УДК 004.[6+8+94] **Шушура О.М.**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ БАГАТЬОХ ЗМІННИХ ПРИ ПОБУДОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ

В роботі на основі аналізу та узагальнення існуючих типів функцій належності одного аргументу пропонується аналітичний вид для набору функцій належності декількох аргументів, наведені приклади їх графіків. Запропоновано підходи до автоматизації завдання функцій належності багатьох змінних, в тому числі на основі обробки статистичної інформації щодо діяльності інформаційної системи управління. Результати роботи можуть бути використані при розробці інформаційних технологій для нечіткого моделювання та управління.

***Ключові слова*:** інформаційні технології, нечітке управління, функції належності багатьох змінних.

Вступ

Застосування інформаційних технологій для автоматизації розв’язку задач управління різноманітними об’єктами отримує дедалі більшу популярність. Основи застосування нечіткої логіки в задачах управління закладені в роботах Л. Заде, Е. Мамдані, М. Сугено, Т. Терано, А. Кофмана, Р.Ягера і ін [1-3]. Існуючі методи нечіткого управління в основному передбачають застосування функцій належності однієї змінної для термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних блоку нечіткого управління. Такий підхід використовує просте і наочне представлення функцій приналежності, а також дозволяє застосовувати нескладні обчислювальні процедури при проведенні всіх етапів нечіткого виведення. Однак при використанні функцій належності одного аргументу втрачається взаємозв'язок між керуючими змінними, який обумовлено наявністю нелінійних обмежень на управління. Крім того, лінгвістичні змінні можуть мати досить складну фізичну природу, яка вимагає при обчисленні їх значень використовувати кілька пов'язаних величин. Для завдань управління системами, що характеризуються складним набором зв'язків між змінними, запропоновано використовувати метод нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів [4]. Використання цього методу вимагає розробки підходів до класифікації та завдання функцій приналежності кількох аргументів.

Основна частина

Метою даної роботи є розробка підходів до автоматизації формування функцій належності багатьох аргументів при побудові інформаційних технологій для нечіткого управління. Для досягнення поставленої мети в роботі проведено огляд існуючих видів функцій приналежності однієї змінної та побудовано класифікацію і формалізовано в аналітичному вигляді функції належності кількох змінних для використання в задачах нечіткого управління складними системами, запропоновано підходи до автоматизації побудови функцій приналежності багатьох змінних на основі обробки статистичної інформації щодо функціонування об’єкту управління.

Питання побудови різного виду функцій належності розглянуті в роботах А.П. Ротштейна, А.В. Леоненкова, С.Д. Штовба та інших вчених [5-7]. Для функцій приналежності однієї змінної виділені наступні класи [3]:

- кусочно-лінійні функції;
- Z-образні і S-образні функції;
- П-подібні функції.

Серед кусочно-лінійних функцій найбільш часто використовуються так звані «трикутна» і «трапецієвидна» функції належності. Перша з цих функцій зазвичай використовується для формалізації невизначеностей типу «приблизно дорівнює», «середнє

© С.В. Козелков, К.С. Козелкова, Н.В. Коршун, К.П. Сторчак, 2018

значення», а друга застосовується для подання невизначеності типу «розташоване в інтервалі».

Так звані Z-образні і S-образні функції отримали свою назву через форми відповідних кривих. У сімействі Z-образних функцій, яке застосовується для формалізації невизначеності типу «мала кількість», «невелике значення», виділяється сплайн-функція і лінійна Z-образна функція. Функції класу S-образних формалізують невизначеність типу «велика кількість» або «значна величина». Серед цих функцій також виділяється сплайн-функція і лінійна S-образна функція. Крім того, застосовується сигмоїдальна функція, параметри якої дозволяють представити її у вигляді як Z-образної, так і S-образної функції.

До П-образних функцій відноситься цілий ряд кривих, які за своєю формою нагадують дзвін, згладжену трапецію або букву «П». Серед представників даного класу виділяють колоколообразну функцію і гаусів розподіл. Вони дозволяють задати опуклі нечіткі множини з певним носієм і ядром.

На основі особливостей формалізації невизначеностей функціями належності однієї змінної проведено формування основних типів функцій належності кількох аргументів.

Для моделювання невизначеностей виду «приблизно дорівнює» або «середнє значення» в багатовимірному просторі пропонується використовувати конусоподібну або пірамідальну функцію належності.

Конусоподібна функція приналежності задається наступним чином:

$$\mu(\bar{x}) = \begin{cases} 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \frac{(x_j - x_j^o)^2}{(h_j)^2}}, \textit{якщо} \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \frac{(x_j - x_j^o)^2}{(h_j)^2}} < 1, \\ 0, \textit{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

де x_j – значення j-ої компоненти вектора змінних; x_j^o – j-е значення центру основи конуса; h_j – ненульові числові параметри, що задають масштабування за координатами вектора $\bar{x}$; n - кількість змінних в векторі $\bar{x}$.

