

Automatyczne sterowanie pojazdem ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu

W niniejszym referacie przedstawiono system automatycznego prowadzenia zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego po trajektorii w celu realizacji zadanych badań nad zanurzoną częścią kadłuba okrętu. Opracowany system oparty jest na metodach logiki rozmytej.

Automatic control of remotely operated vehicle in underwater inspection of ship's hull

In this paper there were presented automatic control of remotely operated vehicle along trajectory in order to realization inspections of ship's hull. Designed system is based on methods of fuzzy logic.

1. WPROWADZENIE

Od kilkunastu lat obserwuje się rosnące zainteresowanie zdalnie sterowanymi pojazdami podwodnymi jako zaawansowanymi technologicznie urządzeniami do prowadzenia badań i wykonywania prac pod wodą. ROV (skrót z ang. *Remotely Operated Vehicle*) to pojazd podwodny sterowany przez operatora i zasilany poprzez kablolinę z pokładu jednostki pływającej lub stacjonarnie z pomostu, brzożu, itp.

Okresowe przeprowadzanie podwodnej inspekcji kadłuba okrętu, wykonywane w postaci zwiadu nurkowego, pozwala na ocenę stanu technicznego kadłuba oraz wpływa na zwiększenie czasu między kolejnymi dokowaniami, z czym związana jest oszczędność czasu i środków finansowych.

Z przeprowadzonej wstępnej analizy problemu wynika, że istnieje możliwość zastosowania pojazdów ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu, co pozwoli na:

- zastąpienie nurka we wstępnych badaniach wizualnych,
- wspomaganie jego pracy w badaniach korozyjnych i uszkodzeń,

We wszystkich przypadkach istotne jest prowadzenie pojazdu podwodnego po zadanej trajektorii, aby można było przeprowadzić badania w zadanych miejscach i na zadanych elementach kadłuba oraz w określonej odległości od okrętu, aby zapewnić jak najlepsze warunki widzialności dla pracy manipulatorów pobierających próbki, kamer, aparatów fotograficznych, itp.

Zastosowanie ROV wpłynie na: poprawę bezpieczeństwa pracy nurka, umożliwi jej monitorowanie i dokumentowanie, a w przypadku zastąpienia nurka pojazdem podwodnym pozwoli zmniejszyć okres przebywania w warunkach szkodliwych dla zdrowia, a nawet niebezpiecznych dla życia.

2. MODEL MATEMATYCZNY POJAZDU PODWODNEGO

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych zaprojektowanego sterownika trajektorii przyjęto następujący model matematyczny obiektu podwodnego o 6-ciu stopniach swobody opisany równaniami ruchu [2][3]:

$$\begin{cases} m[\ddot{u}-vr+wq-x_G(q^2+r^2)+y_G(pq-\dot{r})+z_G(pr+\dot{q})] & = X \\ m[\ddot{v}-wp+ur-y_G(r^2+p^2)+z_G(qr-\dot{p})+x_G(qp+\dot{r})] & = Y \\ m[\ddot{w}-uq+vp-z_G(p^2+q^2)+x_G(rp-\dot{q})+y_G(rq+\dot{p})] & = Z \\ I_x\dot{p}+(I_z-I_y)qr+m[y_G(\dot{w}-uq+vp)-z_G(\dot{v}-wp+ur)] & = K \\ I_y\dot{q}+(I_z-I_x)rp+m[z_G(\dot{u}-vr+wq)-x_G(\dot{w}-uq+vp)] & = M \\ I_x\dot{r}+(I_y-I_x)pq+m[x_G(\dot{v}-wp+ur)-y_G(\dot{u}-vr+wq)] & = N \end{cases}$$

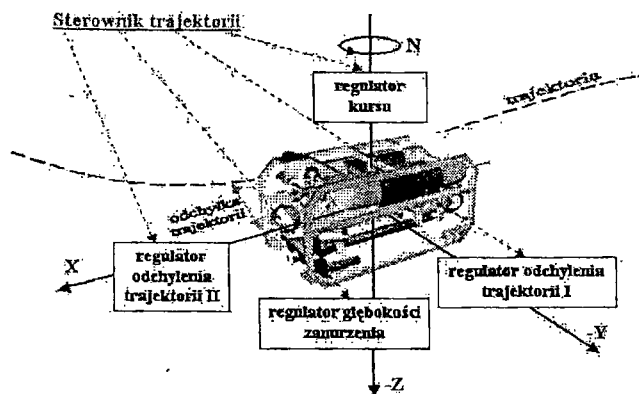
Na przebieg trajektorii poruszającego się pod wodą pojazdu duży wpływ mają różnego rodzaju zakłócenia. W przyjętym do badań modelu matematycznym uwzględniono wpływ tłumienia, generowanego przez kabliność oraz oddziaływanie prądu morskiego, co pozwoliło na badanie odporności opracowanego systemu sterowania na wpływ zakłóceń zewnętrznych.

