

ОПРАЦЮВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

УДК 536

ПОХИБКИ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ, ЯКІ ПОБУДОВАНІ ЗА МЕТОДАМИ SUGENO ТА MAMDANI

Ї Микитин Марта, Стадник Богдан, 2011

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто можливість створення інтелектуальних вимірювальних приладів з використанням принципу технології «plug and play», робота яких основана на математичному апараті нечіткої логіки. Досліджено відтворення функціональних залежностей методами нечіткої логіки.

Рассмотрена возможность создания интеллектуальных измерительных приборов с использованием технологии «plug and play», работа которых базируются на основе математического аппарата нечеткой логики. Исследовано воссоздание функциональных зависимостей методами нечеткой логики.

It was considered the opportunity of making intelligent measurement devices using the technology of «plug and play», whose work is based on mathematical fuzzy logic. It was performed the investigation of recreating the functional dependences of fuzzy logic methods.

Постановка проблеми. Апаратні засоби «plug and play» широко використовують у комп'ютерних технологіях. Основна особливість приладів (модулів), що працюють за таким принципом, полягає в тому, що практично вся інформація про нього визначена в самому приладі, наприклад, принцип його роботи, необхідне програмне забезпечення, драйвери тощо. Безперечною перевагою таких приладів є їхня автономність, незалежність працездатності, основних функціональних і технічних параметрів від знань оператора. Під час увімкнення такий прилад самостійно встановлює потрібне програмне забезпечення, конфігурацію апаратної частини, залежно від можливостей основної плати, і, у найгіршому випадку, може попросити оператора вказати шлях до програмного забезпечення, яке зазвичай розташоване на додатковому інсталяційному диску. Використання технології «plug and play» у вимірювальній техніці дає змогу створити інтелектуальні вимірювальні прилади з новими можливостями. Алгоритми роботи таких засобів вимірювання можуть ґрунтуватися на математичному апараті й методах нечіткої логіки [1].

Мета роботи – дослідити похибку відтворення лінійної і нелінійної функцій залежно від застосовува-

ного методу нечіткого виведення (метод Sugeno та метод Mamdani), а також від параметрів цього методу.

Структурна схема системи "вимірювальний прилад – об'єкт вимірювання". На рис. 1 наведено структурну схему системи "вимірювальний прилад – об'єкт вимірювання". Як вимірювальний засіб використано термометр, що працює за принципом технології «plug and play», обладнаний певним інтерфейсом зв'язку з персональним комп'ютером (наприклад, COM, USB тощо) і має засоби управління джерелами потужності (наприклад, комутувальні реле, тиристори тощо).

Для під'єднання термометра до об'єкта вимірювання можуть застосовуватися як стандартні термоперетворювачі, які використовують на об'єкті, так і термоперетворювачі, що входять у комплект термометра. Для термоперетворювачів, встановлених на об'єкті, необхідно додатково вказати в програмному середовищі термометра їх основні характеристики. Термометр може виконувати тестові вимірювання для визначення властивостей об'єкта, встановлювати режим вимірювання, здійснювати математичне і статистичне опрацювання результатів вимірювання тощо.

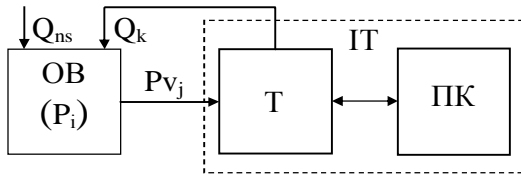


Рис. 1. Структурна схема системи "вимірювальний прилад – об'єкт вимірювання": *OB* – об'єкт вимірювання; *Т* – термометр; *IT* – інтелектуальний термометр; *ПК* – персональний комп'ютер; P_i – параметри об'єкта; P_{v_j} – параметри об'єкта, які вимірюються; Q_k – фактори, які впливають на об'єкт дослідження, якими може керувати вимірювальний прилад; Q_{ns} – зовнішні впливні фактори

