View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Electronic Archive of Kyiv Polytechnic Institute

УДК 004.8
DOI: 10.20535/1810-0546.2016.2.51636

Н.Р. Кондратенко
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ТИПУ 2 В СИСТЕМАХ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Background. Developing decision making models for problems, that are not easily formalized, and which operate the expert information, became possible by utilizing the capabilities of fuzzy sets theory and building fuzzy logic systems. Use of fuzzy sets theory techniques for knowledge formalization automatically results in the researcher having to select the type of fuzzy sets used for constructing membership functions, as well as the fuzzy model, that would fit the selected fuzzy set type. Therefore, the task of investigating the capabilities of type-2 membership functions in fuzzy logic systems is one of great interest.
Objective. Expanding the capabilities of fuzzy logic systems by using type-2 membership functions.
Methods. Research methods are directed towards utilizing interval and three-dimensional type-2 fuzzy sets in forecasting problems and medical diagnostics. The matter of investigating the capabilities of interval membership functions built on experimental data will be considered in two aspects: the first one – of how well interval membership functions reflect the uncertainties present in the source data, and the second one – of the advantages and disadvantages of an interval output of a fuzzy model with interval membership functions.
Results. A research of interval type-2 membership functions in fuzzy logic systems was conducted in the areas of forecasting problem and medical diagnostics. Applicability of three-dimensional type-2 membership functions built from experimental data was shown.
Conclusions. This paper shows the advantages of using interval membership functions in fuzzy logic systems, when developing fuzzy models using the multiple models principle. A research of three-dimensional type-2 membership functions' applicability when modeling existing uncertainties is given. A technique for generating three-dimensional membership functions in fuzzy logic systems generated from experimental data is proposed.

Keywords: experimental data; type-2 membership functions; interval fuzzy model; three-dimensional membership function.

Вступ

Сучасні інформаційні системи використовують знання, які накопичуються дослідниками в різних галузях людської діяльності. Одержувані знання дуже часто мають вигляд висловлювань людини, яка є фахівцем у певній галузі і яка в своїх міркуваннях робить спробу кількісно охарактеризувати якісні поняття та відношення. Подальше використання знань експертів у системах прийняття рішень, як правило, приводить до появи різних видів невизначеностей [1].

Побудова моделей прийняття рішень для задач, що слабо формалізуються та оперують з експертною інформацією, є можливим завдяки використанню теорії нечітких множин та побудові систем нечіткої логіки [2, 3]. Для формалізації знань, які отримують від експерта чи групи експертів, за допомогою нечітких множин, необхідні процедури побудови відповідних функцій належності. Ці процедури є найважливішим етапом у задачах прийняття рішень, оскільки від того, наскільки адекватно побудована функція належності відображає знання експерта чи експертів, залежить якість рішень, що приймаються. Використання апарату теорії нечітких множин для формалізації знань автоматично ставить перед дослідником задачу вибору типу нечіткої множини для побудови функцій належності та нечіткої моделі, яка буде відповідати вибраному типу нечіткої множини.

Залежно від ступеня нечіткості нечітких множин, який враховується при побудові нечіткої моделі, розрізняють нечіткі моделі типу 1, загальні моделі типу 2 та інтервальні типу 2 [3]. Нечіткі моделі типу 1 використовують функції належності з чіткими значеннями ступенів належності, будуються на основі нечітких множин першого типу. Нечіткі моделі типу 1 дають на виході лише чітке (точкове) значення. Інтервальні нечіткі моделі типу 2 використовують функції належності, що будуються на основі нечітких множин з інтервальними значеннями ступенів належності. Ці моделі, на відміну від нечітких моделей типу 1, дають на виході точкові та інтервальні значення; вони достатньо ефективно обробляють різні види невизначеностей та потребують істотно менше обчислювальних затрат, ніж загальні нечіткі моделі типу 2.

Найбільш відомими є дві групи методів побудови функцій належності [4]. До першої групи входять методи, що безпосередньо пов'язані з експертом, який задає правила визначення значень функції належності для вхідних параметрів; для цього використовуються, наприклад, табличні дані або графічний матеріал. Методи другої групи, які називають непрямими, використовуються у випадках, коли важко визначити потрібну нечітку множину. Як правило, це методи попарних порівнянь. Для першої групи методів, що пов'язані з експертами, характерна значна трудомісткість, оскільки вони вимагають клопіткої роботи експерта. При роботі групи експертів може бути ситуація, коли відповіді експертів різняться, тоді проводяться процедури узгодження думок всіх експертів з подальшим використанням одного з існуючих методів побудови функцій належності. Як правило, в результаті узгодження думок експертів визначаються границі розкидів значень, які дали експерти, і будується інтервальна функція належності.

