

WOJCIECH Z. CHMIELOWSKI*

ZASTOSOWANIE REGULATORÓW ROZMYTYCH
W ŚLEDZENIU WEKTORA TRAJEKTORII STANÓW
WIELOZBIORNIKOWEGO SYSTEMU
WODNOGOSPODARCZEGO
(CZĘŚĆ II. UKŁAD STERUJĄCY)APPLICATION OF FUZZY REGULATORS TO TRACKING
A VECTOR OF RESERVOIR STATE TRAJECTORIES
OF A MULTI-RESERVOIR WATER MANAGEMENT SYSTEM
(PART II. CONTROL SYSTEM)

Streszczenie

W niniejszym artykule zaproponowano model symulacyjny sterowania pracą systemu zbiorników, których celem jest właściwa dystrybucja wody. Przedstawiono założenia dotyczące parametrów regulatorów rozmytych i układu regulacji z ich zastosowaniem. Zadaniem układu regulacji jest realizacja proponowanego modelu optymalizacyjnego wektora trajektorii stanów zbiorników w funkcji wektora rzeczywistych dopływów wody do systemu zbiorników.

Słowa kluczowe: logika rozmyta, regulatory rozmyte, sterowanie, gospodarka wodna

Abstract

The paper presents a model simulating operation of a multi-reservoir system which is to ensure proper water allocation within a water management system. There are presented assumptions on parameters of fuzzy regulators and a regulation system together with their application. The objective of a regulation system is to keep with the optimal vector of reservoir state trajectories in relation to a vector of real water inflows to a system of reservoirs.

Keywords: fuzzy logic, fuzzy regulators, control, water management

* Dr hab. inż. Wojciech Z. Chmielowski, prof. PK, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

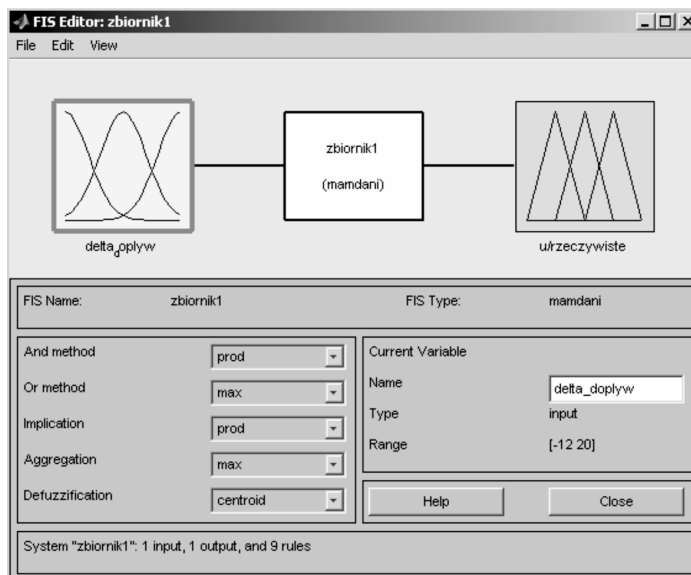
1. Wstęp

Konstrukcję regulatorów rozpocząć należy od zdefiniowania, oznaczenia i określenia tzw. FIS (*Fuzzy Interface System*). Następnie zdefiniowane regulatory rozmyte zastosowane zostaną w układzie regulacji. Układ regulacji zrealizowany jest w module Matlab/Simulink (rys. 4, 5).

Otrzymane wyniki są bardzo obiecujące, co świadczy o niezwyklej skuteczności działania układów deskryptycznego sterowania rozmytego.

2. FIS (*Fuzzy Interface System*)

Wektor zmiennych wejściowych został zdefiniowany następująco: $X(t) = [x_1]$, w którym: $x_1(t)$ to różnica wynikająca z dopływu rzeczywistego oraz dopływu prognozowanego do kolejnych zbiorników, $\forall t \in [0, T]$.

