

УДК 004.8

Н.Р. Кондратенко

Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

## МЕТОД ПОБУДОВИ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ТИПУ 2 З ІНТЕРВАЛЬНИМИ ФУНКЦІЯМИ НАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

**Background.** Presently, the amounts of data accumulated by researchers in different areas of human activity are increasing dramatically due to rapid development of information technologies. The question of data analysis and knowledge presentation in decision support systems under uncertain conditions is important, namely detecting hidden rules and dependencies; extracting, presenting and processing of incomplete knowledge obtained with the help of experts, or knowledge, obtained as a result of experimental data processing. Since knowledge obtained from experts usually contains different kinds of uncertainty, it is important to look for methods that enable presentation and processing of incomplete or almost contradictory information. Methods of fuzzy set theory are the most suitable for processing of such data.

**Objective.** Improving the subject area reflection quality by implementing the method of generating type-2 fuzzy models with redundant knowledge bases.

**Methods.** The implementation method is directed at using redundancy of the fuzzy knowledge base. The knowledge base is built based on experimental data that is used to determine centers of the rules' antecedents and consequents fuzzy sets. The given approach enables creating a fuzzy knowledge base in reasonable time. In order to build a fuzzy model with some of the values missing in the rules included into the knowledge base by an expert, and with partially missing experimental data, methods of generating fuzzy models based on type-2 fuzzy sets with partial experimental data are introduced. A fuzzy model is represented as an interval type-2 model with interval membership functions. Redundancy reduction and missing input data processing are implemented using optimization procedures. The quality of reflection of input values into output values is analyzed using a fuzzy models functioning quality criterion.

**Results.** A research of fuzzy type-2 models built using the given method is shown. On an example of a medical diagnostics problem the main parameters of the generated fuzzy models are given, and values of their performance criteria are calculated.

**Conclusions.** A method for generating type-2 fuzzy models with interval membership functions was developed, which includes rules built based on experimental data, and which provides the capabilities for taking an expert's opinion into account. As part of the given method it is suggested to use the main and the secondary criteria to assess type-2 fuzzy models performance quality. These two criteria enable the developer of an expert system to make the right choice of the fuzzy model that describes the subject area in the most adequate way.

**Keywords:** type-2 fuzzy model; interval membership function; redundant knowledge bases; expert; quality criteria.

### Вступ

Нині обсяги даних, які накопичуються дослідниками в різних галузях людської діяльності, різко збільшуються завдяки швидкому розвитку інформаційних технологій. Важливими є питання аналізу даних та подання знань у системах підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, а саме виявлення прихованих правил і залежностей; добування, подання та обробка недовизначених знань, які отримують за допомогою експертів, або знань, одержаних у результаті обробки експериментальних даних. Відомо, що знання, які отримують за допомогою експертів, як правило, містять різні види невизначеностей [1], а знання, що є результатом обробки експериментальних даних, містять значну кількість шумів. Саме тому важливим є пошук методів, які дають можливість подання та обробки неповної або майже суперечливої інформації. Відомо, що найбільш пристосова-

ними для обробки таких даних є методи теорії нечітких множин [2]. Завдяки теорії нечітких множин та нечіткої логіки є можливості, які дають змогу подавати знання у вигляді правил у нечітких базах знань, а на основі методів нечіткого моделювання будувати нечіткі логічні системи [3–5].

Поширеними є випадки, коли у розробників діагностичних експертних систем, які використовують апарат нечітких множин для подання багатовимірних даних, виникають проблеми з вибором типу нечіткої множини для подання знань або питання, що пов'язані з визначенням ступеня участі експерта та міри використання експериментальних даних.

Актуальною для розробника залишається також проблема побудови нечіткої логічної системи, що має властивості якісного відображення предметної області в умовах невизначеності. Як відомо, нечіткі логічні системи залежно від ступеня нечіткості нечітких множин,

що враховується при побудові нечіткої логічної системи, поділяють на нечіткі логічні системи типу 1, загальні нечіткі логічні системи типу 2 та інтервальні системи типу 2.

