

mgr inż. Tomasz Leszczyński
Akademia Marynarki Wojennej

WPLYW PARAMETRÓW EWOLUCYJNYCH NA DZIAŁANIE METODY WYBORU DROGI BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU PODWODNEGO

W pracy przedstawiony został sposób tworzenia funkcji oceny dla metody wyboru drogi. Do analizy wykorzystany został model matematyczny pojazdu podwodnego typu „Ukwiał”, dzięki któremu jest możliwość symulacyjnego sprawdzenia metody wyboru drogi.

Metoda wyboru drogi tworzona jest z wykorzystaniem algorytmu genetycznego, czego główną konsekwencją jest to, że większość prac skupionych jest na funkcji oceny, a szczególnie na jej złożoności.

Przedstawione zostały również pokrótce wyniki badań wpływu parametrów algorytmu genetycznego na metodę oraz kolejne wynikające z tego wnioski.

INFLUENCE OF EVOLUTIONARY PARAMETERS ON OPERATING OF METHOD OF ROUTE SELECTION FOR UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

The proposal of the solving the problem of creating the evaluation function for the method of route selection for unmanned underwater vehicle is presented in this paper. Moreover, the assumptions enabling the creating this function and the suggestions of its simplification are also presented, which minimize computational complexity of calculations. Finally preliminary results of numerical research for not quite a form of the evaluation function and influence of parameters of genetic algorithm on the method are shown.

1. WSTĘP

We wszystkich opracowaniach na temat algorytmów genetycznych podkreśla się, że funkcja oceny jest ważnym ich składnikiem, który ma zasadniczy wpływ na ich działanie podczas poszukiwania przez nie optymalnego rozwiązania problemów, w których zostały wykorzystane. Przy jej tworzeniu zwraca się uwagę na złożoność obliczeniową z uwagi na to, że podczas poszukiwania rozwiązania problemu następuje ogromna liczba odwołań do funkcji oceny. Tak więc zbudowanie jak najprostszej postaci analitycznej funkcji oceny przyczynia się do skrócenia czasu poszukiwania zadowalającego rozwiązania przez procedurę optymalizacji [3, 5].

We wcześniejszych pracach [8, 9] zostały już dokładnie przedstawione wszystkie założenia związane z procesem tworzenia funkcji oceny dla metody wyboru drogi w szczególności dla pojazdów bezzałogowych autonomicznych. Jest to uwarunkowane tym, że pojazdy te:

- zasilane są z pokładowych źródeł energii elektrycznej, zaś pojazdy na uwięzi (typu ROV) są zasilane poprzez kablolinę zwaną pępowiną z okrętu;
- wykonują samodzielnie zadania przez zdecydowanie dłuższy czas niż pojazdy na uwięzi, które działają w pobliżu okrętu, dlatego też muszą być wyposażone we własny system decyzyjny, umożliwiający ich autonomiczną pracę.

Po przeanalizowaniu problemu wykorzystania modelu pojazdu podwodnego dla potrzeb dostrójenia wspomnianej funkcji oceny okazało się, że nieliniowy model matematyczny pojazdu

podwodnego jest zbyt skomplikowany i wymaga dużo obliczeń pochłaniających dużo czasu. W ramach tej pracy m.in. zostanie przedstawione jak ten model można przekształcić dla potrzeb metody wyboru drogi.

Aktualnie na wyposażeniu okrętów walki przeciwminowej MW dostępne są tylko pojazdy „Ukwiał” zaprojektowane przez Politechnikę Gdańską. Dla tych pojazdów, które są ROV, jest dostępny model matematyczny, który był w dużej mierze punktem wyjścia do analizy przedstawianego problemu.

Przy wykorzystaniu tego modelu matematycznego zostało przyjęte założenie, że pominięty zostanie wpływ kabloliny, dzięki temu pojazd „Ukwiał” zostanie potraktowany w badaniach symulacyjnych jako pojazd autonomiczny.

1.1. Funkcja oceny

Dla zadania wyboru drogi pojazdu podwodnego funkcja oceny $C_T(S)$ jest przedstawiana następująco [7-9]:

$$C_T(S) = C_S(S) + C_E(S) \quad (1)$$

gdzie:

$C_S(S)$ – koszt bezpieczeństwa;

$C_E(S)$ – koszt ekonomiczny;

S – sprawdzana trajektoria.

