

## ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ СВІТЛЯЧКІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ У ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕНЬ АВТОТРАНСПОРТОМ

Войтюк І.Ф.<sup>1)</sup>, Тришкалюк С.Р.<sup>2)</sup>, Кедрін Є.С.<sup>3)</sup>

Тернопільський національний економічний університет

<sup>1) к.т.н., <sup>2) аспірант, <sup>3) аспірант</sup></sup></sup>

### І. Вступ

Розв'язування актуальних задач моніторингу забруднень повітря, які базуються на математичних моделях, як правило зводиться до задачі глобальної оптимізації. Методи оптимізації поділяють на детерміновані та стохастичні. Детерміновані методи вимагають пошуку градієнта цільової функції та залежать від вибору початкових значень, при фіксованому значенні яких, завжди приходять до того ж результату. Проте цільова функція в задачах оптимізації може бути нелінійною або мультимодальною, недиференційованою або розірваною, що ускладнює пошук розв'язку задачі. В таких випадках використовують стохастичні методи.

Стохастичні алгоритми також називають метаевристичними, популяційними, багатоагентними та алгоритмами ройового інтелекту (swarm intelligence), оскільки вони описують динаміку поведінки груп деяких агентів (тварин, птахів, комах) біологічної системи, які локально взаємодіють один з одним та з навколишнім середовищем. Серед великої кількості популяційних алгоритмів, що відображають біологічно закладені принципи взаємодії систематичних груп живих істот між собою та з природою, можна виділити: мурашиний (Ant Colony Optimization, 1992), метод рою часток (Particle Swarm Optimization, PSO, 1995), оптимізація бактеріальної експресії (Bacterial Foraging Optimization Algorithm, BFOA, 2002), алгоритм бджолиного рою (Bees Algorithm, 2005), алгоритм світлячків (Firefly Algorithm, FA, 2007), пошук косяком риб (Fish School Search, FSS, 2008), алгоритм зозулі (Cuckoo Search, 2009), алгоритм летючих мишей (Bat Algorithm, 2010) тощо.

У задачах екологічного моніторингу забруднень повітря від автотранспорту будують статичні та динамічні математичні моделі. В процесі їх побудови доводиться розв'язувати задачі структурної та параметричної ідентифікації [1-3], що вимагає багатократного знаходження розв'язків складних оптимізаційних задач. Аналіз літератури [4-7] показав, що найбільш ефективними для таких задач є алгоритм бджолиного рою та алгоритм світлячків. Алгоритм бджолиного рою забезпечує кращі показники збіжності та часової складності, проте для розв'язування «зашумлених» нелінійних оптимізаційних задач алгоритм світлячків є більш пристосованим для просторового пошуку, оскільки сприяє поліпшенню досвіду особин і одночасному одержанні популяції локальних оптимальних рішень [8]. Алгоритм світлячків володіє не тільки процесом самоадаптації з поточним середовищем, а також включає покращення свого власного середовища з попередніх етапів, натомість коли алгоритм бджолиної колонії забезпечує лише поліпшення бджолиного танцю. Крім того алгоритм світлячків, побудований на частковій оптимізації рою, забезпечує високий рівень збіжності [4].

Тому майбутні дослідження будуть спрямовані на порівняння двох вищезгаданих алгоритмів для задачі моніторингу шкідливих викидів автотранспорту, зокрема порівняння покриттів простору пошуку розв'язків без підвищення обчислювальної складності реалізації методів структурної ідентифікації моделей об'єктів з розподіленими параметрами. У праці [8] запропоновано підхід до розв'язування цієї задачі за допомогою алгоритму бджолиної колонії. Розглянемо алгоритм поведінки рою світлячків.

### II. Мета роботи

Метою роботи є дослідження можливості оптимізації процесу ідентифікації математичних моделей у задачі моніторингу забруднень автотранспортом на основі застосування алгоритму світлячків.

