

RYLSKI Łukasz<sup>1</sup>

## **KONCEPCJA OBLICZEŃ ZIARNISTYCH PRZY REALIZACJI INTELIGENTNEGO SYSTEMU INTERAKTYWNEGO**

*Artykuł jest wprowadzeniem do koncepcji obliczeń ziarnistych. Omówiono w nim fundamentalne pojęcia związane z ziarnami informacji. Przedstawiono również ogólny schemat koncepcji, który posłużył to do implementacji inteligentnego systemu interaktywnego. System w całości bazuje na koncepcji obliczeń z wykorzystaniem ziaren informacji, przez co stanowi praktyczny przykład jej zastosowania w inteligentnych systemach technicznych, ekonomicznych i innych.*

## **THE CONCEPT OF GRANULAR COMPUTING IN IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT INTERACTIVE SYSTEM**

*The article is an introduction to the concept of granular computing. It highlights fundamental terms connected with information granules. There is also presented a general flow chart of this concept which was used towards implementation of an intelligent interactive system. The entire system is based on the concept of granular computing, consequently it is a practical example of its usage in technical, economical and other intelligent systems.*

### **1. WSTĘP**

Termin informacja ziarnista pojawił się we wczesnych pracach Zadeha w połączeniu z jego badaniami nad teorią zbiorów rozmytych [21]. Natomiast sama koncepcja obliczeń z wykorzystaniem ziaren informacji pojawiła się pod sam koniec XX wieku. Stanowi ona uzupełnienie znanych od lat koncepcji takich jak: analiza przedziałowa, teoria zbiorów przybliżonych i rozmytych, analiza skupień, strategia dziel i zwyciężaj i wiele innych [2]. W 1997 roku Lin zaproponował termin obliczenia ziarniste (ang. granular computing) do określenia tej nowej, niezwykle szybko rozwijającej się dziedziny [19].

Czym są obliczenia ziarniste? Mimo prób wielu badaczy, trudno tu o precyzyjną definicję [20]. Każda specyficzna definicja mogłaby bowiem pominąć niektóre z ważnych aspektów tej stosunkowo nowej koncepcji. Dlatego opieramy się głównie na intuicji

---

<sup>1</sup> 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: l.rylski@tu.kielce.pl

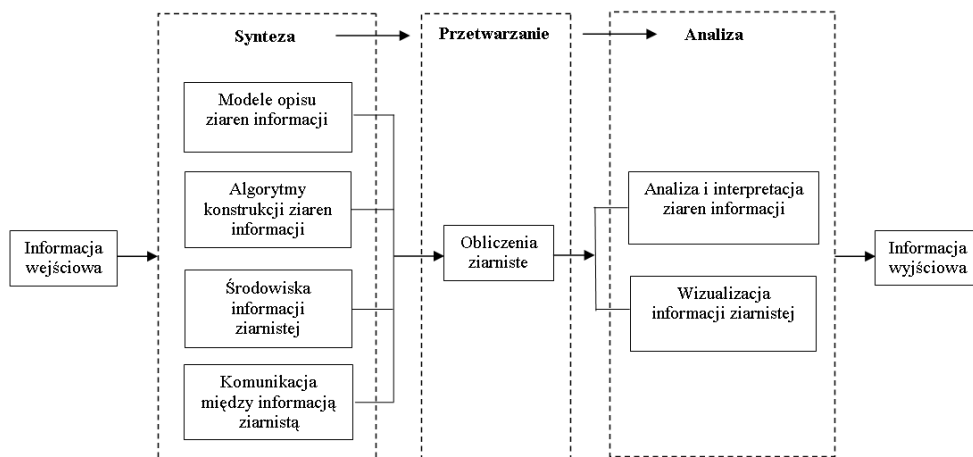
i zdrowym rozsądku. Jak wskazuje sama nazwa, obliczenia ziarniste zajmują się przetwarzaniem ziaren (granul) informacji.

