

УДК 62.50:681.3

В.Ю. КОНДРАТЕНКО

*Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка, Україна***АЛГОРИТМ ФАЗЗИФІКАЦІЇ НЕЧІТКИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ**

В доповіді розглядається проблема фаззифікації якісної інформації, представленої нечіткими множинами з нормальними функціями належності довільної форми. Аналізуються нелінійні регресійні моделі вхідних якісних сигналів, що задаються експертним шляхом, та алгоритми фаззифікації, що враховують в системах нечіткого логічного виводу різні комбінації параметрів нечітких вхідних сигналів та лінгвістичних термів з трикутними формами функцій належності. Результати моделювання процесів фаззифікації для трикутних та поліноміальних моделей функцій належності підтверджують ефективність запропонованих алгоритмів.

нечіткі системи, поліноміальні моделі, фаззифікація, обчислювальні операції, гарантоздатність**Аналіз літератури**

Через відсутність формалізованих моделей поведінки широкого класу динамічних систем суттєво ускладнюються процеси дослідження їх гарантоздатності. Останнім часом широко застосовуються методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки [1,8,9,13] при розробці сучасних інтелектуальних систем керування, прийняття рішень та обробки різного виду інформації, в тому числі візуальної, зокрема для розпізнавання образів, об'єктів і сцен з врахуванням як кількісного, так і якісного характеру вхідних інформаційних потоків і сигналів. Широкий клас технічних систем, що пов'язані з отриманням, переробкою, зберіганням та передачею інформації, для забезпечення режимів ефективного функціонування використовують дані, що містяться в зображеннях. Це обґрунтовується тим, що зображення, яке може бути представлено двовимірним або тривимірним сигналом, є більш ємним носієм інформації в порівнянні зі звичайним одновимірним сигналом [5]. При цьому обробка візуальних даних потребує більш значних зусиль, пов'язаних з розробкою нових, більш ефективних, в т.ч. інтелектуальних методів. Зокрема, одним з перспективних на-

прямків досліджень є застосування нечіткої логіки для синтезу інтелектуальних методів розпізнавання жестів, облич, міміки в реальному часі [4]. Прикладом ефективного застосування методів теорії нечітких множин для розпізнавання положення деталей є комп'ютерна робототехнічна система з системою технічного зору [7], в якій вхідна якісна інформація, що формується візуальним датчиком може бути представлена матрицею яскравості точок зорового поля робота, що характеризує належність конкретної ситуації до набору еталонних нечітких ситуацій. В роботі [12] розглядаються принципи використання алгоритмів нечіткої логіки для прийняття рішень при класифікації зображень, зокрема, для задач ранньої діагностики тяжких захворювань по морфологічним зрізам. В роботі [10] теорія нечітких множин використовується для обробки наборів зображень, зокрема, для підвищення роздільної здатності зображень, що пов'язане зі зміною щільності пікселів на одиницю площі зображення. Більшість алгоритмів нечіткого логічного виводу базується на Застосування систем нечіткого логічного виводу [1, 8, 9, 17] базується на процедурах фаззифікації, агрегації, активації та акумуляції, від алгоритмів

реалізації яких суттєво залежить ефективність розв'язання задач обробки інформації в цілому. Особливо важливу роль відіграє перший етап нечіткого логічного виводу - фаззифікація якісних та кількісних вхідних координат [3,17]. Тому, розробка аналітичних моделей, що дозволяють формалізувати операції фаззифікації з метою підвищення їх швидкодії і точності є важливим напрямком досліджень, що пов'язаний з підвищенням гарантоздатності [2] інтелектуальних систем. В роботах [3,17] наведено математичні моделі процесів фаззифікації, але вони обмежені використанням нормальних функцій належності трикутної форми для представлення якісних вхідних сигналів та відповідних лінгвістичних термів.

Складність, точність та швидкодія обчислень при реалізації операцій фаззифікації в більшості випадків залежать від наявності відповідних аналітичних моделей та від форми функцій належності $\mu_A(x)$ і $\mu_B(x)$ нечітких множин \underline{A} та \underline{B} , що представляють лінгвістичний терм \underline{A} , на якому здійснюється фаззифікація нечіткого якісного сигналу \underline{B} . При цьому якісний сигнал \underline{B} часто задається у вигляді дискретної функції належності $\mu_B(x_i)$, $i=1...n$, сформованої експертним шляхом.

