

ALGORYTM SIECI NEURONOWEJ DO BEZPIECZNEGO STEROWANIA RUCHEM STATKU W ROZMYTYM OTOCZENIU

NEURAL NETWORK BASED ALGORITHM FOR SHIP SAFE MOTION CONTROL IN FUZZY ENVIRONMENT

Mostefa Mohamed-Seghir

Akademia Morska w Gdyni, Morska 81–87, 81-581 Gdynia, Wydział Elektryczny,
Katedra Automatyki Okrętowej, e-mail: m.mohamed-seghir@we.am.gdynia.pl

Streszczenie: Niniejsza praca odnosi się do problemu planowania trajektorii statku w sytuacjach kolizyjnych. W proponowanym modelu wzięto pod uwagę parametry manewrowości statku i subiektywność oceny nawigatora. Celem głównym opracowania jest zaproponowanie metody wyznaczania bezpiecznej trajektorii statku w sytuacji kolizyjnej jako wieloetapowego procesu podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu. Celem szczegółowym jest wykorzystanie metody, opartej na sieci neuronowej, do wyznaczenia bezpiecznej trajektorii własnego statku w sytuacjach zagrożenia kolizyjnego.

Słowa kluczowe: trajektoria statku, zbiory rozmyte, podejmowanie decyzji, sieci neuronowe.

Abstract: This paper addresses the problem of planning the ship trajectory in collision situations. The ship maneuverability parameters and subjectivity navigator in decision-making are taken into account in the proposed process model. The main objective of the study is to propose the designation of safe ship trajectory in collision situations as a multi-stage decision-making process in the fuzzy environment. The specific objective is to use a method based on neural network to determine the best ship trajectory in collision situations.

Keywords: ship trajectory, fuzzy set theory, decision-making, neural network.

1. WSTĘP

W ostatnich latach powstało wiele publikacji odnoszących się do bezpiecznego sterowania statkiem z wykorzystaniem nowoczesnych metod z zakresu sztucznej inteligencji [Lisowski 2012; Hiraga i in. 1995; Mohamed-Seghir 2012; Pietrzykowski i in. 2010]. W artykule wykorzystano metodę opartą na sieci neuronowej do wyznaczenia bezpiecznej trajektorii własnego statku w sytuacjach kolizyjnych w rozmytym otoczeniu.

Sterowanie statkiem w sytuacjach kolizyjnych jest procesem, w którym występują niedokładnie i nieszczegółowo zdefiniowane pojęcia, takie jak ryzyko kolizji, szybkość bezpieczna, gdzie określenie działania podjętego w celu zapobiegania zderzeniu powinno być ustalone wystarczająco wcześniej. Określenia te są subiektywne i nieprecyzyjne, w znacznym stopniu zależne od sytuacji i warunków prowadzenia nawigacji. Trudno jest jednoznacznie ustalić odległość bezpieczną, ryzyko kolizji, czy działanie w celu unikania kolizji zostało podjęte wystarczająco wcześniej. Te niedokładnie zdefiniowane pojęcia zostały usystematyzowane oraz powiązane ze sobą za pomocą wieloetapowego modelu podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu. Model ten pozwala na opisanie procesu, który charakteryzuje się cechami rozmytymi.

2. KINEMATYCZNY MODEL PROCESU

Proces sterowania statkiem w warunkach zagrożenia kolizji można opisać ogólnym modelem wieloetapowego podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu. Na wszystkie możliwe decyzje nałożone są pewne ograniczenia, toteż nie wszystkie decyzje są dopuszczalne i dlatego poszukuje się decyzji optymalnej wśród rozwiązań dopuszczalnych. Statek manewruje zgodnie z MPDM w aspekcie najbardziej niebezpiecznego napotykanego obiektu, właściwości dynamiczne statku są reprezentowane przez prędkość kątową zwrotu ω i czas wyprzedzania t_w .

