

Особливості застосування алгоритму Clarke–Wright у задачах multi-depot кластеризації

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі запропоновано методику дослідження ефективності алгоритму Clarke–Wright у задачах multi-depot кластеризації з різною просторовою структурою даних. Сформовано три тестові датасети (рівномірний, кластеризований та комбінований) з ваговими характеристиками вершин. Проведено аналіз впливу обмеження сумарної потужності кластерів та вибору початкового депо на форму кластерів і довжину маршрутів. Результати експериментів демонструють, що структура вхідних даних може суттєво впливати на ефективність алгоритму та відкриває перспективи для подальших досліджень задач оптимальної маршрутизації.

Ключові слова: графові моделі, кластеризація, алгоритм Clarke–Wright, multi-depot, датасет.

Abstracts.

The paper proposes a methodology for studying the efficiency of the Clarke–Wright algorithm in multi-depot clustering problems with different spatial data structures. Three test datasets (uniform, clustered, and combined) with weighted vertices were generated. The influence of cluster capacity constraints and the choice of the initial depot on the cluster structure and route lengths was analyzed. Experimental results demonstrate that the structure of input data can significantly affect the efficiency of the algorithm and opens prospects for further research in optimal routing problems..

Keywords: graph models, clustering, Clarke–Wright algorithm, multi-depot, dataset.

Вступ

В оптимізаційних задачах на графах, особливу роль займають методи кластеризації вершин з відповідним формуванням ефективних маршрутів між ними. Одним із відомих евристичних підходів до розв'язання таких задач є алгоритм Clarke–Wright, який базується на принципі об'єднання окремих маршрутів із метою зменшення сумарних витрат переміщення. У класичній постановці алгоритм розглядається для систем із одним наперед визначеним центром кластеризації [1], однак у багатьох практичних і теоретичних задачах використовується модель з кількома центрами (multi-depot) [2]. У такому разі результат оптимальної маршрутизації буде залежати від вибору центрів кластеризації, на що у свою чергу впливатиме й структура вхідних даних.

Мета роботи полягає у розробленні методики дослідження ефективності алгоритму Clarke–Wright у задачах multi-depot кластеризації за різної просторової структури даних.

Результати дослідження

Для дослідження впливу просторової структури даних на результати кластеризації сформовано три тестові датасети, що відрізняються характером розподілу вершин (n) у площині: рівномірний (uniform), кластеризований (clustered) та комбінований (combined). У першому випадку вершини генеруються випадково в межах заданої області, що моделює однорідний розподіл точок. Другий датасет характеризується наявністю локальних груп точок, що імітує природні просторові кластери. Комбінований датасет поєднує обидві структури. Кожній вершині додатково призначається ваговий параметр ($p = 1 - 5$), що характеризує обсяг обслуговування та використовується як обмеження під час формування кластерів. Приклади сформованих наборів даних наведено на рис. 1.

У межах кожного датасету застосовано алгоритм Clarke–Wright для формування кластерів з урахуванням обмеження на сумарну потужність вершин у кластері ($p_{max} = 50$). При цьому початкову вершину (депо) визначено як точку, координати якої відповідають центру мас множини вершин, що теоретично дозволяє забезпечити більш збалансований просторовий розподіл кластерів. Результати кластеризації для різних структур даних наведено на рис. 2.

Після формування кластерів для кожного з них було побудовано маршрут обходу вершин. Для цього використано евристичний алгоритм найближчого сусіда [3], який дозволяє отримати наближено

оптимальну послідовність відвідування точок у межах кластеру. Побудовані маршрути наведено на рис. 3.

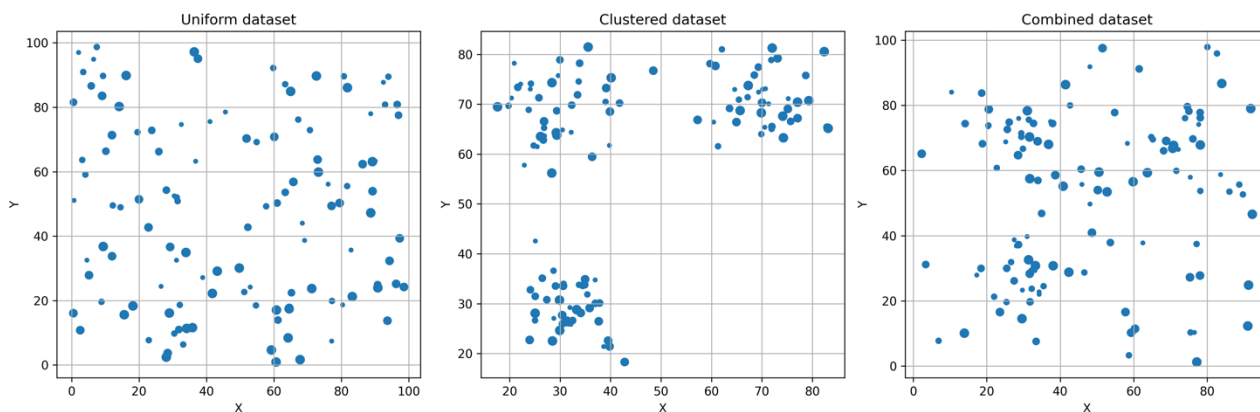


Рисунок 1 – Тестові датасети з різною просторовою структурою та вагами вершин ($n = 120, p = 1-5$)

