

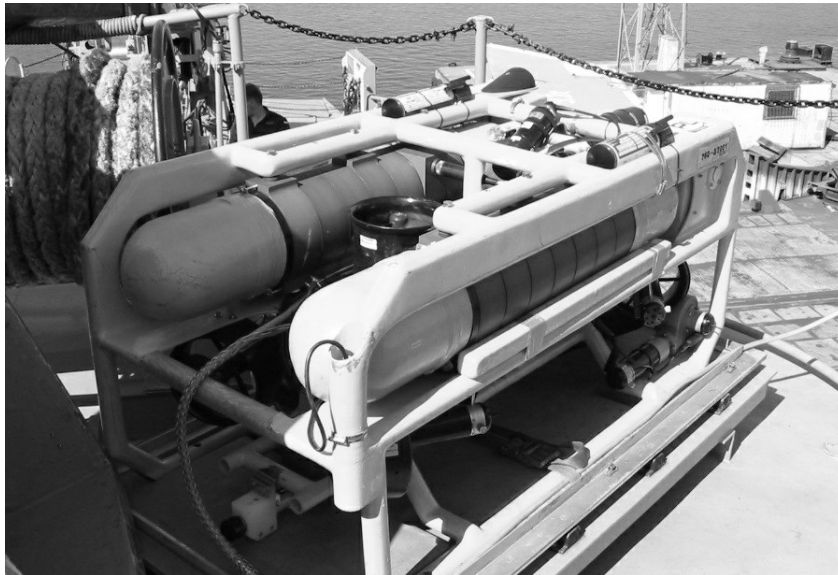
P. Szymak

WYKORZYSTANIE METOD LOGIKI ROZMYTEJ DO STEROWANIA POJAZDEM PODWODNYM W INSPEKЦИИ OBIEKTÓW OCEANOTECHNICZNYCH

W referacie przedstawiono wyniki badań własnych z zakresu wykorzystania logiki rozmytej do sterowania bezzalogowego pojazdu podwodnego wykorzystanego do inspekcji obiektów oceanotechnicznych. Prace realizowano w Instytucie Podstawowych problemów Techniki Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

WSTĘP

Jednym z głównych kierunków rozwoju technologii inspekcji obiektów oceanotechnicznych są powstające i rozwijające się konstrukcje robotów, działających pod powierzchnią wody, tzw. pojazdy podwodne. Wykorzystanie bezzalogowych urządzeń umożliwia eksplorację na większych głębokościach lub w warunkach zagrażających życiu człowieka. Poprawność wykonania różnych zadań podwodnej inspekcji wymaga przede wszystkim dokładnego sterowania ruchem robota w toni wodnej.



rys. 1. Zdalnie sterowany pojazd podwodny typu Ukwiąg

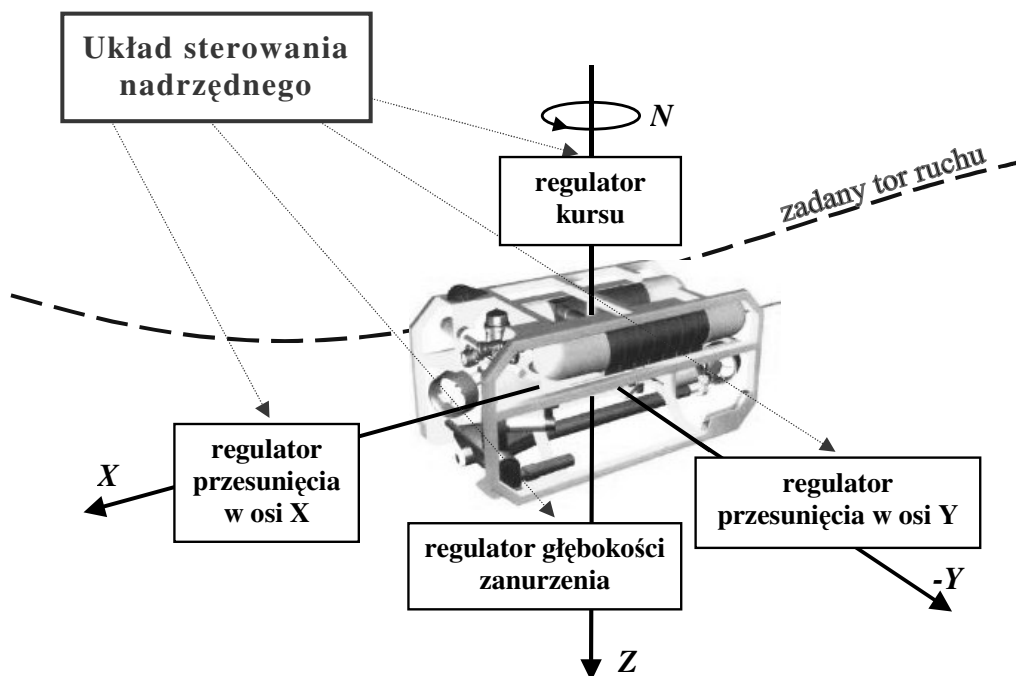
Ze względu na to, że pojazd podwodny jest obiektem nieliniowym poddanym działaniu zakłóceń stochastycznych w środowisku morskim, to do jego sterowania coraz częściej stosuje się metody sztucznej inteligencji. Przykładem takiego zastosowania jest zaprojektowany i przebadany system automatycznego sterowania pojazdem podwodnym typu Ukwiąg (rys. 1). Opracowany system automatyki składa się

