

ZASTOSOWANIE MAP KOGNITYWNYCH W INTELIGENTNYCH SYSTEMACH WSPOMAGANIA PODEJMOWANIA DECYZJI

Artykuł poświęcony jest zastosowaniu map kognitywnych w inteligentnych systemach wspomagania podejmowania decyzji. Opracowano i przedstawiono aplikację umożliwiającą implementację map kognitywnych ostrych, realizację procesu uczenia z wykorzystaniem metody gradientowej oraz obserwację dynamicznych zmian systemu. Pokazano działanie programu na przykładzie systemu wspomagania podejmowania decyzji w transporcie drogowym oraz systemu wspomagania integracji polityki transportowej z ekologią.

APPLICATION OF COGNITIVE MAPS IN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS

Article is devoted to the application of cognitive maps in intelligent decision support systems. Developed and presented an application that enables implementation of acute cognitive maps, realization of learning process using the gradient method and observation of dynamic changes in the system. The program was shown on the example of decision support system for road transport and support system for the integration of transport policy and ecology.

1. WSTĘP

Artykuł poświęcono opisowi działania map kognitywnych ostrych i ich zastosowaniu w systemach eksperckich. Głównym celem pracy jest opracowanie aplikacji umożliwiającej implementację map kognitywnych ostrych i przedstawienie jej działania na przykładzie inteligentnych systemów wspomagania podejmowania decyzji.

Mapa kognitywna to uniwersalne narzędzie wykorzystujące wiedzę oraz doświadczenie do poznawania i analizy zjawisk, występujących w otaczającym nas świecie. Znajduje zastosowanie w modelowaniu dynamicznych procesów [1], w systemach diagnostycznych [4], w predykcji szeregów czasowych [5], w robotyce [7] a także w złożonych systemach kontroli procesów [13-15]. Mapy kognitywne stanowią efektywne narzędzie do modelowania i kontroli zachowań wirtualnego agenta [11] oraz modelowania wirtualnego świata [1,10]. Stosowane są również w inteligentnych systemach wspomagania podejmowania decyzji, m.in.: w społeczno – ekonomicznych problemach [8] oraz

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki; 25-314 Kielce; al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7; Tel: + 48 41 342-42-06, E-mail: k.piotrowska@tu.kielce.pl

w dziedzinie bezpieczeństwa sieci i wykrywania włamań [12]. Prace [6,17] poświęcone są analizie i optymalizacji modeli rozmytych relacyjnych map kognitywnych.

W pracy opracowano i przedstawiono inteligentny system ekspertowy oparty na mapach kognitywnych (*ISEMK*), umożliwiający implementację map kognitywnych ostrych oraz pokazano jego działanie na przykładzie inteligentnych systemów wspomaganego podejmowania decyzji. Rozdział 2 zawiera opis syntezy mapy kognitywnej w *ISEMK*, budowę mapy i gradientową metodę adaptacji macierzy relacji. W rozdziale 3 pokazano zastosowanie mapy kognitywnej w inteligentnym systemie wspomaganego podejmowania decyzji w transporcie drogowym oraz w systemie wspomaganego integracji polityki transportowej z ekologią. Rozdział 4 zawiera podsumowanie pracy.

2. SYNTEZA MAPY KOGNITYWNEJ W ISEMK

Implementacja map kognitywnych w systemie *ISEMK* składa się z kilku etapów:

- wyboru liczby czynników (*concepts*) mapy,
- wprowadzenia nazw czynników,
- wyboru czynników wyjściowych i wejściowych,
- inicjalizacji macierzy relacji,
- adaptacji wag macierzy relacji,
- inicjalizacji wartości początkowych czynników,
- obserwacji dynamicznych zmian wartości czynników mapy.

