

Grzegorz SŁOŃPOLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA,
Al. Tysiąclecia P. P. 7, 25-314 Kielce**Analiza wybranych algorytmów adaptacji relacji
w rozmytych mapach kognitywnych**

Dr inż. Grzegorz SŁOŃ

Jest adiunktem w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. Zajmuje się elektrotechniką teoretyczną, informatyką stosowaną, elektrotechniką i elektroniką pojazdową oraz wykorzystaniem sztucznej inteligencji w diagnostyce i modelowaniu. Jest autorem i współautorem ponad 60 prac naukowych.



e-mail: g.slon@tu.kielce.pl

Streszczenie

Pracę poświęcono problemowi optymalizacji wybranych parametrów relacji rozmytych występujących w rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych. Zaproponowano pewną metodę adaptacji relacji rozmytych polegającą na wprowadzeniu czasowej ziarnistości ich struktury. Wprowadzono specjalny algorytm modyfikacji parametrów relacji, tak aby uzyskać określony stan modelu dla wybranego kroku czasu dyskretnego. Zaprezentowano także wstępne wyniki badań symulacyjnych potwierdzające poprawność proponowanego podejścia.

Słowa kluczowe: relacyjne mapy kognitywne, modele dynamiczne, algorytmy adaptacji.

**Analysis of selected adaptation algorithms
for relations in fuzzy cognitive maps****Abstract**

Applying fuzzy relational cognitive maps to the monitoring is connected with a problem of the accuracy of mapping the monitored system main characteristics. Generally, increase in this accuracy results in the significant increase of the calculating load. This cost can be limited by adaptation of fuzzy relation parameters. The work is devoted to the problem of the analysis of selected parameters of fuzzy relations that occur in fuzzy relational cognitive maps used for modelling and monitoring systems with incomplete information. There is proposed a certain method for adaptation of fuzzy relations consisting in introduction of their structure temporal granulation according to the optimisation criterion (2). There is introduced a special algorithm of modification of the relation parameters (Fig. 3) which enables obtaining the object determined state for a chosen step of the discrete time. On the basis of the proposed algorithm, the simulation investigations of the selected model (Fig. 1, Tabs. 1 and 2) were carried out. As a result, there were obtained powers and dispersion coefficients of the fuzzy relations in the form of functions of the discrete time (Figs. 4 and 5). There are also presented the initial results of simulation research with use of these functions that confirm the correctness of the proposed approach (Fig. 6).

Keywords: relational cognitive maps, dynamic models, adaptation algorithms.

1. Wprowadzenie

Mapy kognitywne są dobrym narzędziem do modelowania i monitorowania pracy systemów charakteryzujących się niepełną informacją. Ich stosowanie wiąże się jednak z koniecznością uwzględnienia wielu dodatkowych warunków, których spełnienie decyduje o dokładności modelu. Poprawę tej dokładności można uzyskiwać różnymi metodami, np. poprzez wprowadzenie ziarnistości informacji. W [4, 9] przedstawiono pewne podejście do zagadnienia ziarnistości przestrzennej i czasowej map kognitywnych wraz z niektórymi konsekwencjami jego stosowania. Na szczególną uwagę zasługuje model wprowadzający przestrzenną ziarnistość rozmytą, w którym zarówno wartości czynników jak

i relacji w mapie kognitywnej rozmywa się tworząc tzw. rozmytą relacyjną mapę kognitywną, opisaną również w [2, 3, 5-8]. Rozmyta relacyjna mapa kognitywna może być stosowana do odwzorowywania systemów w warunkach niepewności informacji – o budowie zarówno statycznej, jak i dynamicznej. W dalszej części pracy rozważania zostaną ograniczone do analizy modeli dynamicznych relacyjnych rozmytych map kognitywnych.

Algorytm działania takich modeli zasadniczo obejmuje trzy fazy:

- wstępne rozmywanie wartości czynników,
- przetwarzanie informacji w modelu rozmytym,
- końcowe wyostrzenie wartości czynników.

