

mgr inż. Tomasz Leszczyński  
Akademia Marynarki Wojennej

## KONCEPCJA WYKORZYSTANIA METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W STEROWANIU POJAZDEM PODWODNYM W PRZYPADKU WYSTĄPIENIA AWARII PĘDNIKA

*W pracy został pokrótce przedstawiony problem wystąpienia awarii pędnika w pojeździe podwodnym, jego wpływ na możliwości wykonania zadania przez pojazd oraz propozycja rozwiązania problemu z wykorzystaniem algorytmizacji genetycznej.*

### CONCEPT OF THE USAGE OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE UNDERWATER VEHICLE CONTROL IN CASE OF THE OCCURRENCE OF THE THRUSTER FAILURE

*In this paper are presented the problem of the occurrence of the thruster failure in the under-water vehicle, his influence on possibility to execute the task by the vehicle and the proposal of the solution to the problem utilizing the genetic algorithmization.*

## 1. WPROWADZENIE

Chociaż glob ziemski w większości pokryty jest wodą, to poznanie tego środowiska nadal jest bardzo utrudnione. Chcąc pokonać te trudności poszukiwane są sposoby niwelujące je. Aktualnie przy eksploracji głębin coraz częściej wykorzystywane są zdalnie sterowane podwodne roboty pływające.

Od lat 70-tych nastąpił rozwój bezzałogowych pojazdów podwodnych, które posiadają obecnie wszystkie cechy charakterystyczne robota: mają możliwość przemieszczania się i manipulacji, możliwość technicznej obserwacji otoczenia, a niekiedy również mogą samodzielnie wypracowywać decyzję w sytuacjach typowych i powtarzalnych.

W chwili obecnej pojazdy podwodne są podstawowym wyposażeniem wielu jednostek pływających zarówno okrętów wojennych jak i jednostek cywilnych – w szczególności platform wiertniczych. Również są one na wyposażeniu wielu ośrodków naukowych, służb ratownictwa morskiego oraz firm zajmujących się pracami podwodnymi.

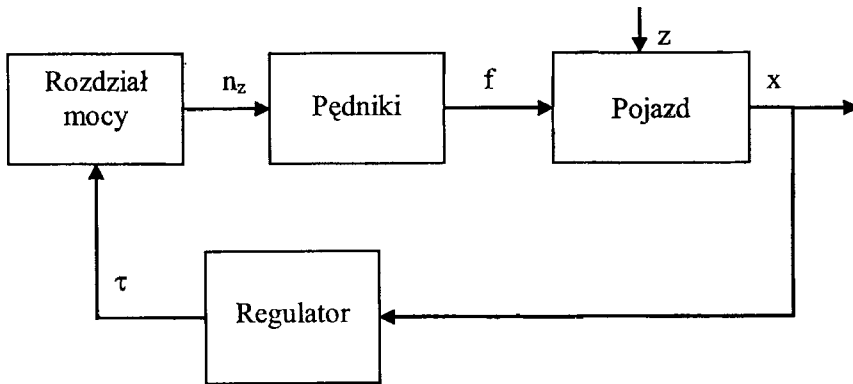
Wiele pojazdów podwodnych znajdujących się pod wodą nie ma żadnych innych elementów ruchomych poza pędnikami. Znajdujące się pod wodą pojazdy są bardzo podatne na awarie podczas przeprowadzania misji pod wodą. Pędniki pojazdu są jednym z najczęstszych i najważniejszych źródeł awarii. We wszystkich, oprócz najbliższych przypadków, zaistnienie awarii może doprowadzić do anulowania misji. Konsekwencja drobnych awarii może być bardzo droga i czasochłonna. Chociaż dobra praktyka projektowa próbuje minimalizować występowanie wad i awarii w pojazdach, to jednak jest pewne prawdopodobieństwo, że wady mogą pojawiać się.

## 2. ANALIZA PROBLEMU

Do analizy problemu, jako reprezentanta pojazdu podwodnego, można przyjąć zdalnie sterowany pojazd podwodny „Ukwiak”, który jest na wyposażeniu okrętów zwalczania min MW. Pojazd ten jest przeznaczony do wykrywania, identyfikacji i niszczenia min morskich.

Podstawowym ruchem zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego jest przemieszczanie się w płaszczyźnie poziomej z niewielkimi zmianami w płaszczyźnie pionowej (ruch o czterech stopniach swobody z małymi kątami kołysań wzdłużnych i bocznych). Z tego powodu ruch przestrzenny pojazdu można rozpatrywać jako złożenie dwóch przemieszczeń: w płaszczyźnie poziomej i płaszczyźnie pionowej.

