

Krzysztof WIKTOROWICZ

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, KATEDRA INFORMATYKI I AUTOMATYKI

Uczący się regulator rozmyty z modelem odniesienia

Dr inż. Krzysztof WIKTOROWICZ

Dyplom magistra inżyniera uzyskał w 1993 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Rzeszowskiej. Bezpośrednio po studiach rozpoczął pracę w Katedrze Informatyki i Automatyki Politechniki Rzeszowskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 2001 roku w Instytucie Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej. Zajmuje się teorią sterowania, a w szczególności układami regulacji rozmytej.



e-mail: kwiktor@prz-rzeszow.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie uczącego się regulatora rozmytego z modelem odniesienia FMRLC do sterowania obiektem liniowym drugiego rzędu. Regulator FMRLC składa się z trzech głównych elementów: właściwego regulatora rozmytego, który podlega uczeniu, modelu odniesienia i mechanizmu uczenia (adaptacji). Mechanizm uczenia modyfikuje bazę reguł regulatora w taki sposób, aby układ zamknięty odpowiadał jak model odniesienia. W pracy zaprezentowano procedurę projektowania omawianego układu sterowania. Jakość pracy układu oceniono na podstawie symulacji.

Słowa kluczowe: sterowanie rozmyte, uczenie, adaptacja, model odniesienia.

Fuzzy logic learning controller with reference model

Abstract

The paper presents the application of the Fuzzy Model Reference Learning Controller (FMRLC) to control of a second order linear object. The FMRLC consists of three main parts: a fuzzy controller that is tuned, a reference model and a learning (adaptation) mechanism. The learning mechanism changes the rule base of the fuzzy controller so that the closed loop system behaves like the reference model. In the paper the design procedure of the control system is presented. The performance of the proposed control was evaluated by simulations.

Keywords: fuzzy control, learning, adaptation, reference model.

1. Wstęp

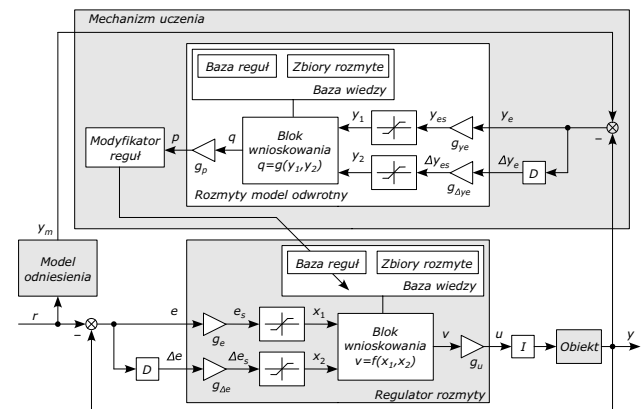
Pojęcie *sterowania z logiką rozmytą* lub krótko *sterowania rozmytego* dotyczy pewnej klasy układów automatyki, w których wykorzystuje się algorytm oparte na bazie wiedzy [1]. W odróżnieniu od układów konwencjonalnych, gdzie prawo sterowania jest wyrażane analitycznie (za pomocą równania algebraicznego, różniczkowego itp.), w układach rozmytych mamy do czynienia z systemem ekspertowym opartym na wiedzy, w którym zachodzi proces wnioskowania.

Idea sterowania rozmytego pochodzi od Mamdaniego [2], który ze swoimi współpracownikami skonstruował pierwszy regulator rozmyty. Mamdani wykorzystał pomysły Zadeha [3] dotyczące wyrażenia algorytmu sterowania za pomocą reguł lingwistycznych. Projektowanie takiego regulatora polega, w zasadniczej części, na pozyskaniu wiedzy opisującej jego działanie. Najczęściej korzysta się z doświadczenia operatorów procesu (ekspertów), którzy z powodzeniem potrafią osiągać cel sterowania. Inne metody syntezy opierają się na rozmytych modelach obiektu [4], uczeniu [5] lub adaptacji [6]. Wydaje się, że rozmyte układy uczące się (adaptacyjne) są najbardziej obiecujące i będą intensywnie rozwijane oraz upowszechniane w zastosowaniach praktycznych.

