

SISTEM CYBER-MIXMECATRONIC INTELIGENT PENTRU CONTROLUL ROBOȚILOR DE SECURITATE ȘI SUPRAVEGHERE

Drd. ing Dorin ANGELESCU,
Prof. univ. DHC Eur Ing. dr. ing. Gheorghe Ion GHEORGHE

Universitatea „Valahia“ din Târgoviște,
Școala Doctorală Inginerie Mecanică, Târgoviște, România

REZUMAT. Rezultat al preocupărilor științifice de la Școala Doctorală de Inginerie Mecanică și Mecatronică din Universitatea Valahia Târgoviște în domeniul roboticii dedicat securității și supravegherii, lucrarea științifică „Sistem cyber-mixmecatronic inteligent pentru controlul roboților de securitate și supraveghere” este în plină derulare fiind în faza de testare experimentare, în cadrul tezei de doctorat (Industrial) „Studii, cercetări și contribuții privind realizarea unui robot mecatronic inteligent pentru aplicații de securitate și supraveghere”. Lucrarea științifică are drept rezultat final un sistem cyber-mixmecatronic ultraperformant, unic în România, ce va fi folosit la controlul robotului mecatronic de securitate și supraveghere respectiv propulsarea și controlul deplasării acestuia. Robotul este controlat prin intermediul Inteligenței Artificiale, folosind Internet of Things (IoT) motiv pentru care sistemul inteligent de control al deplasării acestuia trebuie optimizat atât din punct de vedere al vitezei de reacție la comenzi cât mai ales energetic. În același timp, dat fiind condițiile variate și posibil accidentate ale terenului de deplasare, sistemul trebuie să respecte criteriile stricte legate de fiabilitate, rezistență, intemperii, stabilitate și soluții redundante privind repararea „on-site” a eventualelor defecțiuni posibile în timpul misiunilor. Sistemul cyber-mixmecatronic creat pentru deplasarea robotului trebuie să îl transporte în siguranță la locul misiunii, pentru ca apoi după terminarea acesteia, să îl poată aduce înapoi la punctul de Comandă și Control. În cuprinsul lucrării va fi prezentată soluția originală, aplicabilă cu minim de modificări (specifice șasiului folosit), oricărui tip de robot ce necesită deplasare atât comandată de operator cât și comandă de tip autoghidare. Astfel se va realiza un proiect complex ce îmbină într-un tot unitar Mecatronica, Integronica, Cyber-mixmecatronica, Inteligența Artificială și Tehnologia Transmițerii Informației.

Cuvinte cheie: Sistem Cyber-mixmecatronic, Inteligență artificială, Control inteligent deplasare, Tehnică de măsurare inteligentă, Roboți mecatronici.

ABSTRACT. As a result of the scientific concerns of the Doctoral School of Mechanical Engineering and Mechatronics at Valahia Târgoviște University in the field of robotics dedicated to security and surveillance, the scientific work "Intelligent Cyber-Mixmechatronic System for Controlling the Security and Surveillance Robots" is in the testing and experimentation phase, within the doctoral (Industrial) thesis "Studies, research and contributions regarding the realization of a smart mechatronic robot for security and surveillance applications". The scientific work results in a highly efficient cyber-mixmechatronic system, unique in Romania, which will be used to control the mechatronic security and surveillance robot, respectively the propulsion and control of its displacement. The robot is controlled through Artificial Intelligence, using the Internet of Things (IoT), which is why the Intelligent Motion Control system must be optimized both in terms of response speeds and energy. At the same time, due to the varied and possibly unstable conditions of the displacement field, the system must meet stringent criteria of reliability, resilience, weather, stability and redundant solutions for on-site repair of potential failures during missions. The cyber-mixmechatronic system designed to move the robot must carry it safely at the mission site so that it can then return it back to the Command and Control Center. In the paper will be presented the original solution, applicable with minimum of specific modifications (according to the chassis used), to any type of robot requiring both operator-controlled or autoguided control. Thus, a complex project will be realized combining into a unitary Mechatronics, Integronics, Cyber-Mixmechatronics, Artificial Intelligence and Information Technology.

Keywords: Cyber-Mixmechatronic System, Artificial Intelligence, Smart Movement Control, Intelligent Measurement Technique, Mechatronic Robots.

1. PREZENTARE GENERALĂ – ROBOȚII MECATRONICI DE SECURITATE ȘI SUPRAVEGHERE

Inițial ideea unui robot mecatronic, a fost tributară unei forme de mecanism cât mai asemănătoare din punct de vedere morfologic omului, având ca principal scop înlocuirea efortului uman în munca fizică