Якщо прилад призначений для керування певним технологічним процесом, залежно від заданих параметрів процесу, він може визначати оптимальний режим підтримки параметрів технологічного процесу без участі оператора. Роль оператора зводиться лише до під'єднання термометра і встановлення параметрів технологічного процесу. Прилад може виконувати вимірювання декількох параметрів об'єкта, а також, залежно від заданого алгоритму, змінювати і підтримувати у певних межах один або декілька технологічних параметрів. У загальному випадку вимірювані сигнали є функцією впливних чинників і параметрів об'єкта. Для n вимірюваних сигналів можна записати систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_{v_0} = F_0(Q_k, Q_{ns}, P_i) \\ P_{v_1} = F_1(Q_k, Q_{ns}, P_i) \\ \mathbf{M} \\ P_{v_j} = F_j(Q_k, Q_{ns}, P_i) \\ \mathbf{M} \\ P_{v_{n-1}} = F_{n-1}(Q_k, Q_{ns}, P_i) \end{cases} \quad (1)$$

Функціональна залежність може мати складний характер. Тому досліджено можливості відтворення функціональних залежностей методами нечіткої логіки. Розглянуто два методи, основані на алгоритмі Mamdani [2] й алгоритмі Sugeno [3]. Ці алгоритми дають змогу реалізувати математичні моделі фізичних процесів у вигляді системи нечітких логічних правил. Крім того, досліджено залежність похибки відтворення лінійної і нелінійної функцій від застосованого методу нечіткого виведення та його параметрів.

Дослідження похибки алгоритмів, побудованих за методами Mamdani та Sugeno. Під час вивчення методу Mamdani для вхідного і вихідного сигналів

використовувалася однакова кількість функцій приналежності у формі рівнобедреного трикутника, метод мінімуму за вхідними сигналами, а вихідний сигнал розраховано як середньозважене максимальних значень за кожним із правил. На рис. 2, а зображено лінійну функціональну залежність (графік $f_1(x)$) і її відтворення методом Mamdani (графік $f_2(x)$) з використанням п'яти трикутних функцій приналежності.

На рис. 2, б зображено залежність відносної похибки відтворення лінійної функції методом Mamdani від значення аргументу x , розрахованої за формулою:

$$df(x) = \frac{f_1(x) - f_2(x)}{f_1(x)} \cdot 100 \quad (2)$$

де $f_1(x)$ – значення лінійної функції за аргументу x ; $f_2(x)$ – значення функції, відтвореної методом Mamdani.

Відносна похибка відтворення лінійної функції методом Mamdani практично не перевищує 10 % (рис. 2, б). Максимум похибки спостерігається на початку і в кінці інтервалу значень аргументу x . У середині діапазону відносна похибка не перевищує 1 %.

На рис. 3 наведено результати дослідження відтворення лінійної функції методом Mamdani з використанням тринадцяти функцій приналежності. У всьому діапазоні значень аргументу x відносна похибка практично не перевищує 3 % (рис. 3, б). Як і для попереднього випадку, максимум похибки спостерігається на початку і в кінці інтервалу значень аргументу x . Для переважної кількості значень аргументу відносна похибка не перевищує 0,3 %. Як бачимо, збільшення кількості функцій приналежності призводить до зменшення значення відносної похибки відтворення лінійної функції. Крім того, розширюється діапазон значень аргументу, в якому маємо менші значення похибки порівняно з початком та кінцем діапазону. Так, для п'яти функцій приналежності (рис. 2, б) – це діапазон значень x приблизно від 250 до 350. А для тринадцяти функцій приналежності (рис. 3, б) – від 215 до 385.

На рис. 4, а наведено результати досліджень відтворення нелінійної функціональної залежності (графік $f_1(x)$) і її відтворення методом Mamdani (графік $f_2(x)$) з використанням п'яти трикутних функцій приналежності. Максимум відносної похибки відтворення нелінійної функції спостерігається на початку діапазону значень аргументу x (рис. 4, б). У діапазоні значень аргументу від 200 до 400 відносна похибка не перевищує 25 %. Порівнявши результати

відтворення лінійної (рис. 2) та нелінійної (рис. 4) функціональних залежностей методом Mamdani, зазначимо, що похибка відтворення нелінійної залеж-

ності набагато більша. Так, у всьому діапазоні x спостерігаються максимуми похибки, де вона зростає приблизно у 20 разів.