W literaturze dotyczącej klasycznych układów adaptacyjnych wyróżnia się dwie zasadnicze metody ich realizacji [7, 8]:

1. *Bezpośrednia regulacja adaptacyjna*, w której mechanizm adaptacji obserwuje sygnały w układzie i modyfikuje parametry regulatora w taki sposób, aby była zachowana jakość regulacji przy zmianach parametrów obiektu. Jeżeli pożądana jakość pracy jest wyrażana za pomocą tzw. modelu odniesienia, mówi się wówczas o układach typu MRAC (Model Reference Adaptive Control). Adaptacja w tych układach opiera się na dążeniu do uzyskania jak największej zgodności pomiędzy odpowiedziami modelu odniesienia i układu zamkniętego.
2. *Pośrednia regulacja adaptacyjna*, w której w pierwszym kroku jest wykonywana identyfikacja obiektu, a następnie są dokonywane zmiany parametrów regulatora.

Regulator FMRLC (Fuzzy Model Reference Learning Controller) [9] omawiany w niniejszym artykule można zakwalifikować do pierwszej grupy układów adaptacyjnych. Jego schemat przedstawiono na rys. 1. Wyróżniamy w nim: obiekt, regulator rozmyty podlegający uczeniu, model odniesienia i mechanizm uczenia składający się z rozmytego modelu odwrotnego i modyfikatora reguł.



Rys. 1. Schemat uczącego się regulatora rozmytego

Fig. 1. Fuzzy learning controller

Regulator FMRLC działa podobnie jak regulator MRAC – określa aktualną jakość regulacji i automatycznie adaptuje swoje parametry na podstawie danych obserwowanych w układzie. Zasadnicza różnica tkwi w możliwości „zapamiętywania” przez FMRLC zmian, jakie dokonują się w jego bazie wiedzy. Stąd, jak uzasadniają autorzy, w nazwie regulatora pojawia się termin „uczący się”, a nie „adaptacyjny” [9].

W kolejnych rozdziałach niniejszego artykułu przedstawiono zależności opisujące system rozmyty Takagi-Sugeno, który będzie dalej pełnił rolę regulatora i modelu odwrotnego oraz szczegółowo opisano procedurę projektowania układu FMRLC. Zaprezentowano sposób modyfikacji oryginalnego algorytmu uczenia i zaproponowano metodę doboru współczynników skalujących regulatora. Artykuł kończy przykład zastosowania omawianego układu do sterowania stałwartościowego obiektem liniowym drugiego rzędu.

2. System rozmyty Takagi-Sugeno

Systemem rozmytym nazywamy element wykonujący *wnioskowanie rozmyte* (przybliżone). Składa się on z *bazy wiedzy* zawierającej *zbiory rozmyte* i *reguły* oraz *bloku wnioskowania*, który na podstawie zawartości bazy wiedzy przetwarza dane wejściowe na dane wyjściowe.

W literaturze rozpatruje się wiele typów systemów rozmytych. Do najczęściej stosowanych należą systemy Mamdaniego [2] i Takagi-Sugeno [10]. W pracy [9], z której zaczerpnięto metodę uczenia, wykorzystano system Mamdaniego. Jednak z punktu widzenia zastosowań praktycznych znacznie bardziej atrakcyjny jest system Takagi-Sugeno, gdyż cechuje go prostota i większa efektywność obliczeniowa.

Rozpatrujemy system, który posiada dwa wejścia x_1 , x_2 i jedno wyjście u . Dla wejścia x_1 definiujemy m zbiorów A_i , dla wejścia x_2 – n zbiorów B_j . W systemie mamy $m \cdot n$ reguł wnioskowania (tab. 1) postaci

$$R_{ij}: \text{Jeżeli } x_1 \text{ jest } A_i \text{ i } x_2 \text{ jest } B_j, \text{ to } u \text{ jest } c_{ij}, \quad (1)$$

gdzie c_{ij} jest liczbą rzeczywistą. Jest to szczególny przypadek systemu Takagi-Sugeno – w ogólnym przypadku w następnikach reguł mogą pojawić się dowolne funkcje (także nieliniowe) wejść regulatora.

