

ОЦІНКА ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПОШУКОВИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ЛОГІСТИКИ, В ОСНОВІ ЯКИХ ЛЕЖИТЬ ЗАДАЧА КОМІВОЯЖЕРА

Володимир Троцько¹, Ігор Чернозубкін², Юрій Добришин³

¹К.військ.н., доцент кафедри комп'ютерних наук, ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна, e-mail: trotskovv@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4656-06152>

²К.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук, ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна, e-mail: igorch@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3243-4714>

³К.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук, ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна, e-mail: dobr@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2473-9507>

EVALUATION OF THE PRACTICAL USE OF SEARCH ALGORITHMS FOR SOLVING LOGISTICS TASKS BASED ON THE TRAVELING SALESMAN'S TASK

Volodymyr Trotsko¹, Igor Chernozubkin², Yuriy Doryshyn³

¹PhD (Military), associate professor of computer science department, "KROK" University, Kyiv, Ukraine, e-mail: trotskovv@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4656-06152>

²PhD (Technical), associate professor of computer science department, "KROK" University, Kyiv, Ukraine, e-mail: igorch@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3243-4714>

³PhD (Technical), associate professor of computer science department, "KROK" University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dobr@krok.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2473-9507>

Анотація. Актуальність публікації обумовлена зростанням практичних потреб логістичного забезпечення в динамічному середовищі потоків обслуговування та транспортування. Необхідність ефективного використання ресурсів під час логістичної обробки замовлень із застосуванням засобів автоматизації сьогодні не викликає сумнівів особливо для задач пов'язаних з комбінаторною логікою де досягнення оптимального результату пов'язане зі значними обчислювальними ресурсами. Однією з таких задач є задача комівояжера (TSP). Метою публікації є порівняльна оцінка групи алгоритмів для вирішення практичних логістичних завдань, в основі яких лежить задача комівояжера. Методологія дослідження ґрунтувалась на проведенні обчислювального експерименту та проведенні подальшого аналізу отриманих результатів для декількох метаевристичних алгоритмів, один із яких був запропонований авторами як комбінація двох відомих методів - методу Монте-Карло та методу найближчого сусіда або "жадібного алгоритму". В результаті проведеного дослідження з'ясувалося що запропонований комбінований метод є більш ефективним при вирішенні TSP великої розмірності серед розглянутих алгоритмів, отже його використання на практиці для вирішення логістичних задач призведе до суттєвішої економії ресурсів. Також слід зазначити, що підхід, якій ґрунтується на комбінації двох, а можливо і більшої кількості методів, може бути більш продуктивним, ніж використання одного алгоритму, що дає простір для подальших досліджень.

Ключові слова: жадібний алгоритм, алгоритм імітації відпалу, комбінований алгоритм, задача комівояжера, метаевристичні алгоритми, логістика.

Формули: 0; рис.: 3; табл.: 2, бібл.: 6

Annotation. The relevance of the article is due to the growing practical needs of logistics support in the dynamic environment of service and transportation flows. The need for efficient use of resources during the logistic processing of orders with the use of automation tools is not in doubt today, especially for problems related to combinatorial logic where achieving the optimal result is associated with significant computing resources. One of these tasks is the traveling salesman task (TSP). The purpose of the publication is a comparative evaluation of a group of algorithms for solving practical logistics tasks, which are based on the task of a traveling salesman. The research methodology was based on conducting a computational experiment and conducting further analysis of the obtained results for several metaheuristic algorithms, one of which was proposed by the authors as a combination of two well-known methods - the

Monte Carlo method and the nearest neighbour method or "greedy algorithm". As a result of the research, it became clear that the proposed combined method is more effective in solving large-dimensional TSP among the considered algorithms, therefore, its use in practice for solving logistics problems will lead to a more significant saving of resources. It should also be noted that an approach based on a combination of two, and possibly more, methods can be more productive than using one algorithm, which leaves room for further research.

