

ROBOȚI INTELIGENȚI – STRUCTURI DE RAȚIONARE

Prof. univ. dr. ing. Ioana ARMAȘ

Universitatea „Hyperion“, București

REZUMAT. Robotica reprezintă un domeniu complex și eterogen al cercetării științifice și tehnice, având diverse aplicații în activitățile umane și sociale. În aceste condiții, datorită caracterului deschis al domeniului, robotica integrează și utilizează rezultatele cercetărilor în inteligența artificială pentru dezvoltarea de noi generații de roboți, respectiv roboții inteligenți cu capacități de decizie și autonomie în realizarea sarcinilor în medii puternic dinamice și necunoscute. Din această perspectivă, în prezenta lucrare se consideră nucleul raționalității roboților inteligenți, fiind prezentate aspectele principale ale structurilor de raționare prin cele două dimensiuni: logică și semiotică. Astfel, sunt avute în vedere direcțiile de dezvoltare ale structurilor de raționare logice și semiotice, împreună cu interacțiunea acestora în crearea comportamentului inteligent. Rezultatele cercetării au aplicabilitate în dezvoltarea roboților inteligenți logico – semiotici și evidențiază necesitatea considerării în proiectare a contextului sinergetic, conform căruia structurile robotului (de percepție, acțiune, procesare, raționare) trebuie rezolvate simultan într-o manieră orientată pe capacitatea globală de „gândire” și autonomie.

Cuvinte cheie: roboți inteligenți, inteligență artificială, logică, semiotică, sinergie, structuri de raționare.

ABSTRACT. Robotics represents a complex and heterogeneous technical and scientific field of research, with various applications in different areas of human and society activities. In these conditions, due to its capability to integrate other technical and non-technical disciplines, the results of artificial intelligence have been used in developing new generations of robots, respectively the intelligent robots, with decision capabilities in highly dynamic and unknown environments, and autonomy in performing their tasks. From these points of view, the present paper considers the core of the intelligent robots' rationality, presenting the main aspects of the corresponding reasoning structure at its two principal levels: logics and semiotics. Thus, the main aspects in developing logic and semiotic reasoning structures are considered, together with their interactions in creating the intelligent behavior of the robot. The results have applicability in developing intelligent logical – semiotic robots, and highlights the necessity to reconsider in the design process the synergistic context according to which all the robot's structure (i.e., perception, action, processing, reasoning) must be solved simultaneously, oriented towards the global capability of "thinking" and autonomy.

Keywords: intelligent robots, artificial intelligence, logics, semiotics, synergy, reasoning structures.

1. INTRODUCERE. ROBOȚI INTELIGENȚI

Evoluția sistemelor tehnice s-a orientat în ultimii ani către implementarea unor niveluri superioare de funcționare care includ autonomia și capacitatea de decizie, respectiv de rezolvare a problemelor în medii dinamice și, uneori, puțin cunoscute sau necunoscute, bazată pe cunoștințe și experiență. Soluțiile implementate se bazează pe integrarea rezultatelor inteligenței artificiale în noi structuri, cu realizarea sistemelor inteligente ca sisteme complexe.

Domeniul roboticii se înscrie în aceeași tendință generală prin contextul său fundamental mecatronic care creează condițiile optime de integrare a domeniului inteligenței artificiale, astfel încât se dezvoltă ca sisteme specifice *roboții inteligenți* orientați pe îndeplinirea și rezolvarea de sarcini, scopuri sau roluri specifice în diverse configurații de exploatare, conform definiției:

Definiția 1. Robotul inteligent reprezintă un sistem robotic dezvoltat în context mecatronic, sinergetic, care prelucrează informațiile din mediu pe bază de cunoștințe, experiențe și modele, identifică explicit sau implicit problemele specifice sarcinii, scopului sau rolului său și le rezolvă prin raționare, implementând soluția globală determinată la nivelul structurii sale de acțiune în mediul de lucru.