Метою даної статті є синтез алгоритму фаззифікації якісних сигналів, представлених поліноміальними моделями функцій належності, на лінгвістичних термах з трикутною формою функцій належності, які є найбільш поширеними [1,13,17] при застосуванні теорії нечітких множин для проектування систем управління, систем підтримки прийняття рішень та інтелектуальних експертних систем.

Синтез алгоритму

При цьому нечітку множину \underline{A} з трикутною формою функцій належності $\mu_A(x)$ можна представити у вигляді (рис. 1):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, \forall (x \leq a_1) U (x \geq a_2); \\ \frac{x - a_1}{a_0 - a_1}, \forall (a_1 < x \leq a_0); \\ 1, \forall (x = a_0); \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_0}, \forall (a_0 < x < a_2), \end{cases} \quad (1)$$

або у вигляді:

$$\underline{A} = (a_1, a_0, a_2),$$

де $\mu_A(a_0) = 1$; $\mu_A(a_1) = \mu_A(a_2) = 0$.

При формалізації вхідного якісного сигналу \underline{B} , заданого, як правило, експертним шляхом в дискретній формі в табличному вигляді, доцільно використовувати поліноміальні регресійні моделі [6]. Результати попередніх досліджень показують, що з достатнім рівнем адекватності математичні моделі лівої та правої гілок вхідного якісного сигналу \underline{B} (рис. 1) можна представити поліноміальними регресійними моделями другого порядку [6] у вигляді

$$\mu_B(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2, \quad (2)$$

де b_0, b_1, b_2 - коефіцієнти нелінійної регресійної моделі, що мають різні значення для лівої ($l \Rightarrow b_0^l, b_1^l, b_2^l$) і правої ($r \Rightarrow b_0^r, b_1^r, b_2^r$) гілок функції належності $\mu_B(x)$.

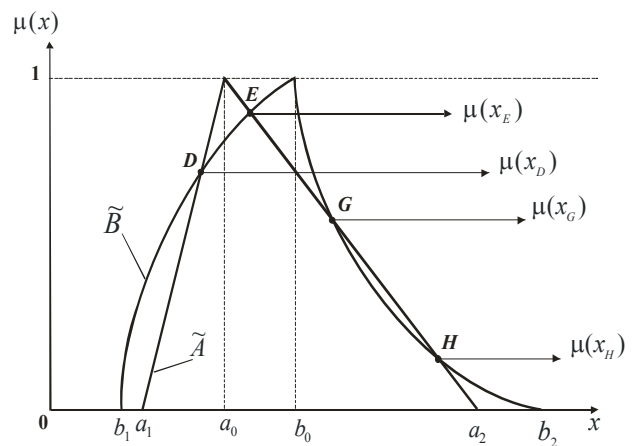


Рис. 1. Процес фаззифікації нечіткої множини \underline{B} на лінгвістичному термі \underline{A}

Процес фаззифікації базується на визначенні [3,17] ступеня відповідності нечіткого якісного сигналу $\underline{B}(x)$ відповідному нечіткому лінгвістичному терму $\underline{A}^j, (j=1,2,\dots,N)$, де N - кількість лінгвістичних термів вхідної змінної x . Ступінь відповідності характеризує максимальне значення функцій належності для всіх точок перетину нечітких множин відповідного лінгвістичного терму $\underline{A}^j, (j=1,2,\dots,N)$ та вхідного якісного сигналу y у вигляді нечіткої множини $\underline{B}(x)$:

$$\mu_{\underline{A}^j}(\underline{B}) = \bigcup_{x=x_{min}}^{x_{max}} \left\{ \mu_{\underline{A}^j}(x) \mu_{\underline{B}}(x) \right\}, \quad (3)$$

де $x \in [x_{min}; x_{max}]$.