Intuicyjnie ziarna informacji stanowią elementy, które połączone są razem ze względu na ich: podobieństwo, nierozróżnialność, spójność, funkcjonalną bliskość czy bliskie położenie [1, 3]. Ziarna informacji są wszędzie. W sposób nieświadomy budujemy pewne wyobrażenia o rzeczywistości, tworząc abstrakcyjne pojęcia otaczających nas zjawisk. Pojęcia te są niczym innym jak ziarnami informacji. Sam proces ich tworzenia nazywamy granulacją informacji (ang. information granulation). Poniżej przykłady tego procesu w powiązaniu z ludzkim sposobem myślenia i rozwiązywania problemów:

- Analiza konkretnego problemu przez człowieka przejawia się tendencją do unikania wartości liczbowych. Natomiast sprowadza się do konstrukcji różnych reguł znaczeniowych.
- Z kolei planowanie jest związane z granulacją czasu. Od rodzaju postawionego zadania zależy czy mamy zamiar uwzględnić godziny, dni, miesiące czy lata.
- Rozpoznawanie obrazów sprowadza się do rozróżniania obiektów o pewnym znaczeniu semantycznym.
- Projektowanie oprogramowania to faktycznie konstruowanie ziaren informacji ze względu na ich funkcjonalność.

## 2. KONCEPCJA OBLICZEŃ ZIARNISTYCH

Koncepcję obliczeń ziarnistych przy realizacji systemów inteligentnych przedstawiono w postaci ogólnego schematu na rys. 1.



Rys. 1. Schemat koncepcji obliczeń ziarnistych przy realizacji systemów inteligentnych

W schemacie koncepcji wyróżniono następujące główne etapy: synteza, przetwarzanie, analiza. W artykule omówiono zagadnienia związane z syntezą modelu, która posłużyła do realizacji inteligentnego systemu interaktywnego.

System ten testuje dobrze znany z literatury zbiór danych dotyczący irysów - Iris Flower Data Set (I.F.D.S.) [18]. Zbiór składa się z 50 próbek każdego z trzech gatunków kwiatu irysa (setosa, virginica, versicolor) i zawiera informacje o czterech cechach irysa: długości i szerokości płatków kwiatu oraz długości i szerokości liścia kielicha. Na podstawie podanego zbioru danych numerycznych zostały zaprezentowane podstawowe zagadnienia związane z koncepcją obliczeń ziarnistych.

### 3. MODELE INFORMACJI ZIARNISTEJ

Proces granulacji oraz natura ziaren informacji powodują, że konkretny model jest mniej lub bardziej odpowiedni do postawionego problemu. Zauważono różnicę podczas konstrukcji ziarna informacji na temat gatunku kwiatu irysa, a pojęcia charakteryzującego np. długość płatka tej rośliny. Pojęcie danego gatunku irysa na podstawie zbioru I.F.D.S. ma wyraźne granice, ponieważ dany kwiat może należeć do jednego z trzech gatunków. Każdy z trzech gatunków irysa wyraźnie różni się od siebie, biorąc pod uwagę jego cztery podane wyżej cechy. Natomiast w drugim przypadku mamy sytuację odmienną, czyli nie mamy jasno zdefiniowanych granic pojęcia „długość płatka” na podstawie zbioru I.F.D.S. Gdy patrzymy na dany płatek, nie zawsze jesteśmy w stanie określić, czy jest on długi czy krótki. Czasami możemy to zrobić jedynie w pewnym stopniu.

Intuicyjnie będziemy potrzebowali dwóch różnych modeli do opisu powyższych ziaren informacji. W pierwszym przypadku będzie to model wykorzystujący teorię zbiorów, a w drugim bazujący na teorii zbiorów rozmytych. Faktycznie mamy do czynienia z całym zestawem formalnych ujęć ziaren informacji [3]. Oto gruntownie opisane w literaturze, główne z nich:

- Teoria zbiorów i analiza przedziałowa [4-5, 16]
- Teoria zbiorów rozmytych i liczb rozmytych [11, 13-14]
- Teoria zbiorów przybliżonych i liczb przybliżonych [9-10, 17]

*Tab. 1. Notacja stosowana do opisu ziaren informacji; przestrzeń, w którą wpisane są ziarna jest oznaczona przez  $X$*

<b>Model użyty do opisu ziaren</b>	<b>Notacja</b>
Teoria zbiorów i analiza przedziałowa	$P(X)$
Teoria zbiorów rozmytych i liczb rozmytych	$F(X)$
Teoria zbiorów przybliżonych i liczb przybliżonych	$R(X)$

Bibliografia [12];

Zastosowanie konkretnego modelu wiąże się wyłącznie z zadaniem problemem. Dlatego nie można mówić o tym, że któryś z modeli jest dominujący przy opisie ziaren informacji.

