

Jerzy Garus
Piotr Szymak

**STEROWANIE ROZMYTE KURSEM
I ZANURZENIEM POJAZDU PODWODNEGO –
BADANIA SYMULACYJNE
I EKSPERYMENTALNE**

STRESZCZENIE

Praca dotyczy syntezy rozmytych algorytmów regulacji dla sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego. Do rozwiązania zadania wykorzystano regulatory PD z rozmytym przetwarzaniem danych. Zamieszczono przykładowe wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego typu „Ukwiał”.

WSTĘP

Podstawowym zadaniem realizowanym przez pojazd podwodny w inspekcji obiektów oceanotechnicznych jest przemieszczanie się po zadanym torze. Zdalne sterowanie pojazdem głębinowym typu ROV (ang. *remotely operated vehicle*) realizuje się za pomocą drążków sterowniczych oraz przełączników i pokręteł zgrupowanych na pulpicie sterowania. Przy realizacji skomplikowanych zadań wymagana jest obsługa przez więcej niż jednego operatora. W takich przypadkach jeden steruje ruchem pojazdu, a drugi wyposażeniem zamontowanym na pojeździe: kamerami, manipulatorem itp.

Trudności związane z ręcznym sterowaniem pojazdem podwodnym, w szczególności w obecności zakłóceń ze strony środowiska morskiego, przyczyniły się do zintensyfikowania prac nad systemami automatycznego sterowania, odciążającymi operatorów od zadania prowadzenia pojazdu po zadanym torze ruchu. Podstawowe parametry ruchu pojazdu podwodnego to kurs i głębokość zanurzenia.

MODEL MATEMATYCZNY POJAZDU PODWODNEGO

W pracy przyjęto następujący model matematyczny pojazdu podwodnego o sześciu stopniach swobody opisany równaniami ruchu w postaci macierzowej [2, 3, 6]:

$$M \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) + U(v)v = \tau, \quad (1)$$

- gdzie:
- v – wektor prędkości liniowych i kątowych;
 - M – macierz inercji (równa sumie macierzy ciała sztywnego M_{RB} i macierzy mas towarzyszących M_A);
 - $C(v)$ – macierz sił odśrodkowych i dośrodkowych Coriolisa (równa sumie macierzy Coriolisa pojazdu traktowanego jako ciało sztywne C_{RB} i macierzy uwzględniającej masy towarzyszące C_A);
 - $D(v)$ – macierz tłumienia hydrodynamicznego;
 - $g(\eta)$ – macierz sił przywracających (siły ciężkości P i siły wyporu B);
 - $U(v)$ – macierz tłumienia generowanego przez pępowinę;
 - τ – wektor sił i momentów oddziałujących na pojazd.

W przyjętym do badań modelu matematycznym uwzględniono wpływ zakłócenia zewnętrznego w postaci oddziałującego prądu morskiego.

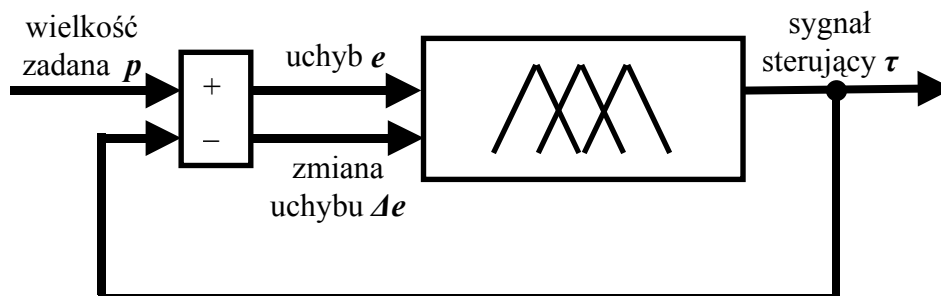
Dla potrzeb symulacji komputerowej przyjęto współczynniki hydrodynamiczne dla zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego typu „Ukwiał”.

ARCHITEKTURA SYSTEMU STEROWANIA

Zaprojektowany system automatycznego sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego składa się z:

1. Układu sterowania nadrzędnego, odpowiadającego za włączanie i wyłączenie poszczególnych regulatorów w zależności od wykonywanego zadania podwodnej inspekcji oraz wprowadzanie zadanych wartości regulowanych parametrów ruchu i rejestrowanie z archiwizacją parametrów ruchu pojazdu.
2. Rozmytych regulatorów proporcjonalno-różniczkujących kursu i głębokości zanurzenia, złożonych z dwóch stopni swobody pojazdu, odpowiednio: momentu N względem osi Z i siły Z w osi Z .