Warunek bezpieczeństwa określa, że sprawdzana trasa nie przekracza nałożonych ograniczeń dynamicznych i statycznych zarówno stałych jak i poruszających się obiektów [7]. Przyjęto, że obszary niebezpieczne wokół obiektów oraz pojazdu mają kształt koła. Założenie takie pozwala zmniejszyć czas obliczeń zarówno w początkowej fazie realizacji jak i testowania.

W proponowanym rozwiązaniu przyjęty został prosty system „kar”, tzn. jeśli jakiś odcinek trasy znajduje się w strefie niebezpiecznej, to zostanie to uwzględnione w wartości oceny całej drogi jako, że przechodzi ona przez strefę niebezpieczną.

Nie mniej ważne jak bezpieczeństwo drogi jest koszt ekonomiczny przejścia daną drogą. W przypadku funkcji kosztu ekonomicznego $C_E(S)$ możemy przedstawić ją w następująco [7-9]:

$$C_E(S) = A_D C_D(S) + A_K C_K(S) + A_P C_P(S) \quad (2)$$

gdzie:

$C_D(S)$ – funkcja całkowitej długości trajektorii,

$C_K(S)$ – funkcja sumy kątów zwrotu:

$C_P(S)$ – funkcja aktywności pędników:

$$C_P(S) = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=1}^4 |n_{ij}| \quad (3)$$

gdzie:

k – ilość rozpatrywanych odcinków drogi

n_{ij} – „średnie” obroty danego pędnika dla danego odcinka drogi

4 – ilość pędników poziomych w pojeździe podwodnym

A_D, A_K, A_P – współczynniki skalowania składników ekonomicznych.

W związku z przyjętym założeniem, że przy pokonywaniu drogi pojazd podwodny porusza się ze stałą prędkością widoczne jest proste powiązanie całkowitej długości całej drogi z czasem potrzebnym do jej przebycia.

Dla autonomicznych pojazdów podwodnych realizujących swoje zadania przez długi czas istotne jest szacowanie energii wydatkowanej na układ zasilania niezbędnej do pokonania tej drogi. Możliwe zmniejszenie złożoności obliczeniowej szacowania poprzez podzielenie jej na:

- energię potrzebną na pokonanie odcinków pomiędzy punktami zwrotu
- energię potrzebną na zmianę kierunku poruszania się pojazdu w punktach zwrotu.

Efektom tego jest to, że na odcinkach pomiędzy punktami zwrotu możemy założyć, że siły działające na pojazd równoważą się, stąd – wykorzystując prawo zachowania pędu – zakłada się, że pojazd porusza się ruchem jednostajnym. Na podstawie tego możemy określić wypadkowy wektor sił generowanych przez pędniki układu napędowego. Na jego podstawie można oszacować niezbędny wydatek energetyczny. Pozwala to na wyznaczenie dla danej konfiguracji pędników konfiguracji naporów, a tym samym określenie prędkości obrotowych na pędnikach z wykorzystaniem np. rodziny nieliniowych charakterystyk zależności siły naporu wytwarzanej przez pędnik od prędkości obrotowej dla różnych prędkości pojazdu [3]. Podejście to pozwala oszacować zużycie energii na danym odcinku drogi. Jest to wyrażone w postaci funkcji aktywności pędników.

Natomiast energia potrzebna na zmianę kierunków poruszania się pojazdu podwodnego w punktach zwrotu oszacowana będzie poprzez wartość sumaryczną kątów ich zmian. Istotne jest, by ta suma zmian miała łączną kątową wartość jak najmniejszą [7]. Powyższe podejście powoduje, że w miejsce szacowania energii zużytej na wykonanie manewrów, zajmujemy się znacznie mniej kłopotliwą minimalizacją wartości kątów zmian kierunków ruchu pojazdu w punktach zwrotu. Jest to wyrażone w postaci funkcji sumy kątów zwrotu.

1.2 Uproszczenia modelu matematycznego PP „Ukwiął”

Równania ruchu pojazdu podwodnego:

$$m[\dot{u} - v \cdot r + x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] = X \quad (4)$$

$$m[\dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] = Y \quad (5)$$

$$m[\dot{w} - uq + v \cdot p - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] = Z \quad (6)$$

$$I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr - (\dot{r} + pq)I_{xz} + (r^2 + q^2)I_{yz} + (pr - \dot{q})I_{xy} + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] = K \quad (7)$$

$$I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp - (\dot{p} + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{zx} + (qp - \dot{r})I_{yz} + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] = M \quad (8)$$

$$I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq - (\dot{q} + rp)I_{yz} + (q^2 - p^2)I_{xy} + (rq - \dot{p})I_{zx} + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr + wq)] = N \quad (9)$$

Trzy pierwsze równania (4-6) odnoszą się do ruchów postępowych, natomiast trzy kolejne (7-9) do ruchów obrotowych. Lewe strony układu równań stanowią uogólnione siły bezwładności a prawe składowe uogólnionych sił zewnętrznych.