Keywords: *greedy algorithm, annealing simulation algorithm, combined algorithm, travelling salesman problem, metaheuristic algorithms, logistic.*

Formulas:0; fig.: 3; tabl.: 2;bibl.: 6

Постановка проблеми. Вирішення завдань логістики сьогодні є актуальним як ніколи. Ці завдання стосуються не тільки перевезень товарів та надання послуг на міжнародних і внутрішніх ринках. Логістичний сервіс в більш широкому розумінні являє собою управління матеріальними, інформаційними та іншими потоками. Значна кількість задач логістичного сервісу вимагає знаходження рішень близьких до оптимального за якомога коротший час. Такі рішення дають можливість значною мірою економити ресурси. В роботі [1] була здійснена спроба проаналізувати можливість практичного використання найшвидшого алгоритму з вирішення задачі комівояжера (TSP) в комбінації з алгоритмом Монте-Карло для знаходження якомога коротшого маршруту. При цьому, метою подальших досліджень ставилося завдання проведення досліджень запропонованого способу для задач TSP різної розмірності. Зазначалося, що час виконання задачі TSP метаевристичним алгоритмом імітації відпалу може бути більшим. Оскільки задача пошуку оптимального маршруту за мінімальний час залишається актуальною, у статті описано результати порівняння роботи зазначених алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Порівняльний аналіз ефективності евристичних та метаевристичних алгоритмів описаний у фундаментальних працях [2] та в окремих публікаціях [3]. Для порівняння застосовувалося тестування різного роду, зокрема із використанням контрольних функцій для групи метаевристичних алгоритмів. Із останніх робіт в цій галузі можна навести [4]. Таке порівняння має суттєве теоретичне значення для вивчення властивостей алгоритмічних моделей. Проте, з практичної точки зору оцінювання

швидкості виконання алгоритмів не здійснювалося. Тобто, для практики застосування мало стверджувати, що один алгоритм кращий ніж інший. Оскільки ці алгоритми є метаевристичними, необхідно визначити умови, за яких вони будуть ефективними. Це насамперед кількість циклів генерації випадкового числа, розмірність матриці TSP, і відповідно до цього, час виконання алгоритму. Таке порівняння є одним із методів часового аналізу алгоритмів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є порівняльна оцінка групи алгоритмів для вирішення практичних логістичних завдань, в основі яких лежить задача комівояжера (TSP).

Викладення основного матеріалу дослідження. Відомо, що "найшвидшим" алгоритмом для вирішення задачі TSP є "жадібний" алгоритм або алгоритм найближчого сусіда. Швидкість його виконання в задачі TSP обумовлена лише пошуком мінімального значення на кожному кроці. Оскільки ця операція є однією з найшвидших і виконується пропорційно зі зменшенням кількості необраних міст, швидкість цього алгоритму не викликає сумнівів. "Розплата" за такий підхід відбувається наприкінці обчислень, коли можливість вибору суттєво звужується. Для подолання даного недоліку у роботі [1] був запропонований комбінований алгоритм, який дозволяє наприкінці обчислень використовувати випадковий пошук методом Монте-Карло з циклічним повторенням для досягнення найкращого результату. Ефективність цього комбінованого підходу була доведена для матриці розмірністю 10×10 . Крім цього зазначалося, що для більшої об'єктивності необхідне порівняння часовим аналізом також метаевристичних алгоритмів, у якості якого пропонувався алгоритм імітації

відпалу (simulated annealing), який серед цих алгоритмів відносять до одного з найшвидших [5].

Основою алгоритму імітації відпалу є процес охолодження матеріалів (металів

$$P_i = T \cdot e^{\frac{-\Delta s}{T_i}}, \quad (1)$$

де P_i – ймовірність переходу на наступний енергетичний рівень за умови, коли вона більша модельованої випадкової величини $P_i > P_{random}$; T – встановлена температура; T_i – i -та температура, значення якої знижується на кожному i -му кроці; Δs – різниця довжин маршрутів для випадку коли попередній маршрут L_{k-1} коротший за наступний L_k , тобто $L_{k-1} < L_k$.

