

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ МУРАШИНОЇ КОЛОНІЇ В СВІТЛОФОРНОМУ КЕРУВАННІ

А. Г. Данилюк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

E-mail: andrii.h.danyliuk@lpnu.ua

© Данилюк А. Г., 2024

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оптимізації світлофорного контролю перехресть з метою зменшення кількості заторів і затримок та збільшення пропускної здатності перехресть. Ефективним рішенням цієї проблеми є використання інтелектуальних транспортних систем та окремих підсистем прийняття рішень. Однак автоматизація таких завдань потребує наукових досліджень для отримання ефективних алгоритмів, придатних для використання на практиці. Мета роботи полягає у пропозиції підходу до оптимізації світлофорного контролю перехресть, що враховує не лише параметри транспортного потоку на одному конкретному перехресті, а й параметри транспортного потоку на суміжних перехрестях та використовує алгоритм оптимізації мурашиної колонії для оптимізації світлофорного контролю суміжних перехресть. Отримані результати показали, що використання такого підходу є більш ефективним порівняно з існуючими і має потенціал зменшити кількість затримок на 10 % та збільшити пропускну здатність перехресть на 15 % і більше.

Ключові слова: адаптивне управління трафіком, затори, кіберфізична система, контролер світлофорів, перехрестя, трафік.

Вступ

У останні роки зростання кількості заторів на дорогах призвело до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод та суттєвих проблем з транспортом [1]. Під час початкового етапу планування багато великих міст не змогли врахувати швидке зростання кількості автомобілів [2], що призвело до проектування міських доріг, які лише відповідали рівням трафіку того часу [3]. Через збільшення кількості автомобілів та розвиток промисловості пошук оптимального підходу до керування світлофорами для оптимального використання пропускної здатності транспортної мережі став важливим завданням.

Зменшення заторів на міських дорогах можна досягнути трьома способами: розширення дороги, зменшення кількості перехресть та оптимізація системи світлофорного контролю на перехресті.

Розширення доріг вимагає значних інвестицій, а ефект не є очевидним у короткостроковій перспективі [4]. Будівництво естакади може зменшити кількість перехресть для досягнення ефективного об'їзду, але вартість такого підходу є високою [5]. Тому оптимізація системи управління світлофорами є найефективнішим підходом.

Останнім часом значний інтерес проявляється до алгоритмічних методів оптимізації світлофорного керування. У 60-х роках XX століття евристичні методи отримали активний розвиток.

Протягом останніх двадцяти років основні зусилля були спрямовані на розробку так званих мета-евристичних методів [6]. Протягом останнього десятиліття розвиток комунікаційних та інформаційних технологій покращив класичні методи оптимізації світлофорного контролю перехресть [7].

Параметри транспортного потоку можна отримати в реальному часі через спеціальні засоби моніторингу [8]. Регулювання часу роботи світлофорів відповідно до значень параметрів транспортного потоку дозволяє зменшити час зупинки на перехресті та ефективно зменшити затори [9]. Наразі все більше уваги приділяється сучасним методам та алгоритмам оптимізації системи управління світлофорами на перехресті.

Огляд літературних джерел

В літературі обговорюється широкий спектр методів та алгоритмів для оптимізації системи управління світлофорами.

Одним з методів оптимізації системи управління світлофорами є алгоритм оптимізації мурашиної колонії (Ant Colony Algorithm) [10]. Він використовує графи та імітує поведінку реальних мурах для знаходження найкращих маршрутів [11]. У 2022 році Софія Лю та ін. представили алгоритм на основі АСО для оптимізації світлофорного контролю на перехрестях, опублікований у статті “Ant Colony Optimization for Multi-phase Traffic Signal Control” [12]. Дослідження показало, що алгоритм може динамічно коригувати тривалість зеленого світла на основі даних про щільність трафіку в реальному часі, зменшуючи час очікування та підвищуючи пропускну здатність перехрестя [13].