Zasadę działania wykorzystanych regulatorów ilustruje rysunek 1., na którym parametrem wejściowym p jest odpowiednio: kurs zadany ψ_{zad} lub współrzędna zadana z_{zad} .



Rys. 1. Rozmyty regulator proporcjonalno-różniczkujący FPD

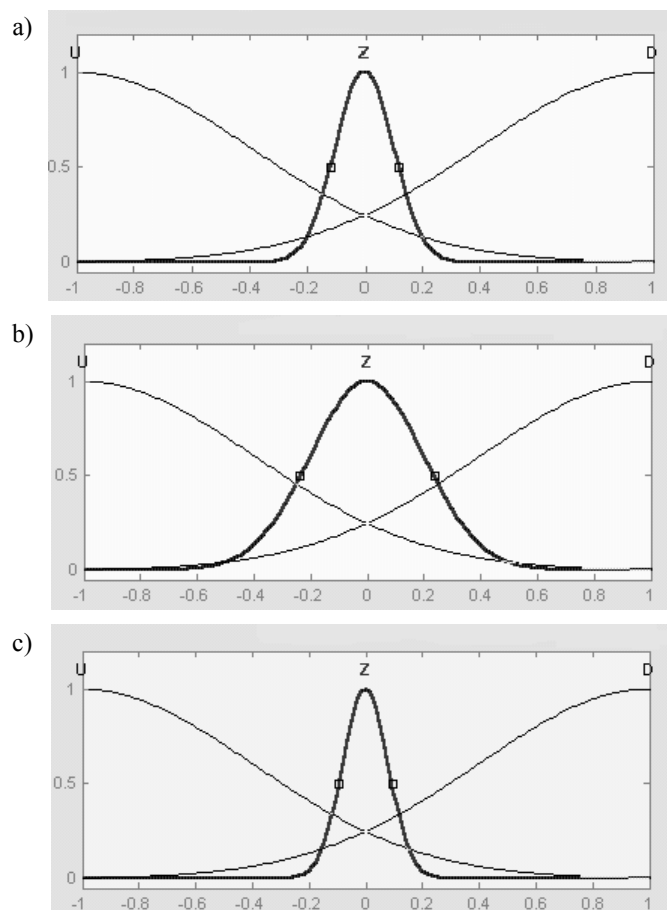
Regulatory proporcjonalno-różniczkujące oparte na metodach logiki rozmytej mają dwie zmienne wejściowe: uchyb e i zmianę uchybu Δe oraz jedną zmienną wyjściową: sygnał sterujący τ . Dla kolejnych regulatorów odpowiednio otrzymuje się:

- dla regulatora kursu: uchyb kursu e_ψ , zmianę uchybu kursu Δe_ψ oraz moment siły N ;
- dla regulatora głębokości zanurzenia: uchyb głębokości zanurzenia e_z , zmianę uchybu głębokości zanurzenia Δe_z oraz siłę Z .

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

- liczby i typu funkcji przynależności zmiennych wejściowych i wyjściowych;
- reguł wnioskowania rozmytego [1, 5].

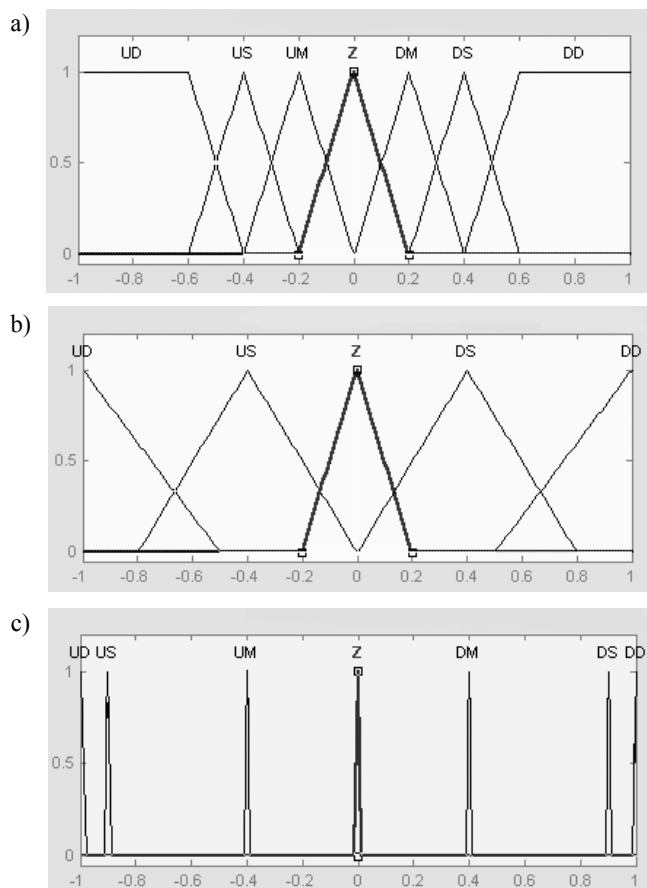
Wykorzystany podział przestrzeni rozważań wejściowo-wyjściowych i dobór reguł wnioskowania rozmytego dla regulatora kursu ilustruje rysunek 2. i tabela 1., a dla regulatora głębokości zanurzenia rysunek 3. i tabela 2, [3, 4, 6].