2.1 Budowa mapy

Podstawę budowy mapy kognitywnej stanowi graf skierowany postaci [17]:

$$\langle \mathbf{x}, \mathbf{w} \rangle \quad (1)$$

gdzie: $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]^T$ – wartości czynników mapy; $\mathbf{w} = \{ w_{ji} \}$ – macierz relacji pomiędzy czynnikami; w_{ji} liczba z przedziału $[-1,1]$; $i, j = 1, \dots, n$; n – liczba czynników.

Wierzchołki grafu oznaczają istotne dla badanego zjawiska czynniki. Czynniki wpływają na siebie z intensywnością określoną przez wagi połączeń pomiędzy nimi, tworzące macierz relacji. Zmianę wartości i -tego czynnika określa równanie dynamiki mapy:

$$x_i(t+1) = f \left(x_i(t) + \sum_{j \neq i} x_j(t) \cdot w_{ji} \right) \quad (2)$$

gdzie: i, j – numery czynników ($i, j = 1, \dots, n$); n – liczba czynników; f - funkcja progowa; t - dyskretny czas; x_i - wartość czynnika numer i ; w_{ji} – waga połączenia czynnika x_j z czynnikiem x_i [9,16].

Na podstawie funkcji progowej obliczana jest wartość czynników mapy kognitywnej w kolejnym kroku iteracji $t+1$. System *ISEMK* umożliwia zastosowanie funkcji progowej liniowej, skokowej, sigmoidalnej i tangensa hiperbolicznego.

2.2 Adaptacja macierzy relacji metodą gradientową

Mapy kognitywne jako systemy inteligentne posiadają zdolność adaptacji macierzy relacji. Jedną ze stosowanych metod jest uczenie pod nadzorem z wykorzystaniem metody

gradientowej. Polega ona na modyfikacji wag połączeń czynników w kierunku największego spadku funkcji błędu, określonej przez zależność:

$$J(t) = \sum_{i=1}^n (x_i(t) - z_i(t))^2 \quad (3)$$

gdzie: J - funkcja błędu; t - dyskretny czas; n - liczba czynników; x_i - wartość czynnika numer i ; z_i - zadana wartość czynnika numer i .

Adaptacja (uczenie) macierzy relacji metodą gradientową dla minimalizacji kryterium (3) odbywa się według zależności:

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta(z_i(t) - x_i(t)) \cdot y_{ji}(t) \quad (4)$$

gdzie: η - współczynnik uczenia mapy, $0 < \eta < 1$; t - dyskretny czas; x_i - wartość czynnika numer i ; z_i - zadana wartość czynnika numer i ; w_{ji} - waga połączenia czynnika x_j z czynnikiem x_i ; y_{ji} - funkcja czułości.

Funkcja czułości (*sensitivity function*) wynika z metody gradientowej dla minimalizacji kryterium (3) i jest określona zależnością [6]:

$$y_{ji}(t+1) = y_{ji}(t) + f' \left(\sum_{j \neq i} x_j(t) \cdot w_{ji}(t) \right) \cdot x_j(t) \quad (5)$$

gdzie: f' - pochodna funkcji progowej; t - dyskretny czas; x_i - wartość czynnika numer i ; z_i - zadana wartość czynnika numer i ; w_{ji} - waga połączenia czynnika x_j z czynnikiem x_i .

W celu syntezy i analizy modeli map kognitywnych opracowano aplikację komputerową ISEMK, realizującą problemy opisane w rozdziale 3.

3. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA MAP KOGNITYWNYCH W SYSTEMACH EKSPERCKICH

Poniżej pokazano przykłady zastosowania map kognitywnych ostrych do rozwiązywania problemów decyzyjnych w transporcie.