și intelectuală. Poate lejer incorect, acest lucru a rămas valabil până în zilele noastre, dar termenul în sine extrapolându-se la mai orice sistem având o oarecare complexitate și care ajută sau înlocuiește efortul uman. Forma umanoidă a fost transferată unei grupări separate a roboților denumită generic androizi, lăsând loc liber termenului de robot până și în bucătăriile noastre de zi cu zi. Astfel de denumiri poate sunt lejer incorecte, însă evoluția mecatronicii

a generat și continuă să genereze o gama atât de largă de roboți încât este greu de clasificat și ordonat termenul. Simultan cu evoluția tehnologică impresionantă din ultimul deceniu era firesc să apară un nou tip de robot, destinat supravegherii și asigurarea siguranței ființei umane, în speță de fapt tot un înlocuitor indirect al omului și al efortului acestuia. Robotul mecatronic de securitate și supraveghere (ce va fi denumit în continuare RMSS) este o apariție firească în contextul înlocuirii intervenției directe umane acolo unde viața sa este pusă în pericol. Ne întoarcem așadar în aceeași inițială ipostază în care RMSS, indiferent de alcătuirea sa morfologico structurală, trebuie să fie asemănător omului. Mai exact sa poată executa o serie de acțiuni specific umane. Astfel am putea defini ca necesare și minimal suficiente pentru buna funcționare a unui RMSS, următoarele caracteristici:

- culegerea în timp real și prelucrarea sub o formă oarecare, dar coerentă, a informațiilor din mediul imediat înconjurător;
- deplasarea controlată în mediul înconjurător ;
- existența unui control decizional;
- posibilitați de interacționare cu mediul înconjurător prin execuția unor acțiuni specifice;
- transmiterea sau stocarea de date aferente activității desfășurate.



Figura 1. Robot de tip RMSS și consola de comandă (Talon - produs de Foster Miller).

Un RMSS trebuie să poată înlocui prezența efectivă a omului acolo unde din motive diverse (mediul periculos, toxic, radiații, pericol de explozie, violență, etc) viața acestuia poate fi pusă în pericol. Robotul se substituie astfel omului, dar în același timp trebuie să asigure prezența decizională a acestuia. Situațiile de securitate și supraveghere sunt situații ce pot fi extrem de complexe, astfel încât un factor decizional de tip Inteligență Artificială, nu este încă indicat. Astfel, cu excepția unor situații simpliste de tip supraveghere și securitate, se preferă în continuare inteligența umană în conjuncție cu factorii decizionali aferenți. Marea majoritate a RMSS sunt de fapt precum „buzduganul” din poveste care își precede stăpânul zmeu. Un astfel de robot este trimis înaintea operatorului în teren și trebuie să asigure cât mai precis o prezență cât mai reală a operatorului aflat în siguranță, undeva departe în fața punctului de comandă și control. Devine astfel de o importanță extremă modul în care robotul

transmite informații cât mai exacte și execută cât mai corect comenzile operatorului. Astfel nu numai acuratețea datelor transmise este importantă ci și viteza de transfer între robot și operator devine cel puțin la fel de importantă. La rândul lor acuratețea și viteza contribuie implicit la corectitudinea acțiunilor și operațiilor executate de către robot.

2. SCURTĂ ANALIZĂ STRUCTURALĂ ȘI SOLUȚII ORIGINALE PENTRU CONTROLUL ROBOȚILOR RMSS

Robotul – copie, deocamdată imperfectă, a ființelor vii - Robotul în diversele sale forme existente, în acest moment în lume, nu este decât încercarea, limitată din ce în ce mai puțin tehnologic, de a recrea o ființă artificială similară cu cea vie. Fiind deci o extensie cât mai fidelă a operatorului uman putem generaliza și spune că un robot de tip RMSS devine tributار unei structuri funcționale specifice vieții, a unei ființe vii capabile să supraviețuiască și să exploreze mediul înconjurător. Pentru aceasta un astfel de robot trebuie să aibă în structura sa:

- corp (sasiul robotului) – o structura capabila să protejeze propriile „organe” vitale;
- picioare (roti, șenile, picioare) – pentru asigurarea mobilității;
- creier (controllere și micro sisteme de calcul)– necesar prelucrării informației receptate;
- organe de simț (senzori) – necesari receptării efective a informației de mediu;
- brațe cu extremități prehensile (braț articulată, actuatori) – pentru interacționarea cu mediul înconjurător;
- sistem de comunicare (WiFi, GPS, Radio) – pentru a putea transmite și recepta informația către operatori sau alte baze de date;
- energie (acumulatori) – un sistem energetic individual ce va asigura energia necesară tuturor acțiunilor.

Departate de a fi exhaustivă această structură va fi folosită încă mult timp de designerii și creatorii de roboți nu numai din domeniul securității și supravegherii dar și în celelate domenii și aplicații de la cele casnice până la cele spațiale. În continuare se va încerca respectarea pe subcapitole a structurii de mai sus, chiar dacă unele elemente se întrepătrund atât ca funcționalitate cât și ca utilizare.

Șasiul și roțile pentru RMSS. În cazul unui robot RMSS clasic șasiul trebuie totuși studiat în contextul modalității efective de deplasare, astfel încât să asigure în primul rând propriul echilibru (inclusiv în condiții de stress) și apoi o cat mai bună manevrabilitate în deplasare. Practic mai întâi trebuie

aleasă soluția de mobilitate. Se pot folosi în acest sens sisteme de deplasare după cum urmează:

- sisteme de deplasare folosind picioare articulate;
- sisteme de deplasare folosind aeroportanță;
- sisteme de deplasare folosind roți și simulatoare de roți;
- sisteme de deplasare folosind șenile sau echivalente;
- sisteme de deplasare folosind combinații de șenile cu roți.