În aceste condiții se evidențiază, ca nucleu al dezvoltării roboților inteligenți, *funcția de raționare* ca formă de rezolvare a sarcinilor / scopurilor / rolurilor specifice în cadrul integrat de prelucrare a cunoștințelor, experiențelor și informațiilor. Astfel, *structura de raționare* care va implementa această funcție se va integra sinergetic contextului de dezvoltare al roboților inteligenți, prin capacitatea sa de a interconecta cunoștințele și reprezentările informaționale determinate prin percepție externă și internă și de a desfășura procese corespunzătoare aplicării metodelor de rezolvare a problemelor care emulează „gândirea”.

2. CADRUL CONCEPTUAL AL DEZVOLTĂRII STRUCTURILOR DE RAȚIONARE

Prin considerarea aspectelor definitorii ale roboților inteligenți și a soluțiilor specifice inteligenței artificiale [1, 2, 3] se pot evidenția, din perspectivă conceptuală, următoarele dimensiuni principale ale raționării:

a) *logica*, prin metodele sale privind reprezentarea cunoștințelor și derivarea acestora pe bază de deducție, în rezolvarea diverselor probleme;

b) *semiotica*, prin metodele specifice de construcție a reprezentărilor obiectelor și de raționare pe bază de denotații (semnificații prime) și conotații (semnificații ulterioare).

În acest cadru, schema de dezvoltare a structurilor de raționare ale roboților inteligenți va corespunde celei din figura 1.

3. DIMENSIUNEA LOGICĂ A STRUCTURILOR DE RAȚIONARE PENTRU ROBOȚII INTELIGENȚI

Reprezentarea informațiilor și cunoștințelor din perspectiva realizării la nivelul robotului a unui proces analog celui de gândire, precum și metodologiile de realizare a acestuia prin considerarea contextului logicii predicatelor [1, 2, 3, 4] conduce la dezvoltarea dimensiunii logice în proiectarea structurilor de raționare. Astfel, elementele fundamentale de construcție sunt următoarele:

1. *Regulile* prin care se formalizează cunoștințele privind mediul extern, de lucru, interacțiunile cu

acesta, precum și mediul intern, prin aplicarea următoarei proceduri:

a) Expriamarea cunoștințelor în limbajul natural sub forma, R : Dacă $\langle \text{premise} \rangle$, atunci $\langle \text{concluzie} \rangle$.

b) Identificarea variabilelor (X, Y, Z, \dots), a constantelor (a, b, c, \dots) și a funcțiilor (f, g, h, \dots) ca relații între variabile, constante și valori funcționale, cu respectarea definiției funcției matematice.

c) Stabilirea simbolurilor predicative și a predicatelor ca formule fundamentale, atomice, prin care se evidențiază categorii de apartenență pentru variabile, relații dintre obiectele mediului problemei, precum și proprietățile acestora.

d) Determinarea frazelor sau formulor compuse, reprezentând regulile, prin utilizarea componentelor de la a, b, c și prelucrarea acestora în contextul logicii predicatelor la nivel de clauze, de preferință clauze Horn având următoarele forme echivalente:

$$R: (\forall X_1) \dots (\forall X_k) [\alpha_i(X_1, \dots, X_k) \leftarrow \beta_{1,i}(X_1, \dots, X_k) \wedge \dots \wedge \beta_{w,i}(X_1, \dots, X_k)];$$

$$R: \alpha_i(X_1, \dots, X_k) \leftarrow \beta_{1,i}(X_1, \dots, X_k) \wedge \dots \wedge \beta_{w,i}(X_1, \dots, X_k);$$

$$R: \alpha_i(X_1, \dots, X_k) : - \beta_{1,i}(X_1, \dots, X_k), \dots, \beta_{w,i}(X_1, \dots, X_k);$$

unde: X_1, \dots, X_k sunt variabilele asociate obiectivelor problemei; $\alpha_i(X_1, \dots, X_k), \beta_{u,i}(X_1, \dots, X_k), u = \overline{1, w}$ sunt predicatelor atașate elementelor de cunoaștere fundamentale; \wedge – conjuncția logică; \leftarrow – implicația logică; “ : - ” – implicația în notația PROLOG; “ , ” – conjuncția în notația PROLOG.