Przy założeniu, że początek nieruchomego układu współrzędnych pokrywa się ze środkiem ciężkości, oraz pomijając mniej znaczące dla potrzeb symulacji produkty bezwładności, otrzymuje się uproszczony układ sześciu równań skalarnych:

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - v \cdot r + wq) &= X & I_{x_G} \dot{p} + (I_{z_G} - I_{y_G})qr &= K \\
 m(\dot{v} - wp + ur) &= Y & I_{y_G} \dot{q} + (I_{x_G} - I_{z_G})rp &= M \\
 m(\dot{w} - uq + v \cdot p) &= Z & I_{z_G} \dot{r} + (I_{y_G} - I_{x_G})pq &= N
 \end{aligned} \tag{10}$$

Na odcinkach trajektorii przyjęte zostało założenie, że siły działające na pojazd równoważą się oraz, że zamiast przeprowadzania analizy zachowania pojazdu w punktach zwrotu powinno się doprowadzić do sytuacji, w której suma kątów zmiany kierunków na drodze będzie najmniejsza.

Konsekwencją takiego postępowania jest kolejne uproszczenie równań ruchu pojazdu dla potrzeb wykorzystania ich w funkcji oceny algorytmu genetycznego do następującej postaci:

$$\begin{aligned}
 m\dot{u} &= X & 0 &= K \\
 m\dot{v} &= Y & 0 &= M \\
 m\dot{w} &= Z & 0 &= N
 \end{aligned} \tag{11}$$

Z uwagi na to, że ograniczone zostało wcześniej rozpatrywanie działania pojazdu podwodnego do poruszania się jego do płaszczyzny, w symulacji wektor wymuszeń wypadkowych działających na pojazd możemy przedstawić następująco:

$$\tau = [m\dot{u}, m\dot{v}, 0, 0, 0, 0] \tag{12}$$

Pozwala nam to określić wektor sił działających na pojazd na odcinku trajektorii mając daną wartość prędkości z jaką ma poruszać się pojazd na tym odcinku.

Wykorzystując procedurę obliczania naporów pędników poziomych z [3] możliwe jest określenie najlepszego rozdziału naporów:

$$f = \frac{1}{4} W \begin{bmatrix} 0 \\ Q^{-1} \tau_z \end{bmatrix} \tag{13}$$

gdzie:

W - ortogonalnej macierzy Walsh,

τ_z - zadany wektor sił i momentu,

Q - diagonalna macierz potrzebna do dekompozycji konfiguracji pędników.

Taki rozdział jest konieczny dla określenia optymalnej funkcji aktywności pędników. W przypadku pojazdu klasy „Ukwiął” konieczność określenia optymalnego zużycia energii na odcinkach między punktami zwrotu.

Wartość obrotów pędnika można określić w przybliżeniu z modelu samego pędnika wykorzystując zależność [10]:

$$T = \rho \cdot D^4 \cdot K_T (J_0) \cdot |n| \cdot n \tag{14}$$

gdzie:

T – napór pojedynczego pędnika śrubowego,

ρ – gęstość wody,

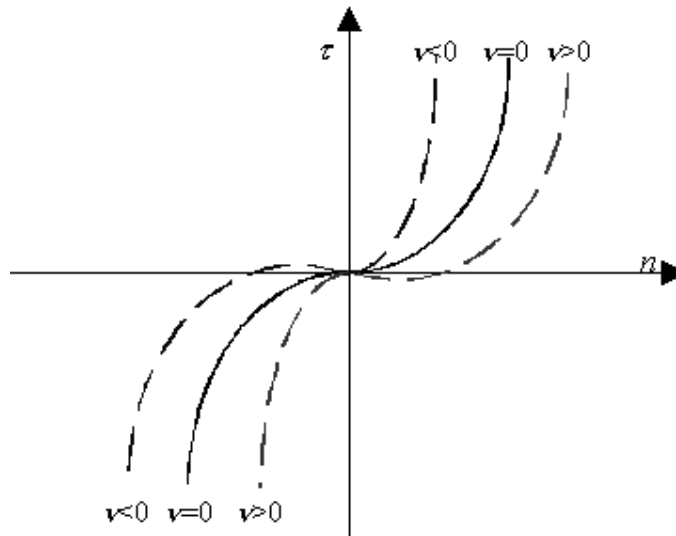
D – średnica śruby,

K_T – współczynnik naporu,

J_0 – współczynnik posuwu, czyli $J_0 = V_a / (n \cdot D)$, gdzie V_a – prędkość postępową śruby w cieczy,