Platforma robotului RMSS trebuie, în pofida unor puteri dezvoltate relativ mari, să aibă un consum energetic cât mai mic. Și acest lucru trebuie cel mai bine optimizat în sistemul de tracțiune deoarece el este principalul consumator.

Dacă luăm în considerație sistemele folosind picioare articulate ca primă soluție de deplasare, vom găsi sisteme majoritar bazate pe o structura umană. Deși este o soluție destul de bună în ceea ce privește posibilitățile de ocolire a obstacolelor, nu putem neglija complexitatea elementelor mecanice ce intră în compnența acestora, de unde și marea dificultate de a menține un echilibru ferm, aferent sistemelor de control și reglare pentru actuatorii folosiți.

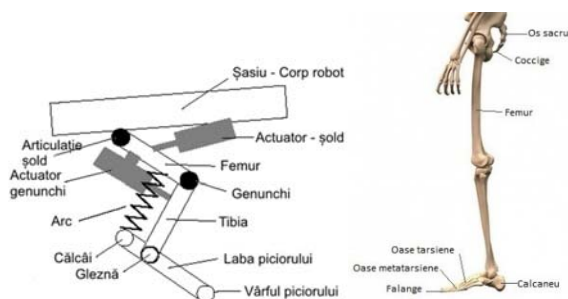


Figura 2. Cel mai simplu sistem mecatronic ce reproduce piciorul uman comparat cu schelet.

Astfel de soluții există doar în stadiul de cercetare în țările avansate și sunt soluții încă nerentabile atât din punct de vedere financiar, economic cât și energetic.



Figura 3. Roboții cu picioare articulate sunt încă în faza de cercetare (de la stânga la dreapta, WildCat – Boston Dynamics și StarETH – Institutul de robotică și sisteme inteligente din Zurich).

Sistemele folosind aeroportanța sunt folosite la roboții care se deplasează pe calea aerului utilizând aripi sau elici. Sunt denumiți generic indiferent de

modalitatea folosită pentru zbor, drone. Având în vedere că lucrarea își propune studiul și realizarea unui robot RMSS terestru, nu vom intra în detalii aferente cazului dronelor. Totuși trebuie menționat că în aceasta grupă se înscriu și roboți terestri ce folosesc principiul pernei de aer. Denumite și hovere sau hovercraft aceste sisteme de deplasare au marele avantaj că se pot deplasa atât pe uscat cât și pe apă dar nu pot depăși obstacole având dimensiuni similare cu grosimea pernei de aer. Și în acest caz avem de a face cu două neajunsuri ca și soluție posibil adaptabilă unui robot RMSS. Un sistem propulsat pe pernă de aer, are o formă de deplasare cu histerzis neputând executa frânări bruște, astfel încât nu se pot asigura plasări și deplasări foarte precise. Din acest motiv și de asemenea din cauza unui consum energetic substanțial, aceste sisteme nu pot fi considerate ca fiind optime pentru robotul RMSS.

Deși majoritatea mecanismelor sunt și au fost inspirate din elemente biologice existente, putem observa că în natură nu există articulații care să dezvolte rotații complete, model ce ar fi putut sta la baza inovării roții. Și totuși acest model nu este chiar străin vieții noastre de zi cu zi. Mersul uman biped poate fi aproximat cu un o formă de rotație tip arc de cerc având dimensiunea pasului propriu-zis (Figura 4) respectiv o lungime s . Forma arcului determinată de unghiul unui pas ($2u$) se apropie de un arc de cerc bine detrmnat de raza h (lungimea piciorului). În general așa cum am mai menționat mai sus deplasarea pe picioare necesită multe grade de libertate și deci implică o mecanică cu forte mult mai complexă decât roata. Pe de altă parte o altă componentă extrem de dificil de compensat este deplasarea centrului de greutate (d) în ideea menținerii unui echilibru stabil al pașitorului.

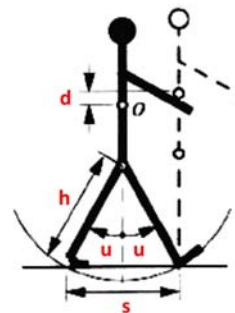


Figura 4. Mersul biped descrie un arc de cerc având raza h egală cu lungimea piciorului (Introduction to Autonomous Mobile Robots - Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza, 2011).

Roțile reprezintă nu numai cel mai utilizat mecanism de deplasare în robotică dar și cel mai frecvent utilizat în mai toate vehiculele realizate de om. Acest lucru se datorează atât randamentului deosebit (asa cum arata graficul din Figura 5) dar mai ales implementării foarte simple din punct de vedere al execuției și fiabilității.

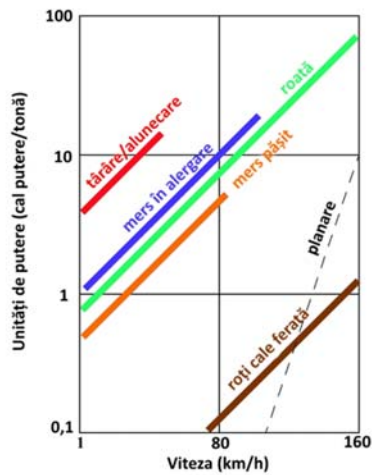


Figura 5. Puterea specifică necesară atingerii unei viteze pentru cele mai utilizate sisteme de deplasare (*Introduction to Autonomous Mobile Robots* - Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza, 2011).