Проте методи побудови нечітких моделей типу 2, що будуються на експериментальних даних та здатні в умовах невизначеності враховувати як знання експерта, так і експериментальні дані, залишаються недостатньо дослідженими. В праці [6] введена міра невизначеності для обчислювання зони невизначеності інтервальних функцій належності в умовах пропусків даних; є приклади доцільності використання інтервальних нечітких логічних систем типу 2 для задач медичного діагностування [7].

### Постановка задачі

Поставимо задачу розробити метод побудови нечітких моделей типу 2 з інтервальними функціями належності, який буде включати правила, побудовані на основі експериментальних даних, а також враховуватиме думку експерта. Беручи до уваги, що в такій постановці задачі бази знань будуть надлишковими та міститимуть неповну чи суперечливу інформацію, запропонуємо оптимізаційні процедури, побудовані на базі нечітких множин типу 2, які дадуть змогу зменшити надлишковість та обмежити вплив суперечностей.

Мета роботи – підвищити якість відображення предметної області за рахунок реалізації методу побудови нечітких моделей типу 2 з надлишковими базами знань.

### Математична модель і методика досліджень

У більшості практичних задач діагностування, особливо в експертних системах медичної діагностики [5], синтез нечітких баз знань та побудова нечітких моделей (НМ) в умовах невизначеності залежать від ступеня участі експерта та міри використання експериментальних даних.

Розробнику нечіткої моделі необхідно визначитися з мірою використання експериментальних даних та впливом експерта на побудову основних складових моделі. На сьогодні, відповідно до послаблення ролі експерта, розглядають чотири напрями співпраці розробника нечіткої моделі з експертом. Перший напрям дає змогу експерту повністю визначити структуру нечіткої моделі; експериментальні дані використовуються лише для тестування моделі.

Натомість другий напрям широко використовує експериментальні дані для настроювання параметрів функцій належності. Останні два напрями послаблюють роль експерта: у третьому напрямі експерт визначає функції належності, а нечіткі бази знань будуються на основі експериментальних даних; у четвертому напрямі НМ повністю будується на основі експериментальних даних, за допомогою яких визначаються центри нечітких множин консеквентів і анцетедентів правил.

Кожен із напрямів має свої переваги та недоліки. В тому випадку, коли експерт повністю визначає всю структуру нечіткої моделі, її перевагою є прозорість. Проте одночасно НМ має риси авторського тлумачення для розв'язання поставленої задачі і тому не завжди є адекватною предметній області. Також варто зазначити, що експерт має обмежені можливості при побудові НМ у випадку багатовимірної задачі. При реалізації другого та третього напрямів участь експерта при побудові НМ зменшується, що є позитивним, оскільки робота з експертом є дуже громіздкою. Але виникають складні задачі настроювання функцій належності та правил, необхідність у використанні потужних оптимізаційних алгоритмів, також не завжди можна отримати адекватну нечітку модель за допустимий час. Останній напрям забезпечує побудову адекватних експериментальним даним нечітких моделей у реальному часі. Але такі нечіткі моделі є надлишковими (скільки експериментальних даних, стільки й правил) і такими, що втрачають прозорість. Для багатьох розробників, з урахуванням вимог скорочення часу, який виділяється на побудову моделі та проведення її тестування, можливість побудови НМ у реальному часі є безумовною перевагою.

Для розв'язання поставленої задачі побудови нечітких моделей типу 2 з інтервальними функціями належності, які є адекватними предметній області та здатні в умовах невизначеності враховувати як знання експерта, так і експериментальні дані, використаємо останній напрям, який покладемо за базовий.

Методику дослідження спрямуємо на використання надлишковості нечіткої бази знань, що є характерною для цього напрямку, та на те, щоб такий підхід забезпечував побудову нечіткої бази знань за припустимий час. Врахуємо також, що, по-перше, наявна надлишковість обумовлюється правилами, які будуються на експериментальних даних. Правила, що належать

