

Nr 98/2017, 179–184
ISSN 1644-1818
e-ISSN 2451-2486

WYZNACZANIE TRAJEKTORII BEZPIECZNEJ STATKU Z WYKORZYSTANIEM ALGORYTMU GENETYCZNEGO

GENETIC ALGORITHM FOR DESIGNATION OF SAFE SHIP TRAJECTORY

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: W artykule przedstawiono metodę wieloetapowego procesu podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu z wykorzystaniem algorytmu genetycznego. Struktura algorytmu została opracowana specjalnie na potrzeby problemu wyznaczania bezpiecznej optymalnej trajektorii statku w sytuacjach kolizyjnych z uwzględnieniem międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu (COLREGs).

Słowa kluczowe: trajektoria statku, algorytm genetyczny, zbiory rozmyte, podejmowanie decyzji.

Abstract: The article presents a multi-stage decision-making process in the fuzzy environment, using a method based on genetic algorithm. Whose structure has been developed specifically for the problem of determining the optimal safe ship trajectory in collision situations, taking into account the provisions of the international law of the sea route with the International Maritime Organization convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs).

Keywords: ship trajectory, genetic algorithm, fuzzy set theory, decision-making.

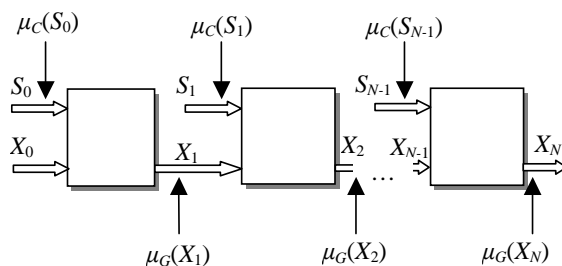
1. WSTĘP

Każdy statek ma wyznaczony cel podróży i porusza się według zadanego kursu. Osiągnięcie bezpieczeństwa statku polega wtedy na ciągłej obserwacji sytuacji nawigacyjnej na morzu, określeniu antykolizyjnego manewru, kolejnej jego realizacji, a ponadto dalszym podążaniu do celu podróży. W takiej sytuacji konieczne jest wyznaczanie bezpiecznej trajektorii statku jako pewnej sekwencji pojedynczych manewrów zmiany kursu i prędkości statku [Lisowski 2015; Lazarowska 2015]. Manewry te są co pewien czas aktualizowane na podstawie informacji z systemu antykolizyjnego ARPA. Aby w pełni odzwierciedlać rzeczywiste postępowanie nawigatorów, należy uwzględnić właściwości subiektywne

nawigatora podejmującego ostateczną decyzję manewrową. W celu uwzględnienia subiektywności nawigatora podejmującego ostateczną decyzję manewrową własnego statku, prowadzono badania właściwości probabilistyczno-rozmytych procesu bezpiecznego sterowania statkiem w sytuacjach kolizyjnych i opracowano opisowy model sterowania. Model ten pozwala na opisanie procesu, który charakteryzuje się cechami rozmytymi.

2. MODEL PROCESU BEZPIECZNEGO STEROWANIA STATKIEM

Proces sterowania statkiem w warunkach zagrożenia kolizji można opisać ogólnym modelem wieloetapowego podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu (rys. 1). Na wszystkie możliwe decyzje nałożone są pewne ograniczenia, a więc nie wszystkie decyzje są dopuszczalne i dlatego poszukuje się decyzji optymalnej wśród rozwiązań dopuszczalnych. Statek manewruje zgodnie z międzynarodowymi przepisami o zapobieganiu zderzeniom na morzu w aspekcie najbardziej niebezpiecznego napotykanego obiektu. Właściwości dynamiczne statku są reprezentowane przez prędkość kątową zwrotu ω i czas wyprzedzania t_w .



Rys. 1. Schemat blokowy wieloetapowego procesu podejmowania decyzji w rozmytym otoczeniu: μ_G – funkcja przynależności celu rozmytego, μ_C – funkcja przynależności ograniczenia rozmytego

Fig. 1. The block diagram of a multistage decision-making in fuzzy environment: μ_G – the membership function of fuzzy set of goal, μ_C – the membership function of fuzzy set constraints

Zakłada się, że sterowany proces jest układem deterministycznym [Bellman i Zadeh 1970; Kacprzyk 2001; Mohamed-Seghir 2012]:

$$X_{t+1} = f(X_t, S_t), \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

gdzie:

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

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

3. METODA ALGORYTMU GENETYCZNEGO DO WYZNACZANIABEZPIECZNEJ TRAJEKTORII STATKU

Do przedstawionego problemu wyznaczenia bezpiecznej trajektorii statku, można zastosować ogólne narzędzie rozwiązywania takiego rodzaju problemów optymalizacyjnych. Narzędziem takim jest algorytm genetyczny, który polega na tym, by znaleźć optymalny ciąg sterowań taki, że [Kacprzyk 2001; Mohamed-Seghir 2012; Szłapczyński 2014; Śmierchalski i Michalewicz 2000]:

$$\begin{aligned} \mu_D(S_0^*, S_1^*, \dots, S_{N-1}^*/X_0) &= \max_{S_0, \dots, S_{N-1}} \mu_D(S_0, S_1, \dots, S_{N-1}/X_0) = \\ &= \max_{S_0, \dots, S_{N-1}} \left[\mu_C^0(S_0) \wedge \mu_G^1(X_1) \wedge \mu_C^1(S_1) \wedge \mu_G^2(X_2) \wedge \dots \wedge \mu_C^{N-1}(S_{N-1}) \wedge \mu_G^N(X_N) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