Este cu atât mai interesant cu cât această ancestrală invenție, roata, o putem găsi astăzi într-o multitudine de forme, dimensiuni și tipuri, pregătită să depășească condițiile de mediu care îi sunt defavorabile. Astfel am preconizat ca ideală o structură având 6 roți, în pofida necesarului de sincronicitate (ele practic vor funcționa în sistem „șenilă” – 3 și 3), având control independent pe fiecare în parte. Comanda fiecărei roți separat va asigura viabilitatea deplasării chiar și în cazul critic (maxim posibil / funcție de localizarea roților defecte) în care 4 din cele 6 roți s-au defectat. Chiar și în acest context roțile defecte vor fi decuplate (debraiate) de sarcini, partea motrice și efectiv de direcționare rămânând în sarcina celor 2 roți rămase încă funcționale. Chiar dacă șasiul suferă distrugerii importante, robotul va fi apt să execute operațiuni simple și/sau funcția de reîntoarcere la punctul de comandă și control. Soluția cu roți este utilă și din punct de vedere al posibilităților montării de suspensii independente pentru fiecare roată în parte având o cursă de circa 45- 50 de grade în planul perpendicular pe planul de deplasare și care conține axa imaginată a unei perechi de roți.

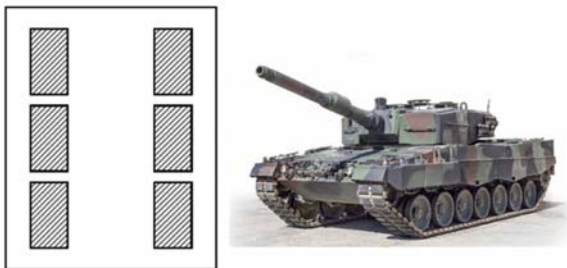


Figura 6. Sistem cu 6 roți (echivalent șenile) fixe și motrice. Virajarea se face prin control independent al fiecărui grup de 3 roți laterale. Permite inclusiv derapare/lunecare în timpul virajului.

Astfel se poate menține o foarte bună orizontalitate a platformei robotului ce va oferi atât stabilitate dar mai ales variații poziționale cât mai puține în casca virtuală a operatorului care îl conduce.

Practic pentru un robot de tip RMSS avem nevoie de o structură similară cu cea din Figura 6 deoarece dorim să fie o structură solidă, aptă să se deplaseze pe teren accidentat, aptă să atingă viteze de deplasare relativ mari (viteză maximă circa 10km/h pe teren neaccidentat) dar având în același timp și posibilitatea de a fi manevrată la viteze mici, precis și cu virajare în unghi mic. Sistemul trebuie să fie cât mai simplu din punct de vedere mecanic și să aibă minimul de piese în mișcare în scopul sporirii fiabilității sale în misiuni. În același timp sistemul șasiu trebuie să fie cât mai ieftin cu puțință ca raport capacitate de acțiune/preț deoarece trebuie luat în considerație inclusiv posibilitatea apariției unui factor totalmente distructiv, în timpul misiunii, ce ar duce la deteriorarea iremediabilă a robotului (explozii, sabotaje, etc). În consecință a fost abordată o structură, așa cum am menționat mai sus, similară cu cea din Figura 6. Inițial am plecat de la o structură de tip DAGU redimensionată la dimensiuni mai mari pretabile inclusiv la căratul unor sarcini grele de circa 100 kg (este luată în calcul inclusiv transportarea în caz de urgență a cel puțin o persoană de la locul desfășurării misiunii până la punctul de operare și control al misiunii).

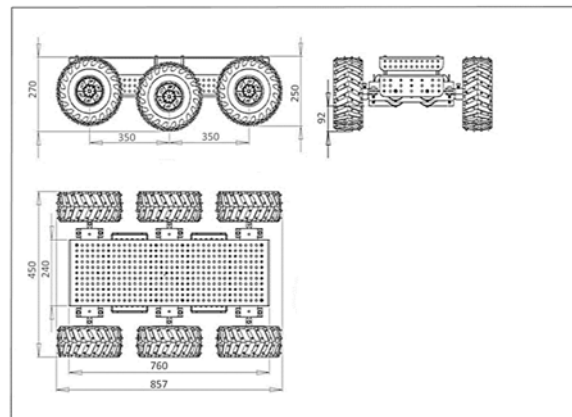


Figura 7. Structura inițială având roți cu rulmenți și motoare electrice direct-drive amplasate sub șasiu în elementul de suspensie.

