

Алгоритмічні підходи до оптимізації маршрутів у мобільних сервісах спільних поїздок

Ігор Стужук, магістр¹ (ORCID: 0009-0004-8707-3567)

Олексій Котляревський, канд. екон. наук, доц.¹ (ORCID: 0009-0004-1645-8064)

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі представлено результати дослідження алгоритмічних методів оптимізації маршрутів у мобільних сервісах спільних поїздок. Обґрунтовано доцільність використання метаевристичних підходів, зокрема генетичного алгоритму, як найбільш ефективного рішення для динамічних NP-складних задач. Запропоновано блок-схему алгоритму та визначено ключові показники ефективності (KPI) для його оцінювання. Результати свідчать про потенціал такого підходу для підвищення операційної ефективності сервісів, скорочення витрат, зменшення екологічного навантаження та покращення досвіду користувачів.

Ключові слова: оптимізація маршрутів, KPI, генетичні алгоритми, метаевристика.

1. ВСТУП

Стрімке зростання попиту на міські транспортні послуги у великих містах стало причиною низки серйозних проблем, включаючи посилення заторів, підвищене споживання пального та зростання викидів забруднюючих речовин в атмосферу. У відповідь на ці виклики, мобільні сервіси спільних поїздок, як-от Uber, Lyft та інші, набули широкої популярності, пропонуючи ефективне рішення шляхом об'єднання пасажирів з подібними маршрутами. Це дозволяє оптимізувати використання транспортних засобів та значно зменшити кількість автомобілів на дорогах. Ефективність функціонування цих сервісів безпосередньо залежить від складності та досконалості алгоритмів, які лежать в їхній основі.

2. МЕТА

Метою даної роботи є розробка концептуальної основи для багатоцільового алгоритмічного підходу до оптимізації маршрутів спільних поїздок, спрямованого на підвищення ефективності подібних систем. Для досягнення цієї мети було поставлено наступні завдання: формалізувати задачу як багатоцільову оптимізаційну модель, визначити ключові показники ефективності, дослідити та обґрунтувати застосування метаевристичних алгоритмів.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

Задача оптимізації маршрутів у сервісах спільних поїздок може бути формалізована на графі, де вузлами є точки посадки та висадки пасажирів, а ребрами – ділянки доріг з визначеними ваговими коефіцієнтами, що можуть відображати відстань, час або вартість переміщення. [1] Обчислення оптимального маршруту для множини транспортних засобів, які обслуговують множини пасажирських запитів, є ключовим етапом.

Для кращого розуміння складності задачі, на рисунку 1 представлена концептуальна схема.



Рисунок 1. Концептуальна схема задачі оптимізації маршрутів

3.1. Об'єктивна функція

Оскільки дана задача передбачає балансування інтересів різних сторін, її об'єктивна функція (f_{obj}) має бути багатоцільовою. Вона може бути сформульована як зважена сума, що прагне до мінімізації або максимізації різних параметрів, які враховують як операційні витрати, так і якість обслуговування. [1]

$$\min f_{obj} = \omega_1 * f_{dist} + \omega_2 * f_{wait} + \omega_3 * f_{detour} + \omega_4 * f_{util} \quad (1)$$

де:

- f_{dist} – сумарна пройдена відстань усього автопарку, що безпосередньо впливає на витрати пального та амортизацію.
- f_{wait} – сумарний час очікування пасажирів від моменту запити до моменту посадки.
- f_{detour} – сумарний час, на який поїздка пасажирів подовжується через необхідність заїзду за іншими пасажирами.
- f_{util} – коефіцієнт утилізації транспортних засобів, що відображає кількість виконаних поїздок на одиницю часу.
- $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритетність кожного показника.

3.2. Ключові показники ефективності (KPI)

Визначення ключових показників ефективності (KPI) є невід'ємною частиною дослідження, оскільки вони дозволяють перевести абстрактні поняття операційної ефективності в конкретні, вимірювані метрики [2]. Ці показники є важливими інструментами для оцінки успіху

впровадження алгоритму та допомагають встановити чіткі цілі для оптимізації, такі як зниження витрат і підвищення задоволеності клієнтів. Таблиця 1 систематизує ці метрики та їх значення для мобільних сервісів.

