

## EWOLUCYJNA METODA WYZNACZANIA ZADANEJ TRAJEKTORII STATKU Z ZASTOSOWANIEM MECHANIZMU NISZOWANIA

Piotr KOLENDO, Łukasz KUCZKOWSKI, Anna WITKOWSKA, Roman ŚMIERZCHALSKI

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel: 58 347 14 02 fax: 58 347 14 02 e-mail: pkolendo@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Artykuł prezentuje implementację mechanizmu niszczenia do ewolucyjnej metody wyznaczania zadanej trajektorii statku. W metodzie proponowane jest porównywanie różnorodności osobników w oparciu o fizyczną odległość między trajektoriami. Badania pokazują, że takie podejście zwiększa efektywność eksploracji przestrzeni rozwiązań dzięki czemu osiąga się poprawę końcowej wartości funkcji przystosowania. Problem poszukiwania ścieżki przejścia rozpatrywany jest w oparciu o sytuacje kolizyjne na morzu.

**Słowa kluczowe:** algorytmy ewolucyjne, niszczenie, planowanie ścieżek przejść.

### 1. WSTĘP

Zagadnienie planowania ścieżki przejścia obiektu ruchomego występuje w wielu aplikacjach technicznych, na przykład w problemie planowania ruchu robotów mobilnych [1],[2] lub też wyznaczania bezpieczniejszej trasy statku w sytuacji kolizyjnej na morzu [3],[4],[5]. Problem ten definiuje się następująco: dany jest ruchomy obiekt o określonych własnościach dynamicznych i kinematycznych oraz środowisko, w którym obiekt się porusza. Należy znaleźć ścieżkę przejścia obiektu między punktem początkowym i końcowym, spełniającą warunki omijania przeszkód statycznych i dynamicznych występujących w środowisku oraz kryteria optymalizacyjne. Biorąc pod uwagę wcześniejsze prace [3],[4],[5],[6] problem rozwiązywany jest przy użyciu adaptacyjnej metody ewolucyjnej [1],[3],[7].

Artykuł zorganizowany jest w następujący sposób: W rozdziale drugim przedstawiono ewolucyjny algorytm planowania ścieżek przejść. Rozdział trzeci przedstawia proponowany mechanizm niszczenia, a w rozdziale czwartym prezentowane są wyniki badań. Rozdział piąty podsumowuje artykuł.

### 2. EWOLUCYJNA METODA PLANOWANIA ŚCIEŻEK PRZEJŚĆ

Ewolucyjna metoda planowania ścieżek jest metodą niedeterministyczną opartą na mechanizmie selekcji naturalnej. Największymi zaletami metody są wbudowane mechanizmy adaptacyjne dla środowisk dynamicznych oraz

możliwość rozwiązywania wielokryterialnych zadań optymalizacyjnych w czasie rzeczywistym.

Algorytm ewolucyjny poszukuje optymalnego rozwiązania przy użyciu techniki globalnej eksploracji przestrzeni rozwiązań poprzez eksploatację obszarów lokalnych uznanych jako „obiecujące”. Celem eksploracji jest lokalizacja odosobnionych obszarów przyciągania ekstremum lokalnego. Równowaga pomiędzy eksploracją i eksploatacją ma znaczący wpływ na sposób działania algorytmu. Algorytm ewolucyjny powinien być w stanie opuścić obszar przyciągania lokalnego a z drugiej strony powinien szybko dążyć do optimum.

W pierwszym kroku algorytmu generowana jest populacja losowa. W drugim przy użyciu wybranego mechanizmu selekcji, wyznacza się określoną liczbę osobników, która zostanie przeniesiona do populacji tymczasowej. Następnie operatory genetyczne takie jak krzyżowanie czy mutacja modyfikują osobniki populacji tymczasowej. W kolejnym kroku tworzona jest nowa populacja, która składa się z najlepszych osobników populacji podstawowej i najlepszych osobników populacji tymczasowej. Algorytm powtarza wyżej wymienione kroki aż do osiągnięcia warunku końcowego, jakim jest maksymalna liczba generacji.

