

AUTOMATYCZNE STEROWANIE GŁĘBOKOŚCIĄ ZANURZENIA POJAZDU PODWODNEGO

W referacie przedstawiono algorytm automatycznego sterowania głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego oraz wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych przy użyciu zaproponowanego algorytmu.

AUTOMATIC CONTROL OF HEAVE'S DEPTH OF UNDERWATER VEHICLE

In this paper is presented algorithm of automatic control of heave's depth of underwater vehicle and results of simulates and experiments with proposed algorithm.

1. WPROWADZENIE

Wykonywanie różnego rodzaju prac podwodnych, na większych głębokościach w trudniejszych dla człowieka warunkach środowiska, wymusza potrzebę stosowania różnych urządzeń. Jednymi z bardziej zaawansowanych technologicznie są pojazdy podwodne. Pojazd podwodny typu ROV (ang. remotely operated vehicle) jest zdalnie sterowany za pomocą joystick'ów oraz szeregu przełączników i pokręteł zgrupowanych na pulpicie sterowania przez operatora. Przy realizacji skomplikowanych zadań oraz w obecności zakłóceń: silnego prądu morskiego i dużego falowania istnieje potrzeba sterowania przez dwóch lub więcej operatorów.

Podstawowym problemem sterowania w realizacji wszelkiego typu inspekcji obiektów oceanotechnicznych przy użyciu pojazdu podwodnego jest sterowanie położeniem lub trajektorią ruchu. Jednym z podstawowych parametrów tego sterowania jest regulacja do zadanej głębokości zanurzenia. W celu odciążenia operatora pojazdu ROV od wspomnianego zadania do automatycznego sterowania głębokością zanurzenia zaproponowano rozmyty regulator typu PD.

2. MODEL MATEMATYCZNY POJAZDU PODWODNEGO

2.1. Układy odniesienia

Dla analizy ruchu pojazdu podwodnego przyjęto dwa układy odniesienia (rys. 1):

1) Ruchomy układ współrzędnych x_o, y_o, z_o związany z pojazdem podwodnym,

2) Nieruchomy układ współrzędnych xyz związany z Ziemią.

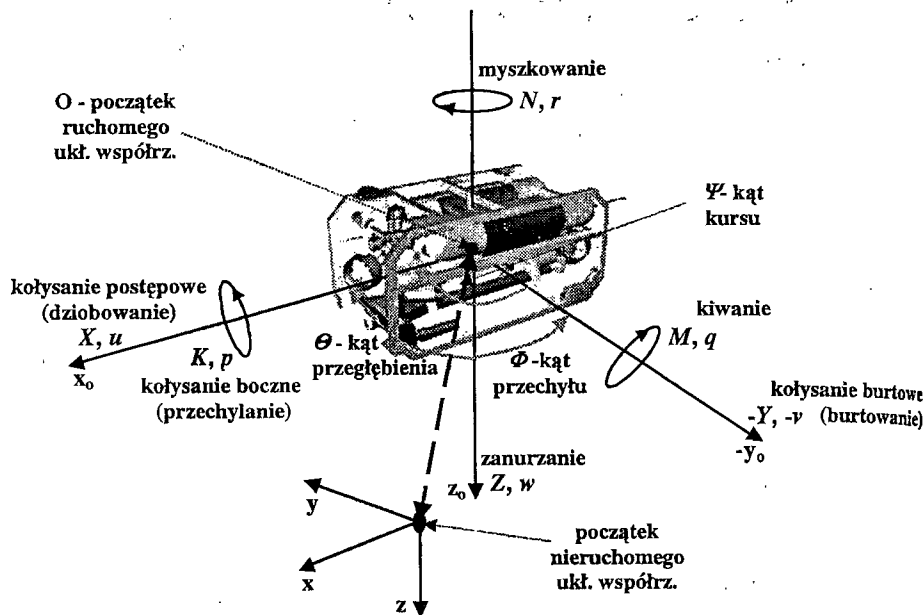
Początek ruchomego układu współrzędnych o odpowiada zazwyczaj środkowi ciężkości pojazdu, natomiast jego osie zdefiniowane są jako:

* x_o – oś wzdłużna skierowana od rufy do dziobu,

* y_o – oś poprzeczna skierowana na prawą burtę,

* z_o – oś prostopadła skierowaną od góry do dna.