- na sterowanie $S_{t-1} \in U$ jest nałożone ograniczenie rozmyte $\mu_C^{t-1}(S_{t-1})$,
- na stan X_t jest nałożony cel rozmyty $\mu_G^t(X_t)$.

Zakładając, że:

- problem reprezentowany jest przez ciąg sterowań S_0, \dots, S_{N-1} i ze względu na obciążenie algorytmu genetycznego i uproszczenie analizy wyników zakłada się, że prędkość statku własnego jest niezmienna, a sterowanie S_{t+1} na etapie $t+1$ określa się jako kąt kursowy ψ_{t+1} względem kąta na poprzednim etapie ψ_t , w związku z czym zachodzi zależność:

$$S_{t+1} = \psi_{t+1} - \psi_t,$$

- nie zmieniając kodowania, zakłada się rzeczywistą reprezentację każdego genu $S_t \in [0,360]$ o równomiernym rozkładzie, która jest najbardziej naturalna w rozpatrywanym przypadku;
- funkcja celu (funkcja oceny) każdego osobnika stanowi funkcję przynależności decyzji rozmytej typu minimum,

$$\begin{aligned} \mu_D(S_0, S_1, \dots, S_{N-1}/X_0) &= \mu_C^0(S_0) \wedge \mu_G^1(X_1) \wedge \mu_C^1(S_1) \wedge \mu_G^2(X_2) \wedge \dots \\ &\wedge \mu_C^{N-1}(S_{N-1}) \wedge \mu_G^N(X_N) \end{aligned} \quad (4)$$

osobniki o najwyższej wartości funkcji oceny mają największy udział w kolejnej populacji rodzicielskiej, a reszta osobników zostaje odrzucana w procesie selekcji;

- proces selekcji ma charakter reprodukcji proporcjonalnej lub rangowej;
- stosuje się krzyżowanie uśredniające jako najbardziej nadające się dla kodowania zmiennoprzecinkowego;

- wprowadza się mutację, stanowiącą perturbację genów zgodnie z rozkładem Cauchy'ego o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia w kolejnych generacjach;
- do tworzenia kolejnej generacji nie odrzuca się wszystkich osobników populacji rodzicielskiej, najlepsza grupa dołączona zostaje do osobników potomnych;
- warunek stopu następuje, gdy poprawa jest mniejsza od pewnego progu, wtedy algorytm kończy obliczenia.

Algorytm genetyczny spełniający powyższe założenia można przedstawić następująco:

BEGIN

$k:=0;$

INICJALIZACJA $P(k)$

Ustalenie populacji początkowej $P(k)$ która się składa z losowo wygenerowanych ciągów sterowań (liczby rzeczywiste z zakresu $[0, 360]$);

OCENA $P(k)$

dla każdego $S(t)$ w każdym ciągu w populacji $P(k)$ znajdź osiągnięty $X(t+1)$ z równania przejścia stanów $X(t+1) = f(X(t), S(t))$ i zastosuj funkcję oceny $\mu_D(S_0, S_1, \dots, S_{n-1} | X_0)$ do każdego ciągu $P(k)$;

WHILE not (brak poprawy) **DO**

BEGIN

REPRODUKUCJA

utworzenie populacji tymczasowej $T(k)$ do operacji genetycznych, która składa się z ciągów sterowań o największych wartościach funkcji oceny w populacji $P(k)$, gdzie liczba powielonych ciągów jest zależna od wartości, jakie przyjmuje dla nich funkcja oceny;

OPERACJE GENETYCZNE na $T(k)$

dokonanie krzyżowania i mutacji na osobnikach populacji tymczasowej $T(k)$, tworząc nową populację potomną $O(i)$;

OCENA $O(i)$

dla każdego $S(t)$ w każdym ciągu w populacji $O(k)$ znajdź osiągnięty $X(t+1)$ z równania przejścia stanów $X(t+1) = f(X(t), S(t))$ i zastosuj funkcję oceny $\mu_D(S_0, S_1, \dots, S_{n-1} | X_0)$ do każdego ciągu $O(k)$;

SUKCESJA $P1(k)+O1(k)$

utworzenie nowej populacji bazowej $P(k+1)$ metodą selekcji elitarniej, łącząc najlepszych osobników poprzedniej populacji $P(k)$ z najlepszymi osobnikami populacji potomnej $O(k)$;

$k:=k+1;$

END;

END.

