

М. Копитчук, В. Передерій

Одеський національний політехнічний університет,
кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж
Миколаївський національний університет ім. О.М. Сухомлинського,
кафедра комп'ютерних систем та мереж

ВИЗНАЧЕННЯ НЕЧІТКИХ СИТУАЦІЙ ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА КОГНІТИВНИЙ СТАН ОСОБИ, ЩО ПРИЙМАЄ РІШЕННЯ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ

© Копитчук М., Передерій, В., 2014

Розроблено нечіткі класифікатори, які дають можливість описати з максимальною точністю фактори, для яких немає відомих точних закономірностей і для яких необхідно провести асоціацію між якісною та кількісною оцінками факторів, які впливають на особу при прийнятті рішення.

Ключові слова: особа, що приймає рішення, фактори навколишнього середовища, нечіткі множини, нечіткі класифікатори.

Fuzzy classifiers which allow to accurately describe the factors for which there are no strict regularities and one must associate quantitative and qualitative assessments of factors which influence the individual while decision-making.

Key words: individual making a decision, environmental factors, fuzzy sets, fuzzy classifiers.

Вступ

Особливості людино-машинних систем керування в тому, що вони містять як елементи і технічні системи, і людей, що взаємодіють із цими системами. Для ефективного функціонування схожих систем необхідно вибирати раціональні способи взаємодії когнітивних характеристик користувачів з технікою на підставі виводів ергономіки та впливу зовнішнього середовища. Якщо функціонування ергатичної системи відбувається в умовах невизначеності, то якість керування забезпечується якістю роботи особою, що приймає рішення (ОПР).

При цьому основні труднощі зв'язані не тільки з удосконалюванням технічних і програмних засобів, але і з недостатнім розвитком методів обліку людського фактора і неможливістю вірогідно прогнозувати вплив на систему зміни навколишнього середовища, при створенні та експлуатації складних систем. Внаслідок цього високу актуальність набуває завдання розроблення способів визначення нечітких ситуацій впливу навколишнього середовища на когнітивний стан особи що приймає рішення.

Постановка проблеми

У роботах [4–5] автори проаналізували основні причини, які негативно впливають на якість роботи та порушення працездатності особи, що приймає рішення в людино-машинних системах управління складними об'єктами, де однією з головних причин є людський фактор.

У літературі [5] детально розглянуто питання визначення комфортного робочого середовища користувача під час функціонування системи. У [5,6] описано створення математичних моделей і алгоритмів, що дають змогу оцінити релевантність прийнятих рішень з урахуванням впливу зовнішніх і особистих факторів на безпеку роботи людино-машинних систем. У [6] автори розробили алгоритми формалізації взаємозв'язку зовнішніх факторів і психофункціональних характеристик користувачів на основі теорії нечітких множин і алгоритм для оптимізації

прийняття рішень. Але все це не дає можливості описати з максимальною точністю фактори, для яких немає відомих точних закономірностей і для яких необхідно провести асоціацію між якісною та кількісною оцінками факторів, які впливають на особу при прийнятті рішення.

Мета роботи

Розробити спосіб визначення нечітких ситуацій впливу навколишнього середовища на когнітивний стан особи, що приймає рішення на основі нечітких класифікаторів.

Виклад основного матеріалу

Особливого значення в діяльності особи, що приймає рішення, в ергатичних системах набувають неконтрольовані фактори, які можна поділити на дві групи [6]:

1. Ергономічні та фактори зовнішнього середовища Sc (табл. 1):
 - інтенсивність шуму IN ;
 - інтенсивність вібрацій IV ;
 - освітленість робочого місця E ;
 - температура T ;
 - вологість f ;
 - атмосферний тиск P .
2. Фактори, зумовлені когнітивним станом Sp , (табл.2):
 - рівень інформаційної пропускну здатності I_0 ;
 - ступінь втоми користувача F ;
 - обмеженість часу прийняття рішення Tr ;
 - невідповідність ступеня напруженості TS ;
 - сконцентрованість уваги A .

Особливість цих факторів полягає в їхньому нечисловому характері, неможливості представити їх у вигляді дійсного числа, а також взаємної залежності між двома групами факторів.