n – prędkość obrotowa śruby napędowej

Obliczenie ze wzoru (14) wartości obrotów jest dość kłopotliwe ze względu na parametry K_T oraz J_0 , dlatego w przypadku pojazdu „Ukwiał” jest możliwość wykorzystania z rodziny nieliniowych charakterystyk zależności wektora wymuszenia od prędkości obrotowej pędnika dla różnych prędkości pojazdu (Rys. 1), która wyznaczona została eksperymentalnie dla prędkości $v=0$.



Rys. 1. Rodzina nieliniowych charakterystyk zależności wektora wymuszenia τ od prędkości obrotowej n pędnika dla różnych prędkości pojazdu v . [8,10]

Mając w ten sposób wyznaczone prędkości obrotowe pędników można stwierdzić, że dla szacowania składnika zużycia energii na odcinkach trasy można użyć funkcji aktywności pędników (3), która pośrednio szacuje możliwą wartość zużycia energii na odcinkach drogi.

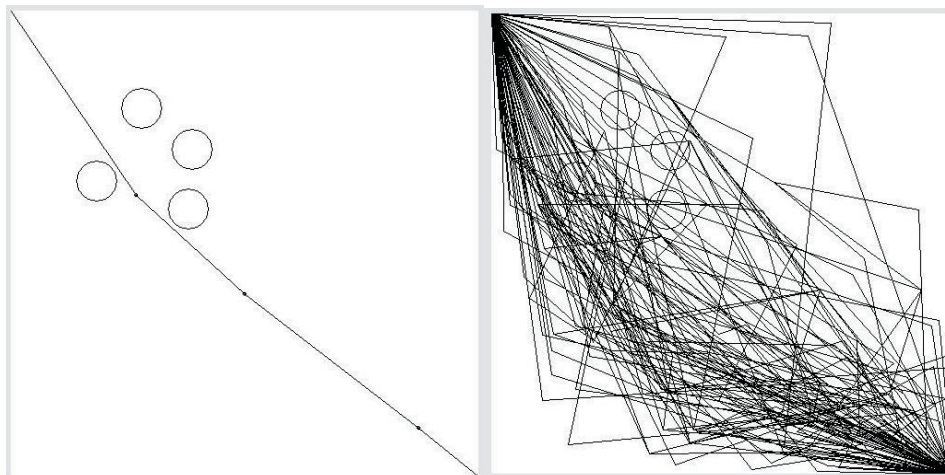
Równania (7-9) odnoszą się do ruchów obrotowych pojazdu. W tym przypadku najprostszym możliwym uproszczeniem możliwym do zastosowania jest to, że jeśli suma kątów zwrotu będzie minimalna, to energia potrzebna na ich wykonanie też powinna być minimalna lub bliska tej wartości. Takie podejście pozwoliło wyrazić te 3 równania w postaci funkcji sumy kątów zwrotu.

1.3. Wstępne badania symulacyjne

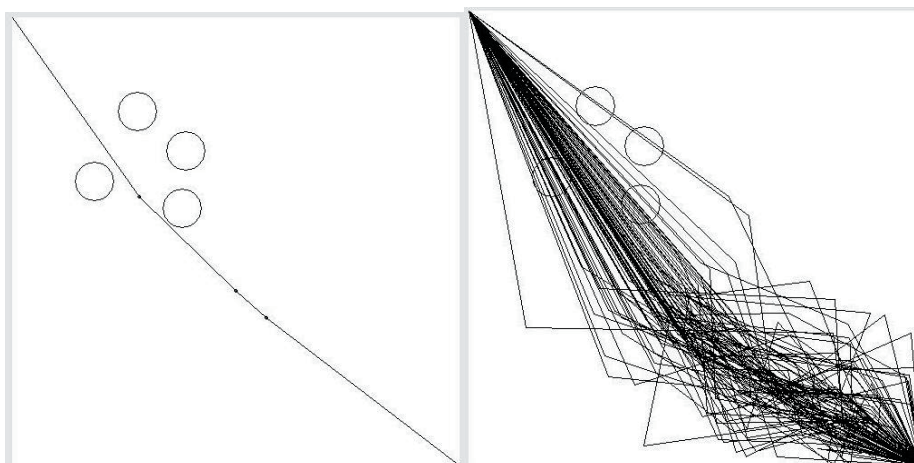
We wcześniej wspomnianych pracach wspomniane zostało, że z uwagi na złożoność obliczeniową zagadnienia, na potrzeby realizacji zadania, opracowany został pakiet programowy, który oprócz generowania dopuszczalnych tras dla pojazdu, poszukiwania drogi optymalnej, umożliwi również przeprowadzenie badania wpływu parametrów algorytmu genetycznego na szybkość procesu optymalizacji.