Алгоритм (3) характеризує процес фаззифікації при наявності декількох точок перетину нечітких множин $\underline{A}^j(x)$ та $\underline{B}(x)$. Зокрема, результатом процесу фаззифікації (рис. 1) при наявності чотирьох точок перетину (D, E, G, H) лінгвістичного терма $\underline{A}^j(x)$ та якісного сигналу $\underline{B}(x)$ буде значення

$$\mu_{\underline{A}^j}(\underline{B}) = \underset{x \in [x_{min}; x_{max}]}{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{\underline{A}^j}^D(\underline{B}), \mu_{\underline{A}^j}^E(\underline{B}), \mu_{\underline{A}^j}^G(\underline{B}), \\ \mu_{\underline{A}^j}^H(\underline{B}) \end{array} \right\} \quad (4)$$

Підмножини A_a та B_a , що визначають відповідні α -перерізи нечітких множин \underline{A} та \underline{B} , можна представити наступним чином:

$$A_a = [a_1(a), a_2(a)], \quad B_a = [b_1(a), b_2(a)],$$

де $a \in [0, 1]$; $\underline{A}, \underline{B} \in R$.

Для лівої гілки лінгвістичного терму $\underline{A}^j(x)$ має місце рівняння

$$x = (a_0 - a_1)a + a_1, \quad (5)$$

а для правої гілки - рівняння

$$x = a_2 - (a_2 - a_0)a, \quad (6)$$

Для нечіткої множини \underline{B} на основі рівняння (2) можна записати:

$$x_{1,2} = \frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4b_2(b_0 - a)}}{2b_2}. \quad (7)$$

В подальшому синтез аналітичних моделей для визначення ступеня належності якісного сигналу $\underline{B}(x)$ до лінгвістичного терму $\underline{A}^j(x)$ здійснено на основі аналізу рівнянь виду

$$\mu_{\underline{A}^j}(x) = \mu_{\underline{B}}(x), \quad (8)$$

що характеризують будь-яку точку перетину (наприклад, точки D, E, G, H на рис.1), тобто

$$\mu_{\underline{A}^j}(x_D) = \mu_{\underline{B}}(x_D);$$

$$\mu_{\underline{A}^j}(x_E) = \mu_{\underline{B}}(x_E);$$

$$\mu_{\underline{A}^j}(x_G) = \mu_{\underline{B}}(x_H);$$

$$\mu_{\underline{A}^j}(x_H) = \mu_{\underline{B}}(x_H).$$

При цьому в загальному вигляді можна сформулювати два рівняння, що характеризують відповідно перетин лівої та правої гілок нечіткої множини $\underline{A}^j(x)$ з нечіткою множиною $\underline{B}(x)$:

$$(a_0 - a_1)a + a_1 = \frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4b_2(b_0 - a)}}{2b_2}, \quad (9)$$

$$a_2 - (a_2 - a_0)a = \frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4b_2(b_0 - a)}}{2b_2}. \quad (10)$$

Слід відмітити, що часткових рівнянь буде 4, враховуючи всі можливі перетини гілок: ліва $\underline{A}^j(x)$ - ліва \underline{B} (l/l), ліва $\underline{A}^j(x)$ - права \underline{B} (l/r), права $\underline{A}^j(x)$ - ліва \underline{B} (r/l), права $\underline{A}^j(x)$ - права \underline{B} (r/r).

На основі рівняння (9) шляхом відповідних перетворень отримано наступні аналітичні залежності для процесу фаззифікації:

$$a) \text{ при } D = [(a_0 - a_1)(2a_1b_2 + b_1) - 1]^2 -$$

$$-4b_2(a_0 - a_1)^2(a_1^2b_2 + a_1b_1 + b_0) > 0 \Rightarrow$$

$$\mu_{A^j} = \left[\frac{-(a_0 - a_1)(2a_1b_2 + b_1) + 1 \pm (a_0^2b_1^2 + a_1^2b_1^2 + 1 - 4a_1^2b_2 - 2a_0b_1 - 2a_0a_1b_1^2 + 2a_1b_1 - 4a_0^2b_0b_2 + 8a_0a_1b_0b_2 - 4a_1^2b_0b_2)^{0,5}}{2(a_0 - a_1)^2b_2} \right] x = (a_0 - a_1)\dot{a} + a_1, \quad (11)$$

б) при $D=0 \Rightarrow$

$$\dot{a} = \frac{-(a_0 - a_1)(2a_1b_2 + b_1) + 1}{2(a_0 - a_1)^2b_2}. \quad (12)$$