### III. Постановка задачі

Розглянемо математичну модель забруднення атмосфери автотранспортом у вигляді об'єкта з  $n$  розподіленими параметрами, що утворюють вектор  $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Позначимо цільову функцію  $F(\vec{X})$ , а область її визначення  $XO$ . Параметричні обмеження, накладені на параметри технічного об'єкта мають вигляд:

$$x'_i \leq x_i \leq x''_i \quad (1)$$

де  $x_i$  -  $i$ -ий параметр об'єкта;  $x'_i$  та  $x''_i$  - відповідно *min* та *max* значення  $i$ -го параметра.

Дискретні обмеження мають вигляд:

$$x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}\} \quad (2)$$

де  $x_j$  -  $j$ -ий параметр об'єкта;  $x_{jk}$  - допустиме значення  $j$ -го параметра ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

Функціональні обмеження, накладені на параметри об'єктів, являють собою умови зв'язку їх значень. Ці обмеження мають вигляд:

$$g_i(x) \leq 0; g_i(x) = 0; g_k(x) < 0. \quad (3)$$

## II. Дослідження алгоритму поведінки рою світлячків

Досліджуючи поведінку світлячків у природньому середовищі, було встановлено, що вони здатні світитись, виконуючи ритмічні та короткі спалахи, структура яких у кожного виду унікальна та служить для комунікації між особинами. Кожна особина виділяє люциферин – пігмент, що призводить до появи світла. Інтенсивність світла залежить від кількості люциферину. Модель поведінки світлячків виглядає наступним чином: усі види світлячків мають можливість притягувати один одного: чим більш яскравіший світлячок, тим більше він притягує інших особин; світлячки з меншим ступенем світла, притягуються до більш яскравих особин; яскравість спалаху кожного світлячка, видима для іншого, зменшується при збільшенні відстані між особинами; якщо навколо світлячка немає яскравих особин, то його переміщення хаотичне. Інтенсивність світла кожної особини визначається значенням цільової функції. Крім того, радіус пошуку кожної особини залежить від кількості особин в цій області. Якщо в області пошуку знаходиться невелика кількість особин, то її радіус збільшується. В протилежному випадку радіус пошуку зменшується. Таким чином алгоритм поведінки рою світлячків має чотири етапи: початковий розподіл особин в просторі пошуку, оновлення рівня люциферину, переміщення агентів в більш перспективну область пошуку, оновлення радіусу пошуку кожної особини. Структурна схема алгоритму, що моделює поведінку світлячків, наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 - Структура алгоритму поведінки рою світлячків

Алгоритм включає наступні кроки.

Крок 1. Ініціалізація вхідних параметрів.

Крок 2. Формування початкової (поточної) популяції, що складається з  $n$  особин. Спочатку усі особини мають однакову кількість люциферину. Оновлення рівня люциферину та зміна положення особини в просторі відбувається на кожній ітерації.

Крок 3. Оновлення рівня люциферину залежить від позиції особи у просторі (значення його цільової функції). Усі особи на початковій ітерації мають однаковий рівень люциферину, значення цільової функції кожної особи залежить від його положення в просторі пошуку. Рівень люциферину кожної особи збільшується пропорційно вимірним характеристикам особи.

Обчислення рівня люциферину (рівня спалаху)  $i$ -тої особи у момент часу  $t$  наведено нижче:

$$l_j(t+1) = (1-\rho)l_j(t) + \gamma J_j(t+1) \quad (4)$$

де  $\rho$  - коефіцієнт послаблення рівня люциферину  $0 < \rho < 1$ ;  $\gamma$  - коефіцієнт привабливості світлячка;  $J_j$  - значення цільової функції  $j$ -ї особи в момент часу  $t$ .

Крок 4. Кожна особина обирає ту особину всередині радіусу пошуку  $r_i$ , у якій рівень люциферину вищий, ніж її власний. Задання  $N_i(t)$  - множини сусідів  $i$ -тої особи у момент часу  $t$ ,  $r_i$  - радіуса пошуку  $i$ -го світлячка в момент часу  $t$ .