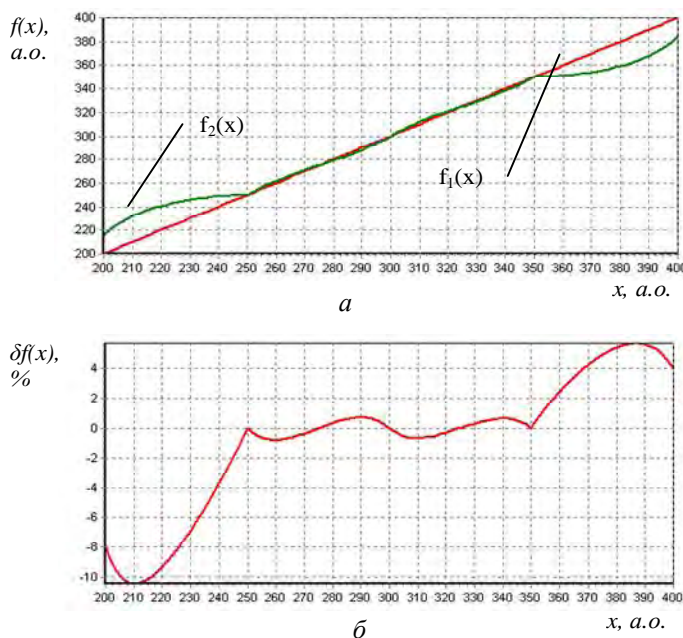


Рис. 2. Відтворення лінійної залежності методом Mamdani з використанням п'яти трикутних функцій приналежності

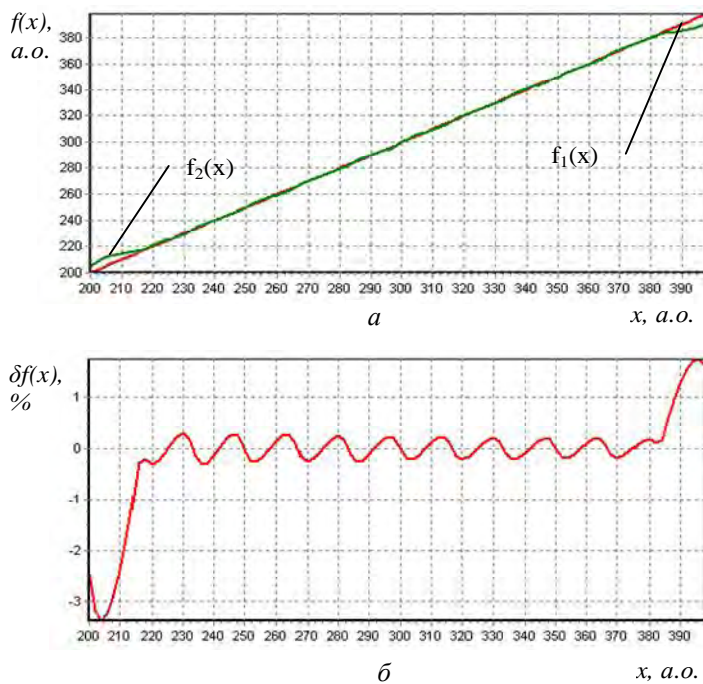


Рис. 3. Відтворення лінійної залежності методом Mamdani з використанням тринадцяти трикутних функцій приналежності