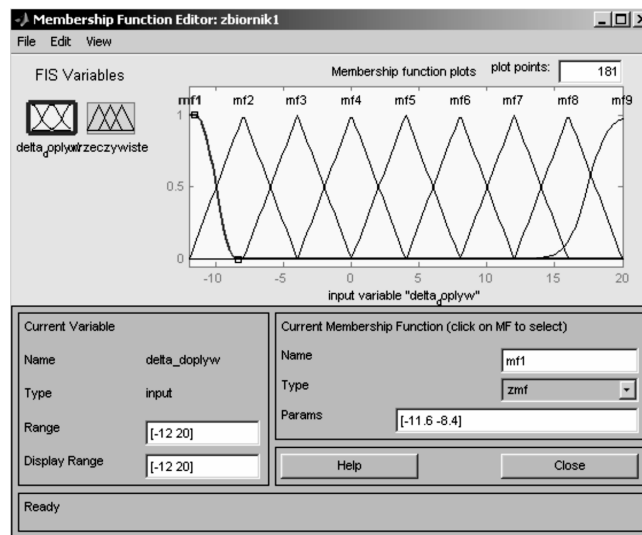


Rys. 1. FIS (*Fuzzy Interface System*). Edytor zmiennych wejściowych, bazy reguł, zmiennych wyjściowych dla zbiornika górnego

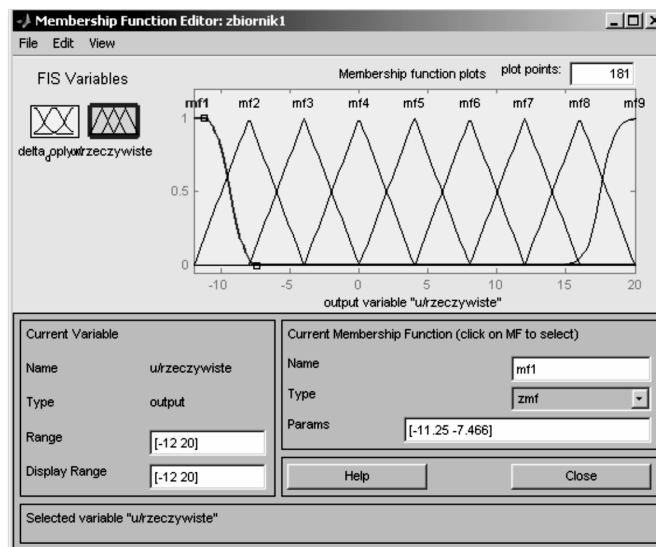
Fig. 1. FIS (*Fuzzy Interface System*). Editor of input variables, base of rules and output variables for the upper reservoir

Dla $X(t) = [x_1(t)]$ przyjęto uniwersum $U = [u_1]$, $u_1 = [-12 \ 20]$, $[m^3/s]$. Wektor termów T_{x1} dla zmiennej wejściowej $x_1(t)$ zdefiniowano jak na rys. 2.

Każdy z termów (zbiorów rozmytych) to liczba rozmyta o podanych kształcie i parametrach. Odpowiedni edytor umożliwi wybranie kształtu, parametrów oraz umiejscowienie termu na uniwersum.



Rys. 2. Uniwersum i zbiór termów dla zmiennej $x_1(t)$
 Fig. 2. Universum and set of terms for input variable $x_1(t)$



Rys. 3. Uniwersum i zbiór termów dla zmiennej wyjściowej $y_1(t)$
 Fig. 3. Universum and set of terms for output variable $y_1(t)$

