

МАРШРУТИЗАЦІЯ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ МУРАШКОВОГО АЛГОРИТМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто проблеми маршрутизації доставки товарів. Запропоновано математичну модель та алгоритм розв'язання задачі на основі мурашкового алгоритму.

Ключові слова: маршрутизація доставки товарів, мета евристика, оптимізація мурашкової колонії

Abstract

The paper considers the problem of routing the delivery of goods. A mathematical model and an algorithm for solving the problem based on the ant algorithm are proposed.

Keywords: product delivery routing, metaheuristics, ant colony optimization

Вступ

Послуги електронної комерції стрімко зростають з кожним роком в усьому світі. Очевидними перевагами онлайн-торгівлі є зручність замовлення товару покупцем, можливість скорочення товарних запасів, збільшення кількості клієнтів тощо [1]. Але, дані переваги вимагають серйозної логістичної підтримки. До ключових логістичних процесів роботи Інтернет-магазину, відносяться, зокрема, комплектація замовлень на складі та їх доставка покупцям. Складнощі процесу пов'язані, з малим розміром замовлень і стислими термінами виконання заявок клієнтів. Не меншу складність представляє і «остання миля» доставки товарів кур'єрами, до термінів виконання якої пред'являються все більш жорсткі вимоги. Висока конкуренція, економіка, зав'язана на споживача, помилки в доставці замовлень, обслуговування зворотних потоків - збільшують вартість доставки. В результаті, доставка на «останньої милі» вважається найбільш витратною частиною дистрибуції товарів [2].

Задачі маршрутизації доставки товарів

Одним з основних напрямків вдосконалення доставки на «останньої милі» є оптимізація маршрутів транспортування. Однак, за наявності великої кількості індивідуальних споживачів, рішення даної задачі стає досить складним. Так, наприклад, при доставці товару 50 клієнтам, існує близько 3,5 квадрильона можливих маршрутів, серед яких треба вибрати оптимальний. А за наявності 56 покупців, необхідно здійснити вибір оптимального маршруту вже з 86 квадрильонів варіантів. Експоненціальне зростання кількості варіантів призводить до відповідного збільшення витрат часу на вирішення задачі оптимальної маршрутизації [3]. Задачу мінімізації транспортних витрат на доставку «останньої милі» (VPR - Vehicle Routing Problem) розбивають на кілька класів [4]: тільки прямої (CVRP - Capacitated VRP) або прямої та зворотньої доставки (VRPB - VRP with Backhauls), можливості відвідування пунктів доставки більше одного разу (SDVRP - Split DeliveriesVRP), наявності кількох пунктів відправлення транспортних засобів (MDVRP - Multi Depot VRP), можливості відвідування кожного пункту доставки як мінімум одним транспортним засобом (PVRP - Periodic VRP).

Математичні моделі подання задачі маршрутизації CVRP

Задачу маршрутизації CVRP можна подати математичною моделлю, яка представляється рядом обмежень. Існує кілька одиниць автотранспорту з обмеженою вантажопідйомністю, один склад, кілька клієнтів. Для кожного транспортного засобу необхідно скласти маршрут, який починається і

закінчується біля складу, на кожному маршруті сума вантажу не може перевищувати вантажопідйомність транспортного засобу.

Математичну модель можна побудувати і у вигляді графа. $G = (V, E)$, де V - множина вершин графа, E - множина дуг, що з'єднують вершини графа G . Вершини графа відповідають пунктам доставки $1 \dots n$, де 0 і $n + 1$ вершинами є пункт відправки (склад). C - множина клієнтів, кожен з яких має свою потребу у вантажі d_i . K - множина автомобілів з обмеженою вантажопідйомністю q . Рішення задачі CVRP можна зобразити у вигляді графа, що є об'єднанням k орієнтованих циклів вихідного графа G , що мають єдиний перетин в вершині з індексом 0 .

