

**ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ МУРАШИНИХ КОЛОНІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ  
ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

*В статті проведено аналіз МЕТОДІВ вирішення задач маршрутизації транспортних засобів з обмежуючими факторами.*

*Розглянуто теоретичні підходи до вирішення задач маршрутизації транспортів, питання евристики та оцінки методів їх реалізації. Проведено аналіз методу вирішення задач з часовими, транспортними, та періодичними обмеженнями з застосуванням алгоритму мурашиних колоній.*

*Запропоновано досить раціональне рішення поставленої задачі, яке може бути використане в якості основи для порівняння, або методу для вдосконалення під нові обмеження.*

*Ключові слова: задача маршрутизації транспортів, ЗМТ, евристика.*

IVAN BARBASHOV, OLEKSANDR OGNEVOY  
Khmelnitskyi National University

**APPLYING ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM FOR SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM**

*This paper analyzes methods of Vehicle Routing Problems solutions with restrictions.*

*The theoretical foundations of Vehicle Routing Problems solutions, heuristic and assessment of methods for their implementation are considered. The analysis of problem-solving techniques with time windows, split delivery and periodic, by applying the ant colonies method to VRP.*

*Thus, found quite a rational solution of the task, which can be used as a basis for comparison, or a method to improve under the new restrictions.*

*Keywords: Vehicle Routing Problems, VRP, heuristic*

**Вступ.** Автоматизація перевезень вантажів неможлива без якісного планування, яке повинне бути спрямоване на ефективне використання ресурсу: транспортних засобів, часу, пального, тощо. Основою такої автоматизації перевезення вантажу є якісна маршрутизація вантажоперевезень та розподіл транспортних ресурсів по маршрутах за умови абсолютного дотримання виконання плану перевезень у відповідності з обраними критеріями оптимізації. Вирішуючи такі задачі важливо врахувати усі обмежуючі фактори кожного транспортного засобу, та максимально оптимізувати маршрут вантажоперевезень, наприклад використовуючи метод мурашиних колоній.

Аналіз літератури показує, що більшість підходів пропонують математичний апарат, який дозволяє розрахувати певні показники в конкретних умовах перевезень без пошуку оптимальних рішень. Так в [1] наводиться загальний алгоритм планування вантажних автомобільних перевезень.

Мета статті - рішення задачі визначення оптимального плану маршрутизації вантажоперевезень за допомогою методу мурашиних колоній і розподілу транспортних засобів за маршрутами перевозок за критерієм мінімуму сумарних витрат на перевезення з урахуванням техніко-експлуатаційних параметрів транспортних засобів та стану доріг в транспортній мережі.

**Основна частина.** При вирішенні задачі маршрутизації транспортних засобів мурахи імітують транспортні засоби, маршрути будуються покроково вибором наступного клієнта доти, поки не будуть обслужені всі клієнти. Спочатку мураха стартує на базі (депо) і список клієнтів, включених в його маршрут, порожній. Мураха вибирає наступного клієнта зі списку доступних клієнтів і оновлює свою поточну завантаженість перед вибором наступного. Мураха повертається в депо, коли досягнута його максимальна вантажопідйомність, або всі клієнти вже відвідані.

Сумарна довжина  $L_k$  розраховується як значення об'єктної функції повного маршруту  $k$ -го штучного мурахи. Алгоритм мурашиних колоній будує повний маршрут для першого мурашки, перед тим як другий почне свій рух. Це продовжується до тих пір, поки заздалегідь визначене число мурах  $m$  не збудують повний маршрут. Окремим випадком задачі маршрутизації транспортних засобів, коли попит кожного клієнта дорівнює 0, є задача комівояжера [2].