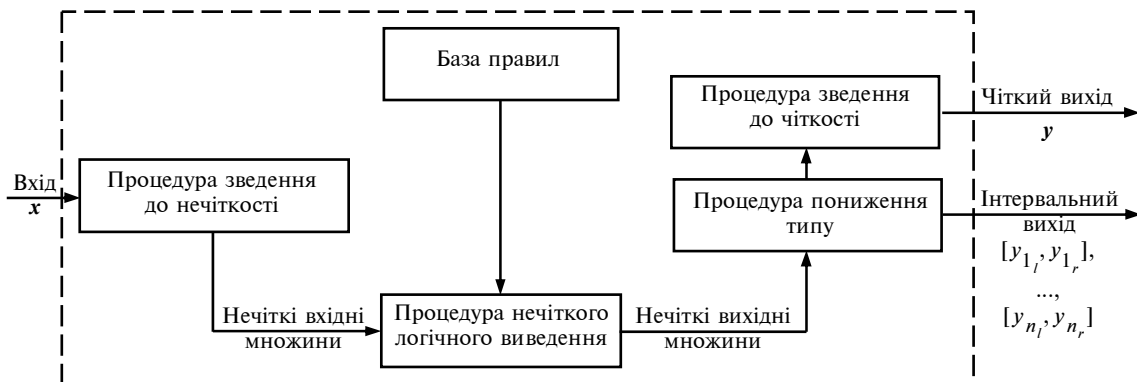


Рис. 1. Структура інтервальної нечіткої моделі типу-2

експерту, можуть містити пропуски, оскільки експерт має суб'єктивну точку зору на кількість вхідних параметрів НМ або взагалі є невпевненим у доцільності введення певних змінних. Експериментальні дані можуть містити пропуски. По-друге, відсутність певних значень, а саме в правилах, що підключаються в базу знань за допомогою експерта, означає, що для побудови НМ не є можливим використання відомих методів побудови НМ, заснованих на нечітких множинах типу 1. Причина полягає в тому, що ці методи не можуть використовувати експериментальні дані, які містять пропуски, та визначати вихідне значення за частиною значень вхідних параметрів. Тому, взявши до уваги вказані недоліки для побудови НМ, будемо використовувати нечіткі множини типу 2. Нечітку модель представимо як інтервальну нечітку модель типу 2 з інтервальними функціями належності [2]; структура інтервальної нечіткої моделі типу 2 зображена на рис. 1.

Модель відображає чіткі входи  $x = (x_1, \dots, x_p)$  в інтервальні та чіткі виходи:  $Y = ([y_{1l}, y_{1r}], \dots, [y_{nl}, y_{nr}])$  і  $y = (y_1, \dots, y_n)$ , та використовується у загальному випадку для діагностування об'єктів з багатьма входами та виходами. Така математична модель є інтервальною нечіткою моделлю типу 2, що включає базу правил (нечітку базу знань), процедуру зведення до нечіткості, процедуру нечіткого логічного виведення, процедуру пониження типу та процедуру зведення до чіткості.

Для опису інтервальних функцій належності виберемо модифіковану гауссову форму. Загальний вигляд інтервальної функції належності такий:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-b}{[\min(c), \max(c)]}\right)^2},$$

де  $[\min(c), \max(c)]$  – діапазон зміни параметра  $c$  гауссової функції належності;  $b$  – зміщення; приклад такої функції зображено на рис. 2.

З урахуванням наведених вище відомостей такий метод побудови нечітких моделей типу 2 з інтервальними функціями належності, який включатиме правила, що побудовані на основі експериментальних даних, а також передбачатиме можливість для врахування думки експерта, буде мати два блоки. Розглянемо роботу цих блоків.

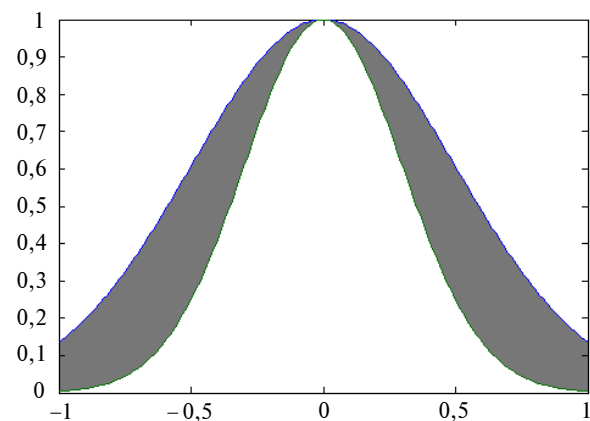


Рис. 2. Інтервальна функція належності

Нехай відома експериментальна вибірка  $X$ :

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\},$$

де  $X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $n$  – кількість експериментальних прикладів;  $k$  – кількість вхідних змінних;  $y$  – вихідна величина.

