unui robot mobil.

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

Cu senzorul cu ultrasunete:

- Determinarea distanței dintre senzorul ultrasonic și obstacol;
- Determinarea distanței față de obstacole de diferite texturi;
- Determinarea câmpului de lucru al senzorului cu ultrasunete;
- Localizarea obstacolelor multiple dintr-un mediu de lucru
- Determinarea caracteristicii senzorului ultrasonic față de obiecte cu forme geometrice diferite;
- Folosirea senzorului ultrasonic ca și „radar”.

Cu senzorul în infraroșu:

- Analiza comportamentului sensorului în infraroșu asupra diferitelor tipuri de materiale;
- Analiza comportamentului sensorului în infraroșu asupra obstacolelor de diferite culori;
- Determinarea comportamentului sensorului în infraroșu față de obstacole de diferite dimensiuni.

Cu senzorul de accelerație:

- Determinarea comportamentului sensorului de accelerație amplasat pe un robot mobil.

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

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

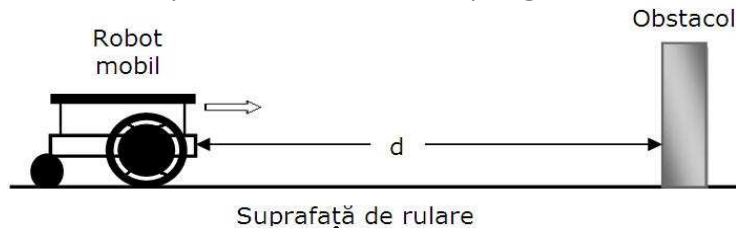


Fig.6 Determinarea distanței față de un obstacol

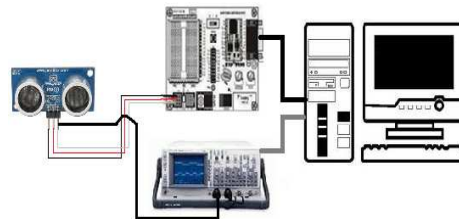


Fig.7 Schema de achiziție de date - senzor cu ultrasunete

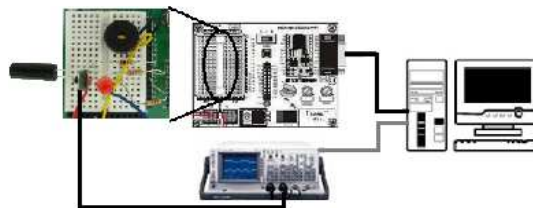


Fig.8 Schema de achiziție de date - senzor în infraroșu

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

Semnalul recepționat poate fi influențat de mai mulți factori:

- *Condițiile mediului de lucru:* temperatura și umiditatea afectează viteza sunetului în aer. De aceea este nevoie de o recalibrare pentru a efectua măsurători precise în mediile de lucru;
- *Curenți de aer:* variația temperaturii și a curenților de aer pot crea „bariere” invizibile care să reflecte semnalele ultrasonice. De acest lucru trebuie avut în vedere în aplicații reale;
- *Zone „moarte”:* senzorii cu ultrasunete au o zonă moartă în imediata lor apropiere, pentru că obstacolele nu pot fi detectate de semnale înainte ca emițătorul să poată deveni operațional.

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

6. Robotul mobil sistem mecatronic. Analiză și sinteză funcțională și experimentală.

Procesul de proiectare a unui sistem mecatronic – robotul mobil în cazul de față – se poate încadra într-o reprezentare conformă cu fig.9. La nivelul domeniilor are loc o interacțiune puternică cooperantă în definitivarea variantelor.