Podczas badań przyjęto, że obszary bezpieczne zarówno dla pojazdu podwodnego jak i obiektów napotkanych zostały zwiększone o zadaną wartość promienia strefy bezpieczeństwa. Ponadto ograniczono w tym programie liczbę możliwych punktów zwrotu dla planowanej drogi.

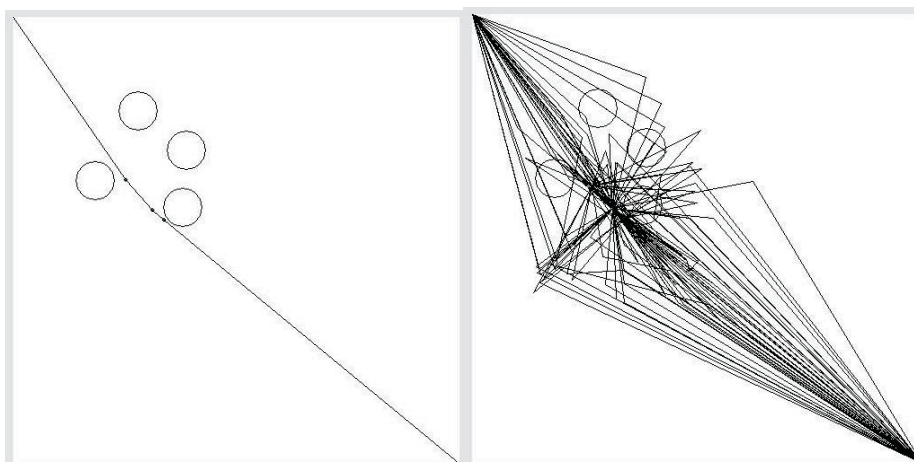
Na rys. 2a, 2b, 2c i 2d przedstawione zostały wybrane wyniki działania programu obliczającego optymalną drogę pojazdu, przy zadanych 3 punktach zwrotu oraz 4 przeszkodach w akwenu o wymiarach 500 m na 500 m. Przyjęto przy tym następujące parametry algorytmu genetycznego: maksymalna ilość iteracji – 1000, wielkość populacji: 100, różne rodzaje selekcji i funkcje krzyżowania, mutacja z prawdopodobieństwem 0,008.



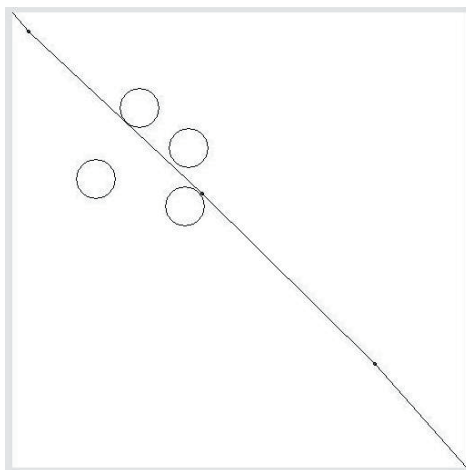
Rys. 2a. Rozwiązanie oraz wszystkie dostępne drogi w 100. iteracji dla funkcji selekcji –koła ruletki przy krzyżowaniu jednopunktowym z prawdopodobieństwem 0,8 (ocena rozwiązania 719,851)



Rys. 2b. Rozwiązanie oraz wszystkie dostępne drogi w 100. iteracji dla funkcji selekcji –koła ruletki przy krzyżowaniu arytmetycznym z prawdopodobieństwem 0,6 (ocena rozwiązania: 717,073)