3.1 System wspomaganie podejmowania decyzji w transporcie drogowym

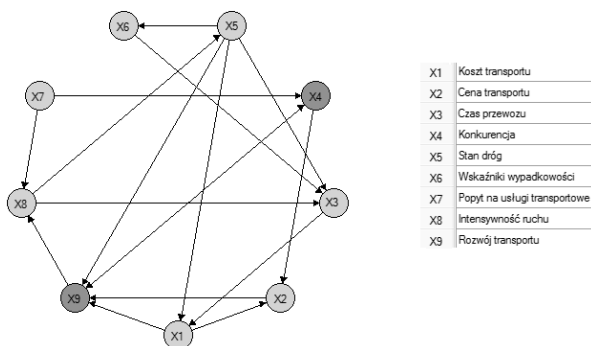
Transport drogowy odgrywa ważną rolę we współczesnym świecie, zapewnia sprawne funkcjonowanie systemów logistycznych przedsiębiorstw, przyczynia się do rozwoju gospodarczego regionów i wzrostu jakości życia społecznego. Szybki rozwój transportu drogowego zmusza przedsiębiorców do konkurencji między sobą, poprzez obniżanie kosztów i cen transportu [3].

W ISEMK zaimplementowano inteligentny system wspomaganie podejmowania decyzji w transporcie drogowym. Jako węzły mapy kognitywnej zastosowano następujące czynniki :

- x_1 - koszt transportu,
- x_2 - cena transportu,
- x_3 - czas przewozu,
- x_4 - konkurencja,
- x_5 - stan dróg,

- x_6 - wskaźniki wypadkowości,
- x_7 - popyt na usługi transportowe,
- x_8 - intensywność ruchu,
- x_9 - rozwój transportu.

Jako czynniki wyjściowe systemu wybrano konkurencję i rozwój transportu. Schemat zaimplementowanej mapy kognitywnej przedstawia rys. 1.



Rys.1. Schemat zaimplementowanej w ISEMK mapy kognitywnej dla systemu wspomagania podejmowania decyzji w transporcie drogowym

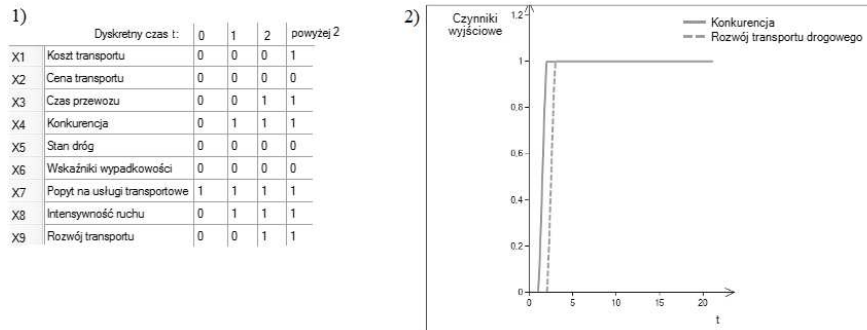
=> Inicjalizacja parametrów mapy kognitywnej w ISEMK

Na podstawie wiedzy eksperckiej zainicjalizowano macierz relacji przedstawioną na rys. 2.

	Koszt transportu	Cena transportu	Czas przewozu	Konkurencja	Stan dróg	Wskaźniki wypadkowości	Popyt na usługi transportowe	Intensywność ruchu	Rozwój transportu drogowego
Koszt transportu	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
Cena transportu	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Czas przewozu	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Konkurencja	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
Stan dróg	-1	0	-1	0	0	-1	0	0	1
Wskaźniki wypadkowości	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Popyt na usługi transportowe	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Intensywność ruchu	0	0	1	0	-1	0	0	0	0
Rozwój transportu drogowego	0	0	0	1	0	0	0	1	0

