

# GESTIUNEA UNUI SISTEM MULTI-ROBOT DEFINIT ÎNTR-UN SPAȚIU CU COORDONATE RELATIVE

**Autori: Victor ABABII, Viorica SUDACEVSCHI, Marin PODUBNÎI, Liudmila CEBAN, Ghenadii SAFONOV**

Universitatea Tehnică a Moldovei, Academia Militară  
Email: [avv@mail.utm.md](mailto:avv@mail.utm.md), [svm700@mail.ru](mailto:svm700@mail.ru), [marinpodubnii@mail.ru](mailto:marinpodubnii@mail.ru)

**Adnotare:** Lucrarea da față este dedicată proiectării și cercetării sistemelor de conducere a roboților autonomi mobili definiți în spații cu coordonate relative. În scopul reducerii complexității modelelor matematice și a sistemului de control spațiul de definiție este divizat în subspații cu coordonate relative. În rezultatul proiectării s-au obținut algoritmul de funcționare al sistemului de control, schema de structură și electrică de principiu pentru o variantă de sistem de control.

**Cuvinte cheie** — sistem multi-robot, sistem de coordonate relative, traseu de deplasare, sub-sistem de coordonate.

## 1. Introducere

Deplasarea pe un traseu predefinit este una din cele mai importante probleme care se pune la realizarea roboților autonomi mobili. Autonomia robotului mobil este determinată de capacitățile acestuia de a calcula traseul de deplasare în dependență de coordonata de amplasare în spațiul de definiție.

În practică există o mare diversitate de tipuri de roboți mobili și de medii de activitate ale acestora. În funcție de natura misiunilor pe care trebuie să le rezolve, se pot defini mai multe niveluri de autonomie și respectiv de complexitate a tehnicilor de calcul a traseului de deplasare [1].

Pentru ca un robot să navigheze autonom, în mediul în care operează, este necesar să se realizeze un model matematic exact de descriere a mediului înconjurător și a traseului de deplasare. În același timp evoluția unui asemenea model necesită folosirea unor multiple tipuri de sisteme de senzori pentru identificarea mediului de activitate și a poziției în spațiul de coordonate [2, 3]. În practică sistemele de senzori, instalate pe un robot mobil, sunt de următoarele tipuri: radar, scanare cu laser, telemetrie cu ultrasunete, senzori vizuali și respectiv sisteme GPS [4].

## 2. Formularea problemei de cercetare

Se definește spațiul bidimensional  $\mathcal{S}$  de ghidare a robotului autonom mobil (Figura 1). Traseul de deplasare se definește prin curba  $[A, B]$ .

Traseul de deplasare a robotului mobil, în spațiul  $\mathcal{S}$  cu sistemul de coordonate absolute, este definit de sistemul de ecuații diferențiale:

$$\begin{cases} dx = A_x \dot{x} + B_x \dot{y} \\ dy = A_y \dot{x} + B_y \dot{y} \end{cases} \quad (1)$$

În scopul reducerii complexității modelului matematic, de definire a traseului de deplasare, spațiul  $\mathcal{S}$  se divizează într-o mulțime de subspații  $\mathcal{S}_{j,i}$ , unde:

$$\mathcal{S} = \bigcup_{j=1}^M \bigcup_{i=1}^N \mathcal{S}_{j,i} . \quad (2)$$

Subspațiul  $\mathcal{S}_{j,i}$  se caracterizează prin baza  $\mathcal{O}_{j,i}$  și vectorii  $\mathbf{j}, \mathbf{i}$  a subsistemului de coordonate relative.

