

Mr. sc. **Julije Skenderović**, pred.  
Visoka pomorska škola  
Studentska 2, Rijeka

Pregledni članak  
UDK: 519.85:629.5.051.53:656.61.052

## FUZZY-MODEL IZBJEGAVANJA SUDARA NA MORU

*Sudari na moru kojima je uzrok neodlučnost u ponašanju pomoraca, matematički se modeliraju pomoću entropije, a u novije vrijeme pomoću fuzzy-teorije. Ta neodlučnost ima zakonski i psihološki aspekt. U ovom radu prikazan je fuzzy-model koantificiranja te neodlučnosti, koji u većoj mjeri akceptira psihološki aspekt. Neusuglašenost u manevriranju brodovima najizraženija je kada brodovi plove jedan drugom ususret tako da bi mimoilaženje bilo ŽDESNA, i kada se ocijeni da je udaljenost najbližih točaka susreta MALO manja od sigurnosne. Navedeni su neki rezultati za takvu situaciju, do kojih se došlo na osnovi mjerenja.*

### 1. UVOD

Ako pripadanje nekoga elementa  $x$  skupa  $S$  nekom podskupu  $A$  skupa  $S$  nema samo dvije mogućnosti –  $x$  pripada ili ne pripada podskupu  $A$  – nego više, onda stupanj pripadanja elementa  $x$  podskupu  $A$  u fuzzy-algebri opisujemo jednim od brojeva između 0 i 1. Ako je stupanj pripadnosti elemenata  $x \in S$  podskupu  $A$  jednaka 0, element  $x$  mu sigurno ne pripada, a ako je 1, sigurno mu pripada. Ako je taj stupanj broj između 0 i 1, mogućnost pripadanja elemenata  $x$  skupu  $A$  veća je ako je taj broj bliži vrijednosti 1, a manja ako je bliži vrijednosti 0. Uočimo da se ovdje radi o mogućnosti (possibility), a ne o vjerojatnosti (probability). Drugim riječima, svakom se podskupu  $A$  skupa  $S$  pridružuje jedna funkcija čija je domena skup  $S$ , a područje vrijednosti interval  $[0, 1]$ . Tu funkciju zovemo funkcija pripadanja (podskupu  $A$ ) i bilježimo je s  $\mu_A(x)$ . Npr: neka je  $S$  skup svih ljudi, a  $A$  podskup MLADIH ljudi; ako osoba  $a \in S$  ima 80 godina, onda je  $\mu_A(a) = 0$ , a osoba  $b \in S$  ima 40 godina, onda je  $\mu_A(b)$  neki broj oko 0.5 itd. Fuzzy-algebra nalazi široku primjenu u raznim područjima gdje su informacije subjektivnoga karaktera. Ponašanje pomoraca pri izbjegavanju sudara na moru jedno je takvo područje u pomorstvu i ima fuzzy-karakter.

## 2. FUZZY-MODEL

Prema *International Regulations of Collision Prevention at Sea* [1972] (COLLREG), brodovi se mimoilaze tako da jedan drugomu ostaju slijeva.

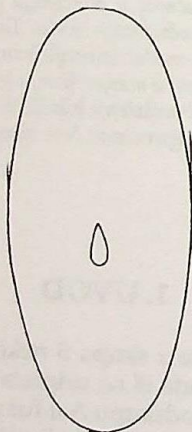
Udaljenost najbližih točaka susreta dvaju brodova (DCPA)<sup>1</sup> označavamo s  $x$  i neka je

$x < 0$  ako je mimoilaženje slijeva

$x > 0$  ako je mimoilaženje zdesna.

Udaljenost najbližih točaka susreta, kada ne bi došlo do promjene kursa pri susretu, nazivamo *inicijalna udaljenost* (*inicijalna DCPA*) i označavamo s  $x_0$  ili  $DCPA_0$ . Pomorci nastoje čuvati prostor oko svoga broda slobodan od drugih plovila ili fiksnih objekata. Taj se prostor naziva *područje broda* (SD)<sup>2</sup>. *Granica područja broda* (BD)<sup>3</sup> nije oštra. Razni autori SD i BD različito definiraju.

Fujii [2] područje broda definira kao 'prostor oko broda koji većina pomoraca koji plove IZA, nastoje držati slobodnim', a granicu područja broda kao 'udaljenost do toga broda do okolnih brodova gdje gustoća poprima lokalni maksimum'. Te definicije primjenjuju se u kanalima. SD, prema Fujiji, ima oblik elipse (slika 1.)