z czterech regulatorów, których działanie oparte jest na metodach rozmytego przetwarzania danych. Jak potwierdziły przeprowadzone badania eksperymentalne wykorzystane metody logiki rozmytej są odporne na nieliniowość obiektu sterowania oraz stochastyczny charakter oddziaływujących zakłóceń.

1. ARCHITEKTURA SYSTEMU STEROWANIA

Zaprojektowany system automatycznego sterowania pojazdem podwodnym po zadanym torze składa się z (rys. 2):

- 1) układu sterowania nadrzędnego, odpowiadający za włączanie i wyłączanie poszczególnych regulatorów w zależności od wykonywanego zadania podwodnej inspekcji oraz wprowadzanie zadanych wartości regulowanych parametrów ruchu i rejestrowanie z archiwizacją parametrów ruchu pojazdu,
- 2) 4 regulatorów: kursu, przesunięcia w osi X, przesunięcia w osi Y i głębokości zanurzenia, założonych na 4 stopniach swobody pojazdu, odpowiednio: momentu N względem osi Z, siły X w osi X, siły Y w osi Y i siły Z w osi Z.

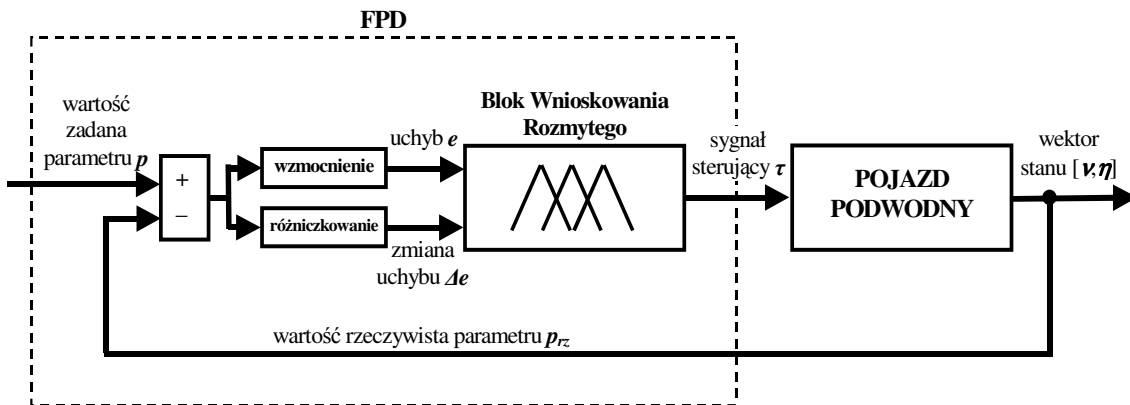


rys. 2. System automatycznego sterowania pojazdem podwodnym

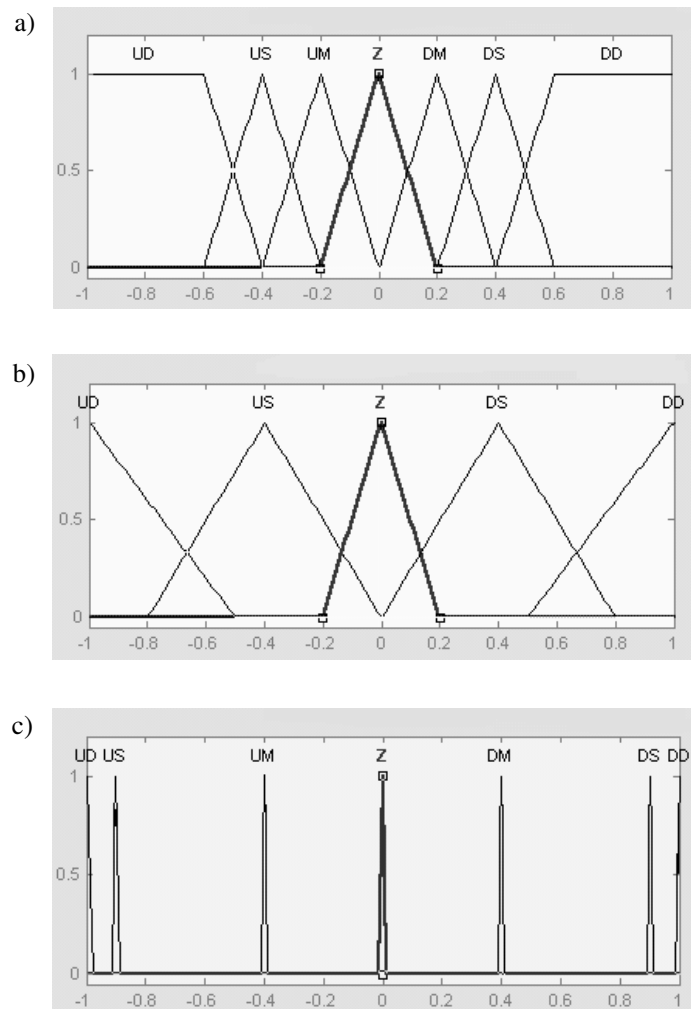