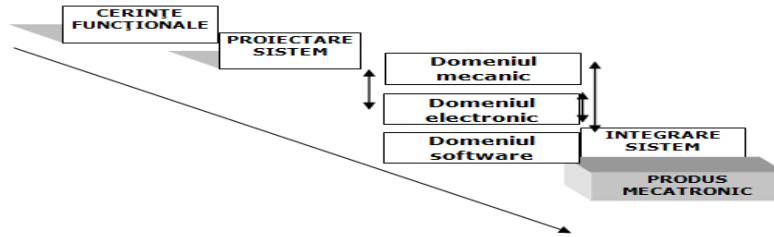


Fig.9 Procesul de proiectare a unui sistem mecatronic

În concordanță cu filozofia mecatronică de dezvoltare a produselor au fost stabilite performanțele necesare pentru sistemul autonom mobil:

- mobilitate direcțională;
- conducere de la distanță fără legătură cu baza (eventual);
- comunicare bidirecțională operator – robot mobil și invers;
- autonomie energetică (limitată).

Abordarea deciziilor în procesul de proiectare poate fi mult simplificată utilizând metodologia descompunerii. În baza acestei metodologii, sistemul analizat se poate structura pe mai multe nivele printr-o descompunere ierarhică. S-a avut în vedere o descompunere ce are ca suport funcția sistemului.

Topicul naturii sistemelor mecatronice poate fi divizat în două nivele:

- un nivel funcțional
- un nivel organic.

Literatura de specialitate dispune de o serie de criterii ce pot fi avute în vedere pentru clasificarea și proiectarea sistemelor autonome mobile.

Echivalând sistemul autonom mobil cu un sistem mecatronic și în concordanță cu performanțele propuse s-au putut stabili funcțiile suport ale subsistemelor din nivelul inferior. Stabilirea unei anumite modalități de concretizare a unei componente pentru o funcție dată, poate apela la o analiză multicriterială.

În fig.10 se prezintă tabela morfologică pentru examinarea sistemică a problemei de sinteză, constituită din funcțiile propuse și soluții posibile de realizat.

Funcții	SUBSOLUȚII				
	1	2	3	4	5
Mobilitate direcțională	Două roți	Șenile	Structură pășitoare	Hibridă	
Autonomie energetică	Acumulator, Energie electrică	Rețea electrică			
Ghidare	Ghidare optică	Senzori video	Ghidare laser	GPS	Busolă magnetică
Autonomie decizională	Telecomandat permanent	Autonom	Mixt-autonom telecomandat		
Sistem de acționare	Motor de curent continuu	Motor pas cu pas			
Tip de conducere	Uniciclu	Triciclu	Ackerman		

Fig.10 Tabela morfologică pentru examinarea sistemică a problemei de sinteză

Tabela morfologică corespunde metodologiei de examinare sistemică a unui număr de entități diferite, posibile soluții în proiectarea produsului. Am ales printr-o decizie personală (influențată de variantele constructive avute la dispoziție) structura robotului mobil pe care l-am conceput. În fig.11 este prezentat desenul 3D al ansamblului robot mobil.

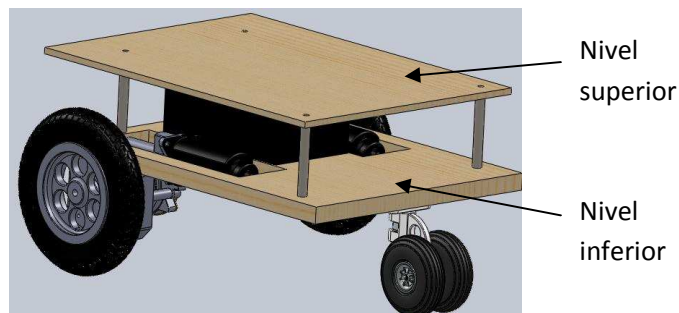


Fig.11 Robot mobil proiectat

Robotul mobil este proiectat, din punct de vedere al șasiului, pe două nivele fizice:

- *Nivelul inferior* pe care sunt amplasate: motoarele robotului și acumulatorul (fig.12a).
- *Nivelul superior* pe care sunt amplasate elementele de comandă și control, elementele senzoriale și cele de navigație (fig.12b).

