

mgr inż. Tomasz Leszczyński
Akademia Marynarki Wojennej

FUNKCJA OCENY W METODZIE WYBORU DROGI

W pracy przedstawiono propozycję rozwiązania problemu tworzenia funkcji oceny dla metody wyboru drogi dla pojazdu podwodnego. Opisano założenia umożliwiające zapis analityczny funkcji oraz uproszczenia zmniejszające jej złożoność obliczeniową. Na zakończenie zaprezentowano wyniki działania zaproponowanego rozwiązania.

THE EVALUATION FUNCTION IN THE METHOD OF THE ROUTE SELECTION

The proposal of the solving of the problem of creating of 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 its simplification on the grounds of problems of computational complexity of calculations are also described. Finally results of calculations of this method are shown.

1. WPROWADZENIE

Ostatnie dziesięciolecia pokazują, że w skutek postępu w technologii systemów napędowych i źródeł mocy pojazdy podwodne (także okręty podwodne) mają coraz to większą wytrzymałość – wydłuża się czas ich działania oraz odległość ich pracy.

Zaobserwować ten proces można na przykładzie samych tylko pojazdów autonomicznych (AUV). Aktualnie w przemyśle gazowym i naftowym są one przede wszystkim wykorzystywane do tworzenia szczegółowych map morza przed rozpoczęciem budowy infrastruktury podwodnej. Zaś jako typowe zadanie wojskowe dla AUV to sporządzenie map obszarów celem ustalenia położenia np. min. Naukowcy używają przede wszystkim do badania oceanu oraz jego dna.

Na wyposażeniu tych pojazdów występują czujniki umożliwiające sterowanie automatyczne i tworzenie map właściwości (cech) oceanu: kompasy, czujniki głębokości, sonar poszukujący i inne sonary, magnetometry, termistory i sondy przewodzące.

Pojazdy te są w stanie pracować bez nadzoru przez tydzień lub nawet miesiąc, okresowo transmitując dane np. przez satelitę do brzegu przed powrotem. Całkowicie autonomiczny AUV będzie wypływał na powierzchnię i pobierał swoją własną pozycję GPS. Pomiedzy ustaleniem pozycji i dla precyzyjnego manewrowania wewnętrzny pokładowy system nawigacyjny AUV mierzy przyspieszenie pojazdu używa Dopplerowskiej techniki pomiaru prędkości. Czujniki ciśnienia mierzą pozycję pionową. To wszystko jest filtrowane celem ustalenia końcowego rozwiązania nawigacyjnego.

2. METODA WYBORU OPTYMALNEJ DROGI

Problem planowania drogi pojazdu podwodnego realizowany jest w ten sposób by mógł on wykonywać swoje zadanie nie narażając się na zniszczenie lub uszkodzenie. Skutkuje to tym, że konieczne jest zdefiniowanie bezpiecznej drogi, która uwzględnia m.in. odległość, na jaką pojazd może podejść do danego obiektu (przeszkody). Oprócz tego ważne staje się wstępne określenie jego zachowania w pobliżu pojazdu podwodnego wykonującego swoje zadanie.

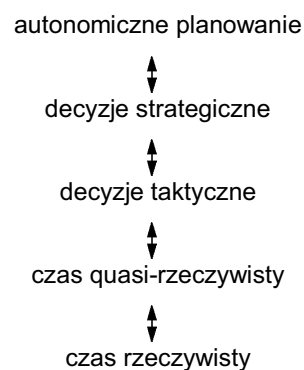
Problem ten jest najmniej złożony, gdy wszystkie te obiekty są nieruchome. Większy problem stanowią obiekty ruchome, gdyż w procesie planowania potrzebne jest zidentyfikowanie parametrów ruchu obiektu. W tej grupie przypadkiem i trudną w analizie jest m.in. grupa obiektów zakotwiczonych, gdyż w ich przypadku konieczne staje się dokładne uwzględnienie parametrów środowiska, którego parametry mają ogromny wpływ na zachowanie się tego typu obiektów [1].