Zakłada się, że sterowany proces jest układem deterministycznym kreślonym przez równanie stanu, a funkcja przejść stanu opisana jest następująco [Francelin, Kacprzyk i Gomide 2001; Mohamed-Seghir 2012]:

$$f(\mathbf{X}, \mathbf{S}) \rightarrow \mathbf{X} \quad (1)$$

$$X_{k+1} = f(X_k, S_k), k = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

gdzie:

X_{k+1}, X_k – stany w chwilach $(k+1, k)$, którymi są współrzędne rzeczywiste (x, y) własnego statku na etapach odpowiednio $(k+1, k)$,

$S_k = \{\psi, V\}$ – sterowanie na etapie t w postaci kursu i prędkości własnego statku na etapie t :

$X_{k+1}, X_k \in \mathbf{X} = \{a_0, a_1, \dots, a_{p-1}, a_p, a_{p+1}, \dots, a_N\}$ – przestrzeń stanów

$S_k \in \mathbf{U} = \{c_0, c_1, \dots, c_m\}$ – przestrzeń sterowań

Proces podejmowania decyzji do wyznaczania trajektorii bezpiecznej statku w sytuacjach kolizyjnych kończy się, kiedy po raz pierwszy statek osiąga pewien z góry ustalony zbiór końcowych stanów $\mathbf{W} \subset \mathbf{X}$, określony jako [Bellman i Zadeh 1970; Francelin, Kacprzyk i Gomide 2001]:

$$\mathbf{W} = \{a_{p+1}, a_{p+2}, a_n\} \quad (3)$$

Zbiór stanów końcowych jest zbiorem punktów zwrotu własnego statku, zdefiniowanym następująco:

$$\{\Psi_{opt} = \Psi_z, V_{opt} = V_z, \mu_R \leq \mu_{Rbez}\} \quad (4)$$

gdzie:

- Ψ_{opt} – kurs optymalny własnego statku,
- Ψ_z – kurs zadany własnego statku,
- V_{opt} – prędkość optymalna własnego statku,
- V_z – prędkość zadana własnego statku,
- μ_R – funkcja przynależności zbioru rozmytego – ryzyka kolizji,
- μ_{Rbez} – wartość funkcji przynależności zbioru ryzyka kolizji ustalona przez nawigatora [Mohamed-Seghir 2012].

3. ALGORYTM OPARTY NA SIECI NEURONOWEJ

Rozwiązanie przedstawionego problemu przy użyciu sieci neuronowej jest podobne do programowania dynamicznego. Polega na znalezieniu optymalnego ciągu sterowań [Francelin, Kacprzyk i Gomide 2001; Francelin i Gomide 1993]

$$S_0^*, S_1^*, \dots, S_{N-1}^* \in U = \{c_0, c_1, \dots, c_m\} \quad (5)$$

spełniających następujący warunek:

$$\begin{aligned} \mu_D(S_0^*, S_1^*, \dots, S_{N-1}^* | X_0) = & \bigvee_{S_0, \dots, S_{N-3}} (\mu_C^0(S_0) \wedge \mu_G^1(X_1) \wedge \mu_C^1(S_1) \wedge \mu_G^2(X_2) \wedge \dots \\ & \dots \wedge \mu_C^{N-3}(S_{N-3}) \wedge \mu_G^{N-2}(X_{N-2}) \wedge \bigvee_{S_{N-2}} (\mu_C^{N-2}(S_{N-2}) \wedge \mu_G^{N-1}(X_{N-1}) \wedge \bigvee_{S_{N-1}} (\mu_C^{N-1}(S_{N-1}) \wedge \dots \\ & \mu_G^N(f(X_{N-1}, S_{N-1})))))) \end{aligned} \quad (6)$$

Po przekształceniu uzyskuje się następujący układ równań rekurencyjnych, stosowany w programowaniu dynamicznym:

$$\begin{cases} \mu_G^{N-i}(X_{N-i}) = \bigvee_{S_0 \dots S_{N-1}} (\mu_C^{N-i}(S_{N-i}) \wedge \mu_G^{N-i+1}(X_{N-i+1})) \\ X_{N-i+1} = f(X_{N-i}, S_{N-i}) \end{cases} \quad (7)$$

gdzie:

- μ_C – funkcja przynależności zbioru rozmytego celu,
- μ_G – funkcja przynależności zbioru rozmytego ograniczeń [Mohamed-Seghir 2012].