Tab. 1. Tablica reguł dla systemu Takagi-Sugeno
Tab. 1. Rule base for the Takagi-Sugeno system

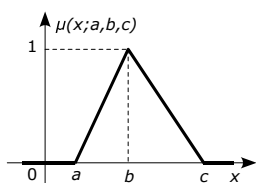
$x_1 \setminus x_2$	B_1	...	B_n
A_1	c_{11}	...	c_{1n}
...
A_m	c_{m1}	...	c_{mn}

Wiersze tab. 1 opisują zbiory dla x_1 , kolumny – zbiory dla x_2 , zaś w pola wpisano wartości następników c_{ij} .

Wyjście systemu jest dane zależnością

$$u = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot c_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij}}, \quad w_{ij} = A_i(x_1) \cdot B_j(x_2), \quad (2)$$

przy czym $A_i(x_1)$, $B_j(x_2)$ oznaczają odpowiednio stopnie przynależności wejść x_1 , x_2 do zbiorów A_i , B_j . Czynniki w_{ij} nazywamy *stopniem spełnienia reguły*. Określa on wagę, z jaką konkluzja reguły jest brana przy obliczaniu wyjścia systemu. Regułę, której stopień spełnienia jest większy od zera nazywamy *regułą aktywną*. Warto zauważyć, że licząc w_{ij} we wzorze (2) można zamiast iloczynu zastosować dowolną t-normę.



Rys. 2. Trójkątna funkcja przynależności
Fig. 2. Triangular membership function

Do obliczenia stopni przynależności będą stosowane funkcje trójkątne (rys. 2) zdefiniowane następująco:

$$\mu(x; a, b, c) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right)\right), \quad (3)$$

gdzie x jest argumentem, zaś a , b , c są parametrami funkcji, przy czym $a < b < c$.

3. Regulator rozmyty

Wejściami regulatora rozmytego (rys. 1) są błąd regulacji

$$e(kT) = r(kT) - y(kT) \quad (4)$$

oraz jego zmiana

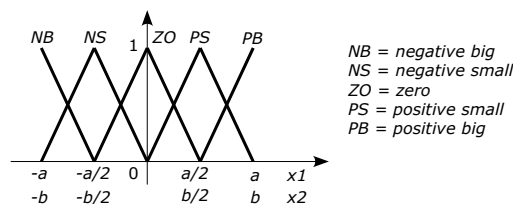
$$\Delta e(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T}, \quad (5)$$

przy czym $r(kT)$ jest wymuszeniem, $y(kT)$ – wyjściem obiektu, T – okresem próbkowania. Wyjściem regulatora jest sterowanie $u(kT)$.

Sygnały e , Δe podlegają skalowaniu, tzn. $e_s = g_e \cdot e$, $\Delta e_s = g_{\Delta e} \cdot \Delta e$ oraz ograniczaniu do zbiorów uniwersalnych przyjętych dla wejść x_1 , x_2 bloku wnioskowania. Zakładamy, że zbiory te są przedziałami symetrycznymi względem zera postaci $X_1 = [-a, a]$, $X_2 = [-b, b]$. Sygnały e_s , Δe_s są ograniczane następująco:

$$\begin{aligned} x_1 &= \max(-a, \min(a, e_s)), \\ x_2 &= \max(-b, \min(b, \Delta e_s)). \end{aligned} \quad (6)$$

Dla wejść x_1 , x_2 przyjmujemy po 5 zbiorów rozmytych przedstawionych na rys. 3.



Rys. 3. Zbiory rozmyte dla wejść regulatora
Fig. 3. Fuzzy sets for controller inputs

Dla takiej liczby zbiorów otrzymujemy $5 \cdot 5 = 25$ reguł sterowania. Zakładamy, że przed rozpoczęciem procesu uczenia tablica reguł jest wypełniona zerami ($c_{ij} = 0$).