Перший блок призначений для генерування нечіткої моделі на основі експериментальної вибірки  $X$ . Основна задача, яка розв'язується в цьому блоці, – швидка генерація на базі

експериментальних даних нечіткої моделі з інтервальними функціями належності.

Для розв'язання цієї задачі використовуємо підхід до побудови нечітких моделей, коли нечітка модель будується на основі експериментальних даних, що визначають центри нечітких множин антецедентів і консеквентів правил. Зазначимо, що така модель є надлишковою. Як функцію належності для вхідних змінних вибираємо гауссову функцію:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2}.$$

Для опису інтервальних функцій належності виберемо модифіковану гауссову форму. Загальний вигляд інтервальної функції належності такий:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-b}{[\min(c), \max(c)]}\right)^2},$$

де  $[\min(c), \max(c)]$  – діапазон зміни параметра  $c$  гауссової функції належності (графік функції наведено на рис. 2).

Генерування на базі експериментальних даних нечіткої моделі з інтервальними функціями належності здійснюється за допомогою алгоритму [6]. На основі цього алгоритму буде відбуватися одночасно зменшення вибірки та генерування НМ з інтервальними функціями належності. Основні обчислювальні процедури алгоритму такі.

1. (Зменшення вибірки.) Побудова нечіткої моделі на всій вибірці;  $k = 1$ ;  $\text{size} =$  розмір вибірки.

2. Якщо  $k < \text{size}$ , перейти на п. 3, інакше перейти на п. 4.

3. Виключення правила  $k$  з нечіткої моделі; розрахунок відгуку моделі по всій вибірці. Якщо похибка діагностування дорівнює 0, то  $\text{size} = \text{size} - 1$ ; перейти на п. 2, інакше додати в модель вилучене правило;  $k = k + 1$ ; перейти на п. 2.

4. (Визначення діапазону зміни параметра  $c$ .)  $k = 1$ .

5. (Визначення верхньої границі діапазону.) Множимо усі параметри функцій належності на  $k$ ; розрахунок відгуку моделі на всій вибірці.

6. Якщо похибка діагностування дорівнює 0, то  $k = k + 0,001$ ; перейти на п. 5, інакше  $\text{max}_c = c \cdot (k - 0,001)$ ;  $k = 1$ ; перейти на п. 7.

7. (Визначення нижньої границі діапазону.) Множимо усі параметри функцій належності на  $k$ ; розрахунок відгуку моделі по всій вибірці.

8. Якщо похибка діагностування дорівнює 0, то  $k = k - 0,001$ ; перейти на п. 7, інакше  $\text{min}_c = c \cdot (k + 0,001)$ .

Другий блок побудований таким чином, щоб врахувати точку зору експерта на початкові експериментальні дані. Основна задача, яка розв'язується в цьому блоці, – корекція експериментальної вибірки та вхідного вектора за визначенням експерта, а також поєднання цієї процедури з процесом побудови нечіткої моделі (блок 1). У результаті корекції можлива поява пропусків у експериментальних даних і вхідному векторі. Перетворення вибірки здійснюється за допомогою алгоритму, який враховує неповноту експериментальних даних [7]. Основні етапи алгоритму такі.

1. Нехай є початкова експериментальна вибірка  $X$ :

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}.$$

2. Видаляємо з початкової експериментальної вибірки стовпці зі значеннями змінних, які, на думку експерта, є неважливими для розв'язання певної задачі. Відбувається корекція експериментальної вибірки, тобто створюємо перетворену вибірку.

3. Використовуємо процедури першого блоку. За допомогою цього блоку будується нечітка модель типу 2 з інтервальними функціями належності по зменшеній експериментальній вибірці.

4. Обчислюємо вихідне значення.

Останній крок для побудованої моделі – це тестування моделі на верифікованих даних та перевірка якості її функціонування.

Таку структуру функціонування нечіткої моделі з урахуванням перетворення експериментальних даних відповідно до рекомендацій експерта наведено на рис. 3.

