

МОДИФІКОВАНИЙ МУРАШИНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ В ДИНАМІЧНІЙ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

*Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук
Сватко В.В.*

В статті запропонована модифікація мурашиного алгоритму для розв'язку задачі пошуку мінімального шляху по двонаправленому орієнтованому графу. При цьому враховані додаткові елементи інтелектуалізації, що дають можливість розв'язувати відповідні логістичні задачі в умовах реального стану руху транспорту на автомобільних дорогах.

The article proposed modification ant algorithm for solving the problem of finding the minimum path for bidirectional directed graph. This included additional elements of intellectualization, which enable to solve those logistical problems in the real state of traffic on the roads.

Вступ. У сучасних умовах переходу людства до інформаційного суспільства характерною особливістю є надзвичайно швидкі трансформаційні зміни поколінь технологій, споживчих стандартів, ринків виробництва та збуту товарів. Тому в сучасних умовах підприємства, які займають те або інше місце на економічному ринку праці, уявляють собою динамічні, не стаціонарні системи.

На даний час ефективність функціонування більшості підприємств визначається рівнем застосування логістики. Логістика займає значне місце при перебудові механізмів господарювання в сучасних ринкових умовах.

Останні дослідження[1] свідчать про стійке зростання ринку транспортно-логістичних послуг у всіх країнах. Особливо відмічається зростання частки вантажних перевезень автомобільним транспортом та скорочення перевезень залізничним та водним транспортом. Крім того міжнародні консалтингові компанії, що надають послуги з оптимізації транспортно-логістичних процесів, свідчать про те, що використання спеціалізованого програмного забезпечення допомагає зменшити транспортні витрати на 15%[1].

Відомо[1,2], що у більшості сегментів ринку доставка товару додає до його вартості суму, яка прирівнюється до вартості самого товару. Слід також відмітити, що найбільш затратними з економічної точки зору являються перевезення вантажів у транспортній мережі міст.

Проте до теперішнього часу існуючі методи розв'язання задач оптимізації транспортних перевезень, що відбуваються у логістичних системах, не є досконалими і не дають однозначних рішень[3,4]. Зокрема, автоматизація задачі комівояжера на сьогоднішній день вирішена не повністю, у зв'язку з тим, що методи, які застосовуються для її розв'язку в загальному випадку не ефективні.

З іншого боку, застосування алгоритму самоорганізації мурашиної колонії для задач дискретної оптимізації є одним із сучасних перспективних методів вирішення проблем створення штучного інтелекту, проблем автоматизації процесів проектування, а також розв'язку транспортних задач.

Основна частина. Існуючий класичний метод самоорганізації мурашиної колонії передбачає можливість знаходження оптимального шляху у статичному графі. Під статичним графом ми розуміємо граф, відстань між вузлами у якому не змінюється. Таким чином даний алгоритм дає можливість знаходження оптимального маршруту для задач не змінних у часі, та не дає можливості вирішувати задачу маршрутизації в реальних умовах.

В реальних умовах організація вантажних перевезень пов'язана з аналізом та обробкою великих масивів даних, а сама побудова маршруту пов'язана з необхідністю врахування великої кількості критеріїв. Серед таких критеріїв можна відмітити середню швидкість транспортного потоку на кожній ділянці дороги, наявність обмежувальних дорожніх знаків та регулювальної техніки, наявність заторів, аварій, ремонту доріг та інше.

При побудові маршруту також необхідно враховувати час прибуття, специфіку марки транспортного засобу (у відповідності з місце розташуванням об'єкту, типом навантажувально-розвантажувальних робіт) та інше.

Динамічна задача комівояжера (ДЗК) є природнім узагальненням класичної статичної задачі комівояжера, і до неї зводяться більшість прикладних задач [5-7]. У нашому випадку під динамічною задачею комівояжера будемо розуміти таку задачу, у якій під час проведення оптимізації величина ребер між вершинами графу змінюється. У зв'язку з цим, при побудові маршруту в реальних умовах функціонування транспортного потоку необхідно врахувати такі зміни. Крім того, тут часто є

важливим при проведенні оптимізації подальшого маршруту також врахувати ту частину маршруту, що вже була пройдена.

Пропонується метод розв'язку задачі пошуку мінімального шляху по графу на основі застосування модифікованого мурашиного алгоритму, в якому довжина ребер двонаправленого орієнтованого графу є величина, що змінюється з певною швидкістю. При цьому ця величина може відповідати середній або певній швидкості руху транспортного засобу між двома пунктами доставки товару. Такий підхід, на наш погляд, дозволяє розв'язувати відповідні задачі, в яких адекватно враховується реальний стан руху транспорту на автомобільних дорогах.