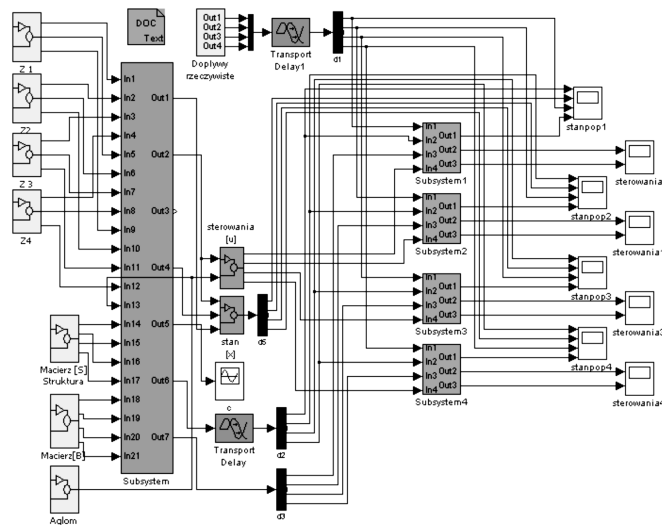
Zmienną wyjściową (rys. 3) zdefiniowano następująco: $y(t)$, określona przez regulator rozmyty, poprawka do sterowania otrzymanego z modelu optymalizacyjnego, w wyniku zastosowania której stan rzeczywisty będzie zgodny ze stanem optymalnym otrzymanym z modelu optymalizacyjnego. Dla zmiennej $y(t)$ przyjęto uniwersum $u_1 = [-12 \ 20]$, [m^3/s].

3. Układ sterowania z zastosowaniem regulatorów rozmytych

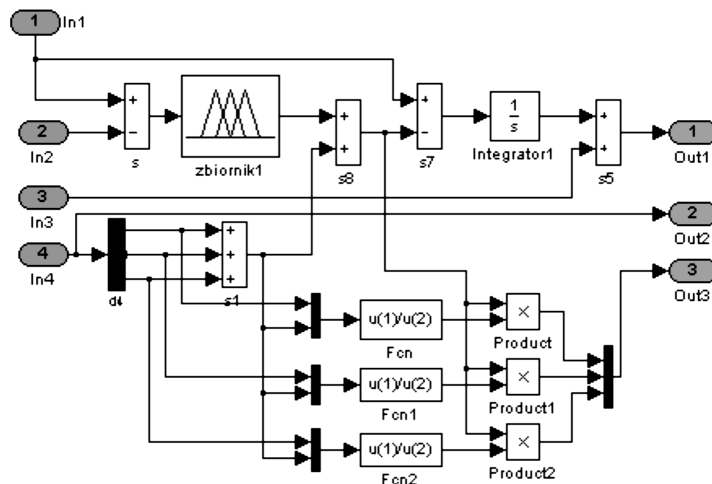
Układ sterowania hipotetycznym systemem zbiorników zrealizowano w module Matlab/Simulink. Danymi wejściowymi do układu sterowania są:

- dane konieczne do procesu optymalizacji (część I [10]),
- rzeczywiste dopływy do zbiorników [m^3/s] (generatory liczb losowych).

Rezultaty pracy regulatorów rozmytych są zaskakująco dobre.