Простота цього співвідношення у поєднанні з генеруванням випадкових значень номерів міст дозволяє порівняно швидко знаходити близьку до оптимальної відстань. Практична перевірка чотирьох пошукових алгоритмів була здійснена з використанням програмного середовища C++ Dev. Результат виконання програми показаний на рис. 1.

тощо) при якому здійснюється отримання низьких енергетичних станів тіла в тепловій бані (термостаті) [6]. Основна формульна залежність, яка використовується в цьому алгоритмі наступна:

Для моделювання використовувалося генерування матриць випадкових чисел в діапазоні від 1 до 100. Максимальний розмір матриці – 500×500. Для кожного алгоритму було здійснено 50 дослідів, результати яких зводилися до середнього значення (див. табл. 1).

Таблиця 1. Середні значення довжини маршруту для випадкових матриць різної розмірності на основі 50 дослідів

№	Розмір матриці	Алгоритм Монте-Карло 10000 викидів	Жадібний алгоритм	Комбінований алгоритм	Алгоритм імітації відпалу 50000 викидів
1	10×10	212	258	234	243
2	20×20	511	329	295	347
3	50×50	1658	433	401	601
4	100×100	3791	518	480	972
5	200×200	8567	670	631	1611
6	500×500	22784	959	917	3313

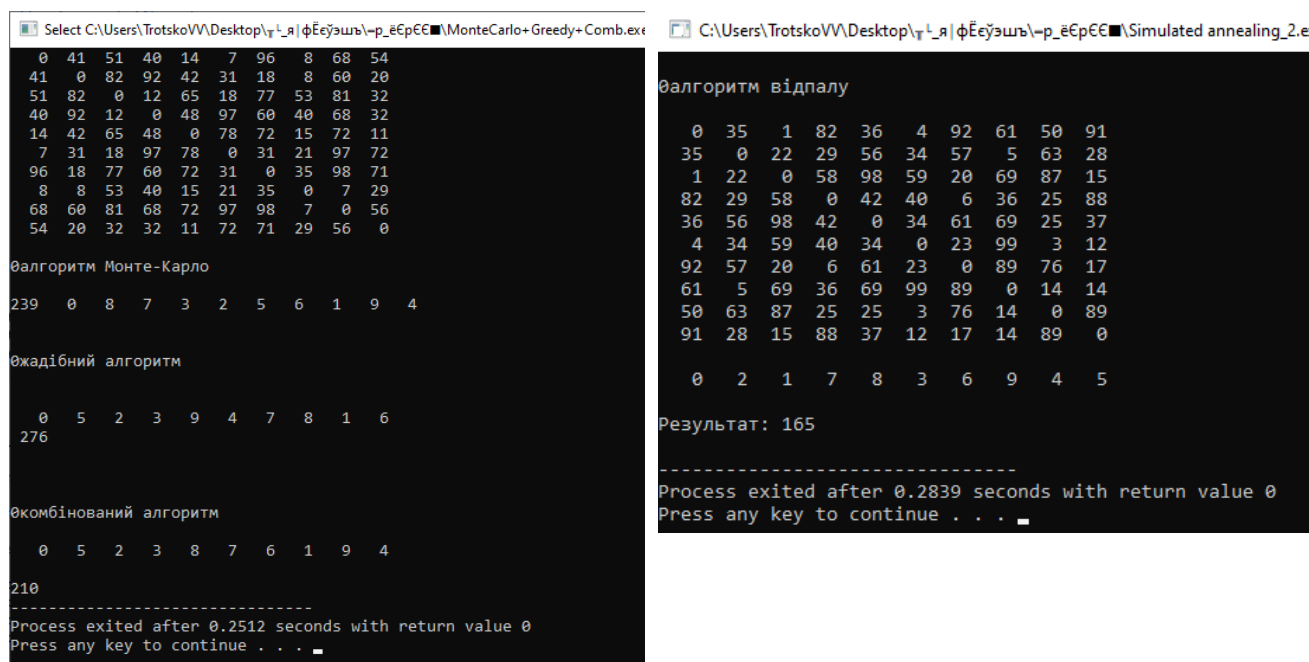


Рис. 1. Результат виконання програм для чотирьох пошукових алгоритмів

Джерело: розробка авторів

