УДК 519.816:004.65

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОШУКУ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ АВТОСАЛОНУ

Кузнецов М.М.[1]; Книрік Н.Р., к.т.н., доц.[2]
[1,2] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
[1,2] Україна, Миколаїв
[1] nikitakuzneczov2004@gmail.com; [2] natalya.knyrik@nuos.edu.ua

Анотація. *Підбір автомобіля в інформаційній системі автосалону розглянуто як задачу багатокритеріального вибору. Порівняно шість методів багатокритеріального прийняття рішень і запропоновано модульну підсистему пошуку з трьома способами задання ваг і поясненням рейтингу. Контрольний приклад показав, що методи по-різному впорядковують близькі альтернативи.*
Ключові слова: *багатокритеріальний пошук; MCDM; TOPSIS; AHP; інформаційна система автосалону.*

Вступна частина. Під час вибору автомобіля клієнт порівнює моделі одночасно за ціною, потужністю двигуна, об'ємом багажника й іншими характеристиками, які суперечать одна одній: потужніший автомобіль зазвичай дорожчий. Так само багатокритеріальними є управлінські задачі автосалону, наприклад поповнення складу чи вибір постачальника. У наявних інформаційних системах (ІС) автосалонів підбір зводиться до фільтрації каталогу за діапазонами значень: фільтр відкидає невідповідні записи, але не впорядковує решту за перевагами клієнта. Рекомендаційні системи на основі машинного навчання ранжують каталог, проте потребують історії взаємодій, якої немає для нового клієнта чи нової моделі (проблема «холодного старту») [1], а їхні рекомендації важко пояснити користувачеві [2]. Методи багатокритеріального прийняття рішень MCDM (Multiple-Criteria Decision Making) працюють з явно заданими критеріями й вагами [3], тому не потребують навчальної вибірки; їх застосовують, зокрема, для вибору автомобіля [4]. Водночас аналіз показав, що для вбудовування цих методів в ІС автоторгівлі бракує спільного формату вхідних даних для різних методів, простих способів задати переваги клієнта та пояснення рейтингу.

Мета роботи. Дослідити алгоритми багатокритеріального пошуку та розробити підсистему їх застосування у складі інформаційної системи автосалону, яка забезпечує персоналізований підбір автомобілів, ранжування позицій каталогу та підтримку управлінських рішень.

Основна частина. Об'єктом дослідження є процес функціонування інформаційної системи у сфері автоторгівлі, предметом - алгоритми багатокритеріального пошуку (БКП) та методи їх інтеграції у прикладні ІС. Спершу порівняно методи WSM (Weighted Sum Model, модель зваженої суми), WPM (Weighted Product Model, модель зваженого добутку), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), AHP (Analytic Hierarchy Process, метод аналізу ієрархій), ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) і PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations). WSM і WPM агрегують нормалізовані значення критеріїв із вагами за один прохід матрицею рішень, а внесок кожного критерію в оцінку видно безпосередньо. TOPSIS ранжує альтернативи за відстанню до ідеального й антиідеального рішень [5]. ELECTRE і PROMETHEE порівнюють альтернативи попарно, тому потребують більше обчислень, але враховують некомпенсаторні критерії;

PROMETHEE II дає повний порядок альтернатив [6]. AHP призначено не для ранжування, а для визначення ваг критеріїв за попарними порівняннями; судження вважають узгодженими, якщо відношення узгодженості CR (Consistency Ratio) не перевищує 0,1 [7]. Жоден метод не є найкращим для всіх задач автосалону, тому підсистема має підтримувати кілька методів.