Structura compusă din 6 roți având un diametru de 250 mm, fiecare montată direct pe axul motorului aferent de acționare în sistem direct-drive. Motoarele sunt motoare electrice de curent continuu cu perii și o singură înfășurare de comandă. Motoarele sunt încastrate în cuști articulate ce reprezintă chiar suspensia șasiului având elemente active tip arc. Corpul șasiului este format din elemente tipizate de tip „U” din tablă de două dimensiuni (un „U” reprezintă partea superioară a șasiului iar celalaltă

dimensiune de „U” sunt modulele aferente fiecărei celule de suspensie. Amplasarea joasă a motoarelor asigură un centru de greutate bine plasat în interiorul suprafeței șasiului. Avantajul acesta este însă plătit scump de micșorarea găzii la sol a șasiului. Acesta devine 92 de mm, și probabil va trebui să fie micșorată din cauza necesității montării unei suprafețe tip „scut” necesare apărării motoarelor electrice. Plasarea motoarelor electrice la distanță așa joasă a dus la concluzia că soluția încă nu este cea mai potrivită fie și doar din cauza că toate cele 6 motoare sunt expuse loviturilor ce pot apărea, în timpul deplasării, sub șasiu. Însă soluția unor scuturi adiționale ar produce îngreunarea șasiului ceea ce ar fi fost bine de evitat. O altă nemulțumire provenea din faptul că pentru a sincroniza cât mai bine motoarele electrice erau necesare montarea pe fiecare roata a unui traductor incremental de turație ceea ce ar fi complicat din punct de vedere mecanic roata.

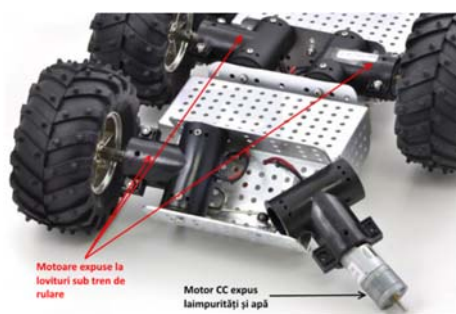


Figura 8. Șasiul Dagu nu protejează în motoarele la impurități, apă și lovituri sub trenul de rulare.

Pentru depășirea acestor neajunsuri au fost reluate studiile în special vizând schimbarea motoarelor electrice care trebuiau să dezvolte ceva mai multă putere dar mai ales să poată fi sincronizate cât mai precis. Am ajuns la concluzia că în pofida dificultăților de comandă motoarele de nouă generație de tip BLDC (motoare fără perii de curent continuu) îndeplinesc cu brio aceste cerințe. Nu numai că ele constructiv conțin senzori de tip Hall dedicați controlului precis al turației dar ocupă mai puțin spațiu decât cele convenționale având în același timp un randament și o fiabilitate mult mai bună. În final cea mai importantă caracteristică a unui motor de acest tip este posibilitatea execuției lui chiar în interiorul unei roți. Mai mult decât atât un astfel de motor executat în interiorul unei roți este deja în clasă de protecție IP64, asigurând atât protecția la praf cât și cea la apă. Constructiv axul roții este fix și deci firele de legătură (atât putere cât și control) nu necesită contacte rotaționale. Și nu în ultimă instanță acest motor este de tip fără perii ceea ce asigură inclusiv o fiabilitate mult sporită în contextul unei întrețineri scăzute. Avantaje dar și dezavantaje căci acest sistem nou de motor având alte aplicații efective decât robotica, nu au fost încă concepute cu controlere

intergrabile în controlul la distanță, respectiv control software bidirecțional. Motiv pentru care am fost nevoiți să interfașăm roțile motor existente cu modalități noi, originale ce au presupus etape de cercetare, execuție și testare interesante.



Figura 9. Roată cu motor de curent continuu fara perii, cu trei faze, tip BLDC comandat in impulsuri, integrat în interior, o noutate de ultimă oră în mecatronică.

Astfel o astfel de structură va putea fi condusă de o diagramă de mișcare de tipul celei prezentate în Figura 26, cu mențiunea că au fost figurate doar mișcările fără lunecare/derapare efectivă între roți și suprafața de deplasare.

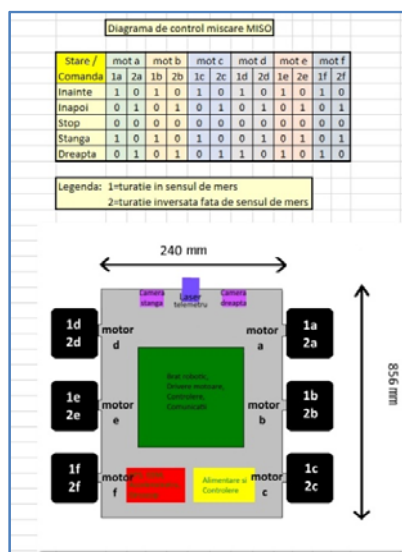


Figura 10. Diagrama de mișcare a robotului RMSS.

În cadrul testelor finale se vor evalua inclusiv utilitatea acestora din urmă, controlerele având toate posibilitățile prevăzute în schema de comandă și control. Apariția recentă a acestor tipuri de motoare BLDC în trei faze dă ca efect secundar o mare lipsă pe piața internă și internațională de controlere dedicate. Acest lucru este implicit datorat și puterilor mari dezvoltate de motoare. Un astfel de motor cu construcție integrată în roată de tipul celor utilizate la robotul RMSS au puteri de circa 180 W la tensiunea de alimentare de 36 V. Există un singur tip de controler (fabricat în mai multe versiuni de putere și

tensiune) care este însă făcut spre a fi acționat direct cu elemente electromecanice de comandă. Un astfel de controler este controlerul ZTECH E80030-B capabil sa controleze motoare având puteri până la 450W și tensiuni de alimentare de 36V sau 48 V.

