

# Simulacija samostalne navigacija mobilnog robota u statičkom i nepoznatom okruženju

Đulaga Hadžić

**Sadržaj** — U ovom radu je dizajniran jedan fuzzy logički kontroler za mobilnu navigaciju robota u zatvorenom i nepoznatom prostoru sa već poznatim ciljem kojeg robot treba da kroz samostalnu navigaciju dosegne. Dizajnirani kontroler radi sa sigurnim i nedvosmislenim informacijama koje sistem prima iz okoline. Simulacija upravljanja robotom je izvedena uz pomoć napisanog programa u MatLabu. Za eksperimentalna testiranja korišten je zamišljeni pokretni robot veličine jedne jedinčne mjere prostora u kome se kreće. Kroz prezentiranu simulaciju robot pokušava da se do cilja kreće najkraćim putem i u većini slučajeva se i ostvaruje, osim u slučajevima kada robot treba da izabere između više jednakih mogućnosti izbjegavanja prepreka.

**Gljučne reči** — fuzzy, nepoznato okruženje, robot, samostalna navigacija, simulacija

## I. UVOD

ROBOTE su korišteni za različite poslove, kao kuriri u uredima, bolnicama, osiguranju, podmorskim i podzemnim istraživanjima, istraživanjima svemira i mnogim drugim poslovima koji su za ljude isuviše rizični. Kreiranje (stvaranje) autonomnog robota je težak zadatak, a uspjeh se mjeri na osnovi njegove sposobnosti da odlučuje i radi stvari samostalno i na zadovoljavajući način [1].

U ovom radu je dizajniran jedan fuzzy logički kontroler za mobilnu navigaciju robota u zatvorenom i nepoznatom prostoru sa već poznatim ciljem kojeg robot treba da kroz samostalnu navigaciju dosegne. Dizajnirani kontroler radi sa sigurnim i nedvosmislenim informacijama koje sistem prima iz okoline. Tehnika koja je korištena na zamišljenom mobilnom robotu koristi pet ultrasoničnih senzora za percepciju (shvaćanje) okruženja u kome se nalazi (senzori imaju mogućnost da provjere da li u određenom polju u neposrednom okruženju trenutnog položaja robota se nalazi prepreka ili ne). Dizajnirani fuzzy kontroler ima zadatak da mapira prostor u kome se nalazi (informacije koje pristižu iz ultrasoničnih senzora) u sigurnu putanju (izlazni prostor). Ovo se ostvaruje procesom izvođenja zaključaka zasnovanog na pravilima (lista IF-THEN blokova) uzetih iz baze znanja.

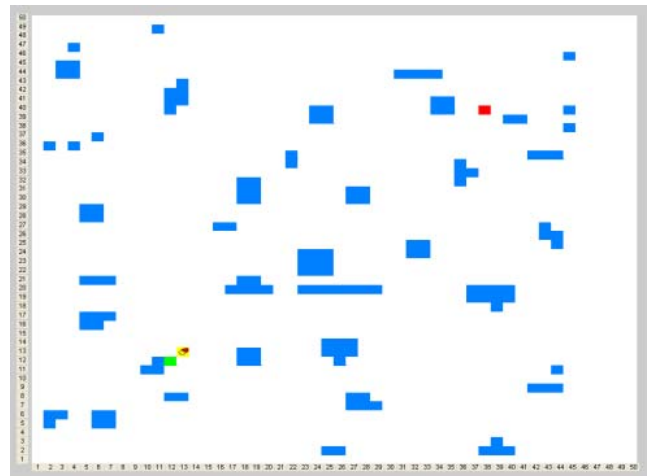
Simulacija i eksperimentalna istraživanja su izvršena kako bi se testirao i analizirao rad upravljača robota.

Đulaga Hadžić, Ministarstvo obrazovanja, nauke, kulture i sporta Tuzlanskog kantona, Slatina 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina (telefon: 387-61-103432, e-mail: [hdjulaga@tk.kim.ba](mailto:hdjulaga@tk.kim.ba))

Simulacija upravljanja robotom je izvedena uz pomoć napisanog programa u MatLabu. Za eksperimentalna testiranja korišten je zamišljeni pokretni robot veličine jedne jedinčne mjere prostora u kome se kreće.