Поширеним є метод побудови функцій належності за експериментальними даними [5]. Проте недостатньо дослідженими є можливості функцій належності типу 2, які будуються за експериментальними даними, та доцільність їх використання в системах нечіткої логіки. У низці праць [5–10] наведені приклади використання інтервальних функцій належності для розв'язання прикладних задач.

Постановка задачі

У роботі ставиться задача дослідження можливостей застосування функцій належності типу 2 у системах на основі нечіткої логіки, побудова яких ґрунтується на використанні експериментальних даних. Для розв'язання поставленої задачі необхідно розробити процедуру побудови інтервальних функцій належності за експериментальними даними, методику використання функцій належності типу 2 у системах на основі нечіткої логіки, а також навести приклади застосування зазначених функцій належності.

Мета роботи – розширення можливостей систем нечіткої логіки за рахунок використання функцій належності типу 2.

Математична модель і методика досліджень

Функції належності типу 2 поділяють на інтервальні типу 2, які мають інтервальну шкалу ступенів належності, та функції належності типу 2 зі шкалою ступенів належності вищого порядку [3]. Методику досліджень спрямуємо на інтервальні функції належності типу 2 і тривимірні типу 2. Для зручності в подальшому будемо вважати їх розширеними, на відміну від звичайних функцій належності, які будуються на нечітких множинах типу 1. Будемо розглядати метод побудови функцій належності за експериментальними даними та безпосередній метод (як допоміжний), що пов'язаний із опитуванням експерта.

Задачу дослідження можливостей інтервальних функцій належності, які будуються за експериментальними даними, розглянемо в двох аспектах: перший – щодо адекватності відображення інтервальними функціями належності невизначеностей, які існують у вихідних даних, і другий – щодо того, які переваги чи недоліки має інтервальний вихід нечіткої моделі з інтервальними функціями належності.

Для узагальненості будемо вважати, що експериментальна вибірка **X** формується за умови наявності невизначеності. Тобто в експериментальних даних є помилки різної природи, шуми, а також суперечливі вимірювання, що важко видаляються. Крім того, експериментальні дані можуть містити пропуски як наслідок втрати інформації при відмовах апаратури тощо.

Відобразимо основні процедури побудови інтервальних функцій належності за експериментальними даними.

1. Нехай відома експериментальна вибірка **X**:

$$\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \ldots, X_n\},$$

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

2. Розробнику нечіткої моделі дамо право самостійно визначати розбиття вхідних параметрів на терми, вид функцій належності. Також за розробником залишається процедура формування бази правил за експериментальними даними. В рамках нечіткого моделювання кожний вектор експериментальних даних розробник перетворює на правило, в якому центри нечітких множин антецедентів та консеквентів визначаються експериментальними даними. Форму функцій належності визначаємо як гауссову функцію; її зміщення однозначно визначається експериментальними даними, а розтяг вибирається заздалегідь і може залежати від діапазону зміни значень конкретного параметра. При побудові системи за таким методом

є можливість змінювати множини вхідних і вихідних змінних та розмір самої вибірки, тобто спочатку генерувати систему, оскільки метод працює дуже швидко.

3. Як функцію належності для вхідних змінних вибираємо гауссову функцію належності:

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

Для опису інтервальних функцій належності виберемо модель модифікованої гауссової форми. 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. 1.

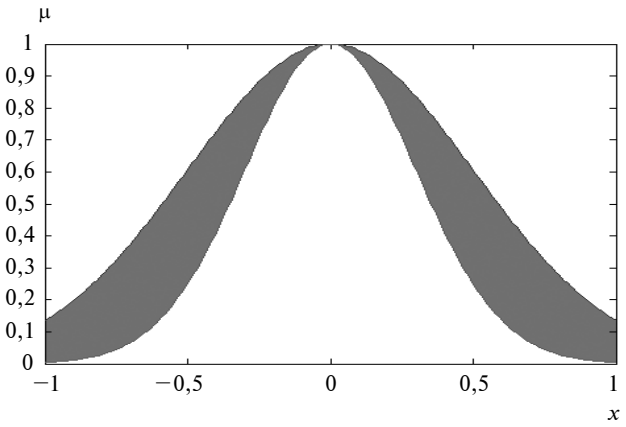

Рис. 1. Інтервальна функція належності

4. Генерування на базі експериментальних даних нечіткої моделі (НМ) з інтервальними функціями належності здійснюється за допомогою алгоритму [5]. На основі цього алгоритму одночасно будуть відбуватися зменшення вибірки та генерування НМ з інтервальними функціями належності. Центри інтервальних функцій належності визначаються відповідними експериментальними даними. Основні обчислювальні процедури алгоритму дають можливість поступово змінювати параметр c (розтяг) функції належності з одночасною перевіркою нечіткої моделі на адекватність прийняття рішень. Такий перехід покажемо на прикладі змінної x з двома нечіткими термами на рис. 2.