Задачу розв'язують, знаходячи максимум цільової функції:

$$R_p = F(Sc^+, Sp^+) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де стан першої групи факторів

$$Sc = f_1 \left(I_N^-, I_V^-, E^+, T^{+-}, f^+, \left(\frac{\Delta P}{\Delta t} \right)^- \right) \quad (2)$$

стан другої групи факторів

$$Sp = f_2 \left(I_0^+, F^-, T_p^-, TS^-, A^+ \right) \quad (3)$$

Підставивши (2) і (3) до (1), одержимо цільову функцію факторів, які впливають на особу, що приймає рішення в ергатичних системах:

$$R_p = F \left[f_1 \left(I_N^-, I_V^-, E^+, T^{+-}, f^+, \left(\frac{\Delta P}{\Delta t} \right)^- \right)^+, f_2 \left(I_0^+, F^-, T_p^-, TS^-, A^+ \right)^+ \right] \rightarrow \max \quad (4)$$

Застосуємо при описі факторів теорію нечітких множин. Для визначення нечіткої множини розглядається деяка множина U , що складається з елементів u і відображення із цієї множини на відрізок $[0,1]$ - $\mu : U \rightarrow [0,1]$.

Визначення: Нечіткою множиною A , заданою на базовій множині U , є множина пар $A = \{ \mu_A(u) / u : u \in U \}$, де $\mu_A(u)$ називається функцією приналежності нечіткої множини A [1].

У такий спосіб для завдання нечіткої множини A потрібне завдання його функції приналежності $\mu_A(u)$ на деякій базовій множин U . Приклад нечіткої множини “середня інтенсивність шуму” наведено на рис. 1, де U – множина значень інтенсивності шуму.

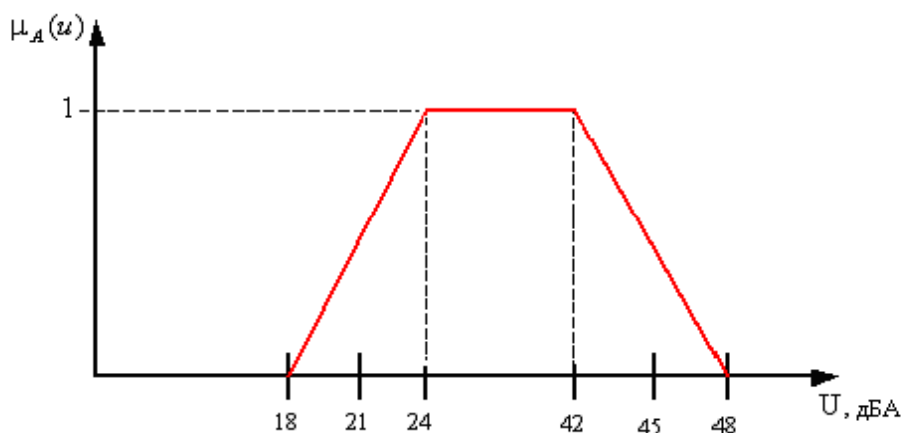


Рис. 1. Нечітка множина “середня інтенсивність шуму”

Використовуючи поняття нечіткої множини, можна перейти під час опису факторів від числових змінних до лінгвістичних змінних (ЛП), значення яких є деяким набором слів природною або формальною мовою. ЛП дозволяють приблизно описувати явища, які з тих або інших причин неможливо описати за допомогою кількісних характеристик.

Визначення: лінгвістичною змінною називається кортеж з п'яти елементів $(X, T(X), U, G, M)$, де X – ім'я ЛП, $T(X)$ – терм-множина ЛП, тобто множина лінгвістичних значень, кожне з яких являє собою нечітку множину на базовій множині U ; G – множина синтаксичних правил, що породжують імена значень ЛП, M – множина семантичних правил, що ставлять у відповідність кожному терму ЛП відповідну нечітку множину [2].

Приклад ЛП, що описує фактор інтенсивність шуму, наведено на рис. 2.