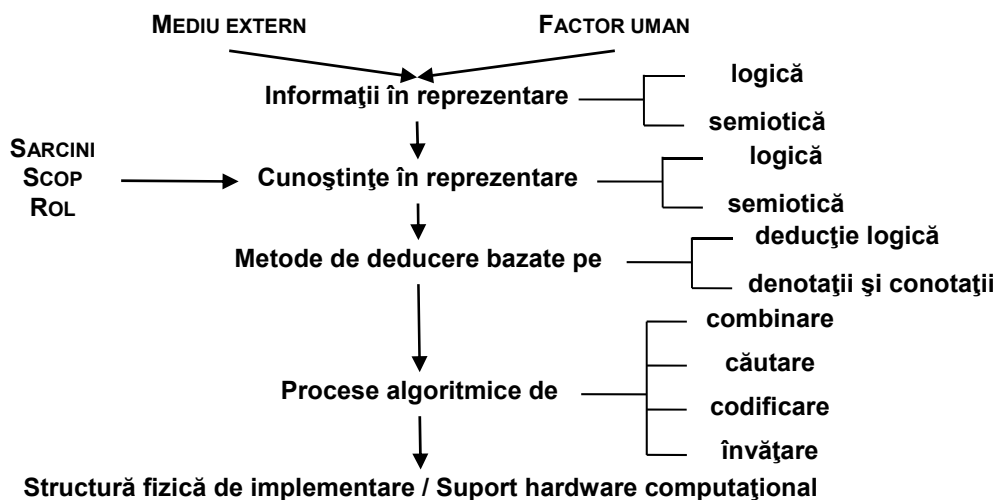
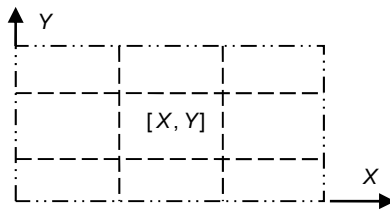


Figura 1. Schema de dezvoltare a structurilor de raționare pentru roboții inteligenți.

ROBOȚI INTELIGENȚI – STRUCTURI DE RAȚIONARE

Tabelul 1. Elementele de dezvoltare a bazei de cunoștințe corespunzătoare structurii de raționare logice pentru un robot inteligent de navigare [4]