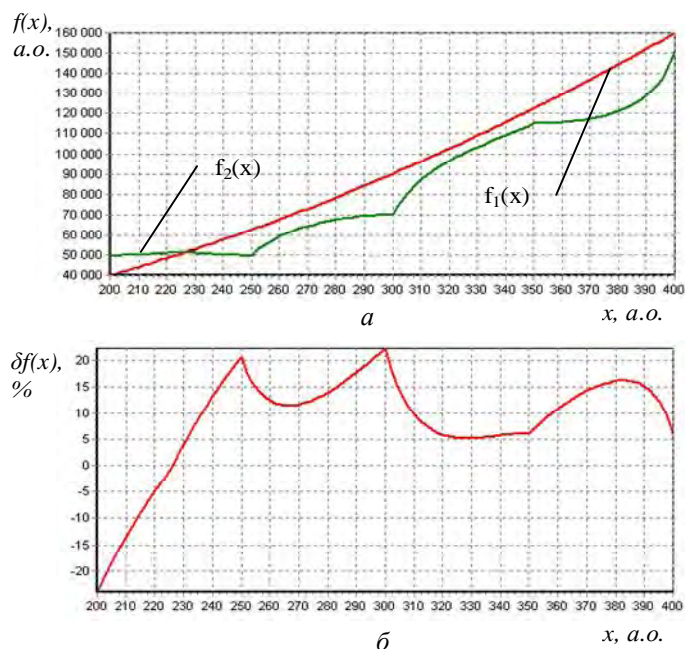


Рис. 4. Відтворення нелінійної залежності методом Mamdani з використанням п'яти трикутних функцій приналежності

Особливістю методу Sugeno є те, що можна використати будь-які функціональні залежності й середньозважене їх значень за виходом, а за входом, як і в методі Mamdani, – трикутні функції приналежності та метод мінімуму. Дослідимо відтворення лінійної та нелінійної функцій методом Sugeno для п'яти та тринадцяти функцій приналежності за входом. У двох випадках похибка відтворення, розрахована за виразом (2), практично дорівнює нулеві. Тому, якщо функція перетворення вимірювального засобу відома, оптимально застосовувати метод Sugeno, що дає змогу мінімізувати похибку вимірювання й/або мінімізувати похибку прийняття рішення.

Дослідження похибки методу Sugeno залежно від похибки вхідних даних. Під час вимірювань значення вимірюваної величини завжди отримують з певною похибкою. Тому, якщо такі результати вимірювання надалі використовують у алгоритмах нечіткої логіки, то це може спричинити появу додаткової похибки. Зважаючи на вищесказане, досліджено похибку методу Sugeno залежно від похибки вхідних даних.

Початково задано кількість точок дослідження m на осі x , початкове x_{\min} та кінцеве x_{\max} значення, розраховано крок зміни Δx :

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m},$$

номінальні значення $xnom_j$:

$$xnom_j = x_{\min} + \Delta x \cdot j, \\ j = 0 \dots m - 1$$

та для кожного значення $xnom_j$ – масив n випадкових значень x_{ji} з певною відносною похибкою $dxnom$:

$$x_{ji} = xnom_j + (xnom_j \cdot dxnom / 100) \cdot ((\text{random}() - 0.5) \cdot 2),$$

де $\text{random}()$ – функція генерування випадкових чисел у діапазоні від 0 до 1.

Для кожного масиву значень вхідного сигналу x_{ji} обчислено за алгоритмом Sugeno масиви вихідних даних y_{ji} за лінійною та нелінійною функціональними залежностями та виконано дослідження методом Монте-Карло [4] похибки методу Sugeno, для чого визначено математичні сподівання:

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_{ji},$$

дисперсії:

$$D_j = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_{ji} - m_j)^2$$

та середньоквадратичні відхилення:

$$s_j = \sqrt{D_j}.$$

Абсолютні та відносні похибки відтворення функціональної залежності методом Sugeno розраховано за формулами:

$$\Delta y_j = K_{dov} \cdot s_j, \quad d y_j = \frac{\Delta y_j}{m_j} \cdot 100$$

де K_{dov} – довірчий коефіцієнт (коефіцієнт Стьюдента [5]), який для безмежної кількості досліджень дорівнює 1,96 за довірчої ймовірності $P_{dov} = 0,95$ та 2,576 за $P_{dov} = 0,99$.