Отже, множина лінгвістичних змін a_i , що описує цю предметну область, визначається множиною нечітких значень $A_i = \{U_i^k\}_{k=1..K_i}$, де K_i – кількість нечітких значень, прийнятих i -м параметром, у вигляді нечітких чисел із трапецеїдальною функцією приналежності m_i^k , яку позитивно визначено на деякому інтервалі (u_{ib}^k, u_{ie}^k) , де $u_{ib}^k, u_{ie}^k \in U_i$ – значення початку й кінця інтервалу відповідно, а U_i – базова множина нечітких значень параметра a_i .

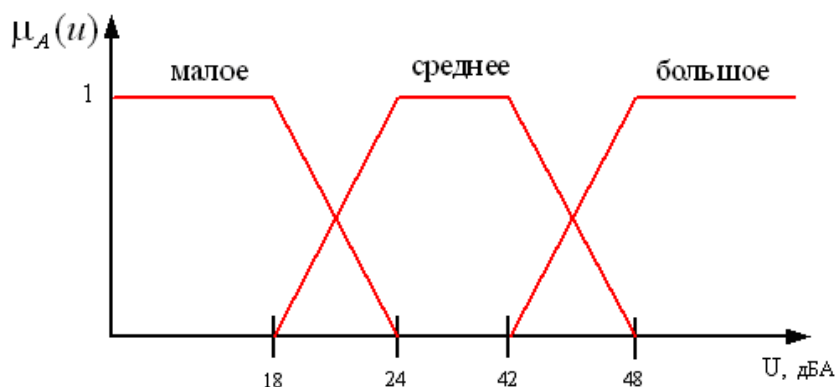


Рис. 2. Лінгвістична змінна “інтенсивність шуму”

Кожне нечітке число $U_i^k \in A_i$ визначимо через функцію приналежності вигляду:

$$U_k^i \Rightarrow m_k^i(u_i) = \begin{cases} 0, & u_i \leq u_{kb}^i, u_i \geq u_{ke}^i \\ \frac{u_i - u_{kb}^i}{u_{kb_1}^i - u_{kb}^i}, & u_{kb}^i < u_i < u_{kb_1}^i \\ 1, & u_{kb_1}^i \leq u_i \leq u_{ke_1}^i \\ \frac{u_i - u_{ke}^i}{u_{ke_1}^i - u_{ke}^i}, & u_{ke_1}^i < u_i < u_{ke}^i \end{cases}, \quad i = 1..N_u, k = 1..3. \quad (5)$$

де u_{kb}^i, u_{ke}^i – початкове і кінцеве значення відповідно інтервалу значень базової множини U_i , на якому функцію приналежності k -го нечіткого значення i -го параметра позитивно визначено; $u_{kb_1}^i, u_{ke_1}^i$ – початкове й кінцеве значення відповідно інтервалу значень базової множини U_i , на якому функція приналежності k -го нечіткого значення i -го параметра дорівнює одиниці.

Функції приналежності термів ЛПП “інтенсивність шуму” у силу своєї трапецеїдальної форми можуть бути описані кортежем із чотирьох значень $(u_{kb}^i, u_{kb_1}^i, u_{ke_1}^i, u_{ke}^i)$, що визначають початкову й кінцеву абсцису нульового й одиничного α -рівнів. Для функцій приналежності, зображених на рис. 2, можна дати опис у вигляді кортежів із чотирьох значень

$$\begin{aligned} m_H &= (0, 0, 18, 24); \\ m_C &= (18, 24, 42, 48); \\ m_B &= (42, 48, 75, 75). \end{aligned}$$

Таблиця 1

Формалізація факторів стану навколишнього середовища в лінгвістичні змінні

Первинний фактор	Границі зміни (U_i)	Терми лінгвістичної оцінки		
		“Н”(низький) m_H ,	З”(середній) m_C ,	“В”(високий) m_B ,
IN (дБА)	0–75	(0,0,18,24)	(18,24,42,48)	(42,48,75,75)
IV (мм/с)	0–15	(0,0,3,5)	(3,5,9,11)	(9,11,15,15)
E (Лк)	0–600	(0,0,160,240)	(160,240, 360,440)	(360,440, 600, 600)
T (°З)	10–40	(10,10,15,19)	(15,19,23,27)	(23,27,40,40)
f (%)	0–90	(0,0,26,34)	(26,34,56,64)	(56,64,90,90)
$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ (мм.рт.ст/сут)	0–15	(0,0,2.5,3.5)	(2.5,3.5,6,8)	(6,8,15,15)