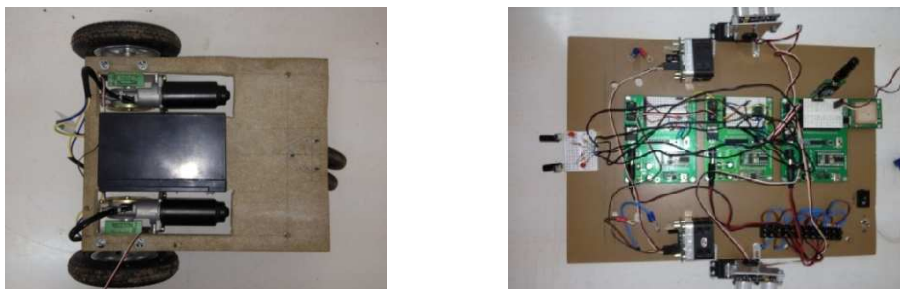


Fig.12 a) Nivelul inferior al șasiului robotului mobil b) Nivelul superior al șasiului robotului mobil

Aspectul general al sistemului mecatronic realizat este prezentat în forma sa finală în fig.13.

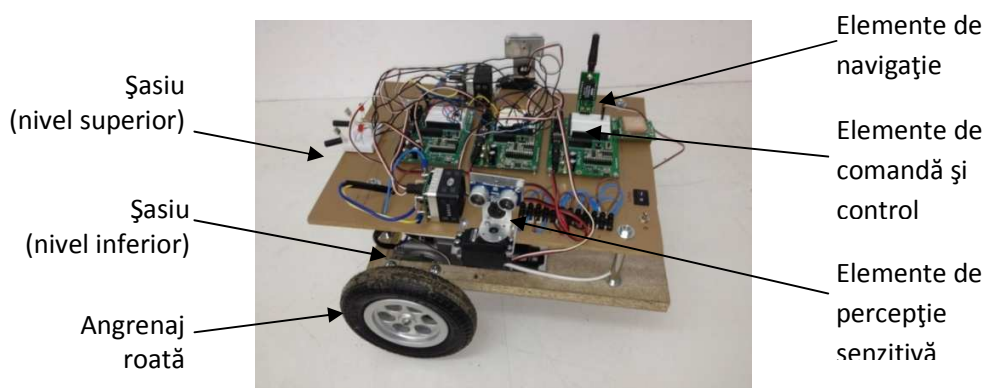


Fig.13 Robot mobil proiectat

După proiectarea și realizarea fizică a sistemului mecatronic autonom mobil, s-au efectuat o serie de simulări și experimente.

Modulul mecatronic de conducere a unei roți motrice este compus din motor, controler, traductor de poziție și roată. Motorul este de c.c. cu excitație prin magnet permanent. Ecuațiile care descriu sistemul sunt ecuația circuitului electric și ecuația de mișcare. Rezistența indusului s-a măsurat direct la bornele motorului, iar constanta de timp s-a determinat calculând impedanța, reactanța și inductivitatea.

Momentele de inerție ale ansamblului rotor, arbore, melc s-au determinat utilizând mediul de proiectare SolidWorks.

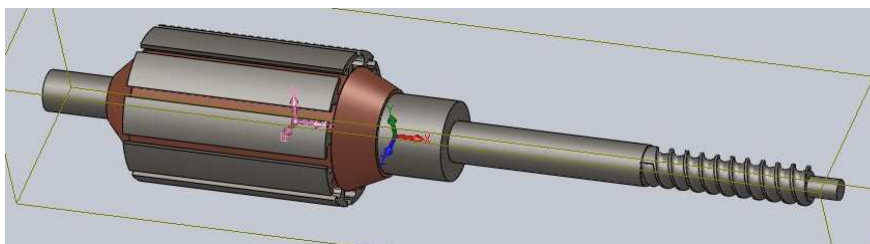


Fig.14 Modelul 3D al ansamblului rotor, arbore, melc

Pe baza funcțiilor de transfer caracteristice modului mecatronic (G_1-G_6) s-a realizat schema bloc a sistemului.