Таблиця 1: Ключові показники ефективності (KPI) оптимізації маршрутів

Показник (KPI)	Метод вимірювання	Діапазон або ідеальна мета	Значення для моб. сервісу
Загальний пробіг	Сумарна пройдена відстань автопарку	Зменшення на 10-15% від початкового	Зниження витрат на паливо та обслуговування
Час очікування	Середній час очікування пасажирів	Максимально 5 хвилин	Підвищення задоволеності та лояльності клієнтів
Утилізація автопарку	Кількість виконаних поїздок на 1 авто	Максимізація	Збільшення доходу та операційної ефективності
Час об'їзду	Додатковий час у дорозі для пасажирів	Мінімізація	Підвищення комфорту та збереження лояльності пасажирів
Вартість за км	Витрати на паливо та обслуговування на одиницю пробігу	Мінімізація	Підвищення прибутковості бізнесу

4. АЛГОРИТМІЧНІ ПІДХОДИ ТА ОБІГРУНУВАННЯ ВИБОРУ

4.1. Точні та евристичні методи

Існують різні підходи до вирішення задач маршрутизації. Точні алгоритми, такі як цілочисельне лінійне програмування (Integer Linear Programming, ILP), гарантують знаходження глобального оптимуму. Однак, їх застосування для NP-складних (Non-deterministic Polynomial-time hard) задач з великою кількістю змінних є обчислювально нездійсненним і вимагає надмірних ресурсів.

Евристичні алгоритми, наприклад, алгоритм Дейкстри, швидко знаходять хороше рішення, але не можуть гарантувати його оптимальності. Хоча вони є основою для багатьох алгоритмів маршрутизації, їх ефективність може бути обмежена без попереднього знання всієї мапи та динамічних умов.

4.2. Метаевристичні підходи як оптимальний вибір

Для NP-складних задач, де точні методи непрактичні, а прості евристики недостатньо ефективні, найперспективнішими є метаевристичні підходи. Це "алгоритми вищого рівня", що спрямовують пошук, дозволяючи знаходити майже оптимальні рішення за розумний час, що є критично важливим для динамічних систем. Одним з найбільш ефективних метаевристичних підходів для вирішення VRP (Vehicle Routing Problem) та DARP (Dial-a-Ride Problem) є генетичний алгоритм. Він заснований на принципах природного відбору та еволюції, що дозволяє досліджувати великий простір рішень і знаходити високоякісні рішення, які є наближеними до оптимальних.

4.3. Структура Генетичного алгоритму для оптимізації маршрутів

Для візуалізації послідовності кроків запропонованого алгоритмічного підходу на Рисунок 2 представлена його блок-схема. Вона чітко ілюструє циклічний характер процесу оптимізації, починаючи з ініціалізації популяції та закінчуючи перевіркою критеріїв конвергенції. [3] Ця схема дозволяє візуально відокремити вхідні дані (пасажирські запити, параметри автопарку) від вихідних (оптимізовані маршрути), наочно демонструючи, як генетичний алгоритм ітеративно покращує рішення з кожним наступним поколінням, що є його ключовою особливістю.

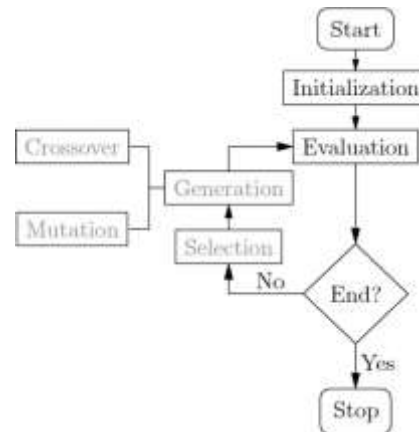


Рисунок 2. Блок-схема Генетичного алгоритму для оптимізації маршрутів.

5. ВИСНОВКИ

Завдання оптимізації маршрутів у мобільних сервісах спільних поїздок є складною і багатогранною проблемою, що вимагає глибокого розуміння як комбінаторної оптимізації, так і динаміки реального світу. Аналіз показав, що точні методи є непрактичними для вирішення цієї NP-складної задачі, тоді як метаевристичні підходи, такі як генетичні алгоритми, є найбільш перспективними завдяки їхній адаптивності та здатності швидко знаходити якісні наближені рішення. Запропонована багатоцільова модель та концептуальна блок-схема є міцною основою для розробки ефективної системи маршрутизації, що враховує інтереси всіх сторін.

Список літератури

- [1] The Optimization Model of Ride-Sharing Route for Ride Hailing Considering Both System Optimization and User Fairness. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/902> (date of access: 20.09.2025).
- [2] Ridecell. Key KPIs and Metrics to Track for Fleet Orchestration Success | Ridecell. Ridecell - Revolutionizing Fleet Leasing Orchestration. URL: <https://ridecell.com/blog/key-kpis-and-metrics-to-track-for-fleet-orchestration-success/> (date of access: 20.09.2025).
- [3] Implementation of Genetic Algorithm on Vehicle Routing System. International Journal & Research Paper Publisher | IJRASET. URL: <https://www.ijraset.com/research-paper/implementation-of-genetic-algorithm-on-vehicle-routing-system> (date of access: 20.09.2025).