Slika 1. Područje broda prema Fujiji

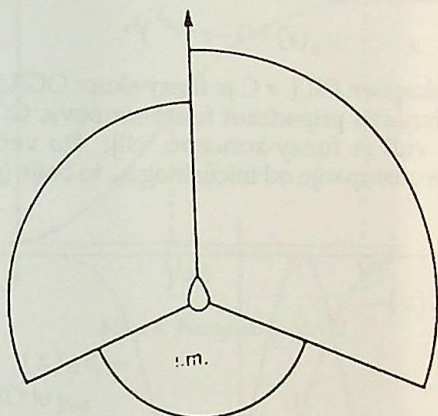
Područje je broda prema Goodwinu [3] 'prostor okolnih efektivnih voda oko broda kojega mornari nastoje držati slobodnim od drugih plovila ili fiksnih objekata', a granica je područja broda 'udaljenost  $x'$  od broda, za koju bi na svakoj

<sup>1</sup> distance to the closest point of approach

<sup>2</sup> ship domain

<sup>3</sup> domain boundary

udaljenosti  $x < x'$  ukupan broj brodova bio manji nego kada područja broda ne bi bilo'. Te se definicije primjenjuju na otvorenim morima. SD ima tri sektora (slika 2).



Slika 2. Područje broda prema Goodwinu i Coldwellu

Coldwell [4] ovako definira područje broda: 'prostor okolnih efektivnih voda oko broda koji TIPIČNI mornari nastoje držati slobodnim od drugih plovila'. Granicu područja broda Coldwell definira isto kao i Fujii. Coldwellove definicije primjenjuju se na susrete brodova u ograničenim vodama i lukama (slika 2.).

Neodlučnost u ponašanju mornara pri izbjegavanju sudara proizlazi iz težnje da se postigne maksimalna udaljenost najbližih točaka susreta – max DCPA uz minimalnu promjenu kursa.

Odlučivanje u takvim situacijama dobiva fuzy-karakter: što veća DCPA – to bolja; što manja promjena kursa – to bolja!

Neka je  $G^4$  fuzzy-skup čiji su elementi negativne DCPA (mimoilaženje slijeva) koje pomorci pri susretu brodova nastoje ostvariti S CILJEM sigurna mimoilaženja, a funkcija pripadnosti neka je definirana formulom

$$\mu_G(x) = 1 - e^{-\lambda_1 x^2}$$

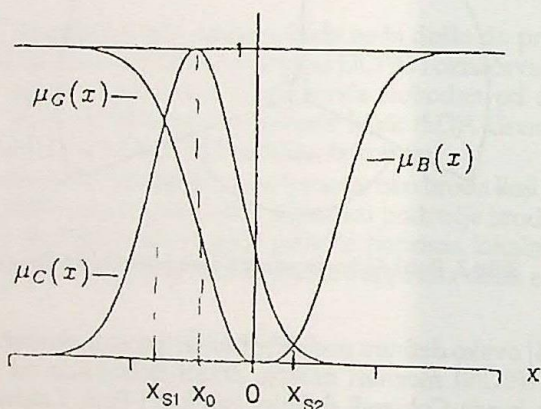
Neka je  $C^5$  fuzzy-skup čiji su elementi DCPA (pozitivne i negativne vrijednosti  $x$ ) koje su posljedica OGRANIČENJA prilikom susreta brodova, a funkcija pripadnosti neka je definirana formulom

$$\mu_C(x) = e^{-\lambda_2 (x-x_0)^2}$$

Neka je B fuzzy-skup čiji su elementi pozitivne DCPA (mimoilaženje zdesna) koje pomorci pri susretu brodova nastoje ostvariti S CILJEM sigurna mimoilaženja, a funkcija pripadnosti neka je definirana formulom

$$\mu_B(x) = (1 - e^{-\lambda_1 x^2})^{\lambda_3}.$$

G i B su fuzzy-skupovi: CILJ, a C je fuzzy-skup: OGRANIČENJE. Na slici 3. prikazani su grafovi funkcija pripadnost fuzzy-skupova, G, C i B. Na grafovima funkcija pripadnosti vidi se fuzzy-koncept: cilj: što veći  $x$ , to bolji ( $\mu_G, \mu_B$ ), ograničenje: što manje odstupanje od inicijalnog  $x_0$ , to bolje ( $\mu_C$ ) (slika 3.).



Slika 3. Fuzzy-skupovi, G, C i B

Parametri  $\lambda_1, \lambda_2$  i  $\lambda_3$  pozitivni su i određuju se empirijski.