3. SYSTEM STEROWANIA PO ZADANEJ TRAJEKTORII

Opracowany system automatycznego sterowania pojazdem podwodnym po zadanej trajektorii składa się z (rys. 1):

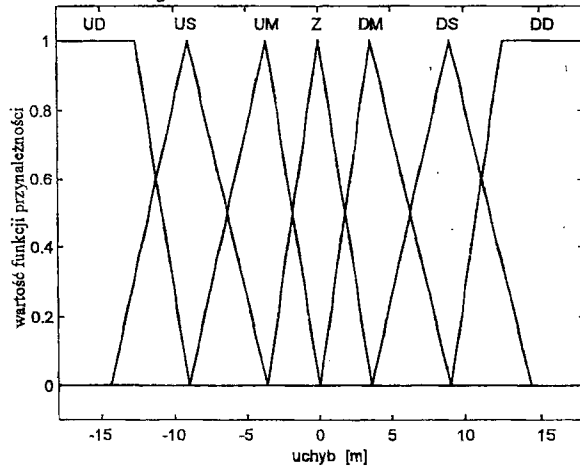
1) rozmytych regulatorów PD:

- kursu (sterowanie momentem siły N po pionowej osi z),
 - głębokości zanurzenia (sterowania siłą Z wzdłuż pionowej osi),
 - regulator odchylenia trajektorii I (sterowania siłą Y w poziomej płaszczyźnie ruchu),
 - regulator odchylenia trajektorii II (sterowania siłą X w poziomej płaszczyźnie ruchu),
- 2) sterownika trajektorii – programu nadrzędnego, włączającego określone regulatory w odpowiednich punktach trajektorii ruchu,

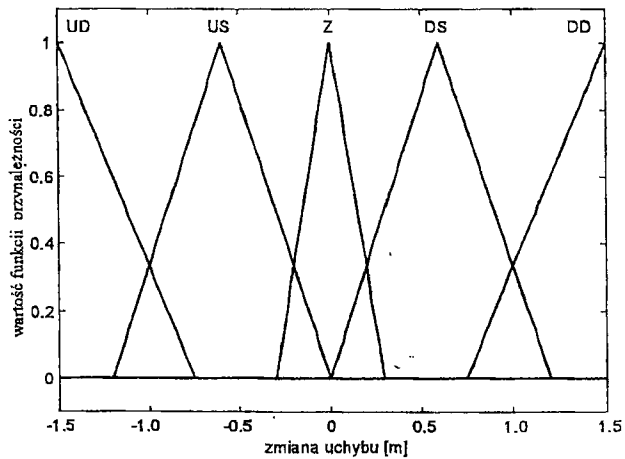


Rys. 1 Struktura systemu automatycznego sterowania pojazdem podwodnym po zadanej trajektorii

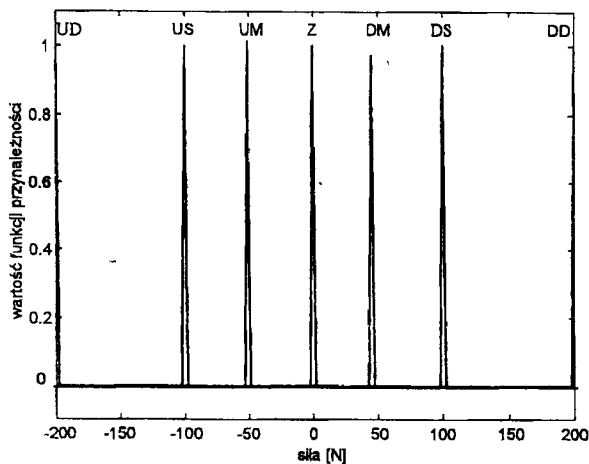
System sterowania pojazdem ROV umożliwia sterowanie w 4 stopniach swobody. W przyjętych rozmytych regulatorach PD zmiennymi wejściowymi są: uchyb e i zmiana uchybu Δe regulowanej wielkości, natomiast zmienną wyjściową jest sygnał sterujący z_3 zapewniający osiągnięcie zadanej wartości. Zastosowano systemy rozmyte typu Sugeno o następującym podziale przestrzeni rozważań wejściowo-wyjściowej: uchyb – 7 funkcji przynależności (rys. 3), zmiana uchybu – 5 funkcji przynależności (rys. 4) oraz sygnał sterujący – 7 singletonów (rys.5). Baza reguł systemu wnioskowania rozmytego składa się z 35 reguł (tab. 1).