Юліанто Б. (2022) представив контролер на основі нечіткої логіки для адаптивного управління світлофорами у своєму дослідженні “Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic Under Mixed Traffic Conditions” [14]. У своєму дослідженні алгоритм управління світлофорами на основі нечіткої логіки (FLTSC) був оцінений на симуляційній моделі VISSIM для ізольованого чотиристороннього перехрестя та порівняний з оптимізованим Fuzzy Traffic Controller (FTC) за різних умов трафіку [15].

Ще одне дослідження, пов’язане з оптимізацією колоній мурах, було опубліковано Трі-Хай Нгуєн (2021). У їхньому дослідженні “Ant Colony Optimization-based Traffic Routing with Intersection Negotiation for Connected Vehicles” було представлено децентралізовану систему управління трафіком, яка інтегрує динамічний маршрут і безсигнальне управління перехрестями для з’єднаних автомобілів [16]. Вони застосували алгоритм оптимізації мурашиної колонії та запропоновану концепцію Colored Computer Vision для вирішення проблеми динамічної маршрутизації з багатонаправленими потоками трафіку [17].

Мета та постановка завдання

Стаття присвячена дослідженню алгоритмів, які використовують для оптимізації систем управління світлофорами та знаходження оптимальних часових параметрів світлофорів у системах керування дорожнім рухом. Мета полягає в описі підходу застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії в системі керування світлофорами, а також у покращенні існуючого підходу із використанням алгоритму на основі алгоритму оптимізації мурашиної колонії, щоб вирішити проблему регулювання транспортних потоків для системи суміжних перехресть. На основі запропонованого підходу продемонструвати блок-схему алгоритму та розробити експериментальну систему, що використовує систему суміжних перехресть, представлених у вигляді графа, та дослідити потенціал системи до зміни кількості заторів, затримок та пропускну здатності перехресть.

Алгоритми керування сигналами світлофорів

Так як контроль за дорожнім рухом є важливим аспектом в житті людей, з часом з’явилися різні алгоритми для оптимізації систем управління світлофорами. Серед них можна виділити алгоритм Вебстера, алгоритм оптимізації мурашиної колонії і алгоритм контролю на основі нечіткої логіки.

1. Алгоритм Вебстера. Розроблений інженером Вільямом Вебстером у 1950-х роках, алгоритм є одним із базових підходів для обрахунку часових параметрів світлофорів. Він надає систематичний спосіб визначення оптимальної тривалості циклу та розподілу зеленого часу для світлофорів. Цей алгоритм використовує стандартну мінімальну затримку транспортного потоку для встановлення тривалості зеленого сигналу світлофора. Перевагою алгоритму Вебстера є те, що, коли на головній дорозі спостерігається великий потік, а на другорядній дорозі – менший, цей алгоритм може гарантувати пріоритет для головної дороги та зменшити тривалість зеленого сигналу світлофора на другорядній дорозі. Основна формула, що використовується в методі Вебстера:

$$C = \frac{1,5L + 5}{1 - Y}, \quad (1)$$

де C – довжина циклу (секунди); L – загальний час втрат (секунди); Y – сума співвідношень потоку транспорту (попит, поділений на пропускну здатність).

2. Алгоритм оптимізації мурашиної колонії – черпає натхнення з поведінки мурах під час збору їжі. У цій статті пропонується вдосконалена модель алгоритму колоній мурах для оптимізації часу сигналів у системі пов'язаних перехресть. Цей алгоритм використовує популяцію штучних мурах, які імітують поведінку реальних мурах, що шукають їжу. Ці мурахи залишають феромони на шляхах, впливаючи на ймовірність того, що інші мурахи слідуватимуть тим самим маршрутом. Алгоритм динамічно підлаштовується до змінних дорожніх умов, що дозволяє оптимізувати сигнали світлофорів відповідно до значень параметрів транспортних потоків у реальному часі.

3. Метод нечіткої логіки. Управління на основі нечіткої логіки (FLC) базується на теорії нечітких множин і дозволяє приймати рішення в умовах невизначеності та неточності. Він особливо підходить для систем контролю руху, які вимагають реагування на різні умови трафіку. FLC може обробляти нечіткі вхідні дані, такі як “великий трафік” або “помірний час очікування”, що дозволяє більш гнучке та адаптивне управління світлофорами. FLC працює на основі набору правил, що визначають, як система повинна реагувати на умови руху. Ці правила створюються експертами на основі досвіду та аналізу даних. З огляду на значення параметрів транспортного потоку на перехрестях теорія нечіткої логіки може динамічно оптимізувати фази світлофорів, що є кращим за алгоритм Вебстера. Система регулює світлофори в реальному часі, оптимізуючи тривалість зеленого та червоного світла на основі поточних умов.

Застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії для керування світлофорами

Алгоритм оптимізації мурашиної колонії належить до категорії алгоритмів ройового інтелекту та моделює поведінку колонії мурах. Мурахи – соціальні комахи, здатні формувати групи (колонії). Колективна система дозволяє ефективно вирішувати проблеми динамічного характеру, які не можуть бути розв'язані окремими елементами системи без відповідного зовнішнього контролю та координації.

В основі поведінки колонії мурах лежить сила самоорганізації. Ця вроджена здатність дозволяє колонії швидко адаптуватися до змін умов навколишнього середовища та успішно досягати колективних цілей колонії через низькорівневі взаємодії. Взаємодія в колонії мурах полегшується феромонами, які окремі мурахи використовують для позначення шляхів, якими вони пройшли. Концентрація феромонів на стежці вказує на її частоту використання, тим самим позначаючи її оптимальну довжину. Схему знаходження оптимального шляху показано на рис. 1. Завдання полягає в тому, щоб знайти оптимальний шлях від гнізда (N) до мети (джерела їжі, F). Вектори a і b представляють напрямок руху однієї окремої мурахи від F до N і від N до F відповідно.

Спочатку мурахи будуть обходити перешкоду зліва і справа з однаковою ймовірністю. Однак випадкове проходження мурахою відстані від початкової мети і назад за короткий час означатиме, що знайдений більш оптимальний маршрут і через деякий час цей шлях буде більш збагачений феромонами. Оскільки феромони служать орієнтиром для мурах при русі, то решта мурах виберуть шлях з більшою концентрацією феромону.

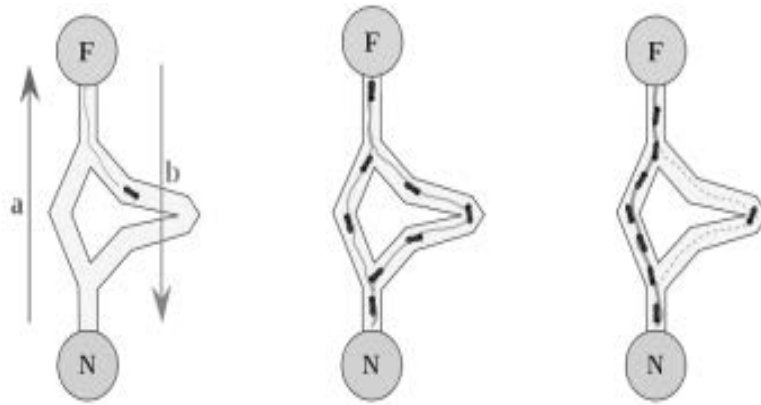


Рис. 1. Схема знаходження оптимального шляху

Застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії можна описати такими кроками.

Крок 1. Створення мурах. Метод розміщення мурах є вирішальним і залежить від умов задачі: усі мурахи можуть бути розміщені в одній точці або різних. Також при створенні мурах необхідно встановити початковий рівень феромону, що характеризується якимось малим додатним числом. Це необхідно, щоб забезпечити ненульову ймовірність переходу до наступної точки на початковому етапі.

Крок 2. Пошук розв'язку. Маршрут – це сукупність вершин графа. Ймовірність переходу від вузла i до вузла j показується в (2):

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha * \eta_{ij}^\beta}{\sum \tau_{ih}^\alpha * \eta_{ih}^\beta}, & j \notin \text{tabu}_k, \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

де τ_{ij} – це кількість феромону на ребрі (i, j) , “нюх” мурахи; η_{ij} – привабливість ребра (i, j) , $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$, де d_{ij} – відстань між вершинами i та j , “зір” мурахи; α, β – регульовані параметри, які визначають важливість компонентів (вага ребра та рівень феромону) при виборі шляху; tabu_k – список вже відвіданих вузлів, “пам'ять” мурахи. Коли $\alpha = 0$, алгоритм перетворюється на жадібний, оскільки найближча вершина вибирається без урахування кількості феромону. Коли $\beta = 0$, вибір базується лише на значенні феромону; довжина шляху не враховується.