### 3. MECHANIZM NISZOWANIA W EWOLUCYJNEJ METODZIE PLANOWANIA ŚCIEŻEK PRZEJŚĆ

Mechanizm niszczenia w metodzie ewolucyjnej inspirowany jest obserwacjami zaczerpniętymi ze świata organizmów żywych. Oparty jest na założeniu, że niektóre gatunki o niskim w danym momencie przystosowaniu do środowiska, mogą rozwijać się niezależnie i nie zostać zdominowane, jeżeli istnieje bariera geograficzna (np. odległość) oddzielająca je od gatunków lepiej w danym momencie przystosowanych. Gatunki te mogą okazać się znacznie lepiej przystosowane w przyszłości, jeżeli nastąpi dynamiczna zmiana warunków środowiska. W ujęciu algorytmicznym poprzez barierę rozumie się odległość pomiędzy grupami ścieżek. Ścieżki o niższej wartości funkcji przystosowania nie zostaną zdominowane, jeżeli odległość między nimi, w odniesieniu do najlepszego osobnika, jest

dostatecznie duża. W późniejszych etapach algorytmu zachowane ścieżki mogą prowadzić do poprawy rozwiązań końcowych, ponieważ algorytm zachowuje różnorodność populacji.

Mechanizm niszowania przedstawiony w tym artykule opiera się na koncepcji klasycznej zaprezentowanej w [8]. Na tej podstawie wyznacza się zmodyfikowaną wartość funkcji przystosowania (1), (2).

$$f' = \frac{f}{\sum_{j=1}^n s(d_j)} \quad (1)$$

$$s(d_j) = \begin{cases} d_j < \sigma \rightarrow 1 - \left(\frac{d_j}{\sigma}\right) \\ d_j \geq \sigma \rightarrow 0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$f$  – funkcja przystosowania

$n$  – liczba osobników w populacji

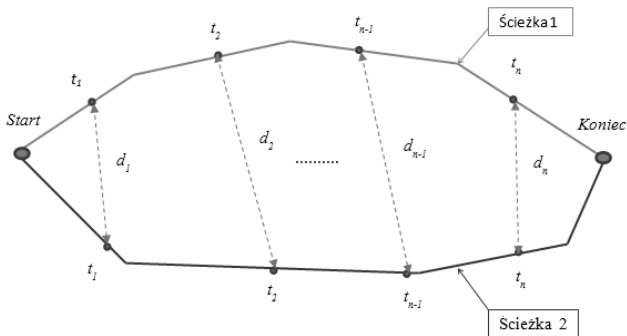
$d$  – odległość między dwoma osobnikami populacji

$\sigma$  – rozmiar niszy

$j$  – numer osobnika.

W celu zachowania różnorodności między osobnikami, tworzone są nisze poprzez grupowanie rozwiązań „podobnych” (wg. kryterium odległości fizycznej, nie wartości funkcji przystosowania). Podobne rozwiązania są tymi, które zawierają się w danej niszy. Rozmiar niszy determinowany jest przez parametr  $\sigma$ . Sposób wyznaczenia odległości między osobnikami przedstawiony został na Rysunku 1 oraz opisany w równaniu (3).

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} d_i \quad (3)$$



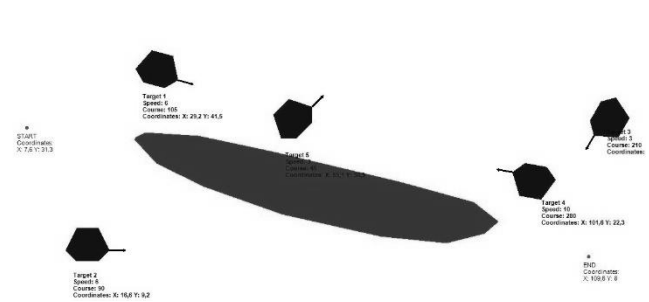
Rysunek 1. Sposób wyliczania odległości między dwoma osobnikami.