Do zadania sterowania: kursem, przesunięciem w osi X i w osi Y oraz głębokością zanurzenia wykorzystano rozmyte regulatory proporcjonalno-różniczkujące PD (rys. 3), gdzie parametrem wejściowym p jest odpowiednio: kurs zadany ψ_{zad} , współrzędna zadana x_{zad} i y_{zad} lub współrzędna zadana z_{zad} .

Zastosowanie metod logiki rozmytej w realizacji regulatorów PD polega na odpowiednim doborze:

- 1) liczby i typu funkcji przynależności zmiennych wejściowych i wyjściowych oraz ich położeniu w przestrzeni rozważań wejściowo-wyjściowych,
- 2) reguł wnioskowania rozmytego, tworzących tzw. bazę reguł [1].



rys. 3. Schemat rozmytego regulatora proporcjonalno-różniczkującego FPD z pojazdem podwodnym



rys. 4. Przestrzeń rozważań wejściowo-wyjściowych regulatora głębokości zanurzenia: a) uchyb głębokości zanurzenia, b) zmiana uchybu głębokości zanurzenia, c) siła Z

Do dostrajania podziału przestrzeni rozważań i bazy reguł posłużono się metodą symulacji komputerowej modelu matematycznego pojazdu podwodnego

wraz z zaprojektowanym systemem sterowania. Całość procesu dostrajania przeprowadzono w oparciu o obliczone bezpośrednie i całkowite wskaźniki jakości sterowania poszczególnych regulatorów. Szerzej wspomniane zagadnienia modelowania matematycznego pojazdu podwodnego oraz dostrajania zaprojektowanych regulatorów rozmytych omówiono w [3,4,5].