Neodlučnost u ponašanju mornara postaje velika kada je razlika između sigurnosne DCPA  $-x_s$  i inicijalne DCPA  $-x_0$  MALA – fuzzy-koncept. Neka je  $y = |x_s - x_0|$ . Uvodi se fuzzy-skup  $S^6$ : MALI, s funkcijom pripadnosti

$$\mu_S(x) = \lambda_4 y^{\lambda_5}, \quad y \leq y_1,$$

$$\mu_S(x) = 1, \quad y > y_1.$$

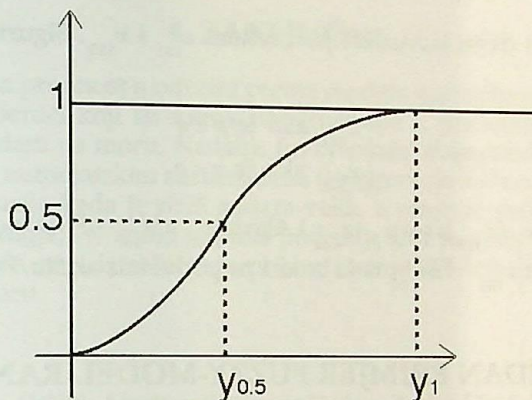
gdje je  $y_1$  najmanja vrijednost varijable  $y$  za koju je

$$\mu(y) \geq 1, \quad \text{tj. } y_1 = \lambda_4^{-\frac{1}{\lambda_5}},$$

a  $\lambda_4$  i  $\lambda_5$  pozitivni su parametri (slika 4.).

Ako je  $y$  mali, akcija se za izbjegavanje sudara ne poduzima. Time granica broda BD poprima fuzzy-koncept – the fuzzy boundary of the shi domain (FBD)<sup>7</sup>. Prema Zhaou [5], za FBD vrijedi:

<sup>6</sup> small



Slika 4. Fuzzy-skup MALI

1. debljina FBD je  $y_{0.5}$
2. ako je  $x_0 > x_s$  situacija je sigurna i ne poduzima se akcija
3. ako je  $x_s - \text{FBD} < x_0 < x_s$ , opasno je, ali još nema akcije jer je stupanj opasnosti veoma mali
4. ako je  $x_0 < x_s - \text{FBD}$  opasno je i akcija se mora poduzeti da bi konačna udaljenost bila veća od  $x_s$ .

Od dva broda koja se susreću, redovito jedan prvi poduzima akciju za izbjegavanje sudara. Pretpostavimo da brod 1 prvi poduzme akciju. Funkcije pripadnosti fuzzy-skupovima G, C i B za taj brod jesu:

$$\begin{aligned} \mu_G(x) &= 1 - e^{-\lambda_{11}x^2}, \\ \mu_C(x) &= e^{-\lambda_{12}(x-x_0)^2} \\ \mu_{B_1}(x) &= \left[ 1 - e^{(-\lambda_{11}x^2)} \right]^{\lambda_{13}} \end{aligned}$$

Proces odlučivanja teče prema sljedećem modelu:

**SIGURNOSNA UDALJENOST  $x_s$  JEST ONA UDALJENOST ZA KOJU FUNKCIJE PRIPADANJA FUZZY-SKUPOVIMA G (ILI B) I C IMAJU JEDNAKE VRIJEDNOSTI (slika 3).**

$x_s$  se dobiva rješenjem sustava:

$$\begin{aligned} 1 - e^{-\lambda_{11}x^2} &= e^{-\lambda_{12}(x-x_0)^2}, & x < 0; \\ \left[ 1 - e^{(-\lambda_{11}x^2)} \right]^{\lambda_{13}} &= e^{-\lambda_{12}(x-x_0)^2}, & x \geq 0. \end{aligned}$$

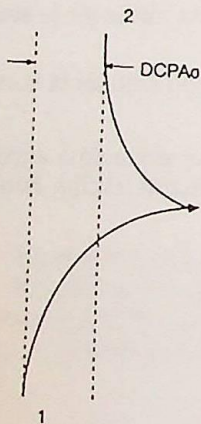
Rješenja tih dviju jednadžbi jesu redom  $x_{151}$  i  $x_{152}$ . Sigurnosna udaljenost broda 1 je:

$$\begin{cases} x_{151} & \text{ako je } p \geq q \\ x_{152} & \text{ako je } p < q \end{cases}$$