На основі порівняння запропоновано модульну підсистему БКП. Вона складається з модуля задання ваг, модуля нормалізації, взаємозамінних методів ранжування (WSM, WPM, TOPSIS і PROMETHEE II), які працюють з єдиною матрицею рішень, і модуля пояснення результатів. Переваги користувача можна задати трьома способами: числовими оцінками важливості, попарними порівняннями за методом AHP та словесними оцінками, які перетворюються на бали 1, 3, 5, 7 і 9. Метод ранжування обирає користувач або підсистема за правилами залежно від сценарію: для швидкого підбору автомобіля - WSM, для підбору за суперечливих побажань клієнта - TOPSIS із вагами за AHP, для вибору постачальника з некомпенсаторними критеріями - PROMETHEE II.

Підсистему спроєктовано як пакет mcdm наявного вебзастосунку автосалону на Java 17, Spring Boot і PostgreSQL. Наявні таблиці IC, зокрема таблиця автомобілів cars з ціною, потужністю, об'ємом багажника та кліренсом, не змінюються; для підсистеми додано сім нових таблиць (критерії, значення критеріїв автомобілів, профілі пошуку, ваги профілів, попарні порівняння, сесії ранжування та їх елементи). Сума ваг профілю контролюється відкладеним тригером бази даних із допуском 0,001. Методи оформлено за шаблоном «Стратегія» з єдиним інтерфейсом, тому новий метод додається без зміни інших компонентів.

Значення критеріїв нормалізують мінімаксним способом (для WPM і TOPSIS застосовано відносну та векторну нормалізацію):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\limits_i x_{ij}}{\max\limits_i x_{ij} - \min\limits_i x_{ij}}, \quad j \in J_{\max}, \qquad r_{ij} = \frac{\max\limits_i x_{ij} - x_{ij}}{\max\limits_i x_{ij} - \min\limits_i x_{ij}}, \quad j \in J_{\min}. \tag{1}$$

де x_{ij} - значення критерію j для автомобіля i (i = 1, ..., n; j = 1, ..., m); $J_{\max}$ і $J_{\min}$ - множини критеріїв, які максимізують (потужність, об'єм багажника) і мінімізують (ціна). Інтегральну оцінку за методом WSM обчислюють як зважену суму:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j \, r_{ij} \tag{2}$$

де S_i - інтегральна оцінка автомобіля i (чим вона більша, тим вище місце); w_j - вага критерію j, причому $\Sigma w_j = 1$. Для пояснення рейтингу кожну позицію порівнюють з лідером L: внесок критерію j у відставання автомобіля i від лідера за методом WSM дорівнює

$$\Delta_{ij} = w_j \left(r_{Lj} - r_{ij} \right) \tag{3}$$

де Δ_{ij} - внесок критерію j; додатне значення означає, що автомобіль поступається лідеру за цим критерієм, від'ємне - що переважає його. Сума внесків дорівнює різниці оцінок S_L - S_i, тому пояснення точно розкладає відставання на складові.

Для перевірки формул розглянуто чотири умовні автомобілі a_1-a_4 за трьома критеріями таблиці cars: ціною (820, 960, 1100 і 890 тис. грн), потужністю (150, 184, 220 і 163 к. с.) та об'ємом багажника (420, 480, 450 і 520 л). Ваги визначено методом AHP: ціну оцінено як помірно важливішу за потужність (3) і суттєво важливішу за об'єм багажника (5), потужність - як трохи важливішу за об'єм багажника (2). Отримано ваги 0,648; 0,230 і 0,122 при λ_{max} = 3,004 і CR = 0,003, тобто судження узгоджені. Результати ранжування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати ранжування контрольного прикладу, оцінка (місце)

Автомобіль	WSM	WPM	TOPSIS	PROMETHEE II
a_1	0,648 (2)	0,892 (1)	0,674 (1)	0,297 (1)
a_2	0,509 (3)	0,858 (3)	0,499 (3)	-0,099 (3)
a_3	0,266 (4)	0,812 (4)	0,317 (4)	-0,459 (4)
a_4	0,651 (1)	0,885 (2)	0,629 (2)	0,262 (2)

Три методи з чотирьох ставлять на перше місце автомобіль a_1, а WSM - автомобіль a_4, причому оцінки відрізняються лише на 0,003. Пояснення за формулою (3) показує причину: a_1 переважає за ціною (внесок -0,162), але поступається за об'ємом багажника (0,122) і потужністю (0,043). Отже, на близьких альтернативах різні методи можуть давати різний порядок, що відповідає результатам порівняльних досліджень [8], тому підсистема показує разом із рейтингом назву методу й пояснення.