Згідно [8] основні локальні правила поведінки мурах при виборі маршруту описуються наступним чином:

1. Мурахи мають власну «пам'ять». Оскільки кожне місто може бути відвідане лише один раз, то у кожної мурахи є список вже відвіданих міст – список заборон. Позначимо через $J_{i,k}$ список міст, які необхідно відвідати мурашиному агенту k , що знаходиться у місті i .
2. Мурахи мають «зір» - видимість є евристичним бажанням відвідати місто j , якщо мураха знаходиться у місті i . Вважатимемо, що видимість зворотно пропорційна відстані між містами $\eta_{ij} = 1/D_{ij}$.
3. Мурахи наділені здатністю розпізнавати запахи. Вони можуть відчувати слід феромону, що підтверджує бажання відвідати місто j з міста i на основі досвіду інших мурах. Кількість феромону на ребрі (i, j) в момент часу t позначимо через $\tau_{ij}(t)$.
4. На основі цього можна сформулювати ймовірісно-пропорційне правило, яке визначає ймовірність переходу k -ої мурахи з міста i у місто j :

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{i,k}; \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k}; \end{cases} \quad (1)$$

де α, β - параметри, що задають ваги сліду феромону;

при $\alpha = 0$ алгоритм вироджується до жадібного алгоритму (буде обране найближче місто).

Під час виконання алгоритму, який описується формулами (1 - 3), правило (1) не змінюється, але у двох різних мурах значення ймовірності переходу будуть відрізнятися, тому що вони мають різний список дозволених міст.

5. Пройшовши ребро (i, j) , мураха відкладає на ньому деяку кількість феромону, яка повинно бути пов'язана з оптимальністю зробленого вибору. Нехай $\hat{O}_k(t)$ - шлях, що пройдений мурахою k до моменту часу t , $L_k(t)$ - довжина цього шляху, а Q – параметр, що має значення порядку довжини оптимального шляху. У цьому випадку кількість відкладеного феромону може бути задано у вигляді

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, (i, j) \in T_k(t); \\ 0, (i, j) \notin T_k(t); \end{cases} \quad (2)$$

Правила навколишнього середовища визначають, в першу чергу, випаровування феромону. Нехай $p \in [0,1]$, є коефіцієнтом випаровування, тоді правило випаровування матиме вигляд

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t); \Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t), \quad (3)$$

де m – кількість мурах в колонії.

На початку розв'язку кількість феромону на ребрах приймається рівною невеликій кількості. Загальна кількість мурах залишається постійною і рівною кількості міст. Кожна мураха починає маршрут зі свого міста.

Для вирішення задач маршрутизації з урахуванням можливості розгляду реальної поведінки транспортного потоку (виникнення заторів, ремонту доріг, аварійних ситуацій тощо) в класичний алгоритм мурашиної колонії внесені відповідні модифікації [9]. А саме:

- 1) можливість фіксувати результати оптимізації частково пройденого шляху, для розрахунку подальшого маршруту при зміні довжини ребер під час руху;
- 2) циклічний рух колонії змінено на асинхронний рух кожної мурахи з певною швидкістю.

Таким чином, запропонована модифікація мурашиного алгоритму враховує додаткові елементи інтелектуалізації, пов'язані з виключенням з розгляду тих ділянок шляху, на яких час руху транспорту є за відповідним критерієм невиправдано великим. Крім того існує можливість визначення оптимального маршруту в умовах реального стану транспортного потоку (зміна швидкості руху, затори тощо).