На основі рівняння (10) шляхом відповідних перетворень отримано наступні аналітичні залежності для процесу фаззифікації:

а) при

$$D = [(a_2 - a_0)(2a_2b_2 + b_1) + 1]^2 - 4b_2(a_2 - a_0)^2 * \\ (a_2^2b_2 + a_2b_1 + b_0) > 0 \Rightarrow$$

$$\mu_{A^j} = \left[\frac{(a_2 - a_0)(2a_2b_2 + b_1) + 1 \pm (a_0^2b_1^2 + a_2^2b_1^2 + 1 - 4a_0a_2b_2 + 4a_2^2b_2 - 2a_0b_1 - 2a_0a_2b_1^2 + 2a_2b_1 - 4a_2^2b_0b_2 + 8a_0a_2b_0b_2 - 4a_0^2b_0b_2)^{0,5}}{2b_2(a_2 - a_0)^2} \right]; \quad (13)$$

б) при $D=0 \Rightarrow$

$$\dot{a} = \frac{(a_2 - a_0)(2a_2b_2 + b_1) + 1}{2b_2(a_2 - a_0)^2}. \quad (14)$$

Для дослідження математичних моделей (11)-(14) на основі моделей (1) та (2) розроблено програму (мова програмування *Perl*). При моделюванні процесів фаззифікації використано вхідний нечіткий якісний сигнал \underline{B} , що заданий експертним шляхом у вигляді дискретної нечіткої множини

$$\underline{B} = \sum_{i=1}^{15} \frac{\mu_B(x_i)}{x_i} = \frac{0}{15} + \frac{0,15}{19} + \frac{0,35}{24} + \frac{0,5}{30} + \frac{0,68}{36} + \\ \frac{0,87}{41} + \frac{0,9}{45} + \frac{1}{50} + \frac{0,76}{57} + \frac{0,6}{62} + \frac{0,43}{68} + \frac{0,32}{71} + \\ \frac{0,18}{78} + \frac{0,1}{84} + \frac{0}{100}.$$

Поліноміальна модель нечіткої множини \underline{B} на основі (2) має наступний вигляд:

$$\mu_B(x) = \begin{cases} -0,6723 + 0,0495x - 0,0003x^2, & \forall x \in [15; 50]; \\ 4,0684 - 0,0814x + 0,0004x^2, & \forall x \in [50; 100]. \end{cases}$$

Нижче наведено результати досліджень процесу фаззифікації нечіткої множини \underline{B} на десяти різних лінгвістичних термах $A^j, j=1,2,\dots,10$ (розглянуто найбільш складні випадки). Зокрема, в табл. 1 наведено параметри лінгвістичних термів $A^j, j=1,2,\dots,10$ та значення дискримінантів для подальшого використання моделей (11)-(14). В таблиці 2 наведено значення параметрів $\alpha_{l/l} = \{\alpha_{l/l}^+, \alpha_{l/l}^-\}$, отриманих при реалізації алгоритма (11) з використанням знаків (+) та (-) при $\pm\sqrt{D_{l/l}}$, відповідно, а також значення відповідних параметрів $\alpha_{l/r} = \{\alpha_{l/r}^+, \alpha_{l/r}^-\}$. В таблиці 3 наведено значення параметрів $\alpha_{r/l} = \{\alpha_{r/l}^+, \alpha_{r/l}^-\}$, отриманих при реалізації алгоритма (13) з використанням знаків (+) та (-) при $\pm\sqrt{D_{r/l}}$, та $\alpha_{r/r} = \{\alpha_{r/r}^+, \alpha_{r/r}^-\}$.

Слід відмітити, що для процесу фаззифікації важливими параметрами серед наведених в табл. 2 значень $\alpha_{l/l}^+, \alpha_{l/l}^-, \alpha_{l/r}^+, \alpha_{l/r}^-, \alpha_{r/l}^+, \alpha_{r/l}^-, \alpha_{r/r}^+, \alpha_{r/r}^-$ будуть тільки значення, що задовільняють умову $\alpha \in [0,1]$.

