

DOI: <https://doi.org/10.17721/ISTS.2020.1.60-66>

УДК 004.896

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПОЖЕЖНОГО МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДЕФОРМОВАНИХ ЗІРОК

Антоневич Марина ¹
orcid.org/0000-0003-3640-7630

Дідик Анна ²

Снитюк Віталій ³
orcid.org/0000-0002-9954-8767

¹Україна, м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, marina.antonevich@gmail.com

²Україна, м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, anna.didyk1999@gmail.com

³Україна, м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, snytyuk@gmail.com

Історія статті:

Надійшла до редакції 17.01.2020

Прийнято 29.01.2020

Ключові слова:

система пожежної сигналізації;
метод деформованих зірок;
оптимізація.

Анотація: У статті розглядаються аспекти розв'язання задачі оптимізації функції двох змінних, яка, у загальному випадку є поліекстремальною та недиференційованою. Класичні методи неперервної оптимізації у цьому випадку є незастосовними. Одним із найбільш часто використовуваних методів розв'язання такої задачі є еволюційні алгоритми, які можна розділити на два класи. До першого класу належать алгоритми, де потенційний розв'язок-нащадок генерується двома батьківськими розв'язками, у другому випадку нащадок генерується одним батьківським розв'язком. Запропоновано метод деформованих зірок, де популяцію батьківських розв'язків становлять 3-х, 4-х та 5-ти точкові групи. Показано застосування запропонованого методу до розв'язання задачі оптимізації системи пожежного моніторингу будівель та споруд, що приводить до мінімізації часу її спрацювання. Розглянуті будівлі, де пожежне навантаження може мати як постійний, так і змінний характер. До таких будівель відносяться концертні зали, нічні клуби, супермаркети логістичні споруди тощо. Пожежі на таких об'єктах призводять до людських жертв та значних матеріальних збитків. Вчасне спрацювання системи пожежної сигналізації набуває великого значення. Цільова функція задачі визначена з урахуванням відстані від горизонтальних проекцій сповіщувачів до джерел виникнення пожежі та ймовірності спрацювання сповіщувачів. Розв'язком задачі є оптимізоване розміщення пожежних сповіщувачів із урахуванням їх кількості та пожежного навантаження приміщення. Показані переваги розробленого методу перед генетичними алгоритмами, еволюційними стратегіями та методом диференціальної еволюції як найбільш типовими еволюційними алгоритмами. Проведені чисельні експерименти, які засвідчили підвищену точність розрахунків та збільшену швидкість збіжності методу.

Abstract: In this paper are being considered the aspects of two variables function optimization problem solving, which, in general, is poly-extremal and undifferentiated. The classic methods of continuous optimization are not applicable in this case. One of the most commonly used methods of solving this problem is evolutionary algorithms, which can be divided into two classes. The first class includes algorithms where a potential offspring-solution is generated by two parent-solutions solutions, in the second case, the offspring-solution is generated by one parent-solution. There is deformed star method proposed where the population of parental solutions is 3, 4, and 5 point groups. The application of proposed method is shown to solve the optimization problem of fire monitoring system for buildings, which minimizes the time of its operation. The buildings where fire load can be both permanent and variable are considered. Such buildings include concert halls, nightclubs, supermarkets, logistics facilities and more. Fires at such buildings result in human sacrifice and serious material loss. Timely activation of the fire alarm system have great importance. The objective function of the problem is determined by the distance from the horizontal projections of the detectors to the sources of fire and the probability of triggering the detectors. The solution is optimizing location of fire detectors, taking into account their number and the fire load of the room. The advantages of the developed method over genetic algorithms, evolutionary strategies and differential evolution as the most typical evolutionary algorithms are shown. Numerical experiments were carried out, which showed the increased accuracy of calculations and the increased speed of method convergence.

1. ВСТУП

Більшість практичних задач пов'язана із необхідністю розв'язання задач оптимізації. У випадку, коли цільова функція є неперервною, гладкою, моноекстремальною застосовуються класичні методи неперервної оптимізації [1], в інших випадках, як правило, застосовуються методи стохастичної оптимізації [2]. Як перші, так і другі методи мають чисельні недоліки та особливості застосування. При мінімальних застереженнях до виду цільової функції та початкових даних раціонально використовувати еволюційні методи оптимізації [3-6].

Однією із таких задач є оптимізація системи пожежного моніторингу будівель та споруд і підзадача розміщення в приміщенні пожежних сповіщувачів [7]. Особливо актуальним оптимізація такого розміщення є у великих будівлях, в яких знаходиться велика кількість людей або значні обсяги матеріальних цінностей.

