

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГРАФОВИХ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто задачу комівояжера як класичну проблему комбінаторної оптимізації. Проаналізовано традиційні методи її розв'язання, зокрема метод перебору та метод найближчих сусідів, їхні переваги та обмеження. Описано можливості використання графових нейронних мереж для знаходження якісних рішень у великих графах.

Ключові слова: задача комівояжера, метод перебору, метод найближчих сусідів, графові нейронні мережі.

Abstract

Considered the traveling salesman problem as a classical combinatorial optimisation problem. Analyzed traditional methods of its solution, in particular, the brute-force method and the nearest neighbours method, their advantages and limitations. The possibilities of using graph neural networks to find high-quality solutions in large graphs are described.

Keywords: traveling salesman problem, brute force method, nearest neighbours method, graph neural networks.

Вступ

Задача комівояжера (Traveling Salesman Problem, TSP) є класичною NP-складною [1, 2, 3] задачею в області комбінаторної оптимізації, яка полягає у визначенні найкоротшого маршруту, що проходить через заданий набір міст хоча б один раз і повертається до початкової точки. Через свою складність та значущість у різних сферах, таких як логістика, транспортування та виробничі процеси, для її вирішення було розроблено численні методи, які відрізняються за точністю, швидкістю виконання та обчислювальною складністю.

Традиційні підходи включають метод перебору, що гарантує оптимальність, але є вкрай обчислювально затратним, та евристичні методи, такі як метод найближчих сусідів, який забезпечує швидке, хоча й не завжди оптимальне рішення.

З появою машинного навчання почали використовувати нейронні мережі, зокрема графові нейронні мережі (Graph Neural Networks, GNN), які дозволяють знаходити високоякісні рішення для великих графів без необхідності повного перебору всіх можливих маршрутів. Вони поєднують гнучкість та адаптивність, що робить їх перспективним інструментом для складних реальних застосувань. Важливим аспектом їхнього використання є здатність адаптуватися до нових умов, а також ефективно працювати у випадках, коли класичні алгоритми не дають прийняттого часу виконання.

Недоліки традиційних методів вирішення задачі комівояжера

Серед найбільш поширених підходів до вирішення цієї задачі виділяються метод перебору та метод найближчих сусідів. Кожен із них має свої переваги та обмеження, що визначають їх доцільність залежно від конкретних умов задачі, таких як кількість міст, наявність обмежень та необхідний рівень оптимальності рішення.

Метод перебору є базовим підходом, який гарантує знаходження оптимального маршруту. Він передбачає розгляд усіх можливих варіантів проходження міст [1, 4], що забезпечує отримання абсолютно точного результату. Однак, незважаючи на свою ефективність у пошуку найкоротшого маршруту, цей метод характеризується експоненціальним зростанням обчислювальної складності. Для

графа з n вершинами кількість можливих маршрутів визначається факторіалом $(n - 1)!$, що робить його обчислення надзвичайно ресурсозатратним при зростанні числа міст. Через це метод перебору є прийнятним лише для малих задач [1, 4], де кількість можливих комбінацій є обмеженою. Його основною перевагою залишається точність, оскільки гарантовано знаходиться оптимальний маршрут. Водночас цей метод є практично незастосовним для великих графів через високі часові та апаратні витрати.

Альтернативним підходом, що значно зменшує обчислювальні витрати, є метод найближчих сусідів, який належить до класу евристичних алгоритмів [1, 4]. Його суть полягає в тому, що комівояжер на кожному кроці обирає місто, найближче до поточного місця розташування, орієнтуючись на вагу ребер графа. Цей процес триває, доки всі вершини не будуть відвідані, після чого здійснюється повернення до стартового міста. Основною перевагою цього методу є його швидкість виконання та низька обчислювальна складність [1, 4]. Він не вимагає значних апаратних ресурсів та може бути реалізований навіть для великих графів, що робить його привабливим у випадках, коли необхідно отримати швидке, хоч і не завжди оптимальне рішення.

Однак метод найближчих сусідів має серйозні недоліки, головним з яких є відсутність гарантії знаходження найкоротшого маршруту. Оскільки вибір наступної вершини базується лише на локальній оптимальності, глобальна структура графа залишається без уваги, що може призвести до побудови неоптимального маршруту [1, 4]. Така жадібна стратегія не враховує можливих кращих варіантів на глобальному рівні, що може призвести до значних відхилень від оптимального розв'язку. Додатково, ефективність методу найближчих сусідів залежить від вибору початкової вершини, оскільки зміна стартової точки може суттєво впливати на підсумкову довжину маршруту.