Очевидно, що у випадку побудови НМ з надлишковими базами знань необхідно ввести критерії, за допомогою яких можливе дослідження якості відображення вхідних значень у вихідні. Будемо розглядати два критерії. Перший – критерій якості функціонування нечітких моделей UN [7]:

$$UN = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \frac{\int_{x_i}^{\bar{x}_i} \underline{\mu}^{(2)} \tilde{A}_{ij} dx_i - \int_{x_i}^{\bar{x}_i} \underline{\mu}^{(2)} \tilde{A}_{ij} dx_i}{x_i - \underline{x}_i} \right)}{n \cdot m},$$

де  $\bar{\mu}^{(2)} \tilde{A}_{ij}$  і  $\underline{\mu}^{(2)} \tilde{A}_{ij}$  – верхня та нижні границі інтервальної функції належності  $\tilde{\mu}^{(2)} \tilde{A}_{ij}$ ;  $\underline{x}_i$  і  $\bar{x}_i$  – максимальне та мінімальне значення змінної  $x_i$ ;  $n$  – кількість змінних;  $m$  – кількість правил.

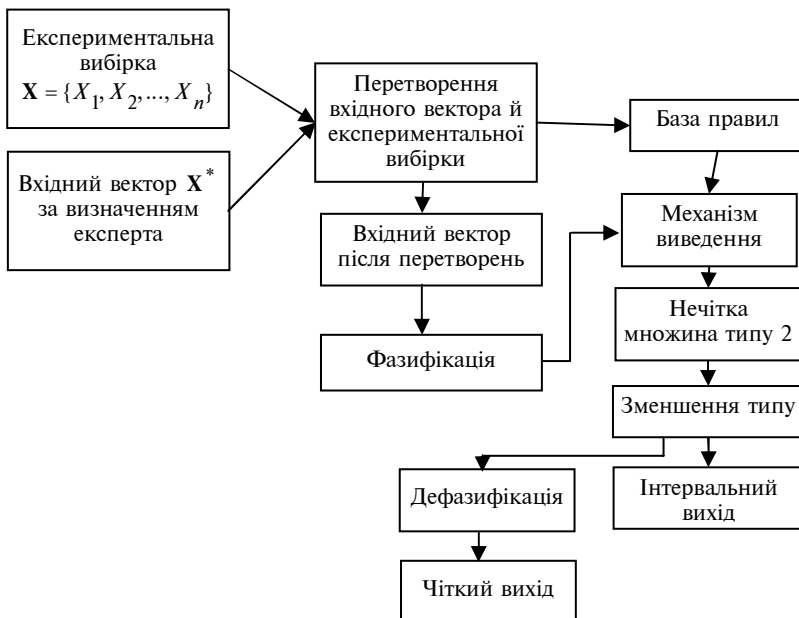


Рис. 3. Структура функціонування нечіткої моделі з інтервальними функціями належності

Вважаємо цей критерій основним. Значення  $UN$  використовуємо таким чином:  $UN = 0$  означає повну відсутність невизначеності та однозначне відображення вхідних значень у вихідні;  $UN = 1$  означає випадок, коли будь-якому вхідному значенню ставиться у відповідність весь діапазон можливих вихідних значень. Проміжні значення критерію означають задовільний результат роботи моделі.

Другий критерій допоміжний. З його використанням оцінюється ентропія інтервального виходу нечіткої моделі. З теорії інформації відомо, що отримання будь-якої інформації трактується як скасування певної частини невизначеності, а кількість інформації визначається як різниця невизначеностей ситуацій до та після проведення певного експерименту. Оцінювання

ентропії інтервального виходу нечіткої моделі будемо обчислювати як звуження інтервалу невизначеності до і після проведення експерименту. Будемо вважати, що кількість інформації  $\gamma$ , яку ми отримуємо на виході  $Y$  нечіткої моделі, є зменшенням ентропії від значення  $H(Y)$ , яке характеризує невизначеність величини  $Y$  перед проведенням експерименту, до значення  $H(Y/Y_e)$ , яке залишається після його закінчення, тобто:

$$\gamma = H(Y) - H\left(\frac{Y}{Y_e}\right).$$

Припускаючи, що щільність ймовірності розподілу різних значень результатів вихідної величини по всьому діапазону значень виходу однакова, тобто наявний рівномірний закон розподілу, будемо мати:

$$\begin{aligned} \gamma &= H(Y) - H\left(\frac{Y}{Y_e}\right) = \\ &= \log(Y_{\text{top}} - Y_{\text{beg}}) - \log 2\Delta = \\ &= \log\left(\frac{Y_{\text{top}} - Y_{\text{beg}}}{2\Delta}\right), \end{aligned}$$

де  $Y_{\text{top}}$  – крайня права границя діапазону значень вихідної величини;  $Y_{\text{beg}}$  – крайня ліва границя діапазону значень вихідної величини;  $2\Delta$  – інтервал, у який потрапляє вихідна величина.