Центр конуса відповідає вектору значень, якому приблизно дорівнює величина, що моделюється. Приклад побудови конусоподібної функції належності двох аргументів з координатами центру (1,1) і одиничними значеннями параметрів h_j представлений на рисунку 1.

Конусоподібна функція визначає рівномірну зміну показника належності при віддаленні від центру конуса відповідно до параметрів масштабування.

Пірамідальна функція належності в багатомірному просторі може бути визначена так:

$$\mu(\bar{x}) = \max\left\{(1 - \sum_{j=1}^{n}(\frac{\left|x_j - x_j^o\right|}{h_j}); 0\right\}, \quad (2)$$

де зміст змінних відповідає формулі (1), $x_j \in (x_j^o - h_j, x_j^o + h_j)$.

© О.М. Шушура, 2018

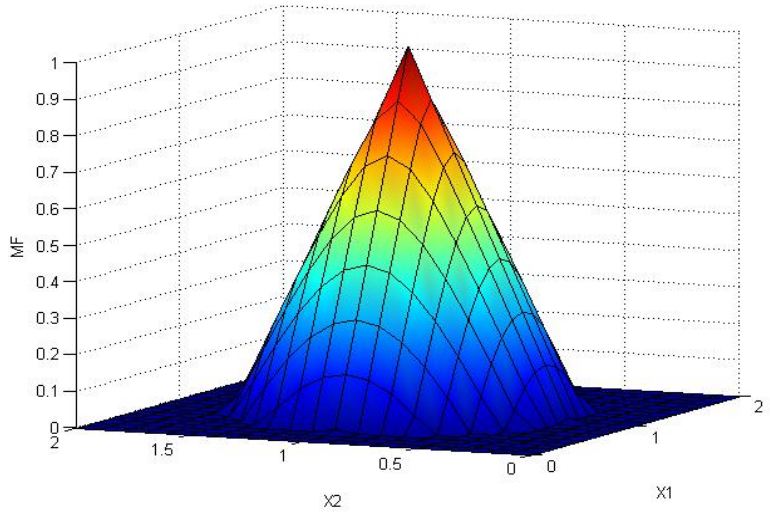

Рис. 1. Приклад конусоподібної функції належності

На відміну від конусоподібної функції, пірамідальна функція задає більш високе значення належності на лініях, що проходять через центр основи піраміди перпендикулярно осям, які відповідають множині точок, одна з координат яких точно дорівнює значенням, що моделюються.

Узагальнення ідеї трапецієподібної функція належності для багатовимірного простору призводить до необхідності побудови функції, яка описує належність точки деякій області (множині). Тобто невизначеність виду «розташоване в інтервалі» транслюється в багатомірному випадку в невизначеність «розташоване в області». Даного типу невизначеності є досить поширеними при описі обмежень в задачах управління. Розглянемо узагальнену функцію належності точки області.

Нехай область описується нерівністю виду:

$$f(\overline{x}) \le 0, \tag{3}$$

де $\overline{x}$ - вектор змінних, що описує предметну область.

Тоді функція належності, що моделює невизначеність «розташоване в області», може бути представлена у вигляді:

$$\mu(\overline{x}) = \begin{cases} 1, \ якщо\ f(\overline{x}) \le 0, \\ 1-\lambda \cdot f(\overline{x}), \ якщо\ \ 0 < 1-\lambda \cdot f(\overline{x}) < 1, \\ 0, \ інакше \end{cases} \tag{4}$$

де λ - позитивний параметр, що задає розмір «перехідної» області для конкретного виду кривої.

У разі, якщо область задана рівністю або суворою нерівністю, функція належності може бути отримана аналогічним чином, використовуючи поняття модуля або введенням додаткового параметра малої величини.

Для областей, заданих системою нерівностей виду:

$$\begin{cases} f_1(\overline{x}) \le 0 \\ \dots \\ f_m(\overline{x}) \le 0 \end{cases}, \tag{5}$$

функція належності може бути отримана шляхом застосування нечіткої логічної операції - кон'юнкції, реалізованої, наприклад, у вигляді операції множення.

© О.М. Шушура, 2018

Аналогом Z-образних і S-образних функцій в багатовимірному випадку може виступати узагальнена сигмоїдальна функція. Узагальнена сигмоїдальна функція може застосовуватися для моделювання невизначеностей в крайніх точках розглянутої області.

Колоколообразна і гаусова функції належності також можуть бути узагальнені для використання в n-вимірному просторі.