Використання графових нейромереж для вирішення задачі комівояжера

У сучасних дослідженнях дедалі більше уваги приділяється використанню машинного навчання для вирішення задачі комівояжера. Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування графових нейронних мереж (Graph Neural Networks, GNN), які дозволяють ефективно моделювати взаємозв'язки між вершинами графа та використовувати адаптивні стратегії пошуку рішення [5]. Цей підхід поєднує переваги машинного навчання з оптимізаційними методами, що дозволяє знаходити рішення високої якості навіть для великих графів із динамічно змінюваними даними.

Головною перевагою графових нейронних мереж є їхня здатність ефективно обробляти графові структури, що дозволяє аналізувати відношення між вершинами і знаходити закономірності [5], які неочевидні для традиційних алгоритмів. Це значно покращує якість розв'язку, особливо в умовах змінних параметрів, таких як динамічні зміни вартості ребер або непередбачувані затримки, і зменшує обчислювальні витрати порівняно з традиційними методами, особливо для графів з великою кількістю вершин. Крім того, графові нейронні мережі можуть адаптуватися до змін у структурі графа [5], що робить їх корисними для реальних сценаріїв, де міста, дороги або умови можуть змінюватися в режимі реального часу.

Крім того, графові нейронні мережі мають здатність до узагальнення, що означає, що після навчання на одному наборі графів вони можуть бути ефективно використані для розв'язання нових задач без необхідності повторного навчання [5].

Водночас графові нейронні мережі, попри свою ефективність, не можуть гарантувати абсолютного оптимального рішення. Оскільки вони використовують наближені методи для оцінювання маршрутів, отриманий результат може бути не ідеальним, хоча й значно кращим, ніж у більшості класичних евристичних підходів. У багатьох випадках їх використання забезпечує компроміс між точністю та швидкістю, що є критично важливим у застосуваннях, де швидкість прийняття рішень відіграє ключову роль.

Висновки

Традиційні підходи, такі як метод перебору та метод найближчих сусідів, мають свої переваги та недоліки: метод перебору гарантує оптимальність, але є обчислювально затратним, тоді як метод найближчих сусідів дозволяє отримати швидке рішення, однак не завжди оптимальне.

З появою методів машинного навчання, зокрема графових нейронних мереж, стало можливим знаходити якісні рішення навіть для великих графів, значно зменшуючи обчислювальні витрати. Графові нейронні мережі поєднують адаптивність, здатність узагальнювати рішення та ефективно

працювати в умовах динамічних змін. Хоча вони не гарантують абсолютного оптимуму, їх застосування дозволяє досягти балансу між точністю та швидкістю розв'язку, що є важливим у практичних задачах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Algorithms for the Travelling Salesman Problem. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.routific.com/blog/travelling-salesman-problem>
2. Tackling the Traveling Salesman Problem with Graph Neural Networks | by Michael Atkin | Stanford CS224W: Machine Learning with Graphs | Medium. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/stanford-cs224w/tackling-the-traveling-salesman-problem-with-graph-neural-networks-b86ef4300c6>
3. TranSPormer: A Transformer Network for the Travelling Salesman Problem | by Davide Caffagni | Towards Data Science. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/transpormer-a-transformer-network-for-the-travelling-salesman-problem-154bd33c37b0>
4. Intro — Python Algorithms: Traveling Salesman Problem | by David Liang | Medium. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/@davidfliang/intro-python-algorithms-traveling-salesman-problem-ffa61f0bd47>
5. Graph Neural Network and Some of GNN Applications. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://neptune.ai/blog/graph-neural-network-and-some-of-gnn-applications>

Матейко Євгеній Віталійович – студент групи 1КН-24м, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mateyko99evgeniy@gmail.com

Колесницький Олег Костянтинович – канд. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. email: kolesnytskiy@vntu.edu.ua

Паночиський Юрій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. email: y.panochyshyn@vntu.edu.ua

Mateiko Yevhenii V. – student of group 1KN-24m, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mateyko99evgeniy@gmail.com

Kolesnytskyj Oleh K. – Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Computer Science Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: kolesnytskiy@vntu.edu.ua

Panochyshyn Yuriy M. – Cand. Sc. (Eng.), Docent of the Computer Science Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: y.panochyshyn@vntu.edu.ua