Таким чином, після реалізації вказаних вище процедур у функцій належності з'являється зона невизначеності [3] (темні ділянки на рис. 1). За рахунок появи цієї зони нечіткі моделі отримують можливість відображати невизначеності, що існують у вихідних даних, на вихід моделі. Як наслідок, після проведення формальних процедур логічного виведення вихід моделі стає інтервальним. У такому випадку перед розробником постає задача визначення правила або методики, за якими можливо побудувати інтервальну нечітку модель, що буде адекватно відображати предметну область. Для того щоб запропонувати основні напрями розв'язку цієї складної задачі, проаналізуємо переваги та недоліки використання інтервальних функцій належності на прикладах.

Приклад 1. *Інтервальне прогнозування часової послідовності за умови наявності невизначеностей.* Умови задачі такі: припустимо $x(t)$, $t = 1, 2, ..., N,$ – часова послідовність. Інтервальне прогнозування часової послідовності полягає у визначенні інтервального значення $\hat{X}(t+h) = [\hat{x}_l(t+h), \hat{x}_r(t+h)]$ (де h – крок прогнозування), в межах якого знаходитиметься майбутнє значення $x(t+h)$ на основі вікна p по-

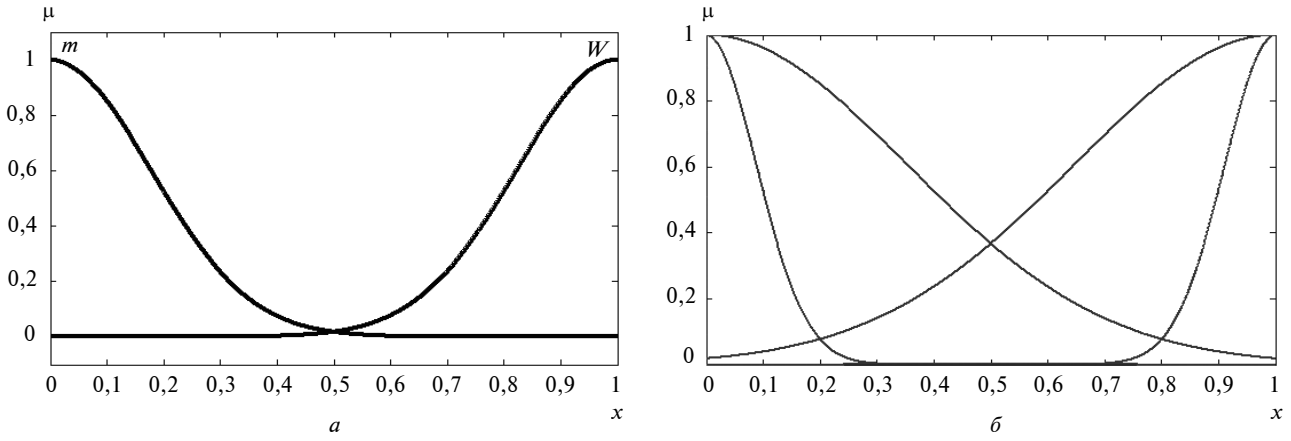

Рис. 2. Функція належності для змінної x: *а* – звичайна, *б* – інтервальна

передніх значень послідовності $x(t)$, $t=1,2,\ldots,N$, а саме: $x(t-p+1),\ldots,x(t)$.

Для розв'язання задачі інтервального прогнозування у такій постановці в [7] було запропоновано методику побудови множини різновходових нечітких моделей типу 2. Кожна з таких різновходових моделей є звичайною інтервальною нечіткою моделлю типу 2, яка містить базу правил, процедуру зведення до нечіткості, процедуру нечіткого логічного виведення та процедуру пониження типу. Структуру інтервальної нечіткої моделі типу 2 наведено на рис. 3.