Визначення виду функції належності при побудові нечіткої моделі процесу керування є складною задачею, особливо у випадку використання функцій належності багатьох змінних. Не завжди можна апріорно визначити аналітичний вид функції належності, тому в деяких випадках необхідно використовувати також і статистичні дані. На рисунку 2 показана схема автоматизації формування функції належності багатьох змінних на основі експериментальних даних щодо функціонування об'єкту управління.

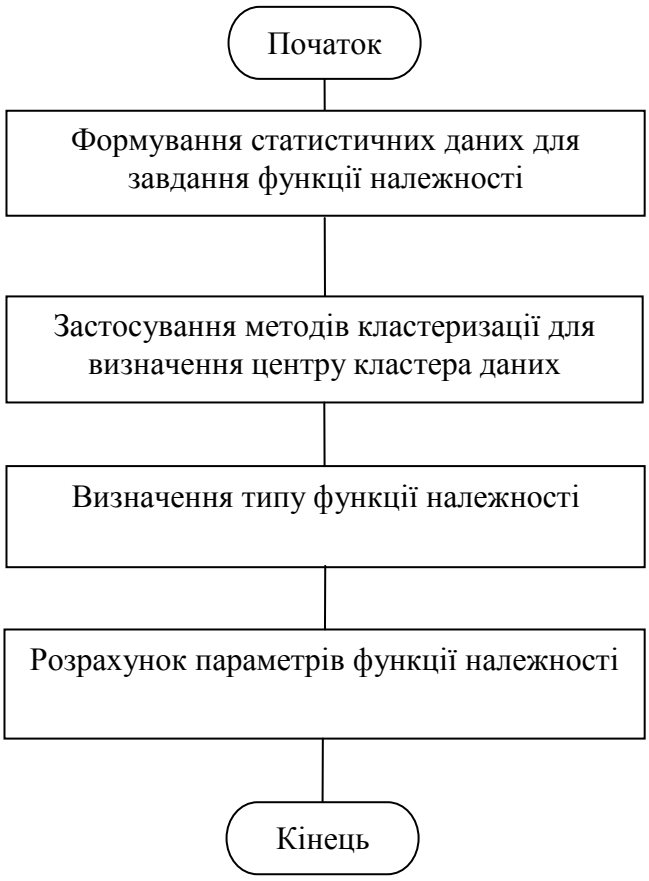

Рисунок 2 – Етапи автоматизації формування функцій належності

Як видно з рисунку 2, на першому етапі відбувається формування даних, характерних для універсальної множини функції належності. Потім необхідно застосувати методи кластеризації для формування таблично-заданої функції належності багатьох змінних. У якості метода кластеризації можна використати метод с-середніх [8].

Отримана таблично-задана функція аналізується експертом для визначення типу функції. Для функцій належності з невеликою кількістю аргументів бажано застосовувати побудову графіку самої функції або її проекцій. Для обраного типу функції здійснюється пошук параметрів. З метою пошуку параметрів може бути використаний метод найменших квадратів або метод Монте-Карло чи методи багатомірної інтерполяції. Відмінність між таблично-заданою функцією та аналітичною функцією необхідно оцінювати за допомогою парних критерії похибки.

© О.М. Шушура, 2018

Висновки

Таким чином, на основі узагальнення найбільш поширених функцій належності одного аргументу розроблено аналітичний вид відповідних функцій приналежності багатьох аргументів. Спираючись на класифікацію функцій належності багатьох аргументів, представлено основні етапи автоматизації їх визначення на основі статистичних даних функціонування об'єкта управління. Результати роботи можуть бути використані в задачах нечіткого управління системами зі складною структурою зв'язків між змінними і в інформаційних технологіях нечіткого моделювання. У подальших дослідженнях необхідно провести аналіз особливостей застосування представлених функцій приналежності багатьох аргументів, розробити структури даних і алгоритми інформаційних технологій для автоматизації нечіткого управління

Список використаних джерел:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – PP. 338–353.
2. An experiment in linguistic yn thesis with a fuzzy logic controller. / Mamdani E. H., Assilian S. // International Journal of Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – PP. 1–13.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ- Петербург, 2005. – 736 с.
4. Шушура А.Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // Штучний інтелект. – 2010. – №1. – С. 122-128.
5. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / С. Д. Штовба – 2001. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/ fuzzylogic/book1/index.php.
6. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320с.
7. Халов Е.А. Систематический обзор четких одномерных функций принадлежности интеллектуальных систем / Е.А. Халов. – Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – №3. – С. 60-74.
8. Шушура А.Н. Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // Міжнародний науково-технічний журнал "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". – 2013. – №1(26). – С. 39-44.

Надійшла: 10.05.2018 Рецензент: д.т.н. Вишнівський В.В.

© О.М. Шушура, 2018