ISSN 0209-2069

ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

EXPLO-SHIP 2004

Zbigniew Pietrzykowski

Domena rozmyta statku w wąskich torach wodnych

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo nawigacji, domena rozmyta statku, akwen ograniczony

Parametry akwenu w istotny sposób wpływają na bezpieczeństwo nawigacji. Stąd jest niezbędne uwzględnienie ich w ocenie sytuacji nawigacyjnej. Jednym z kryteriów oceny sytuacji nawigacyjnej jest domena statku. W artykule przedstawiono wyniki badań i wstępną analizę wpływu szerokości akwenu ograniczonego na kształt i wielkość domeny rozmytej statku.

Ship Fuzzy Domain in Narrow Fairways

Key words: navigational safety, ship fuzzy domain, restricted area

The parameters of a water area significantly affect navigational safety. Consequently, they have to be taken into account while assessing a navigational situation. Ship domain is one of the criteria for the assessment of a navigational situation. This article presents the research results and an initial analysis of the relationship between the width of a restricted area and the shape and size of a ship fuzzy domain.

Wstęp

Analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej, oparta na przyjętych kryteriach, ma istotne znaczenie dla procesu podejmowania decyzji na statku. Na podstawie informacji dotyczących aktualnej sytuacji nawigacyjnej – rodzaj akwenu, specyfika akwenu, sytuacji spotkania (statek, obiekty stałe, przeszkody nawigacyjne, oznakowanie nawigacyjne), przy uwzględnieniu obowiązujących przepisów oraz zastosowaniu adekwatnych w danym przypadku kryteriów oceny sytuacji nawigacyjnej podejmowana jest decyzja. Jednym z proponowanych kryteriów jest rozmyta domena statku. Jest ona wyznaczana na podstawie przeprowadzanych badań ekspertowych i z zastosowaniem narzędzi sztucznej inteligencji do ekstrakcji i reprezentacji wiedzy nawigatorów. Na jej kształt i wielkość ma wpływ szereg czynników, w tym parametry akwenu. Jednym z nich jest szerokość akwenu. Analizowano akwen ograniczony – wąski tor wodny.

1. Rozmyta domena statku

Domena statku jest obszarem wokół statku, który nawigator chce utrzymać wolny od innych jednostek i obiektów [1]. Domenę statku D_S wyznacza jej granica GD_S. Przyjmując określony poziom dyskretyzacji kątów kursowych (np. $\Delta\angle K = 5°$), granica domeny statku GD_S jest opisana krzywą przechodzącą przez n punktów p_{Di} (i = 1, 2, ..., n), położonych na kątach kursowych $\angle K_i$ w odległościach d_{DKi} od środka statku (np. środka wodnicy):

$$GD_S = \{p_{D1}, p_{D2}, ..., p_{Dn}\} \tag{1}$$

Wielkość domeny statku D_S na poszczególnych kątach kursowych jest opisana wtedy następująco:

$$D_S(\angle K_i) = d_{DKi} \qquad i = 1, 2, ..., n \tag{2}$$

Poszerzeniem pojęcia domeny statku jest rozmyta domena statku [5], definiowana jako:

> obszar wokół statku, który nawigator statku powinien utrzymać wolny od innych jednostek i obiektów, którego kształt i wielkość są uzależnione od przyjętego poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego, rozumianego jako stopień przynależności sytuacji nawigacyjnej do zbioru rozmytego „niebezpieczna nawigacja”.

Przyjmując, że rozmytą domenę statku D_{RS} na kącie kursowym $\angle K_i$ opisuje funkcja przynależności μ_{DRSKi}, poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego γ na tym kącie kursowym w odległości d_{Ki}, dany jest zależnością:

$$\gamma = \mu_{\mathrm{DRSKi}}(d_{Ki}) \tag{3}$$

Podstawą do wyznaczenia rozmytej domeny statku jest reprezentacja wiedzy nawigatorów, umożliwiająca wyznaczenie poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego dla dowolnej, mogącej wystąpić, sytuacji nawigacyjnej.