Таблиця 2

Формалізація факторів когнітивного стану користувача в лінгвістичні змінні

Первинний фактор	Границі зміни	Терми лінгвістичної оцінки		
		“Н”(низький) m_H ,	З”(середній) m_C ,	“В”(високий) m_B ,
I _o (ранг)	0–15	(0,0,4,6)	(4,6,9,11)	(9,11,15,15)
F (ранг)	0–15	(0,0,4,6)	(4,6,9,11)	(9,11,15,15)
Tr (хв)	0–60	(26,34,60,60)	(4,6,26,34)	(0,0,4,6)
TS (ранг)	0–15	(0,0,4,6)	(4,6,9,11)	(9,11,15,15)
A (ранг)	0–15	(0,0,4,6)	(4,6,9,11)	(9,11,15,15)

Нечіткі класифікатори

Розглянемо лінгвістичну змінну (ЛП) $B^{(5)}$ з іменем “Рівень показника” і терм-безліччю значень B_1 “Дуже Низький (ВН), B_2 Низький (Н), B_3 Середній (З), B_4 Високий (В), B_5 Дуже Високий (ОВ)”, які наведено на рис. 3. Базовою множиною цієї змінної є відрізок $[0,1]$, а кожний терм ЛП B_i , $i=1,\dots,5$ описується трапецеїдальною функцією приналежності, що задовольняє співвідношенням (5). За аналогією з [3] розглянемо набір вузлових точок $\alpha = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$, які є абсцисами максимумів функцій приналежності термів ЛП $B^{(5)}$ і водночас рівномірно знаходяться один від одного на відрізку $[0,1]$ і симетрично щодо абсциси 0.5. Сукупність ЛП $B^{(5)}$ і множини вузлових точок α назовемо стандартним нечітким п’ятирівневим 01-класифікатором [3].

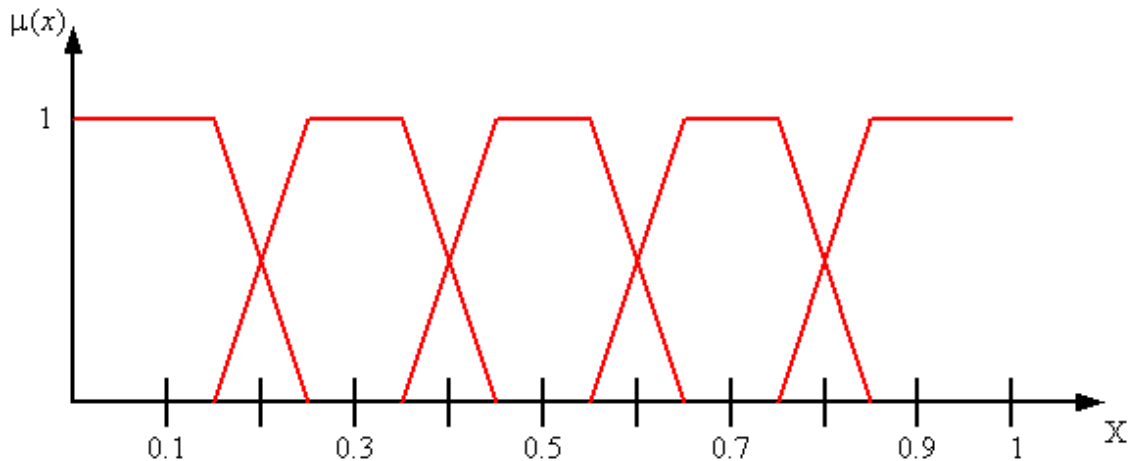


Рис. 3. Графік функцій приналежності терм-множини стандартного нечіткого п’ятирівневого 01-класифікатора