Warto odnotować, że wymienione modele rozwijały się całkowicie niezależnie bez żadnej znaczącej interakcji między sobą. Usystematyzowanie ich w kontekście ziaren informacji wnosi zatem wartość dodaną. Obliczenia ziarniste przestały być postrzegane przez pryzmat wybranego modelu, a zaczęły stanowić interdyscyplinarną dziedzinę powiązaną z różnymi gałęziami nauki o wielu aspektach innowacyjności. Z kolei dalej

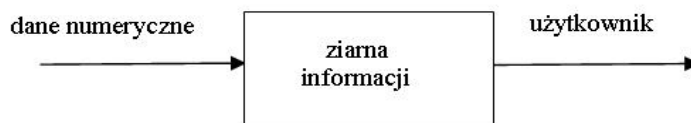
proceeds to the vision of granular calculations as a new paradigm of information processing. It postulates hierarchical information processing [20] and emphasizes orientation towards the human [1].

#### 4. OBLICZENIA ZIARNISTE W BUDOWIE SYSTEMÓW INTERAKTYWNYCH

Human communication with the external world is closely related to building, and then processing, information grains. Therefore, the granularity of information can be considered as a basic attribute of the communication mechanism.

Communication requirements can also concern the mutual interaction between a computer system and a human. Currently, we have on the one hand advanced computer systems processing huge amounts of information, and on the other hand increasingly differentiated users. This leads to a semantic gap in system building.

The concept of granular calculations served to develop an intelligent interactive system, which can bridge the gap between numerical data and problem understanding at the symbol level (user of the system). Based on numerical data, which are incomprehensible and difficult to assimilate for a human, the system constructs information grains, which have semantic meaning (fig. 2).



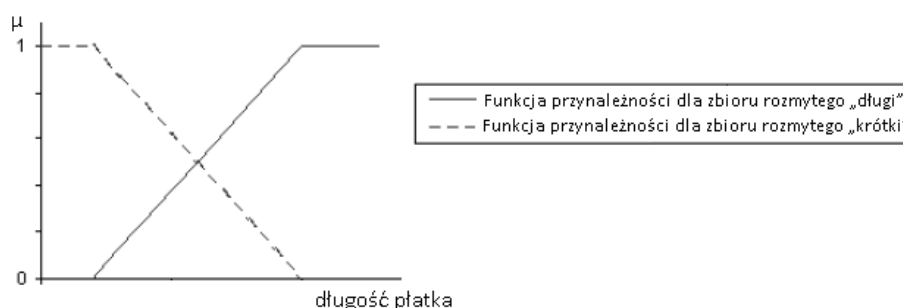
Rys. 2. Idea działania inteligentnego systemu interaktywnego

#### 5. KONSTRUOWANIE ZIAREN INFORMACJI

A set of numerical data I.F.D.S. was used for the construction of information grains on the topic of the genus of the iris flower. In the given collection, it was also analyzed separately the data concerning each of the four characteristics of the iris, in order to build information grains on the topic of the length and width of the petal of the flower and the length and width of the leaf of the sheath.

Information grains are the realization of a certain abstraction process, therefore their construction is based on aggregation of information. The first method of construction of information grains is based on information obtained from an expert (system user).

An expert can build information grains, recognizing those elements that belong to the same grain. Describing in the system a family of information grains B determining the concept of "length of the petal of the flower", basic concepts such as "long" and "short" were used. Taking into account the linguistic character of these concepts, two fuzzy sets were defined. The construction required the definition of a membership function for each of them (fig. 3).



Rys. 3. Zbiory rozmyte określające pojęcie „długość płatka” na podstawie informacji uzyskanych od użytkownika systemu

Zatem szukana rodzina ziaren informacji  $B = \{B_1, B_2\}$  składa się z dwóch zbiorów rozmytych określających lingwistyczne pojęcia „długi” i „krótki”.

