

УДК 004.932.74:519.816

## **АЛГОРИТМ ВИБОРУ СЕНСОРІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПАРКУВАЛЬНИХ ЗОН**

*Кононихін О.С., Малік Д.О., Циганков І.О.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

Ефективність сучасних інтелектуальних транспортних систем, зокрема "розумних паркінгів", критично залежить від якості первинних даних, що збираються. Вибір оптимальної сенсорної мережі для моніторингу завантаженості паркувальних зон є складним інженерно-економічним завданням, яке часто вирішується суб'єктивно, призводячи до неоптимальних витрат та зниження надійності системи [1-2].

Мета роботи - підвищити ефективність проектування місць для паркування за рахунок розробки алгоритму вибору сенсорів для різних типів паркувальних зон.

Задача вибору сенсорів для моніторингу паркувальних зон формально належить до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень. Особливістю таких задач є необхідність одночасного врахування значної кількості критеріїв, що мають різну природу, різні одиниці виміру та нерідко суперечливий вплив на результат. Тому інтуїтивний або суто експертний вибір без формальної моделі не забезпечує ані відтворюваності, ані економічної раціональності прийнятих рішень.

Для підвищення об'єктивності та формалізації процесу оцінювання пропонується алгоритм підтримки прийняття рішень, що базується на методі зваженої суми [3-4].

Метод обрано завдяки його низькій обчислювальній складності, прозорості логіки агрегування та високій інтерпретованості результатів. Ці властивості є особливо важливими для практичного застосування в органах муніципального управління та операторів парковок, де кінцеві користувачі

алгоритму часто не мають глибокої математичної підготовки і потребують максимально зрозумілих моделей.

Запропонований алгоритм містить чотири послідовні етапи, описані нижче.

Етап 1. На цьому етапі здійснюється математична декомпозиція задачі, тобто визначення множини альтернатив та множини критеріїв, за якими здійснюється оцінка.

Нехай задано скінченну множину з  $m$  можливих сенсорів:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}. \quad (1)$$

Формується множина з  $n$  критеріїв, що відображають технічні, економічні та експлуатаційні характеристики альтернатив:

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}. \quad (2)$$

Створюється матриця розмірністю  $m \times n$ , де елемент  $S_{ij}$  — це оцінка альтернативи  $a_i$  за критерієм  $k_j$ .

Оскільки різні критерії мають різні шкали вимірювання, пряме порівняння значень є некоректним. Тому застосовується нормалізація, тобто приведення всіх значень до єдиної безрозмірної шкали  $[1,10]$ .

Додатково всі критерії переводяться до спільної спрямованості — критерію виграшу (чим більше, тим краще).

Таким чином формується нормалізована матриця:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Етап 2. Попередній етап задає універсальну структуру моделі. Наступним кроком є її адаптація до конкретних умов експлуатації — типу паркувальної зони, сценарію використання або середовища розміщення.

Для кожного типу паркувального середовища  $z$  формується вектор вагових коефіцієнтів:

$$W_z = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}, \quad (4)$$

де  $w_j$  — відносна важливість критерію  $k_j$ .

Наприклад, для підземних паркінгів критерій «стійкість до погодних умов» втрачає значущість, а для вуличних стоянок цей самий критерій стає критичним.

Для коректності побудови моделі ваги нормуються:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (5)$$

Таким чином саме вектор ваг формалізує приховані експертні міркування, що становить один із аспектів наукової новизни підходу.

Етап 3. На цьому етапі здійснюється агрегація нормалізованих оцінок з урахуванням визначених ваг за допомогою адитивної моделі корисності.

Для кожної альтернативи інтегральний показник придатності  $F_i$  визначається як:

$$F_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \cdot w_j, i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

де  $S_{ij}$  — нормалізована оцінка альтернативи,

$w_j$  — вага критерію,

$F_i$  — фінальна зведена характеристика сенсорної технології у визначеному контексті.

Етап 4. Ранжування альтернатив та вибір найкращого рішення. Отриманий набір інтегральних показників:

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}, \quad (7)$$

дозволяє виконати об'єктивне ранжування альтернатив.

Правило вибору найкращої альтернативи:

$$a_o = \{a_i \in A \mid F_i = \max(F_1, F_2, \dots, F_m)\} \quad (8)$$

Розроблений алгоритм формує не лише оптимальну альтернативу, але й повне ранжування всього набору можливих варіантів. Це забезпечує додаткову практичну цінність: у разі недоступності найкращого варіанту

(логістичні обмеження, вартісні фактори тощо) легко обрати наступні за ефективністю рішення.

### **Література:**

1. Розумні системи паркування: тенденції та можливості для українських міст  
URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/rozumni-systemy-parkuvannya-tendencziyi-ta-mozhlyvosti-dlya-ukrayinskyh-mist>(дата звернення:13.11.2025)
2. An Algorithm of Parking Planning for Smart Parking System  
<https://arxiv.org/pdf/1708.07932>(дата звернення:13.11.2025)
3. Dede Wira Trise Putra, Adrian Agustian Punggara. Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weigthed Product (WP) In Decision Support Systems // MATEC Web of Conferences. 2018. № 215. P. 1-2.
4. Кононихін О.С., Кононихіна О.О., Сердюк О.В. Багатокритеріальна модель вибору технічних засобів бездротової сенсорної мережі // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. № 13(41) . С.1067-1077