### Використання запропонованого методу на прикладі задачі медичного діагностування

Будемо використовувати вихідні дані з [6] для діагностування гіпотиреозу – захворювання ендокринної системи людини. Проведемо дослідження якості функціонування декількох нечітких моделей для діагностування гіпотиреозу, побудованих на основі описаного методу.

Перша нечітка модель з використанням інтервальних функцій належності будується на основі всієї вибірки без урахування пропусків у експериментальних даних (блок 1).

Знання про предметну область характеризуються такими об'єктивними параметрами:

- 39 вхідних змінних;

Таблиця. Фрагмент роботи моделі на тестових прикладах

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	...	$x_{37}$	$x_{38}$	$x_{39}$	Верифікований діагноз	Вихід моделі	Оцінка (біт) $\gamma$
1	50	3	0	...	130	4	7	2	[1,5889; 1,6799 ]	5,043
1	48	1	0	...	118	4	4,4	2	[2,1373; 2,2341]	4,954
1	40	1	0	...	120	3,9	4,9	2	[1,9130; 2,1987]	4,041
1	54	3	0	...	34	8,9	3,4	1	[0,9760; 1,1021]	4,575
1	35	0,3	0	...	110	4,3	6,2	2	[1,7718; 1,8391]	5,478
1	59	6	0	...	130	4,3	7,3	3	[3,0127; 3,1875]	4,101
1	53	0,8	0	...	120	4,2	7,2	1	[1,2991; 1,3837]	5,148

• одна вихідна величина – висновок про відсутність або наявність гіпотиреозу з визначенням його ступеня важкості.

- 140 експериментальних прикладів.

Оцінка якості функціонування розробленої моделі за першим критерієм дорівнює 0,19.

Друга нечітка модель будується з використанням інтервальних функцій належності на основі всієї вибірки з урахуванням пропусків у експериментальних даних (блок 2).

Вихідні дані такі:

- 44 вхідні змінні;
- одна вихідна величина – висновок про відсутність або наявність гіпотиреозу з визначенням ступеня його тяжкості.
- 370 експериментальних даних про предметну область.

Оцінка якості функціонування розробленої моделі за першим критерієм дорівнює 0,15.

Наведемо фрагмент роботи першої моделі на тестових прикладах та оцінку за другим критерієм (таблиця).

Отже, перша модель має задовільні результати як за першим, так і за другим критерієм. Друга нечітка модель, яка враховує пропуски, має кращий показник за першим критерієм, тобто модель більш адекватно описує предметну область, що можна пояснити втручанням експерта. Згідно з другим критерієм результати аналогічні. Для порівняння наведемо модель, яка має змінений вхідний вектор та значну кількість пропусків у експериментальних даних. Остання модель має 36 вхідних параметрів (об'єм експериментальної вибірки – 370 прикладів), працює з пропусками; її показник якості функціонування 0,36. Ця модель є найгіршою для опису предметної області за першим критерієм. Наведемо приклад її функціонування: вихід моделі – [0,6734–2,7356], тобто маємо значне розширення вихідного інтервалу, що вказує на погіршення за другим критерієм. Але

в цілому модель є адекватною предметній області, оскільки, хоча в інтервал і включають кілька діагнозів, вихід моделі вказує на наявність захворювання, хоч ступінь важкості його невідомий. Такий результат свідчить про необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень.

Таким чином, перетворення вибірки та наявність пропусків у вхідних й експериментальних даних завдяки корекції не обов'язково означає неможливість отримання адекватного виходу. В цілому для такої моделі збільшується невизначеність, але можуть існувати певні межі, в яких система буде видавати задовільний результат.