Функції приналежності термів B_i , $i=1,\dots,5$ через їхню трапецеїдальну форму можна описати кортежем із чотирьох значень, що визначають початкову й кінцеву абсцису нульового й одиничного α -рівнів. Враховуючи це, терм-множину стандартного нечіткого п’ятирівневого 01-класифікатора можна визначити так:

$$\begin{aligned} \mu_{OH} &= (0, 0, 0.15, 0.25); \\ \mu_H &= (0.15, 0.25, 0.35, 0.45); \\ \mu_C &= (0.35, 0.45, 0.55, 0.65); \\ \mu_B &= (0.55, 0.65, 0.75, 0.85); \\ \mu_{OB} &= (0.75, 0.85, 1, 1). \end{aligned} \quad (6)$$

Викладений спосіб можна застосувати і для загальнішого випадку – побудови n -рівневого нечіткого класифікатора, за умови, що $n > 1$ і $n \in \mathbb{Z}$, де \mathbb{Z} – множина цілих чисел. Кількість рівнів n вибирають залежно від вимог, висунутих до моделі. Дворівневий класифікатор не представляє інтересу, тому що не містить серединного нечіткого значення, навколо якого найчастіше групуються стани реальних об’єктів.

Тому доцільно розглянути класифікатор при $n=3$. Стандартний трирівневий нечіткий 01-класифікатор введемо через лінгвістичну змінну $B^{(3)}$ з терм-множиною значень B_1 “Низький (Н), B_2 Середній (З), B_3 Високий (В)”. Функції приналежності відповідних термів описуються співвідношеннями:

$$\begin{aligned}\mu_H &= (0,0,0.2,0.4); \\ \mu_C &= (0.2,0.4,0.6,0.8); \\ \mu_B &= (0.6,0.8,1,1);\end{aligned}\tag{7}$$

Графік функцій приналежності, описаних співвідношеннями (7), наведено на рис. 4. Множина вузлових точок набуде значення $\alpha = \{0.1,0.5,0.9\}$.

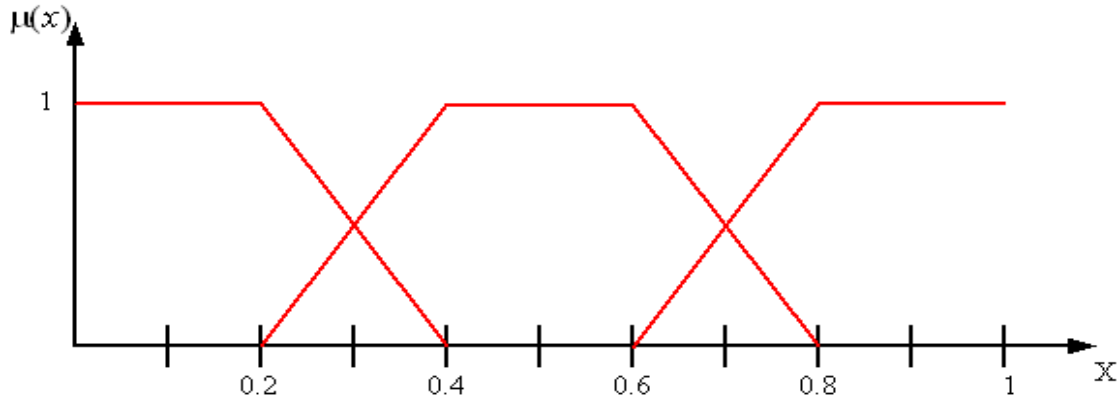


Рис. 4. Графік функцій приналежності терм-множини стандартного нечіткого трирівневого 01-класифікатора

Зазначимо, що область значень деяких заданих у табл. 1, 2 факторів за допомогою лінійних перетворень можна привести до носія нечіткого класифікатора, а терми, що описують нечіткі значення до терм стандартного нечіткого трирівневого 01-класифікатора.