Zmiany położenia ruchomego układu współrzędnych x_0, y_0, z_0 opisywane są względem przyjętego układu współrzędnych x, y, z , związanym z Ziemią.



Rys. 1 Pojazd podwodny typu Ukwiągł w układzie odniesienia: związanym z pojazdem i z Ziemią

2.2. Równania ruchu

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych zaprojektowanego regulatora głębokości zanurzenia przyjęto następujący model matematyczny pojazdu podwodnego o 6-ciu stopniach swobody opisany równaniami ruchu w postaci macierzowej [2][3]:

$$M \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) + U(v)v = \tau \quad (2.1)$$

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 oddziaływujących na pojazd.

2.3. Zastosowane aproksymacje

W trakcie analizy dokonano kilku uproszczeń pozwalających na przeprowadzenie symulacji komputerowej w laboratorium. Zastosowane uproszczenia i aproksymacje określonych parametrów i zjawisk wynikają z przyjętych założeń odnośnie obiektu sterowania, czyli zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego rozpatrywanego jako ciało sztywne o 3 płaszczyznach symetrii, poruszające się z małą prędkością w lepkim płynie.

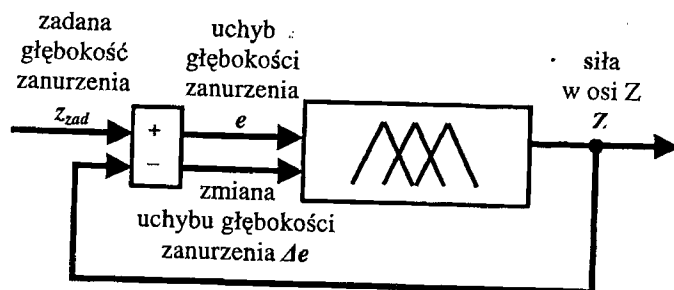
2.4. Zakłócenia

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 kablolinę (pępowinę) oraz wpływ zmiany warunków pływalności pojazdu (realizowany przez zmianę masy pojazdu), co pozwoliło na badanie odporności opracowanego regulatora na wpływ zakłóceń zewnętrznych.

3. ARCHITEKTURA ROZMYTEGO REGULATORA GŁĘBOKOŚCI ZANURZENIA

3.1. Ogólna budowa i zasada działania

Do sterowania głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego wykorzystano rozmyty regulator FPD (rys. 2) typu Takagi-Sugeno [1][4][5].