Використання метаевристичних алгоритмів для розв'язання NP-повних задач

Задача CVRP, в якій зводяться завдання комівояжера і завдання рюкзака, визнана важкою в дискретної оптимізації і вважається NP-повною через часову складність алгоритмів [5]. Це означає, що час її рішення експоненціально зростає зі збільшенням кількості точок відвідування. Відомі класичні алгоритми, здатні вирішити «задачу комівояжера», ефективно працюють лише при її невисокою розмірності (кількість точок не перевищує 20). У той же час операторам роздрібною Інтернет-торгівлі найчастіше необхідно будувати оптимальний маршрут через сто і більше точок [6]. У таких випадках швидко перебрати всі можливі рішення і знайти серед них оптимальне стає практично неможливо. Але знаходження оптимуму за всяку ціну далеко не завжди є потрібним і раціональним. Найчастіше цілком достатньо отримати лише близький до оптимального результат, але з набагато меншими часовими витратами на пошук рішення. Для цього використовують метаевристичні алгоритми [7,8], такі як: метод імітації відпалу [9], метод пошуку з заборонами, метод детермінованого відпалу, еволюційні і генетичні алгоритми [10-12], алгоритм рою часток [13-14], мурашковий алгоритм [15-18], нечіткі евристичні алгоритми [19-20]. Перевага даних методів полягає в знаходженні рішення близького до оптимального, в порівнянні з евристичними методами, які можуть надавати лише локальні рішення. Метаевристичні методи досліджують більший простір пошуку для знаходження рішення, ніж евристичні і не схильні часто застрягати в локальних мінімумах [21].

Вони характеризуються більш складним алгоритмом пошуку, мають ускладнену структуру даних, використовують рекомбінацію і модернізацію рішень на відміну від класичних евристичних методів і алгоритмів. Для отримання кращих рішень, в метаевристичних алгоритмах необхідно налаштувати значення керуючих параметрів [22]. У багатьох випадках контекст завдання визначає подальший вибір типу метаевристики і керуючих параметрів. Вибір параметрів здійснюється експериментально для кожного завдання індивідуально. Це робить неможливим використання однакових керуючих параметрів для різних завдань, навіть якщо вони вирішуються одним і тим же метаевристичним методом. Обчислювальна складність метаевристичних методів вище, ніж обчислювальна складність евристичних, отже, і час виконання алгоритму буде більшим. У даній роботі планується вирішити завдання CVRP з використанням алгоритму мурашиної колонії. Основна ідея мурашиного алгоритму полягає в пошуку найкоротшого шляху від колонії до джерела живлення.

Розв'язання задачі маршрутизації CVRP на основі метаевристики мурашкової колонії

Мурашкові алгоритми базуються на імітації природних механізмів самоорганізації мурах, яка здійснюється завдяки взаємодії усіх мурах між собою. Кожна мураха є самостійною одиницею, нездатною вирішити задачу самостійно. Самоорганізація дозволяє досягти мети всією системою, завдяки взаємодії її елементів на нижньому рівні.

Система не має централізованого управління, її взаємодією є непрямий обмін, який реалізується за допомогою спеціальних хімічних речовин - феромонів, залишених на шляху після переміщення мурашки. Мураха, проходячи по шляху, підсилює концентрацію феромону на ньому. Залежно від кількості феромону на шляху, шлях стає більш-менш прийнятний для проходження мурашки по ньому. Шлях, який містить найбільшу кількість феромону стає домінуючим, і в кінці приводить до оптимального вирішення завдання системи. Для балансу системи вводиться процес випаровування феромону, який дозволить знаходити нові рішення, не зупиняючись на першому знайденому шляху.

Вхідними даними до даного завдання маршрутизації виступають кількість пунктів доставки - вершин, їх місце розташування, потреба у вантажі, кількість транспортних засобів. На початковому етапі розраховується матриця відстаней D між усіма вершинами, ініціалізуються коефіцієнти: α -

параметр, який регулює слід феромону, β - параметр, який регулює видимість при виборі маршруту, q - параметр збільшення інтенсивності феромону, p - параметр зменшення інтенсивності феромону, p_2 , τ_0 - параметри, що впливають на локальну корекцію феромону.