Розглянемо наступний рівень ієрархії розглянутої моделі, для якої визначено цільову функцію (4). Введемо в розгляд вектора

$$\begin{aligned}x_1 &= \{x_{1i}\}_{i=1}^{N_1} = [I_N^-, I_V^-, E^+, T^{+-}, f^+, \left(\frac{\Delta P}{\Delta t}\right)^-], N_1 = 6, \\ x_2 &= \{x_{2i}\}_{i=1}^{N_2} = [I_0^+, F^-, T_p^-, TS^-, A^+], N_2 = 5, \\ r &= [r_1, r_2] = [S_c, S_p].\end{aligned}\tag{8}$$

Тоді у векторному вигляді залежності (2) і (3) можна переписати у вигляді

$$r_i = f_i(x_i), \quad i = 1, 2.\tag{9}$$

Для кожного з окремих факторів $x_{mi}, m = \overline{1, 2}, i = \overline{1, N_m}$ побудовані свої трирівневі класифікатори, що не залежать від виду параметра. Тоді для опису залежностей (9) можна скористатися формулою

$$\begin{aligned}r_m &= \sum_{i=1}^{N_m} z_{m,i} v_{m,i} \sum_{k=1}^3 a_k^m m_{ki}^m(x_{mi}) \\ \sum_{i=1}^{N_m} v_{m,i} &= 1.\end{aligned}\tag{10}$$

де α_k – вузлові точки стандартного класифікатора; $v_{m,i}$ – вага m -го фактора для i -го параметра; $m_{ki}^m(x_{mi})$ – значення функції приналежності k -го терма i -го фактора, m – і залежності; $z_{m,i} \in \{1, -1\}$ – коефіцієнт, що визначає позитивний або негативний напрямок впливу i -го параметра.

Для оцінювання залежності (10) необхідно, своєю чергою, побудувати нечітку базу знань, яка дасть змогу оцінити значення функції приналежності k -го терма i -го фактора.

Висновки

Параметри навколишнього середовища і стану системи можуть описувати деяку нечітку ситуацію або не становити інтересу з погляду опису нечітких ситуацій. Тому за набором фактів, зібраних на деякому інтервалі спостереження, можна визначити нечіткі ситуації, що найчастіше зустрічаються, і ввести набір еталонних ситуацій.

Нечіткі класифікатори мають велике значення, оскільки дають можливість описати з максимальною точністю фактори, для яких немає відомих точних закономірностей і для яких необхідно провести асоціацію між якісною й кількісною оцінками факторів. Якщо при побудові класифікатора є деяка додаткова інформація про поведінку фактора, то в загальному випадку класифікатор не буде стандартним, тому що вузлові точки не будуть симетричні щодо середини носія відповідного фактора.

1. Борисов В. В. *Нечеткие модели и сети* / В. В. Борисов, В. В. Круглов, В. В. Федюлом. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – С. 284. 2. Рыжов А. П. *Элементы теории нечетких множеств и ее приложений* / А. П. Рыжов. – М., 2003. – С. 81. 3. Недосекин А. О. *Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний* : дис. ... д-ра экон. наук // СПб., Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, 2003. – С. 280. 4. Шеридан Т. Б. *Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором* / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел; пер. с англ.; под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с. 5. *Человеческий фактор. В 6-ти т. Т. 2. Эргономические основы проектирования производственной среды: Пер. с англ. / Д. Джоунз, Д. Бродбент, Д. Е. Вассерман и др.* – М.: Мир, 1991. – 500 с. 6. Передерий В.И., Еременко А.П. *Математические модели и алгоритмы определения релевантности принимаемых решений с учетом психофункциональных характеристик пользователей при управлении автоматизированными системами. [Текст]* / В.И. Передерий, А.П. Еременко // *Автоматика. Автоматизация. Электротехничні комплекси та системи.* – 2007, №2. – С. 34–40. 7. Кофман А. *Введение в теорию нечетких множеств* / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с. 8. Ricardo J.G.V. Campello, Wagner Caradori do Amaral. *Hierarchical Fuzzy Relational Models: Linguistic Interpretation and Universal Approximation (2006), IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 14, No. 3, pp. 446–453, doi: 10.1109/TFUZZ.2006.876365.* государственный технический университет. 30.06.2006. – Обнинск: 2006. – 159 с. 9. *Справочник по инженерной психологии* / Под ред. Б. Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с. 10. Koji Shimojima, Toshio Fukuda, Yasuhisa Hasegawa. *Self-tuning fuzzy modeling with adaptive membership function, rules, and hierarchical structure based on genetic algorithm (1995), Fuzzy Sets and Systems, vol. 71, pp. 295-309.*