Зауважимо, що вказана задача є задачею оптимізації функції багатьох змінних. Одними із відомих методів розв'язання даної задачі можна назвати генетичні алгоритми [4], еволюційні стратегії [5], диференціальну еволюцію [6]. Вказані технології є класичними, найбільш часто застосовуваними еволюційними методами. Водночас, розв'язання задачі оптимізації розміщення пожежних сповіщувачів вимагає значної ресурсної бази. Ще один шлях до її ефективного розв'язання – розробка нових методів.

Таким методом є метод деформованих зірок (МДЗ) [8,9]. Він також належить до еволюційних алгоритмів. Далі буде показано переваги методу, де популяція потенційних розв'язків задачі складається із 3-, 4- та 5-точкових груп, у порівнянні з іншими методами. Також буде досліджена ефективність розв'язання задачі оптимізації розміщення пожежних сповіщувачів методом деформованих зірок із використанням різних варіантів даної техніки.

2. ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ ДВОМІРНОЇ ФУНКЦІЇ ТА МЕТОД ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Нехай, задана дана цільова функція:

$$f(x_1, x_2) \rightarrow \min,$$

$$x_1 \in [p_1, p_2], x_2 \in [q_1, q_2], p_1, p_2, q_1, q_2 \in R$$

Про її властивості нічого не відомо.

Розглянемо основні кроки МДЗ для цього випадку. Зауважимо, що оптимізація функції в одновимірному випадку наведена в [8].

На першому кроці задаємо номер поточної ітерації $t=0$. Генеруємо початкову популяцію потенційних розв'язків

$$P_t = \{(x_1^1, x_2^1), (x_1^2, x_2^2), \dots, (x_1^n, x_2^n)\},$$

рівномірно розміщених в прямокутнику

$$[p_1, p_2] \times [q_1, q_2], \quad |P_t| = n. \quad \text{Далі, для всіх}$$

$(x_1^j, x_2^j) \in P_t$ знаходимо $f_i = f(x_1^j, x_2^j)$, які формують популяцію $F_t = \{f_j\}_{j=1}^n$. Генеруємо елементи для нової популяції P_z . Вибираємо значення $i, j, k = \text{random}\{1, 2, \dots, n\}$. Точки (x_1^i, x_2^i) , (x_1^j, x_2^j) та (x_1^k, x_2^k) формують трикутник (не лежать на одній прямій).

Будемо робити стиснення і перенесення на відстань a в напрямку кращої точки (x_1^i, x_2^i) або (x_1^j, x_2^j) , або (x_1^k, x_2^k) , у залежності від значення f_i (далі будемо вважати (x_1^i, x_2^i) кращою вершиною). Для цього знаходимо центр мас трикутника (x_1^0, x_2^0) .

Обчислюємо відстань R від центроїда до кращої точки. Задаємо параметр r – відстань зсуву точок: $r = \text{coef} \cdot R$, де coef – деякий коефіцієнт на інтервалі $[0, 1]$. Тоді відношення відрізків матиме вигляд: $a = r / R$. Здійснюємо зсув вершин у напрямку кращої вершини на відстань r (рис. 1).

Графічно, це можна зобразити наступним чином, де ABC – деякий трикутник, $m.B$ – найкраща. Новий трикутник, що буде утворено – $A_1B_1C_1$ (рис.1).

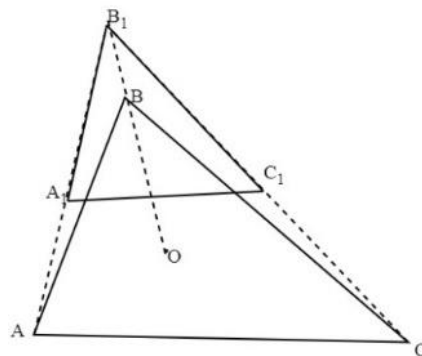


Рис. 1 - Перетворення трикутника

Якщо хоча б одна точка лежить в середині прямокутника можливих розв'язків, тоді зараховуємо цю точку до популяції P_z . Якщо хоча б одна точка лежить поза прямокутником, тоді нам необхідно застосувати додаткові перетворення і після цього зарахувати модифіковану точку до популяції P_z . Для всіх точок $(x_1^{i'}, x_2^{i'})$, $(x_1^{j'}, x_2^{j'})$, $(x_1^{k'}, x_2^{k'})$ знаходимо $f(x_1^{i'}, x_2^{i'})$, $f(x_1^{j'}, x_2^{j'})$ та $f(x_1^{k'}, x_2^{k'})$, які формують популяцію $F_z = \{f_k^z\}_{k=1}^3$.

