

УДК 004.89

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225285

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДТОКУ КЛІЄНТІВ

Папа А. А., Шемет Є. О., Яровий А. А.

Об'єктом дослідження є процес прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній на основі нечіткої логіки та нейронних мереж. Проведені дослідження базуються на застосуванні підходу, який реалізується за допомогою комбінованого використання нечіткої логіки та нейронних мереж. Головне припущення дослідження полягає в гіпотезі, що використання нечіткої нейронної мережі, утвореної на основі алгоритмів нечіткої логіки, дозволяє покращити точність прогнозування відтоку клієнтів відносно наявних рішень. Даного результату неможливо досягти зневажаючи існуючими ресурсними обмеженнями та вимогами, які потрібно визначати окремо для кожного випадку дослідження. Розглянуто актуальність проблематики прогнозування відтоку клієнтів для компаній із великою кількістю користувачів. Запропоновано модель прогнозування відтоку клієнтів на основі комбінованого застосування нечіткої логіки та нейронних мереж. Головна особливість даного підходу полягає в тому, що в основі нечітких нейронних мереж використовується тестова вибірка нормалізованих даних, які оброблюються для формування параметрів функцій належності, які найкраще відповідають системі логічного висновку, тобто висновки здійснюються на базі апарату нечіткої логіки. Також, для пошуку параметрів функції належності використовуються алгоритми нейронних мереж. Такі системи можуть використовувати заздалегідь відому інформацію, навчатися, здобувати нові знання, прогнозувати часові ряди, виконувати класифікацію образів, і крім цього вони є цілком наочними для користувача. Розглянуто застосування методів нечіткої логіки, що дають можливість отримання результату у вигляді нечіткого висновку. Доцільність вибору даних методів пояснюється тим, що вони раніше використовувалися в нечітких системах автоматичного управління та показували досить якісні результати. Показано доцільність та перспективність застосування запропонованого підходу в задачі прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній, а також наведено результати програмної реалізації.

Ключові слова: прогнозування відтоку клієнтів, нечітка логіка, функція належності, нечітка нейронна мережа, алгоритм Мамдані, алгоритм Сугено.

1. Вступ

На сьогодні однією із найактуальніших задач для компаній, які працюють із великою кількістю користувачів, є збереження існуючих та залучення нових

клієнтів. Незважаючи на серйозний інтерес аналітиків і вчених до проблематики збереження споживачів послуг, в жодному джерелі не наводиться готових математичних алгоритмів і програмних рішень, здатних в повному обсязі вирішити дану конкретну задачу для конкретної послуги в конкретному регіоні. Більшість економічних завдань доводиться вирішувати в умовах невизначеності вихідної інформації [1]. Таким чином, для вирішення задачі прогнозування відтоку клієнтів задля збереження існуючих користувачів, доцільно проаналізувати методи нечіткої логіки, з можливістю комбінованого їх використання з нейронними мережами. Отже, *об'єктом дослідження* обрано процес прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній на основі нечіткої логіки та нейронних мереж. *Метою роботи* є дослідження існуючих методів нечіткої логіки, а також покращення прогнозу відтоку клієнтів за допомогою використання нечіткої нейронної мережі.

2. Методика проведення досліджень

Проведені дослідження базуються на застосуванні підходів, описаних в працях [2, 3]. Головне припущення дослідження полягає в гіпотезі, що використання нечіткої нейронної мережі, утвореної на основі алгоритмів нечіткої логіки, дозволяє покращити прогнозування відтоку клієнтів відносно наявних рішень. Для даної задачі важливим аспектом є врахування особливостей вихідної інформації. Вихідну інформацію по її достовірності можна поділити на детерміновану, вірогідну та нечітку (розміту). Поняття нечіткості багато в чому пов'язане із встановленням суб'єктивних і приблизних уявлень про будь-який показник системи. На відміну від ймовірнісних, нечіткі величини характеризуються не законом розподілу, основанийому на об'єктивній статистиці, а функцією належності. Вона показує ступінь належності розглянутої змінної: від повної неналежності (0) до повної належності (1) до фізичної природи явищ [4, 5].

Зазвичай найменш «точною» є досить чітка інформація, але вона в більшості випадків залишається єдиною, яка здатна характеризувати багато процесів у конкретній галузі.

Для прогнозування факторів можуть бути використані або моделі часових рядів, або регресивні моделі. Крім цього існує багато інших підходів для прогнозування відтоку клієнтів. Однак, не дивлячись на різноманіття існуючих методів прогнозування, точне моделювання є складним через нелінійні відношення між відтоком і факторами, від яких воно залежить.