## Висновки

Розроблено метод побудови нечітких моделей типу 2 з інтервальними функціями належності, який включає правила, побудовані на основі експериментальних даних, і передбачає можливість врахування думки експерта. В рамках цього методу запропоновано використовувати основний та допоміжний критерії якості функціонування нечітких моделей типу 2, що дають можливість розробнику експертної системи зробити правильний вибір нечіткої моделі, що найбільш адекватно описує предметну область. Наведено дослідження нечітких моделей типу 2, що побудовані за цим методом, а також розраховано значення критеріїв якості їх функціонування для задачі медичного діагностування.

Перспективними напрямками розвитку запропонованого методу є проведення досліджень, пов'язаних з розробкою критеріїв для оцінювання якості змін, проведених експертом у початковій вибірці, і впливу експерта на вибір структури нечіткої моделі та її основні параметри.

### Список літератури

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basis for theory of possibility // Fuzzy sets and systems 100 supplements. – 1999. – P. 9–34.
2. Mendel J.M., John R.I., Liang Q. Interval Type-2 fuzzy logic systems: theory and design // IEEE Trans. Fuzzy Syst. – 2000. – 8. – P. 535–550.
3. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: ИД “Слово”, 2008. – 344 с.
4. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
5. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
6. Кондратенко Н.Р., Зелінська Н.Б., Куземко С.М. Диагностика гіпотиреозу на основі нечіткої логіки з використанням інтервальних функцій належності // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 4. – С. 52–58.
7. Кондратенко Н.Р., Зелінська Н.Б., Куземко С.М. Нечіткі логічні системи з урахуванням пропусків в експериментальних даних // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 5. – С. 37–41.

### References

1. L.A. Zadeh, “Fuzzy sets as a basis for theory of possibility”, *Fuzzy Sets and Systems 100 Supplements*, pp. 9–34, 1999.
2. Q. Liang and J. Mendel, “Interval Type-2 fuzzy logic systems: theory and design”, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 8, no. 5, pp. 535–550, 2000.
3. Y.P. Zaychenko, *Fuzzy Models and Methods in the Intelligent Systems*. Kyiv, Ukraine: Slovo, 2008, 344 p. (in Russian).
4. A.N. Borisov, *Decisions-making Based on Fuzzy Models. Examples of Use*. Moscow, USSR: Mir, 1976, 167 p. (in Russian).
5. A.P. Rotshtein, *Intellectual Technologies of identification: Fuzzy Sets, Genetic Algorithms and Neural Networks*. Vinnytsya, Ukraine: UNIVERSUM-Vinnytsya, 1999, 320 p. (in Russian).
6. N.R. Kondratenko *et al.*, “Diagnosis of hypothyroidism on the basis of fuzzy logic using interval membership function”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 4, pp. 52–57, 2003 (in Ukrainian).
7. N.R. Kondratenko and S.M. Kuzemko, “Fuzzy logic systems with allowance for the blank in experimental data taken”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 5, pp. 37–41, 2004 (in Ukrainian).

Н.Р. Кондратенко

#### МЕТОД ПОБУДОВИ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ТИПУ 2 З ІНТЕРВАЛЬНИМИ ФУНКЦІЯМИ НАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

**Проблематика.** Сьогодні обсяги даних, які накопичуються дослідниками в різних галузях людської діяльності, різко збільшуються завдяки швидкому розвитку інформаційних технологій. Важливими є питання аналізу даних та подання знань у системах підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, а саме виявлення прихованих правил і залежностей; добування, подання та обробка недовизначених знань, які отримують за допомогою експертів, або знань, одержаних у результаті обробки експериментальних даних. Оскільки знання, які отримують за допомогою експертів, як правило, містять різні види невизначеностей, важливим є пошук методів, які дають можливість подання та обробки неповної або майже суперечливої інформації. Найбільш пристосованими для обробки таких даних є методи теорії нечітких множин.

**Мета дослідження.** Підвищення якості відображення предметної області за рахунок реалізації методу побудови нечітких моделей типу 2 з надлишковими базами знань.

