

# Метод оптимального розподілу інвестицій на основі нечіткого виведення типу 2

В. Ю. Матковський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

matkovskiy3vlad@gmail.com

## Анотація

Розподіл інвестицій є важливим аспектом економічної системи, що характеризується високим рівнем невизначеності та нелінійною поведінкою. Для ефективного прогнозування та підтримки рішень у сфері інвестування застосовується нечітка логіка, зокрема системи нечіткого виводу типу 2 (T2FLS). На відміну від класичних методів, вони дозволяють враховувати невизначеність завдяки функціям нечіткої приналежності другого типу. Використання таких моделей сприяє підвищенню точності прийняття рішень, оптимізації інвестиційного процесу та зниженню ризиків у фінансовій сфері.

**Ключові слова:** інвестиції; розподіл; прогнозування; невизначеність; нечітка логіка; нечіткі множини; фазифікація; дефазифікація; функція приналежності; нечіткі правила; фінанси; економіка.

Розподіл інвестицій відіграє ключову роль в економічній системі, а його прогнозування є важливим завданням у фінансовій сфері. Через нелінійність і хаотичність цього процесу дані можуть бути невизначеними або неповними. Ефективним методом підтримки рішень є нечітка логіка, запропонована Лотфі Заде в 1960-х роках як засіб обробки невизначеності та двозначності, що узагальнює класичну теорію множин.

З часом дослідження виявили вдосконалення нечіткої логіки, які краще відображають її справжнє значення, тобто лінгвістичне вираження вхідних змінних, включаючи невизначеність, що виникає через неясну або двозначну інформацію. Три основні підходи нечіткої логіки: нечіткі множини типу 1 (T1FS), інтервальні нечіткі множини типу 2 (IT2FS) та загальні нечіткі множини типу 2 (GT2FS).

Перший підхід є найпростішою формою нечіткої логіки, а також найбільш поширеним і застосовним. Більш складний підхід представлений IT2FS, де вводиться поняття невизначеності у вигляді інтервалів. Незважаючи на складність обчислень порівняно з T1FS, вони покращують загальну нечітку модель за рахунок більшої

стійкості до зовнішнього шуму [Castro, Sanchez, Gonzalez, Melin, and Castillo, 2018].

Нечітка логіка широко використовується в багатьох областях не тільки тому, що вона дозволяє обробляти неповні або невизначені дані, а й тому, що її інструменти були спрощені з використанням параметризованих нечітких систем.

Проблема невизначеності вирішується за допомогою систем нечіткого виводу типу 2, завдяки якій розробляється нечітка система для підтримки інвестиційних рішень. Нечітка система 2-го типу приймає відкладене значення в якості вхідних даних, перетворює його за допомогою функції-члена 2-го типу і має на увазі нечіткі правила в нечіткій системі.

Вихідні дані нечіткої системи, яка представлена у вигляді функції нечіткої приналежності 2-го типу, приведеної до функції нечіткої приналежності 1-го типу, розшифровує її до точного значення і забезпечує підтримку прийняття рішень для майбутнього розвитку процесу розподілу інвестицій.

Модель, створена за допомогою систем нечіткого виводу типу 2, може слугувати інструментом для підтримки прийняття рішень інвесторами.

Нечітка логіка використовується в широкому спектрі задач прийняття рішень, таких як управління ризиками, фінанси, економіка та менеджмент, а також у прогнозуванні погоди, фізиці та багатьох інших областях. Зручність використання нечіткої логіки величезна, головним чином через те, що вона дозволяє працювати з мисленням людини, на відміну від нейронних мереж або генетичних алгоритмів.

Нечітка логіка заснована на здатності працювати з вкрай невизначеними, неточними або хаотичними файлами даних. Заде [Zadeh, 1968] розробив прийнятні методи для опису цієї невизначеності за допомогою нечітких множин замість складних математичних формулювань. Очевидною перевагою нечітких моделей є можливість представлення даних за допомогою лінгвістичних якісних концепцій, а не кількісних даних [Rustum, 2009]. Нечітка логіка складається з трьох основних механізмів, якими є фазифікація, механізм логічного висновку і дефазифікація. Функції-члени дозволяють продемонструвати нечітку множину. Крім того, нечіткі правила “якщо-то” представляють погляди і висновки експертів у своїй області, які можуть бути легко обчислені.

Метод нечіткої логіки дозволяє системі використовувати переваги моделювання середовища, що імітує когнітивну поведінку людини, і дозволяє використовувати мовний ввід для розпізнавання невизначеності записів. Таким чином, мета систем нечіткого виводу - надати людині наочне уявлення про вирішення проблем. Не втрачаючи загальності, це нечітка множина елементів, які допускають для своїх членів різні ступені приналежності в діапазоні  $[0, 1]$ . Таким чином, ступінь подібності кожної вхідної змінної в такій нечіткій множині визначається функцією приналежності [Wan, Chen, and Dong, 2021].