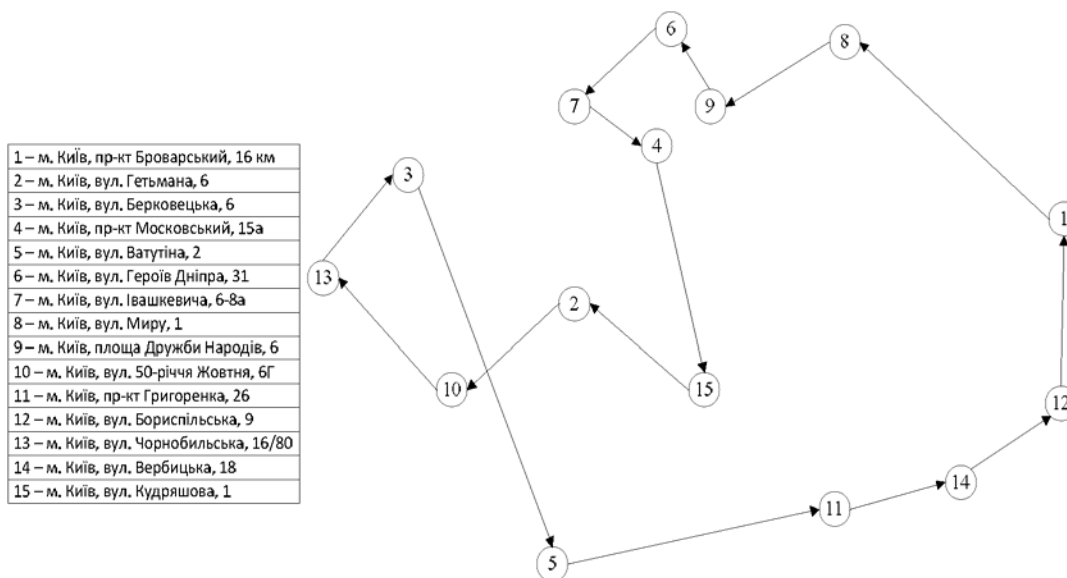
Для проведення тестування використовувались реальні дані, отримані на одному з підприємств, що виробляє та постачає свою продукцію у більшість супермаркетів міста Києва. У зв'язку з цим, постановку задачі можна сформулювати наступним чином. Підприємство має у своєму розпорядженні 5 транспортних засобів різних моделей. Дані транспортні засоби розвозять товар у 55 торгових точок по місту Києву. В залежності від замовлення один транспортний засіб може об'їхати до 15 торгових точок, в залежності від об'єму замовлень.

При виїзді на маршрут водію транспортного засобу будується оптимальний маршрут об'їзду торгових точок. При побудові даного маршруту цільовою функцією є час, витрачений на проходження всього шляху. Таким чином, при побудові маршруту намагаємось мінімізувати часові затрати на доставку товару.

Після проходження частини маршруту отримано інформацію про затори на певних ділянках побудованого маршруту. На основі отриманих даних необхідно внести зміни у маршрут обходження торгових точок, при чому також необхідно зважити, що частина маршруту вже пройдена. Тому при побудові маршруту вже необхідно врахувати зміну обстановки на деяких ділянках маршруту, а також ті вершини, що вже були пройдені.

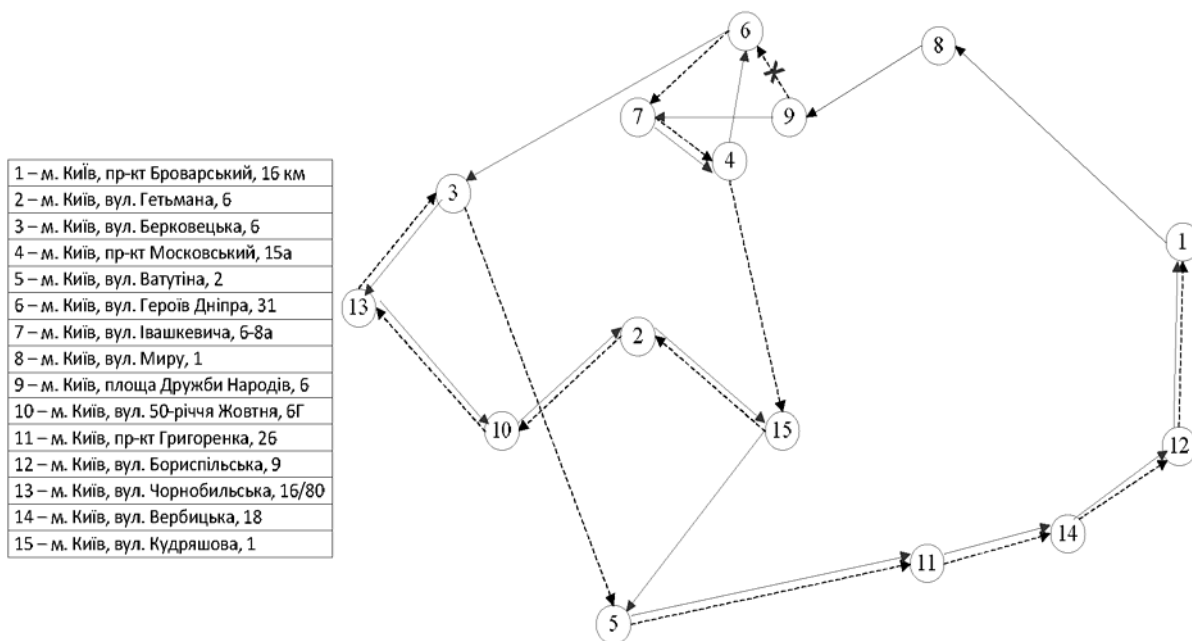
Для наочності продемонстровано варіант побудови маршруту для динамічної задачі комівояжера, у якій кількість вершин становить 15.