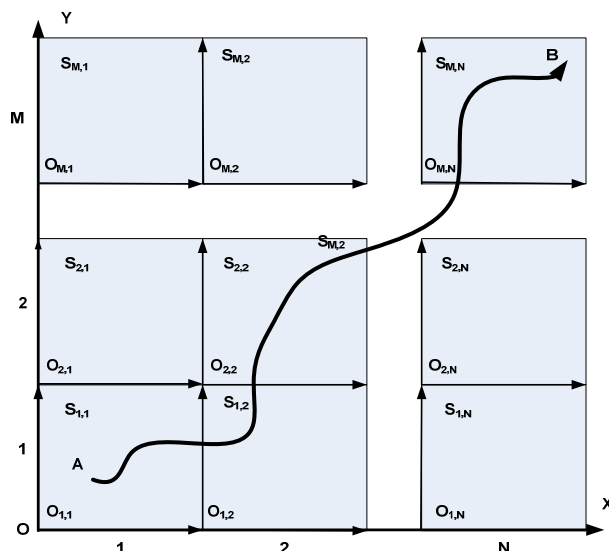


Figura 1. Spațiul bidimensional și traseul de deplasare a robotului mobil.

Pentru fiecare subspațiu  $S_{j,i}$  se definește subsistemul de ecuații diferențiale care determină deplasarea robotului mobil pe coordonata respectivă:

$$\begin{cases} dx_i = A_x \dot{x}_i + B_x \dot{y}_j \\ dy_j = A_y \dot{x}_i + B_y \dot{y}_j \end{cases} \quad (3)$$

unde:

$dx_i$  - deplasarea robotului pe coordonata  $x$  în subspațiul cu coordonata  $i$  ;

$dy_j$  - deplasarea robotului pe coordonata  $y$  în subspațiul cu coordonata  $j$  ;

$A_x$  și  $B_x$  - coeficienți de calcul a variației funcției pe coordonata  $x$  ;

$A_y$  și  $B_y$  - coeficienți de calcul a variației funcției pe coordonata  $y$  ;

$\dot{x}$ ,  $\dot{y}$  - variația argumentului în timp.

### 3. Modelul sistemului multi-robot

Modelul abstract al robotului autonom mobil este prezentat în Figura 2, unde:

**MS1**, **MS2** – motoare pas cu pas pentru deplasarea robotului mobil;

**RC** – roată pentru cotirea robotului.

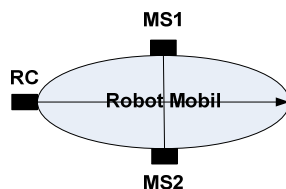


Figura 2. Modelul abstract al robotului mobil.

Deplasarea robotului are loc în direcția indicată de săgeată. Pasul de discretizare a deplasării robotului mobil este determinat de unghiul de rotație a motorului pas cu pas **MS** și diametrul roților **R** de deplasare. Distanța parcursă de robot  $\Delta l$  la fiecare pas de deplasare este determinată din formula:

$$\Delta l = R \left( \frac{\alpha}{2\pi} \right), \quad (4)$$

unde:  $\alpha$  - unghiul de rotire a roților la fiecare pas de deplasare, în radiani.

#### 4. Transformarea sistemului de coordonate

Transformarea coordonatelor se efectuează în scopul racordării sistemului de ecuații (3) la modelul abstract al robotului mobil.

În Figura 3 este prezentată structura cinematică a robotului mobil.

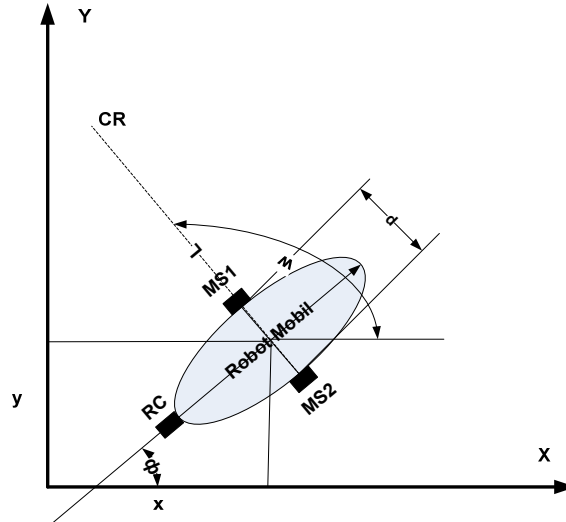


Figura 3. Structura cinematică a robotului mobil.