#### 4. BADANIA SYMULACYJNE

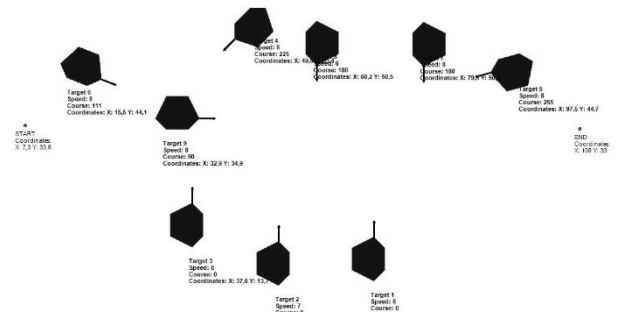
Do celów badawczych użyto 5 przykładowych sytuacji kolizyjnych na morzu o różnym stopniu

skomplikowania. Przykładowe sytuacje kolizyjne zostały przedstawione na Rysunku 2 i 3. Środowisko składa się z przeszkód dynamicznych oraz statycznych. Przeszkoda statyczna przedstawiona została jako szary wielokąt (Rysunek 2), natomiast przeszkody dynamiczne poprzez czarne wielokąty scharakteryzowane przez kurs oraz prędkość. Dodatkowo w przedstawionych sytuacjach kolizyjnych pokazany jest startowy oraz końcowy punkt podróży.

Parametry algorytmu: prawdopodobieństwo krzyżowania wynosiło 0.7, prawdopodobieństwo mutacji 0.2, rozmiar populacji 40 osobników. Do wyliczeń zastosowano algorytm z częściowo wymienną populacją, gdzie stopień wymiany wynosił 25%. W oparciu o przeprowadzone badania ustawiono warunek końcowy algorytmu na poziomie 700 generacji.



Rysunek 2. Pierwsza testowa sytuacja kolizyjna na morzu



Rysunek 3. Druga testowa sytuacja kolizyjna na morzu

Wyniki prezentowane w Tabeli 1 oraz Tabeli 2 pokazują ogólny trend badań (Podana jest końcowa wartość funkcji przystosowania) dla prezentowanych środowisk symulacyjnych. Wyniki dla środowiska o małym stopniu skomplikowania (ilość przeszkód: od 1 do 4 przeszkód dynamicznych, 0-2 przeszkód statycznych) zostały przedstawione w Tabeli 1, natomiast dla bardziej złożonych (7-10 przeszkód dynamicznych, 0-4 przeszkód statycznych) w Tabeli 2. Wyniki badań zostaną omówione w oparciu o wartości parametrów, które mają największy wpływ na efektywność pracy mechanizmu niszowania.

Tabela 1. Wyniki badań dla przykładowego środowiska o małym stopniu skomplikowania

Numer porządkowy populacji początkowej	Wartość analizowanego parametru	Końcowa wartość funkcji przystosowania					
		1	2	3	4	5	6
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania o różnych rozmiarach niszy ( $\sigma$ )	40	218	234	303	328	259	303
	100	269	223	429	302	283	326
	1000	273	255	407	315	321	334
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania dla różnej liczby punktów użytej do porównywania odległości między osobnikami ( $t_i$ )	3	257	210	222	218	266	265
	6	266	218	217	237	249	218
	7	266	245	288	218	359	276
	10	289	243	303	328	372	303
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania poprzez określoną liczbę generacji (stała wartość $\sigma$ oraz $t_i$ , maksymalna ilość generacji wynosi 700)	0-700	276	295	340	218	220	222
	0-400	217	217	222	220	219	286
	0-200,300-500	219	287	217	332	298	257
Wyniki dla algorytmu z wyłączonym mechanizmem niszowania		225	217	234	268	218	291

Tabela 2. Wyniki badań dla przykładowego środowiska o zwiększonym stopniu skomplikowania