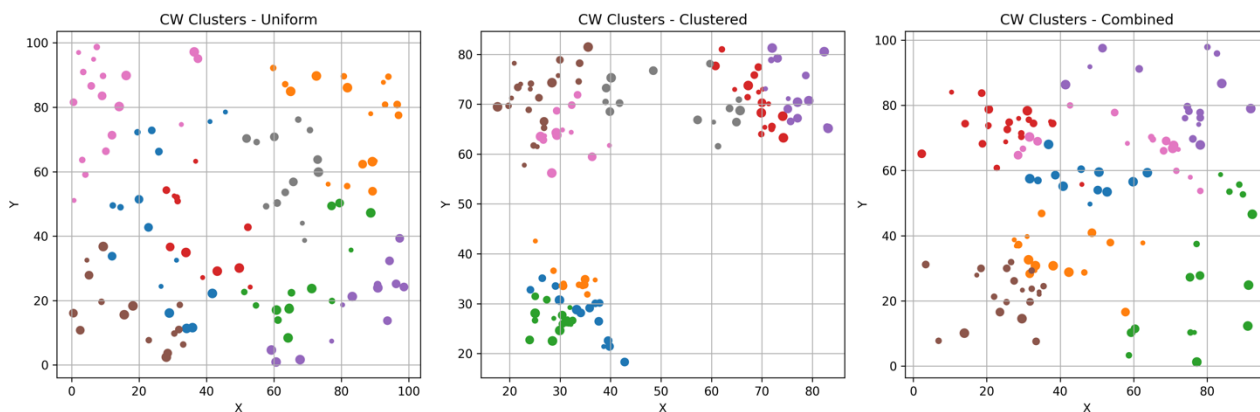


Рисунок 2 – Результати кластеризації алгоритмом Clarke–Wright з обмеженням сумарної потужності кластера $p \leq 50$ для різних структур датасетів. Кожен колір відповідає окремому кластеру

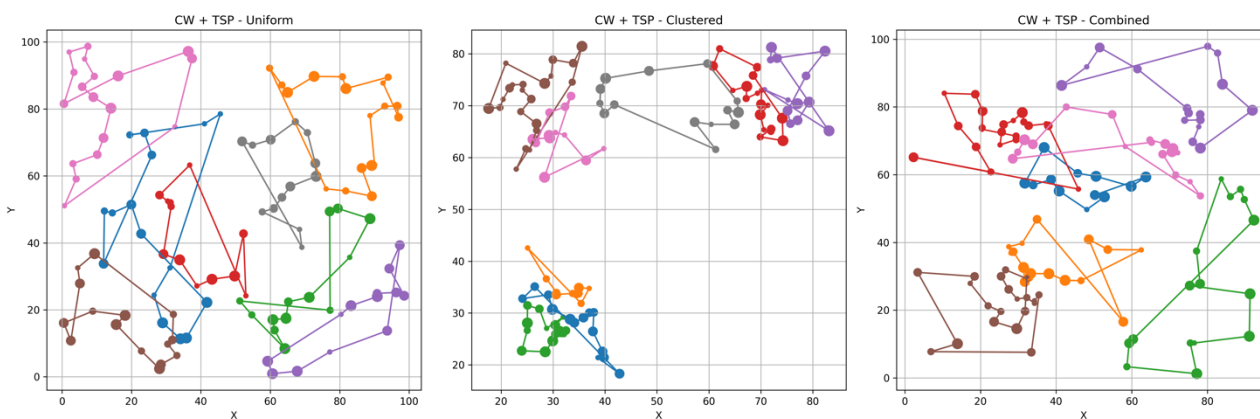


Рисунок 3 – Оптимальні маршрути обходу вершин усередині сформованих кластерів

Аналіз результатів наведених на рис. 3 показує, що структура тестувального датасету істотно впливає на форму побудованих кластерів та довжину внутрішніх маршрутів. А саме, для кластеризованих наборів даних алгоритм формує більш компактні кластери та коротші маршрути, тоді як для рівномірно розподілених точок спостерігається більша варіативність розмірів кластерів і збільшення довжин маршрутів. Комбінований датасет демонструє проміжні результати, що підтверджує залежність ефективності алгоритму від просторових характеристик вхідних даних.

Крім того, запропонований підхід забезпечує можливість аналізу впливу вибору початкового депо

на оптимальність сформованих кластерів та ефективність побудованих маршрутів, що відкриває перспективи для подальших досліджень у даному напрямку.

Висновок

У роботі розроблено методику дослідження ефективності застосування алгоритму Clarke–Wright у задачах multi-depot кластеризації за різної просторової структури даних. Проведені експерименти з тестовими датасетами дозволили проаналізувати особливості формування кластерів та побудови маршрутів при використанні зазначеного алгоритму. Запропонований підхід також дозволяє оцінити вплив вибору початкового депо на ефективність кластеризації та маршрутизації, що створює основу для подальших досліджень у задачах оптимізації транспортних і графових систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Clarke, G., & Wright, J.W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581.
2. Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., & Póvoa, A. P. B. (2020). Multi-depot vehicle routing problem: a comparative study of alternative formulations. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(2), 103–120. <https://doi.org/10.1080/13675567.2019.1630374>
3. Pratiwi, M., & Lubis, R. S. (2023). Distribution Route Optimization Using Nearest Neighbor Algorithm and Clarke and Wright Savings. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(3), 1638-1652. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12622>

Шевчук Олександр Федорович – доцент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua

Шевчук Юлія Олександрівна – студентка групи ІКН-256 факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: julia.shevchuk030508@gmail.com

Shevchuk Oleksandr F. – Associate Professor of the Department of Computer Sciences, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua

Shevchuk Yuliia O. – student, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: julia.shevchuk030508@gmail.com