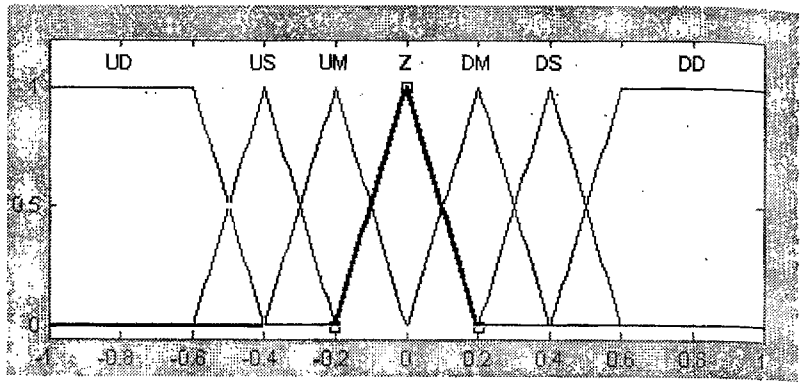


Rys. 2 Rozmyty regulator proporcjonalno-różniczkujący FPD

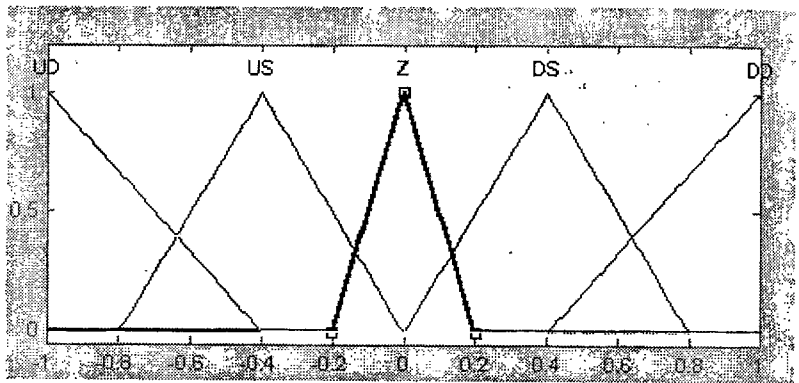
3.2. Zmienne wejściowe i wyjściowe

W rozmytym regulatorze głębokości zanurzenia dokonano następującego podziału przestrzeni rozważań wejściowo-wyjściowych:

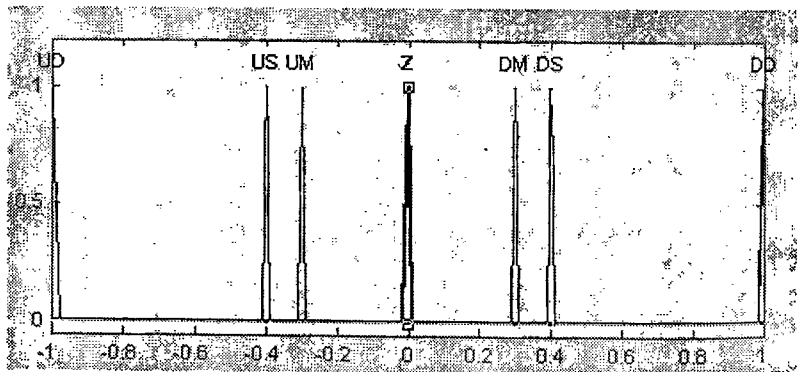
- uchyb głębokości zanurzenia – 7 funkcji przynależności (rys. 3),
- zmiana uchybu głębokości zanurzenia – 5 funkcji przynależności (rys. 4),
- siła w osi Z – 7 singletonów (rys. 5).



Rys. 3 Rozmyta reprezentacja uchybu głębokości zanurzenia



Rys. 4 Rozmyta reprezentacja zmiany uchybu głębokości zanurzenia



Rys. 5 Rozmyta reprezentacja siły w osi Z

3.3. Wnioskowanie rozmyte

Przyjęty w poprzednim podrozdziale podział przestrzeni rozważań wejściowo-wyjściowych daje bazę wnioskowania rozmytego w postaci 35 reguł (rys. 5). Reguły wybrano w oparciu o standardową bazę reguł Mac Vicar-Whelan'a [4].

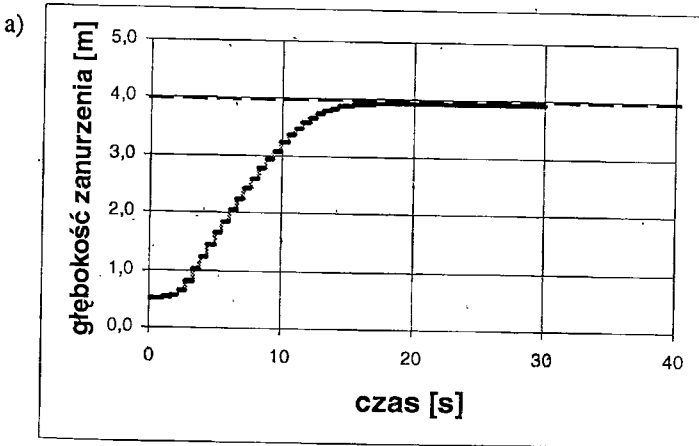
		Uchyb głębokości zanurzenia						
		UD	NM	NS	Z	DS	DM	DB
Zmiana uchybu głębokości zanurzenia	UD	UD	UD	UD	US	Z	DM	DD
	US	UD	UD	US	UM	DM	DS	DD
	Z	UD	US	US	Z	DS	DS	DD
	DS	UD	US	UM	DM	DS	DD	DD
	DD	UD	UM	Z	DS	DD	DD	DD
Siła w osi Z								