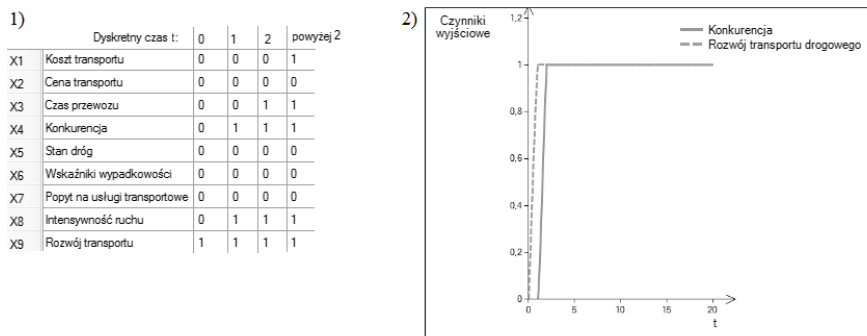
Rys.2. Zainicjalizowana w systemie ISEMK macierz relacji mapy kognitywnej

a) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[000000100]^T$
 Wyniki działania zainicjalizowanego w ISEMK systemu wspomagania podejmowania decyzji w transporcie drogowym w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 3.



Rys.3. Wyniki działania zainicjalizowanego w ISEMK systemu, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t , 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

b) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[00000001]^T$
 Wyniki działania zainicjalizowanego w ISEMK systemu wspomaganego podejmowania decyzji w transporcie drogowym w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 4.



Rys.4. Wyniki działania zainicjalizowanego w ISEMK systemu, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t , 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

=> **Adaptacja macierzy relacji mapy kognitywnej w systemie ISEMK**

Rys. 5 przedstawia macierz relacji dla nauczonego systemu wspomaganego podejmowania decyzji w transporcie drogowym metodą gradientową.

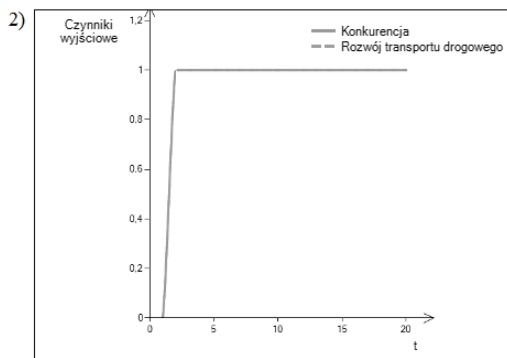
	Koszt transportu	Cena transportu	Czas przewozu	Konkurencja	Stan dróg	Wskaźniki wypadkowości	Popyt na usługi transportowe	Intensywność ruchu	Rozwój transportu drogowego
Koszt transportu	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
Cena transportu	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Czas przewozu	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Konkurencja	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
Stan dróg	-1	0	-1	0	0	-1	0	0	1
Wskaźniki wypadkowości	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Popyt na usługi transportowe	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Intensywność ruchu	0	0	1	0	-1	1	0	0	0
Rozwój transportu drogowego	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Rys.5. Macierz relacji nauczonej w systemie ISEMK mapy kognitywnej

a) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[000000100]^T$
 Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemie wspomaganie podejmowania decyzji w transporcie drogowym w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 6.

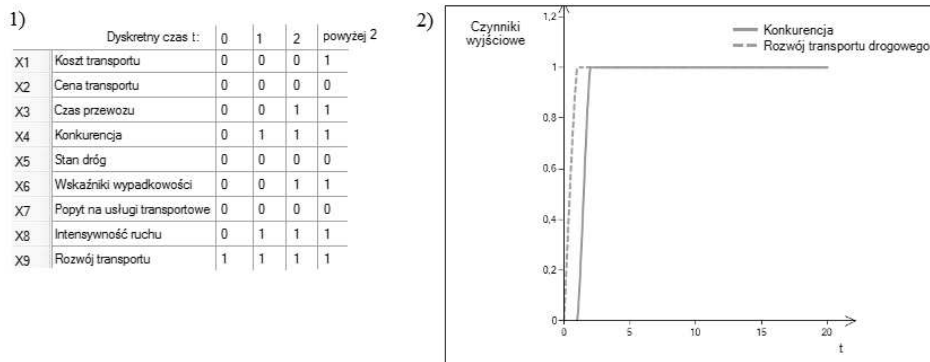
1)