Rys. 2c. Rozwiązanie oraz wszystkie dostępne drogi w 100. iteracji dla funkcji selekcji –turnieju o wielkości 8 przy krzyżowaniu arytmetycznym z prawdopodobieństwem 0,6 (ocena rozwiązania 715,431)



Rys. 2d. Rozwiązanie – droga utworzona przez metodę wyboru drogi
(ocena rozwiązania: 709,75)

2. PARAMETRY EWOLUCYJNE

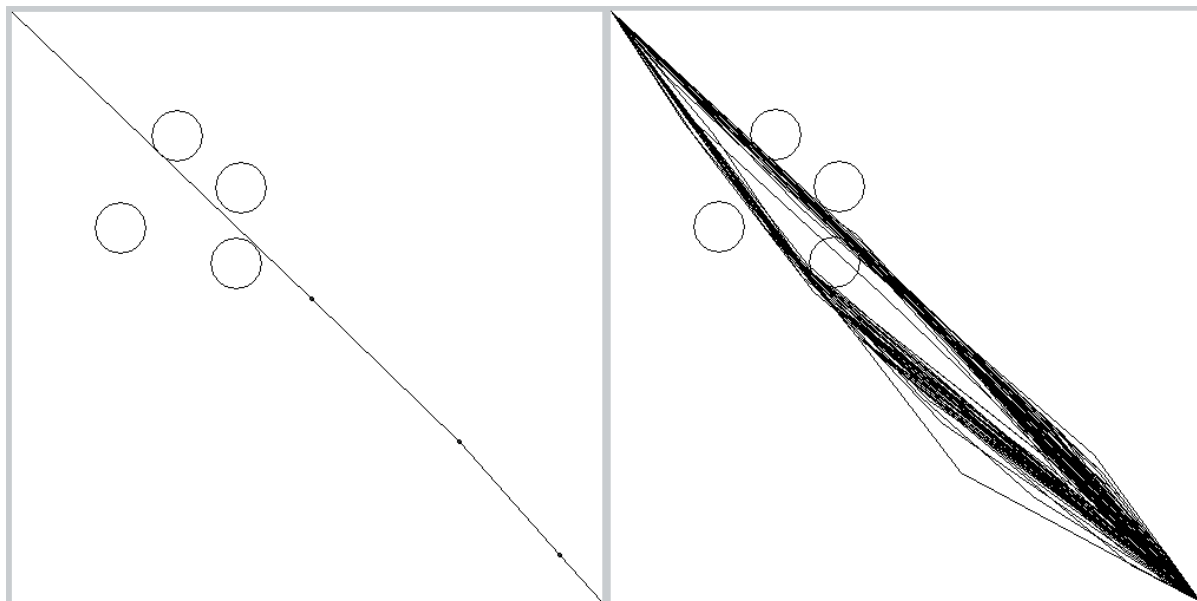
Podczas wstępnych badań symulacyjnych zaobserwowane zostało, że poszczególne parametry algorytmu genetycznego mają różny wpływ na działanie metody wyboru optymalnej drogi.

Zmiana większości elementów jest dostępna w jednej zakładce programu symulacyjnego „Algorytm genetyczny”. Pozostałe opcje środowiska znajdują się w zakładce „Funkcja”.