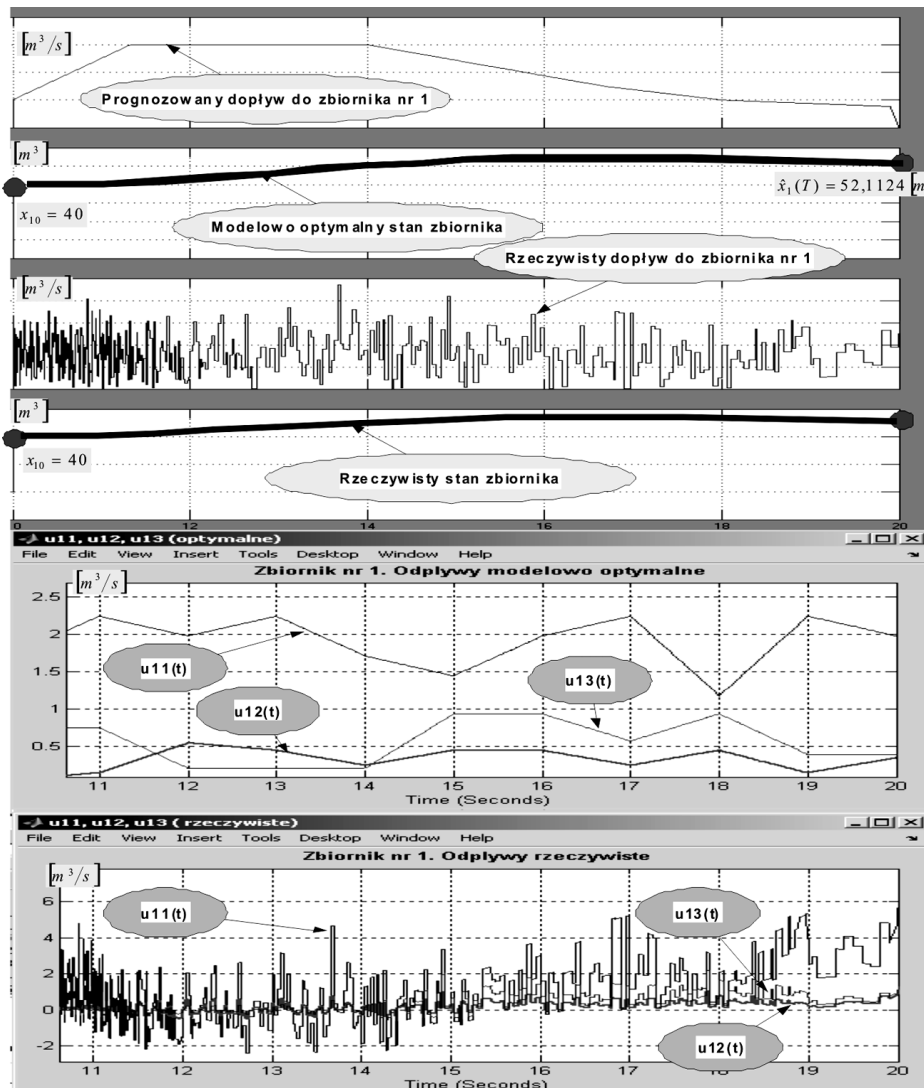


Rys. 4. Układ sterowania systemem zbiorników z zastosowaniem regulatorów rozmytych
Fig. 4. Control scheme with a fuzzy regulator for a system of reservoirs



Rys. 5. Subsystem nr 1 zawierający regulator rozmyty dla zbiornika nr 1
Fig. 5. Subsystem No. 1 with a fuzzy regulator for reservoir No. 1

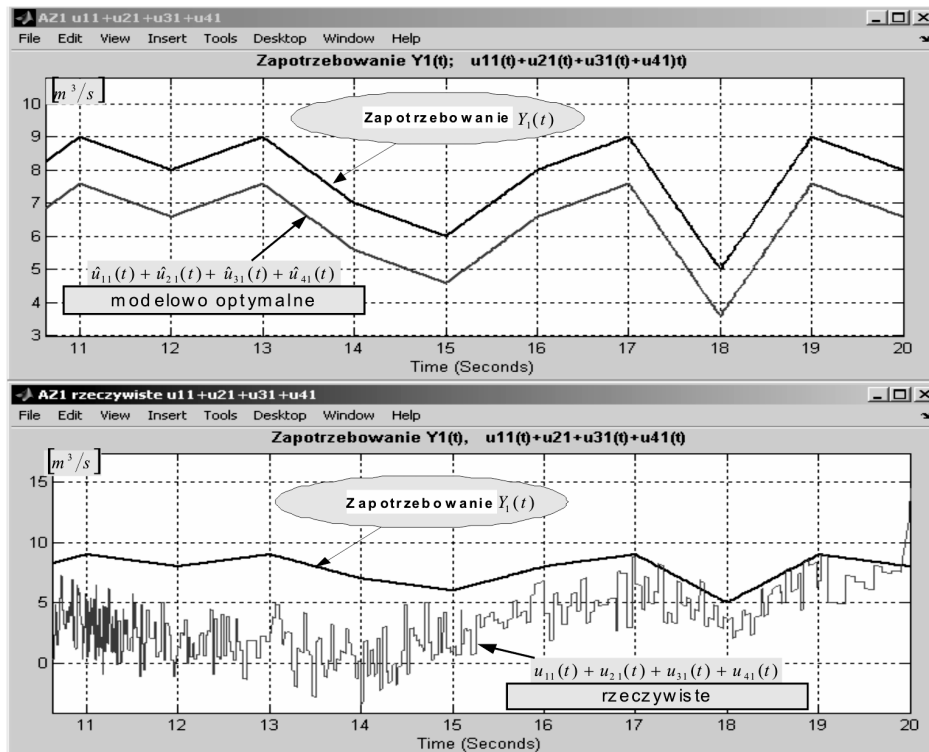
W wyniku realizacji poprawki do wektora sterowań optymalnych, zależnej od relacji dopływ prognozowany–dopływ rzeczywisty, rzeczywiste trajektorie stanów zbiorników mieszczą się w ograniczeniach i w konsekwencji bardzo dokładnie nadążają za trajektoriami optymalnymi stanów zbiorników systemu (przykładowo, dla zbiornika nr 1 – rys. 6).