Każda z ww. faz może być realizowana na wiele sposobów, zależnie od aktualnych celów modelowania [7-8]. Dla potrzeb monitorowania stanu modelowanego obiektu istotne znaczenie ma dokładność odwzorowywania przez model rzeczywistego działania obiektu. Opieranie się jedynie na wstępnej wiedzy ekspertowej nie gwarantuje wystarczająco dobrych rezultatów. Stąd też konieczne jest opracowanie metod adaptacji modelu do aktualnych warunków monitorowania. W systemach o dynamicznej strukturze wewnętrznej (z relacjami wielokierunkowymi) monitorowanie stanu systemu polega na obserwacji wartości wybranych czynników po uzyskaniu przez wstępnie pobudzony system stanu równowagi. Można przy tym wskazać krok czasu dyskretnego, który zostanie uznany za podstawę obserwacji stanu systemu. Ma to znaczenie, ponieważ adaptacja parametrów ziarnistości czasowej pozwala na określenie parametrów modelu dla każdej chwili czasu dyskretnego. Co za tym idzie, można opracować funkcje zależności wartości wybranych parametrów relacji rozmytych od czasu dyskretnego. W następnym rozdziale zostaną przedstawione wyniki analizy adaptacji parametrów relacji rozmytych przy wprowadzeniu ziarnistości czasowej.

2. Adaptacja relacji rozmytych

Z punktu widzenia dokładności działania modelu dynamicznego, zasadnicze znaczenie ma odpowiedni dobór relacji rozmytych, a w szczególności: mocy oraz współczynników rozrzutu relacji. W dalszej kolejności można wpływać również na kształt relacji (w sensie zmiany kształtu osi relacji na inny niż prostoliniowy).

Proces dostosowywania parametrów relacji do wymagań aktualnego celu modelowania nosi nazwę adaptacji. Może on być realizowany przy użyciu różnych metod [1, 10-12], przy tym adaptacja zasadniczo polega na znalezieniu takiego zestawu parametrów, który zapewni działanie modelu w sposób najbliższy założeniom przy minimalnej liczbie zmiennych lingwistycznych.

2.1. Tworzenie bazy odniesienia

Bazą odniesienia do adaptacji modelu rozmytego mogą być:

- a) przebiegi czasowe uzyskane w pojedynczym cyklu analogicznego modelu ostrego (zbudowanego w oparciu o relacje ostre o wartościach odpowiadających mocom relacji rozmytych w modelu rozmytym). W takim przypadku celem procesu adaptacji jest uzyskanie takich parametrów modelu, które zapewnią odwzorowanie założonych dynamicznych procesów dochodzenia do stanu ustalonego. Cel ten można osiągnąć poprzez wprowadzenie do modelu ziarnistości przestrzennej [4, 9];
- b) zalecenia ekspertów co do oczekiwanych wartości czynników (wyostrzonych) po osiągnięciu określonej chwili czasu dyskretnego (po uprzednim pobudzeniu modelu sygnałami zewnętrznymi). W takim przypadku jedynym punktem odniesienia jest zestaw pojedynczych wartości czynników, które system powi-

nien uzyskać w określonej chwili czasu dyskretnego t . Realizacja tak postawionego zadania (w granicach założonej tolerancji) jest możliwa poprzez wprowadzenie do modelu ziarnistości czasowej [4, 9].

W obydwu powyższych sytuacjach należy mieć na względzie wybrany punkt obserwacji systemu, ponieważ generalnie wybór ten (sprowadzający się w zasadzie do określenia pewnych czynników jako wyjściowych, a innych jako wejściowych) może wpływać na końcowy wynik procesu adaptacji.

Zależnie od okoliczności można stosować również metody optymalizacji oparte na innych zasadach (np. [1, 10-11]).