Tabela 1.
Baza reguł wnioskowania rozmytego regulatora głębokości zanurzenia

		Uchyb głębokości zanurzenia						
		UD	NM	NS	Z	DS	DM	DB
Zmiana uchybu głębokości zanurzenia	UD	UD	UD	UD	US	Z	DM	DD
	US	UD	UD	US	UM	DM	DS	DD
	Z	UD	US	US	Z	DS	DS	DD
	DS.	UD	US	UM	DM	DS	DD	DD
	DD	UD	UM	Z	DS	DD	DD	DD
		Siła Z						

Wyjaśnienie oznaczeń: UD – ujemny duży, US – ujemny średni, UM – ujemny mały, Z – zerowy, DD – dodatni duży, DS – dodatni średni, DM – dodatni mały

Przedstawiony dobór funkcji przynależności (rys. 4) umożliwił zbudowanie bazy reguł wnioskowania rozmytego, składającą się z 35 reguł (tab. 1). Poszczególne reguły można odczytać z przecięcia kolejnych wierszy i kolumn tabeli. Dla pierwszego wiersza i pierwszej kolumny uzyskuje się następującą regułę:

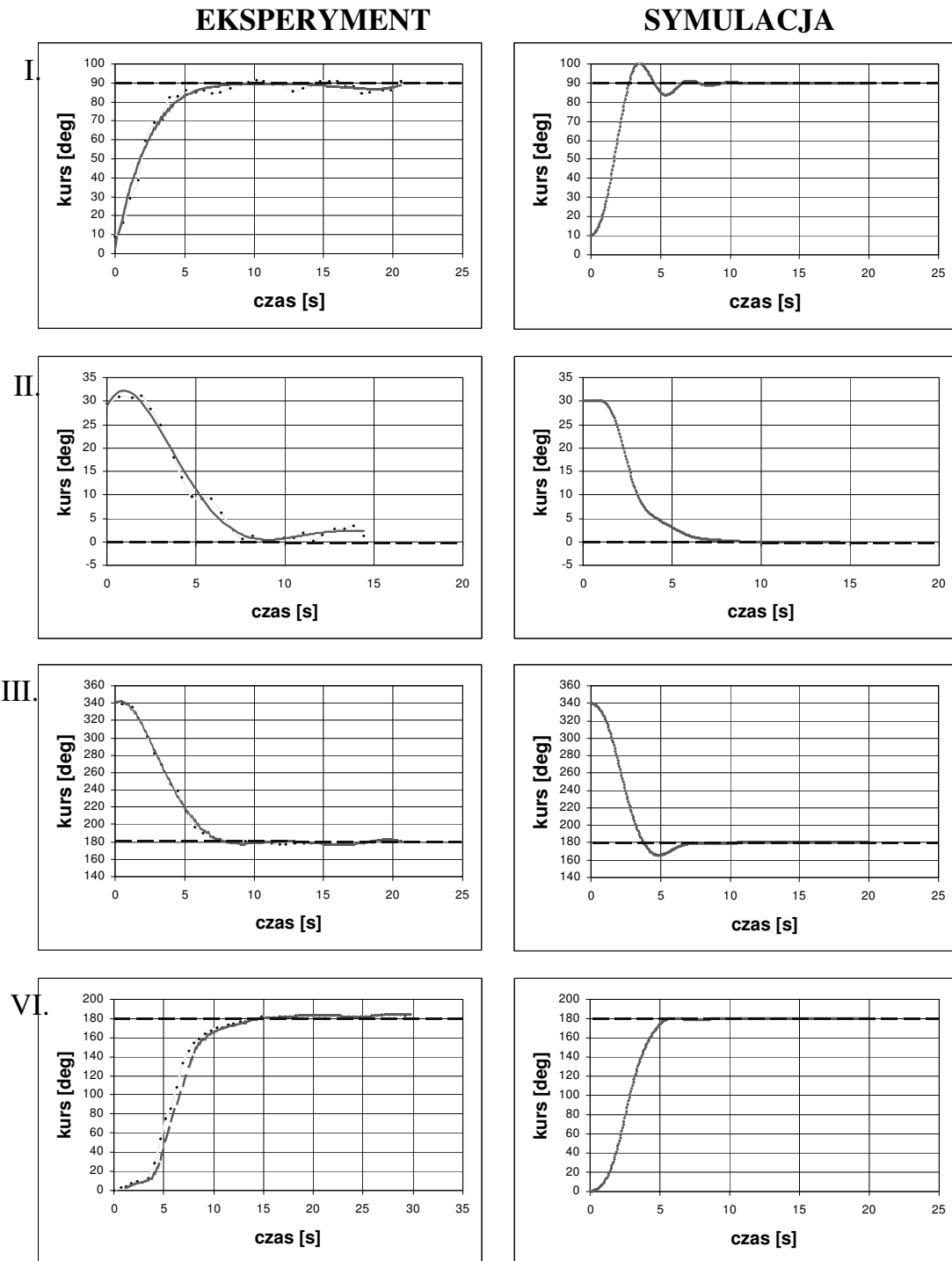
***Jeśli uchyb głębokości zanurzenia jest ujemny duży
i zmiana uchybu głębokości zanurzenia jest ujemna duża
to siła Z jest ujemna duża***