Відповідно до цієї методики на базі множини інтервальних нечітких моделей побудована узагальнювальна інтервальна нечітка модель, що складається з множини t часткових різновходових моделей та блоку агрегації $\bigcap/\bigcup$, який виконує обчислення результуючого інтервального прогнозу. Як показано на рис. 4, у задачі вдалося істотно звузити область інтервального прогнозу. Отримані позитивні результати вказують на доцільність використання принципу множинності моделей [11] для пошуку інтервальної нечіткої моделі, яка буде адекватно відображати предметну область.

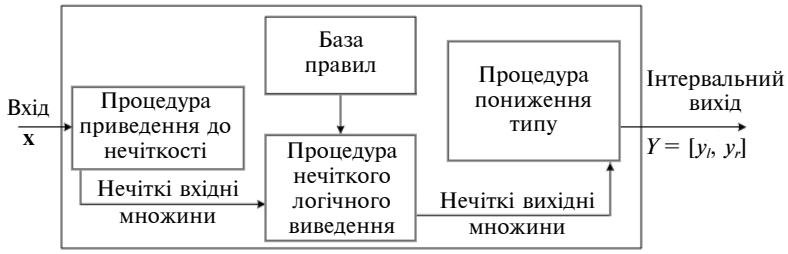

Рис. 3. Інтервальна нечітка модель типу 2

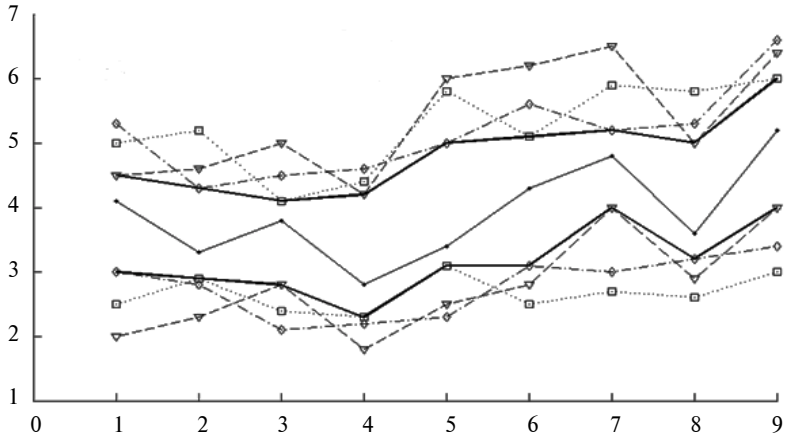

Рис. 4. Графічні результати обчислення інтервального прогнозу узагальнювальної інтервальної нечіткої моделі типу 2: — експериментальне значення; — інтервальний прогноз 1-ї часткової моделі; — інтервальний прогноз 2-ї часткової моделі; — інтервальний прогноз 3-ї часткової моделі; — інтервальний прогноз узагальнювальної моделі

Приклад 2. *Задача медичної діагностики.* В медичній діагностиці виникають ситуації, коли відома лише частина параметрів, які впливають на діагноз, або експериментальна вибірка містить пропуски. В такому випадку використання нечіткої моделі з інтервальними функціями належності є доцільним, оскільки різко збільшується невизначеність предметної області. Саме для діагностування ендокринного захворювання у випадку неповної вхідної інформації або наявності пропусків у експериментальній вибірці була побудована нечітка логічна система з інтервальними функціями належності [5]. Для побудови цієї системи використано такі знання про предметну область:

1) 44 вхідні змінні;

2) одна вихідна величина – висновок про відсутність або наявність гіпотиреозу з визначенням його ступеня важкості (від першого ступеня важкості до четвертого);

3) 370 експериментальних прикладів.

Експериментальні дослідження, які наведені в [5], показали, що за наявності пропусків у інтервальний вихід системи могли потрапити кілька діагнозів, а при збільшенні пропусків система видавала занадто широкий діапазон ступенів захворювання. Наведемо приклад функціонування системи зі значним розширенням інтервального виходу: [0,6734–2,7356], тобто в інтервал потрапляють кілька діагнозів (від 1-го ступеня важкості до 3-го включно). Це означає, що вихід моделі вказує на наявність захворювання, хоча ступінь його важкості невідомий.

Отже, моделі з інтервальними функціями належності залишаються адекватними предметній області й у випадку отримання як кінцевого результату достатньо широкого інтервального виходу, тому що хоча в інтервал і потрапляють кілька діагнозів, але вихід системи залишається в області правильного рішення.

Відзначимо, що в процесі розв'язку описаних вище задач можуть виникнути й недоліки, які пов'язані саме з використанням інтервальних функцій належності. Проаналізуємо ці недоліки. В задачі прогнозування

часових послідовностей погіршення результуючого прогнозу можливе у випадку відсутності в інтервальних часткових моделях перетину інтервальних прогнозів [7] (цей фрагмент зображено на рис. 5).