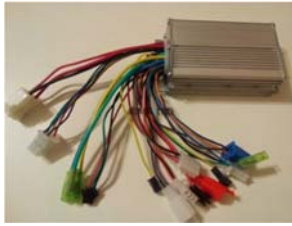


Figura 11. Controlerul ZTECH E80030-B, perfect compatibil cu motoare BLDC cu trei faze dar nu și cu microsystemul de calcul.

Ne-am aflat tocmai în situația în care aveam un controller superb acordat cu motorul de acționat, dar totalmente incompatibil cu cele două microsysteme prevăzute a lucra pe robot (Arduino și Raspberry Pi). Normal singura soluție a fost proiectarea unei interfețe între microsystemul de calcul și controlerul ZTECH. Deci un controler care are nevoie de o interfață spre un microsystem de calcul de tip Arduino a fost soluția găsită în această primă fază, intenția generică fiind încercarea de a controla cu ajutorul acestei triade tot sistemul de deplasare al robotului. Prima problemă a fost efectiv pornirea în mod accelerat și decelerat a motorului. Astfel trei fire de comandă a controlerului au fost identificate din cele 4 fire, respectiv cele care erau utile pentru acționarea efectivă a motorului.



Figura 12. Conector ZTECH E80030-B, cu 4 fire pentru controlul turației motorului.

Astfel la teste și încercări s-a constatat că firul negru și firul roșu dau o tensiune stabilizată de 5V (negru masă, roșu plus), iar pe firul verde este necesară o excursie de tensiune de la 0V la 4,8V turația motorului fiind direct proporțională cu excursia tensiunii de comandă (0V – motor oprit , 4,8V – motor in turație maximă). Excursia de tensiune fiind însoțită de un current minim de acționare de circa 20-30 mA. Apare o problemă, deoarece microsystemul de

Cod de acționare cu un divizor rezistiv liniar:

```
/* Pin Value (0-255) = 255 * (AnalogVolts / 5); //presupunem intrarea max = 5V, ce se face in incremente de 255 */
int pwmPin = 9; /* pin iesire de tip PWM*/
int inPin = 3; /* tensiune de comanda conectata la pinul analog 3, de exemplu un potentiometru 0-5V excursie*/
int val = 0; /* variable to store the read value*/
float volt = 0; /* variable to hold the voltage read*/
```

calcul Arduino UNO R3 nu dispune de ieșire cu convertor digital analogic așa cum ar fi fost ideal pentru o astfel de comandă. In consecință s-a recurs la o schema de adaptare de genul celei din Figura 13. Am folosit o ieșire de tip PWM unde am folosit efectiv o funcție de modulare in durată a impulsurilor care apoi erau convertite digital analogic de grupul T1 R1, C1, D1 în excursie de tensiune continuă. Reușindu-se în final pe ieșirea montajului o excursie 0-5V.

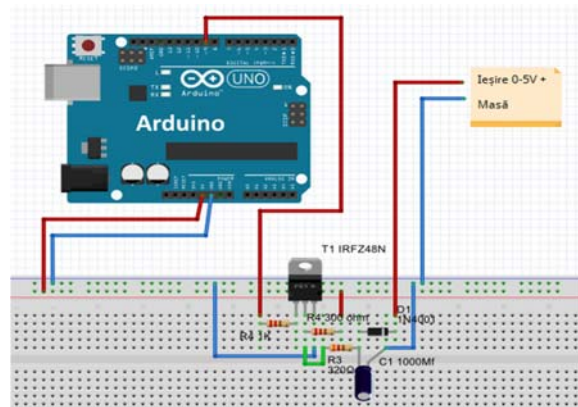


Figura 13. Interfațare Arduino cu controlerul ZTECH 80030.

Pentru controlul accelerației din arduino au fost folosite două metode. Prima metodă a constat în comanda liniară a accelerației și decelerației motorului și a doua metodă în comanda în trepte atât a accelerației cât și a decelerației. Pentru prima metodă am folosit un divizor potențiometric pe una din intrările analogice a lui Arduino. A fost utilizat un potențiometru de 100Kohm pe pinul 3 al lui Arduino și ieșirea de pe pinul PWM 9 ce a atacat tranzistorul T1.