Sterowanie pojazdem „Ukwiak” w płaszczyźnie poziomej realizowane jest za pomocą pędników usytuowanych ukośnie względem osi symetrii pojazdu. Przez odpowiednie ustawienie zwrotu naporu i jego wartości na poszczególnych pędnikach uzyskuje się dwa przemieszczenia liniowe (w kierunku osi wzdłużnej X i poprzecznej Y) oraz jedno kątowe (wokół osi pionowej Z). W płaszczyźnie pionowej natomiast wykorzystuje się pędnik lub pędniki pionowe, zapewniające przemieszczenie liniowe wzdłuż osi Z (zanurzanie i wynurzanie pojazdu). Można przez to ograniczyć rozpatrywanie ruchu pojazdu do ruchu płaskiego pojazdu o trzech stopniach swobody.

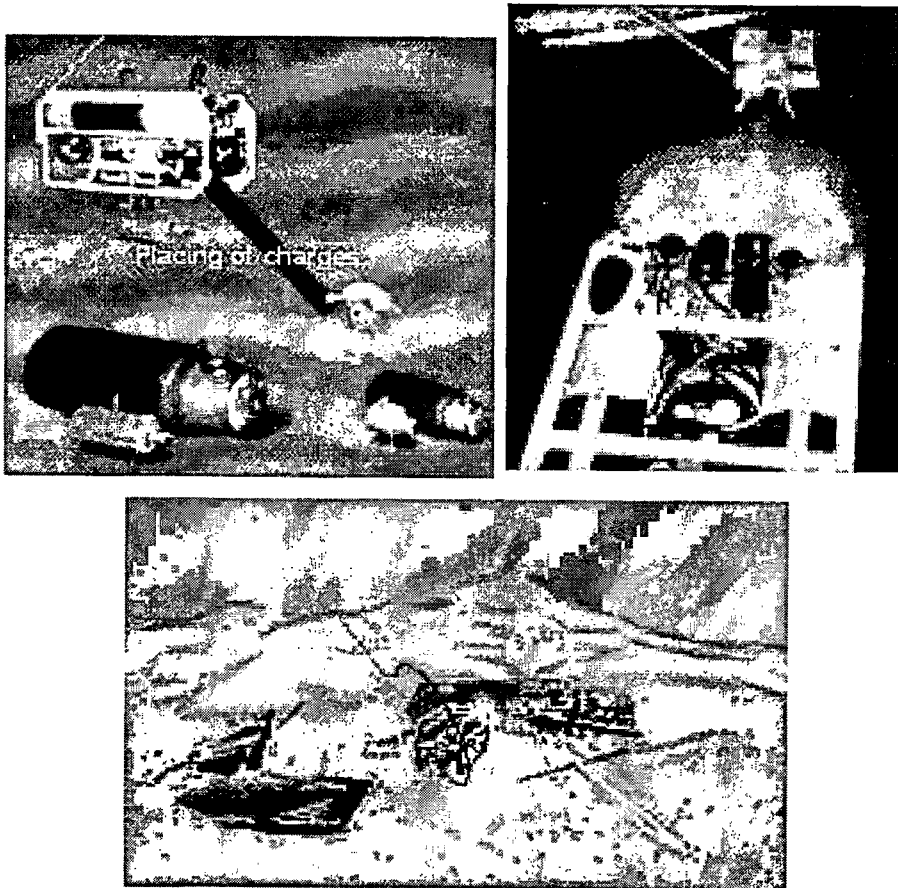


Rys. 1. Schemat blokowy sterowania pojazdem podwodnym.

Oznaczenia przyjęte na powyższym rysunku to:

- $\tau$  - wektor wymuszeń,
- $f$  - wektor naporów poszczególnych pędników poziomych,
- $n_z$  - wektor prędkości obrotowych pędników,
- $x$  - wektor stanu,
- $z$  - oddziaływanie zewnętrzne środowiska na pojazd

Zdalnie sterowany pojazd podwodny „Ukwiąg” posiada system pędników w konfiguracji 4+2, czyli 4 pędniki rozmieszczone w płaszczyźnie poziomej oraz 2 w płaszczyźnie pionowej. Jest to często spotykana konfiguracja systemu pędników w pojazdach ROV. Poniżej przedstawiono działanie pojazdu „Ukwiąg” w trakcie wykonywania przez niego typowych zadań. Na tych slajdach widać jak istotne jest poprawne działanie układu napędowego pojazdu w trakcie wykonywania zadania:



Rys.2. Pojazd podwodny „Ukwiąg” w trakcie wykonywania typowych zadań.