Rys. 2. Przestrzeń rozważań wejściowo-wyjściowych regulatora kursu:
 a) uchyb kursu, b) zmiana uchybu kursu, c) moment siły N .

Tabela 1. Baza reguł wnioskowania rozmytego regulatora kursu

		Uchyb kursu		
		U	Z	D
Zmiana uchybu kursu	U	U	U	Z
	Z	U	Z	D
	D	Z	D	D
		Moment siły N		



Rys. 3. Przestrzeń rozważań wejściowo-wyjściowych regulatora głębokości zanurzenia: a) uchyb głębokości zanurzenia, b) zmiana uchybu głębokości zanurzenia, c) siła Z

Tabela 2. 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						

Zaprojektowane regulatory przedstawiono w postaci unormowanej. Dla potrzeb przeprowadzenia symulacji i sterowania rzeczywistym obiektem przyjęto wartości współczynników skalujących, jak pokazano w tabeli 3.

Tabela 3. Współczynniki skalujące dla zakresu uchybu, zmiany uchybu i zakresu sygnału sterującego zaprojektowanych regulatorów

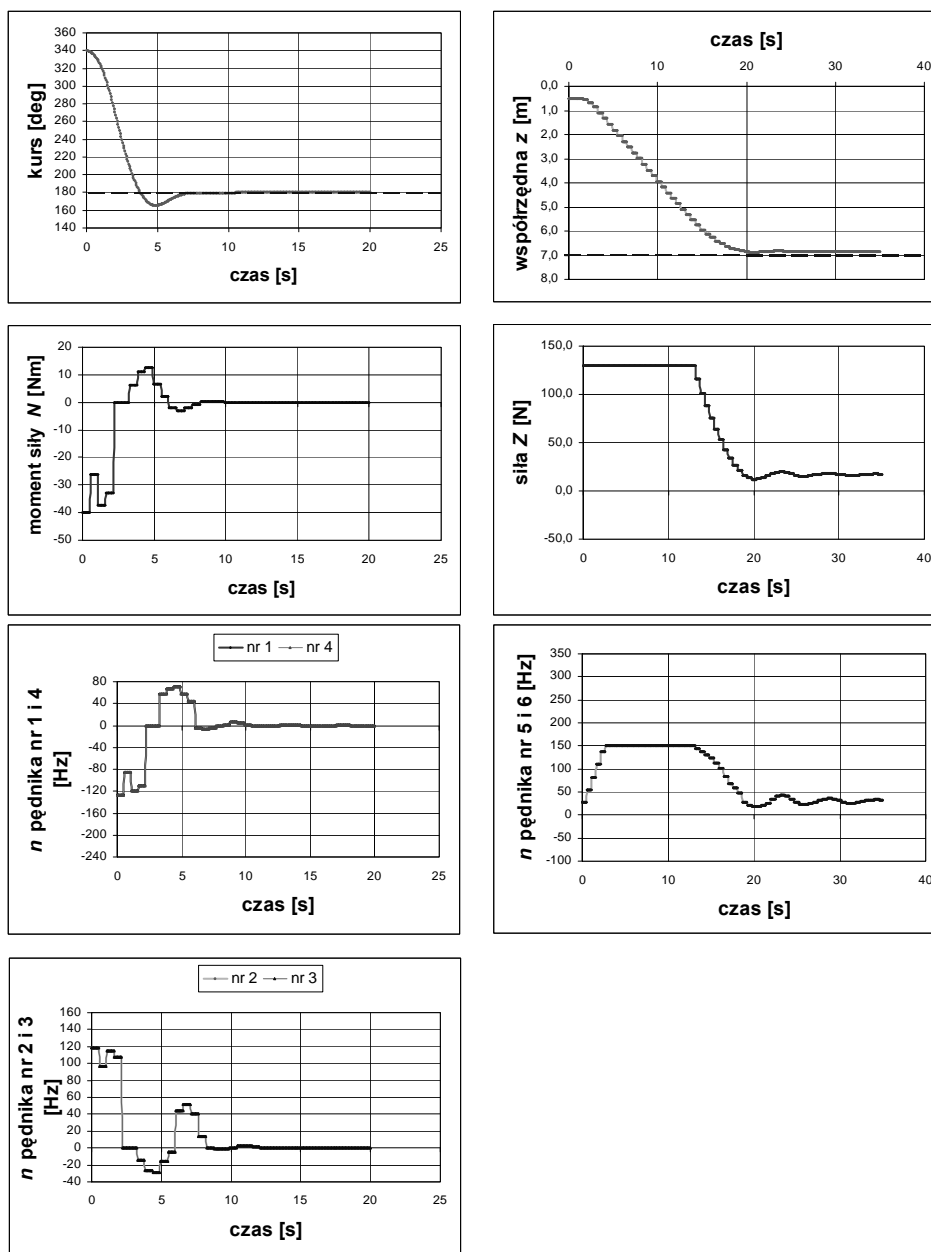
REGULATORY	WSPÓLCZYNNIKI SKALUJĄCE		
	zakresu uchybu k_e	zakresu zmian uchybu $k_{\Delta e}$	zakresu sygnału sterującego k_r
kursu	180*rad	30*rad	80
zanurzenia	10	2,5	250