Rozwiązując zadanie, należy zacząć od ostatniego etapu, a następnie cofnąć się do etapów wcześniejszych. Odwołując się do poprzedniego układu równań, przechodząc wstecz od etapu $t = N$ do etapu $t = 0$, na każdym etapie występują dwie fazy: minimalizacja, a następnie maksymalizacja. Takie operacje można przedstawić za pomocą specjalnej sieci neuronowej, którą m.in. zaproponowali w swoich pracach autorzy [Francelin, Kacprzyk i Gomide 2001]. Sieć neuronowa charakteryzuje się operacjami minimum i maksimum po skończonym zbiorze. Rocha w swojej pracy zaproponował odpowiednie neurony [Rocha 1992].

Sieć neuronowa zaproponowana przez Francelina i Gomidego [Francelin i Gomide 1993] pozwala na rozwiązywanie wyznaczenia bezpiecznej trajektorii statku w rozmytym otoczeniu. Na jej strukturę składają się naprzemienne warstwy neuronów typu minimum i maksimum. Wagi wejść neuronów nie są nadawane poprzez uczenie w zwykłym sensie, lecz wynikają one z opisu zadania, czyli przejść stanu oraz ograniczeń i celów rozmytych. Aby zatem struktura sieci neuronowej działała poprawnie, należy określić połączenia między neuronami typu minimum i maksimum na tej samej warstwie k oraz połączenia między neuronami maksimum warstwy poprzedniej $k-1$ i neuronami minimum na warstwie k . W dalszej części neurony będą opisywane w następujący sposób:

- M_k^i – i -ty neuron typu maksimum na etapie k ,
- m_k^i – i -ty neuron typu minimum na etapie k .

Połączenia te określa się a priori zgodnie z równaniem (1) i tworzy się następująco:

$$W(m_k^i, M_k^j) = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } f_{N-k}(q_R(m_k^i), q_T(M_k^j)) \neq 0 \\ 0 & \text{w innym przypadku} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:

$q_R(m_k^i) = a_i$ – ilość receptora (sterowanie),

$q_T(M_k^i) = c_j$ – ilość przekaźnika (stan).

Wartość 0 oznacza brak połączenia, a wartość 1 – że połączenie istnieje.

Połączenia między neuronami typu maksimum warstwy $k-1$ i neuronami minimum warstwy k można przedstawiać następująco:

łączenie neuronu M_{k-1}^j z neuronem m_k^i odbywa się za pomocą ilości receptora $q_R(m_k^i)$ oraz ilości przekaźnika $q_T(M_{k-1}^j)$. Te dwie wielkości aktywują sterownik neuronu m_k^i . Funkcja tego sterownika definiuje równania stanu x_{N-k} (1) na etapie $N-1$:

$$q_C(m_k^i) = x_{N-k} = f_{N-k}(q_R(m_k^i), q_T(M_{k-1}^j)) \quad (9)$$

Zadaniem sterownika jest przekazywanie do wszystkich neuronów typu maksimum w warstwie $k-1$ ilości sterownika $q_C(m_k^i)$, co uruchamia neurony, które spełniają następujący warunek:

$$q_R(M_{k-1}^l) = q_T(m_k^i) = q_C(m_k^i) \quad (10)$$

gdzie $q_R(M_{k-1}^l) = 1$ oznacza, że neuron M jest pobudzony.

Wagi (połączenia) pomiędzy neuronem M_{k-1}^l i m_k^i można określać następująco:

$$W(M_{k-1}^l, m_k^i) = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } q_R(M_{k-1}^l) = q_T(m_k^i) = q_C(m_k^i) \\ 0 & \text{w innym przypadku} \end{cases} \quad (11)$$

Wartość 0 oznacza brak połączenia, a wartość 1 – połączenie istnieje. Sposób połączenia neuronów wyżej przedstawiony pozwala na tworzenie algorytmu opartego na sieci neuronowej, która emuluje rozwiązywanie zadania programowania dynamicznego w rozmytym otoczeniu [Francelin, Kacprzyk i Gomide 2001; Francelin i Gomide 1993].