Dyskretny czas t:	0	1	2	powyżej 2
X1 Koszt transportu	0	0	0	1
X2 Cena transportu	0	0	0	0
X3 Czas przewozu	0	0	1	1
X4 Konkurencja	0	1	1	1
X5 Stan dróg	0	0	0	0
X6 Wskaźniki wypadkowości	0	0	1	1
X7 Popyt na usługi transportowe	1	1	1	1
X8 Intensywność ruchu	0	1	1	1
X9 Rozwój transportu	0	1	1	1



Rys.6. Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemie, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t, 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

b) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[000000001]^T$
 Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemie wspomaganie podejmowania decyzji w transporcie drogowym w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 7.



Rys.7. Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemie, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t , 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

Podsumowując wyniki symulacji przeprowadzonych w ISEMK można stwierdzić, że proces uczenia mapy pozytywnie wpłynął na działanie systemu wspomaganie podejmowania decyzji w transporcie drogowym.

3.2 System wspomaganie integracji polityki transportowej z ekologią

Transportowi drogowemu towarzyszy problem szkodliwego wpływu na środowisko naturalne i zdrowie ludzkie. Ilość emitowanych spalin, poziom hałasu oraz stopień zanieczyszczeń wód i gleb są ściśle związane z rozwojem transportu, a także z jakością lokalizacji dróg. W celu zmniejszenia negatywnych skutków rozwoju transportu stosuje się między innymi biopaliwa oraz transport multimodalny, czyli przewóz przez środki różnych gałęzi transportu [2].

Przy pomocy ISEMK zaimplementowano inteligentny system wspomaganie integracji polityki transportowej z ekologią. Jako węzły mapy kognitywnej zastosowano następujące czynniki :

- x_1 - środowisko naturalne,
- x_2 - emisja spalin,
- x_3 - użycie biopaliw,
- x_4 - transport multimedialny,
- x_5 - transport drogowy,
- x_6 - zanieczyszczenia wód i gleb,
- x_7 - hałas,
- x_8 - lokalizacja dróg.

Jako czynniki wyjściowe systemu wybrano środowisko naturalne i transport drogowy. W związku z ograniczeniami artykułu poniżej przedstawiono wyniki działania nauczonego systemu wspomaganie integracji polityki transportowej z ekologią.

=> Adaptacja macierzy relacji mapy kognitywnej w systemie ISEMK

Rys. 8 przedstawia macierz relacji dla nauczonego systemu wspomaganie integracji polityki transportowej z ekologią.

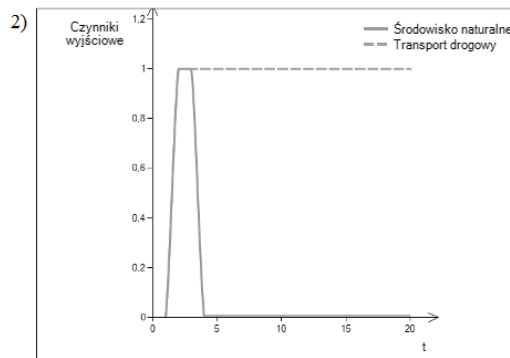
	Środowisko naturalne	Emisja spalin	Użycie biopaliw	Transport multimodalny	Transport drogowy	Zanieczyszczenia wód i gleb	Hałas	Lokalizacja dróg
Środowisko naturalne	0	0	0	0	0	0	0	0
Emisja spalin	-1	0	0	0	0	1	0	0
Użycie biopaliw	1	-1	0	0	0	-1	0	0
Transport multimodalny	1	-1	0	0	-1	0	0	0
Transport drogowy	-1	1	0	-1	0	1	1	0
Zanieczyszczenia wód i gleb	-1	0	0	0	0	0	0	0
Hałas	-1	0	0	0	0	0	0	0
Lokalizacja dróg	1	0	0	0	1	0	-1	0

Rys.8. Macierz relacji nauczonej w systemie ISEMK mapy kognitywnej

a) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[00000001]^T$
 Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemu wspomaganego integracji polityki transportowej z ekologią w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 9.