2.2. Optymalizacja parametrów ziarnistości przestrzennej

Jako kryterium bliskości można wykorzystać wynik zależności (1). Dla uproszczenia można wstępnie przyjąć ujednoczoną, wspólną dla wszystkich elementów rozmytych, wartość wsp. rozrzutu σ [4, 9]:

$$J_i(Q) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_i^w(t) - X_i^o(t))^2} \Rightarrow \min_Q \quad (1)$$

gdzie: $X_i^w(t)$ – wyostrzony przebieg i -tego czynnika rozmytej mapy kognitywnej; $X_i^o(t)$ – przebieg i -tego czynnika kognitywnej mapy odniesienia (ostrej); $Q = [\sigma, K]^T$ – wektor parametrów ziarnistości przestrzennej systemu; $t = 1, \dots, T$ – czas dyskretny; T – liczba kroków czasu dyskretnego (cykli obiegu sygnałów wewnątrz modelu dynamicznego) potrzebnych do uzyskania przez model stanu ustalonego po uprzednim pobudzeniu; i – numer rozpatrywanego czynnika; σ – wspólny współczynnik rozrzutu; K – liczba wielkości lingwistycznych.

Badanie współczynnika bliskości $J_i(Q)$ zostało bliżej przedstawione w [4, 9]. Ogólnie polega ono na przeprowadzeniu, dla danego czynnika, szeregu symulacji przy różnych wartościach parametrów, a następnie wybraniu ich optymalnej kombinacji.

2.3. Optymalizacja parametrów ziarnistości czasowej

Wprowadzenie ziarnistości czasowej wiąże się z optymalizacją wybranych parametrów mapy kognitywnej pod kątem osiągnięcia przez jej czynniki zadanych wartości w określonych chwilach czasu. W charakterze kryterium optymalizacji ziarnistości czasowej można zastosować wynik zależności (2) [9]:

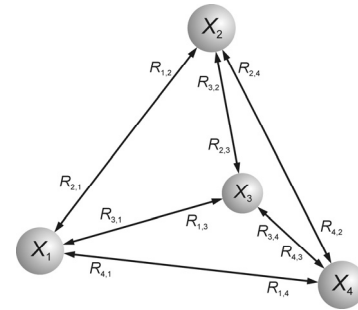
$$I_i(Q) = \|X_i^w(t) - X_i^o(t)\|^2 \Rightarrow \min_Q \quad (2)$$

gdzie: $X_i^w(t)$ – wartość i -tego czynnika rozmytego (po wyostrzeniu) w zadanej chwili czasu dyskretnego; $X_i^o(t)$ – wartość i -tego czynnika odniesienia (ostrego) w zadanej chwili czasu dyskretnego; t – czas dyskretny; $Q = [\{r_{i,j}\}, \{\sigma_{i,j}\}]^T$ – wektor parametrów relacji rozmytych; $r_{i,j}$ – moc relacji rozmytej $R_{i,j}$ w chwili t ; $\sigma_{i,j}$ – wsp. rozrzutu relacji rozmytej $R_{i,j}$ w chwili t ; $t = 1, \dots, T$; T – wartość czasu dyskretnego (liczba cykli obiegu sygnałów wewnątrz modelu dynamicznego); $\| \cdot \|$ – odpowiednio wybrana norma.

Adaptacja w sensie (2) układu relacji rozmytych może być prowadzona różnymi metodami w zależności od stopnia komplikacji układu [1, 10-12]. Wybór normy zależy od celów optymalizacji oraz przyjętego w modelu charakteru poszczególnych relacji rozmytych.

3. Wybrane wyniki badań symulacyjnych

W celu przetestowania opracowanej metody adaptacji relacji rozmytych przeprowadzono badania symulacyjne dynamicznej relacyjnej mapy kognitywnej, której schemat przedstawia rys. 1 [4, 9].



Rys. 1. Przykładowa relacyjna rozmyta mapa kognitywna. X_1, \dots, X_4 – rozmyte wartości czynników; $R_{i,j}$ – relacja rozmyta pomiędzy czynnikami i -tym i j -tym

Fig. 1. Hypothetical relational fuzzy cognitive map. X_1, \dots, X_4 – fuzzy values of concepts; $R_{i,j}$ – fuzzy relation between i -th and j -th concepts

3.1. Założenia do budowy modelu

Moce relacji

Moce poszczególnych relacji przedstawiono w tab. 1 [4, 9].