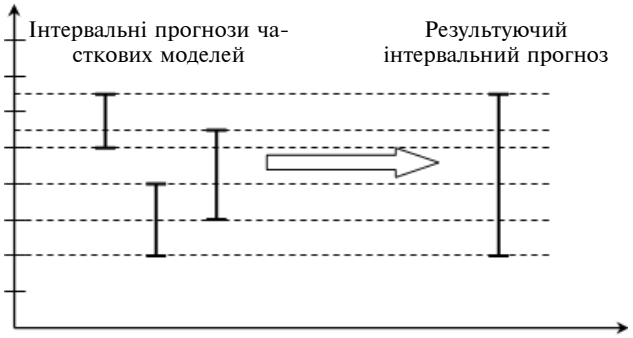

Рис. 5. Приклад обчислення результуючого інтервального прогнозу у випадку, коли перетин інтервальних прогнозів часткових моделей відсутній

Для іншого прикладу – задачі медичного діагностування – треба відзначити, що за наявності невизначеності побудована модель як кінцевий діагноз може показати занадто широкий діапазон ступенів захворювання, який не буде влаштовувати розробника.

Нарешті, наведемо приклад, де використання інтервальних функцій належності може привести до розширення інтервального виходу моделі, виходячи із самої постановки задачі.

Нехай існує багатозначна залежність y від фіксованого параметра x (рис. 6). Якщо при нечіткому моделюванні використовувати інтервальні функції належності, то як вихідну величину отримаємо достатньо широкий інтервал значень вихідної величини: $y = [0{,}34-0{,}73]$. Такий інтервал є незадовільним тому, що не відображає особливості вихідної залежності $y(x)$, значення якої розміщені достатньо нерівномірно на певному відрізку. При використанні тривимірних функцій належності як вихідну величину отримуємо розподіл значень вихідної величини $f(x)$, який можливо інтерпретувати лінгвістично, наприклад: "y приблизно дорівнює 0,55" (відповідний лінгвістичний терм "приблизно дорівнює 0,55" зображено на рис. 7).

Виходячи з поданих вище відомостей, запропонуємо методику, за допомогою якої можна проводити генерування нечітких моделей на основі нечітких множин типу 2 за експериментальними даними. Основні її кроки такі.

1. Вважаємо, що є експериментальна вибірка **X**, яка задана в умовах наявності невизначеності.