Вибір наступного клієнта виробляється випадковим чином на основі ймовірнісної формули:

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\mu_{ij})^\beta}{\sum_{i \in M_k} (\tau_{ij})^\alpha (\mu_{ij})^\beta}, \text{ якщо } j \in M_k, \text{ інакше } 0,$$

де  $\tau$  – кількість феромону на шляху між поточною позицією  $i$  та можливої позиції  $j$ ,  $\mu_{ij} = 1/d_{ij}$ . Параметри  $\alpha$  та  $\beta$  відповідно означають відносні значущості кількості феромону і відстані при виборі наступного клієнта. При  $\alpha = 0$  алгоритм вироджується в жадний, коли вибирається найближче місто без урахування кількості феромону.

Для досягнення поліпшення майбутніх маршрутів необхідно оновлювати слід феромону в залежності від якості одержуваних рішень. Цей процес є ключовим елементом адаптивної техніки навчання алгоритму мурашиних колоній і допомагає поліпшити подальші рішення.

Оновлення сліду феромону складається з двох етапів: імітації випаровування феромону і оновлення

сліду в залежності від якості одержуваного рішення. Імітація випаровування феромону проводиться за такою формулою:

$$\tau_{ij} = (1 - p)\tau_{ij} + \sigma,$$

де  $p$  - параметр контролюючий інтенсивність випаровування феромону,  $\sigma$  - параметр, який гарантує мінімальну концентрацію феромону на ребрі, що дорівнює довільному, досить невеликому значенню.

Для дуги  $(i, j)$  та маршруту  $T_k$  кількість відкладаємого феромону задається у вигляді:

$$\Delta T_{ij,k} = \begin{cases} \frac{O}{L_k}, & (i, j) \in T_k \\ O, & (i, j) \notin T_k \end{cases},$$

де  $O$  - параметр, що має значення порядку оптимальної довжини всіх маршрутів, тоді для ребра  $(i, j)$  загальна кількість феромону визначається за формулою:

$$\Delta T_{ij} = \sum_{k=0}^m \Delta T_{ij,k},$$

де  $m$  - кількість мурах в колонії.

Таким чином, за сумою двох етапів кількість феромону задається формулою:

$$\tau_{ij} = (1 - p)\tau_{ij} + \sigma + \Delta \tau_{ij}.$$

Локальна оптимізація маршрутів.

Для поліпшення якості створюваних маршрутів використовуються алгоритми локального пошуку. У даній роботі ми розглянемо застосування алгоритму 2-точкової оптимізації (2-opt). В запропонованому алгоритмі кожна пара поруч стоять точок в маршруті обмінюється місцями, в разі якщо значення цільової функції поліпшується зміна застосовується до рішення. Процес повторюється до тих пір, поки вдається покращувати рішення.

**Обчислювальний експеримент.** Для обчислювального експерименту були відібрані три завдання.

В ході чисельного експерименту було відстежено вплив значень параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  на якість одержуваного рішення (задача E051-05e).

У першому наборі тестів перевірялося вплив параметра  $\alpha$  (параметр значущості кількості феромону при виборі наступного клієнта). Значення параметра  $\alpha$  змінювалося від 1 до 10, інші параметри були зафіксовані:  $\beta = 1, p = 0.2, O = 524$ . Згідно таб. 1 збільшення параметра  $\alpha$  призводить до істотного погіршення рішень.

Таблиця 1

**Вплив параметра  $\alpha$  на якість вирішення L.**

$\alpha$	1	3	5	7	9
L	585.7	774.5	1229.3	1113.9	1145.9

У другому наборі тестів перевірялося вплив параметра  $\beta$  (параметр значущості відстані при виборі наступного клієнта). Значення параметра  $\beta$  змінювалося від 1 до 10, інші параметри були зафіксовані:  $\alpha = 1, p = 0.2, O = 524$ . Як легко можна помітити з таб. 2 зміна значення  $\beta$  практично не впливає на рішення, найкраще рішення досягається при значеннях параметра 3 і 5.

Таблиця 2

**Вплив параметра  $\beta$  на якість вирішення L.**

$\beta$	1	3	5	7	9
L	585.7	567.4	567.3	576.2	583.0

На рис. 2.1 графічно відображені результати попередніх наборів тестів.