Niezwykle istotną kwestią w odniesieniu do rodziny ziaren informacji są następujące wymagania [11]:

- każdy element z przestrzeni  $X$  musi być elementem przynajmniej jednego ziarna;
- dane wchodzące w skład danej granuli muszą zawierać pewną specyfikę.

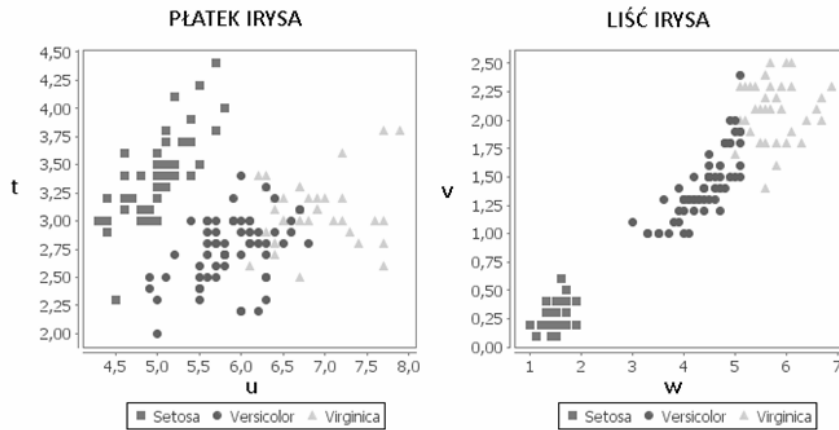
W omawianym przykładzie oba z nich są spełnione. Czyli każdy element przestrzeni jest elementem przynajmniej jednego ziarna informacji (zbioru rozmytego) oraz ziarna te mają swoją specyfikę na bazie danych numerycznych.

Zauważono, że korzystając z ziaren tworzących rodzinę  $B$ , można przedstawić każdy element z przestrzeni  $X$ . Dlatego mowa tu o rodzinie referencyjnych ziaren informacji [12].

Analogicznie wykorzystano metodę informacji uzyskanych od użytkownika systemu (eksperta) do konstrukcji rodziny ziaren informacji opisujących pojęcie szerokości płatka kwiatu -  $C$  oraz długości -  $D$  i szerokości liścia kielicha -  $E$ .

Drugim podejściem do zagadnienia konstrukcji ziaren informacji są metody bazujące na agregacji danych eksperymentalnych. Metody grupowania danych stanowią tutaj podstawowe mechanizmy konstruowania ziaren informacji. Algorytmy grupowania próbują podzielić cały zbiór danych na grupy (ziarna informacji), przy czym podobieństwo danych wewnątrz grup jest maksymalizowane, a podobieństwo do danych spoza grup jest minimalizowane.

Poszukiwano rodziny ziaren informacji  $A$  na temat gatunku kwiatu irysa. Tym razem zbiory danych określające kolejne gatunki nie mają charakteru rozmytego. Do konstrukcji ziaren informacji posłużył w systemie algorytm grupowania  $k$ -średnich [8, 15]. Podzielił on dane numeryczne na trzy grupy (zbiory danych), dzięki czemu wiadomo, do którego gatunku należą konkretne dane (rys. 4).



Rys. 4. Rezultat grupowania zbioru danych Iris Flower Data Set w systemie

Jako wynik grupowania otrzymano rodzinę ziaren informacji  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$  składającą się ze zbiorów danych (grup), które określają kolejne gatunki kwiatu irysa. Także w tym przypadku spełnione są wymagania co do rodziny ziaren informacji, czyli każda dana numeryczna jest elementem któregoś ziarna informacji oraz ziarna te posiadają pewną semantykę. Zatem istotny był wybór danych numerycznych zawierających pewną specyfikę (podział na trzy gatunki). Albowiem w przypadku ogólnych danych (wszystkie pomiary cech pochodzą od jednego gatunku) konstruowanie ziaren informacji nie miało by sensu.