## II. KORIŠTENJE FAZZY - BAZIRANOG ZNANJA

Robot se može definisati kao programibilna naprava koja pomoću ultrasoničnih senzora donosi odluke prilikom dostizanja cilja [2]. Da bi bio u stanju upravljati, mobilni robot mora primiti informacije o svom okruženju.

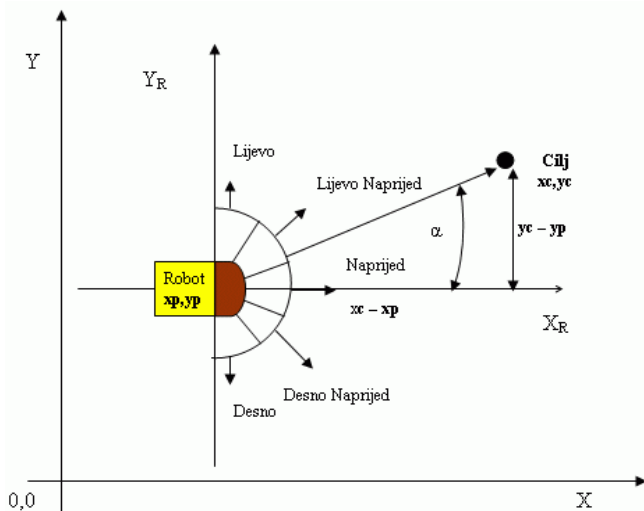


Sl. 1 Primjer prostora u kome se robot kreće

Okruženje u ovom primjeru predstavlja ograničeni i zatvoreni prostor koji je predstavljen matricom dimenzija 50 x 50 (2500 jedinica prostora, Sl. 1). U ovoj matrici elementi mogu imati dvije vrijednosti 0 i 1. 0 znači da je ta jedinica prostora slobodna i prikazuje se kao bijeli kvadratić (□), a 1 znači da je ta jedinica prostora zauzeta (prepreka) i označava se kao plavi kvadratić (■). Startno polje je označeno zelenim kvadratićem (■), a ciljno polje je označeno sa crvenim kvadratićem (■).

Prvi korak u procesu kontrole upravljanja jeste uočavanje (detektovanje) svih prepreka koje mogu oštetiti ili zaustaviti robot u daljem kretanju. U ovom slučaju ovaj robot samo prima informacije o onome što je ispred njega. Robot prima podatke o okolini pomoću pet ultrasoničnih senzora (Sl.2). Podaci primljeni putem senzora su relativna pozicija prepreke izražena dvjema koordinatama (x,y) u odnosu na trenutni položaj robota (xp,yp). Pet parametara udaljenosti prepreka u odnosu na trenutni položaj robota (jedan za svaki senzor) se koriste kako bi se odredio budući pravac kretanja robota i kako bi se zaobišle prepreke. Robot analizira podatke iz okoline

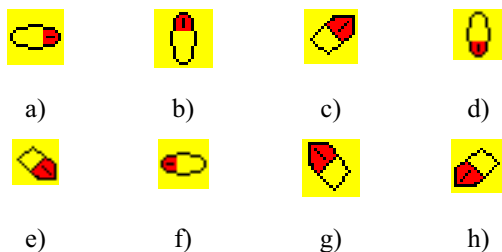
primljene putem senzora (udaljenost prepreka, ugao kretanja prema cilju) i njegov kontroler će na osnovu njih donijeti odluke vezano za njegovo kretanje.



Sl. 2. Prostor prepoznavanja za pet senzora: Lijevo, Lijevo Naprijed, Naprijed, Desno Naprijed i Desno i okrenutost prema Cilju.

Kao što se može vidjeti sa Sl.2, robot sa trenutnog položaja izračunava ugao  $\alpha$  u odnosu na cilj. Ugao  $\alpha$  se računa kao:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{x_c - x_p}{y_c - y_p} ; \alpha = \arctan(\alpha) \quad (1)$$



Sl. 3. Grafički prikaz pozicija robota  
 a) okrenut naprijed, b) okrenut lijevo, c) okrenut naprijed lijevo, d) okrenut desno, e) okrenut naprijed desno, f) okrenut nazad, g) okrenut nazad desno i h) okrenut nazad lijevo

*Okrenut naprijed*, znači da je robot okrenut u pozitivnom smjeru ose X, globalnog koordinatnog sistema. Svi nazivi ostalih pozicija robota su izvedeni na osnovu ove pozicije koja je uzeta kao referentana.

