

Grzegorz SŁOŃ¹

ADAPTACJA RELACJI W DYNAMICZNYCH ROZMYTYCH RELACYJNYCH MAPACH KOGNITYWNYCH

Pracę poświęcono problemowi optymalizacji wybranych parametrów relacji rozmytych występujących w rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych. Przedstawiono główne trudności napotymane przy tworzeniu dokładnych rozmytych map kognitywnych oraz zaproponowano pewną, kilkuetapową metodę adaptacji relacji rozmytych. Zaprezentowano także wstępne wyniki badań symulacyjnych potwierdzających poprawność proponowanego podejścia.

ADAPTATION OF RELATIONS IN DYNAMIC FUZZY RELATIONAL COGNITIVE MAPS

This work is devoted to the problem of optimization of selected parameters of fuzzy relations occurred into fuzzy relational cognitive maps. There are presented main difficulties encountered during creating accurate fuzzy cognitive maps and there is proposed certain few stages' method of fuzzy relations adaptation. There are also shown the initial simulation research results that confirm proposed approach correctness.

1. WSTĘP

W [9] przedstawiono pewne podejście do zagadnienia ziarnistości przestrzennej i czasowej map kognitywnych i związanych z nim, pewnych aspektów dokładności działania takich modeli. Szczególną uwagę poświęcono modelom rozmytych relacyjnych map kognitywnych, opisanych w [3-8]. Rozmyta relacyjna mapa kognitywna może być stosowana do odwzorowywania systemów o budowie zarówno statycznej, jak i dynamicznej. W dalszej części pracy rozważania zostaną ograniczone do analizy rozmytych modeli dynamicznych.

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 [3, 7]. Dla potrzeb monitorowania stanu modelowanego obiektu istotne

¹ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Zastosowań Informatyki; 25-314 Kielce; Al. Tysiąclecia P. P. 7.
tel.: +48 41 34-24-333, fax: +48 41 34-24-331, e-mail: enegs@tu.kielce.pl

znaczenie ma dokładność odwzorowywania przez model rzeczywistego działania obiektu. Opieranie się jedynie na wstępnej wiedzy ekspertowej na ogół nie daje wystarczająco dobrych rezultatów. Stąd też konieczne jest opracowanie metod modyfikacji początkowych parametrów modelu. W następnym rozdziale zostaną przedstawione wyniki analizy adaptacji parametrów relacji rozmytych przy wprowadzeniu ziarnistości.

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

Zależnie od okoliczności można stosować również metody optymalizacji oparte na innych zasadach (np. [1, 10, 11]), nie będą one jednak omawiane w niniejszej pracy.

2.2 Optymalizacja parametrów ziarnistości przestrzennej

Jako kryterium bliskości można wykorzystać wynik zależności (1). Dla uproszczenia można wstępnie przyjąć ujednocloną, wspólną dla wszystkich elementów rozmytych, wartość wsp. rozrzutu σ [2]:

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

gdzie: $X_i^w(t)$ – wyostrzony przebieg i -tego czynnika mapy kognitywnej; $X_i^o(t)$ – przebieg i -tego czynnika mapy kognitywnej odniesienia (ostrej); $Q_1 = [\sigma, K]^T$ – 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 $J_i(Q_1)$ polega na przeprowadzeniu, dla danego czynnika, szeregu symulacji przy różnych wartościach σ oraz K , a następnie wybraniu takiej ich kombinacji, przy której $J_i(Q_1)$ osiąga wartość akceptowalnie niską z jednoczesnym zachowaniem jak najmniejszej wartości K .

Stosowanie kryterium bliskości (1) może dawać różne wyniki w zależności od numeru rozpatrywanego czynnika [9].

2.3 Optymalizacja parametrów ziarnistości czasowej

W charakterze kryterium optymalizacji ziarnistości czasowej można zastosować wynik zależności (2) [8-9]:

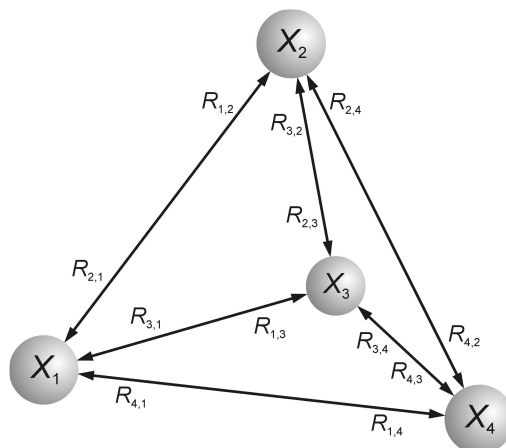
$$I_i(Q_2) = \|X_i^w(t) - X_i^o(t)\|^2 \Rightarrow \min_{Q_2} \quad (2)$$

gdzie: $X_i^w(t)$ – wartość i -tego czynnika rozmytego (po wyostrzeniu) w stanie ustalonym, $X_i^o(t)$ – wartość i -tego czynnika odniesienia (ostrego) w stanie ustalonym, t – czas dyskretny; $Q_2 = [\{\bar{r}_{i,j}\}, \{\sigma_{i,j}\}]^T$ – wektor parametrów relacji rozmytych; $\bar{r}_{i,j}$ – moc relacji rozmytej $R_{i,j}$; $\sigma_{i,j}$ – 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, 11]. 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 [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.

3.1 Założenia do budowy modelu

⇒ Moce relacji

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

Tab. 1. Tablica mocy relacji rozmytych (macierz relacji ostrych)

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 początkowe czynników

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

Tab. 2. Wartości początkowe

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 $[-2, 2]$.

⇒ Typ funkcji przynależności czynników i relacji rozmytych

Wybrano funkcje przynależności typu gausoidalnego.

⇒ Struktura rozmytej mapy kognitywnej

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

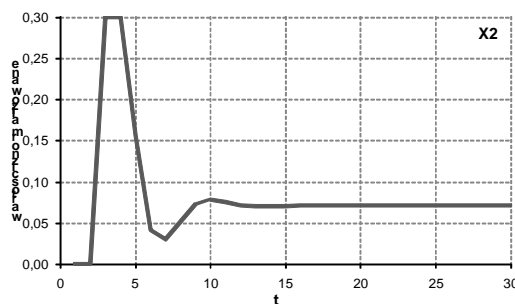
$$X_k(t+1) = X_k(t) \oplus \bigoplus_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^4 [X_i(t) \ominus X_i(t-1)] \circ R_{i,k} \quad (3)$$

gdzie: k - numer rozpatrywanego czynnika; t - czas dyskretny; \oplus - operacja sumowania rozmytego; \ominus - operacja odejmowania rozmytego; $R_{i,k}$ - pojedyncza rozmyta relacja pomiędzy rozmytymi czynnikami o numerach i oraz k; \circ - operacja maksymalnej kompozycji rozmytej; k = 1, ..., 4; t = 0, 1, 2, ..., T.

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 przykładowy przebieg czasowy wartości czynnika X_2 zamodelowanego w tak stworzonej mapie kognitywnej.