gdzie: $P(k)$ – populacja początkowa,

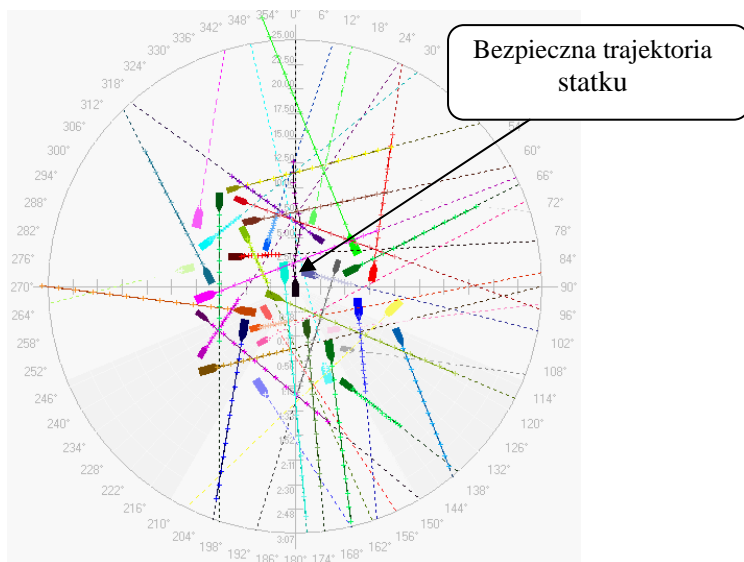
$T(k)$ – populacja tymczasowa,

$O(k)$ – populacja potomna.

4. SYMULACJA WYBRANEJ SYTUACJI NAWIGACYJNEJ

Celem badań symulacyjnych algorytmu genetycznego 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.

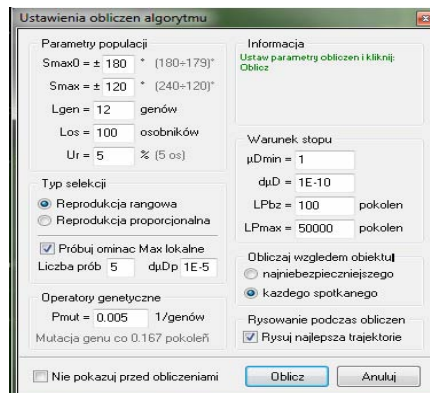
Na rysunku 2 przedstawiono sytuację nawigacyjną, gdzie statek napotyka 40 obiektów.

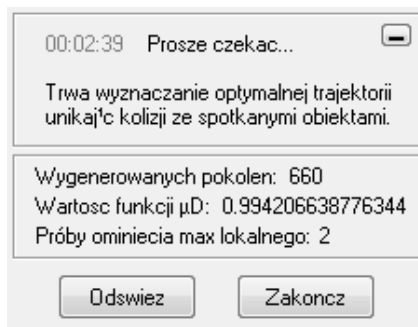


Rys. 2. Symulacja bezpiecznej trajektorii statku wyznaczonej metodą algorytmu genetycznego w sytuacji mijania 40 obiektów

Fig. 2. Simulation of safe ship trajectory as determined by the genetic algorithm in case of 40 passing targets

Rys. 3. Ustawienie parametrów obliczeń
Fig. 3. Setting the parameters of calculation





Rys. 4. Informacje o aktualnym postępie pracy algorytmu
Fig. 4. Information about the current progress of work algorithm

5. PODSUMOWANIE

Artykuł ma na celu ukazanie możliwości wykorzystania algorytmów genetycznych jako metody do rozwiązywania problemu wyznaczenia bezpiecznej trajektorii statku w sytuacjach kolizyjnych w rozmytym otoczeniu. Uzyskane wyniki są obiecujące i wskazują potencjał tej metody. Opracowany algorytm może być narzędziem wspomagającym dla nawigatora do podejmowania decyzji w sytuacji zagrożenia kolizyjnego na morzu.

LITERATURA

- Bellman, R.E., Zadeh, L.A., 1970, *Decision Making in a Fuzzy Environment*, Management Science, no. 17.
- Kacprzyk, J., 2001, *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, WNT, Warszawa.
- Lazarowska, A., 2015, *Ship's Trajectory Planning for Collision Avoidance at Sea Based on Ant Colony Optimisation*, Journal of Navigation, vol. 68, no. 2, s. 291–307.
- Lisowski, J., 2015, *Sensitivity of the Game Control of Ship in Collision Situations*, Polish Maritime Research, vol. 22, no. 4(88), s. 27–33.
- Mohamed-Seghir, M., 2012, *The Branch-and-bound Method and Genetic Algorithm in Avoidance of Ships Collisions in Fuzzy Environment*, Polish Maritime Research, vol. 19. Special Issue, s. 45–49.
- Szłapczyński, R., 2014, *Evolutionary Sets of Safe Ship Trajectories with Speed Reduction Manoeuvres within Traffic Separation Schemes*, Polish Maritime Research, vol. 21, no. 1(81), s. 20–27.
- Śmierczalski, R., Michalewicz, Z., 2000, *Modeling of Ship Trajectory in Collision Situations by an Evolutionary Algorithm*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 4, s. 227–241.