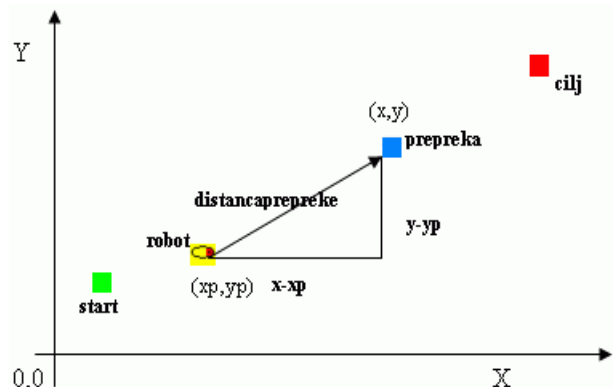
Na osnovu ugla prema cilju  $\alpha$  – alfa i u kom kvadrantu globalnog koordinatnog sistema se cilj nalazi, robot se postavlja u poziciju za kretanje u tom pravcu. Definisano je 8 mogućih pozicija robota prikazanih na sl.3 (od a) do h)).

Istovremeno, iz te pozicije, robot preko svojih pet senzora određuje kako su prepreke raspoređene u odnosu na svih pet mogućih pravaca kretanja (lijevo, lijevo-naprijed, naprijed, desno-naprijed i desno). Udaljenosti od prepreka se računaju na osnovu matematičkog modela koji

provjerava i određuje udaljenost prepreka od trenutnog položaja robota. Izračunavaju se vrijednosti pet varijabli: distanca prepreke naprijed, distanca prepreke lijevo, distanca prepreke lijevo naprijed, distanca prepreke desno i distanca prepreke desno naprijed). Na osnovu vrijednosti ovih varijabli, koje se računaju prema formuli (2) pridružuju se odgovarajuće vrijednosti za pet varijabli prepreka za pet pravaca: **plijevo**, **plijevo-naprijed**, **pnaprijed**, **pdesno-naprijed** i **pdesno** (Sl. 4). Varijable prepreka mogu imati dvije vrijednosti i to: 'ima' i 'nema'.

Udaljenost robota od prepreke u određenom pravcu računa se na sljedeći način:

$$\text{distanca prepreke} = \sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2} \quad (2)$$



Sl. 4. Način izračuna udaljenosti prepreke od robota

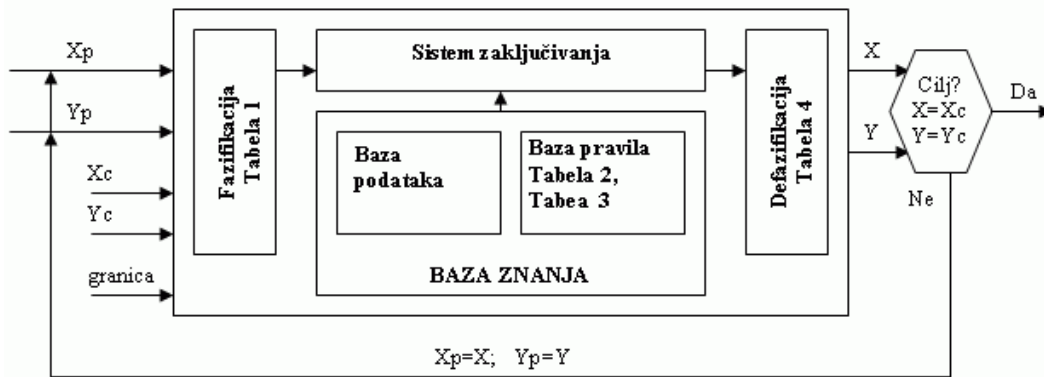
Na osnovu trenutnog ugla robota u odnosu na cilj  $\alpha$  (alfa) i rasporeda prepreka u svih pet mogućih pravaca, robot na osnovu fuzzy-baziranog znanja određuje sljedeći položaj robota (kretanje robota) i na osnovu njega novu poziciju (okrenutost) robota (Tabela 1). Referentni sistem za određivanje udaljenosti prepreka je koordinatni sistem čiji je centar ili polazna tačka sam robot ( $X_R, Y_R$ ). Referentni sistem za određivanje pravca kretanja prema cilju i samo pomjeranje na sljedeći položaj se odvija u globalnom (svjetskom) koordinatnom sistemu (X,Y) sa početnom tačkom (0,0) (Tabela 2).