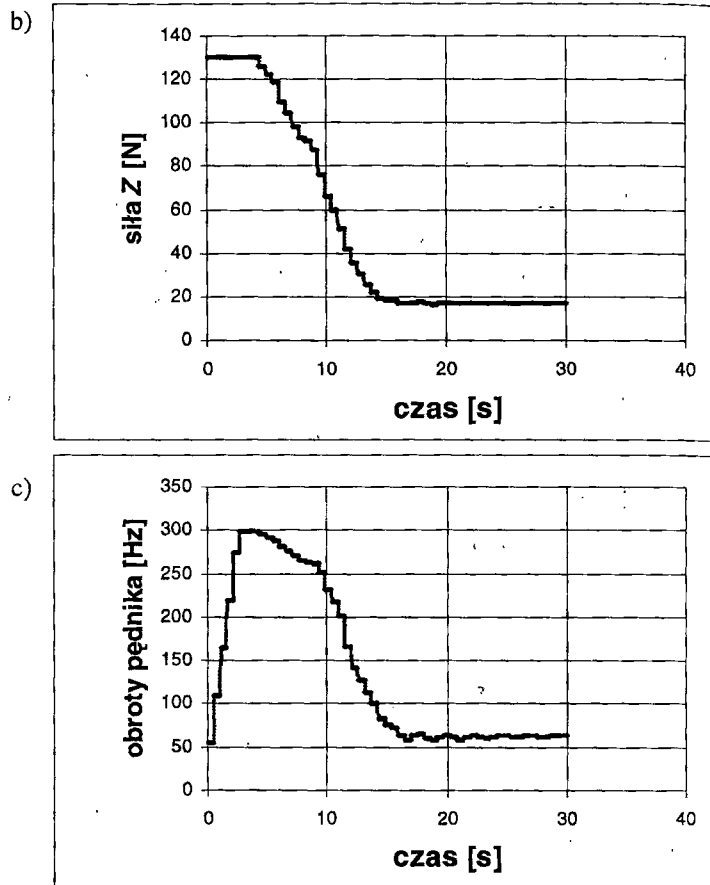
Rys. 5 Baza reguł wnioskowania rozmytego regulatora kursu

4. BADANIA SYMULACYJNE I EKSPERYMENTALNE

4.1. Wyniki symulacji

Zaprojektowany regulator głębokości zanurzenia dostrojono na modelu matematycznym pojazdu podwodnego, zaimplementowanym na platformie Windows/PC. Wyniki regulacji głębokości zanurzenia od wartości 0,5m do wartości zadanej 4m oraz przebiegi: sygnału sterującego - siły w osi Z i odpowiadającej sygnałowi sterującemu - prędkości obrotowej pędnika działającego w osi Z ilustruje rys. 6.