Більш контрастний результат порівняння продуктивності цих алгоритмів з пошуку оптимального маршруту показаний на рис. 2. Аналіз результатів показує, що на основі зведених відсоткових співвідношень алгоритм, який ґрунтується на методі Монте-Карло, є найбільш непродуктивним. В той же час комбінований алгоритм є найпродуктивнішим. Така ситуація могла скластися в результаті специфіки підходу, на якому ґрунтується “жадібний” алгоритм.

Оскільки генеровані випадкові матриці, що використовувались під час перевірки, мають діапазон чисел від 1 до 100, то математичне очікування множини невеликих чисел для матриці більших розмірів буде зростати. У такому випадку для “жадібного” алгоритму зростатиме ймовірність для вибору цих чисел на кожному кроці маршруту.

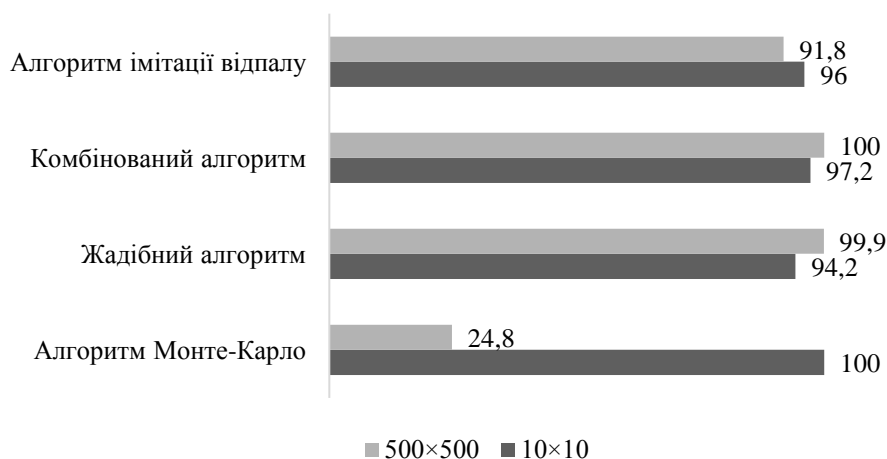


Рис. 2. Порівняння продуктивності алгоритмів для матриць розмірності 10×10 та 500×500

Джерело: розробка авторів

Якщо змінити діапазон випадкових чисел, наприклад, від 50 до 100, тоді ефективність алгоритму відпалу зросте, але не настільки щоб перевершити “жадібний” та комбінований алгоритми (див. рис. 3). У цьому випадку алгоритм за методом Монте-Карло можна зразу проігнорувати як непродуктивний.

Значення часу виконання алгоритмів, що розглядаються для матриць різного розміру наведено у табл. 2. Із даних таблиці видно, що час пошуку маршруту для комбінованого алгоритму є прийнятним для вирішення завдань логістики у випадку, коли продуктивність алгоритму має вищий пріоритет перед часом.

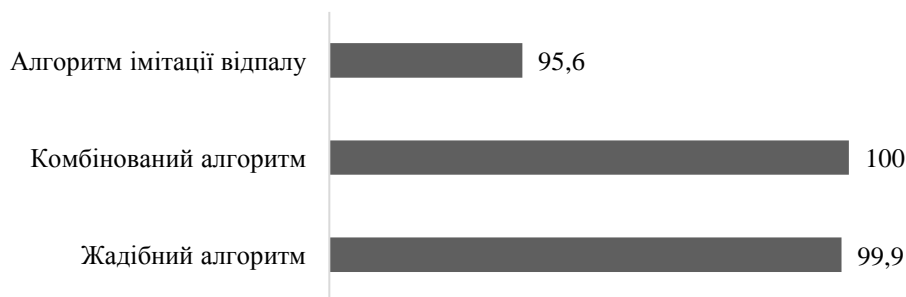


Рис. 3. Порівняння продуктивності алгоритмів для матриці розмірності 500×500 при діапазоні випадкових чисел від 50 до 100