<p>1. Mediul de lucru descris prin celule adiacente, pe baza relației:</p>  <table border="1" data-bbox="750 336 1133 504"> <tr> <td></td> <td>[X, Y+1]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>[X-1, Y]</td> <td>[X, Y]</td> <td>[X+1, Y]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>[X, Y-1]</td> <td></td> </tr> </table>			[X, Y+1]		[X-1, Y]	[X, Y]	[X+1, Y]		[X, Y-1]	
	[X, Y+1]									
[X-1, Y]	[X, Y]	[X+1, Y]								
	[X, Y-1]									
<p>2. Stabilirea variabilelor și a predicatelor corespunzătoare descrierii mediului problemei:</p> <p>a) Variabile: X, Y, U, V, Q, P – variabile de identificare a celulelor $[X, Y]$, $[U, V]$, respectiv $[Q, P]$; T – variabilă asociată timpului.</p> <p>b) Predicată: $poz(X, Y, T)$ – poziționarea robotului în celula $[X, Y]$ la momentul T; $pr(U, V, T)$ – perceperea la momentul T a unui obstacol în celula $[U, V]$; $ob(U, V)$ – existența unui obstacol în celula $[U, V]$; $viz(U, V)$ – celula $[U, V]$ a fost vizitată la un moment anterior; $adc(X, Y, U, V)$ – adiacența celulelor $[X, Y]$ și $[U, V]$; $depl(U, V, T)$ – deplasarea robotului în celula $[U, V]$ la momentul T.</p>										
<p>3. Reguli reprezentând cunoștințe specifice privind:</p> <p>a) Identificarea obstacolelor în celulele adiacente: $R1: ob(X+1, Y) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge pr(X+1, Y, T)$; $R2: ob(X-1, Y) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge pr(X-1, Y, T)$; $R3: ob(X, Y+1) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge pr(X, Y+1, T)$; $R4: ob(X, Y-1) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge pr(X, Y-1, T)$.</p> <p>b) Stabilirea absenței obstacolelor în celulele adiacente: $R15: \neg ob(X+1, Y) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg pr(X+1, Y, T)$; $R6: \neg ob(X-1, Y) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg pr(X-1, Y, T)$; $R7: \neg ob(X, Y+1) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg pr(X, Y+1, T)$; $R8: \neg ob(X, Y-1) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg pr(X, Y-1, T)$.</p> <p>c) Deplasarea în celulele adiacente și re poziționarea robotului după deplasare: $R9: depl(X+1, Y, T) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg ob(X+1, Y)$; $R10: depl(X-1, Y, T) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg ob(X-1, Y)$; $R11: depl(X, Y+1, T) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg ob(X, Y+1)$; $R12: depl(X, Y-1, T) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge \neg ob(X, Y-1)$; $R13: poz(U, V, T+1) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge adc(X, Y, U, V) \wedge depl(U, V, T)$.</p> <p>d) Definirea relației de adiacență între două celule: $R14: adc(X, Y, U, V) \leftrightarrow [(U, X+1) \wedge (V, Y)] \vee [(U, X-1) \wedge (V, Y)] \vee [(U, X) \wedge (V, Y+1)] \vee [(U, X) \wedge (V, Y-1)]$</p> <p>Observații: R14 nu este prelucrată la nivel de clauză Horn, ea utilizând conectorul logic al echivalenței, \leftrightarrow. $= (U, X)$ exprimă relația de egalitate $U = X$.</p> <p>e) Deplasarea într-o nouă celulă adiacentă liberă, fără revenirea într-o celulă adiacentă vizitată anterior: $R15: depl(U, V, T) \leftarrow poz(X, Y, T) \wedge adc(X, Y, U, V) \wedge \neg ob(U, V) \wedge \neg viz(U, V) \wedge \neg ob(Q, P) \wedge adc(X, Y, Q, P) \wedge viz(Q, P)$.</p> <p>Observație: Baza de cunoștințe formată din R1÷R15 nu impune criterii de alegere a celulelor adiacente libere simultan și nevizitate la un același moment, ea putând fi completată în acest sens (vezi [4]).</p>										
<p>4. Fapte determinate prin percepția sau nu a obstacolelor în celulele adiacente:</p> <p>$pr(X+1, Y, T) \leftarrow$; $pr(X-1, Y, T) \leftarrow$; $pr(X, Y+1, T) \leftarrow$; $pr(X, Y-1, T) \leftarrow$ $\neg pr(X+1, Y, T) \leftarrow$; $\neg pr(X-1, Y, T) \leftarrow$; $\neg pr(X, Y+1, T) \leftarrow$; $\neg pr(X, Y-1, T) \leftarrow$</p>										

2. Faptele prin care se formalizează informațiile externe și interne obținute prin percepție, precum și cunoștințele reprezentând stări ale robotului, factorului uman, sau mediului, având următoarele forme:

$$I: (\forall X_1) \dots (\forall X_k) \gamma_i(X_1, \dots, X_k) \leftarrow ;$$

$$I: \gamma_i(X_1, \dots, X_k) \leftarrow ; I: \gamma_i(X_1, \dots, X_k): - ,$$

unde $\gamma_i(X_1, \dots, X_k)$ reprezintă predicatelor corespunzătoare.