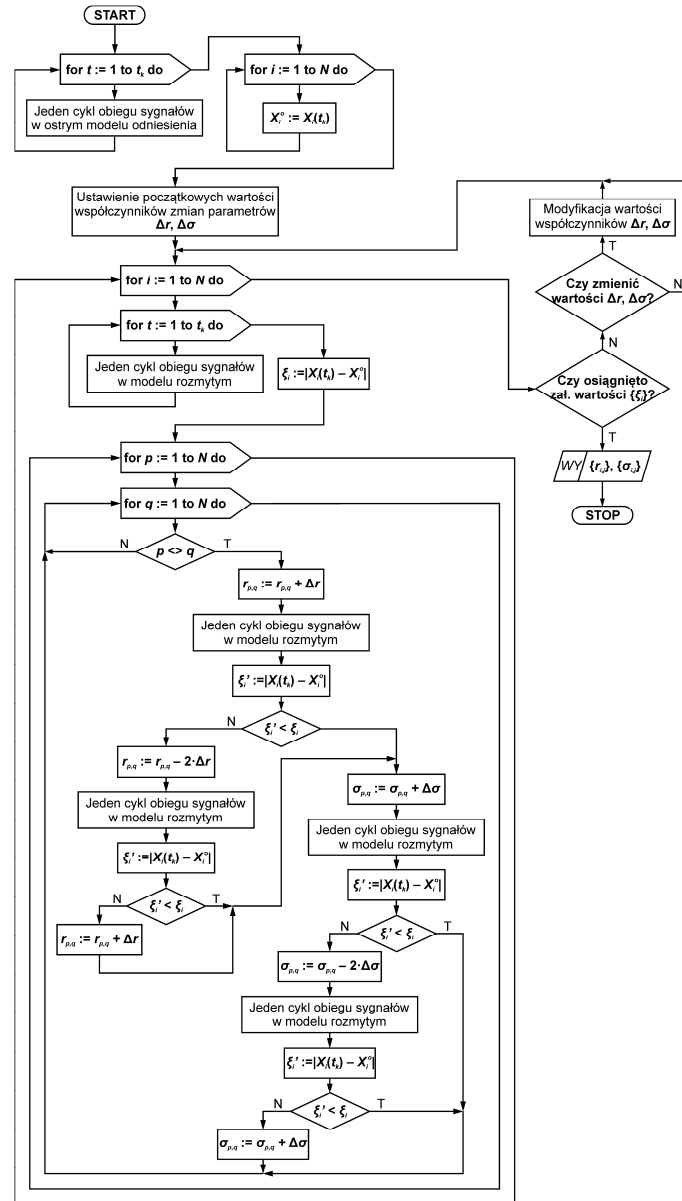


Rys. 2. Przebieg czasowy wartości czynnika X_2 w ostrym modelu odniesienia mapy kognitywnej (zbudowanej w oparciu o wsp. relacji z tab. 1) po jednorazowym pobudzeniu sygnałami z tab. 2. t - czas dyskretny

3.3 Adaptacja parametrów ziarnistości relacji rozmytych

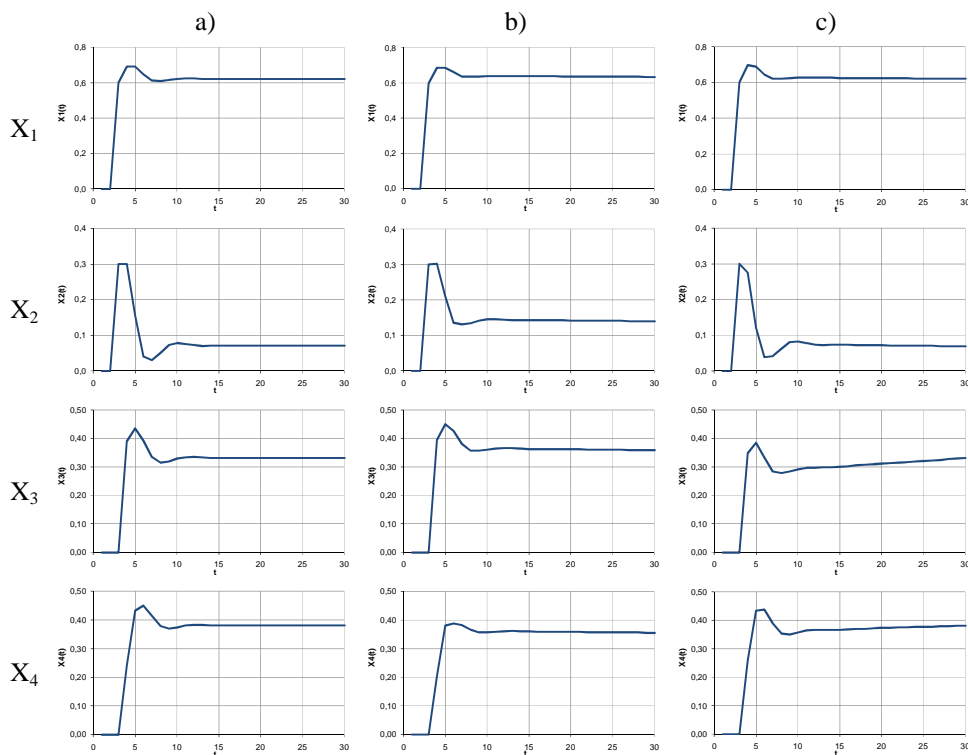
Przykład adaptacji parametrów ziarnistości przestrzennej przedstawiono w [9]. Poniżej zostanie przedstawiony przykład adaptacji parametrów ziarnistości czasowej.