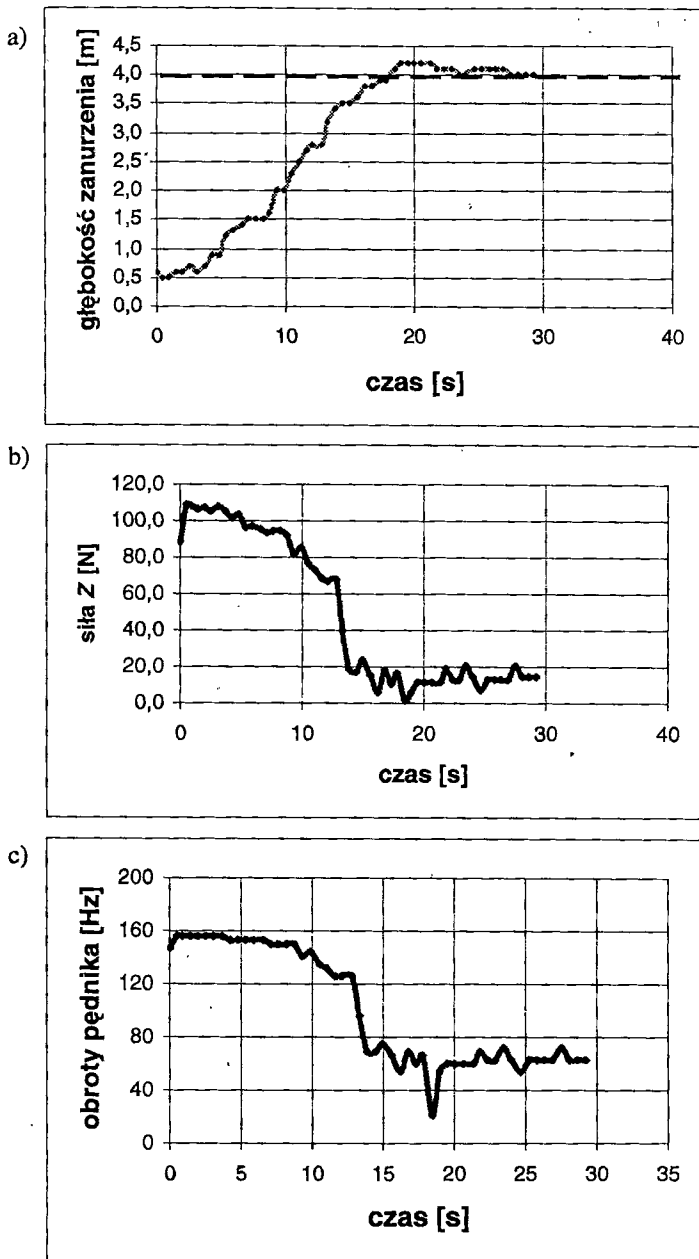




Rys. 6 Wyniki symulacji regulatora głębokości zanurzenia:
 a) regulacji do $z_{zad} = 4m$; b) sygnału sterującego – siły Z;
 c) prędkości obrotowej śmigła działającego w osi Z

4.2. Wyniki eksperymentu

Dostrojony regulator głębokości zanurzenia zweryfikowano przy wykorzystaniu badań eksperymentalnych na rzeczywistym obiekcie. Do badań tych wykorzystano zdalnie sterowany pojazd podwodny typu Ukwiąg, dla którego bazę stanowił ORP „Flaming”. Wyniki eksperymentu regulacji głębokości zanurzenia od wartości 0,5m do wartości zadanej 4m oraz przebiegi siły w osi Z i prędkości obrotowej śmigła działającego w osi Z ilustruje rys. 7.



Rys. 7 Wyniki działania regulatora głębokości zanurzenia
 a) regulacji do $z_{zud} = 4\text{m}$; b) sygnału sterującego - siły Z;
 c) prędkości obrotowej pędnika działającego w osi Z

5. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych dowodzą przydatności algorytmów PD, wspartych metodami logiki rozmytej do sterowania głębokością zanurzenia pojazdu podwodnego.

Zweryfikowany eksperymentalnie regulator głębokości zanurzenia stanowić może część systemu pół-automatycznego lub automatycznego systemu sterowania ruchem pojazdu podwodnego w realizacji różnych zadań inspekcji obiektów oceanotechnicznych [3][6].

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] Garus J., Szymak P.: *Automatyczne sterowanie pojazdem ROV w podwodnej inspekcji kadłuba okrętu*, Materiały Konferencji Naukowo - Technicznej: Automaty-zacja – Nowości i Perspektywy, Warszawa 2002, str. 214-219
- [4] Garus, J., Kitowski, Z., *Fuzzy control of underwater vehicle motion*, konferencja: *Advances in Fuzzy Systems and Evolutionary Computation*, World Scientific and Engineering Society Press 2001.
- [5] Piegat A. *Rozmyte modelowanie i sterowanie*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1999
- [6] 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

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych
w latach 2003 -2004 jako projekt badawczy