Крок 3. Оновлення феромонів. Після того, як усі мурахи закінчили свою подорож, необхідно оновити кількість феромонів. Цей процес складається з двох етапів: спочатку потрібно зменшити значення феромону на всіх дугах на певне постійне значення, а потім збільшити рівень феромону на тих ребрах, які відвідали мурахи. Імітація випаровування феромонів проводиться за такою формулою:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij}, \quad (3)$$

де ρ – це параметр, який контролює інтенсивність випаровування феромонів. Параметр ρ дозволяє уникнути безкінечного накопичення феромонів на ребрах шляху, що веде до того, що алгоритм не “забуде” погані рішення, отримані раніше. Якщо мурахи не вибрали ребро, то рівень феромону, пов'язаний із ним, буде зменшуватися експоненціально з кожною ітерацією.

Після випаровування всі мурахи змінюють рівень феромону на ребрах, які вони відвідують. Для ребра (i, j) кількість залишеного феромону задається так:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k, \quad (4)$$

де $\Delta \tau_{ij}^k$ – це кількість феромону, внесеного k -ю мурахою на ребро, яке вона відвідала.

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L, & \text{if } (i, j) \notin L, \\ 0 & \end{cases} \quad (5)$$

де Q – це константа, яка штучно додає феромон; L – загальна довжина пройденого шляху.

Згідно з (5), чим кращий шлях, тим більше феромонів належить ребрам цього шляху. Це означає, що відповідні ребра будуть частіше обиратися мурахами в наступних ітераціях.

Цей ітеративний процес буде тривати до виконання однієї з таких умов:

- 1) завершено вказану кількість ітерацій;
- 2) усі вказані мурахи завершили пошук;
- 3) досягнуто необхідної якості розв'язку;
- 4) закінчився квант часу ЦПУ.

Пропонується таке застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії для оптимізації пошуку сигналів світлофорів та вирішення проблеми заторів. Ключовою особливістю є те, що розглядаються кілька перехресть та їхні взаємозв'язки, а також обмін даними про параметри руху між різними перехрестями для коригування часу контролю сигналів, щоб уникнути ситуації, коли динамічний контроль створює новий затор на найближчому перехресті. Ключовими особливостями алгоритму керування світлофорами є те, що перехрестя є вузлами, а дороги – ребрами графа.

Нижче наведено запропонований алгоритм застосування оптимізації мурашиної колонії в керуванні сигналами світлофора, що поєднує такі кроки.

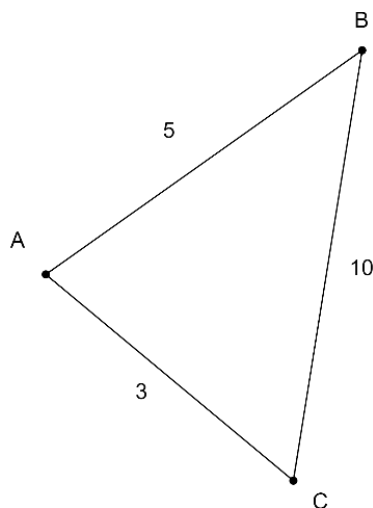


Рис. 2. Графічне представлення перехрестя

Крок 1. Моделювання дорожньої мережі. Дорожня мережа представляється у вигляді графа, що складається з таких елементів: вершин, ребер і ваг. Вершини представляють перехрестя чи інші дорожні з'єднання. Ребра представляють дороги, що з'єднують ці локації. Ваги представляють атрибути доріг, такі як відстань, час подорожі або рівні заторів. Приклад простої дорожньої мережі з трьома перехрестями A, B та C, де ваги призначені на основі відстані та рівнів заторів, показано на рис. 2.