Kolejnym problemem występującym przy planowaniu tej drogi, jest koszt ekonomiczny tego przejścia, który jest tak samo ważny jak bezpieczeństwo.

Należy też zwrócić uwagę, że pojazdy te często muszą pracować bez nadzoru przez tydzień, miesiąc lub jeszcze dłużej.

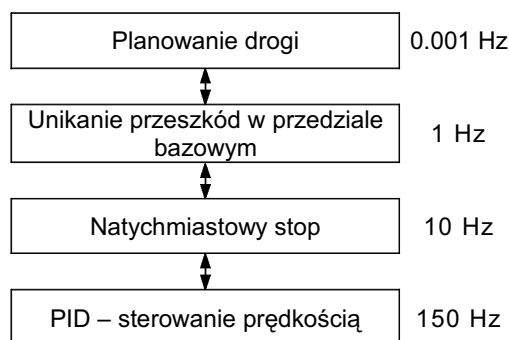
Z tego też względu podczas sterowania pojazdem podwodnym coraz bardziej istotny staje się poziom decyzji strategicznych, czyli takich, które skutkują zachowaniem się pojazdu przez długi okres, a dokładniej planowanie autonomiczne, które jest określane jako korygowanie wybranej drogi uwzględniające podjęte w międzyczasie decyzje [4, 6, 8]. Realizacja takiego planowania realizowana jest następująco:

- na początku zadania pojazd podwodny otrzymuje wygenerowaną dla niego drogę uwzględniającą zadania do zrealizowania oraz informację o obiektach (przeszkodach) stałych i ruchomych, które mogą wystąpić na planowanej trasie oraz przewidywane zakłócenia ze strony środowiska morskiego;
- w przypadku pojawienia się na planowanej drodze nowego obiektu, który został wykryty przez system nawigacyjny lub braku obiektu, lub też przy zmianie wartości zakłóceń – następuje aktualizacja wcześniej zaplanowanej drogi pojazdu.



Rys. 1. Ogólny czasowy rozkład architektury nawigacyjnej [4, 6].

Najniższy poziom – elementy z zagwarantowanym szybkim czasem dostępu (40 Hz). Poziom taktyczny – natychmiastowym reakcjom. Decyzje strategiczne – zachowanie się przez długi okres. Planowanie autonomiczne – korygowanie wybranej drogi uwzględniające podjęte w międzyczasie decyzje. W zależności od zastosowania, parametrów oraz zadań – podział architektury może być odmienny.



Rys. 2. Przykład 4-poziomowego podziału dla prostej nawigacji robota mobilnego z przykładowymi częstościami reakcji poszczególnych modułów [4, 6].

3. FUNKCJA OCENY W METODZIE WYBORU OPTYMALNEJ DROGI

Funkcja oceny jest ważnym składnikiem algorytmu genetycznego, który ma istotny wpływ na jego działanie podczas poszukiwania przez ten algorytm quasi-optimalnego rozwiązania problemu, do którego został wykorzystany. Przy jej tworzeniu zwraca się uwagę na złożoność obliczeniową, gdyż podczas poszukiwania rozwiązania problemu następuje duża 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 [5, 7, 8].

W celu zmniejszenia złożoności obliczeniowej funkcji oceny dla metody wyboru drogi dla bezzałogowego pojazdu podwodnego przyjęte zostały następujące wstępne ograniczenia:

- wartość zakłóceń stała podczas wykonywania zadania;
- wszystkie napotkane obiekty są nieruchome;
- pojazd porusza się ze stałą prędkością;
- obszary niebezpieczne wokół napotkanych obiektów mają kształt koła;
- strefa bezpieczeństwa wokół pojazdu podwodnego ma kształt koła;
- problem dotyczy ruchu płaskiego.

Dla zadania wyboru drogi pojazdu podwodnego funkcję oceny $C_T(S)$ można przedstawić następująco [1, 8]:

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

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 [1, 8]. Przyjęto, że obszary niebezpieczne wokół obiektów oraz pojazdu mają kształt koła. Założenie takie to pozwala zmniejszyć złożoność obliczeniową, przydatną zarówno w początkowej fazie realizacji jak i testowaniu.