W celu dobrania współczynników skalujących zostanie zastosowane inne podejście niż przedstawione w pracy [9], gdzie opierano się na metodzie prób i błędów. Proponuje się ich określenie poprzez zaprojektowanie regulatora rozmytego równoważnego z klasycznym regulatorem liniowym [11]. W tym celu jako punkt startowy przyjmujemy regulator PD, którego wyjście jest dane wzorem

$$u = k_p(e + T_d \cdot \Delta e). \quad (7)$$

Jeżeli w regulatorze rozmytym sygnały e_s , Δe_s nie podlegają ograniczaniu, tzn. $x_1 = e_s$, $x_2 = \Delta e_s$ oraz blok wnioskowania realizuje funkcję liniową $f(x_1, x_2) = x_1 + x_2$, wówczas jego wyjście ma postać

$$u = g_u \cdot f(x_1, x_2) = g_u g_e \left(e + \frac{g_{\Delta e}}{g_e} \Delta e \right). \quad (8)$$

Porównując wzory (7) i (8) otrzymujemy następujące związki pomiędzy współczynnikami skalującymi regulatora rozmytego i nastawami regulatora PD:

$$g_{\Delta e} = T_d \cdot g_e, \quad g_u = k_p / g_e. \quad (9)$$

W zależnościach (9) współczynnik g_e jest parametrem, którego wartość wybiera się w taki sposób, aby sygnał e_s zmieniał się w zakresie $X_1 = [-a, a]$. Można go wyznaczyć ze wzoru

$$g_e = a / e_{\max}, \quad (10)$$

gdzie e_{\max} jest maksymalnym błędem dopuszczalnym w układzie [12].

Przyjmujemy, że zakres zmian sygnału wyjściowego bloku wnioskowania regulatora rozmytego jest taki sam jak dla regulatora PD. W rozpatrywanym układzie będzie on wynosił $V = [-d, d]$, gdzie $d = a + b$.

4. Model odniesienia

Model odniesienia charakteryzuje pożądaną odpowiedź układu. Jego wejściem jest sygnał wymuszający $r(kT)$, zaś wyjściem – oczekiwana odpowiedź $y_m(kT)$. Na podstawie spodziewanej odpowiedzi i aktualnie uzyskiwanej jest liczony błąd uczenia

$$y_e(kT) = y_m(kT) - y(kT). \quad (11)$$

Stanowi on wejście mechanizmu uczenia, który modyfikuje reguły regulatora w taki sposób, aby błąd y_e stawał się coraz mniejszy. Jeżeli wymagana jakość pracy jest zapewniona, wówczas błąd y_e jest mały i zmiany reguł są niewielkie.

Model odniesienia może być dowolny – istotny jest jednak prawidłowy dobór jego parametrów tak, aby układ zamknięty był w stanie osiągnąć oczekiwaną jakość.

5. Model odwrotny

Wejściami modelu odwrotnego są błąd $y_e(kT)$ i jego zmiana

$$\Delta y_e(kT) = \frac{y_e(kT) - y_e(kT - T)}{T}. \quad (12)$$

Wyjściem jest sygnał uczący $p(kT)$. Podobnie jak w regulatorze sygnały wejściowe są skalowane i ograniczane do zbiorów uniwersalnych $Y_1 = [-m, m]$, $Y_2 = [-n, n]$:

$$\begin{aligned} y_1 &= \max(-m, \min(m, y_{es})), & y_{es} &= g_{ye} \cdot y_e, \\ y_2 &= \max(-n, \min(n, \Delta y_{es})), & \Delta y_{es} &= g_{\Delta ye} \cdot \Delta y_e. \end{aligned} \quad (13)$$

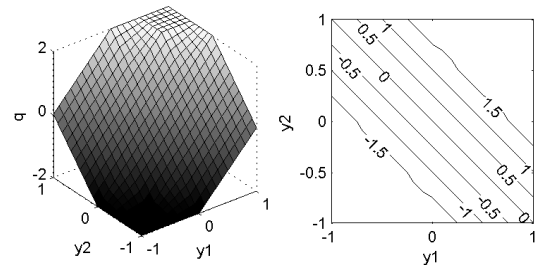
Zbiory rozmyte dla wejść y_1, y_2 są takie same jak na rys. 3.