Крок 2. Ініціалізація феромонних стежок. У дорожній мережі, представленій у вигляді графа, якщо існує кілька маршрутів між двома локаціями, рівномірна ініціалізація присвоюватиме однакове значення феромону кожному маршруту. Це може призвести до того, що мурахи випадковим чином досліджуватимуть усі маршрути, що потенційно призводить до знаходження рішень, що не є оптимальними. Якщо дорожня мережа містить як короткі, так і довгі маршрути, випадкова ініціалізація рівнів феромону може ненавмисно віддати пріоритет довгим, менш ефективним маршрутам, що призводить до

неефективного управління рухом. Використовується адаптивна ініціалізація, оскільки вона забезпечує більш динамічний процес коригування феромонів на основі даних у реальному часі для оптимізаційного процесу порівняно з рівномірною ініціалізацією та випадковою ініціалізацією, які часто призводять до неоптимальних підходів.

Крок 3. Поведінка мурах і вибір маршруту. Мурахи демонструють ройовий інтелект, де колективна поведінка окремих мурах веде до оптимальних рішень. Основними типами зв'язків в такому підході є:

- позитивний зворотний зв'язок – шляхи, які часто використовують, стають більш привабливими, оскільки накопичують феромони, що призводить до більшої кількості мурах, які обирають ці шляхи;
- негативний зворотний зв'язок – менш відвідувані шляхи втрачають феромони через випаровування, роблячи їх менш привабливими з часом.

Крок 4. Ітеративний процес пошуку. У кожній ітерації розгортається заздалегідь визначена кількість мурах з різних початкових точок у мережі. Кожна мураха досліджує мережу та завершує свій маршрут, збираючи дані про час подорожі та рівні заторів. Після того, як усі мурахи завершили

свої маршрути, оновлюються рівні феромону на всіх ребрах за допомогою (2). Алгоритм продовжує ітерації, поки не буде досягнуто критерію зупинки.

Етап вибору маршруту охоплює такі діяльності, як визначення евристичної інформації, розгортання мурах, рух мурах на основі евристичної інформації або рівнів феромонів, вибір вузла та переміщення. Евристична інформація в даному підході включає інформацію про параметри транспортного потоку. Схема алгоритму етапу вибору маршруту показана на рис. 3.