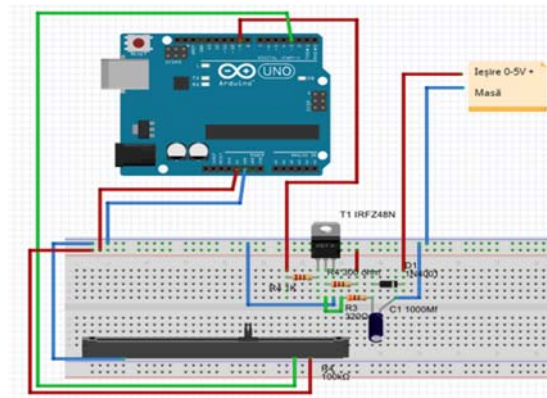


Figura 14. Comandă liniară a turației motoarelor cu un divizor rezistiv potențiometric de 100K.

```

/* setPwmFrequency(9, 8); */
/* TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x02; seteaza frecventa mai sus */
void setup() {
    TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x02;
    pinMode(pwmPin, OUTPUT); /* setam Pinul PWM ca pin de iesire */
}
void loop()
{
    /* citeste valoarea pe pinul de intrare de la potentiometru */
    /* val = analogRead(inPin); */
    /* manual pentru comenzi val=200 minim si val=100 maxim viteza */
    val = 190;
    volt = (5.0 * val) / 1023;
    val = 255 * (volt / 5);
    analogWrite(pwmPin, val);
}

```

Astfel au fost obținute ieșiri liniare ale tensiunii de ieșire ceea ce a permis să se determine gama exactă de funcționare respectiv acționare a controlerului. Astfel aceasta s-a situat între pragul minim de 1,2 V (tensiune de comandă care pornește motorul la cea mai mica turație a sa) și 3,8 V (tensiune la care indiferent de mărirea ei spre 5 V, turația motorului este la maxim limitată de controler). Important de știut arăta gama efectivă de comandă cât mai ales faptul că interfațarea a reușit cu succes.



Figura 15. Montajul pe bancul de testare.

Următorul pas a fost acționarea motorului în accelerare și decelerare în pași discreți. Aceasta deoarece am considerat-o ca fiind cea mai sigură și mai coerentă metodă de control al motoarelor. În acest sens divizorul potențimetric de comandă a fost înlocuit de două butoane de tip microswitch, unul

pentru a accelera și celălalt pentru a decelera motorul. Ulterior a fost adăugat și un al treilea buton al cărui rol este de „cheie de contact” a sistemului el putând opri sau porni efectiv rotirea în orice condiții s-ar afla șasiul (deplasare, staționare, efectuare de lucru mecanic cu brațul mobil, etc) și independent de comenzile venite pe alte căi. Acesta va fi ulterior folosit inclusiv în partea software de frânare și debraiere a roților. Bineînțeles că aceste butoane vor fi înlocuite în modelul final cu impulsuri software, transformarea fiind acum ușoară și evident funcțională. Este de altfel și motivul pentru care am considerat ca fiind cel mai avantajos pentru acest robot, o comandă a turației în trepte discrete, asigurând un control cât mai precis și în același timp mai ușor controlabil software.

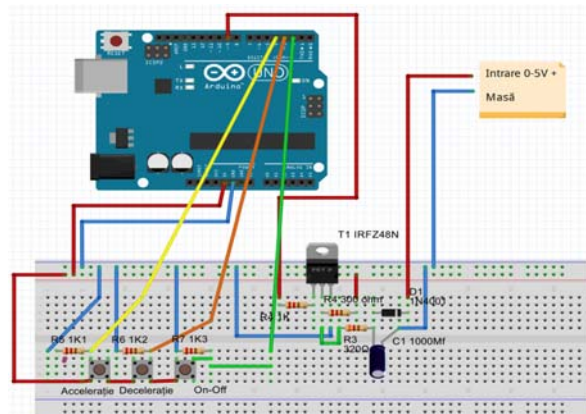


Figura 16. Accelerare și decelerarea în trepte cu microswitch-uri (inclusiv funcția de pornire-oprire).

Cod de comandă pentru accelerare și decelerare în trepte și buton de pornit-oprit:

```

/* Pin Value (0-255) = 255 * (VoltiAnalogic / 5); //presupunem intrarea max = 5V, ce se face in incremente de 255 */
int pwmPin = 9; /* pin iesire de tip PWM pentru comanda turatie */
int inPin = 3; /* tensiune de comanda conectata la pinul analog 3, de exemplu un potentiometru 0-5V excursie */
int val = 0; /* variabila de comanda turatie */
int vali = 190; /* variabila anexa pentru modificare variabilei val */
int start = 0; /* variabila de comutare ON OFF pe acelasi buton */
float volt = 0; /* variable to hold the voltage read */
/* setPwmFrequency(9, 8); */