Крок 5. При оновленні свого розміщення у просторі пошуку кожна особина ймовірнішим способом рухається в напрямку тієї особи, у якій рівень люциферину вищий, ніж її власний.

Залежність руху кожної особи від рівня люциферину, від якого залежить розмір локальної області прийняття рішень, наведено на рисунку 2. У цьому випадку в особин  $a, b, c$  та  $d$  рівень люциферину більший, ніж у особи  $e$ , що має тільки два напрями для переміщення.

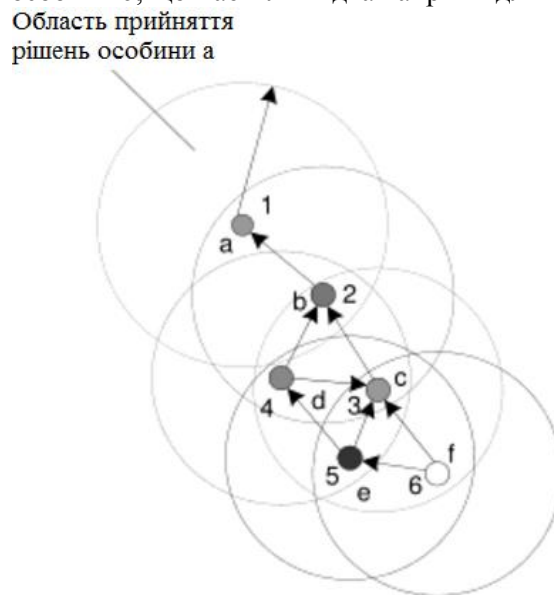


Рисунок 2 - Приклад переміщення особи в просторі пошуку

Для кожної  $i$ -ої особи імовірність переміщення у напрямку особи  $j$  визначається за формулою:

$$p_{ij}(t) = \frac{l_j(t) - l_i(t)}{\sum_{k \in N_i(t)} l_k(t) - l_i(t)} \quad (5)$$

де  $j \in N_i(t), N_i(t) = \{j : d_{ij}(t) < r_d^i(t)\}$ ;  $l_i(t) - l_j(t), d_{ij}(t)$  - евклідова відстань між особинами  $i$  та  $j$  у момент часу  $t$ ;  $l_j(t)$  - рівень люциферину особи  $j$  у момент часу  $t$ ;  $r_d^i(t)$  - вимірювальна локальна область прийняття рішень особи  $i$  у момент часу  $t$ .

Крок 6. Особина  $i$ , використовуючи метод «розіграшу лотереї», обирає особину  $j$  та здійснює переміщення у її напрямку. Далі визначається оновлена позиція особи  $i$  за формулою:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + st * \left\{ \frac{x_j(t) - x_i(t)}{\|x_j(t) - x_i(t)\|} \right\}, \quad (6)$$

де  $st$  - розмір кроку.

Крок 7. Оновлення радіусу пошуку  $r_d^i(t)$  за формулою

$$r_d^i(t+1) = \min \left\{ r_s, \max \left\{ 0, r_d^i(t) + \beta(n_i - |N_i(t)|) \right\} \right\} \quad (7)$$

де  $\beta$  - постійний параметр;  $n_i$  - параметр для управління кількості сусідніх особин.

Величини  $\beta, \gamma, st, \beta, n_t$  – параметри алгоритму, значення яких визначається експериментальним шляхом.

### Висновок

У роботі показано альтернативний варіант розв'язування задачі ідентифікації математичних моделей для екологічного моніторингу забруднення повітря автотранспортом на основі застосування алгоритму світлячків на противагу алгоритму бджолоїної колонії.