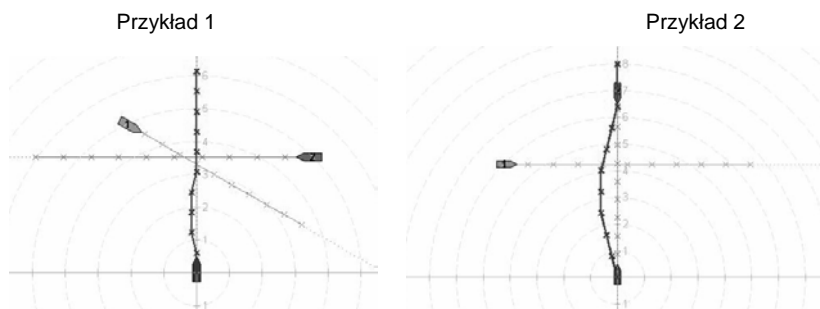
4. SYMULACJE WYBRANYCH SYTUACJI AWIGACYJNYCH

Celem badań symulacyjnych algorytmu, opartego na sieci neuronowej do wyznaczania bezpiecznej trajektorii statku w sytuacjach zagrożenia kolizji, jest ocena metody rozwiązania problemu wyżej sformułowanego za pomocą teorii zbiorów rozmytych jako wieloetapowego procesu podejmowania decyzji.

Tabela 1. Współrzędne własnego statku oraz obiektów obcych

Table 1. The coordinates of our ship and targets

Obiekty	Przykład 1				Przykład 2			
	namiar Nj[°]	odległość Dj[nm]	prędkość Vj[kn]	kurs Ψj[°]	namiar Nj[°]	odległość Dj[nm]	prędkość Vj[kn]	kurs Ψj[°]
Statek			8	0			10	0
Obiekt 1	335	5	8	120	315,0	6	11,5	90,0
Obiekt 2	45	5	11	270	0	7	8,5	180



Rys. 1. Dwa przykłady wyznaczania bezpiecznej trajektorii statku przy dwóch spotykanych ruchomych obiektach

Fig. 1. Two examples of the determination of a safe ship trajectory with encountered two moving objects

5. PODSUMOWANIE

Reasumując, proponowany algorytm może posłużyć jako narzędzie wspomagające nawigatora w podejmowaniu decyzji, służących zachowaniu bezpiecznej żeglugi na morzu. Uzyskane wyniki są obiecujące i wskazują potencjał tego algorytmu. Analiza wyników symulacji potwierdza prawidłowości działania algorytmu, należy dokonać dalszego testowania w celu jego udoskonalenia.

LITERATURA

1. Bellman, R.E., Zadeh, L.A., 1970, *Decision Making in a Fuzzy Environment*, Management Science, no. 17.
2. Francelin, R.A., Gomide, F.A.C., 1993, *A Neural Network for Fuzzy Decision Making Problems*, Proc. of 2nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems, vol. 1, s. 655–660.
3. Francelin, R., Kacprzyk, J., Gomide, F., 2001, *Neural Network Based Algorithm for Dynamic System Optimization*, Asian Journal of Control, vol. 3, no. 2, s. 131–142.
4. Hiraga, I., Furuhashi, T., Uchikawa, Y., Nakayama, S., 1995, *An Acquisition of Operator's Rules for Collision Avoidance Using Fuzzy Neural Networks*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 3, no. 3, s. 280–287.
5. Lisowski, J., 2012, *The Optimal and Safe Ship Trajectories for Different Forms of Neural State Constraints*, Solid State Phenomena, vol. 180.
6. Mohamed-Seghir, M., 2012, *The Branch-and-bound Method and Genetic Algorithm in Avoidance of Ships Collisions in Fuzzy Environment*, Polish Maritime Research 19, Special Issue, s. 45–49.
7. Pietrzykowski, Z., Magaj, J., Wolejsza, P., Chomski, J., 2010, *Fuzzy Logic in the Navigational Decision Support Process Onboard a Sea-Going Vessel*, Artificial Intelligence and Soft Computing, Springer, Berlin – Heidelberg, s. 185–193.
8. Rocha, A.F., 1992, *Neural Nets: a Theory of Brain and Machines*, vol. 638, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.