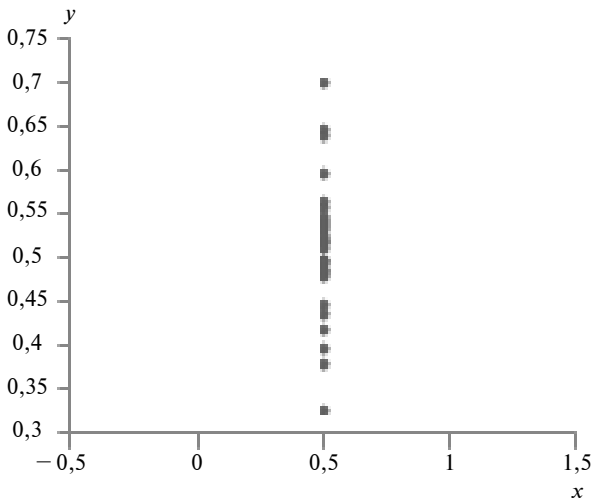

Рис. 6. Експериментальні значення

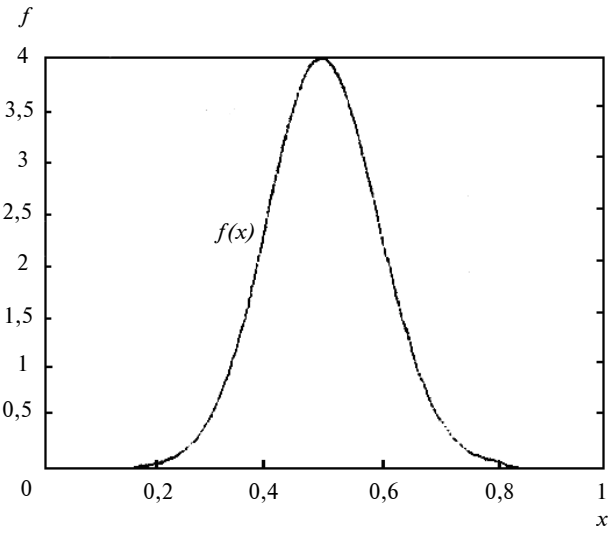

Рис. 7. Вихідна величина

2. Розробнику нечіткої моделі дамо право самостійно визначати розбиття вхідних параметрів на терми, а також за розробником залишається процедура формування бази правил із експериментальних даних та прийняття рішення про вид функції належності. Спочатку генерується нечітка модель типу 1, і за допомогою алгоритму, запропонованого в [5], відбувається розтягування звичайних функцій належності до інтервальних та будується інтервальна нечітка модель типу 2. У випадку отримання значного інтервалу на виході моделі, який не задовольняє умови поставленої задачі, розробнику треба повторити експериментальні дослідження або скорегувати вибірку вихідних даних за допомогою експерта і після цього перейти до нової генерації нечіткої моделі. Коли корекція експериментальної вибірки є неможливою або

не дає бажаних результатів, необхідно побудувати тривимірні функції належності для вхідних змінних і перейти до генерації нечіткої моделі типу 2, на виході якої буде нечітка множина, яку можна інтерпретувати лінгвістично. Для цього форму функції належності визначаємо як тривимірну функцію, аналітичний вигляд якої на основі гауссової функції для опису нечітких множин типу 2 було запропоновано в [10]:

$$\mu(x,\mu_1) = e - \frac{\left(\mu_1 - e^{-\frac{(x-m)^2}{2c_1^2}}\right)^2}{2c_2^2},$$

де μ_1 – додаткова змінна $\mu_1 \in [0,1]$ [1], m – зміщення, c_1, c_2 – розтяг по осях x і μ_1 відповідно. Для побудови функції такого типу за експериментальними даними параметр m є центром функції належності і визначається експериментальними даними, параметри c_1, c_2 визначаються розробником моделі та можуть бути покращені за допомогою генетичного алгоритму [8].

3. Генерування на базі експериментальних даних нечіткої моделі здійснюється за допомогою методу розв'язання задач логічного висновку для нечітких моделей із тривимірними функціями належності типу 2 [3, 10].

Зобразимо описані вище кроки за допомогою структури функціонування розширеної нечіткої моделі типу 2 (рис. 8).

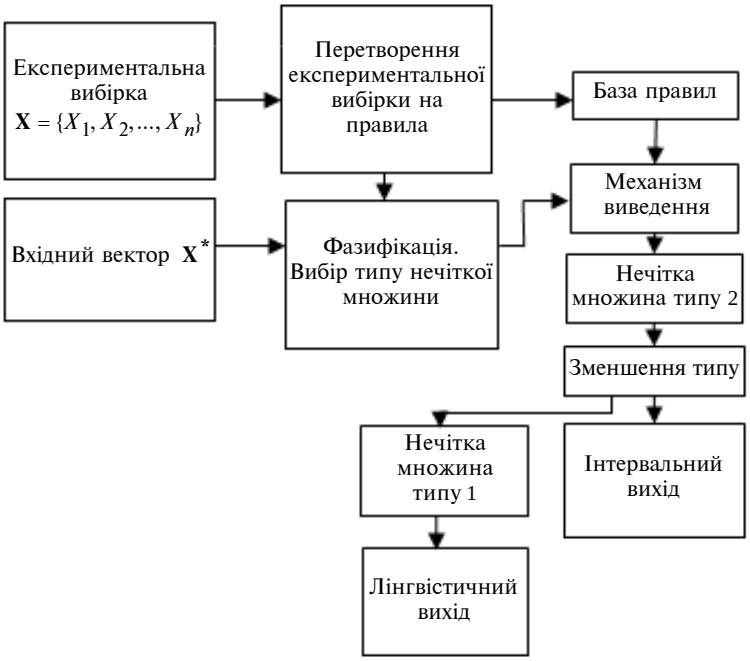

Рис. 8. Структура функціонування розширеної нечіткої моделі з нечітким виходом

Наведені дослідження дають змогу зробити висновок про доцільність використання інтервальних функцій належності в прикладних задачах. По-перше, використання нечітких моделей з інтервальними функціями належності порівняно зі звичайними типу 1 є доцільним тому, що вони дають можливість моделювати широкий діапазон невизначеностей, у тому числі невизначеності, пов'язані з пропусками в даних. По-друге, хоча такі моделі можуть давати широкий інтервальний вихід, завжди можливо встановити певні межі, в яких отримані результати в умовах невизначеності є задовільними. Коли інтервальний вихід моделі все ж таки не може бути розв'язком задачі або не задовольняє розробника, краще перейти до впровадження тривимірних функцій залежності та отримувати вихід моделі у вигляді лінгвістичної інтерпретації.