## 6. ŚRODOWISKO INFORMACJI ZIARNISTEJ

Analizując elementy związane z informacją ziarnistą wprowadzono opis środowiska informacji ziarnistej w postaci następującej struktury formalnej  $G$  [3, 12]:

$$G = \langle X, \text{Gran}(\cdot), A \rangle \quad (1)$$

gdzie:

- $X$  - jest przestrzenią, w której są zdefiniowane ziarna informacji
- $\text{Gran}(\cdot)$  - oznacza przyjęty model reprezentacji ziaren informacji (np.  $P(X)$ ,  $F(X)$ )
- $A$  - jest rodziną referencyjnych ziaren informacji

Wracając do wcześniejszych przykładów, otrzymano następujące środowiska informacji ziarnistej:

- środowisko w oparciu o teorię zbiorów

$$G = \langle X(t,u,v,w), P(X), A \rangle - \text{gatunek kwiatu irysa}$$

- środowiska w oparciu o teorię zbiorów rozmytych

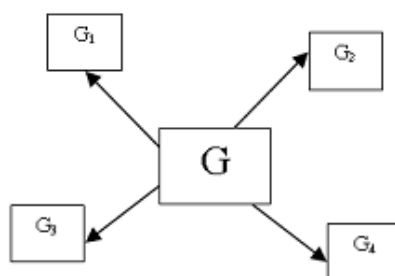
$G_1 = \langle X_1(t), F(X_1), B \rangle$  - pojęcie długości płatk  
 $G_2 = \langle X_2(u), F(X_2), C \rangle$  - pojęcie szerokości płatk  
 $G_3 = \langle X_3(v), F(X_3), D \rangle$  - pojęcie długości liścia  
 $G_4 = \langle X_4(w), F(X_4), E \rangle$  - pojęcie szerokości liścia

gdzie:

$t$  – zbiór danych dotyczący długości płatk kwiatu  
 $u$  – zbiór danych dotyczący szerokości płatk kwiatu  
 $v$  – zbiór danych dotyczący długości liścia kielicha  
 $w$  – zbiór danych dotyczący szerokości liścia kielicha

Środowisko informacji ziarnistej funkcjonuje zazwyczaj w oparciu o interakcję z innymi środowiskami oraz światem zewnętrznym. Dlatego niezwykle istotną cechą przetwarzania informacji w formie granul jest komunikacja [3, 12].

Omawiany inteligentny system interaktywny wykorzystuje prosty mechanizm komunikacji - środowisko  $G$  realizuje obliczenia (konstrukcję ziaren informacji), a następnie przesyła wyniki do środowisk  $G_1, G_2, G_3, G_4$  (rys. 5).



Rys. 5. Przykład komunikacji między środowiskami  $G, G_1, G_2, G_3, G_4$  w systemie

Zatem do formalnej definicji środowiska obliczeń ziarnistych (1) dołączono mechanizm komunikacji  $M$  stanowiący zestaw algorytmów do komunikacji ze światem zewnętrznym oraz z innymi środowiskami informacji ziarnistej. Umożliwia on przetwarzanie informacji w postaci granul. Ostatecznie struktura formalna do opisu środowiska informacji ziarnistej przyjmuje następującą postać [3, 12]:

$$G = \langle X, \text{Gran}(\cdot), A, M \rangle \quad (2)$$

W wyniku konstrukcji środowisk informacji ziarnistej  $G, G_1, G_2, G_3, G_4$ , a następnie prostego mechanizmu komunikacji między nimi, użytkownik systemu ma możliwość uzyskania przybliżonej informacji na temat gatunku irysa, posługując się lingwistycznymi określeniami długości i szerokości płatk kwiatu oraz długości i szerokości liścia kielicha.

Chociaż rezultat jest przybliżony, to problem został uproszczony do postaci w pełni zrozumiałej dla użytkownika systemu.

## 7. WNIOSKI

Pojęcie ziaren informacji jest fundamentem koncepcji obliczeń ziarnistych. Ziarna informacji jako podstawowy element abstrakcji występują wszędzie. Są wyjątkowo intuicyjne z uwagi na zgodność z ludzkim sposobem myślenia i rozwiązywania problemów.

Modele ziaren informacji rozwijały się odrębnie na przestrzeni lat, są również gruntownie opisane w literaturze. W głównej mierze bazują one na specyficznych zagadnieniach obliczeń ziarnistych. Z kolei rozpatrywane razem stają się przyczyną do przedstawienia całej koncepcji jako nowego paradygmatu przetwarzania informacji.

