

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У даній роботі проаналізовано особливості роботи алгоритмів нечіткого логічного виведення.

**Ключові слова:** нечітка логіка, база знань, алгоритм Мамдані, алгоритм Сугено-Такагі-Канга.

### Abstract

In this paper have been analyzed some features of fuzzy inference algorithms.

**Keywords:** fuzzy logic, knowledge base, Mamdani algorithm, Sugeno-Takagi-Kang algorithm.

### Вступ

Математична теорія нечітких множин дозволяє описувати нечіткі поняття і знання, оперувати цими описами і робити нечіткі висновки. У тих випадках, коли модель базується на лінгвістичних висловлюваннях, то основним інструментом побудови таких моделей є методи нечіткої логіки. Використання лінгвістичних правил "Якщо – то" дозволяє знизити обсяг експериментальних даних для успішної ідентифікації залежності. Експертні знання легко ввести в нечіткі системи, підвищивши зручність їх сприйняття людиною [1]. Метою роботи є аналіз особливостей роботи алгоритмів нечіткого логічного виведення.

### Результати дослідження

У нечіткій базі знань Мамдані антецеденти і консеквенти задано нечіткими множинами. Спочатку необхідно задати правила нечіткої бази знань у форматі [1-3]:

$$\text{Якщо } (x_1 = \tilde{a}_{1j} \text{ та } x_2 = \tilde{a}_{2j} \text{ та } \dots \text{ та } x_m = \tilde{a}_{mj} \text{ з вагою } w_j), \text{ то } y = \tilde{d}_j, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де  $\tilde{a}_{ij}$  – антецеденти;  $\tilde{d}_j$  – консеквент;  $n$  – кількість аргументів;  $N$  – кількість правил з вагою  $w$ .

Результатом виведення за  $j$ -им правилом бази знань є така нечітка множина:

$$\tilde{d}_j^* = \text{imp}(\tilde{d}_j, \mu_j(X^*)), \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де  $\text{imp}$  – імплікація (операція мінімуму);  $\tilde{d}_j$  – нечітке значення, яке вибирається з терм-множини;  $X^*$  – поточний вхідний вектор;  $\mu_j(X^*)$  – ступінь виконання антецедента  $j$ -ого правила.

Результат виведення за усіма правилами знаходять агрегуванням нечітких множин:

$$\tilde{y}^* = \text{agg}(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^*), \quad (3)$$

де  $\text{agg}$  – агрегування нечітких множин (операція максимуму).

Чітке значення виходу  $y^*$ , яке відповідає вхідному вектору  $X^*$ , визначається через дефаззифікацію нечіткої множини  $\tilde{y}^*$ . Найбільш поширені методи дефаззифікації – центроїд, медіана, центр

максимумів [2]. Для навчання системи нечіткого логічного виведення з даною базою знань застосовують різноманітні методи оптимізації, наприклад ройові алгоритми [1].

База знань Сугено-Такагі-Кангі аналогічна до бази знань Мамдані за винятком консеквентів правил, які задаються не нечіткими термами, а лінійною функцією від входів, тобто дефаззіфікатор не використовується. Нечіткий логічний висновок за алгоритмом Сугено виконується по нечіткій базі знань, яку записують у такому форматі [1, 4]:

$$\begin{aligned} & \text{Якщо } (x_1 = \tilde{a}_{1j} \text{ та } x_2 = \tilde{a}_{2j} \text{ та } \dots \text{ та } x_m = \tilde{a}_{mj} \text{ з вагою } w_j), \\ & \text{то } y = f_j(x_1, \dots, x_m), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\tilde{a}_{ij}$  – антецеденти (посилки логічного правила);  $y_j = f_j(x_1, \dots, x_m)$  – консеквент, який задано

поліномом типу  $y_j = b_{0j} + \sum_{i=1}^m b_{ij} x_{ij}$ ;  $b_{ij}$  – коефіцієнти функцій, які знаходять у процесі навчання

системи,  $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}$ ;  $m$  – кількість аргументів;  $N$  – кількість правил з вагою  $w$ .

Результат виведення за  $j$ -им правилом бази знань знаходиться за формулою (2). Далі обчислюють значення виходів з використанням функцій індивідуальних виходів. Для розрахунку виходу системи можна використати середньозважене значення.

Таким чином, база знань Сугено є гібридною, оскільки її правила містять посилки у вигляді нечітких множин та висновки у вигляді чіткої лінійної функції. Для її навчання доцільно використовувати алгоритм гратчастого розбиття, який представлений у *MatLab* функцією *anfis* [1].

### Висновки

У роботі проведено короткий огляд алгоритмів нечіткого логічного виведення. Представлено основні ідеї, які можна реалізувати у програмному забезпеченні для ідентифікації залежності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. – №2 (2). – С. 9-15.
2. Штовба С.Д. Дослідження навчання компактних нечітких баз знань типу Мамдані / С.Д. Штовба, В.В. Мазуренко // Штучний інтелект. – 2011. – № 4. – С. 521-529.
3. Mamdani E.H. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / E.H. Mamdani, S. Assilian // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – V. 7. – № 1. – P. 1-13.
4. Takagi T. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – V. 15. – № 1. – P. 116-132.

**Солонина Олександр Миколайович** — студент групи ІАКІТ-20м, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Будженко Віталій Миколайович** — студент групи АКІТ-19мс, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Присяжнюк Василь Васильович** — ст. викл. кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Іванов Юрій Юрійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Yura881990@i.ua.

**Solonina Alexander M.** — student, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Budzenko Vitalii M.** — student, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Prisyazhnyuk Vasil V.** — Senior Lecturer, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Ivanov Yuriu Yu.** — Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Yura881990@i.ua.