Розглянемо підхід, побудований за допомогою алгоритмів нечіткої логіки та нейронних мереж. Головна особливість даного підходу полягає в тому, що в основі нечітких нейронних мереж використовується тестова вибірка нормалізованих даних, які оброблюються для формулювання параметрів функцій належності, які найкраще відповідають системі логічного висновку, тобто висновки роблять на базі апарату нечіткої логіки. Також для пошуку параметрів функцій належності використовуються алгоритми нейронних мереж, які виконують функцію їхнього навчання. Такі системи

можуть використовувати заздалегідь відому інформацію, навчатися, здобувати нові знання, прогнозувати часові ряди, виконувати класифікацію образів. Крім цього вони є цілком наочними для користувача.

Для чисельної оцінки прогнозування відтоку клієнтів було проаналізовано алгоритми, які передбачають виконання ретроспективних розрахунків з урахуванням параметрів переходів. Можливість практичної реалізації представлених алгоритмів може бути обмежена тільки відсутністю вихідної інформації та трудомісткістю програмної реалізації.

На основі вивчення поведінки тестової вибірки за встановлений термін (квартал), робиться прогноз про перспективу відтоку клієнтів. Вхідні параметри задані інтервально, тобто кожному із параметрів було задано мінімальні та максимальні значення (довірчий інтервал). Під час розробки нечіткої нейронної мережі, головна задача якої прогнозування відтоку клієнтів, розглядалося застосування алгоритмів Мамдані та Сугено, що дають можливість отримання результату у вигляді нечіткого висновку.

Алгоритм Мамдані знайшов застосування в перших нечітких системах автоматичного управління, який був запропонований в 1975 році для управління паровим двигуном [6]. Алгоритм формується в предметній області у вигляді нечітких предикатних правил вигляду:

P_1 : ЯКЩО $x \in A_1$, ТО $z \in B_1$,
 P_2 : ЯКЩО $x \in A_2$, ТО $z \in B_2$,
.....
 P_n : ЯКЩО $x \in A_n$, ТО $z \in B_n$,

де x – вхідна змінна (ідентифікатор для відомих значень даних); z – змінна виведення (ідентифікатор для значення даних, яке буде обчислене); A_i та B_i – нечіткі множини, визначені на X та Z , відповідно, за допомогою функції належності та змінної виведення.

Алгоритм використовується переважно в задачах нечіткого моделювання, де дозволяє значно зменшити обсяги обчислень [7].

Алгоритм Сугено виглядає наступним чином:

Формування бази правил систем нечіткого виведення. У базі правил використовуються тільки правила нечітких продукцій в формі:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО ($x \in A_1$ І $y \in B_1$), ТО, $z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$,
ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО ($x \in A_2$ І $y \in B_2$), ТО, $z_2 = f(x_1, \dots, x_n)$,

де x , y – вхідні змінні; A_i , B_i – чисельні значення вхідних параметрів; $z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$ – довільна чітка функція.

Кроки алгоритму можна описати наступним чином:

1. Фазифікації вхідних змінних, що визначають висловлювання, здійснюються аналогічно алгоритму Мамдані [8].

2. Агрегування передумови правил нечіткої продукції здійснюється аналогічно алгоритму Мамдані за допомогою класичної нечіткої логічної операції «І» двох елементарних висловлювань $A, B: T(A \cap B) = \min\{T(A); T(B)\}$.

3. Активізація висновків правил нечіткої продукції здійснюється в два етапи. На першому етапі, ступінь істинності з висновків (консеквента) нечітких продукційних правил, що ставлять у відповідність вихідної змінної дійсні числа, знаходяться аналогічно алгоритму Мамдані, як алгебраїчний добуток вагового коефіцієнта та ступеня істинності антецедента даного нечіткого продукційного правила. На другому етапі, на відміну від алгоритму Мамдані, для кожного з продукційних правил замість побудови функцій належності висновків в явному вигляді знаходиться чітке значення вихідної змінної $w = \varepsilon_1 a + \varepsilon_2 b$. Таким чином, кожному i -му продукційному правилу ставиться у відповідність точка (c_i, w_i) , де c_i – ступінь істинності продукційного правила, w_i – чітке значення вихідної змінної, визначеної в консеквенті продукційного правила.

4. Акумуляція висновків правил нечіткої продукції не проводиться, оскільки на етапі активізації вже отримані дискретні множини чітких значень для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

5. Дефазифікація здійснюється, як і в алгоритмі Цукамото [9, 10].