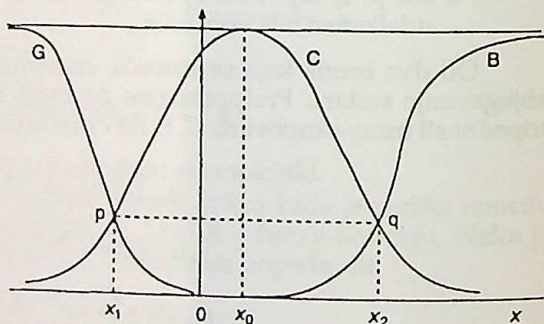
gdje je  $p = \mu_{c1}(x_{151})$  i  $q = \mu_{c1}(x_{152})$ . Ako je  $|x_0| < |x_{151} - FBD_1|$  poduzima opisane akcije; ako je  $|x_0| \geq |x_{151} - FBD_1|$ , tada brod 1 ne poduzima akciju. Proces za brod 2 je isti.

### 3. JEDAN PRIMJER FUZZY-MODELIRANJA

Zhao i drugi [6] proučavali su sljedeću situaciju u otvorenim vodama: brodovi 1 i 2 plove jedan prema drugomu ususret  $DCPA_0 > 0$  (mimoilaženje zdesna) i  $DCPA_0$  je malo. Brod 1 skreće desno (da bi poštovao COLLREG), brod 2 skreće lijevo (da bi povećao inicijalni  $DCPA_0$ ) (slika 5).



Slika 5. Neusklađeno manevriranje



Slika 6. Fuzzy-odlučivanje

Ako pretpostavimo da oba broda imaju iste vrijednosti parametara  $\lambda_1, \lambda_2$  i  $\lambda_3$  i da je  $p = q$  (slika 6.), tada  $x_{151}$  i  $x_{152}$  imaju iste mogućnosti i u funkciji cilja i u funkciji ograničenja pa je jednako vjerojatno i skretanje ulijevo i skretanje udesno. Donošenje odluke u ovom je slučaju veoma teško (slika 6.). Dobivene su ove vrijednosti parametara:

$$\lambda_1 = 2.5/(n.m.)^2, \quad \lambda_2 = 3.1/(n.m.)^2, \quad \lambda_3 = 7/(n.m.)^2$$

a kritični  $DCPA_0 \approx 0.25$  n.m.

#### 4. ZAKLJUČAK

Fuzzy-model ima prednost u odnosu prema modelu entropije jer se u većoj mjeri uvažavaju čimbenici koji su uzrok neodlučnosti u ponašanju pomoraca pri izbjegavanju sudara na moru. Nadalje, fuzzy-model daje rezultate koji se mogu dobro koristiti u automatskim sustavima za izbjegavanje sudara na moru. Mnogo je različitih situacija kada je rizik sudara velik, a samo je mali broj obuhvaćen rezultatima mjerenja, i to samo za neka područja koja su kritična (Japan). Koliko autor ovoga rada zna, istraživanja prema ovome modelu nisu provedena u Jadranskome moru.

#### LITERATURA

- [1] G. Bohme, (1990). Algebra. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- [2] Y. Fujii and K. Tanaka, (1971). Traffic capacity, The Journal of Navigation, **24**, 543.
- [3] E. M. Goodwin, (1975), A statistical study of ship domain, The Journal of Navigation, **28**, 238.
- [4] T. G. Coldwell (1983), Marine traffic behavior in restricted waters, The Journal of Navigation, **36**, 430.
- [5] J. Zhao, Z. Wu and F. Wang (1993), Comments on ship domain, The Journal of Navigation, **46**, 422.
- [6] J. Zhao, W. G. Prince, P. A. Wilson and M. Tan (1994), The uncertainty and uncoordination of mariners' behavior in collision avoidance at sea, The Journal of Navigation, **48**, 425.

### Summary

#### FUZZY MODEL FOR PREVENTING COLLISIONS AT SEA

*Collisions at sea, caused by the seamen's indecision in their behaviour, can be mathematically shown by means of entropy, and, in recent time, by means of the fuzzy theory. This indecision includes legal and psychological aspects. The paper aims at presenting the fuzzy quantification model of such an indecision, accepting, to a larger degree, the psychological aspect. The lack of coordination in ship's manoeuvring procedure can be clearly seen when ships, heading towards each other, have to pass by each other on the starboard side, and when the distance between the closest points of the ship encounter is estimated as a bit shorter than of the safety one. Some results, referring to this situation and obtained through measurings, are also presented in this paper.*