Aktualnie szkolenie operatorów pojazdów podwodnych (np. „Ukwiąg”) jest realizowane przede wszystkim pod kątem wystąpienia nieoczekiwanych sytuacji wokół urządzenia, a w przypadku jego awarii – następuje wyciągnięcie urządzenia z wody. Sterowanie pojazdem w przypadku wystąpienia awarii wymaga od operatora bardzo dużego doświadczenia.

Pędniki są narażone na różnego typu awarie podczas podwodnej misji. Niektóre z nich (częściowe awarie) nie są krytyczne i pędnik może działać z ograniczeniami, np. obniżona może być maksymalna prędkość. W innych przypadkach (całkowita awaria) pędnik musi być wyłączany i misja jest kontynuowana ze sprawnymi pozostałymi pędnikami. Awarie pędników są sklasyfikowane w dwu głównych grupach:

- 1) Awarie wewnętrzne (np. temperatura uzwojeń znajduje się poza zakresem, łączność z bazą została przerwana, spadek napięcia zasilania na magistrali)
- 2) Awarie zewnętrzne (np. zablokowana albo uszkodzona śruba).

Inna klasyfikacja awarii pędnika to:

- całkowite – awaria wewnętrzna, uszkodzona śruba;
- częściowa – zablokowana śruba, mocno zablokowana śruba oraz awaria nieznaną.

Z uwagi na ogromną złożoność problemu w przypadku rozważania też tych awarii, w których następuje tylko ograniczenie prędkości obrotowej pędnika, w rozważaniach ograniczono się do całkowitej awarii pędnika

### 3. PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA

Z uwagi na to, że we wszystkich zadaniach następuje prowadzenie pojazdu podwodnego po zadanej trajektorii, to w przypadku wystąpienia awarii w układzie napędowym nadal istotne jest zachowanie tej trajektorii.

Możliwe jest to do uzyskania poprzez podanie takiego wysterowania pozostałych sprawnych pędników, by generowane na nie siły naporów tworzyły wektor wymuszeń działających na pojazd były jeśli nie taki same, to przynajmniej proporcjonalnie mniejsze. Oczywiście tylko na tyle, by zasadne jeszcze było wykonanie zadania albo jeśli nie, to żeby było możliwe unieruchomienie lub wycofanie pojazdu w zależności od zaistniałej sytuacji.

Z uwagi na to, że fakt wystąpienia awarii pędnika w trakcie wykonywania zadania przez pojazd może spowodować niekontrolowane jego zniszczenie, potrzebne jest dodanie mechanizmu w bloku rozdziału mocy uwzględniającego wystąpienie awarii pędnika, a co dalej za tym idzie sprawdzającego czy nowa konfiguracja umożliwia kontynuowanie bieżącego zadania.

Takie warunki, które musimy uzyskać w przypadku wystąpienia awarii pędnika, pokazują, że jest to typowy przykład zadania optymalizacji. Do jego rozwiązania wydaje się korzystnym zastosowanie algorytmów genetycznych.

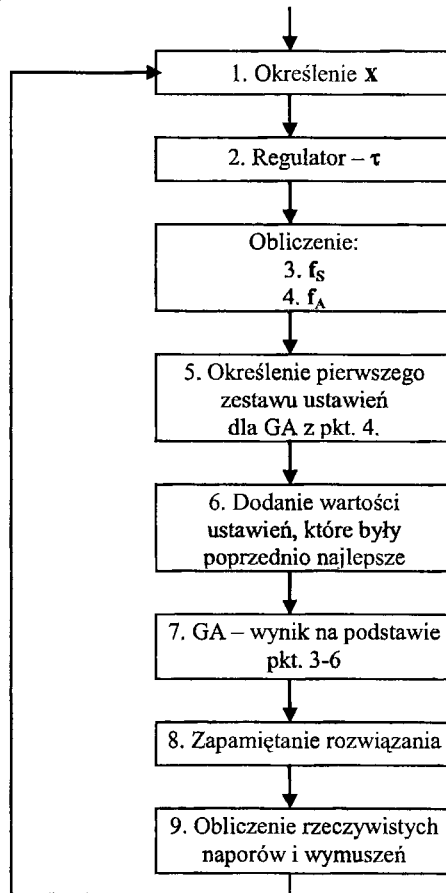
W przypadku algorytmizacji genetycznej ważnym problemem, który należy rozwiązać, jest stworzenie jak najprostszej funkcji celu (oceny). Wskazane jest by składała się z funkcji jak najprostszych oraz żeby członów funkcji nie była zbyt duża – najwyżej dwa człony.