3. Результати досліджень та обговорення

На основі тестування мереж, створених із застосуванням вказаних алгоритмів, була обрана нечітка нейронна мережа, в якій реалізовано алгоритм Сугено. Кількість циклів навчання створеної нечіткої нейронної мережі склало 1000 епох. У створеній мережі чотири входи, по два входи на кожен з вхідних параметрів (мінімальне та максимальне значення для кожного вхідного параметра відповідно). Було обрано дві функції належності для кожної вхідної змінної. Кожна з цих функцій належності є трапецеїдальною.

Для вхідного параметра тип функції належності було поставлено як константу. Мережа була навчена на відкритих даних відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії. Після чого була протестована на вибірці з даних, які не використовувалися в навчальній вибірці. На рис. 1 відображено графік прогнозованих значень відтоку клієнтів на основі створеної програмної реалізації, а також фактичні значення переходів. На рис. 2 відображено помилку прогнозування відтоку клієнтів, створеної нечіткою нейронною мережею. В результаті, поведінка мережі є цілком адекватною, середня помилка прогнозування становить 2,9 %.

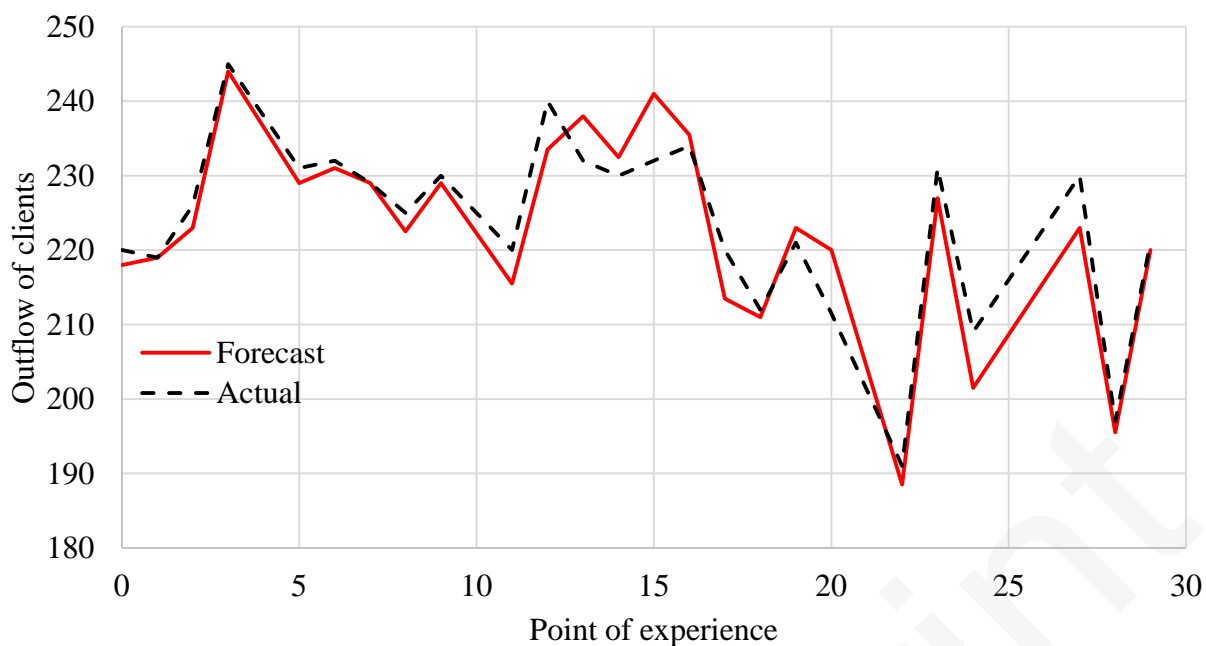


Рис. 1. Фактичні та прогнозовані значення відтоку клієнтів

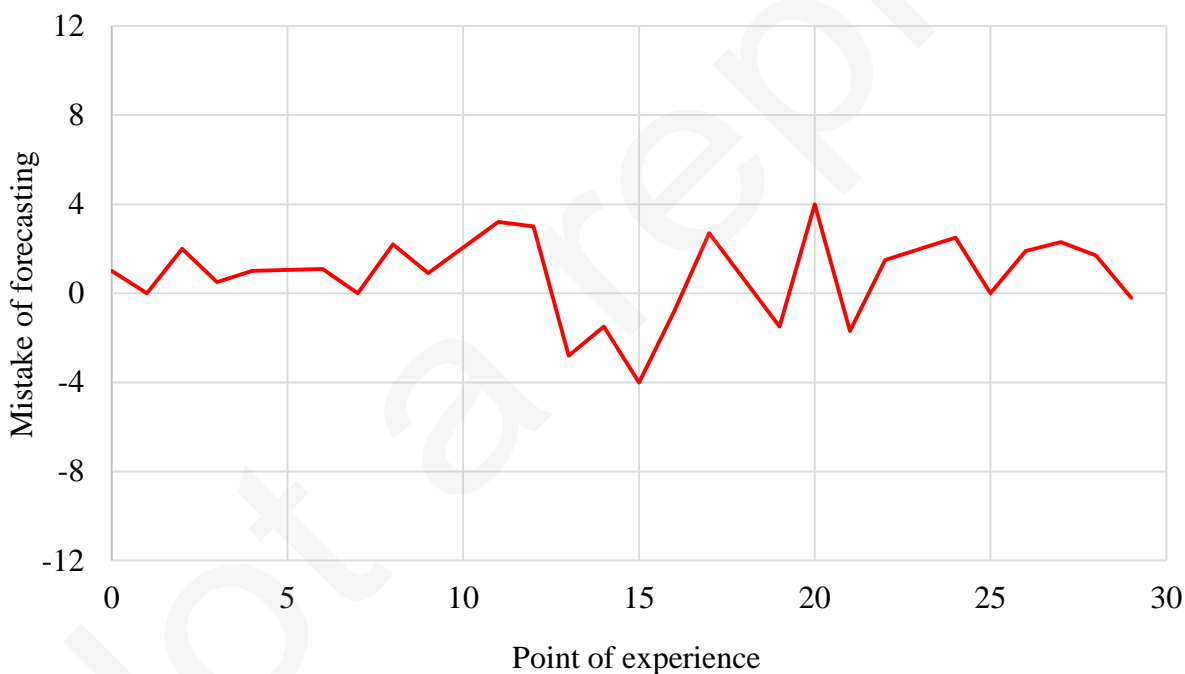


Рис. 2. Помилка прогнозування відтоку клієнтів

Отримані результати аналізу методів нечіткої логіки для прогнозування відтоку клієнтів показують доцільність і перспективність застосування обраного підходу. Тому, при удосконаленні інформаційної технології аналізу відтоку клієнтів, перспективним є комплексне застосування методів нечіткої логіки та нейронних мереж із застосуванням алгоритму Сугено, що здатне забезпечити підвищення точності прогнозу відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії.

4. Висновки

Здійснено аналіз методів нечіткої логіки для задачі прогнозування відтоку клієнтів, за результатами якого було підтверджено доцільність та перспективність застосування підходу, що базується на комплексному використанні нечіткої логіки та нейронних мереж для вирішення вказаної задачі. Досліджено модель прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії, що відрізняється від відомих застосувань алгоритму Сугено при розробці нечіткої нейронної мережі, що забезпечило підвищення точності прогнозу відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії.