Rys. 6. Charakterystyczne trajektorie dla zbiornika nr 1
Fig. 6. Characteristic trajectories for reservoir No. 1

Oczywiście, ma to swoje odbicie na wektorach odpływów ze zbiorników, a zatem na realizacji przyjętych w systemie funkcji zapotrzebowań $\mathbf{Y}(t)$ (blokowa macierz funkcji

zapotrzebowania). Realizację funkcji zapotrzebowania $Y_1(t)$ wg sterowania modelowo-
-optymalnego oraz rzeczywistego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Realizacja funkcji zapotrzebowania wg sterowania modelowo-optymalnego i rzeczywistego

Fig. 7. Meeting the demand function according to the model-optimal and the real controls

4. Podsumowanie

W kolejnych punktach artykułu przedstawiono operacje i przekształcenia konieczne przy formowaniu i projektowaniu regulatora rozmytego. W tym konkretnym przypadku jest to regulator (regulatory) realizujący wektor stanów optymalnych (otrzymanych z modelu optymalizacyjnego) w funkcji rzeczywistego dopływu do systemu zbiorników.

Efekty symulacji komputerowej pracy regulatorów rozmytych w tym zakresie są zadowalające i spełniają przyjęte oczekiwania. Wyniki symulacji w pełni oddają i potwierdzają możliwość zastosowania ww. regulatorów w układach sterowania systemami zbiornikowymi.

Nasuwają się jednak pytania, jak fizycznie zrealizować ww. regulatory rozmyte i jak będą się one zachowywać w rzeczywistych warunkach, tzn. w rzeczywistych, fizycznie istniejących układach regulacji odpływami ze zbiorników?

Te pytania kierowane są głównie do konstruktorów układów automatyki, którzy w trakcie realizacji takiego układu napotkają zapewne wiele trudności i nowych zagadnień, jakie są nie do uchwycenia w trakcie li tylko symulacji komputerowych.

Liczba problemów, metod i rozwiązań w zakresie regulatorów rozmytych i układów regulacji z ich zastosowaniem jest olbrzymia. Świadczy o tym bardzo obszerna literatura przedmiotu, krajowa i zagraniczna. Doświadczenia i eksperymenty wielu lat (pierwsze prace prof. Lofti Zadeha, 1967 r.) zaowocowały wieloma rozwiązaniami przemysłowymi na szeroką skalę w różnych dziedzinach gospodarki.

Ostatnio w literaturze przedmiotu obserwuje się większe zainteresowanie preskryptywnym sterowaniem rozmytym, w którym zakłada się ścisły algorytm sterowania i nadrzędną funkcję celu, traktowaną jako ocena zastosowanego sterowania. To podejście bliższe jest idei sterowania, które z założenia opiera się na znajomości procesu, celu i wymagań dotyczących sterowania.

Oba kierunki (deskryptywny i preskryptywny) są bardzo interesujące, a w połączeniu z zastosowaniem sieci neuronowych i algorytmów genetycznych stanowią niezwykle silny i nowoczesny aparat w zakresie sterowania procesami technologicznymi i modelowania matematycznego.