```

SISTEM CYBER-MIXMECATRONIC INTELIGENT PENTRU CONTROLUL ROBOȚILOR DE SECURITATE

```
/*TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x02; seteaza frecventa mai sus*/
const int buttonPin = 2; /* intrarea 2 digitala unde este plasat butonul on off*/
const int buttonPinV = 4; /* intrarea 4 digitala unde este plasat butonul crestere viteza*/
const int buttonPinW = 3; /* intrarea 3 digitala unde este plasat butonul descrestere viteza*/
int buttonStare = 0; /* variabila de stare a butonului on off*/
int buttonStareV = 0; /* variabila de stare a butonului crestere viteza*/
int buttonStareW = 0; /* variabila de stare a butonului descrestere viteza*/
void setup(){
  /* schimb ceasul modulatiei de iesire la 3906 Hz */
  TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x02;
  pinMode(pwmPin, OUTPUT); /* setam Pinul PWM ca pin de iesire*/
  pinMode(buttonPin, INPUT); /*initializam ca Pin Intrare pentru ON OFF*/
  pinMode(buttonPinV, INPUT); /*initializam ca Pin Intrare crestere viteza*/
  pinMode(buttonPinW, INPUT); /*initializam ca Pin Intrare descrestere viteza*/
}
void loop()
{
  /* val = analogRead(inPin); citeste valoarea pe pinul de intrare de la potentiometru - redirectionat pe pasi*/
  /* manual pentru comenzi val=200 minim si val=100 maxim viteza*/
  buttonStare = digitalRead(buttonPin); /*citeste butonul ON OFF*/
  buttonStareV = digitalRead(buttonPinV); /*citeste butonul crestere viteza*/
  buttonStareW = digitalRead(buttonPinW); /*citeste butonul descrestere viteza*/
  /* un singur buton de on/off sevential */
  if (buttonStare == HIGH){
    delay(400);
    switch (start){
      case 0:
        start = 1;
        break;
      case 1:
        start = 0;
        break;
    }
  }
  /* cresterea vitezei in 9 pasi*/
  if (buttonStareV == HIGH) {
    vali = vali - 10;
    if (vali <= 100) {
      vali = 190;
    }
    delay(400);
  }
  /* descresterea vitezei in 9 pasi*/
  if (buttonStareW == HIGH) {
    vali = vali + 10;
    if (vali >= 190) {
      vali = 190;
    }
    delay(400);
  }
  /* comanda efectiva a motorului */
  if (start == 0) {
    // opreste motor:
    val = 255;
    vali = 190;
    analogWrite(pwmPin, val);
    /* delay(2000); /*doar pentru probe , cu 2000 opreste cam 2-3 secunde cu ceasul marit la 3906 Hz !*/
  } else {
    // motor pornit:
    /*val = 190; -- necesara ca initializare pentru potentiometru!*/
    volt = (5.0 * vali) / 1023;
    val = 255 * (volt / 5);
    analogWrite(pwmPin, val);
  }
}
}
```


Au fost facute mai multe încercări de număr de pași optimați (oricum acesta se poate mări oricât de mult) și deocamdată pentru probe am rămas pe 9 pași de reglare atât pe accelerare cât și pe decelerare. Așa cum se vede din software am folosit o funcție de schimbare de stare astfel încât din același buton să putem acționa ciclic pornirea respectiv oprirea generală a motorului indiferent de turația sa.

3. CONCLUZII

Deși nu putem încă defini niște concluzii în adevăratul sens al cuvântului, având în vedere că echipamentul este încă în lucru, putem totuși stipula niște pre-concluzii. Astfel putem spune că sistemul în sine, modulele folosite și ideile de bază de la care s-a pornit proiectul sunt corecte și funcționale. Putem spune că echipamentul poate fi nu numai definitiv în parametrii propuși dar și răspunde cerințelor robotului propus de tip RMSS în pofida greutăților aparute pe parcurs datorate utilizării unor sisteme foarte noi și moderne, abia apărute în domeniul roboticii și mecatronicii. Astfel încât s-a putut trece la pasul următor respectiv elaborarea softurilor de

franare și inversare de sens a roților motor de tip BLDC.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Eben Upton and Gareth Halfacree, *Raspberry Pi User Guide 2nd Edition*, John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2014.
- [2] Matt Richardson and Shawn Wallace, *Getting Started with Raspberry Pi*. Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, United States of America, 2013.
- [3] Cay Horstmann and Rance D. Necaise, *Python for Everyone*, John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2014.
- [4] Gheorghe Ion GHEORGHE, Anghel CONSTANTIN, Sergiu DUMITRU, *Microingineria Membrărilor Inteligente*, Editura CEFIN, București, România, 2013.
- [5] Gheorghe Ion GHEORGHE, *Adaptronica Sistemelor Inteligente*, Editura AGIR, București, România, 2014.
- [6] Y. Daniel Liang, *Introduction to Java Programming 8th edition*, Pearson Higher Education. Upper Saddle River, New Jersey, 07458, 2011.
- [7] Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, Massachusetts Institute of Technology, MIT Press, 2011.

Despre autori

Drd. ing **Dorin ANGELESCU**

Universitatea „Valahia” din Târgoviște, Școala Doctorală Inginerie Mecanică, Târgoviște, România

Inginer automatist având o experiență în cercetare, execuție și proiectare de peste 30 ani în domeniile Electronică, IT hardware și Software, Mecatronică și Optică. Este angajat al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării (INCDMTM) – București, România, fiind șeful Laboratorului de Tehnologii Aditive.

Prof. D.H.C. EurIng. dr. ing. **Gheorghe Ion GHEORGHE**

Universitatea „Valahia” din Târgoviște, Școala Doctorală Inginerie Mecanică, Târgoviște, România

Este cercetător științific principal gradul I, având o experiență în cercetare și management de peste 47 de ani în domeniile Mecanică fină, Tehnica măsurării inteligente, Robotică, Mecatronică, Integronică, Adaptronică și cyber-mix mecatronică. Este angajat al Institutului Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării - INCDMTM din București, România. Este Director General la Institutului Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării, din anul 2006 și până în prezent. Este profesor universitar D.H.C. EurIng dr. ing. și are activitate universitară la U.P.B , U.T.M și U.V.T. Este membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România (ASTR).