2. WYBRANE WYNIKI STEROWANIA RZECZYWISTYM OBIEKTEM

Badania eksperymentalne opracowanego systemu sterowania przeprowadzono na zdalnie sterowanym pojeździe podwodnym typu Ukwiąg, wodowanym z niszczyciela min ORP „Flaming”. Badania przeprowadzono w basenie portowym Portu Wojennego Gdynia w następujących warunkach środowiskowych:

- 1) powierzchnia wody z pomijalnie małym falowaniem,
- 2) brak wpływu prądu morskiego na pojazd (przyjęto prędkość prądu morskiego $V_p = 0$ m/s).

Jednym z podstawowych zadań sterowania ruchem pojazdu podwodnego jest regulacja kursu. Wyniki automatycznego sterowania kursem rzeczywistego pojazdu podwodnego, dla różnych wartości zadanego kursu ψ_{zad} , przy określonych wartościach początkowych kursu ψ_{pocz} i określonych wartościach siły X w porównaniu do automatycznego sterowania symulowanym obiektem zobrazowano na rys. 5.

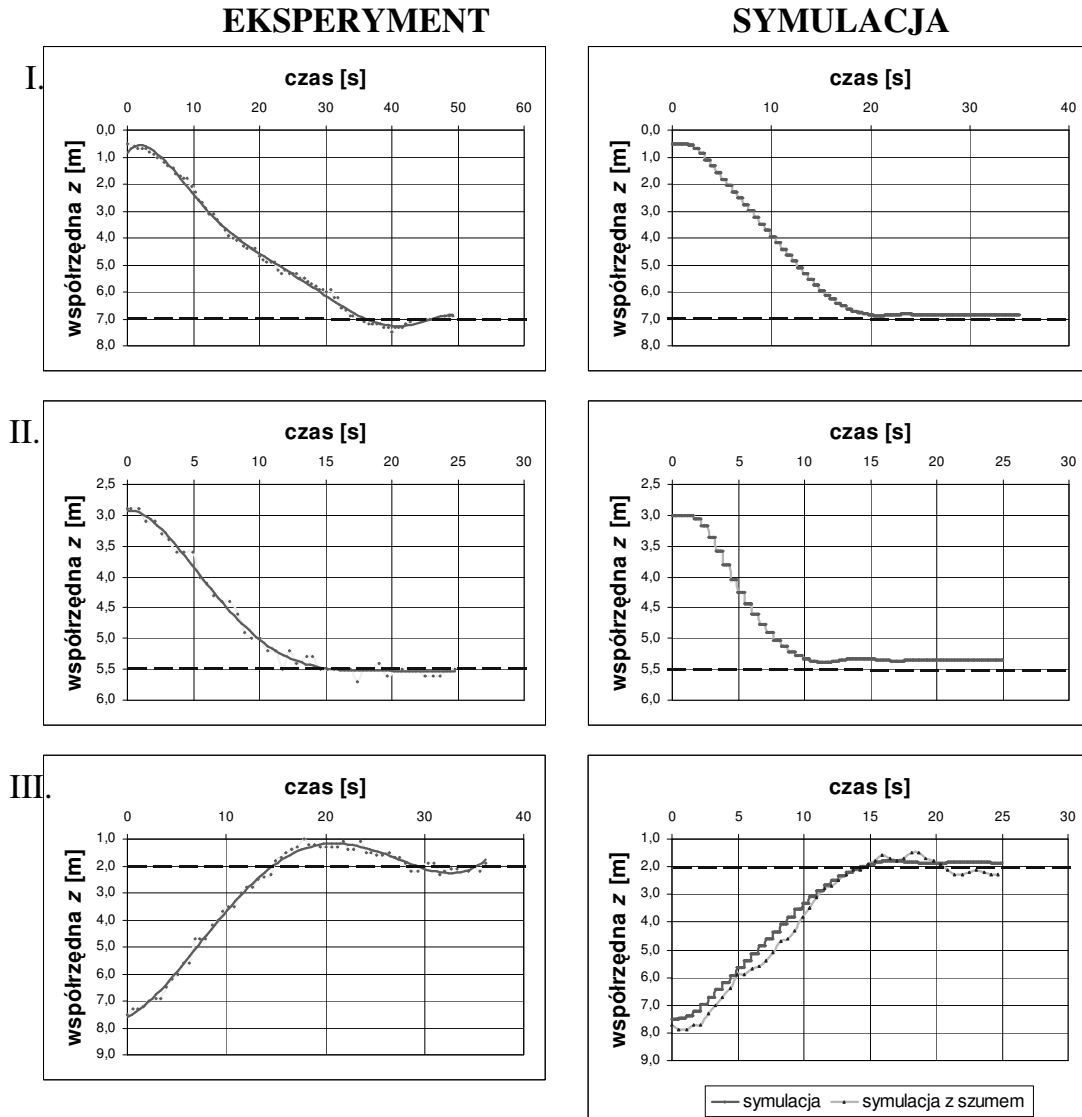


rys. 5. Sterowanie kursem pojazdu podwodnego: I. $\psi_{zad} = 90^{\circ}$, $\psi_{pocz} = 10^{\circ}$; II. $\psi_{zad} = 0^{\circ}$, $\psi_{pocz} = 30^{\circ}$ i $X = 200N$; III. $\psi_{zad} = 180^{\circ}$, $\psi_{pocz} = 340^{\circ}$; IV. $\psi_{zad} = 180^{\circ}$, $\psi_{pocz} = 0^{\circ}$ i $X = 100N$

Na podstawie analizy otrzymanych wyników regulacji kursu rzeczywistego i zasymulowanego pojazdu podwodnego sformułowano następujące wnioski [5]:

- 1) lepszą jakość sterowania otrzymano dla pojazdu nie wykonującego dodatkowych manewrów; wynika to z faktu, iż w tym przypadku całkowity wektor naporu może zostać wykorzystany do realizacji zmiany kursu,

2) zaprojektowany regulator kursu średnio w czasie 10 s realizuje zmianę kursu o 180° , co potwierdzają badania eksperymentalne (rys. 5).



Rys. 6. Sterowanie głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego: I. $Z_{zad} = 7$ m, $Z_{pocz} = 0,5$ m; II. $Z_{zad} = 5,5$ m, $Z_{pocz} = 3$ m; III. V. $Z_{zad} = 2$ m, $Z_{pocz} = 7,5$ m (symulacja z szumem)

Równie istotnym co kurs parametrem ruchu pojazdu podwodnego jest głębokość zanurzenia. Wyniki automatycznego sterowania głębokością zanurzenia rzeczywistego pojazdu podwodnego, dla różnych wartości zadanej współrzędnej Z_{zad} , przy określonych wartościach początkowych współrzędnej Z_{pocz} w porównaniu do automatycznego sterowania symulowanym obiektem zobrazowano na rys. 6.

Po przeanalizowaniu otrzymywanych z urządzeń pokładowych pojazdu podwodnego wartości głębokości zanurzenia i kursu stwierdzono, iż bardziej zaszumiony i mniej dokładny jest sygnał z czujnika głębokości. Wynika to przede wszystkim z przyjętego przez projektantów pojazdu kroku dyskretyzacji: dla głębokości zanurzenia ($0,1$ m) a dla kursu ($0,1^\circ$). W odniesieniu do zakładanych wartości uchybu regulacji głębokości zanurzenia $e_{zzad} = 0,3$ m i kursu $e_{\psi z ad} = 5^\circ$ przyjęte kroki dyskretyzacji stanowią odpowiednio 33% e_{zzad} i 2% $e_{\psi z ad}$.