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 [1, 8]:

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

gdzie:

$C_D(S)$ – całkowita długość trajektorii,

$C_K(S)$ – funkcja minimalizacji sumy kątów zwrotu:

$$C_K(S) = \sum_{i=0}^{n-1} (1 - \cos \alpha_i) \quad (3)$$

gdzie:

n – ilość punktów zwrotu,

$C_P(S)$ – energia potrzebna do pokonania poszczególnych odcinków trasy:

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

gdzie:

k – ilość rozpatrywanych odcinków drogi,

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

4 – ilość pędników poziomych w pojeździe podwodnym;

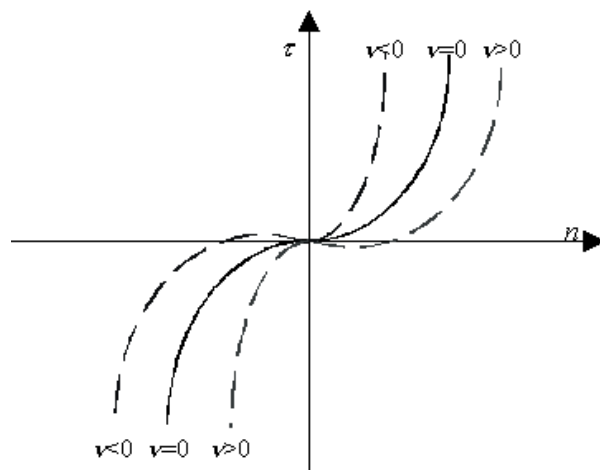
A_D, A_K, A_P – współczynniki skalowania składników ekonomicznych.

W związku z przyjętym założeniem, że przy pokonywaniu drogi pojazd podwodny porusza się ze stałą prędkością istnieje prosta możliwość powiązania 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 [6, 8]:

- 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 – zakładamy, 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 alokacji 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 – rys. 3 [2, 6]. Podejście to pozwala oszacować zużycie mocy na danym odcinku drogi.



Rys. 3. Rodzina nieliniowych charakterystyk zależności wektora wymuszenia τ od prędkości obrotowej n pędnika dla różnych prędkości pojazdu v [2, 3]

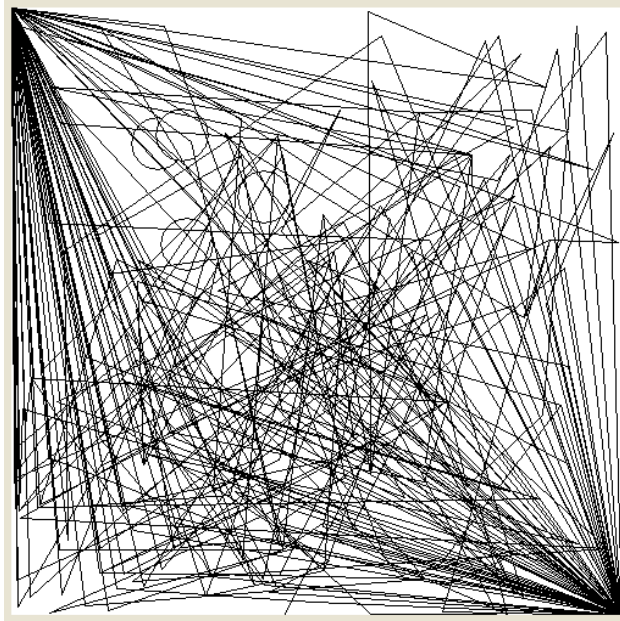
Natomiast energia potrzebna na zmianę kierunków poruszania się pojazdu podwodnego w punktach zwrotu oszacowana będzie poprzez wartość sumaryczną kątów ich zmian. Istotne jest, by ta suma zmian miała łączną kątową wartość jak najmniejszą [1, 8]. Powyższe podejście powoduje, że w miejsce szacowania energii zużytej na wykonanie manewrów, zajmujemy się znacznie mniej kłopotliwą minimalizacją wartości kątów zmian kierunków ruchu pojazdu w punktach zwrotu.