W pracach [3, 4] zaproponowano metodę wyznaczania poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego, opartą na reprezentacji wiedzy ekspertów nawigatorów z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych o logice rozmytej [2, 7]. Sieci te, po przeprowadzeniu procesu uczenia, umożliwiają ocenę sytuacji wg kryteriów stosowanych przez nawigatorów. Dane uczące stanowią fakty zgromadzone w ramach badań ekspertowych (badania symulacyjne i ankietowe): parametry charakteryzujące sytuację nawigacyjną (między innymi parametry wektora stanu statku) oraz oceny poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego rejestrowanych sytuacji. Za pomocą metod badawczych (badania ekspertowe i badania symulacyjne) (literatura) z wykorzystaniem narzędzi sztucznej inteligencji – sztucznej sieci neuronowej z logiką rozmytą, jest możliwe wyznaczenie obszarów o zadanym poziomie bezpieczeństwa nawigacyjnego. W przypadku odcinka prostoliniowego toru obszary te wyznaczają odpowiednie półpłaszczyzny ograniczone linią prostą – linią brzegową – i zawierające środek ciężkości statku (literatura).

2. Badania

Rozpatrzono manewr przejścia statku wąskim torem wodnym. Parametry statku i akwenów zestawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1

Parametry statku
Ship's parameters

Długość całkowita (L)	156,68 [m]
Szerokość (B)	24,0 [m]
Zanurzenie (T)	9,30 [m]
Współczynnik pełnotliwości kadłuba (δ)	0,70
Prędkość statku	7 [w]
Kurs statku ($KR = KDd$)	090 [°]
Trym (t)	0,0

Tabela 2

Parametry akwenów
Ship's parameters

Parametr	Akwen 1	Akwen 2
szerokość (b)	100,0 [m]	200,0 [m]
głębokość (h)	11,0 [m]	11,0 [m]

Przeprowadzono badania symulacyjne z wykorzystaniem symulatora manewrowego NMS90, uzupełnione badaniami ekspertowymi, polegającymi na rejestracji ocen sytuacji nawigacyjnych przez nawigatorów w czasie symulacji ruchu statku. Przyjęto następujące warunki symulacji:

- manewrowanie statkiem z pomocą steru – bez użycia maszyny, steru strumieniowego i kotwicy;
- prędkość statku 8 węzłów;
- bardzo dobre warunki hydrometeorologiczne (dobra widzialność, brak prądu i wiatru, brak falowania).

Obserwatorzy – nawigatorzy – oceniali sytuację nawigacyjną wg własnych, indywidualnych kryteriów w odstępach czasowych 10 s w skali od 0 do 10:

- 0 dla sytuacji bardzo bezpiecznej,
- 10 dla sytuacji bardzo niebezpiecznej.

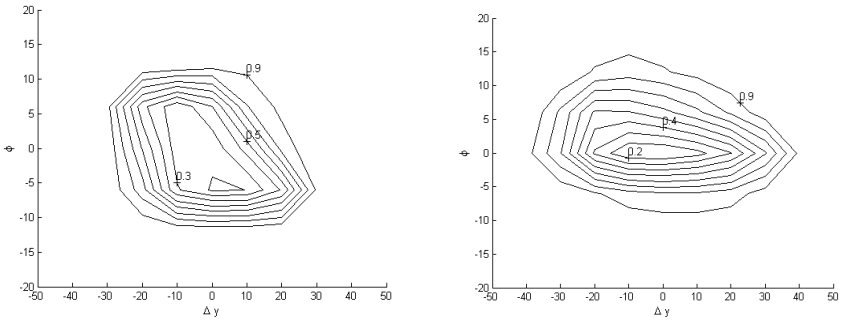
W trakcie symulacji automatycznie były rejestrowane wszystkie parametry ruchu statku, w tym m.in. odchylenie od zadanego kursu $\Delta\varphi$, odległość od osi symetrii toru wodnego Δy i prędkość kątowa statku ω. Ujemne wartości tych parametrów oznaczały odpowiednio odchylenie w lewo od kursu wyznaczonego osią toru, zejście w lewo od osi toru i kierunek prędkości kątowej przeciwny do ruchu wskazówek zegara.