Rys. 3 Podział przestrzeni rozważań dla zmiennej uchyb e (w regulatorze głębokości zanurzenia)



Rys. 4 Podział przestrzeni rozważań dla zmiennej uchyb Δe (w regulatorze głębokości zanurzenia)



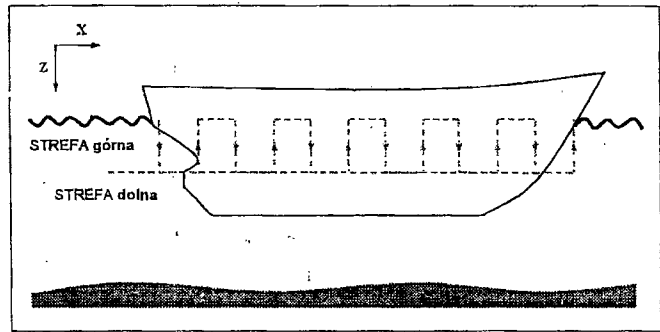
Rys. 5 Podział przestrzeni rozważań dla zmiennej sygnał sterujący τ_3 (w regulatorze głębokości zanurzenia)

Tab. 1. Baza reguł regulatora rozmytego sterowania zanurzeniem pojazdu.

		Uchyb e						
		UD	NM	NS	Z	PS	PM	PB
Zmiana uchybu Δe	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
		Sygnał sterujący τ_3						

4. PROWADZENIA POJAZDU PODWODNEGO PO ZADANEJ TRAJEKTORII RUCHU

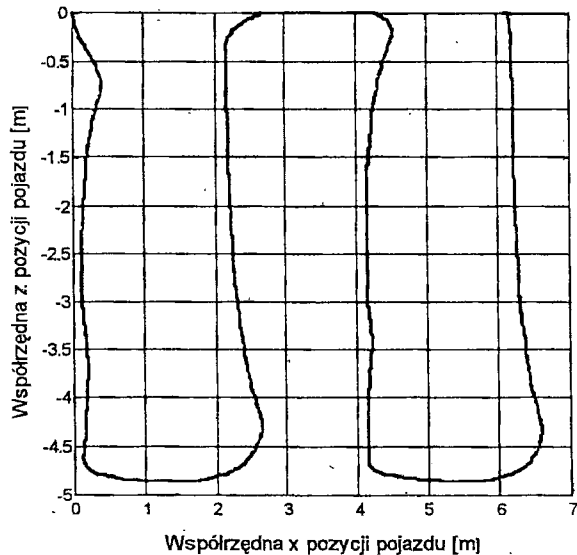
Jedną z możliwości zastosowania pojazdów ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu jest użycie go do przeprowadzenia wstępnych badań wizualnych bez udziału murka. Najczęściej zadanie to rozdziela się na 2 zadania cząstkowe: prowadzenie pojazdu podwodnego w górnej strefie kadłuba okrętu (ruch w płaszczyźnie pionowej) oraz w dolnej strefie (ruch w płaszczyźnie poziomej) (rys. 6).



Rys. 6 Prowadzenie pojazdu ROV w górnej strefie kadłuba okrętu (przekrój wzdłużny)

5. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Badania symulacyjne przeprowadzono dla zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego typu *Ukwiał*, o długości 1,4 m, będącego na wyposażeniu okrętów trałowych MW. Na rys. 7 przedstawiono wyniki automatycznego sterowania pojazdu ROV po zadanej trajektorii w górnej strefie kadłuba okrętu przy wykorzystaniu opracowanego systemu sterowania. Przy działającym prądzie morskim o prędkości 0,5 m/s i kierunku 0° (równoległe do płaszczyzny przekroju wzdłużnego kadłuba) otrzymano maksymalny błąd odchylenia trajektorii wynoszący 0,57 m.



Rys. 7 Trajektoria ruchu pojazdu podwodnego w pionowej płaszczyźnie XZ (przy prądzie morskim: 0,5 m/s, 0°)

6. PODSUMOWANIE

W celu automatycznego sterowania pojazdem podwodnym w inspekcji zanurzonej części kadłuba okrętu zaprojektowano system prowadzenia po zadanej trajektorii. Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdzają możliwość zastosowania metod logiki rozmytej w automatycznym sterowaniu pojazdu podwodnego w inspekcji górnej strefy kadłuba okrętu.

LITERATURA:

- 1 Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M.: *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa 1996.
- 2 Fossen T.I.: *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- 3 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*.
- 4 Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Łódź 1999.