При виїзді з першої вершини побудовано оптимальний маршрут обходу всіх 15 точок. Визначено оптимальний час обходу даних точок, а також пройдено відстань.



Маршрут: 1→8→9→6→7→4→15→2→10→13→3→5→11→14→12→1
Довжина маршруту: 140 км
Час проходження маршруту: 193 хвилини
Рис. 1. Граф проходження початкового маршруту

Після проходження частини маршруту, а саме пройшовши дві вершини (8 та 9) змінилась дорожня обстановка на деяких ділянках побудованого маршруту. На ділянці дороги між вершинами 9 та 6 утворився затор. Як результат, значне зменшення середньої швидкості руху на вказаній ділянці шляху. Оскільки середня швидкість руху на вказаній ділянці наближається до нуля, то відповідно час проходження даної ділянки дороги суттєво збільшується. У зв'язку з цим, необхідно врахувати відповідну ситуацію, що склалася на дорозі, при побудові подальшого маршруту. Таким чином, перебудовуємо маршрут обходження вершин, з урахуванням частини пройденого шляху, а також дорожньої обстановки на деяких ділянках дороги.



Початковий маршрут:

$1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 4 \rightarrow 15 \rightarrow 2 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 11 \rightarrow 14 \rightarrow 12 \rightarrow 1$

Довжина: 140 км

Час проходження: 193 хвилини

Новий маршрут (з урахування затору на ділянці 9→6):

$1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow 13 \rightarrow 10 \rightarrow 2 \rightarrow 15 \rightarrow 5 \rightarrow 11 \rightarrow 14 \rightarrow 12 \rightarrow 1$

Довжина: 141 км

Час проходження: 200 хвилин

Рис. 2. Граф проходження нового маршруту

Як видно з побудованого маршруту, послідовність обходження вершин змінилась в частині не пройденого маршруту на момент його перебудови. Час проходження нового маршруту становить 200 хвилин, що на 7 хвилин більше від початкового. Довжина нового маршруту збільшилась на 1 км в порівнянні з початковим, тобто зі 140 км до 141 км.

Таким чином, зміни, які були внесені в алгоритм, дозволяють враховувати додаткові елементи інтелектуалізації, пов'язані з виключенням з розгляду тих ділянок шляху, на яких час руху транспорту є за відповідним критерієм невиправдано великим. Крім того результати моделювання свідчать про можливість визначення оптимального маршруту в умовах реального стану транспортного потоку.

Висновки. В роботі запропонована модифікація мурашиного алгоритму для розв'язку задачі пошуку мінімального шляху по двонаправленому орієнтованому графу. При цьому враховані додаткові елементи інтелектуалізації, що дають можливість розв'язувати відповідні логістичні задачі в умовах реального стану руху транспорту на автомобільних дорогах.

Література

1. Ковалев В.П. Эффективность грузовых автомобильных перевозок: Состояние, проблемы, перспективы. – Мн.: Беларусь, 1984.
2. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг». - 2000.
3. Просветов Г. И. Математические методы в логистике М.: – РДЛ, 2006.
4. Левитин А.В. Глава 3. Метод грубой силы: Задача коммивояжера //Алгоритмы: введение в разработку и анализ (Introduction to The Design and Analysis of Algorithms). — М.: «Вильямс», 2006. — С. 159-160.
5. The traveling salesman problem. A guided tour of combinatorial optimization. / Ed. Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnoy Kan A.H.G., Shmoys D.B. N.Y.: Wiley @ Sons, 1985.
6. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. I-III // *АиТ.*, 1989, №9. С. 3-34; №10. С. 3-29; № 11. С. 3-26.
7. The traveling salesman problem and its variations / Ed. Gutin G., Punnen A.P. Dordrecht-London: Kluwer Academic Publishers, 2002.
8. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*, 2003, №4, с.70-75.
9. Данчук В.Д., Сватко В.В. Оптимізація пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму. – Системні дослідження та інформаційні технології НТУУ «КПІ», № 1,2012.-К.:НТУУ «КПІ»,2012.