Висновки

Проведено дослідження можливостей використання інтервальних функцій належності типу 2 у системах на основі нечіткої логіки на прикладах розв'язання задачі прогнозування та медичної діагностики. Показано переваги використання інтервальних функцій належності в системах нечіткої логіки при побудові нечітких моделей із використанням принципу множинності моделей. Наведено дослідження доцільності використання тривимірних функцій належності типу 2 при моделюванні існуючих невизначеностей. Запропоновано методику генерування тривимірних функцій належності в системах нечіткої логіки, що генеруються з експериментальних даних в умовах невизначеності.

Перспективними напрямами розвитку виконаних досліджень є впровадження різного виду функцій належності типу 2 та дослідження впливу їх параметрів на можливості нечітких моделей для моделювання невизначеностей, що існують в експериментальних даних.

Список літератури

1. *Нариньяни А.С.* Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // Техническая кибернетика. – 1986. – № 5. – С. 3–28.
2. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets as a basis for theory of possibility // Fuzzy Sets and Systems 100 Suplements. – 1999. – P. 9–34.
3. *Mendel J.M., John R.I., Liu F.* Interval type-2 fuzzy logic systems made simple // *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* – 2006. – **14**, № 6. – P. 808–821.
4. *Борисов А.Н.* Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
5. *Кондратенко Н.Р., Зелінська Н.Б., Куземко С.М.* Нечіткі логічні системи з врахуванням пропусків в експериментальних даних // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2004. – № 5. – С. 37–41.
6. *Кондратенко Н.Р., Чеборака О.В.* Дослідження можливостей узагальнювальної інтервальної типу-2 нечіткої моделі для прогнозування часових послідовностей // Вісник Вінницького політехн. ін-ту. – 2008. – № 6. – С. 22–27.
7. *Кондратенко Н.Р., Чеборака О.В., Куземко С.М.* Прогнозування часових послідовностей з використанням різновходових нечітких моделей на основі інтервальних функцій належності // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 4. – С. 62–68.
8. *Кондратенко Н.Р., Чеборака О.В., Ткачук О.А.* Інтервальні нечіткі моделі типу-2 в задачах ідентифікації об'єктів з багатьма входами та виходами // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 3 (93). – С. 48–52.
9. *Кондратенко Н.Р., Куземко С.М.* Нечіткі логічні системи з використанням нечітких множин загального типу // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2004. – № 1. – С. 16–21.
10. *Zeng J., Liu Z.Q.* Type-2 fuzzy sets for pattern classifications: A review // Proc. IEEE Symposium FOCI, April 1–5, 2007, Honolulu, Hawaii. – Hawaii, 2007. – P. 193–200.
11. *Ивахненко А.Г.* Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – К.: Техніка, 1971. – 372 с.

References

1. A.C. Narinyani, "Underdetermination in the knowledge representation and processing system", *Technicheskaya Kibernetica*, no. 5, pp. 3–28, 1986 (in Russian).
2. L.A. Zadeh, "Fuzzy sets as a basis for theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems 100 Suplements*, pp. 9–34, 1999.
3. J.M. Mendel *et al.*, "Interval type-2 fuzzy logic systems made simple", IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 14, no. 6, pp. 808–821, 2006.
4. A.N. Borisov, *Decisions-Making Based on Fuzzy Models. Examples of Use.* Moscow, USSR: Mir, 1976, 167 p. (in Russian).
5. N.R. Kondratenko *et al.*, "Fuzzy logic systems with allowance for the blank in experimental data taken", *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 5, pp. 37–41, 2004 (in Ukrainian).
6. N.R. Kondratenko and O.V. Cheboraka, "Investigation of the capabilities of the aggregation interval type-2 fuzzy model for time series prediction", *Visnik Vinnitskogo Politehnichnogo Instituty*, no. 5, pp. 22–27, 2008 (in Ukrainian).
7. N.R. Kondratenko *et al.*, "Time series prediction using fuzzy models with different input number based on the interval belonging function", *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 4, pp. 62–68, 2007 (in Ukrainian).
8. N.R. Kondratenko *et al.*, "Interval type-2 fuzzy models concerning identification problems of multiple-input multiple output objects", *Sistemy Obrobky Informatsiyi*, no. 3, pp. 48–52, 2011 (in Ukrainian).
9. N.R. Kondratenko and C.M. Kuzemko, "Fuzzy logic systems with the use of general type fuzzy sets", *Naukovi visti NTUU KPI*, no. 1, pp. 16–21, 2004 (in Ukrainian).
10. J. Zeng and Z.Q. Liu, "Type-2 fuzzy sets for pattern classifications: A review", in *Proc. of IEEE Symposium FOCI*, Honolulu, Hawaii, April 1–5, 2007, pp. 193–200.
11. A.G. Ivahnenko, *Heuristic Self-Organization Systems in Technical Cybernetics.* Kyiv, USSR: Technika, 1971, 372 p. (in Russian).