În mediul Matlab/Simulink s-a realizat simularea sistemului pentru 2 cazuri: fără factor perturbator, și respectiv, cu factor perturbator. În urma simulării s-a realizat standul experimental pentru analiza procesului de rulare a unei roți motrice.

În continuare s-a realizat modelarea cinematicii sistemului față de un sistem de referință fix.

$$\frac{d\phi_1}{dt} = \omega_1$$

$$\frac{d\phi_2}{dt} = \omega_2$$

$$\dot{x}_p = v_p \cdot \cos \alpha$$

$$\dot{y}_p = v_p \cdot \sin \alpha$$

$$\frac{dy_p}{dx_p} = \tan \alpha$$

$$v_p = \frac{v_{A1} + v_{A2}}{2}$$

$$\rho = \frac{v_{A1} + v_{A2}}{v_{A1} - v_{A2}} \cdot b$$

Modelul matematic aferent a condus la dezvoltarea modelului necesar simulării în mediul Matlab/Simulink.

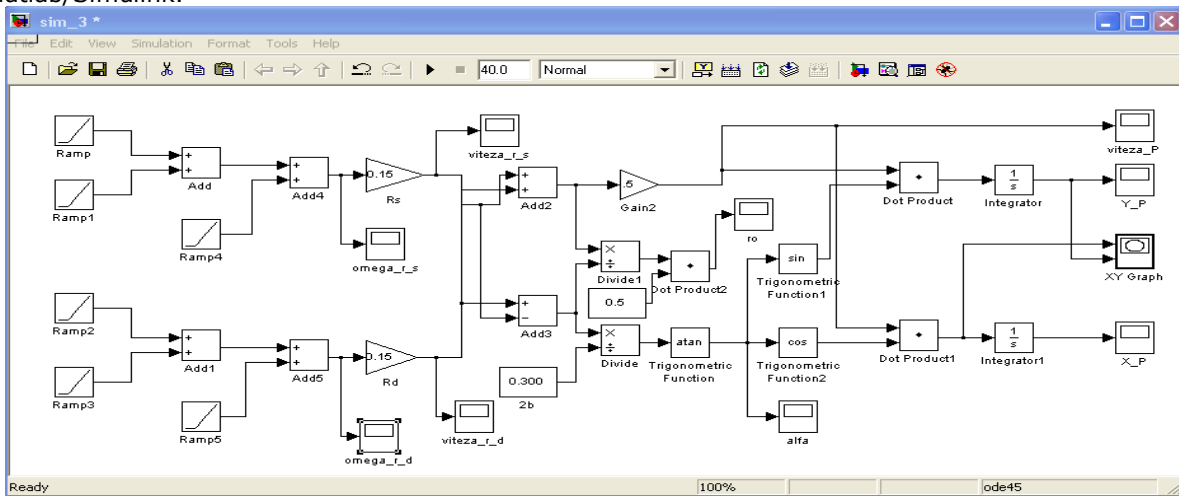


Fig.15 Schema bloc de simulare în mediul Matlab/Simulink

Pe baza legilor de mișcare ale roților motrice s-au determinat coordonatele x,y, ale traiectoriei descrise de către punctul P.