Нечітка приналежність до типу 1 функції визначається точними і однозначними значеннями в діапазоні  $[0, 1]$ , тоді як функція нечіткої приналежності типу 2 може бути розроблена для кожної вхідної змінної в області. Більше того, можна ствер-

джувати, що функція приналежності до T2FLS може обробляти більш високий рівень невизначеності порівняно з функцією приналежності до T1FLS [Khairuddin, Hasan, Hashmani, and Azam, 2021].

Це досягається за рахунок обліку різних ступенів невизначеності (FOU) в поєднанні з тривимірною природою нечітких множин 2-го типу. Вторинна функція членства пов'язана зі ступенем членства. Коли ця вторинна функція-член приймає при максимальній невизначеності значення 1 в певному інтервалі  $[a, b]$ , формується нечітка множина інтервалу типу 2. Ключовими елементами нечітких множин інтервалу типу 2 є область невизначеності (FOU), верхня функція приналежності (UMF) і нижня функція приналежності (LMF). Максимальна невизначеність, виражена у вторинній функції приналежності, дорівнює 1, тому нечіткий набір інтервалів типу 2 може бути спрощений. Нечіткі множини пов'язані з лінгвістичними термінами, які є частиною нечітких правил, обумовлених твердженнями [Ferreuta, Nagras, Kern, and Owusu, 2018].

Структура T2FLS дуже схожа на структуру T1FLS. Реальні змінні спочатку перетворюються в блоці фазифікації в лінгвістичні змінні, причому лінгвістичні змінні базуються на базових лінгвістичних змінних. Зазвичай використовується від трьох до семи атрибутів цієї базової змінної. Ступінь атрибута даної змінної в наборі представлений математичною функцією. У T2FLS доступно кілька типів фазифікації. Якщо отримані дані є ідеальними, змодельованими у вигляді чіткого набору, дані з шумом і дані з стаціонарним шумом моделюються як нечіткі множини типу 1, а нестаціонарний шум моделюється як нечіткі набори типу 2. Останній тип фазифікації не може бути виконаний в T1FLS. Системи нечіткої логіки 2-го типу представлені можливістю використання функції розподілу, яка може бути записана, наступним чином

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]\}, \quad (1)$$

де  $x$  — перша змінна,  $J_x \subseteq [0, 1]$  — перший нечіткий розподіл  $x$ ,  $u$  — друга змінна, і  $((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u))$  є другим нечітким розподілом можливостей у точці  $x$ .

Мендель [Mendel] визначає метод IT2FLS, в якому використовується узагальнений інтервальний нечітко заданий інтервал. Вимога для розподілу вторинних можливостей є умовою нормальності, що означає, що елементів повністю розподілені по  $x$ , які визначаються наступним чином: IT2FLS — це

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]\}, \quad (2)$$

де  $x$  — перша змінна,  $J_x \subseteq [0, 1]$  — перший можливий розподіл  $x$ ,  $u$  — друга змінна, і  $(x, \mu_{\tilde{A}}(x, u))$  — другий можливий розподіл  $x$ .

Для IT2FLS  $X$  — це верхній розподіл  $\bar{\mu}(x)$  і нижній розподіл  $\underline{\mu}(x)$  - розподіли

ймовірностей типу 1, невизначеність впливу  $\bar{X}(\text{FOU}(\tilde{X}))$  визначається як

$$\text{FOU}(\tilde{X}) = \bigcup_{x \in X} J_s = \{(x, y) : J_X = [\underline{\mu}(x), \underline{\mu}(x)]\} \quad (3)$$

Висновок. Таким чином, системи нечіткого виведення типу 2, можуть бути досить вагомим інструментом для знаходження розв'язку задачі оптимального розподілу інвестицій в умовах невизначеності. Дані системи виводу зможуть знайти оптимальне рішення, яке допоможе зробити найбільш вигідні інвестиції з максимально можливим прибутком.

## Перелік посилань

Castro J.R., Sanchez M.A., Gonzalez C.I., Melin P., Castillo O. (2018). A new method for parameterization of general type-2 fuzzy sets. *Fuzzy Information and Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 31–57.

Zadeh L.A. (1968). Probability measures of fuzzy events. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 23, no. 2, pp. 421–427.

Rustum R. (2009). *Modelling Activated Sludge Wastewater Treatment Plants Using Artificial Intelligence Techniques (Fuzzy Logic and Neural Networks)*. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.

Wan S.P., Chen Z.H., Dong J.Y. (2021). An integrated interval type-2 fuzzy technique for democratic–autocratic multicriteria decision making. *Knowledge-Based Systems*, vol. 214, p. 214.

Khairuddin S.H., Hasan M.H., Hashmani M.A., Azam M.H. (2021). Generating clustering-based interval fuzzy type-2 triangular and trapezoidal membership functions: a structured literature review. *Symmetry*, vol. 13, no. 2.

Ferreyra E., Hagrass H., Kern M., Owusu G. (2018). Enabling field force operational sustainability: a big bang-big crunch type-2 fuzzy logic system for goal-driven simulation. In *Proceedings of the 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 2223–2230, Bangalore, India.

Mendel J.M. (2001). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic*. Prentice Hall, Systems, CA, Los Angeles.