На наступному кроці генеруємо елементи нової популяції P_s . Вихідними є точки (x_1^i, x_2^i) , (x_1^j, x_2^j) та (x_1^k, x_2^k) , що формують трикутник.

Проведемо поворот трикутника на кут β навколо кращої вершини (рис. 2). У такому випадку вершина (x_1^i, x_2^i) залишається без змін, а інші будуть змінені. Точки $(x_1^{j'}, x_2^{j'})$ та $(x_1^{k'}, x_2^{k'})$ записуємо в популяцію P_s , якщо вони належать прямокутнику розв'язків. Інакше модифікуємо та записуємо в популяцію P_s . Для всіх точок $(x_1^{j'}, x_2^{j'})$ та $(x_1^{k'}, x_2^{k'})$ знаходимо $f(x_1^{j'}, x_2^{j'})$, $f(x_1^{k'}, x_2^{k'})$, які формують популяцію $F_s = \{f_k^s\}_{k=1}^{2-k/3}$.

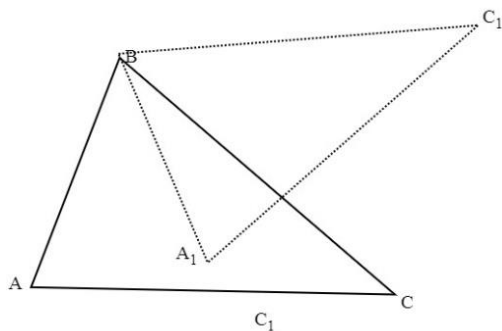


Рис. 2 – Поворот навколо найкращої точки

Далі генеруємо елементи для нової популяції P_w . Маємо точки (x_1^i, x_2^i) , (x_1^j, x_2^j) та (x_1^k, x_2^k) , що формують трикутник. Здійснюємо поворот вершин трикутника на кут α навколо центру мас. Точки $(x_1^{i'}, x_2^{i'})$, $(x_1^{j'}, x_2^{j'})$ та $(x_1^{k'}, x_2^{k'})$ аналогічно записуємо в популяцію P_w . Для всіх точок $(x_1^{i'}, x_2^{i'})$, $(x_1^{j'}, x_2^{j'})$, $(x_1^{k'}, x_2^{k'})$ знаходимо $f(x_1^{i'}, x_2^{i'})$, $f(x_1^{j'}, x_2^{j'})$ та $f(x_1^{k'}, x_2^{k'})$, які формують популяцію $F_w = \{f_k^w\}_{k=1}^{3-k}$.

Об'єднуємо елементи кожної популяції $P_t \cup P_z \cup P_s \cup P_w = P$ та $F_t \cup F_z \cup F_s \cup F_w = F$. Елементи популяції F сортуємо за зростанням. Збільшуємо номер поточної ітерації $t = t + 1$. Створюємо нову популяцію P_t з елементів популяції P , що включатиме перші n елементів популяції F . Якщо критерій зупинки не виконано, то ітераційний процес продовжується. Якщо умову зупинки виконано, тоді значення потенційного розв'язку, в якому значення функції f є мінімальним, є шуканим розв'язком.

Зауважмо, що вище наведено основні елементи МДЗ, де зірки мають форму трикутника. Чотиривимірний та п'ятивимірний випадки є аналогічними.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Для визначення ефективності МДЗ виконано порівняльний аналіз результатів його застосування із результатами класичних

еволюційних методів: генетичного алгоритму (ГА), еволюційної стратегії (ЕС), диференціальної еволюції (ДЕ). Експерименти проводились при розв'язанні задачі оптимізації однієї із недиференційованих функцій з використанням різних критеріїв закінчення алгоритму: за кількістю ітерацій, за близькістю різниць середніх та максимальних значень фітнес-функцій для сусідніх популяцій.

Досліджено середній час виконання кожного із алгоритмів при 100 ітераціях (усереднено за 100 запусками програм), причому виконано підрахунок кількості результуючих значень, що досягли заданої точності та тих, що не досягли.

На рис. 3-4 представлено результати експериментів.