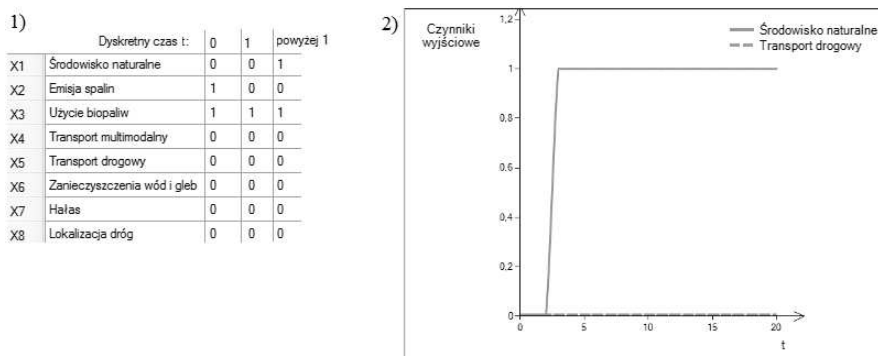
1)

	Dyskretny czas t:	0	1	2	powyżej 2
X1	Środowisko naturalne	0	1	1	0
X2	Emisja spalin	0	0	1	1
X3	Użycie biopaliw	0	0	0	0
X4	Transport multimodalny	0	0	0	0
X5	Transport drogowy	0	1	1	1
X6	Zanieczyszczenia wód i gleb	0	0	1	1
X7	Hałas	0	0	0	0
X8	Lokalizacja dróg	1	1	1	1



Rys.9. Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemie, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t , 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

b) wyniki symulacji w ISEMK dla początkowych wartości czynników $x=[01100000]^T$
 Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemu wspomaganego integracji polityki transportowej z ekologią w kolejnych krokach symulacji zgodnie z równaniem (2) przedstawia rys. 10.



Rys.10. Wyniki działania nauczonego w ISEMK systemu, gdzie: 1) zmiany wartości czynników dla kolejnych t, 2) wykres zmian czynników wyjściowych mapy

Podsumowując wyniki symulacji przeprowadzonych w ISEMK można stwierdzić, że proces uczenia mapy pozytywnie wpłynął na działanie systemu wspomagania integracji polityki transportowej.

4. WNIOSKI

W pracy opisano modelowanie za pomocą map kognitywnych (budowę, własności, zastosowanie). Opracowano aplikację ISEMK umożliwiającą implementację oraz analizę działania mapy kognitywnej ostrej. Pokazano zastosowanie aplikacji na przykładzie inteligentnego systemu wspomagania podejmowania decyzji w transporcie drogowym oraz systemu wspomagania integracji polityki transportowej z ekologią. Dokonano wizualizacji, adaptacji macierzy relacji oraz przedstawiono wyniki działania obu systemów.

Planuje się dalsze rozwijanie oprogramowania ISEMK o możliwość implementacji rozmytych map kognitywnych, zastosowania nowych algorytmów uczenia i optymalizacji oraz analizy porównawczej działania map z innymi systemami inteligentnymi. Głównym celem pracy jest opracowanie uniwersalnego inteligentnego systemu, umożliwiającego syntezę i analizę dowolnego problemu z dziedzin zarówno ekonomicznych, technicznych, jak i medycznych, przyrodniczych czy humanistycznych.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] AGUILAR J.: *Dynamic Random Fuzzy Cognitive Maps*. Computación y Sistemas, vol. 7, núm. 4, pp. 260-270, Impreso en México, 2004.
- [2] BRZOWSKA L., BRZOWSKI K., DRĄG Ł.: *Transport drogowy a jakość powietrza atmosferycznego. Modelowanie komputerowe w mezoskali*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.
- [3] BURNEWICZ J.: *Sektor samochodowy Unii Europejskiej*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [4] GAD R., GAD S., ZEJA A.: *Informatyczny system monitorowania decyzyjnego obiektów*. W: JASTRIEBOW A., RACZYŃSKA M. (red.) Informatyka w dobie XXI wieku. NAUKA, TECHNIKA, EDUKACJA A NOWOCZESNE TECHNOLOGIE