**Методика реалізації.** Методика реалізації спрямована на використання надлишковості нечіткої бази знань, що будується на експериментальних даних, за допомогою яких визначаються центри нечітких множин консеквентів і анцетедентів правил. Такий підхід реалізує побудову нечіткої бази знань за реальний час. Для побудови нечіткої моделі в умовах відсутності певних значень у правилах, що підключаються в базу знань за допомогою експерта, та пропусків у експериментальних даних впроваджуємо методи побудови нечітких моделей, що засновані на нечітких множинах типу 2 з пропусками в експериментальних даних. Нечітку модель подаємо як інтервальну нечітку модель типу 2 з інтервальними функціями належності. Зменшення надлишковості та опрацювання пропусків у вихідних даних реалізуємо за допомогою оптимізаційних процедур. Дослідження якості відображення вхідних значень у вихідні реалізуємо за допомогою критерію якості функціонування нечітких моделей.

**Результати дослідження.** Наведено дослідження нечітких моделей типу 2, що побудовані за вказаним методом. На прикладі розв'язання задачі медичного діагностування наведено основні параметри побудованих нечітких моделей та обчислено значення критеріїв якості їх функціонування.

**Висновки.** Розроблено метод побудови нечітких моделей типу 2 з інтервальними функціями належності, який включає правила, побудовані на основі експериментальних даних, та передбачає можливість врахування думки експерта. В рамках цього методу запропоновано використовувати основний та допоміжний критерії якості функціонування нечітких моделей типу 2, які дають можливість розробнику експертної системи зробити правильний вибір нечіткої моделі, що найбільш адекватно описує предметну область.

**Ключові слова:** нечітка модель типу 2; інтервальна функція належності; надлишкові бази знань; експерт; критерій якості функціонування.

Н.Р. Кондратенко

#### МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ТИПА 2 С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ

**Проблематика.** В настоящее время объемы данных, которые накапливаются исследователями в разных областях человеческой деятельности, резко увеличиваются благодаря быстрому развитию информационных технологий. Важными являются вопросы анализа данных и представления знаний в системах поддержки принятия решений в условиях неопределенности, а именно выявление скрытых правил и зависимостей; извлечение, представление и обработка недоопределенных знаний, которые получают с помощью экспертов, или знаний, получаемых в результате обработки экспериментальных данных. Поскольку знания, которые получают с помощью экспертов, как правило, содержат разные виды неопределенностей, важным является поиск методов, которые дают возможность представления и обработки неполной или даже противоречивой информации. Наиболее приспособленными для обработки таких данных являются методы теории нечетких множеств.

**Цель исследования.** Повышение качества отображения предметной области за счет реализации метода построения нечетких моделей типа 2 с избыточными базами знаний.

**Методика реализации.** Методика реализации направлена на использование избыточности нечеткой базы знаний, которая строится на экспериментальных данных, с помощью которых определяются центры нечетких множеств консеквентов и анцедентов правил. Этот подход реализует построение нечеткой базы знаний за реальное время. Для построения нечеткой модели в условиях отсутствия некоторых значений в правилах, которые подключаются в базу знаний с помощью эксперта, и пропусков в экспериментальных данных используем методы построения нечетких моделей, основанных на нечетких множествах типа 2 с пропусками в экспериментальных данных. Нечеткую модель представим как интервальную нечеткую модель типа 2 с интервальными функциями принадлежности. Уменьшение избыточности и обработку пропусков в исходных данных реализуем с помощью оптимизационных процедур. Исследования качества отображения входных значений в выходные реализуем с помощью критерия качества функционирования нечетких моделей.

**Результаты исследования.** Приведены исследования нечетких моделей типу 2, которые построены с помощью данного метода. На примере решения задачи медицинской диагностики показаны основные параметры построенных нечетких моделей и приведены значения критериев качества их функционирования.

**Выводы.** Разработан метод построения нечетких моделей типа 2 с интервальными функциями принадлежности, который включает правила, построенные на основе экспериментальных данных, и предусматривает возможность учета мнения эксперта. В рамках данного метода предложены для использования основной и дополнительный критерии качества функционирования нечетких моделей типа 2, дающие возможность разработчику экспертной системы сделать правильный выбор нечеткой модели, которая наиболее адекватно описывает предметную область.

**Ключевые слова:** нечеткая модель типа 2; интервальная функция принадлежности; избыточные базы знаний; эксперт; критерий качества функционирования.

Рекомендована Радою  
Навчально-наукового комплексу  
"Інститут прикладного системного  
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
15 червня 2015 року