Tab. 1. Tablica mocy relacji rozmytych (macierz relacji ostrych)
Tab. 1. Table of powers of fuzzy relations (crisp relations matrix)

r	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	0	0	0,5	0,4
X_2	0,3	0	0,3	0
X_3	0	0	0	0,4
X_4	0	-0,6	0	0

Wartości skalarnie zestawione w tab. 1 są bazą do tworzenia relacji rozmytych, przy czym można stosować różne metody ich budowy (zagadnienie to zostało szerzej omówione w [7-8]). W omawianym modelu zastosowano symetryczne (gausoidalne) funkcje przynależności o jednakowych wartościach początkowych współczynników rozrzutu $\sigma = 0,6$ i prostoliniowych osiach.

Wartości początkowe czynników

Działanie modelu polegało na jednorazowym pobudzeniu wybranych czynników sygnałami zewnętrznymi, których wartości przedstawiono w tab. 2 [4, 9].

Tab. 2. Wartości zewnętrznych sygnałów pobudzających
Tab. 2. Values of the external initial signals

Czynnik	X_1	X_2	X_3	X_4
Wartość pobudzenia	0,6	0,3	0	0

Nośnik rozmywania

Do celów analizy posługiwano się wartościami znormalizowanymi z zakresu [-1, 1]. Rozmywania zarówno wartości czynników, jak i relacji dokonywano na nośniku o zakresie [-2, 2]. Wybór takiego zakresu (dwukrotnie szerszego od zakresu znormalizowanych wartości czynników) został podyktowany chęcią zachowania maksymalnej symetrii liczb rozmytych odwzorowujących skalarnie wartości czynników. Symetria ta ma duże znaczenie dla poprawności działań arytmetycznych na liczbach rozmytych oraz dla prawidłowego wyostrzania tych liczb (zastosowano metodę średniej ważonej).

Typ funkcji przynależności czynników i relacji rozmytych

Generalnie, każda relacja rozmyta i każdy czynnik może mieć swoją własną funkcję przynależności. Dla potrzeb omawianego przykładu wybrano funkcje przynależności typu gausoidalnego z uwagi na ich uniwersalny charakter. Ponadto, ponieważ praca

dotyczy metody adaptacji relacji rozmytych, zastosowano jednako-
we współczynniki rozrzutu dla wszystkich rozmytych wartości
czynników. Takie podejście pozwala lepiej ocenić wpływ algo-
rytmu adaptacji relacji na dokładność modelowania rozmytego.

Struktura rozmytej mapy kognitywnej

Badaniom poddano strukturę dynamiczną, w której rozmyta
wartość k -tego czynnika po zakończeniu kolejnego obiegu sygna-
łów osiągnie poziom wyznaczony równaniem (3) [4, 7-8].

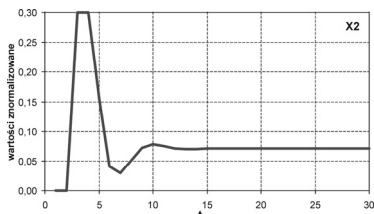
$$X_k(t+1) = X_k(t) \oplus \bigoplus_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^4 [X_i(t) \ominus X_i(t-1)] \circ R_{i,k}, \quad (3)$$

gdzie: k - numer rozpatrywanego czynnika ($k = 1, \dots, 4$); t - czas
dyskretny; \oplus - operacja sumowania rozmytego; \ominus - operacja
odejmowania rozmytego; $R_{i,k}$ - pojedyncza rozmyta relacja po-
między rozmytymi czynnikami o numerach i oraz k ; \circ - operacja
maksyminowej kompozycji rozmytej.