4. PODSUMOWANIE

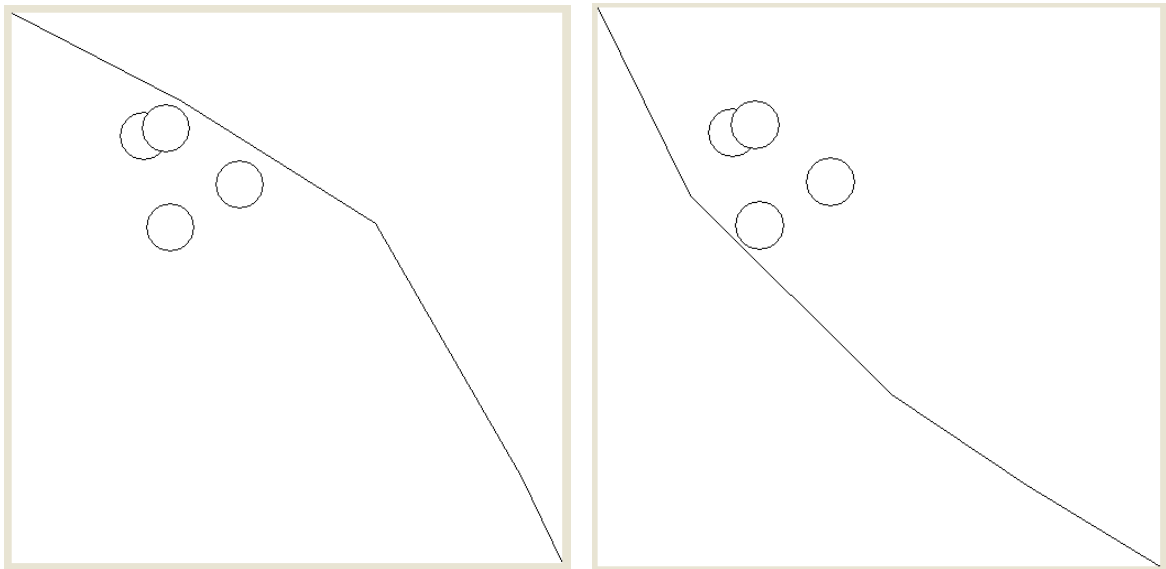
Z uwagi na złożoność obliczeniową zagadnienia, na potrzeby realizacji zadania, opracowałem własny pakiet programowy, który zaimplementowałem w języku C++ wykorzystując do tego Borland C++ Builder w wersji 6 Personal. Pakiet ten oprócz generowania dopuszczalnych tras dla pojazdu, poszukiwania drogi quasi-optymalnej, umożliwia 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 ilość możliwych punktów zwrotu dla planowanej drogi.

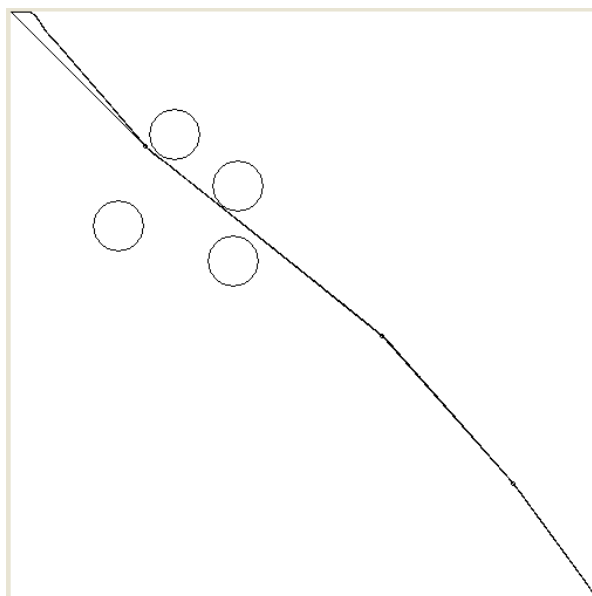
Na rysunkach 4a i 4b przedstawiono przykładowe okna działania programu obliczającego quasi-optymalną drogę pojazdu, przy zadanych 3 punktach zwrotu oraz 4 przeszkodach w akwenu o wymiarach 500 m na 500 m. Przyjęto przy tym następujące parametry algorytmu genetycznego: maksymalna ilość iteracji – 1000; wielkość populacji: 100; selekcja: krzyżowanie 1-punktowe z prawdopodobieństwem 0,8; mutacja z prawdopodobieństwem 0,008.