На першому етапі запускається цикл по всіх ітераціях. Всередині циклу по ітераціях виконується цикл по всіх мурашках. Кожна мураха будує маршрут, починаючи рух з вершини v_0 , і далі, оцінюючи ймовірність переходу з однієї вершини в іншу, переходить в ще не відвідану вершину. Значення ймовірності залежить від величини, обернено пропорційній відстані між вершинами, а також від значення феромону на цій дузі. Обчислюємо ймовірність переходу мурахи з однієї вершини до іншої. Після підрахунку значення ймовірності, генеруємо випадкове число в діапазоні $[0,1]$, і в залежності від того, куди потрапляє це число, вибираємо наступну вершину маршруту. Якщо вантажопідйомність мурахи досягла межі, вона повертається до складу, а новий маршрут починає будувати наступна мураха, цикл закінчується коли перелік не відвіданих вершин стає порожнім. Після обходу всіх вершин одною мурахою відбувається локальне оновлення феромону. На цьому циклу по мурашкам закінчується. На другому етапі знаходимо найкращий і найгірший за довжиною маршрут з отриманих на попередній ітерації. Здійснюємо глобальне оновлення феромону. Переходимо на перший етап. Умова зупинки ітерацій визначається виходячи зі складності завдання. На третьому етапі визначаємо найкращий результат з усіх ітерацій.

Висновок

У роботі здійснено попередню розробку алгоритму комплексної оптимізації задачі транспортної логістики з урахуванням вимог і обмежень, що накладаються практичним застосуванням. Алгоритм базується на метаевристиці мурашкової колонії. Надалі планується програмна реалізація алгоритму, та аналіз експериментальних результатів його роботи в реальних умовах.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Huang R. Ecommerce in Rural Areas and Environmental Sustainability: The Last-Mile Delivery. – WHICEB 2017 Proceedings. – p.50.
2. Cardenas I., Beckers J., Vanelslander T. E-commerce last-mile in Belgium: Developing an external cost de-livery index/ Research in Transportation Business & Management, available. - 2017. – [Електронний ресурс] режим доступу: [at:https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/07/Fardapaper-E-commerce-last-mile-in-Belgium-Developing-an-external-cost-delivery-index.pdf](https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/07/Fardapaper-E-commerce-last-mile-in-Belgium-Developing-an-external-cost-delivery-index.pdf)
3. Виноградов А. Б., Кольчугин Д. М. Логистическая поддержка развития операторов розничной интернет-торговли (часть 1) / Логистика сегодня – No 5, 2013. – С.286-298
4. Гиндуллин, Р.В. Оптимизация маршрута доставки однородного груза от множества производителей множеству потребителей: дис... канд. ф.-м. наук / Р.В.Гиндуллин. – Уфа, 2014. – 147с.
5. Меламед И. И., Сергеев С. И., Сигал И. Х. Задача коммивояжера. Вопросы теории / Автоматика и телемеханика. – № 9, 1989. – С. 3-33
6. Серая О. В., Бачкир Л. В. Стохастическая задача коммивояжера / Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт / Серия: Информатика и моделирование. – № 40, 2006. – С. 169 – 173
7. Бузовський П. О., В. І. Месюра. Аналіз метаевристичних підходів до розв'язання задачі складання навчальних розкладів// XLIX Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9816/8804>
8. Ліщинський В. О., Месюра В. І. Обґрунтування вибору метаевристики для визначення оптимального маршруту // XLIX Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9892/8241>
9. Гранік М.О. Використання методу імітації відпалу для розв'язання задачі про розфарбування графу / М.О.Гранік, В.І.Месюра // Інформаційні процеси і технології «Інформатика - 2013»: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, Севастополь, 22 – 26 квіт. 2013 р. / М-во освіти і науки України, Севастоп, нац. техн. ун-т; наук. ред. С.В.Доценко – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 77-78. – ISBN 978-966-335-393-7.
10. Тасьмук Д.І., Месюра В.І. Оптимізація міського трафіку за допомогою генетичного алгоритму// «Інтернет-Освіта-Наука-2018», Одинадцята міжнародна науково-практична конференція ІОН-2018, 22-25 травня, 2018: Збірник праць. –Вінниця: ВНТУ, 2018 –ст. 24-25 с. –ISBN978-966-641-728-5
11. Тасьмук, Д.І., Месюра, В.І. Генетичний алгоритм для керування рухом на перехресті // Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції, 19–21 квітня 2018 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – С. 121-122. ISBN 978-966-379-869-1.
12. Тасьмук Д., Месюра В. Визначення параметрів алгоритму оптимізації керування рухом на перехресті / Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018). XIV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року. – Вінниця: ВНТУ. – 2018. – с.138