3.2. Ostry model odniesienia

W oparciu o dane z tab. 1 i tab. 2 przeprowadzono symulację
działania modelu ostrego dla 30 kroków obiegu sygnałów
($T=30$).

W efekcie uzyskano przebiegi odniesienia do dalszego procesu
adaptacji. Rys. 2 przedstawia przebieg czasowy wartości czynnika
 X_2 zamodelowanego w tak stworzonej (ostrej) mapie kognitywnej [4].



Rys. 2. Przebieg czasowy wartości czynnika X_2 w ostrym modelu odniesienia mapy kognitywnej (zbudowanej w oparciu o wsp. relacji z tab. 1) po jednorazowym pobudzeniu sygnałami z tab. 2. t - czas dyskretny

Fig. 2. Waveform of X_2 concept value in crisp in the reference model of cognitive map (built on the base of relation coefficients from Tab.1) after single excitation with signals from Tab. 2. t - discrete time

3.3. Adaptacja parametrów ziarnistości relacji rozmytych

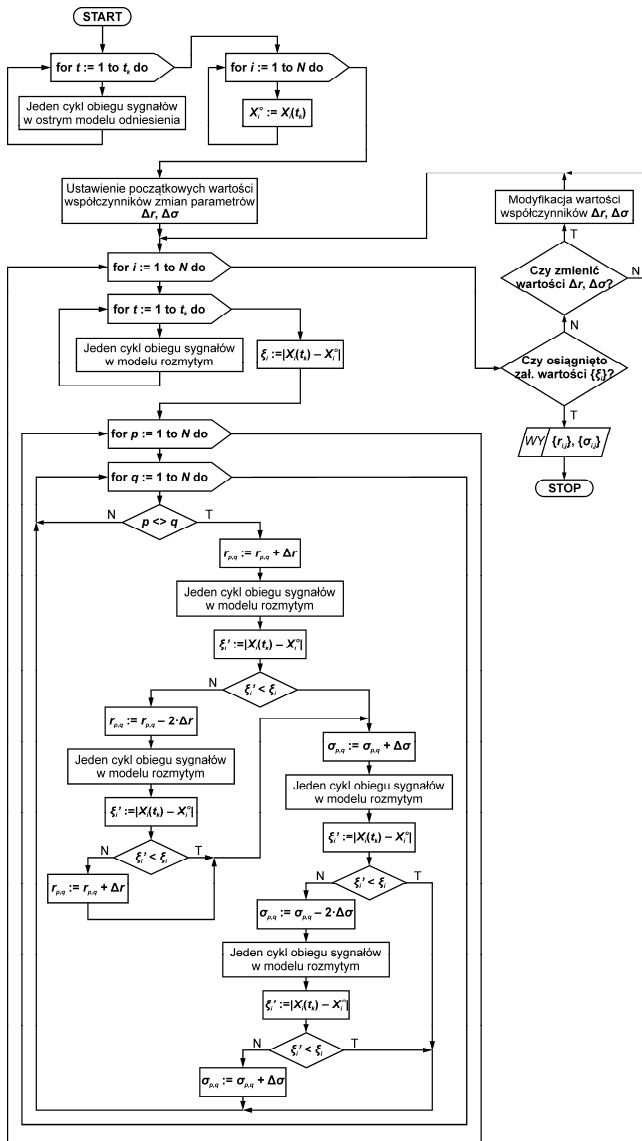
Przykład adaptacji parametrów ziarnistości przestrzennej przed-
stawiono w [4, 9]. Poniżej zostanie przedstawiony przykład adap-
tacji parametrów ziarnistości czasowej.

Ogólne podejście do wprowadzenia ziarnistości czasowej zosta-
ło scharakteryzowane w [4, 9]. Generalnie metoda ta polega na
zastąpieniu stałych wartości parametrów relacji rozmytych (czyli
ich mocy oraz współczynników rozrzutu) pewnymi funkcjami
czasu dyskretnego. Algorytm metody wyznacza optymalne warto-
ści dla każdego kolejnego kroku czasu dyskretnego symulacji
modelu, przy użyciu np. kryterium (2). Dla zobrazowania opisa-
nego podejścia przeprowadzono symulację optymalizacji parame-
trów ziarnistości czasowej dla modelu opisanego rys. 1, tab. 1
i tab. 2. Algorytm adaptacji czasowej parametrów relacji rozmy-
tych dla pojedynczego kroku adaptacji czasu dyskretnego przed-
stawia rys. 3.