S-a realizat modelarea dinamicii sistemului, descrisă de modelul matematic.

$$J \cdot \ddot{\alpha} + M \cdot \xi \cdot (\ddot{x}_p \cdot \sin \alpha - \ddot{y}_p \cdot \cos \alpha) = \text{sgn}[(F_{t2} - F_{r2}) \cdot b - (F_{t1} - F_{r1}) \cdot b]$$

$$M_{\text{tot}} \cdot \ddot{x}_p + M \cdot \xi \cdot (\ddot{\alpha} \cdot \sin \alpha + \dot{\alpha}^2 \cdot \cos \alpha) = F_{t1x} + F_{t2x} - F_{r1x} - F_{r2x}$$

$$M_{\text{tot}} \cdot \ddot{y}_p - M \cdot \xi \cdot (\ddot{\alpha} \cdot \cos \alpha - \dot{\alpha}^2 \cdot \sin \alpha) = F_{t1y} + F_{t2y} - F_{r1y} - F_{r2y}$$

$$J_{xx} \cdot \ddot{\phi}_1 = M_{m1} - M_{r1} = m_{t1e} \cdot i - M_{r1}$$

$$J_{xx} \cdot \ddot{\phi}_2 = M_{m2} - M_{r2} = m_{t2e} \cdot i - M_{r2}$$

Pe baza modelării în SolidWorks s-au determinat coordonatele centrului de greutate al sistemului și momentele de inerție, atât ale sistemului, cât și ale roții.

Experimentarea robotului mobil într-o arie de lucru nestructurată s-a realizat în cadrul unei sere. Robotul mobil a trebuit să parcurgă un traseu stabilit, cu evitarea coliziunii cu rândurile de plante. În urma experimentului, s-a observat necesitatea îmbunătățirii funcției de protecție, prin dezvoltarea unui angrenaj de înlăturare a acumulărilor de pe roțile motrice.

7. Utilizarea conceptului mecatronic în proiectarea unui sistem cu structură variabilă.

Structurile variabile prezintă o serie de avantaje, cum ar fi:

- Capacitate ridicată de deplasare pe orice tip de sol;
- Capacitate ridicată de a depăși obstacole de diferite forme și dimensiuni;
- Adaptabilitate ridicată la diferite sarcini pe care le are de îndeplinit.

Pentru a proiecta un robot mobil cu structură variabilă, am folosit conceputul mecatronic prezentat în capitolul anterior.

Robotul mobil din prezintă următoarele funcții:

- de locomoție;
- de putere;
- de protecție;
- de comunicare;
- de percepție.

Structura robotului mobil ales a respectat tabela morfologică de mai jos.

Funcție	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Comandă			
Comunicare			
Senzorială			
Interfațare			
Locomoție			
Alimentare			

Datorită structurii complexe, variantele de alegere pentru soluțiile constructive sunt limitate, în comparație cu structurile simple de roboți mobili. Cu toate acestea, datorită capacității adaptabile a componentelor, s-a putut realiza o structură mobilă, pășitoare (fig.16).

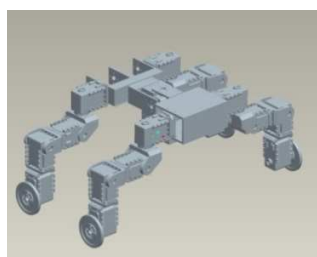


Fig.16 Structură autonomă variabilă mobilă simulare/realizare practică

Roboții pășitori sunt sisteme mecanice complexe având o structură variabilă care depinde de un număr de grade de libertate. Pentru proiectarea algoritmilor care controlează acest tip de roboți, este important să fie prezentat un model eficient pentru descrierea comportamentului cinematic și dinamic.

Modelul cinematic descrie relația dintre variabilele articulațiilor și poziția piciorului, în timp ce modelul dinamic se referă la forțele ce acționează asupra lor.

Cinematica robotului pășitor poate fi redusă la cinematica unui picior și a unui corp rigid. Piciorul are în general trei grade de libertate. Cinematica corpului rigid poate fi redusă la cunoașterea orientării sale în spațiu. În cazul în care planul de sprijin al robotului este cunoscut, cinematica piciorului poate determina poziția corpului rigid și orientarea sa.