Zasadnicza różnica pomiędzy modelem odwrotnym a regulatorem występuje w następnicach reguł wnioskowania. W regulatorze tablica reguł jest początkowo wypełniona zerami. Dopiero w trakcie uczenia wartości te zmieniają się w taki sposób, aby osiągnąć cel sterowania. Z kolei model odwrotny zawiera reguły, od których będzie zależał sygnał uczący. Prawidłowy dobór tych reguł ma decydujący wpływ na jakość działania całego układu. W niniejszej pracy przyjęto szablonową (standardową) bazę reguł (tab. 2) zaproponowaną przez MacVicara-Whelana [13].

Tab. 2. Tablica reguł MacVicara-Whelana dla modelu odwrotnego
Tab. 2. MacVicar-Whelan rule table for the inverse model

$y_1 \setminus y_2$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	-2	-2	-2	-1	0
NS	-2	-2	-1	0	1
ZO	-2	-1	0	1	2
PS	-1	0	1	2	2
PB	0	1	2	2	2

Dla podanych w tab. 2 następniców reguł wyjście modelu odwrotnego (sygnał uczący) zmienia się w zakresie $Q = [-2, 2]$.



Rys. 4. Powierzchnia modelu odwrotnego
Fig. 4. Surface of the inverse model

Na rys. 4 pokazano zależność $q = f(y_1, y_2)$ dla bloku wnioskowania modelu odwrotnego. Widać, że realizuje on nieliniową funkcję swoich wejść.

6. Modyfikator bazy reguł

W regulatorze FMRLC zmianę powierzchni sterowania uzyskuje się poprzez modyfikację następniców reguł c_{ij} . Modyfikator bazy reguł działa według następującego algorytmu:

1. Znajdź zbiór wszystkich reguł regulatora rozmytego aktywnych w poprzednim cyklu. Zbiór ten nazywamy *zbiorem aktywnym*. Dla rozpatrywanego regulatora, zbiór aktywny może zawierać maksymalnie cztery reguły.
2. Dla wszystkich reguł ze zbioru aktywnego, które leżą poza przekątną, na której $i + j = 6$, zmień wartość c_{ij} dodając do niego wartość sygnału uczącego:

$$c_{ij}(kT) = c_{ij}(kT - T) + p(kT). \quad (14)$$

3. Jeżeli wyznaczona wartość c_{ij} wykracza poza zbiór uniwersalny $V = [-d, d]$, ogranicz ją według wzoru:

$$c_{ij}(kT) = \max(-d, \min(d, c_{ij}(kT))). \quad (15)$$

Zablokowanie reguł na przekątnej w punkcie 2 oznacza, że gdy błąd maleje lub jest równy zero i nie zmienia się (środek tablicy), wówczas sterowanie może być zerowe. Odpowiada to zerom w tablicy reguł dla modelu odwrotnego (tab. 2).

Należy podkreślić, że zmiany w bazie reguł są *lokalne*, tzn. modyfikowane są tylko te reguły, które znajdują się w zbiorze aktywnym. Dzięki temu regulator *pamięta* reguły, które zostały wcześniej nauczone i nie wymagają zmian.

7. Przykład

Rozpatrujemy układ z regulatorem FMRLC sterującym typowym obiektem przemysłowym, który może być opisany transmitancją postaci

$$G_0(s) = \frac{k_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad (16)$$

gdzie $k_0 = 1$, $T_1 = 1$ s, $T_2 = 2$ s. Przyjmuje się okres próbkowania $T = 0.05$ s.

Ponieważ układ nie posiada działania całkującego, pomiędzy regulatorem a obiektem dodano integrator (rys. 1) w celu uzyskania zerowego błędu ustalonego przy wymuszeniu skokowym.