Wprowadzenie adaptacji relacji rozmytych na podstawie algo-
rytmu z rys. 3 pozwala na:

- przybliżenie modelu do realnego obiektu monitorowania (lub diagnostowania);
- stosowanie, bez znaczącej utraty dokładności, uproszczonego modelu rozmytego opisującego monitorowany system.

Przykład potwierdzający efektywność takiej adaptacji przed-
stawiają rys. 2 (przebieg odniesienia) i 6 (przebiegi uzyskane
przed i po zastosowaniu adaptacji relacji rozmytych).



Rys. 3. Ogólny algorytm adaptacji parametrów relacji rozmytych w k -tym kroku czasu dyskretnego. X_i^p - wartość i -tego czynnika ostrego modelu odniesienia w chwili t_k ; $X_i(t_k)$ - wyostrzona wartość i -tego czynnika modelu w chwili t_k ; $r_{p,q}$ - moc relacji rozmytej pomiędzy czynnikami X_p i X_q ; Δr - przyrost mocy relacji; $\Delta \sigma$ - przyrost współczynnika rozrzutu; $\{r_{i,j}\}$ - zbiór mocy relacji rozmytych; $\{\sigma_{i,j}\}$ - zbiór współczynników rozrzutu relacji rozmytych; $i, j = 1, \dots, N$; N - liczba czynników mapy

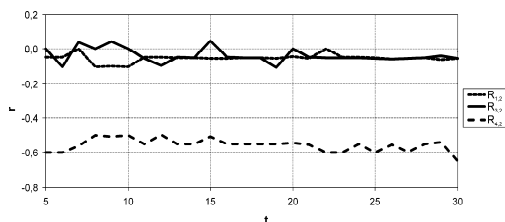
Fig. 3. General algorithm of adaptation of fuzzy relation s parameters in k -th step of discrete time. X_i^p - value of i -th concept of crisp reference model in t_k moment; $X_i(t_k)$ - defuzzified value of i -th concept of model in t_k moment; $r_{p,q}$ - the power of fuzzy relation between X_p and X_q concepts; Δr - the relation power increase; $\Delta \sigma$ - the dispersion coefficient increase; $\{r_{i,j}\}$ - the set of fuzzy relations powers; $\{\sigma_{i,j}\}$ - the set of fuzzy relations dispersion coefficients; $i, j = 1, \dots, N$; N - number of the map concepts

Algorytm z rys. 3 zastosowano do wyznaczenia przebiegów
czasowych mocy oraz współczynników rozrzutu relacji rozmytych
dla modelu z rys. 1 z parametrami jak w tab. 1 o wartościach
początkowych jak w tab. 2. Dokonano adaptacji parametrów
ziarnistości czasowej dla kolejnych kroków (w zakresie od 5 do 30
kroku) czasu dyskretnego w modelu rozmytym przy nośniku
o zakresie $[-2, 2]$, dla 17 wielkości lingwistycznych, których
centra rozłożono równomiernie na długości nośnika. W efekcie
uzyskano zbiory wartości mocy relacji oraz współczynników
rozrzutu dla wszystkich badanych chwil czasu dyskretnego. Na
rys. 4 i 5 przedstawiono wybrane przebiegi zmienności tych pa-
rametrów w zależności od chwili czasu dyskretnego wybranej jako
moment odniesienia. Dla zachowania przejrzystości obrazu, na

rys. 4 i 5 przedstawiono parametry jedynie tych relacji, poprzez które czynniki systemu wpływają na czynnik X_2 , chociaż proces adaptacji dotyczył wszystkich relacji. Parametry wybranych relacji sprzed procesu adaptacji przedstawiono w tab. 3.