Н.Р. Кондратенко

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ТИПУ 2 В СИСТЕМАХ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Проблематика. Побудова моделей прийняття рішень для задач, що слабо формалізуються та оперують з експертною інформацією, є можливим завдяки використанню теорії нечітких множин та побудові систем нечіткої логіки. Використання апарату теорії нечітких множин для формалізації знань автоматично ставить перед дослідником задачу вибору типу нечіткої множини для побудови функцій належності та нечіткої моделі, яка буде відповідати вибраному типу нечіткої множини. Тому задача дослідження можливостей функцій належності типу 2 у системах нечіткої логіки є актуальною.

Мета дослідження. Розширення можливостей систем нечіткої логіки за рахунок використання функцій належності типу 2.

Методика реалізації. Методику досліджень спрямуємо на використання інтервальних функцій належності та тривимірних типу 2 у задачах прогнозування і медичної діагностики. Задачу дослідження можливостей інтервальних функцій належності, які будуються з експериментальних даних, розглянемо в двох аспектах: перший – про адекватність відображення інтервальними функціями належності невизначеностей, що існують у вихідних даних, і другий – про те, які переваги чи недоліки має інтервальний вихід нечіткої моделі з інтервальними функціями належності.

Результати дослідження. Проведено дослідження можливостей інтервальних функцій належності типу 2 у системах нечіткої логіки на прикладах розв'язання задачі прогнозування та медичної діагностики. Показано доцільність побудови тривимірних функцій належності типу 2 з експериментальних даних.

Висновки. Показано переваги використання інтервальних функцій належності в системах нечіткої логіки при побудові нечітких моделей з використанням принципу множинності моделей. Наведено дослідження доцільності використання тривимірних функцій належності типу 2 при моделювання існуючих невизначеностей. Запропоновано методику генерування тривимірних функцій належності в системах нечіткої логіки, що генеруються з експериментальних даних.

Ключові слова: експериментальні дані; функції належності типу 2; інтервальна нечітка модель; тривимірна функція належності.

Н.Р. Кондратенко

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТИПА 2 В СИСТЕМАХ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Проблематика. Построение моделей принятия решений для задач, которые слабо формализуются и оперируют с экспертной информацией, стало возможным благодаря использованию теории нечетких множеств и построению систем нечеткой логики. Использование аппарата теории нечетких множеств для формализации знаний автоматически ставит перед исследователем задачу выбора типа нечеткого множества для построения функций принадлежности и нечеткой модели, которая будет соответствовать выбранному типу нечеткого множества. Поэтому задача исследования возможностей функций принадлежности типа 2 в системах нечеткой логики является актуальной.

Цель исследования. Расширение возможностей систем нечеткой логики благодаря использованию функций принадлежности типа 2.

Методика реализации. Методика реализации направлена на использование интервальных функций принадлежности и трехмерных типа 2 в задачах прогнозирования и медицинской диагностики. Задачу исследования возможностей интервальных функций принадлежности, которые строятся на основе экспериментальных данных, рассмотрим в двух аспектах: первый – об адекватности отображения интервальными функциями принадлежности неопределенностей, которые существуют в исходных данных, и второй – о том, какие преимущества или недостатки имеет интервальный выход нечеткой модели с интервальными функциями принадлежности.

Результаты исследования. Исследованы возможности интервальных функций принадлежности типа 2 в системах нечеткой логики на примерах решения задачи прогнозирования и медицинской диагностики. Показана целесообразность построения трехмерных функций принадлежности типа 2 на основе экспериментальных данных.

Выводы. Показаны преимущества использования интервальных функций принадлежности в системах нечеткой логики при построении нечетких моделей с использованием принципа множественности моделей. Приведены исследования целесообразности использования трехмерных функций принадлежности типа 2 для моделирования существующих неопределенностей. Предложена методика построения трехмерных функций принадлежности в системах нечеткой логики, которые генерируются на основе экспериментальных данных.

Ключевые слова: экспериментальные данные; функция принадлежности типа 2; интервальная нечеткая модель типа 2; трехмерная функция принадлежности.

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

Надійшла до редакції
15 січня 2016 року