Jako model odniesienia przyjęto transmitancję inercyjną

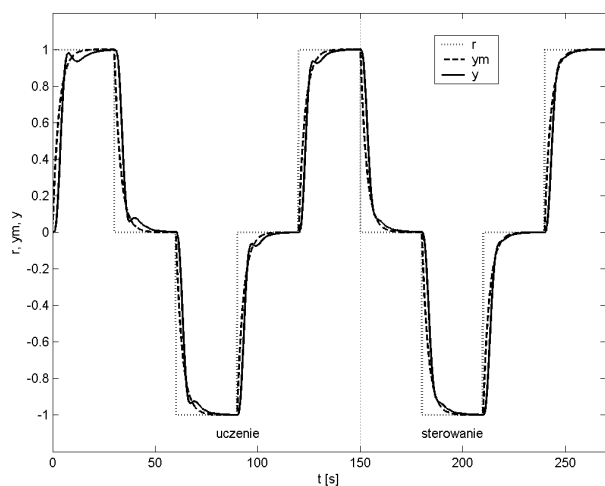
$$G_m(s) = \frac{k_m}{T_m s + 1}, \quad (17)$$

gdzie $k_m = 1$, $T_m = 3$ s. Odpowiedź skokowa modelu jest aperiodyczna, z czasem ustalania około $5 \cdot T_m = 15$ s.

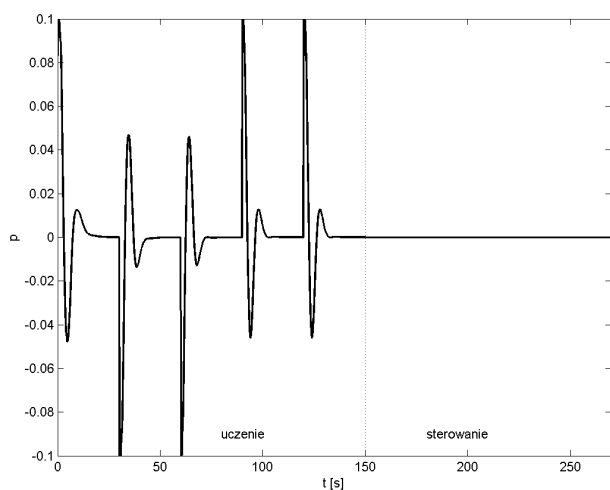
Ze względu na to, że obiekt jest liniowy, przy projektowaniu regulatora można zastosować procedurę opisaną w punkcie 3. Nastawy k_p , T_d regulatora rozmytego dobierano metodą linii pierwiastkowych dla transmitancji obiektu uzupełnionej o integrator. Dla przebiegów aperiodycznych krytycznych uzyskano $k_p = 0.25$, $T_d = 2$. Przy tych nastawach oraz dla $a = b = 1$, $e_{\max} = 1$ otrzymano następujące wartości współczynników skalujących: $g_e = 1$, $g_{\Delta e} = 2$, $g_u = 0.25$.

W przypadku modelu odwrotnego współczynniki skalujące dobierano metodą prób i błędów dla $m = n = 1$. Do oceny jakości układu przyjęto maksymalny bezwzględny błąd uczenia (MBBU) jako miarę zgodności odpowiedzi układu zamkniętego i modelu odniesienia. Biorąc pod uwagę ten wskaźnik dość dobre przebiegi otrzymano dla $g_{ye} = 1$, $g_{\Delta ye} = 4$, $g_p = 0.05$.

Zaprojektowany układ poddano zmieniającemu się skokowo wymuszeniu (rys. 5).



Rys. 5. Odpowiedź układu zamkniętego
Fig. 5. Closed-loop response



Rys. 6. Sygnał uczący
Fig. 6. Learning signal

Symulacja obejmowała dwa tryby pracy: uczenia i sterowania. W trybie uczenia, który trwał do momentu $t = 150$ s, regulator rozmyty uczył się reguł. W trybie sterowania uczenie zostało wyłączone poprzez wyzerowanie sygnału uczącego (rys. 6). Liczbę skoków dobrano wykonując szereg wstępnych symulacji. Zauważono wówczas, że do uzyskania zadowalających przebiegów wystarczy kilka zmian wymuszenia.