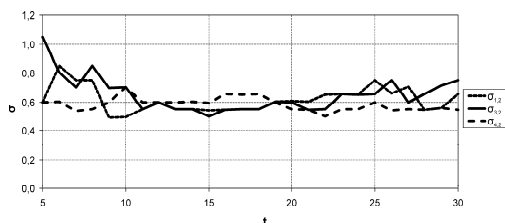
Tab. 3. Pierwotne parametry wybranych relacji rozmytych
Tab. 3. Original parameters of chosen fuzzy relations

Parametr	$R_{1,2}$	$R_{3,2}$	$R_{4,2}$
r	0	0	-0,6
σ	0,6	0,6	0,6



Rys. 4. Przebiegi zmienności mocy wybranych relacji rozmytych uzyskane w wyniku adaptacji parametrów ziarnistości czasowej relacyjnej rozmytej mapy kognitywnej z rys. 1. t – czas dyskretny; r – moc relacji

Fig. 4. Variations of chosen relations of powers obtained as a result of adaptation of temporal granularity parameters for relational fuzzy cognitive map of Fig. 1. t – discrete time; r – relation power

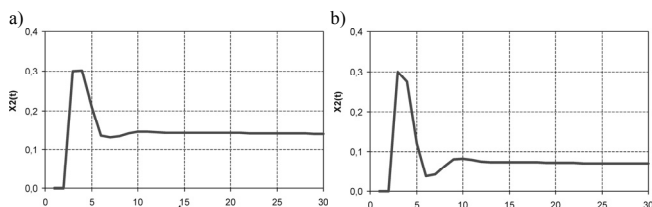


Rys. 5. Przebiegi zmienności współczynników rozrzutu wybranych relacji rozmytych uzyskane w wyniku adaptacji parametrów ziarnistości czasowej relacyjnej rozmytej mapy kognitywnej z rys. 1. t – czas dyskretny; σ – wsp. rozrzutu relacji

Fig. 5. Variations of chosen relations of dispersion coefficients obtained as a result of adaptation of temporal granularity parameters for relational fuzzy cognitive map of Fig. 1. t – discrete time; σ – relation dispersion coefficient

Warto zauważyć, że dostosowywanie parametrów modelu w procesie adaptacji doprowadziło niejako do „stworzenia” nowych relacji (pierwotne zerowe wartości mocy relacji rozmytych $R_{1,2}$ i $R_{3,2}$ zostały zastąpione innymi – niezerowymi).

Dla zilustrowania poprawności metody przeprowadzono trzy symulacje przebiegu czynnika X_2 w warunkach jak w tab. 2: dla modelu ostrego, modelu rozmytego bez adaptacji (z parametrami jak w tab. 1) oraz modelu rozmytego po adaptacji (z parametrami uzyskanymi dla wybranego – 30 kroku czasu dyskretnego). Wynik działania ostrego modelu odniesienia pokazano na rys. 2. Wyniki porównania przykładowych przebiegów w modelach rozmytych (po wyostrzeniu) przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Wyniki adaptacji parametrów ziarnistości czasowej modelu z rys. 1, przeprowadzonej dla pojedynczej chwili czasu dyskretnego ($t = 30$). Przebieg czasowy wyostrzonych wartości czynnika X_2 w modelu rozmytym: a) przed adaptacją; b) po adaptacji

Fig. 6. Results of adaptation of temporal granulation parameters of the model of Fig. 1 carried out for a single discrete time moment ($t = 30$). Waveform of defuzzified values of concept X_2 in fuzzy model: a) before adaptation; b) after adaptation

Porównanie przebiegów z rys. 2, 6a i 6b wykazuje znaczącą zbieżność wartości (w 30-tym kroku czasu dyskretnego) czynników modelu ostrego (wzorcowego) i odniesienia.