Ecuțiile cinematice ale robotului mobil:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \varphi \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(v_{MS1} + v_{MS2}) \cos \varphi \\ \frac{1}{2}(v_{MS1} + v_{MS2}) \sin \varphi \\ (v_{MS1} - v_{MS2})/d \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Sau:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cos \varphi & \frac{1}{2} \cos \varphi \\ \frac{1}{2} \sin \varphi & \frac{1}{2} \sin \varphi \\ -1/d & 1/d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{MS1} \\ v_{MS2} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Unde:

$d$  – distanța dintre planele roților MS1 și MS2;

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\Delta l}{d}\right) \Rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{R\alpha}{d2\pi}\right). \quad (7)$$

Unghiul  $\omega$  de orientare a robotului mobil, față de subsistemul de coordonate, se calculează din expresia:

$$\omega = \int (d\varphi) dt. \quad (8)$$

#### 5. Algoritm de control a sistemului multi-robot

Fie traseul de deplasare a robotului autonom mobil este definit prin sistemul de ecuații (1). Și respectiv în subspațiul  $S_{j,i}$  este definit de sistemul de ecuații (3). În acest caz problema de control a robotului mobil se

reduce la realizarea unui controler robust care converge spre traiectoria definită de sistemul de ecuații (3).  
În figura 4 este prezentat algoritmul de control a robotului mobil.

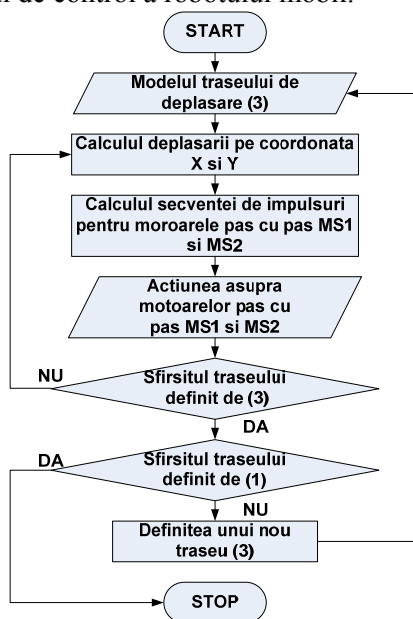


Figura 4. Algoritmul de control a robotului mobil.

## 6. Sinteza schemei funcționale a unui robot mobil

Schema de structură a sistemului de control a procesului de deplasare a robotului autonom mobil este prezentată în figura 5.

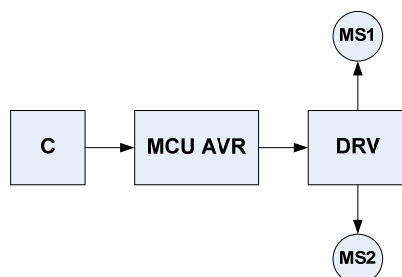


Figura 5. Schema de structură a sistemului de control.

Schema de structură conține: blocul de comandă **C** cu funcții de setare a regimului de lucru a sistemului de control; sistemul microcontroler **MCU AVR** cu programul de control a procesului de deplasare a robotului pe traseul definit; driver-ul **DRV** pentru amplificarea semnalelor de acțiune asupra motoarelor pas cu pas **MS1** și **MS2**.

În figura 6 este prezentată schema funcțională a sistemului microcontroler **MCU AVR** în procesul de control a robotului autonom mobil.