Отримані результати дослідження показують доцільність і перспективність застосування обраного підходу в аспекті удосконалення інформаційної технології прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії. Отримані результати планується використати в подальших дослідженнях з метою підвищення точності та швидкодії прогнозування відтоку клієнтів.

Література

1. Srinivasan, D., Tan, S. S., Chang, C. S., Chan, E. K. (1998). Practical implementation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting. *IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 145 (6), 687. doi: <http://doi.org/10.1049/ip-gtd:19982363>
2. Папа, А. А., Яровий, А. А., Прозор, О. П. (2019). Інформаційна технологія аналізу відтоку клієнтів телеком-компанії. *XLVIII Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії*. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/7324>
3. Кулик, О. О., Яровий, А. А. (2016). Класифікація плямоподібних зображень з різним ступенем спотворення на базі нечітких систем з багатопотоковою обробкою. *MIT-2016*. Одеса: ВМВ, 145–146.
4. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. doi: [http://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](http://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
5. Zadeh, L. A. (1968). Fuzzy algorithms. *Information and Control*, 12 (2), 94–102. doi: [http://doi.org/10.1016/s0019-9958\(68\)90211-8](http://doi.org/10.1016/s0019-9958(68)90211-8)
6. Mamdani, E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121 (12), 1585. doi: <http://doi.org/10.1049/piee.1974.0328>
7. Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1), 1–13. doi: [http://doi.org/10.1016/s0020-7373\(75\)80002-2](http://doi.org/10.1016/s0020-7373(75)80002-2)
8. Дьяконов, В., Круглов, В. (2001). Алгоритмы нечёткого вывода: алгоритм Мамдани и алгоритм Сугэно. *Математические пакеты расширения MATLAB*. Санкт-Петербург: Питер, 307–309.
9. Jager, R. (1995). *Fuzzy logic in control*. Delft: Technische Universitet, 313.
10. Sugeno, M. (1977). *Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey. Fuzzy automata and decision processes*. North-Holland, 89–102.