Literatura

- [1] Aoki S., Kwachi S., *Application of fuzzy control for dead-time processes in a glass melting furnace*, Fuzzy Sets and System 1990, Vol. 38, No. 5, 251-256.
- [2] Aracil J., Garcia-Cezero A., Ollero A., *Fuzzy control of dynamical system. Stability analysis based on the conicity criterion*, Proc. 4th Item. Fuzzy System Association Congress, Brussels, Belgium 1991, 5-8.
- [3] Arita S., Tsutsui T., *Fuzzy logic control of blood pressure through inhalational anesthesia*, Proc. of the Int'l Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks, II Zuka, Japan 1990, 545-547.
- [4] Arita S., *Development of an ultrasonic cancer diagnosis system using fuzzy theory*, Japanese Journal of Fuzzy Theory and System 1991, Vol. 3, No. 3, 215-230.
- [5] Babuska R., *Fuzzy modeling – a control engineering perspective*, Proc. Inter. Conf. FUZZ-IEEE/IFES '95 Yokohama, Japan 1995, 1897-1902.
- [6] Cao S.G., Rees N.W., Feng G., *Analysis and design for a class of complex control system – Part I: Fuzzy modeling and design*, Automatica 1997, Vol. 33, No. 6, 1017-1028.
- [7] Cao S.G., Rees N.W., Feng G., *Analysis and design for a class of complex control system – Part II: Fuzzy controller design*, Automatica 1997, Vol. 33, No. 6, 1029-1039.
- [8] Chmielowski W., Twaróg B., *Regulator rozmyty sterujący przejściem fali powodziowej przez zbiornik retencyjny*, Czasopismo Techniczne, z. 16-Ś/2006, Wyd. PK, Kraków 2006.
- [9] Chmielowski W., *Regulatory rozmyte sterujące przejściem fali powodziowej przez kaskadę zbiorników retencyjny*, KSW, z. 2, Informatyka, Kraków 2008.
- [10] Chmielowski W., *Zastosowanie regulatorów rozmytych w śledzeniu wektora trajektorii stanów wielozbiornikowego systemu wodnogospodarczego (Część I.*

- Układ sterujący*), Czasopismo Techniczne, z. Ś-1/2009 (niniejszy zeszyt), Wyd. PK, Kraków 2009.
- [11] Chmielowski W., *Hierarchiczny regulator rozmyty sterujący przejściem fali powodziennej przez zbiornik retencyjny. Część III. Zbiornik Dobczyce*, Czasopismo Techniczne, z. 2-Ś/2007, Wyd. PK, Kraków 2007.
- [12] Chmielowski W., *Hierarchiczny regulator rozmyty sterujący przejściem fali powodziennej przez zbiornik retencyjny. Część II. Symulacja*, Czasopismo Techniczne, z. 2-Ś/2007, Wyd. PK, Kraków 2007.
- [13] Godyń I., Chmielowski W., *Zastosowanie rozmytych modeli Takagi–Sugeno do prognozowania poborów wody w gospodarce*, KSW, z. 2, Informatyka, Kraków 2008.
- [14] Godyń I., Chmielowski W., *Zastosowanie wnioskowania rozmytego do prognozowania zmienności wodochłonności i zużycia wody w gospodarce*, KSW, z. 2, Informatyka, Kraków 2008.
- [15] Hajek M., *Optimization of fuzzy rules by using a genetic algorithm*, Proc. The Third International Conf. on Automation, Robotics and Computer Vision ICARV '94, Singapor, Vol. 4, 1994, 2111-2115.
- [16] Kacprzyk J., *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, WNT, Warszawa 2001.
- [17] Kagayama Sh., *Blood glucose control by a fuzzy control system*, Int. 1 Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks, Iizuka, Japan 1990, 557-560.
- [18] Łachwa A., *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, EXIT, Warszawa 2001.
- [19] Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, EXIT, Warszawa 2003.
- [20] Rudkowska D., Piliński M., Rudkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, WN PWN, Warszawa 1997.
- [21] Tobi T., Hanafusa T., *A practical application of fuzzy control for an air-conditioning system*, International Journal of Approximate Reasoning 1991, No. 5, 331-348.
- [22] Yager R.R., Filev D.P., *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*, WNT, Warszawa 1995.