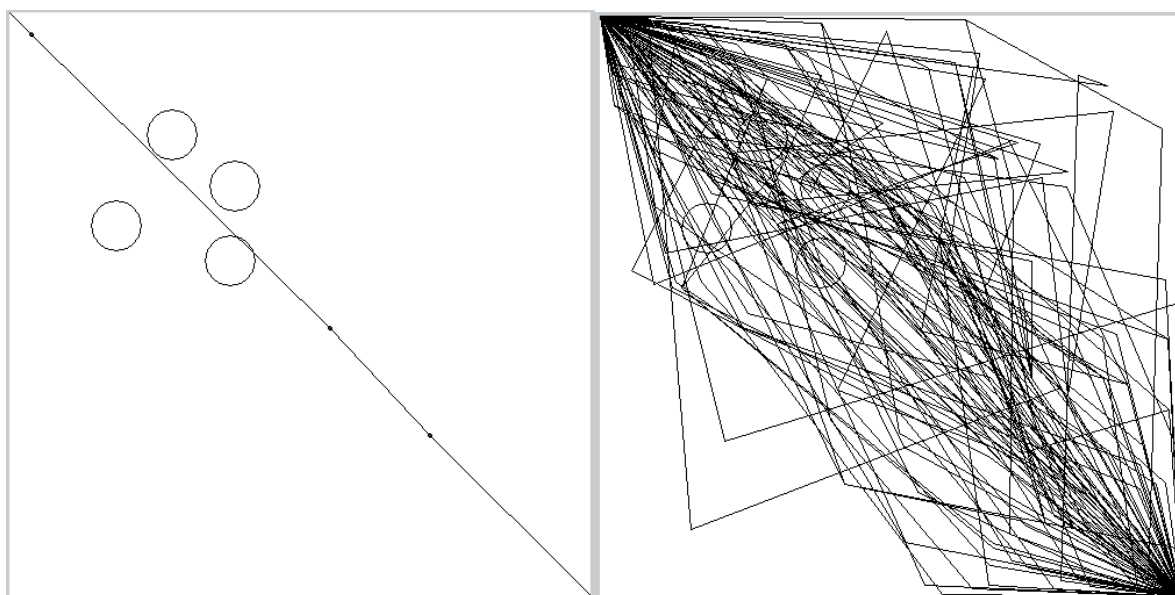
Funkcja	Rozwiązanie	Algorytm genetyczny	Zobrazowanie	Ustawienia	Debugowanie
Main options					
Number of iterations:	200	[Slider]			
Population size:	500	[Slider]			
Delay [ms]:	100	[Slider]			
Selection					
Type:	<input type="radio"/> Tournament <input checked="" type="radio"/> Roulette wheel				
Tournament size:	25	[Slider]			
Crossover					
Type:	<input type="radio"/> Arithmetic uniform <input checked="" type="radio"/> 1 - point <input type="radio"/> 2 - point				
Arithmetic crossover ratio:	0.6	[Slider]			
Probability:	80	[Slider]			
Mutation:					
Range:	0.2	[Slider]			
Probability:	80	[Slider]			

Rys. 3. Zakładka programu narzędziowego wykorzystywanego przy badaniu problemu

Pierwsze próby związane z wyborem funkcji selekcji potwierdziły przewagę metody „turniejowej” na „kołem ruletki”. Wyniki porównania przedstawione zostały na rys. 4a i 4b. Wartości funkcji przedstawione poniżej inne od przedstawionych wcześniej wynikają z tego, że symulacje były przeprowadzane w różnych momentach prac nad tematem.



Rys. 4a. Efekt działania funkcji selekcji – „turniej” o wielkości 25:
10 krok $F=75,4994$, koniec $F=73,556$.



Rys. 4b. Efekt działania funkcji selekcji – „koło ruletki”:
10 krok, $F=90,2615$, koniec $F=81,8024$

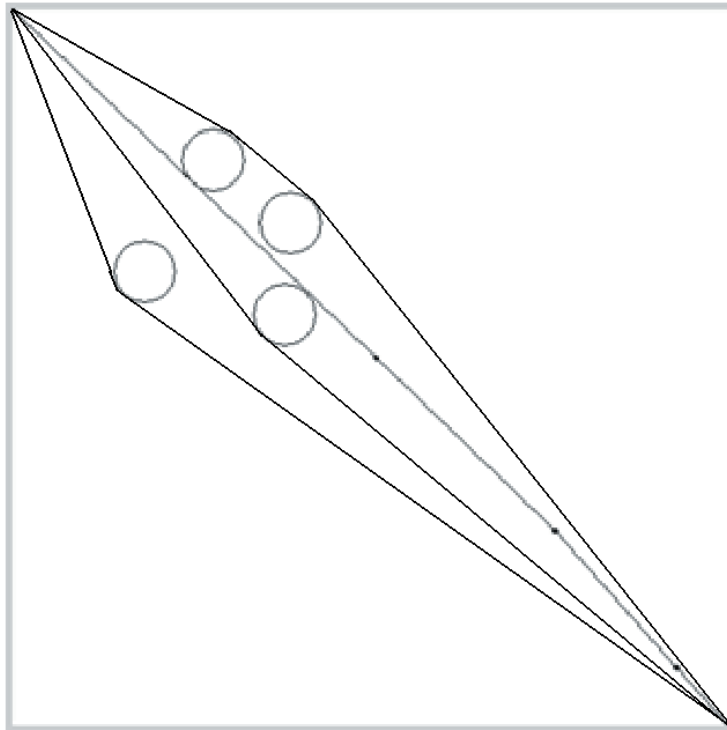
Kolejnym problemem badanym była wielkość chromosomu oraz wielkość populacji inicjowanej. Były te dwa parametry badane wspólnie z uwagi na zauważalne zależności pomiędzy nimi.