### Список використаних джерел

1. Voytyuk I. Features of Structure Identification the Macromodels for Nonstationary Fields of Air Pollutions from Vehicles / I. Voytyuk, N. Ocheretnyuk, M. Dyvak, Ye. Martsenyuk // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XI<sup>th</sup> International Conference TCSET'2012. – Lviv-Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2012. – P.314.
2. Войтюк І. Ф. Застосування інтервального різницевого оператора для апроксимації полів концентрацій шкідливих викидів автотранспорту / І. Ф. Войтюк, Т. М. Дивак, М. П. Дивак, А. В. Пукас // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 1 (37). – С. 44–52.
3. Дивак Т.М. Метод параметричної ідентифікації макромоделі у вигляді інтервального різницевого оператора із розділенням вибірки даних / Т.М. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем. Збірник наукових праць / відпов. редактор В.С.Степашко - Київ: МННЦ ІТС, 2011. -Вип.3– 246с. – С.49-60.
4. Chai-ead N. Bees and Firefly Algorithms for Noisy Non-Linear Optimisation Problems / N. Chai-ead, P. Aungkulanon, P. Luangpaiboon. // Proceeding of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists IMECS 2011, 16-18 March 2011, Hong Kong. – Vol. 2 2011. – P. 1449–1454.
5. Kwiecien J. Firefly algorithm in optimization of queueing systems / J. Kwiecien, B. Filipowicz. // BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES. – 2012. – Vol. 60, No. 2. – P. 363-368.
6. Sankalap A. A conceptual comparison of firefly algorithm, bat algorithm and cuckoo search / A. Sankalap, S. Singh // International Conference on Control Computing Communication & Materials (ICCCCM), 3-4 Aug. 2013. – Allahabad, India, India, 2013. – P. 1-4.
7. Yang X.S. Firefly Algorithms for Multimodal Optimization // Proceedings of the 5th international conference on Stochastic algorithms: foundations and applications, SAGA 2009, October 26 - 28, 2009. - Sapporo, Japan, 2009. – P. 169–178.
8. Voytyuk I. Identification the Interval Difference Operators Based on Artificial Bee Colony Algorithm in Task of Modeling the Air Pollution from Vehicular Traffic / I. Voytyuk, N. Porplytsya, A. Pukas, T. Dyvak // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) : Proc. of the XIVth Intern. Conf. CADSM 2017, 21–25 February 2017. – Lviv, 2017. – P. 58- 62.

УДК 519.688

## ПЛАНУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ВЕЛОСТОЯНОК МІСТА ІЗ ВРАХУВАННЯМ МІСЦЬ НАЙБІЛЬШОГО СКУПЧЕННЯ ЛЮДЕЙ

**Кільчицький В.Б.**

*Тернопільський національний економічний університет, магістрант*

### І. Постановка проблеми

Зараз актуальною є проблема мінімізації забруднення приземистого шару атмосфери шкідливими викидами автомобільного транспорту. Одним із шляхів її вирішення у великих містах є популяризація екологічно чистих видів транспорту. Такі види транспорту є більш доступними для усіх верств населення, а також є значно економічно ефективнішими від автотранспорту.

Велосипед, як транспортний засіб, не забруднює навколишнє середовище, є практично безшумним, не створює заторів, також він є значно економічнішим у плані використання вуличного простору (як під час руху, так і під час стоянки).

Однак популяризація велосипеда – як транспортного засобу, вимагає розвитку в місті інтермодальної транспортної системи. Тобто, з одного боку, це означає зниження інтенсивності користування автомобільними транспортними засобами, а з іншого – поліпшення умов для пішохідного та велосипедного руху. Збільшення питомої ваги велотранспорту у загальному транспортному потоці міста дозволить покращити умови руху для решти автомобілів. Таким чином, розвиток велоінфраструктури у місті забезпечує можливість ефективного використання існуючої автомобільної інфраструктури, без шкоди для мобільності мешканців міста.

Зауважимо, що одним із невід'ємних елементів велоінфраструктури є велостоянки. При плануванні їх місце розташування важливо враховувати місця найбільшого скупчення людей для