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano dane uczące dla przedstawionej sieci neuronowej z logiką rozmytą. Stanowiły one odpowiednio dane wejściowe **x** i odpowiadające im oceny sytuacji nawigacyjnej, uzyskane w badaniach ekspertowych, znormalizowane do przedziału <0,1>. Do budowy sieci wykorzystano pakiet oprogramowania Matlab firmy Mathworks dla komputerów klasy PC. W procesie uczenia sieci (uczenie z nauczycielem) zastosowano metodę gradientową, opartą na propagacji wstecznej ze zmiennym współczynnikiem uczenia [3, 4].

3. Wyniki

Zbudowana i nauczona sieć neuronowa z logiką rozmytą stanowi aparat aproksymacyjny, pozwalający wyznaczyć poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego dla dowolnych, możliwych do wystąpienia wartości parametrów wejścio-

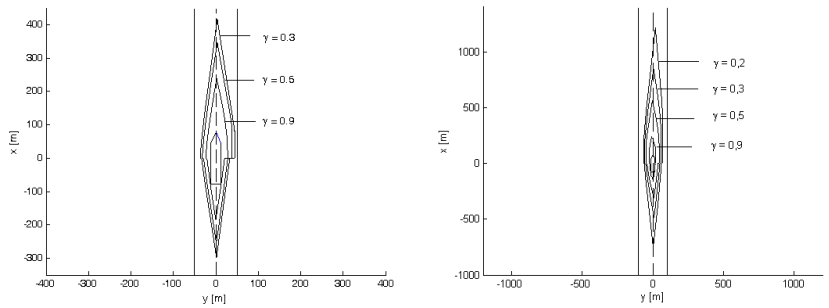
wych. Wartości odpowiedzi sieci stanowią miarę poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego. Dla przyjętej skali ocen z przedziału <0, 1> wartość 0 oznacza wysoki poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego – sytuacja (bardzo) bezpieczna – a wartość 1 odpowiednio sytuację bardzo niebezpieczną (kolizja). Na rysunku 1 przedstawiono odpowiedzi nauczonych (oddzielnie dla każdego z akwenów 1 i 2) sieci neuronowych z logiką rozmytą.



Rys. 1. Ocena poziomu bezpieczeństwa nawigacji dla różnych wartości zejścia z osi toru i odchylenia od zadanego kursu: a) akwen 1; b) akwen 2

Fig. 1. Navigational safety assessment for different values of shift from fairway centre line and deviation from the recommended course: a) restricted area 1; b) restricted area 2

Na tej podstawie wyznaczono domeny rozmyte analizowanego statku na akwenach 1 i 2 (rys. 2).

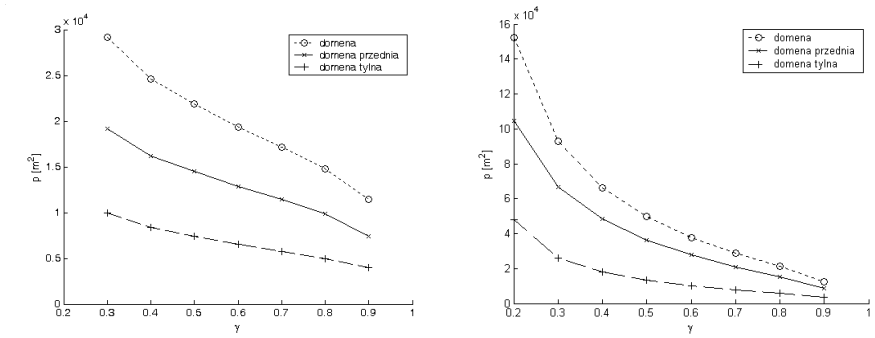


Rys. 2. Domena rozmyta statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ: a) akwen ograniczony 1; b) akwen ograniczony 2

Fig. 2. Ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ: a) restricted area 1; b) restricted area 2

W przypadku toru wodnego o szerokości 100 m możliwe było wyznaczenie domeny rozmytej dla poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ z przedziału $\langle 0{,}3;\ 0{,}9\rangle$ a dla toru wodnego o szerokości 200 z przedziału $\langle 0{,}3;\ 0{,}9\rangle$.