Na rys. 4c przedstawione zostały kształty dróg optymalnych lokalnie i globalnie. Zadanie do symulacji zostało tak skonfigurowane, że blisko optimum globalnego występują 2 optima lokalne, które są „gorsze” o 2-4 % względem globalnego, dzięki czemu można szybko zorientować się, czy algorytm przypadkiem nie utknął w optimum lokalnym. Przy badaniu metody można było zaobserwować, że jeśli parametry algorytmu genetycznego zostały wybrane poprawnie, to wybierana była droga optymalna globalnie.

W przypadku chromosomu składającego się z 3 punktów zwrotu dobre wyniki można było uzyskać dla populacji o wielkości 150-200 tras.

W dalsze zwiększenie chromosomu do 4 punktów zwrotu powodowało, że liczba populacji potrzebnej do znalezienia optymalnej drogi wzrosła do około 500 tras.

W przypadku ustalenia większej ilości punktów zwrotu program symulacyjny nie potrafił za każdym uruchomieniem trafić na optimum globalne.



Rys. 4c. Droga optymalna oraz drogi stanowiące optima lokalne dla badanej konfiguracji obszaru.

Wybór rodzaju krzyżowania, czy też wartości prawdopodobieństw krzyżowania oraz mutacji nie miały tak wyraźnego wpływu na efekt działania metody.

3. PODSMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują na to, że istotne staje się takie modyfikowanie parametrów algorytmu genetycznego, by za każdym razem możliwe było osiągnięcie optimum globalnego. Przeprowadzone badania po raz kolejny pokazują, że dla złożonych zadań uwzględniających kilka kryteriów najlepsza jest metoda selekcji „turniejowej”, która umożliwia szybkie znalezienie optimum globalnego.

Oprócz tego zaobserwowane zostało, że kształt funkcji oceny ma jedynie „niewielki” wpływ na wynik zadania, wpływa na kierunki poszukiwań rozwiązania optymalnego. Zauważone zostało, że istotny wpływ ma ilość punktów zwrotów, a w szczególności ich uporządkowanie. W związku z tym istotne staje się opracowanie takiego sposobu korygowania położenia tych punktów zwrotu, by dla populacji 100-150 tras generowanych możliwe było znalezienie za każdym uruchomieniem metody rozwiązania optymalnego globalnie. Dodatkowo powstaje kolejny nowy problem, żeby ta korekta nie była za bardzo złożona obliczeniowo, że korzyści ze stosowania metody „turniejowej” były stracone.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fossen, T.I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- [2] Garus J.: *Dynamika i sterowanie bezzałogowego statku głębinowego*, Zeszyty Naukowe AMW Nr 162A, Gdynia 2005.
- [3] Haupt R.L.: *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley Publication, Hoboken 2004.
- [4] Leszczyński T., *Zarys metody wyboru optymalnej drogi dla pojazdu podwodnego*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2/2007, s. 10.
- [5] Mitchell M.: *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, Cambridge 1999.
- [6] Siegwart R., Nourbakhsh I. R.: *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, MIT Press, Cambridge 2004.
- [7] Śmierchalski R.: *Synteza metod i algorytmów wspomaganie decyzji nawigatora w sytuacji kolizyjnej na morzu*, WSM, Gdynia 1998.
- [8] Leszczyński T., *Funkcja oceny w metodzie wyboru drogi*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2/2008, s. 410-417.
- [9] Leszczyński T., *Funkcja oceny dla metody wyboru drogi dla bezzałogowego pojazdu podwodnego*, „Zeszyty Naukowe AMW” nr169 K/1, Gdynia 2007, s. 251-258.
- [10] Szymak P.: *Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji dla sterowania pojazdem podwodnym w inspekcji obiektów oceanotechnicznych*, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2004.
- [11] Fossen, T.I., Fjellstad, O.E., *Nonlinear modelling of marine vehicle in 6 degrees of freedom*, nr 1/1995 *Journal of Mathematical Modelling of Systems*.
- [12] Leszczyński T., *Funkcja oceny dla metody wyboru drogi na przykładzie modelu pojazdu podwodnego typu „Ukwiał”*, „Zeszyty Naukowe AMW” nr172 K/2, Gdynia 2008, s. 115-126.