3. Inferența ca procesul care derivă adevărul unor concluzii din adevărul unei mulțimi de reguli și fapte, prin aplicarea unor metode de deducție specifice implementate la nivel software, și anume structuri de reguli de producție, metoda rezoluției

(vezi [2]), precum și la nivel hardware prin structuri bazate pe circuite de deducție (vezi [2]). Componenta principală a procesului este operația de substituție prin care variabilele sunt înlocuite prin termeni (constante, variabile sau funcții) specifici unei anumite etape a problemei.

În tabelul 1 sunt reprezentate elementele de dezvoltare a bazei de cunoștințe [4] pentru un robot inteligent de navigare într-un mediu necunoscut, modelat 2-D, partiționat în celule identice notate $[X, Y]$; $X, Y = \overline{1, n}$, având ca obiectiv atingerea unei poziții finale cu ocolirea obstacolelor, în ipoteza existenței capacităților de percepție a prezenței unui obstacol într-o celulă adiacentă pe laturi cu celula curentă în care se află robotul la un moment dat, T .

4. DIMENSIUNEA SEMIOTICĂ A STRUCTURILOR DE RAȚIONARE PENTRU ROBOȚII INTELIGENȚI

Descrierea mediului extern prin *obiecte* asociate elementelor constitutive ale acestuia, precum și aspectelor sale fenomenologice, conduce, prin codificare, la reprezentarea orientată pe simboluri, cu dezvoltarea unei semiotici corespunzătoare a robotului relativ la mediul de lucru. Aceasta presupune, conform teoriei specifice [2, 4, 5], următorul context (fig. 2): **a)** *elementul de simbolizare* sau *de expresie*, *E*, care este, în general, o percepție simplă sau complexă a robotului privind obiectele din mediu; **b)** *elementul de conținut*, *C*, care reprezintă forma de codificare a obiectului la nivelul robotului; **c)** *elementul de inferență* care este o relaționare între elementul de simbolizare și cel de conținut prin denotare și conotare, astfel încât semnificația denotativă a percepției este extinsă printr-o semnificare ulterioară la nivelul de acțiune al robotului.

Astfel, conform figurii 2, structura de raționare semiotică se constituie ca soluție pentru implementarea unor comportamente inteligente ale robotului, de tipul automatismelor, în care o anumită acțiune este realizată la apariția unei anumite configurații perceptive, în conformitate cu experiența anterioară și cu codificarea obiectelor din mediu. În tabelul 2 sunt reprezentate structuri de raționare semiotice pentru mediul de lucru considerat în tabelul 1, care declanșează comportamente ale robotului la perceperea unui obstacol într-o celulă adiacentă.

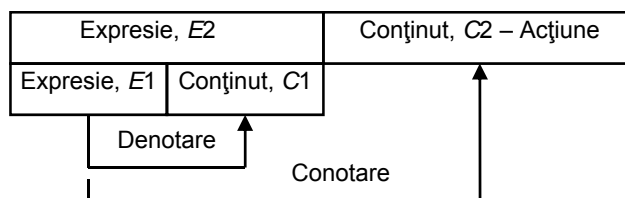


Fig. 2. Contextul semiotic al structurii de raționare.

4. CONCLUZII

Dezvoltarea roboticii presupune realizarea unor noi generații de sisteme specifice și anume, roboții inteligenți capabili de a rezolva probleme complexe de tipul sarcinilor, atingerii unor obiective, sau realizării unor roluri în mediul de lucru, într-o manieră autonomă sau relativ autonomă, prin utilizarea și manipularea unor cunoștințe specifice, învățare și acumulare de experiență, luând deciziile corespunzătoare și acționând în consecință.

Din această perspectivă, prezenta lucrare evidențiază aspectele formale corespunzătoare dezvoltării structurilor de raționare prin dimensiunile lor logice și semiotice, precum și modul în care acestea implementează funcția de “gândire” logică, respectiv de tip automatism la nivelul roboților inteligenți.