Джерело: розробка авторів

Таблиця 2. Значення часу виконання (в секундах) алгоритмів для випадкових матриць різної розмірності на основі 50 дослідів

№	Розмір матриці	Алгоритм Монте-Карло – 10000 викидів	Жадібний алгоритм	Комбінований алгоритм	Алгоритм імітації відпаду 50000 викидів
1	10×10	0,03	0,015	0,013	0,12
2	20×20	0,05	0,015	0,022	0,23
3	50×50	0,3	0,017	0,04	0,44
4	100×100	1,1	0,023	0,09	0,81
5	200×200	4,8	0,033	0,26	1,7
6	500×500	33,6	0,076	1,33	3,7

Джерело: розробка авторів

Висновки. У статті моделюванням доведено, що комбінований алгоритм продуктивніший ніж три інших розглянутих метаевристичних алгоритмів. Його продуктивність вдало поєднується із швидкістю виконання і може з успіхом бути застосована на практиці, зокрема, для вирішення логістичних задач. Разом з тим говорити про його абсолютну перевагу над усіма іншими евристичними алгоритмами недоцільно. Такий висновок потребує більш розгорнутого дослідження. Також слід звернути увагу на те, що підхід, якій ґрунтується на комбінації двох а можливо і більшої кількості методів, може бути більш продуктивним, що дає простір для подальших досліджень.

Література:

1. Троцько В.В., Чернозубкін І.О. Комбінування жадібного алгоритму з методом Монте-Карло для вирішення завдань логістики, в основі яких лежить задача комівояжера. Вчені записки Університету «КРОК». № 2 (62). 2021. С.125-131.
2. Talbi EG (2009) Metaheuristics: from design to implementation, vol. 74. Wiley, Hoboken.
3. He S. Wu Q, Saunders J (2009) Group search optimizer: an optimization algorithm inspired by animal searching behavior. IEEE Trans Evol Comput 13 (5). С. 973–990.
4. Sasan Harifi, Madjid Khalilian, Javad Mohammadzadeh, Sadoullah Ebrahimnejad Emperor Penguins Colony: a new metaheuristic algorithm for

optimization. 2019. URL - https://www.researchgate.net/publication/331328734_Emperor_Penguins_Colony_a_new_metaheuristic_algorithm_for_optimization.

5. Henderson, Darrall & Jacobson, Sheldon & Johnson, Alan. (2006). The Theory and Practice of Simulated Annealing. 10.1007/0-306-48056-5_10.
6. Simulated annealing. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing

References:

1. Trotsko V.V., Chernozubkin I.O. Combining the greedy algorithm with the Monte Carlo method for solving logistics problems based on the traveling salesman problem. Scientific notes of the "KROK" University. No. 2 (62). 2021. P.125-131.
2. Talbi EG (2009) Metaheuristics: from design to implementation, vol. 74. Wiley, Hoboken.
3. He S. Wu Q, Saunders J (2009) Group search optimizer: an optimization algorithm inspired by animal searching behavior. IEEE Trans Evol Comput 13 (5). С. 973–990.
4. Sasan Harifi, Madjid Khalilian, Javad Mohammadzadeh, Sadoullah Ebrahimnejad Emperor Penguins Colony: a new metaheuristic algorithm for optimization. 2019. URL - https://www.researchgate.net/publication/331328734_Emperor_Penguins_Colony_a_new_metaheuristic_algorithm_for_optimization.
5. Henderson, Darrall & Jacobson, Sheldon & Johnson, Alan. (2006). The Theory and Practice of Simulated Annealing. 10.1007/0-306-48056-5_10.
6. Simulated annealing. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/simulated_annealing.