Capacitatea robotului mobil prezintă o îmbunătățire față de structura clasică. Robotul mobil cu structura reconfigurabilă permite o gamă largă de variante, astfel având mai multe posibilități de a îndeplini o sarcină trasată. Din punct de vedere mecatronic, sistemul respectă în totalitate teoria și se pot aplica conceptele prezentate anterior.

Faptul că robotul mobil folosește pentru deplasare atât pasul, cât și roțile, îi conferă un plus față de structurile clasice. Funcțiile conform teoriei mecatronice sunt regăsite și în cazul acestei structuri.

8. Concluzii generale și contribuții personale.

Concluzii generale:

- Evoluția în timp a roboților mobili a condus la numeroase variante funcționale și constructive, ceea ce impune o analiză a stadiului actual al roboticii mobile.
- La nivel senzorial se observă o tendință în folosirea elementelor senzoriale complexe, care oferă informații mai precise și mai fiabile din mediul de lucru.
- Una dintre cele mai importante aspecte în domeniul senzorial este determinarea distanței și tipul obiectelor din mediul de lucru al robotului mobil, astfel încât acesta să poată îndeplini sarcinile primite în condiții de siguranță și eficiență maxime.
- Sistemul locomotor al robotului mobil prezintă un grad ridicat de interes, atât din punctul de vedere al construcției mecanice, cât și din punctul de vedere al efectuării mișcării propriu-zise.
- Paralela biomecatronică a celor două sisteme – animal și robot mobil – permite dezvoltarea unui model generalizat pentru un obiect artificial cu inspirație biologică.
- Robotul mobil cu structura reconfigurabilă permite o gamă largă de variante, având astfel mai multe posibilități de a îndeplini o sarcină trasată.
- Utilizarea principiilor de lucru în proiectarea sistemului mecatronic a evidențiat necesitatea corelării dintre componenta experimentală și componenta de analiză teoretică.

Principalele contribuții în dezvoltarea tezei de doctorat sunt:

- Analiza literaturii de specialitate, referitor atât la istoria și evoluția sistemelor tehnice, cât și a celor robotice.
- Activitatea s-a concretizat prin elaborarea Referatului nr.1, din programul de pregătire doctorală.
- Analiza literaturii de specialitate referitoare la stadiul actual al sistemelor robotice mobile.
- Analiza unui sistem biologic (animal) din perspectiva conceptului mecatronic la nivel funcțional și organic.
- Realizarea unei paralele sistem biologic-sistem tehnic (animal-robot mobil) din perspectiva conceptului mecatronic și evidențierea funcțiilor și a modurilor de inspirație dinspre sistemul biologic spre sistemul tehnic.
- Enunțarea conceptului extins de obstacol în viziunea prezentei teze și proiectarea etapelor experimentale pentru validarea elementelor senzoriale din componența unui sistem mecatronic autonom mobil.
- Desfășurarea unei activități experimentale vizând comportamentul elementelor senzoriale: senzorilor cu ultrasunet, senzorilor în infraroșu și senzor de accelerație;
- Analiza elementelor senzoriale cu care este echipat robotul Robotino și identificarea și corectarea problemelor apărute.
- Utilizarea conceptului mecatronic în analiza structurală a unui robot mobil la nivelul organic și funcțional.
- Sinteza sistemului mecatronic autonom util în concept mecatronic bazat pe tabela morfologică.
- Identificarea parametrilor geometrici și funcționali pentru elementele componente ale modulului mecatronic de tracțiune.
- Realizarea modelului matematic pe baza principiilor fizice și a parametrilor funcționali identificați.
- Elaborarea experimentelor de analiză a contactului roată motoare-cale de rulare.
- Realizarea unui model fizic de robot mobil dotat cu elemente senzoriale pentru navigarea în medii cu obstacole.
- Verificarea funcționării modelului fizic de sistem autonom mecatronic mobil într-un mediu de lucru real.
- Realizarea unui model fizic de sistem mecatronic mobil variabil.