Таблиця 1

Моделі лінгвістичних термів $A^j = (a_1^j, a_0^j, a_2^j)$ та значення дискримінантів

| № | A^j | $D_{l/l}$ | $D_{l/r}$ | $D_{r/l}$ | $D_{r/r}$ |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | (5, 60, 85) | 0,856 | 9,866 | 1,952 | 0,402 |
| 2 | (5, 40, 88) | -0,24 | 6,560 | 4,469 | 0,212 |
| 3 | (5, 40, 80) | -0,24 | 6,560 | 3,749 | -0,20 |
| 4 | (25, 40, 110) | 0,334 | 2,868 | 6,743 | 2,494 |
| 5 | (25, 40, 60) | 0,334 | 2,868 | 2,197 | -0,28 |
| 6 | (14, 46, 88) | 0,052 | 5,612 | 3,621 | 0,281 |

Продовження табл. 1

| | | | | | |
|----|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | (8, 65, 120) | 1,243 | 9,928 | 3,496 | 2,958 |
| 8 | (25, 65, 110) | 0,953 | 7,122 | 2,843 | 1,830 |
| 9 | (25, 65, 80) | 0,953 | 7,122 | 1,414 | 0,504 |
| 10 | (14, 46, 70) | 0,052 | 5,612 | 2,306 | -0,15 |

Продовження табл. 3

| | | | | |
|----|------|--------|-------|-------|
| 2 | -2,1 | 0,92** | 0,50* | 0,01* |
| 3 | -3,1 | 0,91** | - | - |
| 4 | -0,8 | 0,93** | 0,77* | -0,1 |
| 5 | -11 | 0,88** | - | - |
| 6 | -2,6 | 1,07 | 0,75* | 0,01* |
| 7 | -0,9 | 1,16 | 1,45 | -0,1 |
| 8 | -1,6 | 1,17 | 1,63 | -0,1 |
| 9 | -16 | 1,23 | 8,05 | 0,16* |
| 10 | -7,8 | 0,98** | - | - |

Таблиця 2

Значення параметрів моделей (11)-(12)

| № | $\alpha_{l/l}$ | | $\alpha_{l/r}$ | |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | $\alpha_{l/l}^+$ | $\alpha_{l/l}^-$ | $\alpha_{l/r}^+$ | $\alpha_{l/r}^-$ |
| 1 | 0,34* | 1,36 | 3,47 | 0,87** |
| 2 | - | - | 6,39 | 1,17 |
| 3 | - | - | 6,39 | 1,17 |
| 4 | -7,8 | 0,71* | 20,1 | 1,26 |
| 5 | -7,8 | 0,71* | 20,1 | 1,26 |
| 6 | 0,14* | 0,88** | 6,85 | 1,07 |
| 7 | 0,22* | 1,36 | 3,24 | 0,81** |
| 8 | -0,2 | 1,36 | 4,08 | 0,78** |
| 9 | -0,2 | 1,36 | 4,08 | 0,78** |
| 10 | 0,14* | 0,88* | 6,85 | 1,07 |

Крім вищезазначеної умови $\alpha \in [0,1]$ відповідні параметри $\alpha(x)$, які визначають процес фазифікації, мають бути визначені з урахуванням обмежень на область існування параметра x , зокрема, для $\alpha_{l/l} = \{\alpha_{l/l}^+, \alpha_{l/l}^-\}$ та $\alpha_{l/r} = \{\alpha_{l/r}^+, \alpha_{l/r}^-\}$ враховується умова $x \in [a_1, a_0]$, а умова $x \in [a_0, a_2]$ враховується відповідно для $\alpha_{r/l} = \{\alpha_{r/l}^+, \alpha_{r/l}^-\}$ та $\alpha_{r/r} = \{\alpha_{r/r}^+, \alpha_{r/r}^-\}$.

Таблиця 3

Значення параметрів моделей (13)-(14)

| № | $\alpha_{r/l}$ | | $\alpha_{r/r}$ | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | $\alpha_{r/l}^+$ | $\alpha_{r/l}^-$ | $\alpha_{r/r}^+$ | $\alpha_{r/r}^-$ |
| 1 | -6,3 | 1,15 | 2,59 | 0,06* |