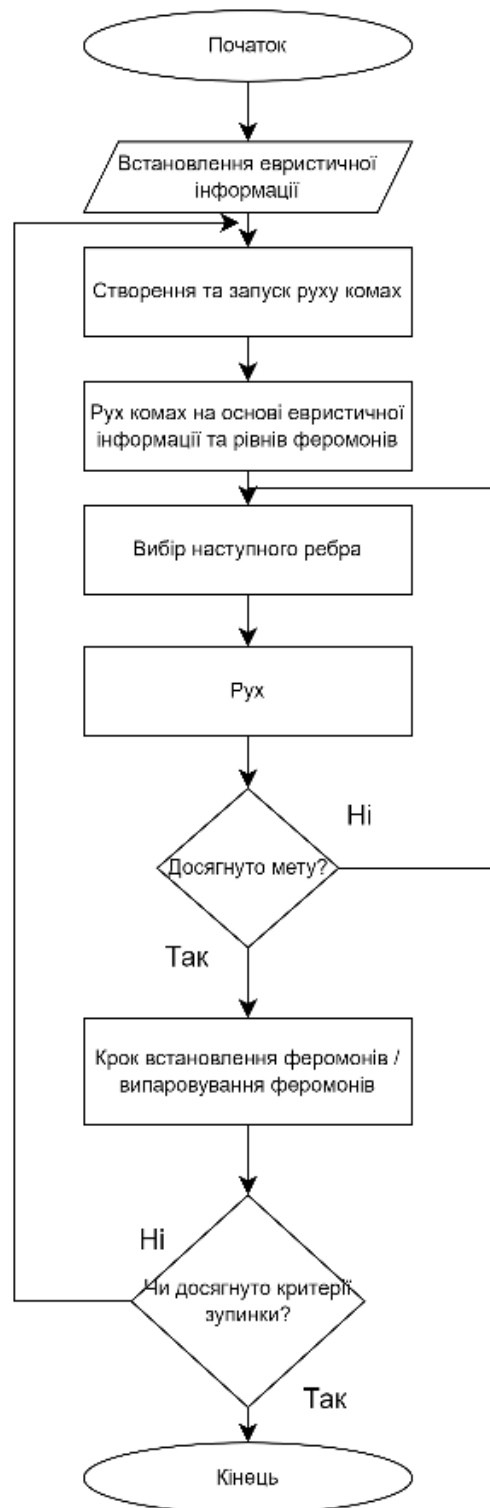


Рис. 3. Схема алгоритму етапу вибору маршруту

Результати дослідження

У статті розглянуто та запропоновано варіацію застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії в світлофорному керуванні. На основі запропонованого алгоритму була побудована експериментальна система і проведені експериментальні розрахунки з такими параметрами: пов'язані перехрестя – 5, мінімальний час зеленого світла – 5 с, максимальний час зеленого світла – 30 с, час всіх червоних сигналів – 2 с, мінімальний інтервал – 2 с, час подовження – 1 с, середня черга – від 4 до 8 автомобілів. Представлено різні щільності трафіку: легка (S1), середня (S2) та важка (S3). Порівняння результатів роботи системи при різних рівнях щільності дорожнього трафіку наведено в таблиці.

**Порівняння результатів роботи системи
за різних рівнів щільності транспортного потоку**

Рівень щільності трафіку	Середня черга, шт.	Зелений сигнал, с	Співвідношення зеленого часу	Час затримок, с	Кількість транспорту, шт.
Звичайний	5	17	0,2	26	3800
Легкий (S1)	4	19	0,2	20	4100
Середній (S2)	6	23	0,19	21	4500
Важкий (S3)	8	29	0,19	23	5234

Аналізуючи експериментальні розрахунки, виявлено, що запропонований підхід в управлінні світлофорами, що використовує алгоритм колонії мурах в системі суміжних світлофорів, зменшує середній час затримки та покращує пропускну здатність руху. Коли рух інтенсивний, алгоритм значно краще впливає на розподіл транспортних потоків на перехресті. Використання алгоритму оптимізації мурашиної колонії у системах адаптивного управління рухом призводить до зменшення кількості зупинок, що зазнають автомобілі, на 10 % і більше та збільшення пропускну здатності перехресть на 15 % і більше.

Висновки

Зростання міст і покращення якості життя населення призвели до збільшення кількості транспорту, що, в свою чергу, призвело до необхідності оптимізації існуючої системи управління світлофорами, що не відповідає вимогам сучасного суспільства.

У статті розглянуто алгоритми та підходи, що використовують для оптимізації систем управління світлофорами та знаходження оптимальних часових параметрів світлофорів у системах керування дорожнім рухом. Розглянуто основні параметри, що використовують для розрахунку часу світлофорів, а також описано підхід застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії в системі керування світлофорами. Підготовлено варіацію алгоритму на основі алгоритму оптимізації мурашиної колонії для вирішення проблеми ефективного керування транспортними потоками в системі суміжних перехресть.

Підготовлений алгоритм представляє пов'язані перехрестя як вузли в графі, які мають ребра та ваги. Ваги розраховують на основі параметрів транспортного потоку та поточних індексів заторів. На основі підготовленого алгоритму продемонстровано блок-схему алгоритму і розроблено експериментальну систему.

Експериментальні розрахунки показують, що розроблена система зменшує середній час затримки більш ніж на 10 % та збільшує пропускну здатність перехресть більш ніж на 15 %.

У майбутніх дослідженнях також можна розглянути застосування інших варіацій алгоритму оптимізації мурашиної колонії в поєднанні з алгоритмом нечіткої логіки.