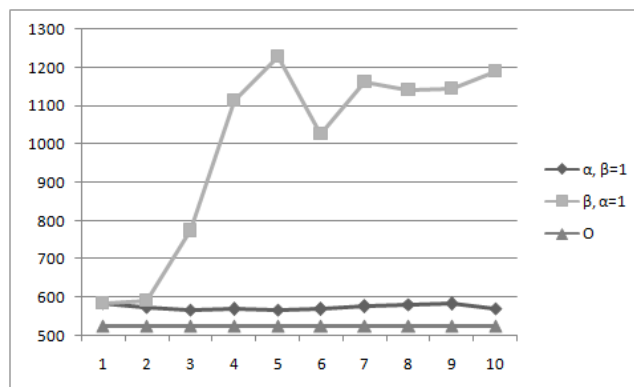


Рис. 1. Вплив параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  на якість рішення.

Результати для різних комбінацій  $\alpha$  і  $\beta$  наведені в таб.3.

Таблиця 3

**Вплив комбінацій параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  на якість вирішення L.**

$\alpha$	$\beta$	L
2	3	569.1
2	4	603.3
2	5	606.8
2	8	579.0
2	10	568.8
2	12	582.7
3	5	603.0
3	10	564.7
3	12	605.9
3	15	605.9

Значення кращих рішень, отриманих для 3 тестових завдань показані в таб.4

Таблиця 4

**Найкращі отримані рішення.**

Задача	Відоме рішення	Отримане рішення
E051-05e	524.6	564.7
076-10e	835.3	956.5
E101-08eE	826.1	969.7

При проведенні вищеописаних наборів тестів на останніх двох прикладах спостерігається аналогічна поведінка: при збільшенні параметра  $\alpha$  рішення задачі різко погіршується, зміна  $\beta$  в свою чергу подібного ефекту не дає.

Для оцінки масштабованості реалізованого алгоритму мурашиних колоній був проведений ряд запусків тестових завдань на 1 і 4 ядрах. Результати приведені в таб. 5.

Таблиця 5

**Час виконання на 1 і 4 ядрах.**

Задача	Час виконання на 1 ядрі, с.	Час виконання на 4 ядрах, с.	Коефіцієнт масштабованості (прискорення)
E051-05e	20	6	3.33
076-10e	70	18	3.88
E101-08eE	152	39	3.89

**Висновок.** Результати експериментів показали, що вибір комбінацій параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  мають істотний вплив на якість одержуваного рішення, при великих значеннях  $\alpha$  і маленьких  $\beta$  отримане рішення може виявитися в рази гірше вже відомих рішень, емпірично було з'ясовано, що найкращі результати досягаються при значеннях  $\beta$  в 3 -5 разів більших, ніж  $\alpha$ .

Запропонована паралельна реалізація алгоритму мурашиних колоній показала хороші значення прискорення, близькі до теоретичного максимуму.

**Література**

1. Лукинский В. С. Модели та методи теорії логістики / В.С. Лукинський. – К: СПб, 2003. – 176 с.
2. Ігнат'єв А. Л. Паралельні методи рішення задачі комівояжера . Праця 51-ї наукової конференції МФТИ «Сучасні проблеми фундаментальних та прикладних наук»: Частина IX. Інновації та високі технології / А. Л. Ігнат'єв. – М. : МФТИ, 2008 г. - 4-6 с.

**References**

1. Lukinskiy V. S. ModelI ta metodi teorii logistiki. K: SPb, 2003. – 176 s.
2. Ignat'Ev A. L. Paralelni metodi rishennya zadachi komivoyazhera . Pratsya 51-Yi naukovoyi konferentsiyi MFTI «Suchasni problemi fundamentalnih ta prikladnih nauk»: Chastina IX. Innovatsiyi ta visoki tehnologiyi / A.L Ignat'Ev – M. : MFTI, 2008 g. - 4-6 s.

Рецензія/Peer review : 13.12.2014 р.

Надрукована/Printed :2.1.2015 р.