На рис. 5, 6 унаочнено результати дослідження відносної похибки відтворення нелінійної залежності методом Sugeno.

Максимум відносної похибки відтворення нелінійної залежності методом Sugeno за довірчої ймовірності 0,95 та похибки вхідних даних $\pm 5\%$ не перевищує 10% (рис. 5). За довірчої ймовірності 0,99 відносна похибка не більша за 14% (рис. 6).

На рис. 7, 8 наведено результати дослідження відносної похибки відтворення лінійної залежності методом Sugeno за довірчих ймовірностей 0,95 й 0,99 відповідно. В першому випадку відносна похибка не перевищує 5%, а в другому 7%.

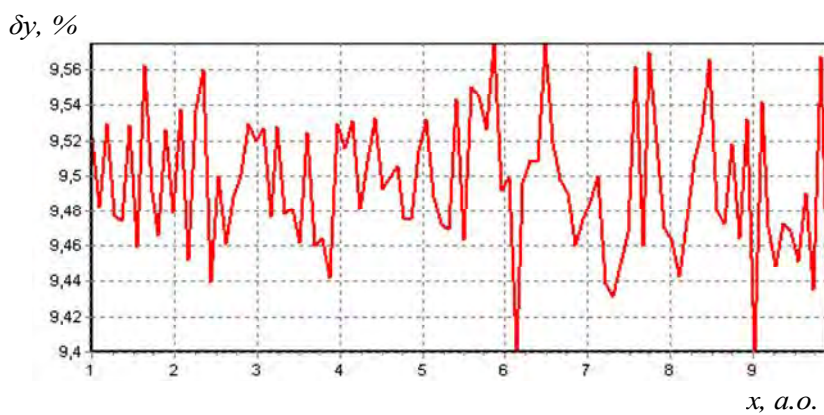


Рис. 5. Відносна похибка відтворення нелінійної залежності методом Sugeno (похибка вхідних даних $\pm 5\%$, довірна ймовірність 0,95)

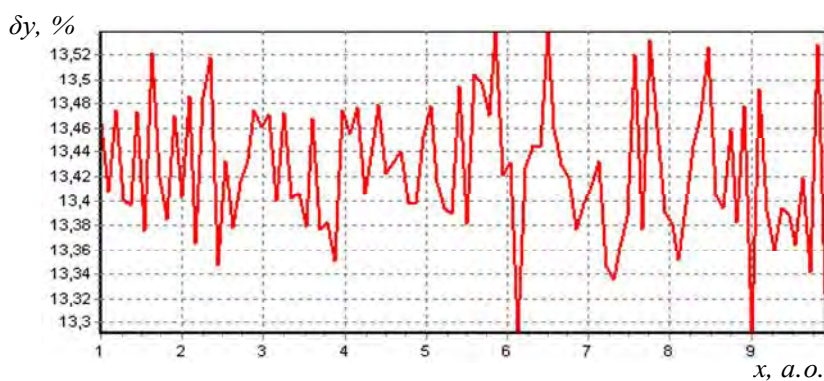


Рис. 6. Відносна похибка відтворення нелінійної залежності методом Sugeno (похибка вхідних даних $\pm 5\%$, довірна ймовірність 0,99)