Список літератури

1. Wu J., Cheng L., Chu S., Song Y. (2024). An autonomous coverage path planning algorithm for maritime search and rescue of persons-in-water based on deep reinforcement learning. *Ocean. Eng.* 2024, 291, 116403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116403>
2. Ma Yue, Bo Li, Wentao Huang, and Qinqin Fan (2023). An Improved NSGA-II Based on Multi-Task Optimization for Multi-UAV Maritime Search and Rescue under Severe Weather *Journal of Marine Science and Engineering* 11, no. 4: 781. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11040781>
3. Cho S. W., Park H. J., Lee H., Shim D. H., Kim S. Coverage path planning for multiple unmanned aerial vehicles in maritime search and rescue operations. *Comput. Ind. Eng.* 2021, 161 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107612>
4. Skinderowicz R. Improving Ant Colony Optimization efficiency for solving large TSP instances. *Appl. Soft Comput.* 2022, 120 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108653>
5. Wang Y., Jiang Y., Wu Y., Yao Z. (2024). Mitigating traffic oscillation through control of connected automated vehicles: A cellular automata simulation, *Expert Systems with Applications*, no.235, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121275>
6. Liu Yuxin, Zihang Qin, and Jin Liu. 2023. "An Improved Genetic Algorithm for the Granularity-Based Split Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup" *Mathematics* 11, no. 15: 3328. <https://doi.org/10.3390/math11153328>
7. Sarbijan M. S.; Behnamian J. A mathematical model and metaheuristic approach to solve the real-time feeder vehicle routing problem. *Comput. Ind. Eng.* 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109684>
8. Wu Y., Cai Y., Fang, C. Evolutionary Multitasking for Bidirectional Adaptive Codec: A Case Study on Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Appl. Soft. Comput.* 2023, 145, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110605>
9. Sowmya K. M., Rekha B., Praveen S. K. (2021). Real Time Moving Vehicle Congestion Detection and Tracking using OpenCV. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(10), p. 273–279. [Online]. – Available: <https://www.turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/4139>
10. Abu-Asaad H. A. (2023). Cnn-Based Smart Parking System. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijim)*, 17, 155–170. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i11.37033>
11. DSTU 4157: 2003 "Technical peripherals for automated traffic control systems" [Electronic resource]. – Available at: https://docs.dbn.co.ua/3641_1583178494026.html (Accessed: 3/02/2024)
12. Yao Z., Li L., Liao W., Wang Y. (2024). Optimal lane management policy for connected automated vehicles in mixed traffic flow, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, no. 637, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129520>
13. Liu K., Feng T. (2023). Heterogeneous traffic flow cellular automata model mixed with intelligent controlled vehicles, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, no. 632, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129316>
14. Wang F., Tang K., Li K., Liu Z., Zhu L. (2019). A Group-Based Signal Timing Optimization Model Considering Safety for Signalized Intersections with Mixed Traffic Flows, *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2019, DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/2747569>
15. Alkhatib A. A., Maria A. K., AlZu`bi S. (2022). Smart Traffic Scheduling for Crowded Cities Road Networks, *Egyptian Informatics Journal*, vol. 23(4), p. 163–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eij.2022.10.002>
16. Bo Liu, Zhentao Ding. (2022). A distributed deep reinforcement learning method for traffic light control. *Neurocomputing*. no.490, p. 390–399 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.11.106>
17. Hai D. T., Manh D. V., Nhat N. M. (2022). Genetic algorithm application for optimizing traffic signal timing reflecting vehicle emission intensity, *Transport Problems*, no. 17(1), p. 5–16 DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2022.17.1.01>

**APPLICATION OF ANT COLONY OPTIMIZATION
ALGORITHM IN ROAD TRAFFIC CONTROL****A. Danyliuk**

Lviv Polytechnic National University,
Department of Electronic Computing Machines
E-mail: andrii.h.danyliuk@lpnu.ua

© Danyliuk A., 2024

The relevance of the research is determined by the need to optimize traffic light control at intersections to reduce congestion and delays and increase the capacity of intersections. A practical solution to this problem is using intelligent transport systems and specific decision-making subsystems. However, automating such tasks requires scientific research to develop effective algorithms suitable for practical use. This work proposes an approach to optimizing traffic light control at intersections that considers the traffic flow parameters at a specific intersection and those at adjacent intersections, utilizing an ant colony optimization algorithm to optimize traffic light control at neighboring intersections. The results obtained show that this approach is more effective compared to existing methods and has the potential to reduce delays by 10 % and increase intersection capacity by 15 % and more.

Keywords: adaptive traffic management, cyber-physical system, intersections, jams, traffic, traffic light controller.