TABELA 1. FUNKCIJA PRIPADNOSTI ZA VARIJABLU UGAO PREMA CILJU – ALFA

Ugao prema cilju	Odnos $x_p : x_c$	Odnos $y_p : y_c$	Pozicija robota
$-\pi/6 \leq \alpha \leq \pi/6$	$x_p \leq x_c$		b)
$\pi/6 < \alpha \leq \pi/3$	$x_c > x_p$		c)
$\pi/3 < \alpha \leq \pi/2$		$y_p \leq y_c$	a)
$-\pi/3 \leq \alpha < -\pi/6$		$y_p \leq y_c$	e)
$-\pi/6 \leq \alpha \leq \pi/6$	$x_p > x_c$		d)
$\pi/3 < \alpha \leq \pi/2$		$y_p > y_c$	f)
$\pi/6 < \alpha \leq \pi/3$	$x_c \leq x_p$		h)
$-\pi/3 \leq \alpha < -\pi/6$		$y_p > y_c$	g)

( $x_p, y_p$ ) – trenutni položaj robora

( $x_c, y_c$ ) – položaj cilja



Sl. 5. Struktura fuzzy sistema baziranog na pravilima za simulaciju samostalne navigacije mobilnog robota

Brzina kretanja robota u odnosu na blizinu prepreka i cilja nije razmatrana u ovom primjeru.

TABELA 2. FUZZY-BAZIRANA PRAVILA ZA ODREĐIVANJE SLJEDEĆEG POLOŽAJA ROBOTA U SOPSTVENOM KOORDINATNOM SISTEMU (XR, YR, SL. 2)

Redoslijed izvršavanja	Ulazni parametri – udaljenost od prepreka					Akcije
	pnaprijed	plijevo naprijed	pdesno naprijed	plijevo	pdesno	
						kretanje robota
1	'nema'	bilo šta	bilo šta	bilo šta	bilo šta	'naprijed'
2	'ima'	'nema'	bilo šta	bilo šta	bilo šta	'naprijedlijevo'
3	'ima'	'ima'	'nema'	bilo šta	bilo šta	'naprijeddesno'
4	'ima'	'ima'	'ima'	'nema'	bilošta	'lijevo'
5	'ima'	'ima'	'ima'	'ima'	'nema'	'desno'

Napomena: *Bilo šta*, znači da varijabla može imati bilo koju vrijednost u slučaju za prepreke može imati vrijednosti ili 'ima' ili 'nema', jer ona u tom momentu ne utiče na izvršenje akcije kretanja robota.

Fuzzy pravilo iz Tabele 2, na primjer, pod rednim brojem izvršavanja 2, glasi:

**IF prepreka ISPRED (pnaprijed) IMA  
AND prepreke LIJEVO ISPRED (plijevo  
naprijed)  
NEMA THEN robot se kreće NAPRIJEDLIJEVO**

U Tabeli 3 je dato svih 40 mogućih kombinacija kretanja robota u globalnom koordinatnom sistemu na osnovu trenutne pozicije robota (okrenutosti) u globalnom koordinatnom sistemu (Tabela 1) i dostizanja nove pozicije u sopstvenom koordinatnom sistemu (Tabela 2). Svih 40 kombinacija kretanja robota (Tabela 3) se svode na osam mogućih kretanja robota u globalnom koordinatnom sistemu, prikazanih u Tabeli 4.

