

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.031

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Малієнко А.В. к.т.н., доцент кафедри системного аналізу і управління

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
м. Дніпро, Україна*

Вступ. Сучасні вимоги транспортного зв'язку потребують використання більш екологічного транспорту, а електротранспорт потребує більш ретельного аналізу місць розміщення пунктів його обслуговування, у тому числі зарядних станцій електромобілів - ЗСЕ. Знаходження мінімального радіуса дії сучасного пункту обслуговування електротранспорту, а також оптимальне розташування його робочої сервісної крапки з надання послуг зарядки електромобілів є актуальним та потребує розробки алгоритму, розрахунку та застосування новітнього математичного апарату.

Основний матеріал. Інтерес до задач багатократного покриття обумовлений, перш за все, важливими практичними додатками. Як показує аналіз сучасної економіки, такі задачі є прикладними та можуть бути використані в різних галузях.

Все різноманіття практично важливих задач оптимального розміщення та покриття умовно розділяються на два класи.

Перший клас – так звані дискретні задачі оптимального розбиття, у яких множина, що розбивається, складається з кінцевого числа елементів.

Другий клас складають задачі k -кратного s -кульового покриття обмеженої області і задачі про мінімальне k -кратне s -кульове покриття континуальної множини з розміщенням центрів кіл. Моделям та методам розв'язання таких задач присвячені, наприклад, роботи [1,2]. Наведені тут алгоритми пошуку радіуса N кіл, що утворюють k -кратне s -кульове покриття множини і розташування станцій зарядки електромобілів показали гарні результати. Вирішення задач зводиться до задачі мінімізації негладкої функції, тому під час їх чисельної реалізації використовуються методи недиференційованої оптимізації.

Розглядаючи пункти обслуговування та розміщення ЗСЕ, в задачах покриття визначеної території, визначаємо мережу доріг і кінцеву множину пунктів розміщення ЗСЕ. Кожен пункт надання послуги зарядки може використовуватися на заданій відстані від нього. Відома множина «небезпечних» (критичних) віддалених ділянок на дорогах між ЗСЕ. Потрібно знайти мінімальне число пунктів надання послуг зарядки всіх «небезпечних ділянок» доріг.

Якщо позначити

$I = \{1, \dots, m\}$ - множина всіх можливих пунктів для розміщення ЗСЕ;

$J = \{1, \dots, n\}$ - множина ділянок дороги що обслуговуються пунктом зарядки;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо ділянка } j \text{ шляху може обслуговуватися з } i \text{ - го пункту} \\ \text{та } 0 \text{ в протилежному випадку} \end{cases}$$

а змінними задачі ввести

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо в пункті } i \text{ встановлена ЗСЕ} \\ 0 \text{ в протилежному випадку} \end{cases}.$$

То математична модель задачі розміщення мінімальної кількості зарядних станцій буде мати вигляд:

$$\min \sum_{i \in I} x_i \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq 1, j \in J; \quad (2)$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \quad (3)$$

Друга модель передбачає мінімізацію витрат, пов'язаних із розташуванням ЗСЕ. Нехай $c_i \geq 0$ – вартість встановлення ЗСЕ в пункті I . Потрібно мінімізувати сумарну вартість витрат:

$$\min \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (4)$$

При обмеженнях:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq 1, j \in J; \quad (5)$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \quad (6)$$

Надалі нехай $r_j \geq 1$ – мінімальне число пунктів ЗСЕ, які повинні обслуговувати ділянку j дороги з максимальним віддаленням між собою;

$b_j > 0$ – середнє число електротранспорту на ділянці дороги j . Потрібно вибрати пункти встановлення так, щоб кожна дорога обслуговувалась не менше r_j пунктами ЗСЕ, і число зарядних пунктів було б максимальним:

$$\max \sum_{j \in J} b_j \sum_{i \in I} a_{ij} x_i \quad (7)$$

За умови:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq r_j, j \in J; \quad (8)$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \quad (9)$$

Розглянемо також імовірнісну постановку задачі.

Нехай прибуття електромобіля з ділянки дороги відбувається випадковим чином та незалежно один від одного, $q > 0$ – ймовірність того що пункт зарядки зайнятий або не працює; $p_k = 1 - q^k$ – ймовірність того, що хоча б один з k пунктів обслуговування електромобілів буде вільний та працює; $p_k - p_{k-1} = (1 - q^k) - (1 - q^{k-1}) = (1 - q)q^{k-1}$ – приріст при додаванні одного пункту обслуговування ділянки дороги.

Введемо змінну:

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо ділянку } j \text{ обслуговують як мінімум } k \text{ пунктів ЗСЕ,} \\ 0 \text{ в іншому випадку} \end{cases}$$

Таким чином математична модель буде мати вигляд:

$$\max \sum_{j \in J} b_j (1 - q) q^{k-1} y_{jk} \quad (10)$$

за умов:

$$\sum_{k=1}^{n_j} y_{jk} \leq \sum_{i \in I} a_{ij} x_i, j \in J; \quad (11)$$

$$x_i, y_{jk} \in \{0,1\}, \quad (12)$$

де $n_j = \sum_{i \in I} a_{ij}, j \in J, i \in I$.

Оптимальним буде розв'язок при $y_{jk} \leq y_{j,k-1}$ для всіх $j \in J, 1 < k \leq n_j$

Висновки: Ряд нових вимог економічної складової розвитку країни є розширення математичних постановок задач теорії оптимального розбиття множин, а також методи їх вирішення які будуть побудовані відповідно за цими методами та алгоритмами. У зв'язку з розвитком зазначеної теорії, стимулюється виникненням практичних завдань з встановлення ЗСЕ, актуальним є продовження досліджень безперервних задач оптимального розбиття множин (ОПМ) при додаткових обмеженнях.

Література

1. Киселева Е.М. , Коряшкіна Л.С., Ус С.А. Теория оптимального разбиения множеств в задачах распознавания образов, анализа и идентификации систем М-во образования и науки Украины; Нац. Горн.ун-т. –Д.:НГУ, 2015. –270 с.
2. Коряшкіна Л. С. Визначення оптимальної кількості та місць розміщення зарядних станцій для електромобілів на території міста / Л. С. Коряшкіна, О. Р. Беляєв // Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. - 2019. - № 1. - С. 23-29.

MATHEMATICAL MODELS OF PROBLEMS OF OPTIMAL PLACEMENT OF ELECTRIC CAR CHARGING STATIONS AND DETERMINATION OF THEIR SERVICE AREAS

Maliienko Andrii

Abstract. Modern requirements of transport communication require the use of more environmentally friendly transport, and electric transport requires a more thorough analysis of the locations of its service points, including charging stations for electric vehicles. In this paper, it is proposed to use the theory and methods of multiple coverage of sets for modeling and solving problems of optimal placement of charging stations of electric vehicles with simultaneous determination of their service areas, taking into account the possibility of overlap.

Keywords: charging electric vehicles, charging station, mathematical model, optimization methods, road design.

References

1. EM Kiseleva The theory of optimal partitioning of sets in problems of pattern recognition, analysis and identification of systems/ EM Kiseleva, L.S. Koriashkina, S. A. Us// Ministry of Education and Science of Ukraine; National Mining University. -D.: NMU, 2015 .-- 270 p.
2. Koriashkina L.S. The designation of the optimal number and space for the distribution of charging stations for electric vehicles on the territory of the city/ L.S. Koriashkina, O. R. Belyaev// Computer modeling: analysis, management, optimization. - 2019. - № 1. - С. 23-29p.