W przypadku sterowania pojazdem podwodnym potrzebne są:

- wartość kosinusa kąta między wektorami działania sił układu sprawnego, a wektorem działania sił układu z uszkodzonym pędnikiem.
- funkcja proporcji – opisująca proporcjonalność działania sił oraz momentów sił na pojazd podwodny.

Oba te człony mają indywidualne wagi takie, że dużo ważniejsze jest uzyskanie jak najmniejszego kąta niż wartości współczynnika proporcji.

W każdym kolejnym kroku układ sterowania sprawdza jak by się zachował, gdyby był sprawny i próbuje uzyskać jak najbardziej zbliżone wartości zmiennych sterujących na sprawnych pędnikach.



Rys.3. Ogólny algorytm sterowania pojazdem podwodnym w przypadku wystąpienia awarii pędnika/pędników.

Oznaczenia przyjęte na powyższym rysunku to:

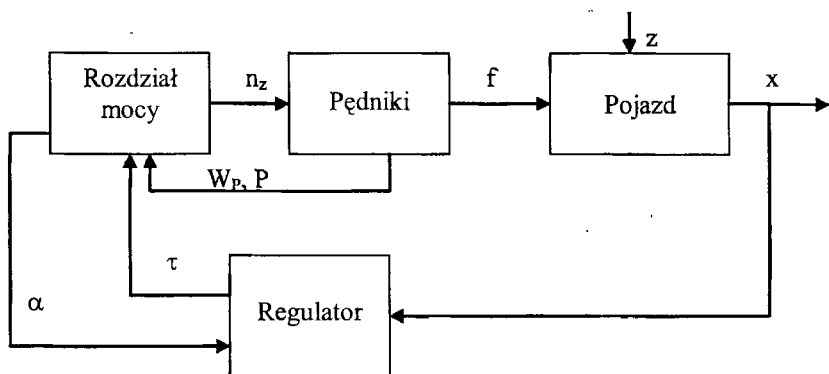
$\tau$  - wektor wymuszeń,

$f_s$  - wektor naporów poszczególnych pędników poziomych układu bez awarii,

$f_A$  - wektor naporów poszczególnych pędników poziomych układu z awarią pędnika/pędników,

$x$  - wektor stanu.

Poniżej przedstawiono proponowany sposób sterowania pojazdem z awarią w układzie napędowym.

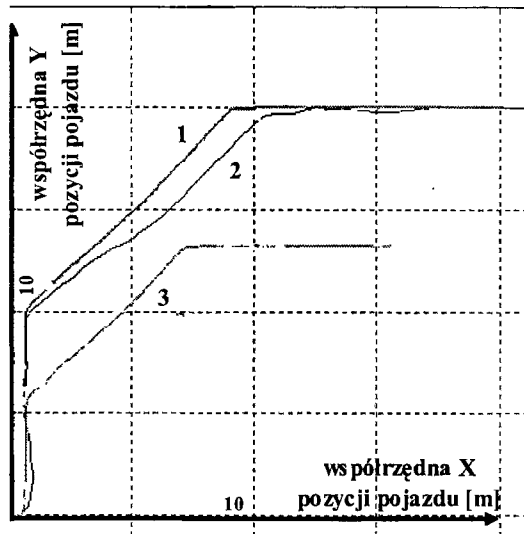


Rys. 4. Proponowany schemat blokowy sterowania pojazdem z awarią w układzie napędowym

Oznaczenia przyjęte na powyższym rysunku to:

- $\tau$  - wektor wymuszeń,
- $f$  - wektor naporów poszczególnych pędników poziomych,
- $n_z$  - wektor prędkości obrotowych pędników,
- $x$  - wektor stanu,
- $z$  - oddziaływanie zewnętrzne środowiska na pojazd
- $P$  - macierz sprawności pędników,
- $W_p$  - sygnalizacja przejścia na sterowanie pojazdu w stanach awaryjnych,
- $\alpha$  - informacja o sposobie ograniczenia prędkości (brak awarii pędnika lub brak wpływu na działanie pojazdu -  $W_p > 0$ ,  $\alpha = 1$  - pojazd działa pomimo awarii bez żadnych ograniczeń)

Na Rys. 5 przedstawione zostały wyniki symulacji, w której w każdym wariancie w tych samych odcinkach czasowych, pojazd ma zadanie utrzymanie ściśle określonego kursu. Widać, że pojazd będzie zachowywał się różnie przy różnych awariach. Różnice na wykresie w kształcie charakterystyk 2 i 3 wynikają jedynie z różnych użytych w symulacji funkcji proporcji wewnątrz funkcji oceny i zadanych dokładności algorytmu.