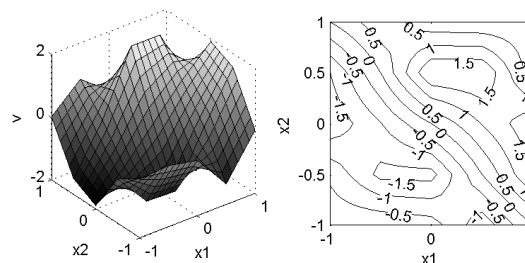
Na podstawie otrzymanych przebiegów można zauważyć, że regulator startując z bazą wiedzy zawierającą zerowe następniiki reguł nauczył się sterować w taki sposób, aby odpowiedź układu zamkniętego była zbliżona do odpowiedzi modelu odniesienia. W trybie uczenia wartość wskaźnika MBBU wyniosła 0.41, zaś w trybie sterowania 0.26.

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu otrzymano reguły sterowania regulatora rozmytego przedstawione w tab. 3.

Tab. 3. Tablica reguł regulatora rozmytego po uczeniu
Tab. 3. Rule table for the fuzzy controller after learning

$x_1 \setminus x_2$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	-0.13	-0.60	-1.89	-1.50	0
NS	-0.06	-1.65	-1.02	0	0.83
ZO	-0.25	-1.68	0	2.00	0.12
PS	-1.35	0	1.02	1.99	0.06
PB	0	1.54	1.89	0.20	0.20

Można zauważyć, że reguły zostały nauczone zgodnie z algorytmem zawartym w modyfikatorze - pozostały zerowe następniiki na przekątnej, a poza przekątną wartości mieszczą się w zbiorze uniwersalnym $V = [-2, 2]$. Na rys. 5 przedstawiono powierzchnię sterowania otrzymanego regulatora.



Rys. 7. Powierzchnia regulatora rozmytego po uczeniu
Fig. 7. Surface of the fuzzy controller after learning

8. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zastosowanie regulatora FMRLC do sterowania obiektem inercyjnym drugiego rzędu. Pokazano jak zaprojektować regulator rozmyty, który przy kilku skokach wymuszenia, a więc bardzo szybko, nauczył się reguł sterowania zapewniających satysfakcjonującą jakość działania. Warto dodać, że podobne eksperymenty wykonano także dla wymuszenia sinusoidalnego i otrzymano również dobre rezultaty (MBBU=0.12 w trybie uczenia i MBBU=0.006 w trybie sterowania). Odnosząc się do pracy [9] pokazano, że:

- zamiast złożonego regulatora rozmytego Mamdaniego można wykorzystać znacznie prostszy i przez to bardziej efektywny obliczeniowo regulator Takagi-Sugeno,
- współczynniki skalujące regulatora rozmytego mogą być dobierane nie metodą prób i błędów, lecz wykorzystując znane z literatury wyniki dotyczące realizacji liniowego regulatora rozmytego.

Ponadto dostosowano modyfikator reguł do regulatora Takagi-Sugeno i zaproponowano, aby nie zmieniał on reguł na przekątnej tablicy. Do rozwiązania pozostają zagadnienia dotyczące doboru parametrów modelu odwrotnego oraz zagwarantowania stabilności i zbieżności. Zaprezentowana metoda doboru parametrów regulatora zakłada liniowość obiektu. Jednak jak pokazano np. w pracy [14] nawet w sterowaniu obiektami liniowymi regulator rozmyty może wykazać swoją przewagę nad klasycznym regulatorem PID. Przedstawiony algorytm mógłby realizować funkcję „samostrojania”, w którą są wyposażane nowoczesne sterowniki przemysłowe.