TABELA 3. FUZZY-BAZIRANA PRAVILA ZA ODREĐIVANJE SLJEDEĆEG POLOŽAJA ROBOTA (KRETANJA) U GLOBALNOM KOORDINATNOM SISTEMU

Pozicija robota u globalnom koordinatnom sistemu (Tabela 1)	Kretanje robota u sopstvenom koordinatnom sistemu (Tabela 2)				
	'naprijed'	'naprijed lijevo'	'naprijed desno'	'lijevo'	'desno'
b)	'lijevo'	'nazad desno'	'naprijed lijevo'	'nazad'	'naprijed desno'
c)	'naprijed lijevo'	'lijevo'	'naprijed desno'	'nazad desno'	'naprijed desno'
a)	'naprijed desno'	'naprijed lijevo'	'naprijed desno'	'lijevo'	'desno'
e)	'naprijed desno'	'naprijed desno'	'desno'	'naprijed lijevo'	'nazad lijevo'
d)	'desno'	'naprijed desno'	'nazad lijevo'	'naprijed desno'	'nazad desno'
f)	'nazad desno'	'nazad lijevo'	'nazad desno'	'lijevo'	'desno'
h)	'nazad lijevo'	'lijevo'	'nazad desno'	'naprijed desno'	'nazad desno'
g)	'nazad desno'	'nazad desno'	'lijevo'	'nazad lijevo'	'naprijed lijevo'

TABELA 4. FUZZY POSTAVKE ZA ODREĐIVANJE SLJEDEĆEG POLOŽAJA ROBOTA U GLOBALNOM KOORDINATNOM SISTEMU

Kretanje robota	x - koordinata	y - koordinata
naprijed	$x=x+1$	$y$
lijevo	$x$	$y=y+1$
naprijedlijevo	$x=x+1$	$y=y+1$
desno	$x$	$y=y-1$
naprijeddesno	$x=x+1$	$y=y-1$
nazad	$x=x-1$	$y$
nazadlijevo	$x=x-1$	$y=y-1$
nazaddesno	$x=x-1$	$y=y+1$

Na osnovu predhodnih tabela i strukture fuzzy sistema baziranim na pravilima (sl. 2) prikazan je fuzzy sistem baziran na pravilima za praktičan primjer samostalne navigacija mobilnog robota obrađenog u ovom radu (Sl. 5).

### III. REZUTATI

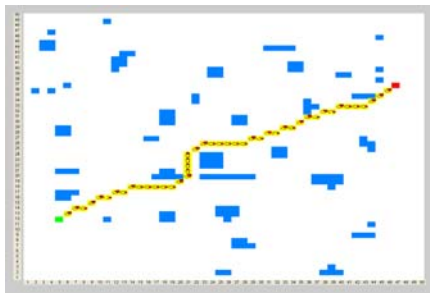
Kontrolni signali (pravac i pozicija) se šalju robotu na osnovu svih fuzzy zaključaka koji se donose na osnovu pojedinačnih pravila. Nakon što se signali za upravljanje (pravac i kretanje) prenesu robotu, novi set informacija iz okoline se ponovo šalje fazi upravljaču. Ovaj proces se nastavlja sve dok robot ne dođe do cilja.

Glavna rezultat ove simulacije je u sinhronizaciji i razumijevanju pozicije i kretanja robota u dva koordinatna sistema: globalnom i sopstvenom (robotovom) koordinatnom sistemu. Robot uvijek dobija naredbe za kretanje u svom sopstvenom koordinatnom sistemu, a mi kao posmatrači vidimo njegovo kretanje u globalnom koordinatnom sistemu. Tako na primjer, ako robot dobije naredbu za kretanje 'naprijed', u globalnom koordinatnom sistemu to može biti, na primjer, kretanje 'lijevonazad'.

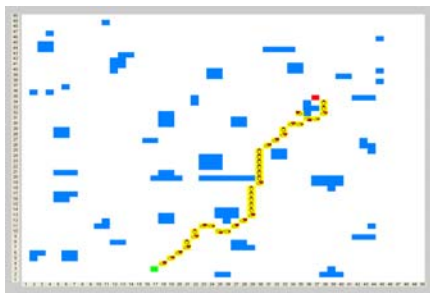
Na sl.6 prezentirano je kretanje robota do cilja u kome se cilj ne nalazi blizu prepreka.