Ogólne podejście do wprowadzenia ziarnistości czasowej zostało scharakteryzowane w [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 wartości dla każdego kolejnego kroku czasu dyskretnego symulacji modelu, przy użyciu np. kryterium opisanego w p. 2.3. Dla zobrazowania opisanego podejścia przeprowadzono symulację optymalizacji parametrów ziarnistości czasowej w jednym, wybranym kroku czasu dyskretnego (t = 30), dla modelu opisanego rys. 1, tab. 1 i tab. 2. Algorytm adaptacji czasowej parametrów relacji rozmytych przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Ogólny algorytm adaptacji parametrów relacji rozmytych w k -tym kroku czasu dyskretnego. X_i^o –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 czynnikiem 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

Adaptacja parametrów ziarnistości czasowej może być stosowana niezależnie, bądź wspólnie z adaptacją parametrów ziarnistości przestrzennej (jako kolejny etap procesu adaptacji relacji rozmytych). Dla podkreślenia zalet algorytmu z rys. 4 przeprowadzono adaptację parametrów relacji poprzez optymalizację parametrów ziarnistości czasowej, dla modelu opisanego rys. 1 oraz tabelami 1 i 2, przy początkowych wartościach parametrów relacji gorszych ($K = 17$; $\sigma = 0,6$), niż wynikałoby to z optymalizacji parametrów ziarnistości przestrzennej [9]. Wybrane wyniki przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wyniki adaptacji parametrów ziarnistości czasowej modelu z rys. 1, przeprowadzonej dla pojedynczej chwili czasu dyskretnego ($t = 30$). a) – przebiegi czasowe wartości czynników w modelu ostrym, b) – przebiegi czasowe wyostrzonych wartości czynników w modelu rozmytym bez adaptacji, c) – przebiegi czasowe wyostrzonych wartości czynników po adaptacji

Celem adaptacji, której wyniki przedstawiono na rys. 5, było ustalenie takich wartości parametrów relacji rozmytych mapy kognitywnej (mocy i współczynników rozrzutu), przy których czynniki modelu rozmytego, po pobudzeniu sygnałami jak w tab. 2, uzyskają w 30 kroku czasu dyskretnego wartości (po wyostrzeniu) jak najbliższe wartościom uzyskanym w analogicznych warunkach przez czynniki ostrego modelu odniesienia. W przeciwieństwie do optymalizacji parametrów ziarnistości przestrzennej, w tym

wypadku algorytm (z rys. 4) modyfikuje parametry każdej relacji oddzielnie. W efekcie początkowe moce relacji (zestawione w tab. 1) oraz współczynniki rozrzutu ($\sigma = 0,6$ dla każdej relacji) przybierają wartości jak w tab. 3.

Tab. 3. Tablica mocy (r) i współczynników rozrzutu (σ) relacji rozmytych po adaptacji zgodnie z algorytmem z rys. 4 dla $t = 30$

r / σ	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	0	-0,048 / 0,702	0,5 / 0,551	0,447 / 0,599
X_2	0,353 / 0,602	0	0,253 / 0,548	0,051 / 0,753
X_3	-0,048 / 0,703	-0,048 / 0,803	0	0,452 / 0,602
X_4	0,052 / 0,652	-0,652 / 0,552	-0,048 / 0,603	0

Porównanie wykresów z kolumn a) i c) rys. 5 wykazuje dużą zbieżność wyników dla chwili czasu dyskretnego t , będącej podstawą adaptacji.

5. 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 dwufazowe 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 przestrzennej i czasowej, chociaż wymaga dalszych badań, już na obecnym etapie poprawia jakość pracy modelu. Każdy rodzaj ziarnistości ma swoje ograniczenia, które jednakże mogą być zniwelowane poprzez łączne zastosowanie obu jej typów. Przytoczone w pracy wybrane wyniki badań symulacyjnych wskazują zarówno zalety obu metod jak i kierunki dalszych badań.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Arabas J., *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*. WNT Warszawa 2001.
- [2] Jastriebow A., Słoń G., *Dokładność inteligentnych dynamicznych modeli rozmytych relacyjnych map kognitywnych*. Mat. XV Konferencji Naukowej Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZKwE'2010, Poznań 2010, str. 271-272.
- [3] Jastriebow A., Słoń G., *Modelowanie słabostrukturalnych systemów logistycznych oparte na rozmytych relacyjnych mapach kognitywnych*. Logistyka nr 2/2010, Poznań 2010 (wersja elektroniczna).
- [4] Jastriebow A., Słoń G., *Relational Modelling in Monitoring Technical States of Objects*. Logistyka nr 6/2009, Poznań 2009 (wersja elektroniczna).
- [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 (w niniejszym numerze).
- [10] Jastriebow A., Wciślik M., *Optymalizacja – teoria, algorytmy i ich realizacja w Matlabie*, Wyd. PŚk, Kielce 2001.
- [11] Stach W., Kurgan L., Pedrycz W., Reformat M.: *Genetic Learning of Fuzzy Cognitive Maps*. Fuzzy Sets and Systems. 2005. V. 153. P. 371-401.