- INFORMATYCZNE. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB Politechniki Radomskiej, str. 51-57, Radom, 2011.
- [5] HENGJIE S., CHUNYAN M., ROEL W., ZHIGI S., CATTLOOR F.: *Implementation of Fuzzy Cognitive Maps based on Fuzzy Neural Network and Application in Numerical prediction of Time Series*. IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol 18, pp. 233-250, 2010.
- [6] JASTRIEBOW A., SŁOŃ G.: *Optimization of models of fuzzy relational cognitive maps*. In: JASTRIEBOW A., RACZYŃSKA M. (eds.) Computer Science in the age of XXI century. COMPUTERS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACTIVITY. Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute, pp. 60-71, Radom 2011.
- [7] KANDASAMY W. B. V., SMARANDACHE F.: *Fuzzy Cognitive Maps and Neutrosophic Cognitive Maps*. Xiquan, Phoenix, AZ, USA 2003.
- [8] KANDASAMY W. B. V., SMARANDACHE F., ILANTHENRAL K.: *Elementary Fuzzy Matrix and Fuzzy Models For Social Scientists*. AUTOMATON, Los Angeles, USA 2007.
- [9] KOSKO B.: *Fuzzy cognitive maps*. International Journal of Man-Machine Studies, vol. 24, pp. 65-75, 1986.
- [10] KOSKO B., DICKERSON J.A.: *Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps*. Presence, vol. 3, no. 2, pp. 173-189, 1994.
- [11] MAFFRE E., TISSEAU J., PARENTHOËN M.: *Virtual Agents' Self-Perception in Story Telling*. Springer, pp. 155-158, Avignon, France, 2001.
- [12] SIRAJ A., BRIDGES S. M., VAUGHN R. B.: *Fuzzy Cognitive Maps for decision support in an intelligent intrusion detection system*. In: IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, vol. 4, pp. 2165-2170, 2010.
- [13] STYLIOS C. D., GROUMPOS P. P.: *Fuzzy Cognitive Maps: a model for intelligent supervisory control system*. Computers in Industry 39, pp. 229-238, 1999.
- [14] STYLIOS C. D., GROUMPOS P. P., GEORGOPOULOS V. C.: *The use of Fuzzy Cognitive Maps in Modeling Systems*. Proceeding of 5th IEEE Mediterranean Conference on Control and Systems, Paphos, Cyprus, 1997.
- [15] STYLIOS C. D., GROUMPOS P. P., PAPAGEORGIU E.I.: *Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps*. International Journal of Approximate Reasoning 37, pp. 219-249, 2004.
- [16] STYLIOS C. D., PAPAGEORGIU E. I.: *Fuzzy Cognitive Maps*. In: PEDRYCZ W., SKOWRON A., KREINOVICH V. (eds.): Handbook of Granular Computing, John Wiley & Son Ltd, Publication Atrium, Chichester, England, 2008.
- [17] YASTREBOV A., SŁOŃ G.: *Optimization and Adaptation of Dynamic Models of Fuzzy Relational Cognitive Maps*. In: SERGEI O. KUZNETSOV, DOMINIK SLEZAK, DARYL H. HEPTING, BORIS MIRKIN (Eds.): Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing - 13th International Conference, RSFDGrC 2011, pp. 95-102, Springer, Moscow, Russia, 2011.