W celu sprawdzenia wielkości zaszumienia mierzonej wartości głębokości zanurzenia przeprowadzono tzw. symulacje z szumem, gdzie symulowaną wartość współrzędnej z zdyskretyzowano z krokiem 0,1 m i dodano szum normalny o wartości średniej równej 0 i odchyleniu standardowym równym 0,2. Prezentowana symulacja (rys. 6 III) jest zbliżona do eksperymentu, co pozwala stwierdzić, iż w rzeczywistości mierzona wartość głębokości zanurzenia jest zakłócana przez szum o parametrach zbliżonych do zasymulowanego.

W praktyce dokładne sterowanie głębokością zanurzenia przy przyjętym kroku dyskretyzacji – 0,1 cm jest utrudnione i wykorzystanie tej samej metody regulacji daje mniejszą jakość sterowania niż w przypadku automatycznej regulacji kursu.

Zaprojektowany regulator głębokości zanurzenia średnio w czasie 5 s realizuje zmianę głębokości zanurzenia o 1 m.

Z powodu zbyt dużych błędów współrzędnej x i współrzędnej y , otrzymywanych z systemu pozycjonowania podwodnego w stosunku do wymagań stawianych przez system sterowania zrezygnowano z badań eksperymentalnych zaprojektowanych regulatorów przesunięcia w osi X i w osi Y . Duże błędy pozycji pojazdu wynikały z specyficznej pracy systemu pozycjonowania w narażonym na szумы i wielokrotne interferencje sygnałów pomiarowych w podwodnym środowisku basenu portowego.

3. PODSUMOWANIE PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż możliwa jest synteza systemu sterowania w oparciu o regulatory, wykorzystujące rozmyte przetwarzanie danych. Zaletą wykorzystanej metody logiki rozmytej jest czytelny (zrozumiały dla człowieka) opis zmiennych wejściowych i wyjściowych oraz przetwarzania danych (czyli bloku wnioskowania rozmytego), i efektywność porównywalna a czasami nawet lepsza od metod konwencjonalnych [2].

Opracowany system automatyki można wykorzystać do sterowania innymi pojazdami podwodnymi o różnych konfiguracjach systemu pędników (sygnałami sterującymi są siły i momenty sił, które przetwarzane są na prędkości obrotowe pędników według osobnych, specyficznych dla danego pojazdu algorytmów).

Brak weryfikacji eksperymentalnej regulatorów przesunięcia w osi X i w osi Y nie przekreśla możliwości ich zastosowania w systemie automatycznego sterowania rzeczywistym pojazdem podwodnym, co pośrednio potwierdza pozytywna weryfikacja pozostałych dwóch regulatorów. Ewentualne wyłączenie działania nie zweryfikowanych regulatorów z systemu automatyki zmniejsza jego możliwości, ale umożliwia półautomatyczne sterowanie, a przy niewielkim wpływie działania prądu morskiego zapewnić może w miarę dokładne prowadzenie po zadanym torze. Poza tym nawet półautomatyczne działanie systemu sterowania w istotny sposób odciąża operatorów systemu od zadań sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu, dając możliwość skoncentrowania się na regulacji pozostałych parametrów ruchu.

WYKAZ LITERATURY

1. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., „Wprowadzenie do sterowania rozmytego”, Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1996rok,
2. Garus J., Kitowski Z., *Fuzzy control of underwater vehicle motion, Advances in Fuzzy Systems and Evolutionary Computation*, World Scientific and Engineering Society Press 2001 rok,
3. 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. Szymak P., „Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji dla sterowania pojazdem podwodnym w inspekcji obiektów oceanotechnicznych”, Rozprawa doktorska, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2004

Recenzent: dr hab. inż. Bogdan Żak

Autor:

dr inż. Piotr Szymak – Akademia Marynarki Wojennej