Всі параметри процесів фазифікації відмічені (*) в таблицях 2, 3, а результат фазифікації

$$\mu_{A^j}(B) = \underset{x \in [x_{min}, x_{max}]}{MAX} \left\{ \alpha_{l/l}^+, \alpha_{l/l}^-, \alpha_{l/r}^+, \alpha_{l/r}^-, \alpha_{r/l}^+, \alpha_{r/l}^-, \alpha_{r/r}^+, \alpha_{r/r}^- \right\} \quad \text{для}$$

кожного лінгвістичного терму A^j позначено (**),

зокрема $\mu_{A^1}(B) = 0,87, \quad \mu_{A^2}(B) = 0,92,$

$\mu_{A^3}(B) = 0,91, \quad \mu_{A^4}(B) = 0,93, \quad \mu_{A^5}(B) = 0,88,$

$\mu_{A^6}(B) = 0,88, \quad \mu_{A^7}(B) = 0,81, \quad \mu_{A^8}(B) = 0,78,$

$\mu_{A^9}(B) = 0,78, \quad \mu_{A^{10}}(B) = 0,98.$

Висновок

Запропонований алгоритм фазифікації якісної інформації може бути використаний при програмно-апаратній реалізації відповідних блоків нечітких інтелектуальних систем, бази правил яких ґрунтуються на лінгвістичних термах з функціями належності трикутної форми, а вхідні якісні сигнали апроксимуються поліноміальними моделями. Алгоритм фазифікації враховує всі можливі комбінації параметрів нечітких трикутних чисел та поліноміальних моделей. В подальшому доцільним є проведення досліджень, пов'язаних з синтезом аналітичних моделей процесів фазифікації для лінгвістичних термів з різними видами функцій належності та для поліноміальних моделей вищих порядків.

Література

1. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.
2. Кондратенко В.Ю. Метод підвищення гарантоздатності обчислювальних операцій нечіткої арифметики // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – № 7(26). – 2007. – С. 36-40.
3. Кондратенко Г.В. Фаззифікація якісних сигналів в нечітких системах підтримки прийняття рішень // Вестник ХГТУ. – Херсон, 2002. – № 14. – С. 74-81.
4. Крак Ю.В., Кривонос Ю.В., Бармак О.В. Аналіз і синтез мовних сигналів та віртуальних зображень голови людини // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій. Міжнар. наукова конф. Збірник наукових праць у 3-х томах. – Євпаторія, 2007. – Т. 3. – С. 151-152.
5. Кустра Н.О., Пелешко Д.Д. Аналіз окремих методів цифрової обробки зображень // Технічні вісті. – 2005. – Вип. 1(20), 2(21). – С. 56-58.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
7. Мелехов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
8. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
9. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики / Пер. с англ.: Под ред. Аверкина А.Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
10. Рашкевич Ю.М., Пелешко Д.Д., Ковальчук А.М., Кустра Н.О. Збільшення роздільної здатності зображень методами теорії нечітких множин // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. – № 565. – С. 243-250.
11. Рашкевич Ю.М., Пелешко Д.Д., Ковальчук А.М. та ін. Використання методів теорії нечітких множин для обробки наборів зображень // Технічні вісті. – 2007. – Вип. 1 (25), 2 (26). – С. 61-62.
12. Тихонова И.В., Мещеряков В.И. Использование алгоритмов нечеткой логики для автоматизированной классификации медицинских изображений // Труды Одесского политехнического университета. Спецвыпуск. – Одесса: ОНПУ, 2005. – С. 80-82.
13. Gil-Aluja J. Investment in uncertainty. – Dordrecht. – Kluwer Academic Publishers, 1999. – 479 p.
14. Kondratenko V.Y. Fuzzy Arithmetic Analytic Models For Triangular Uncertain Numbers. 77th Annual Meeting of the Gessellschaft fur Angewante Mathematik und Mechanik e.V., GAMM'2006. Book of Abstracts. – Berlin: Technische Universitat, 2006. – 523 p.
15. Sadykhov R.Kh., Samokhval V.A. Face identification algorithm based on mesh-derived synthetic linear descriptors // Int. J. Computing. – 2005. – Vol. 4, Issue 3. – P. 43-48.
16. Teodorovic D., Pavkovic G. The fuzzy set theory approach to the vehicle routing problem when demand at nodes is uncertain // Int. Jo. Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – № 82. – P.307-317.

Поступила в редакцію 7.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г.Антошук, Одеський національний політехнічний університет, Одеса.