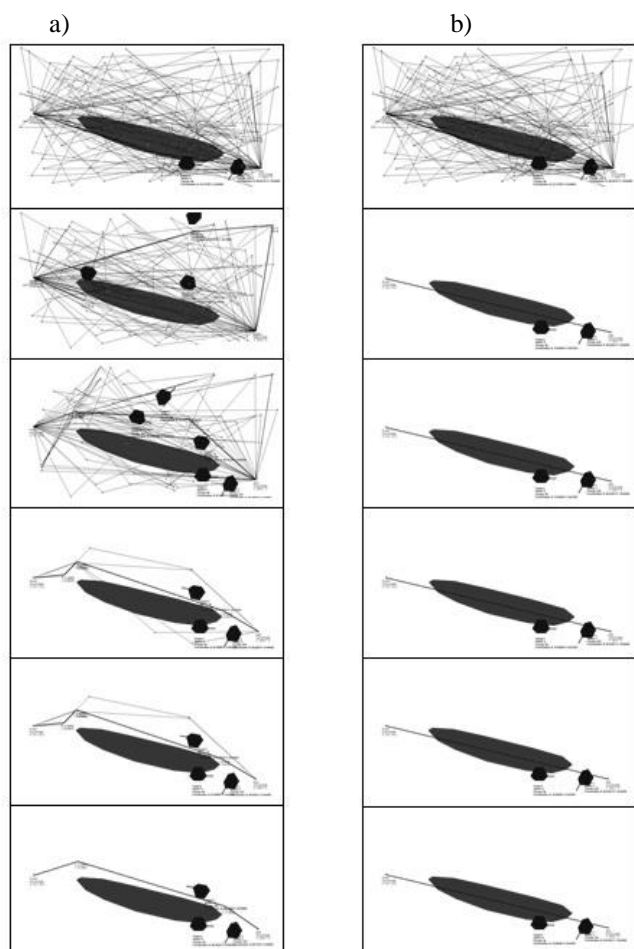
Numer porządkowy populacji początkowej	Wartość analizowanego parametru	Końcowa wartość funkcji przystosowania					
		1	2	3	4	5	6
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania o różnych rozmiarach niszy ( $\sigma$ )	40	293	345	432	328	436	383
	100	369	415	421	344	389	473
	1000	449	517	513	522	490	530
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania dla różnej liczby punktów użytej do porównywania odległości między osobnikami ( $t_i$ )	3	319	332	456	298	388	403
	6	347	329	530	368	418	390
	7	334	443	617	455	409	491
	10	544	708	480	603	457	508
Wyniki dla algorytmu z załączonym mechanizmem niszowania poprzez określoną liczbę generacji (stała wartość $\sigma$ oraz $t_i$ , maksymalna ilość generacji wynosi 700)	0-700	503	642	653	580	459	516
	0-400	289	314	415	352	320	387
	0-200,300-500	670	340	459	613	318	433
Wyniki dla algorytmu z wyłączonym mechanizmem niszowania		493	690	789	953	519	845

W pierwszym etapie badań wyznaczono rozmiar niszy oraz liczbę punktów  $t_i$  używaną do wyliczenia odległości pomiędzy osobnikami. Oba parametry są ściśle ze sobą związane, ponieważ od liczby punktów ( $t_i$ ) zależy całkowita odległość między osobnikami. Na podstawie badań można stwierdzić, że liczba punktów powinna wynosić od 3 do 6. W przypadku większej liczby punktów wyniki otrzymywane przez algorytm nie odzwierciedlają rzeczywistej różnicy w odległościach między ścieżkami, co skutkuje nieprawidłową pracą mechanizmu niszowania. Prowadzi to do obniżenia zdolności przeszukiwania przestrzeni rozwiązań przez algorytm, jak również negatywnie wpływa na eksploatację ekstremów lokalnych.

Badania pokazują że rozmiar niszy powinien kształtować się na poziomie 15-20% przeciętnej długości ścieżki. Jak można zaobserwować w przedstawionych wynikach, pozwoliło to na osiągnięcie najlepszych rezultatów (Rozmiar równy 40 w rozpatrywanym przypadku). Przy zwiększeniu rozmiaru niszy, zdolności eksploatacyjne algorytmu zmniejszyły się, ponieważ większość rozwiązań koncentrowała się wokół najlepszego, obniżając ich wartości funkcji przystosowania. Wpłynęło to na pogorszenie zarówno zdolności eksploracyjnych jak i eksploatacyjnych algorytmu, ponieważ większość ścieżek należy do tej samej niszy i ich konkurencyjność jest uśredniana.