13. Бендерук Ю. А., Динамічна зміна коефіцієнтів соціалізації та персоналізації методу рою часток під час розв'язання задачі про розподіл економічного навантаження / Ю.А. Бендерук, М. О. Гранік, В. І. Месюра. - Вісник Вінницького політехнічного інституту -. - 2013. - №3. - С. 96-98.
14. Бендерук Ю.А. Підбір константних пара метрів методу рою часток за методом імітації відпалу під час розв'язання задачі розподілу виробничого навантаження / Ю. А. Бендерук В. І. Месюра //Наукові праці Вінницького національного технічного університету. - 2013. - №3. - [Електронне наукове фахове видання] – Режим доступу до журн.:http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-in/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/VNTUV_2013_2_8.pdf
15. Сімоненко, Д. В., Месюра, В. І., «Мультиагентна система маршрутизації на основі мурашкового алгоритму» в Матеріали конференції «XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2017)», Вінниця, 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/index/pages/view/zbim2017> Дата звернення: Черв. 2017
16. Корчиста О.В. Інтелектуальний модуль планування шляху мобільного робота / О.В. Корчиста, В. І. Месюра // XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ - 2017) / Електронне наукове видання матеріалів конференції. - Вінниця, 2017. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2026/1890>.
17. Корчиста О.В. Навігація мобільного робота у динамічному середовищі / О.В. Корчиста, В. І. Месюра // Вінниця: ВНТУ. - 2018. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/4894/4277>.
18. Корчиста О.В., Месюра В.І. Гібридний модуль планування шляху мобільного робота у динамічному середовищі // О.В. Корчиста, - «ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2018», Одинадцята міжнародна науково-практична конференція ІОН-2018, 22-25 травня, 2018 : Збірник праць. - Вінниця : ВНТУ, 2018 – с.26-27.
19. Корчиста О.В., Месюра В.І. Мурашковий алгоритм на базі нечіткої логіки // Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції, 19–21 квітня 2018 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – С. 104-105.
20. Корчиста О., Месюра В. Розробка нечіткої бази знань гібридного модулю планування шляху / Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018). XIV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року. – Вінниця: ВНТУ. – 2018. – с.138.
21. Месюра В. І. Основи проектування систем штучного інтелекту. Навчальний посібник /В. І. Месюра, Л. М. Ваховська. – В.: ВДТУ, 2000. – 96 с.
22. Сидоренко, С. О., Месюра, В. І., «Інтелектуальний модуль для налаштування параметрів генетичного алгоритму», в Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)», Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-mn/index/pages/view/zbim2019> , Дата звернення: Берез. 2020.

Продан Владислав Олександрович – студент групи 1КН-19мс, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vladislav.prodan@gmail.com

Месюра Володимир Іванович – к.т.н., доцент, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Арсенюк Ігор Ростиславович – к. т. н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladyslava V. Shevchuk – Student of Department of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladashevchuk111@gmail.com

Volodymyr I. Mesyura – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Computer Science Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Igor R. Arsenyuk – Cand. Sc., Assistant Professor of the Chair of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.