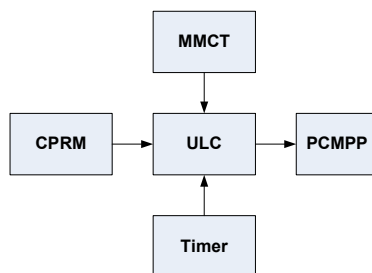


Figura 6. Schema funcțională a sistemului MCU AVR.

Schema funcțională a sistemului MCU AVR determină interacțiunea blocurilor funcționale ale sistemului. În centru se află unitatea logică centrală **ULC** care execută secvența de instrucțiuni definită de algoritmiile modelelor matematice de control a traseului **MMCT**, algoritmul de control a poziției robotului mobil în spațiu **CPRM** și algoritmul de formare a intervalelor de timp **Timer** pentru sincronizarea proceselor și comanda cu motoarele pas cu pas.

### 7. Argumentarea sistemului de control

Verificarea funcționalității sistemului de control s-a efectuat în mediul de proiectare CAD Proteus 7.7. În calitate de sistem MCU s-a utilizat dispozitivul ATmega128 [5] care satisface toate cerințele parametrice și de performanță pentru implementarea sistemului de control.

În figura 7 este prezentată schema electrică de principiu elaborată și simulată în mediul CAD Proteus 7.7.

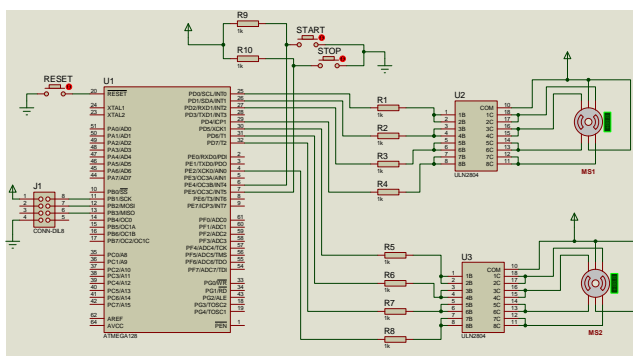


Figura 7. Schema electrică de principiu a sistemului de control.

Funcționalitatea sistemului se bazează pe execuția algoritmului (Figura 4) de control a robotului mobil de către sistemul microcontroler U1 ATmega128. Dispozitivele U2 și U3 (ULN2804) îndeplinesc funcțiile de amplificare a semnalelor pentru acțiunea asupra motoarelor pas cu pas MS1 și MS2.

### 8. Rezultate experimentale

În rezultatul simulărilor efectuate asupra sistemului de control s-au analizat următorii parametri de performanță:

- accelerarea procesului de calcul;
- eroarea de convergența traseului de deplasare a robotului mobil și traseul definit de sistemul e ecuații (1).

### 9. Mulțumiri

Proiectările și cercetările efectuate în cadrul acestei lucrări au fost efectuate prin utilizarea resurselor tehnice ale Centrului Studențesc de Creativitate Tehnică „Hard and Soft” de pe lângă facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică. Domeniul de cercetare face parte din programul de activități științifice ale catedrei Calculatoare.

### 10. Referințe

[5] D. Granciu, I. Lihet, „Utilizarea vederii stereo și omnidirecționale pentru evitarea obstacolelor de către un robot de cercetare”, Valabil pe: [http://www.iior.ro/custom\\_images/file/stu.pdf](http://www.iior.ro/custom_images/file/stu.pdf).

[6] R. Avanzato. Mobile robot navigation contest for undergraduate design and k-12 outreach. In Proc. Of Conf. of American Society for Engineering Education (ASEE), 2002.

[7] L.F. Gao, Y.X. Gai and Sheng Fu. Simultaneous Localization and Mapping for Autonomous Mobile Robots Using Binocular Stereo Vision System. Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, China. 326-330, 2007.

[8] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh “Introduction to Autonomous Mobile Robots” The MIT Press, 2004. ISBN: 026219502X, 335 pages.

[9] <http://www.atmel.com> (accesat 12.04.2011).