Do badań zaproponowano trzy warianty stosowania mechanizmu niszowania: Stosowanie niszowania podczas

całego procesu ewolucji, użycie przez określoną liczbę generacji początkowych oraz użycie naprzemienne (poprzez określoną liczbę generacji niszczenie było załączane lub wyłączane). Badania pokazały, że stosowanie mechanizmu poprzez wszystkie generacje ma negatywny wpływ na uzyskane rozwiązania końcowe. Jak już wspomniano, poprzez zastosowanie mechanizmu niszczenia, osłabione zostają zdolności eksploatacyjne algorytmu, dlatego też pomimo posiadania lepszych zdolności eksploracyjnych, algorytm ma problemy z eksploatacją znalezionych ekstremów. Wyniki otrzymywane przy użyciu metody naprzemiennej były niestabilne, dlatego też nie zaleca się jej stosowania. Najlepsze rezultaty można osiągnąć używając mechanizmu niszczenia w trakcie pierwszych 70% generacji. W końcowej fazie pracy algorytm powinien koncentrować się na eksploatacji istniejących nisz i mechanizm powinien zostać wyłączony.

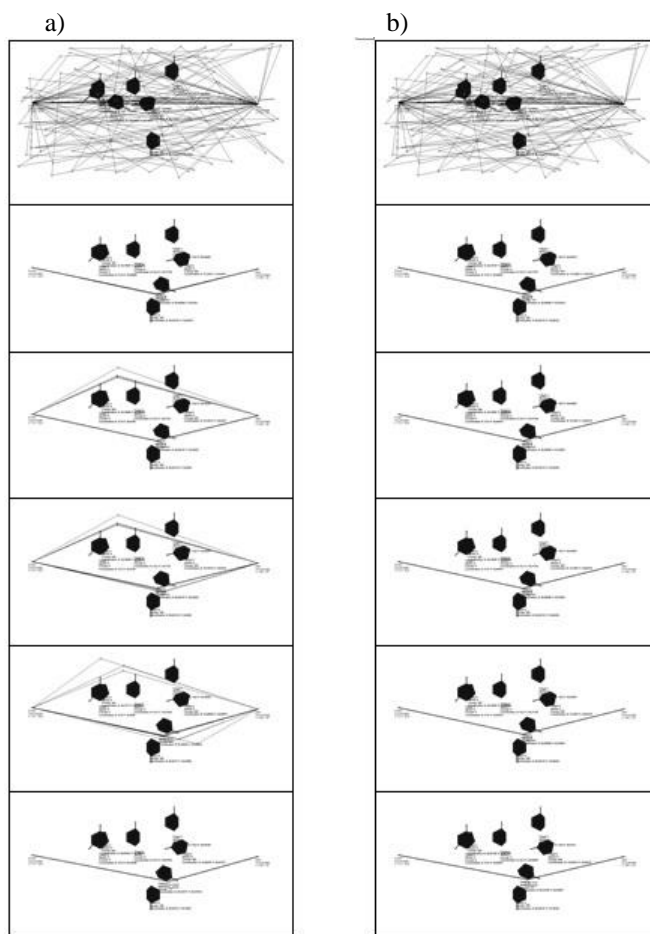


Rys. 4 a) Przykładowa sytuacja kolizyjna dla algorytmu z mechanizmem niszczenia, populacja po 0, 50, 150, 250, 400, 700 generacjach. b) Sytuacja kolizyjna dla algorytmu bez zastosowania mechanizmu niszczenia po 0, 50, 150, 250, 400, 700 generacjach.