Rys. 4a. Wszystkie wygenerowane drogi po 6 cyklach obliczeniowych [8]



Rys. 4b. Aktualne rozwiązanie w 9 cyklu obliczeniowym oraz rozwiązanie – droga utworzona przez metodę na podstawie początkowej puli wygenerowanych losowo dróg [8]



Rys. 5. Symulacja działania pojazdu podwodnego w przypadku regulacji kursu i prędkości dla trasy wybranej przez metodę jako optymalna. Parametry algorytmu genetycznego takie same jak na rys. 4ab zmienione zostały tylko minimalnie ustawienia przeszkód

Wykorzystanie algorytmu genetycznego jako narzędzia do wyboru optymalnej drogi dla pojazdu podwodnego daje możliwość stworzenia podsystemu wspomagającego automatyczne sterowanie pojazdem podwodnym podczas przejścia przez określony wcześniej obszar niebezpieczny – np. przez akwen zaminowany lub inny, na którym znajduje się wiele obiektów, z którym nie powinno być żadnego kontaktu. Znaleziona przy pomocy tej metody quasi-optymalna droga daje możliwość efektywnego wykorzystania pojazdu podwodnego.

Przedstawiona metoda pokazuje, że nie jest potrzebna dokładna znajomość całego modelu pojazdu podwodnego, by móc określić dla niego drogę przy przejściu przez zdefiniowany wcześniej obszar z narzuconymi ograniczeniami bezpieczeństwa.

Przeprowadzone badania wstępne pozwalają stwierdzić, że opracowywana funkcja oceny dla potrzeb metody doboru drogi z wykorzystaniem algorytmu genetycznego może być zastosowana w podsystemie automatycznego sterowania pojazdem podwodnym. Znaleziona przy jej pomocy quasi-optymalna trasa daje możliwość przejścia pojazdu podwodnego przez zadany wcześniej obszar, na którym znajdują się wiele obiektów, z którym nie powinno być żadnego kontaktu.

Jest to wstępna propozycja rozwiązania problemu, z uwagi to że problem został ograniczony tylko do występowania na drodze pojazdu podwodnego obiektów o charakterze nieruchomym. Dalsze prace ukierunkowane będą na rozpatrzenie przydatności rozpatrywanej funkcji w sytuacji konfliktowej z obiektami ruchomymi.

LITERATURA

1. Śmierchalski R.: *Synteza metod i algorytmów wspomaganie decyzji nawigatora w sytuacji kolizyjnej na morzu*, WSM, Gdynia 1998.
2. Szymak P.: *Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji dla sterowania pojazdem podwodnym w inspekcji obiektów oceanotechnicznych*, rozprawa doktorska, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2004.
3. Leszczyński T.: *Wykorzystanie obliczeń genetycznych do sterowania pojazdem „UKWIAŁ” w przypadku awarii pędnika*, Materiały IX Konferencji Naukowo-Dydaktycznej nt. „Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności”, Gdynia 2003, str. 401-412.
4. Siegwart R., Nourbakhsh I. R.: *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, MIT Press, Cambridge 2004.
5. Haupt R.L.: *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley Publication, Hoboken 2004
6. Leszczyński T.: *Zarys metody wyboru optymalnej drogi dla pojazdu podwodnego*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2/2007, s. 10.
7. Mitchell M.: *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, Cambridge 1999.
8. Leszczyński T.: *Funkcja oceny dla metody wyboru drogi dla bezzałogowego pojazdu podwodnego*, Materiały XI Krajowej Konferencji „Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności”, Gdynia 2007, s. 251-258.