4. Wnioski

Adaptacja parametrów modelu rozmytego ma kluczowe znaczenie dla jego dokładności i, co za tym idzie, przydatności do odwzorowywania działania rzeczywistych systemów. Przedstawione w pracy podejście do problemu optymalizacji parametrów relacji rozmytych pozwala na tworzenie rozmytych map kognitywnych spełniających dwa główne warunki skuteczności modelu: możliwie wysokiej dokładności przy jednoczesnej możliwie niskiej liczbie zmiennych lingwistycznych. Wprowadzenie ziarnistości czasowej, chociaż wymaga dalszych badań, już na obecnym etapie poprawia jakość pracy modelu. Przytoczone w pracy wybrane wyniki badań symulacyjnych wskazują zalety metody. W kolejnym etapie badań planowane jest opracowanie algorytmu modyfikacji (w sposób ciągły) wybranych parametrów relacji rozmytych tak, aby były one optymalne nie tylko w wybranym, ale w każdym kroku czasu dyskretnego. Ponadto trwają prace nad metodą adaptacji przestrzennego przebiegu relacji rozmytych, co powinno pozwolić na dalsze ograniczenie minimalnej wymaganej liczby wielkości lingwistycznych.

5. Literatura

- [1] Arabas J.: Wykłady z algorytmów ewolucyjnych. WNT Warszawa 2001.
- [2] Jastriebow A., Słoń G.: Modelowanie słabostrukturalnych systemów logistycznych oparte na rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych. Logistyka nr 2/2010, Poznań 2010 (wersja elektroniczna).
- [3] Jastriebow A., Słoń G.: Relational Modelling in Monitoring Technical States of Objects. Logistyka nr 6/2009, Poznań 2009 (wersja elektroniczna).
- [4] Jastriebow A., Słoń G.: Obliczenia ziarniste w modelowaniu nieprecyzyjnych obiektów przy użyciu relacyjnych rozmytych map kognitywnych. Pomiary Automatyka Kontrola (w niniejszym numerze).
- [5] Jastriebow A., Słoń G.: Rozmyte mapy kognitywne w relacyjnym modelowaniu słabostrukturalnych systemów. W: Jastriebow A. (red.) Informatyka w dobie XXI wieku. Technologie informatyczne w nauce, technice i edukacji. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacyjnej – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2009, str. 35-38.
- [6] Jastriebow A., Słoń G.: Rozmyte mapy kognitywne w relacyjnym modelowaniu systemów monitorowania. W: Kowalczyk Z. (red.) Systemy wykrywające, analizujące i tolerujące usterki. PWNT, Gdańsk 2009, str. 217-224.
- [7] Jastriebow A., Słoń G.: Synteza i analiza obliczeniowa modeli inteligentnych opartych na mapach kognitywnych – część I. Synteza. W: Jastriebow A. (red.) Informatyka w dobie XXI wieku. Technologie informatyczne i ich zastosowania. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacyjnej – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2010, str. 77-86.
- [8] Jastriebow A., Słoń G.: Synteza i analiza obliczeniowa modeli inteligentnych opartych na mapach kognitywnych – część II. Analiza. W: Jastriebow A. (red.) Informatyka w dobie XXI wieku. Technologie informatyczne i ich zastosowania. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacyjnej – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2010, str. 77-86.
- [9] Jastriebow A., Słoń G.: Ziarnistość informacji w dynamicznych modelach rozmytych relacyjnych map kognitywnych, Logistyka, 2010 (przyjęta do publikacji).
- [10] Jastriebow A., Wciślik M.: Optymalizacja – teoria, algorytmy i ich realizacja w Matlabie, Wyd. PŚK, Kielce 2001.
- [11] Słoń G.: Adaptacja relacji w dynamicznych rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych, Logistyka, 2010 (przyjęta do publikacji).
- [12] Stach W., Kurgan L., Pedrycz W., Reformat M.: Genetic Learning of Fuzzy Cognitive Maps. Fuzzy Sets and Systems. 2005. V. 153. P. 371-401.