Na Rysunku 4 oraz Rysunku 5 zostały przedstawione przykładowe wyniki symulacji dla prezentowanych wcześniej sytuacji kolizyjnych na morzu. Przedstawiony został proces ewolucji w różnych stadiach pracy algorytmu. Bez stosowania mechanizmu niszczenia algorytm po określonym czasie zazwyczaj koncentruje się wokół jednego ekstremum i eksploatuje go. Przy stosowaniu wariantu z niszczeniem, alternatywne rozwiązanie pojawia się prawie zawsze przez co

różnorodność populacji zachowywana jest znacznie dłużej. Widać to w przedstawionych sytuacjach kolizyjnych, gdzie algorytm z mechanizmem niszczenia nawet po 400 generacjach zachowuje różnorodność rozwiązań (alternatywnych ścieżek) podczas gdy bez niego koncentruje się wyłącznie wokół jednego ekstremum.

W przypadku nieskomplikowanych sytuacji kolizyjnych użycie niszczenia nie wpłynęło zauważalnie na końcową wartość funkcji przystosowania. Wynika to z faktu, że proste środowiska posiadają mniej alternatywnych rozwiązań i zazwyczaj istnieje jedna dominująca nisza, która jest eksploatowana.



Rys. 5 a) Przykładowa sytuacja kolizyjna dla algorytmu z mechanizmem niszczenia, populacja po 0, 50, 150, 250, 400, 700 generacjach. b) Przykładowa sytuacja kolizyjna dla algorytmu bez mechanizmu niszczenia po 0, 50, 150, 250, 400, 700 generacjach.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, iż dla złożonych środowisk testowych stosowanie mechanizmu niszczenia pozwala na poprawę uzyskiwanych końcowych wartości funkcji przystosowania, ponieważ stosowany mechanizm pozwala na utrzymanie różnorodności populacji poprzez większą ilość generacji, co prowadzi do lepszego przeszukania przestrzeni rozwiązań. Dla optymalnego wykorzystania mechanizmu niszczenia konieczne jest zwiększenie liczby generacji w porównaniu do przypadku bez opisywanego mechanizmu. Zwiększa to nakład obliczeniowy o około 15-20%, jednak rozwiązania wciąż otrzymywane są w czasie rzeczywistym.

Proponowana metoda porównywania trajektorii (mechanizm niszczenia) może być wykorzystana nie tylko w

przypadku problemu wyznaczania zadanej trajektorii statku, ale również w innych zastosowaniach (np. planowanie ścieżek dla robotów mobilnych), ponieważ proponowane rozwiązanie nie jest związane z dynamiką konkretnego obiektu.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Xiao, J., Michalewicz, Z., Zhang, L., and Trojanowski, K.: Adaptive Evolutionary Planner/Navigator for Mobile Robots, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.1, No.1, pp.18-28 (1997).
2. Yap, C.-K.: Algorithmic Motion Planning. In Advances in Robotics, Vol.1: Algorithmic and Geometric Aspects of Robotics. J.T. Schwartz and C.-K. Yap Ed. Lawrence Erlbaum Associates, pp.95 - 143 (1987).
3. Śmierchalski, R.: Trajectory planning for ship in collision situations at sea by evolutionary computation. In Proceedings of the IFAC MCMC'97, Brijuni, Croatia (1997).
4. Śmierchalski R. and Michalewicz, Z., Modeling of a Ship Trajectory in Collision Situations at Sea by Evolutionary Algorithm, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.4, No.3, pp.227-241 (2000).
5. Śmierchalski, R., Michalewicz, Z.: Path Planning in Dynamic Environments. Chapter in "Innovations in Machine Intelligence and Robot Perception". Springer-Verlag, pp.135-154 (2005).
6. Michalewicz, Z.: Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Spriger-Verlang, 3rd edition, (1996).
7. Wall, M.: GALib: A C Library of Genetic Algorithm Components, MIT (1996)
8. Goldberg, D.E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co.. Inc. Boston, MA, USA, (1989)

## EVOLUTIONARY METHOD OF SHIP PATH PLANNING WITH THE APPLICATION OF NICHING MECHANISM

**Key-words:** evolutionary algorithms, niching, ship path planning

Paper presents the application of niching mechanism in the ship evolutionary path planning method. In presented method the comparison of individuals diversity is proposed according to physical distance between paths. Paper presents advantages and disadvantages of such approach in comparison to classic method. The problem is considered for several ship collision avoidance scenarios at different levels of difficulty.