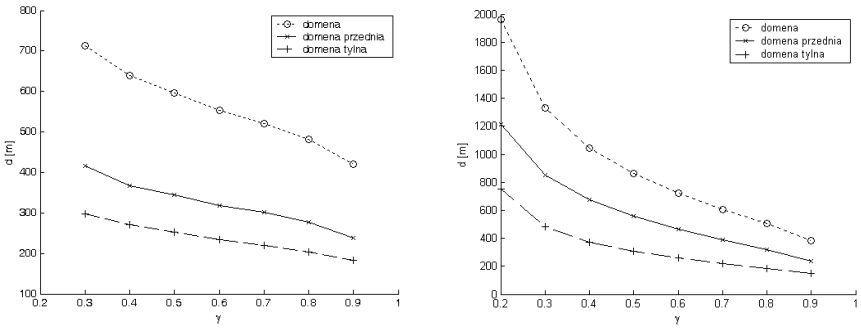
Analizowano wyznaczone domeny rozmyte dla różnych poziomów bezpieczeństwa. W tym celu wyróżniono część przednią (dziobową) – od trawersów do dziobu i tylną (rufową) odpowiednio od trawersów do rufy statku (rys. 3).



Rys. 3. Pola powierzchni domeny rozmytej statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ: a) akwen ograniczony 1; b) akwen ograniczony 2

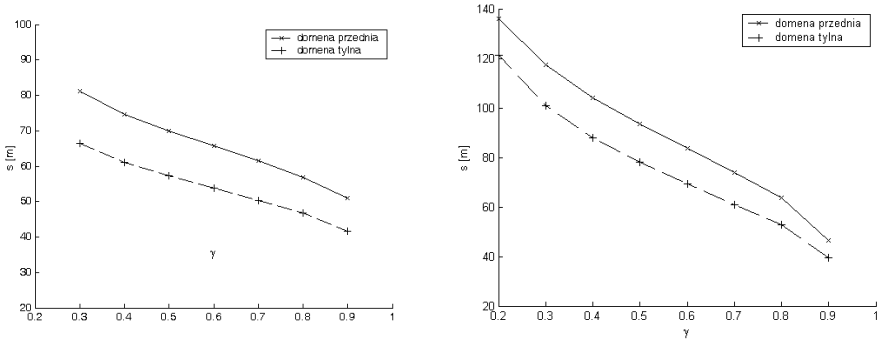
Fig. 3. The areas of the ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ: a) restricted area 1; b) restricted area 2

Analizowano również długości i szerokości domen dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa γ = 0,2, 0,3, ... 0,9 (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Długości domeny rozmytej statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ: a) akwen ograniczony 1; b) akwen ograniczony 2

Fig. 4. Length of the ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ: a) restricted area 1; b) restricted area 2

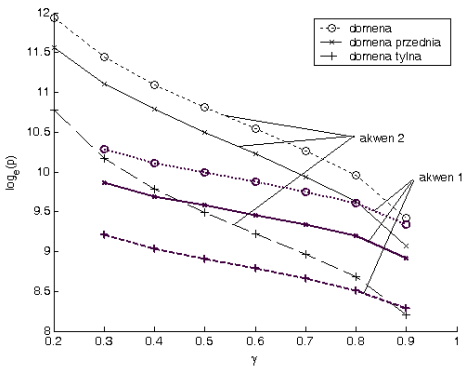


Rys. 5. Szerokości domeny rozmytej statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ: a) akwen ograniczony 1; b) akwen ograniczony 2

Fig. 5. Width of the ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ: a) restricted area 1; b) restricted area 2

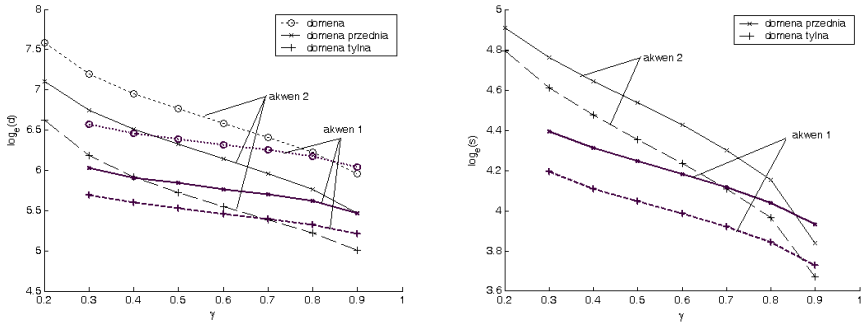
Na podstawie wyników badań, prezentowanych w pracy [6], a dotyczących domeny rozmytej innego statku na akwenie ograniczonym, postawiono hipotezę o stosowaniu przez nawigatorów skali logarytmicznej w ocenie poziomu bezpieczeństwa. Ma to istotne znaczenie z punktu widzenia usprawnienia procesu wyznaczania domeny rozmytej dla różnych statków i zróżnicowanych warunków zewnętrznych.