Висновки. Визначено задачі ІС автосалону, які потребують багатокритеріального підходу: підбір автомобіля, управління запасами, аналітика продажів і вибір постачальника. Порівняно шість методів MCDM і показано, що жоден із них не підходить для всіх задач, тому в підсистему закладено чотири методи ранжування (WSM, WPM, TOPSIS, PROMETHEE II) і три способи задання ваг. Запропоновано модель пояснення рейтингу, яка точно розкладає відставання альтернативи від лідера на внески критеріїв. Підсистему спроєктовано як модуль наявної ІС без зміни її таблиць, що дає змогу вбудувати її в ІС підприємств автоторгівлі. На контрольному прикладі підтверджено, що різні методи можуть по-різному впорядковувати близькі альтернативи. Подальші дослідження стосуватимуться реалізації підсистеми та її тестування: порівняння рейтингів різних методів, оцінки чутливості до ваг і продуктивності.

Використання інструментів ШІ. Використовувався чат-бот Claude (модель Sonnet 5.5, Anthropic) для створення тестових масивів даних (різноманітних автомобілів) з метою тестування модуля багатокритеріального пошуку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Panda, D. K., & Ray, S. (2022). Approaches and algorithms to mitigate cold start problems in recommender systems: A systematic literature review. *Journal of Intelligent Information Systems, 59*(2), 341-366. https://doi.org/10.1007/s10844-022-00698-5

[2] Zhang, Y., & Chen, X. (2020). Explainable recommendation: A survey and new perspectives. *Foundations and Trends in Information Retrieval, 14*(1), 1-101. https://www.nowpublishers.com/article/Details/INR-066

[3] Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia, 3*(1), 77-87. https://www.mdpi.com/2673-8392/3/1/6

[4] Ali, Y., Mehmood, B., Huzaifa, M., Yasir, U., & Khan, A. U. (2020). Development of a new hybrid multi criteria decision-making method for a car selection scenario. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, 18*(3), 357-373. https://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUMechEng/article/view/6195

[5] Çelikbilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics, 7*(2), 281-300. https://acikerisim.gelisim.edu.tr/items/0c77e85d-ee53-4ecb-b4cb-f4452e24b721/full
[6] Oubahman, L., & Duleba, S. (2021). Review of PROMETHEE method in transportation. *Production Engineering Archives, 27*(1), 69-74. https://reference-global.com/article/10.30657/pea.2021.27.9
[7] Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y., & Sharma, H. K. (2022). Consistency indices in analytic hierarchy process: A review. *Mathematics, 10*(8), Article 1206. https://www.mdpi.com/2227-7390/10/8/1206
[8] Sałabun, W., Wątróbski, J., & Shekhovtsov, A. (2020). Are MCDA methods benchmarkable? A comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II methods. *Symmetry, 12*(9), Article 1549. https://www.mdpi.com/2073-8994/12/9/1549

Kuznetsov M.M., Knyrik N.R.

Research of multi-criteria search algorithms and their use in a car dealership information system

Abstract. *Car selection in a dealership information system is considered as a multi-criteria choice problem. The WSM, WPM, TOPSIS, AHP, ELECTRE and PROMETHEE methods are compared, and a modular multi-criteria search subsystem with three ways of setting criteria weights and an explanation of the ranking is proposed. A control example shows that different methods order close alternatives differently.*

Keywords: *multi-criteria search; MCDM; TOPSIS; AHP; car dealership information system.*