Rys. 5. Trajektorie pojazdu. Pojazd wykonuje zadanie: 1 – ze sprawnymi pędnikami, 2 – uszkodzony tylni lewy, 3 – uszkodzony przedni prawy.

Oprócz proponowanej metody dostępna jest m.in. metoda dystrybucji naporów na poszczególne pędniki oparta na ortogonalnej macierzy Walsha. Metoda ta jest o niedużych nakładach obliczeniowych. Można spróbować ją wykorzystać do sterowania pojazdem przy awarii jednego pędnika jako składnik przyspieszający działanie algorytmu genetycznego podczas faz zadania wymagających dużo większych nakładów obliczeniowych np. podczas zmiany kursu pojazdu. Metoda ta nie mogłaby być wykorzystana samodzielnie, gdyż nie gwarantuje możliwości pełnej kontroli nad pojazdem, tzn. zachowanie pojazdu może ulec zmianie. Wynika to z tego, że nie narzuca ona warunków zachowania się pojazdu w przypadku awarii pędnika.

Proponowana metoda zakłada, że pojazd w przypadku awarii powinien zachowywać się tak, jakby nie było uszkodzenia - ewentualnie wykonywać zadanie proporcjonalnie wolniej.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji a w szczególności algorytmizacji genetycznej daje możliwość stworzenia podsystemu wspomagającego sterowanie pojazdem podwodnym, dające możliwość wykorzystania go mimo wystąpienia awarii pędnika.

Zaletą tego rozwiązania jest duża prostota obliczeń, wynikająca z zastosowania algorytmu genetycznego. Problemem dla projektanta może być stworzenie najprostszej, a zarazem najdokładniej opisującej pożądane właściwości systemu funkcji oceny, określenie warunków przerywania obliczeń, przy których wynik możemy zakwalifikować jako poprawny oraz ewentualne znalezienie metod przyspieszających działanie algorytmu.

Wadą może wydawać się czas obliczeń, który jest potrzebny na obliczenie kolejnego kroku iteracji. Jest to wada pozorna, gdyż aktualny rozwój sprzętu komputerowego daje możliwość, że zastosowanie za parę lat algorytmów genetycznych w przedstawiony sposób w sterowaniu pojazdem podwodnym nie będzie stanowiło większego problemu.

## LITERATURA

1. Fossen, T. I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
2. 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*.
3. Garus J., „O pewnej metodzie rozdziału mocy na pędniki pojazdu podwodnego” Materiały III Międzynarodowej Konferencji „Perspektywy i Rozwój Systemów Ratownictwa, Bezpieczeństwa i Obronności w XXI wieku”. Gdańsk 2003. str. 397-402.
4. Garus J. „Rozdział mocy na pędniki pojazdu podwodnego z zastosowaniem rozkładu macierzy względem wartości szczególnych”, Materiały IX Krajowej Konferencji Naukowo-Dydaktycznej „Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności”, str. 101-109.
3. Garus J., Szymak P.: *Automatyczne sterowanie pojazdem ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej: Automatyzacja – Nowości i Perspektywy, Warszawa 2002, str. 214-219
4. Szymak P.: *Automatyczna stabilizacja położenia i kursu pojazdu podwodnego*, Materiały XIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu, Gdynia 2002 r., str. 153-159
5. Leszczyński T.: *Problem sterowania pojazdem typu ROV po awarii pędnika*, Materiały III Międzynarodowej Konferencji „Perspektywy i Rozwój Systemów Ratownictwa, Bezpieczeństwa i Obronności w XXI wieku”. Gdańsk 2003.
6. McGoogin E. W., Murray-Smith D. J., Li Y., Fossen T. I.: *Ship steering control system optimization using genetic algorithms*, *Control Engineering Practice* 8(2000) 429-443.
7. McGoogin E. W., Murray-Smith D. J., Li Y., Fossen T. I.: *Parameter Optimization of a Non-linear Tanker Control System using Genetic Algorithms*, 2nd IEE/IEEE International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, Glasgow 1997
8. McGoogin E. W.; Murray-Smith D. J., Li Y., Fossen T. I.: *Non-Linear Tanker Control System Parameter Optimization Using Genetic Algorithms*, *Proceedings of the OCEANS'97 Conference*, Halifax, Nova Scotia, October 1997.
9. Goldberg D.E.: *Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie*, WNT Warszawa 1998
10. Omerdic E., Roberts G.: *Thruster fault diagnosis and accommodation for open-frame underwater vehicles*, *Control Engineering Practice* 2003