9. Literatura

- [1] R. R. Yager, D. P. Filev, Podstawy modelowania i sterowania rozmytego, WNT, Warszawa, 1995.
- [2] E. H. Mamdani, S. Assilian: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, 1-13, 1975.
- [3] L. Zadeh: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 28-44, 1973.
- [4] J. Kluska, K. Wiktorowicz: Automatic generating of fuzzy control rules for a fuzzy logic controller using Matlab, Systems Science, vol. 23, no. 1, 89-99, 1997.
- [5] K. Wiktorowicz, R. Zajdel: O doborze reguł sterowania dla regulatora rozmytego, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 1, 44-46, 2005.
- [6] K. M. Passino, S. Yurkovich: Fuzzy control, Addison-Wesley, 1998.
- [7] S. Sastry, M. Bodson: Adaptive control: Stability, convergence, and robustness, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- [8] A. Niederliński, J. Mościński, Z. Ogonowski: Regulacja adaptacyjna, PWN, Warszawa, 1995.
- [9] J. R. Layne, K. M. Passino: Fuzzy model reference learning control, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, vol. 4, 33-47, 1996.
- [10] T. Takagi, M. Sugeno: Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, vol. 15, 116-132, 1985.
- [11] K. Wiktorowicz: Jakość regulacji rozmytej, Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska, 2001.
- [12] T. Zabiński: Sterowanie systemami mechatronicznymi w czasie rzeczywistym – podejście klasyczne i inteligentne, Rozprawa doktorska, AGH, 2006.
- [13] P. J. MacVicar-Whelan: Fuzzy sets for man-machine interactions, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 8, 687-697, 1977
- [14] J. Kluska: Sterowanie z logiką rozmytą, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Elektrotechnika, z. 12, nr 104, Rzeszów, 1992.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

XVI Międzynarodowe Seminarium Metrologów

**”Metody i Technika Przetwarzania Sygnałów w Pomiarach Fizycznych”
Rzeszów - Bezmiechowa 22-25 września 2008**

Międzynarodowe Seminarium Metrologów (MSM) jest coroczną imprezą organizowaną od 1993r w ramach współpracy Zakładu Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Rzeszowskiej i Katedry Technologii Informacyjno-Pomiarowych Politechniki Lwowskiej. Celem MSM jest wymiana doświadczeń naukowych i dydaktycznych oraz rozwijanie współpracy w tym zakresie pomiędzy uczelniami krajowymi i zagranicznymi, szczególnie w Euroregionie Karpackim. Tegoroczne XVI Seminarium odbyło się w Akademickim Ośrodku Szybowcowym Politechniki Rzeszowskiej im. płk. pil. Tadeusza Góry w Bezmiechowej, w dniach 22-25 września 2008. Pracami komitetu naukowego kierował prof. Bohdan Stadnyk, a komitetowi organizacyjnemu przewodniczył prof. Adam Kowalczyk.

W tym roku na MSM gościliśmy naukowców ze Lwowa, Krakowa, Wrocławia, Poznania, Gliwic, Gdańska, Szczecina, Łodzi, Bielska-Białej i Rzeszowa. W trakcie obrad w pięciu sekcjach plenarnych i plakatowej przedstawiono 30 prac. Obradom w sekcjach przewodniczyli profesorowie: Bohdan Stadnyk, Mykhaylo Dorozhovets, Orest Ivakhiv, Tadeusz Skubis, Jacek Przygodzki oraz Adam Kowalczyk. Tematyka prezentowanych referatów tradycyjnie zawierała się w czterech obszarach: czujniki i przetworniki pomiarowe, przetwarzanie sygnałów, systemy pomiarowo-diagnostyczne i dydaktyka metrologii. Pełne teksty

wybranych prac zostaną opublikowane w krajowych czasopiśmie naukowo-technicznych. W ramach prezentacji firmowych firma TESPOL przedstawiła ofertę najnowszego sprzęt kontrolno-pomiarowego Agilent Technologies. Uczestnicy XVI MSM mieli możliwość zapoznania się z historią oraz bieżącą działalnością Akademickiego Ośrodka Szybowcowego, oraz zwiedzenia hangarów i laboratoriów tej jednostki. Niestety planowane loty szybowcowe uniemożliwiła nienajlepsza pogoda. Duże zainteresowanie wzbudziła także wycieczka do Zespołu Elektrowni Wodnych w Solinie. Program kulturalny tegorocznego Seminarium wypełniło zwiedzanie muzeum makiet architektury drewnianej w Centrum Kultury Ekumenicznej w Myczkowcach oraz Izby Pamięci Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Komańczy.

Organizatorzy MSM planują realizację następnego seminarium na Ukrainie - w Sewastopolu na Krymie we wrześniu 2009r.

Opracowanie: Robert Hanus

Fotoreportaż z XVI MSM zamieszczono na II stronie okładki.