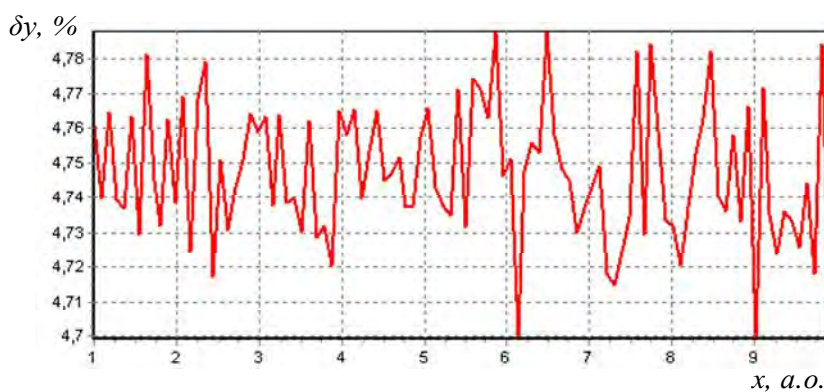


Рис. 7. Відносна похибка відтворення лінійної залежності методом Sugeno (похибка вхідних даних $\pm 5\%$, довірна ймовірність 0,95)

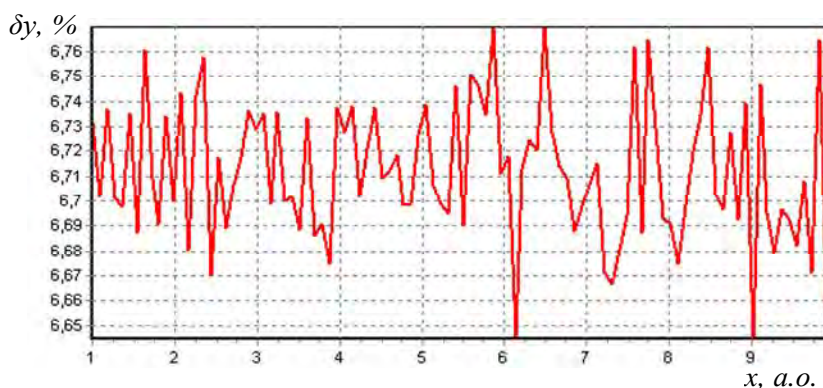


Рис. 8. Відносна похибка відтворення лінійної залежності методом Sugeno (похибка вхідних даних $\pm 5\%$, довірча ймовірність 0,99)

Висновки. Результати досліджень показали, що використання апарату нечіткої логіки дає змогу описувати лінійну та нелінійну функціональні залежності. Якщо функціональна залежність відома, оптимальніше застосовувати метод Sugeno, який за номінальних вхідних даних дає змогу відтворити функцію перетворення з похибкою, близькою до нуля. У разі, коли відомий тільки характер функціональної залежності, краще використовувати метод Mamdani, для якого правила створюються за простішим алгоритмом з використанням однотипних функцій приналежності.

Під час вимірювань значення вимірюваної величини завжди отримують з певною похибкою. Тому, якщо надалі такі результати вимірювання використовують у алгоритмах нечіткої логіки, то це спричиняє появу додаткової похибки. Досліджено похибку методу Sugeno залежно від похибки вхідних даних. Для лінійної функціональної залежності похибка методу Sugeno практично дорівнює похибці вхідних даних. Так, за похибки вхідних даних $\pm 5\%$ для довірчої ймовірності 0,95 похибка методу Sugeno не перевищує $\pm 5\%$, для довірчої ймовірності 0,99 – $\pm 7\%$. Під час відтворення нелінійної функціональної

залежності похибка методу Sugeno зростає більш ніж у два рази порівняно з похибкою вхідних даних.

Отримані результати досліджень дають змогу залежно від попередніх знань про характеристики об'єкта вимірювання вибрати оптимальний алгоритм роботи вимірювального приладу (метод Sugeno або метод Mamdani), а також залежно від допустимої похибки вимірювання й/або похибки прийняття рішення поставити вимоги щодо точності вимірювання вхідних даних для алгоритмів нечіткої логіки.

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. *Нечеткая логика и искусственные нейронные сети.* – М.: Физматлит, 2001. 2. Круглов В.В., Борисов В.В. *Гибридные нейронные сети и fuzzyTECH.* – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с. 3. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB.* 4. Соболев И.М. *Численные методы Монте-Карло.* – М.: Наука, 1973. – 311с. 5. *Обработка результатов измерений. § 3. Обработка результатов прямого измерения.* [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: http://teachmen.ru/methods/phys_prac6.html.