Analizie poddano wielkości domeny rozmytej dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa. Rozpatrzono pola powierzchni: całej domeny rozmytej (1) oraz jej części przedniej – przed obu trawersami – (2) i tylnej – za trawersami – (3) (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Pola powierzchni domeny rozmytej statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ na akwenach ograniczonych 1 i 2

Fig. 6. The areas of the ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ in restricted areas 1 and 2



Rys. 7. Długości i szerokości domeny rozmytej statku dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ na akwenach 1 i 2: a) długość; b) szerokość

Fig. 7 Length and width of the ship fuzzy domain for different values of navigational safety γ in restricted areas 1 and 2: a) length, b) wide

W tabelach 3 i 4 przedstawiono wyniki analizy regresji dla modelu postaci:

$$y = \ln(p_k(\gamma)) = a_k + b_k x \qquad k = 1, 2, 3 \tag{4}$$

gdzie:

$p_k(\gamma)$ – powierzchnia domeny rozmytej statku dla różnych poziomów bezpieczeństwa γ; k = 1 – cała domena; k = 2 – część przednia domeny; k = 3 – część tylna domeny.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, iż brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o regresji wykładniczej pomiędzy wartościami poziomu bezpieczeństwa a powierzchniami domeny rozmytej statku na obu akwenach.

Tabela 3

Współczynniki korelacji i wartości estymowanych parametrów a_k i b_k regresji liniowej (4) dla powierzchni całej domeny rozmytej oraz jej części przedniej i tylnej statku na akwenie 1

Correlation coefficients and estimated parameters a_j and b_j of linear regression (4) for the whole fuzzy domain area, its forward and aft parts in the restricted area 1

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
cała domena (k = 1)	–0,99147	98,3013	10,7231	–1,45348
część przednia (k = 2)	–0,988604	97,7338	10,3090	–1,45544
część tylna (k = 3)	–0,995754	99,1527	9,64183	–1,45035

Tabela 4

Współczynniki korelacji i wartości estymowanych parametrów a_k i b_k regresji liniowej (4) dla powierzchni całej domeny rozmytej oraz jej części przedniej i tylnej statku na akwenie 2
Correlation coefficients and estimated parameters a_k and b_k of linear regression (4) for the whole fuzzy domain area, its forward and aft parts in the restricted area 2

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
cała domena (k = 1)	–0,994686	98,9401	12,5032	–3,31004
część przednia (k = 2)	–0,994836	98,9699	12,1623	–3,29134
część tylna (k = 3)	–0,991169	98,2415	11,2567	–3,35168

Analizowano również długości i szerokości domen rozmytych dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa γ = 0,2, 0,3, ... 0,9. Zastosowano analizę regresji:

$$y = \ln(d_k(\gamma)) = a_k + b_k x \tag{5}$$

$$y = \ln(s_k(\gamma)) = a_k + b_k x \tag{6}$$

gdzie:

$d_k(\gamma)$ – długości rozmytej granicy domeny statku dla różnych poziomów bezpieczeństwa γ; k = 1 – cała domena; k = 2 – część przednia domeny; k = 3 – część tylna domeny;

$s_k(\gamma)$ – szerokości rozmytej granicy domeny statku dla różnych poziomów bezpieczeństwa γ; k = 2 – część przednia domeny; k = 3 – część tylna domeny.

Rezultaty przedstawiono w tabelach 5, 6, 7 i 8.