Na sl.7 prezentirano je kretanje robota do cilja u kome se cilj nalazi uz same prepreke i u kome se robot „dvoumi“ kojim putem da dođe do cilja.

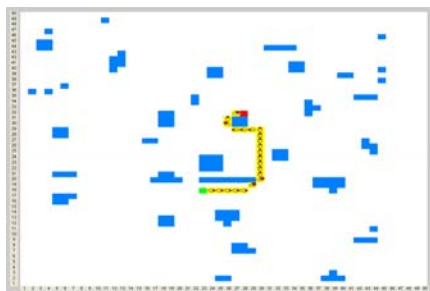
Na sl.8 prezentirano je kretanje robota do cilja u kome se i početni položaj robota i cilj nalaze vrlo blizu prepreka.



Slika 6. Početni položaj :  $x_p=5$   $y_p=12$ ;  
Cilj:  $x_c=47$   $y_c=37$ ; Broj koraka do cilja: 46



Slika 7. Početni položaj :  $x_p=17$   $y_p=3$ ;  
Cilj:  $x_c=37$   $y_c=35$ ; Broj koraka do cilja: 40



Slika 8. Početni položaj :  $x_p=23$   $y_p=18$ ;  
Cilj:  $x_c=28$   $y_c=32$ ; Broj koraka do cilja: 23

Kroz prezentiranu simulaciju robot pokušava da se do cilja kreće najkraćim putem. Gotovo u većini slučajeva kretanje ka cilju najkraćim putem se i ostvaruje, osim u slučajevima kada robot treba da izabere između više jednakih mogućnosti izbjegavanja prepreka kao što je mogućnost skretanja lijevo ili desno (Sl.7).

### IV. ZAKLJUČAK

Odabrana tehnika stvara zadovoljavajući smjer manevrisanja autonomnog robota da bi sa visokim stepenom sigurnosti stigao na cilj. Simulacija i eksperimentalni rezultati ukazuju na to da ovu metodu mogu da koriste mobilni roboti na nepoznatom teritoriju.

Koristeći ovaj pristup sigurnog načina upravljanja robotom, sistem može da nadogradi senzore i na drugim dijelovima robota (npr. sa zadnje strane). Senzori se mogu dodavati dok se ne dostigne percepcija (prepoznavanje) okruženja u svim pravcima. Međutim, više senzora znači da postoji i veći broj kombinacija izračuna kretanja te je stoga potrebno i više vremena za izračunavanje finalnog pravca.

### LITERATURA

- [1] M.B.Montaner and A.R.Serrano. Fuzzy knowledge-based controller design for autonomous robot navigation, 1998., Journal-Expert Systems with Application, Volume 14, Pages 179-186
- [2] H. Maaref and C. Barret. Sensor-based navigation of a mobile robot in an indoor environment, 2002, Robotics and Autonomous Systems, Volume 38, Pages 1-18
- [3] Wei Li. Fuzzy Logic Based Robot Navigation In Uncertain Enviroments By Multisensor Integration, 1994., Proceedings of 1994 IEEE Internacional Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent System, pp. 259-264
- [4] Saffiotti. The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation, 1997., Journal - Soft Computing, Volume 1 Number 4, Pages 180-197
- [5] B.N.Kim, O.S. Kwon., K.H.Kim, E.H.Lee, S.H. Hong, A Study on Path Planning For Mobile Robot Based on Fuzzy Logic Controller, 1999., TENCON 99, Proceedings of the IEEE region 10 Conference, Volume 2, Pages 1002-1005

### ABSTRACT

This paper designs a fuzzy logic controller for mobile robot navigation in indoor and unfamiliar area with already known goal to which the robot has to reach through an independent navigation. Designed controller works with a safe and unambiguous information that the system receives from the environment. Simulation of the robot control is performed using programs written in Matlab. For the experimental test uses imaginary mobile robot whose size is a unit measure of space in which it moves. In this simulation, the robot trying to reach the goal by the shortest path and in most cases this is successful, unless in cases when the robot need to make choice between more same possibilities of avoiding obstacles.

### SIMULATION OF INDEPENDENT NAVIGATION OF MOBILE ROBOT IN STATIC AND UNKNOWN ENVIRONMENT

Dulaga Hadžić