Koncepcja obliczeń ziarnistych posłużyła do implementacji inteligentnego systemu interaktywnego. System ten na podstawie danych numerycznych ze zbioru I.F.D.S. konstruuje ziarna informacji dla wybranych modeli informacji ziarnistej. Otrzymane ziarna informacji posiadają znaczenie semantyczne, przez co umożliwiają efektywną interakcję między systemem a użytkownikiem. Szczególne znaczenie ma to w budowie inteligentnych systemów interaktywnych w zastosowaniach technicznych, ekonomicznych i innych.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] BARGIELA A., PEDRYCZ W.: *Toward a theory of Granular Computing for human-centred information processing*. [in:] *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(2), pp. 320-330, 2008
- [2] BARGIELA A., PEDRYCZ W.: *The roots of Granular Computing*. [in:] *IEEE Conference on Granular Computing*, Atlanta, USA, 2006
- [3] BARGIELA A., PEDRYCZ W.: *Granular Computing as an Emerging Paradigm of Information Processing*. [in:] *Granular Computing – An Introduction*, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-18, 2002
- [4] BOCHE R.E.: *An operational interval arithmetic*, Illinois National Electronics Conference, Chicago, pp. 28-30, 1963
- [5] HAYES B.: *A Lucid Interval* [in:] *American Scientist (Sigma Xi)*, Volume 91, Number 6, pp. 484-488, 2003
- [6] JASTRIEBOW A., SŁOŃ G.: *Obliczenia ziarniste w modelowaniu nieprecyzyjnych obiektów przy użyciu relacyjnych map kognitywnych* [w:] *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 56 nr 12/2010, str. 1449-1452
- [7] JASTRIEBOW A., SŁOŃ G.: *Ziarnistość informacji w dynamicznych modelach rozmytych relacyjnych map kognitywnych* [w:] *Logistyka*, nr 6/2010, Poznań 2010, str. 1193-1202
- [8] LAROSE D.: *Odkrywanie wiedzy z danych. Wprowadzenie do eksploracji danych*, PWN, Warszawa, 2006
- [9] PAWLAK Z.: *Granularity of knowledge, indiscernibility and rough sets*, Proceedings of the IEEE Conference on Fuzzy Systems, pp. 106-110, 1998



- [10] PAWLAK Z.: *Rough sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1991
- [11] PEDRYCZ W.: *Fuzzy Sets as a User-Centric Processing Framework of Granular Computing*, [in:] Pedrycz W., Skowron A. and Kreinovich V. (Eds.), *Handbook of Granular Computing*, Wiley, pp. 97-139, 2008.
- [12] PEDRYCZ W.: *Przetwarzanie informacji ziarnistej w procesie konstruowania systemów interaktywnych*, [w:] *Techniki informacyjne w badaniach systemowych*, str. 159-176, WNT, Warszawa, 2007
- [13] PIEGAT A.: *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 1999
- [14] RUTKOWSKI L.: *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, PWN, Warszawa, 2005
- [15] RUTKOWSKI L.: *Systemy uczące się*, WNT, Warszawa, 2008
- [16] SHAYER S.: *Interval arithmetic with some applications for digital computers*, Lockheed Missiles and Space Co., No. 5-13-65-12, Palo Alto, CA, 1965
- [17] SKOWRON A., PETERS J. F.: *Rough-Granular Computing* [in:] Pedrycz W., Skowron A. and Kreinovich V. (Eds.), *Handbook of Granular Computing*, Wiley, pp. 285-327, 2008
- [18] UCI Machine Learning Repository <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Iris>, 1988
- [19] YAO, Y.Y.: *Perspectives of Granular Computing*, Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Granular Computing, Vol. 1, pp. 85-90, 2005
- [20] YAO, Y.Y.: *A Unified Framework of Granular Computing*, [in:] Pedrycz, W., Skowron A. and Kreinovich V. (Eds.), *Handbook of Granular Computing*, Wiley, pp. 401-410, 2008
- [21] ZADEH L.A.: *Fuzzy sets and information granularity*. [in:] Gupta M., Ragade R.K., Yager R.R. (Eds.), *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, North-Holland Publishing Co., 3-18, 1979