Tabela 5

Współczynniki korelacji i estymowane parametry a_k oraz b_k regresji liniowej (5) długości rozmytej domeny statku na akwenie 1
Correlation coefficients and estimated parameters a_k and b_k of linear regression (5) of length of ship fuzzy domain in the restricted area 1

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji *R*	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
cała domena (k = 1)	–0,994068	98,8172	6,80481	–0,815260
część przednia (k = 2)	–0,990118	98,0334	6,27440	–0,852425
część tylna (k = 3)	–0,998004	99,6012	5,91805	–0,765224

Tabela 6

Współczynniki korelacji i estymowane parametry a_k oraz b_k regresji liniowej (5) długości rozmytej domeny statku na akwenie 2

Correlation coefficients and estimated parameters a_k and b_k of linear regression (5) of the length of ship fuzzy domain in the restricted area 2

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
cała domena (k = 1)	–0,992312	98,4684	7,89005	–2,1499
część przednia (k = 2)	–0,994749	98,9526	7,44275	–2,16534
część tylna (k = 3)	–0,984927	97,0081	6,87007	–2,12442

Tabela 7

Współczynniki korelacji i estymowane parametry a_k oraz b_k regresji liniowej (6) szerokości rozmytej domeny statku na akwenie 1

Correlation coefficients and estimated parameters a_k and b_k of linear regression (6) of the width of ship fuzzy domain in the restricted area 1

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
część przednia (k = 2)	–0,996494	99,3	4,61802	–0,735544
część tylna (k = 3)	–0,995374	99,077	4,41882	–0,736668

Tabela 8

Współczynniki korelacji i estymowane parametry a_k oraz b_k regresji liniowej (6) szerokości rozmytej domeny statku na akwenie 2

Correlation coefficients and estimated parameters a_k and b_k of linear regression (6) of the width of ship fuzzy domain in the restricted area 2

Domena rozmyta	Współczynnik korelacji	*R*-squared %	$y = a_k + b_k x$	
			a	*b*
część przednia (k = 2)	–0,984493	96,9226	5,21476	–1,39414
część tylna (k = 3)	–0,990568	98,1224	5,08735	–1,46906

Podobnie jak w przypadku powierzchni domen, stwierdzono, iż brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o regresji wykładniczej pomiędzy wartościami poziomu bezpieczeństwa a długościami i szerokościami domen rozmytych statku na obu analizowanych akwenach. Jednocześnie stwierdzono bardzo zbliżone rozmiary domen rozmytych statku dla poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego γ = 0,9 na obu analizowanych akwenach.

Wnioski

Uzyskane wyniki potwierdzają fakt stosowania przez człowieka skali logarytmicznej w ocenie poziomu bezpieczeństwa. Stwierdzono wyraźną zależność między poziomem bezpieczeństwa a wielkością domeny. Wyznaczona zależność może ułatwić proces wyznaczania i weryfikacji domeny rozmytej na akwenach ograniczonych o różnej szerokości. Jest niezbędne przeprowadzenie dalszych badań w celu wyznaczenia domeny rozmytej statku dla akwenów ograniczonych o innych szerokościach, co może pozwolić na znalezienie opisu analitycznego zależności kształtu i wielkości domeny rozmytej dla dowolnego akwenu ograniczonego.

Literatura

1. Goodwin E. M., *A statistical study of ship domain, Journal of Navigation*, nr 28, 1975.
2. Osowski S., *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*, WNT, Warszawa 1996.
3. Pietrzykowski Z., *Możliwości zastosowania sieci neuro-rozmytych do identyfikacji sytuacji niebezpiecznych w ruchu statku na akwenie ograniczonym*, VII Międzynarodowa Konferencja Inżynierii Ruchu Morskiego, Szczecin 1997.
4. Pietrzykowski Z., Dubowik W., *Sieci neuronowe o logice rozmytej do identyfikacji niebezpiecznych sytuacji dla ruchu statku na ograniczonym akwenie*, Zeszyty Naukowe WSM w Szczecinie nr 55, Szczecin 1998.
5. Pietrzykowski Z., *Domena rozmyta statku w ocenie bezpieczeństwa nawigacyjnego na akwenie ograniczonym*, III Sympozjum Nawigacyjne, Gdynia 1999.
6. Pietrzykowski Z., *The analysis of a ship fuzzy domain in a restricted area*, IFAC Conference Computer Applications in Marine Systems CAMS'2001, Elsevier Science Ltd 2001.
7. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, PWN, Warszawa – Łódź 1997.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

dr hab. inż. Roman Śmierzchalski, prof. AM
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny

Adres Autora

dr inż. Zbigniew Pietrzykowski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
zbip@wsm.szczecin.pl