Rezultatele obținute, integrate în contextul sinergic al dezvoltării roboților inteligenți, fundamentează cadrul de reconsiderare al proiectării acestora din perspectiva noilor capacități funcționale determinate de autonomie decizională și comportamentală bazate pe capacitatea de raționare.

Tabelul 2. Elementele de dezvoltare a structurii de raționare semiotice pentru un robot inteligent de navigare

1. Structura de raționare la perceperea unui obstacol într-o celulă adiacentă											
<table border="1"> <tr> <td>E2: Obstacol fix în celula adiacentă</td> <td>C2: Ocolire / nevizitare celula adiacentă</td> </tr> <tr> <td>E1: Semnal în celula adiacentă</td> <td>C1: Prezență obstacol fix</td> </tr> </table>		E2: Obstacol fix în celula adiacentă	C2: Ocolire / nevizitare celula adiacentă	E1: Semnal în celula adiacentă	C1: Prezență obstacol fix	<table border="1"> <tr> <td>E2: Celula adiacentă</td> <td>C2: Vizitare celulă adiacentă</td> </tr> <tr> <td>E1: Absență semnal în celula adiacentă</td> <td>C1: Absență obstacol fix</td> </tr> </table>		E2: Celula adiacentă	C2: Vizitare celulă adiacentă	E1: Absență semnal în celula adiacentă	C1: Absență obstacol fix
E2: Obstacol fix în celula adiacentă	C2: Ocolire / nevizitare celula adiacentă										
E1: Semnal în celula adiacentă	C1: Prezență obstacol fix										
E2: Celula adiacentă	C2: Vizitare celulă adiacentă										
E1: Absență semnal în celula adiacentă	C1: Absență obstacol fix										
Denotare		Conotare									
2. Structura de raționare la perceperea unui obstacol într-o celulă adiacentă când robotul are mai multe posibilități de acțiune în cazul existenței acestuia											
<table border="1"> <tr> <td>C22: Vizitare celulă adiacentă cu distrugere obstacol</td> <td>E2: Obstacol fix în celula adiacentă</td> <td>C21: Ocolire / nevizitare celulă adiacentă</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E1: Semnal în celula adiacentă</td> <td>C1: Prezență obstacol fix</td> </tr> </table>		C22: Vizitare celulă adiacentă cu distrugere obstacol	E2: Obstacol fix în celula adiacentă	C21: Ocolire / nevizitare celulă adiacentă		E1: Semnal în celula adiacentă	C1: Prezență obstacol fix				
C22: Vizitare celulă adiacentă cu distrugere obstacol	E2: Obstacol fix în celula adiacentă	C21: Ocolire / nevizitare celulă adiacentă									
	E1: Semnal în celula adiacentă	C1: Prezență obstacol fix									
Conotare 2		Conotare 1									
Denotare											

BIBLIOGRAFIE

- [1] S. Russel, P. Norvig, *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Prentice Hall, 2003.
- [2] I. Armaș, *Proiectarea sistemelor inteligente în context logic computațional*, Editura AGIR, București, 2013.
- [3] A.A. Hopgood, *Intelligent Systems for Engineers and Scientists*, CRC Press, 2009.
- [4] I. Armaș, *Proiectare în mecatronică și robotică*, Editura AGIR, București, 2011.
- [5] U. Eco, *O teorie a semioticii*, Editura Meridiane, București, 2003.

Despre autor

Prof. univ. dr. ing. **Ioana ARMAȘ**
Universitatea „Hyperion“, București

Este cadru didactic la Facultatea de Științe Exacte și Inginerești a Universității „Hyperion“ din București, specializarea Automatică și informatică aplicată. Principalele domenii de cercetare, în care a publicat numeroase cărți, articole și comunicări științifice la conferințe naționale și internaționale sunt: fiabilitatea, mecatronica și robotica.