BADANIA SYMULACYJNE I EKSPERYMENTALNE

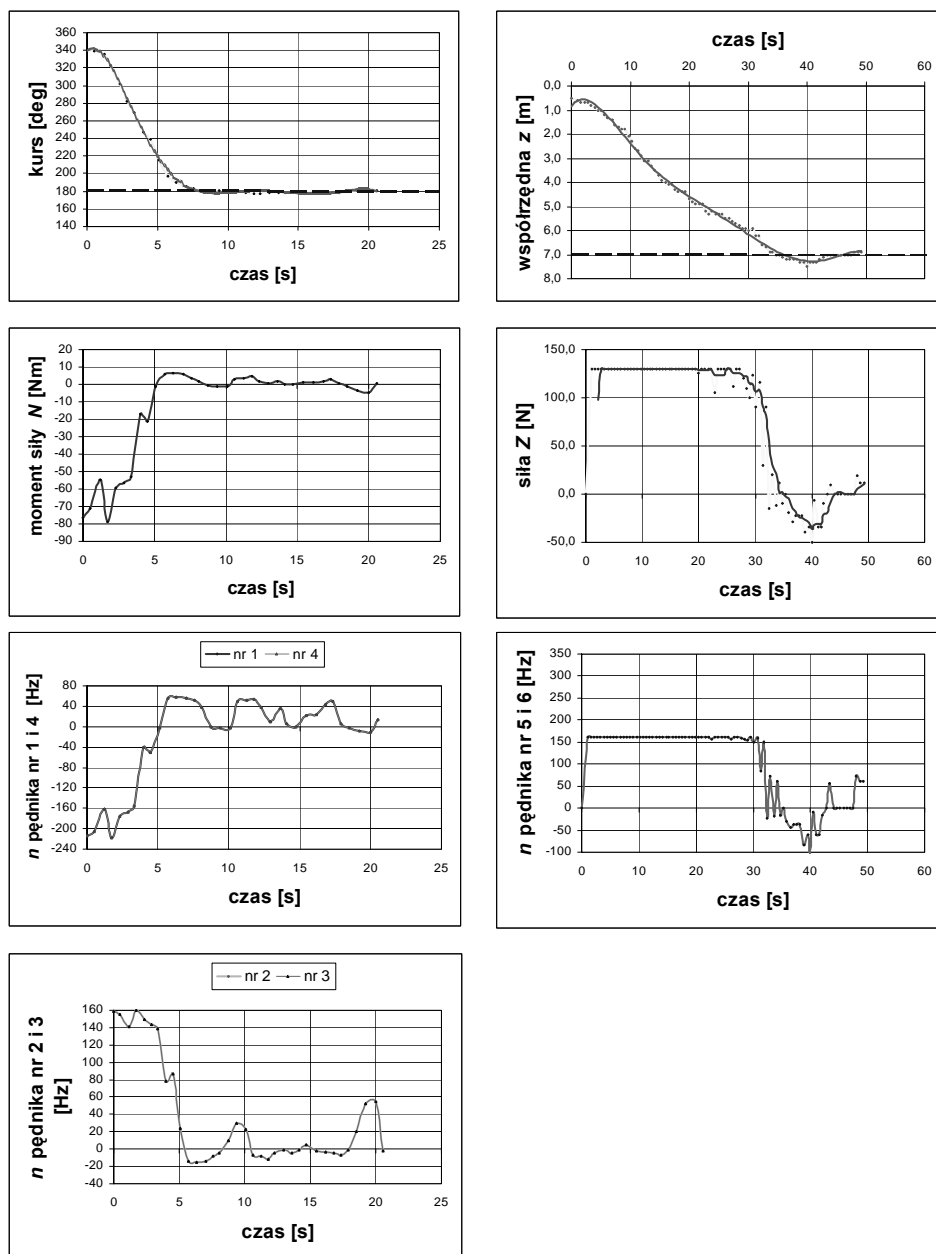
Badania symulacyjne systemu sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego przeprowadzono na platformie Windows/PC z wykorzystaniem środowiska Matlab. Natomiast badania eksperymentalne wykonano dwuetapowo:

1. Wstępna weryfikacja eksperymentalna systemu sterowania na zdalnie sterowanym pojeździe podwodnym typu „Ukwiał” w basenie laboratoryjnym Katedry Techniki Głębinowej Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej.
2. Zasadnicza weryfikacja eksperymentalna na pojeździe „Ukwiał”, wodowanym z niszczyciela min ORP „Flaming” w basenie nr 8 Portu Wojennego Gdynia.

Wyniki badań symulacyjnych automatycznego sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego pokazano na rysunku 4., natomiast wyniki badań eksperymentalnych na rysunku 5. Prezentowane wyniki dotyczą sytuacji, gdy w chwili $t = 0s$ pojazd ma wartości początkowe: $\psi_{pocz} = 340^0$ i $z_{pocz} = 0,5$ m, a wartości zadane to: $\psi_{zad} = 180^0$ i $z_{zad} = 7$ m.



Rys. 4. Wyniki badań symulacyjnych sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego



Rys. 5. Wyniki badań eksperymentalnych sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych potwierdzają twierdzenie, iż możliwe jest sterowanie ruchem pojazdu podwodnego w realizacji zadań podwodnej inspekcji obiektów oceanotechnicznych przy wykorzystaniu regulatorów typu PD, opartych na metodach logiki rozmytej. Zastosowanie wspomnianej metody sztucznej inteligencji umożliwiło poprawne dostrojenie systemu sterowania na przybliżonym modelu matematycznym, co potwierdziły badania eksperymentalne na rzeczywistym obiekcie.

Przedstawiony system regulatorów umożliwia półautomatyczne sterowanie prowadzeniem pojazdu po zadanym torze, co w istotny sposób odciąża operatora systemu od zadań sterowania kursem i głębokością zanurzenia pojazdu, dając możliwość skoncentrowania się na regulowaniu pozostałymi parametrami ruchu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*, WNT, Warszawa 1996.
- [2] Fossen T. I., *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley and Sons, Inc., Chichester 1994.
- [3] Garus J., Szymak P., *Automatyczne sterowanie pojazdem ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu*, materiały konferencji naukowo-technicznej „Automatyzacja – nowości i perspektywy”, Warszawa 2002.
- [4] Mac Vicar-Whelan P. J., *Fuzzy Sets for Man-machine Interactions*, „International Journal of Man-Machine Studies”, 1977, No 8.
- [5] Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
- [6] Szymak P., *Automatyczna stabilizacja położenia i kursu pojazdu podwodnego*, materiały XIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu”, Gdynia 2002.

ABSTRACT

The paper deals with the synthesis of broadening regulation algorithms for control of the course and submersion depth of an underwater vehicle. To solve the problem PD regulators with broadening data procession were used. It presents examples of simulation and experimental investigations of „Ukwiał” type remotely controlled vehicle.

Recenzent kmdr prof. dr hab. inż. Zygmunt Kitowski