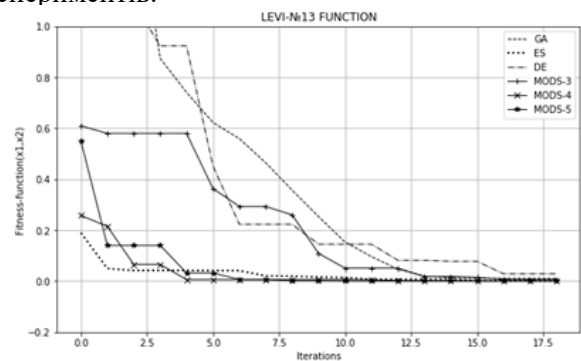


Рис. 3 – Умова зупинки: 100 ітерацій

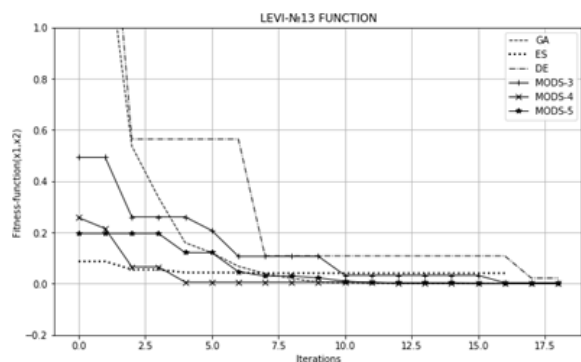


Рис. 4 – Умова зупинки: за середнім значенням фітнес-функцій

Результати, представлені на рис. 3-4, переконливо доводять переваги застосування МДЗ.

4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДЕФОРМОВАНИХ ЗІРОК

У роботі [7] було розв'язано задачу оптимізації розміщення пожежних сповісвачів у складському приміщенні методом деформованих зірок для мінімізації часу спрацювання системи пожежної сигналізації, наслідком чого є зменшення людських жертв та мінімізація матеріальних втрат. Розглянемо застосування МДЗ для розв'язання цієї задачі та його можливі варіації, а також різні штрафні функції та модифікації методу, де основними елементами є не точки на двовимірній площині, а вектори, що позначають множини пожежних сповісвачів.

У цільовій функції задачі мають бути врахованими відстані між сповіщувачами та ймовірними джерелами виникнення пожежі, а також надійність системи пожежної сигналізації.

Припустимо, що всі сповіщувачі мають однакову ймовірність правильного спрацювання p_d . Ефективність функціонування системи пожежного моніторингу, у першу чергу, визначається відстанню від i -го джерела небезпеки або точки виникнення пожежі до горизонтальної проекції сповіщувача або сповіщувачів.

Швидкість розвитку пожежі та час спрацювання сповіщувачів залежить від пожежного навантаження приміщення, тобто щільності розміщення та горючості матеріалів і об'єктів, які впливають на динаміку пожежі.

Розглянемо випадок постійного нерівномірного пожежного навантаження приміщення. До приміщень із постійним нерівномірним навантаженням належать склади із визначеними місцями для зберігання певних товарів, бібліотеки, житлові приміщення тощо.

Вважаємо відомою кількість пожежних сповіщувачів N , які мають бути встановленими у приміщенні, виходячи із відношення можливих збитків до витрат на створення системи пожежної сигналізації, де вартість сповіщувачів є основним фактором [7]. Така кількість може бути як більшою (як правило), так і меншою від визначеної нормативними документами. Нехай Ξ – горизонтальна проекція приміщення, де досліджується можливість оптимізації СПС, $\Xi = \{(x, y) | x \in [0, a], y \in [0, b]\}$.

Припустимо, що усі точки приміщення належать зоні відповідальності хоча б одного сповіщувача, яка є колом. Таким чином, горизонтальні проекції зон відповідальності перетинаються, утворюючи області Ξ_i з різною кратністю відповідальності сповіщувачів, $i = \overline{1, k_\Xi}$, де k_Ξ – кількість таких областей. Знаючи координати розміщення кожного сповіщувача (x_j, y_j) , $j = \overline{1, N}$ і радіус зони його відповідальності r , можна одержати відповідну схему.

Припустимо, що $\Theta = \Theta_1 \cup \Theta_2 \cup \dots \cup \Theta_n$, де Θ_i – ділянка приміщення, що характеризується рівнем пожежного навантаження η^i , $i = \overline{1, n}$, $\bigcap_{i=1}^n \Theta_i = \emptyset$. Очевидно, що ділянки Θ_i легко зобразити графічно, здійснити координатну прив'язку та вважати, що $\Theta_i = \{(x, y) | x \in [a_i^1, a_i^2], y \in [b_i^1, b_i^2]\}$. Границі ділянок Θ_i , $i = \overline{1, n}$ є елементами матриці G .

У роботі [10] запропоновано розв'язання задачі визначення рівня пожежного навантаження. Для цього використано такі параметри, як Z_1 – тип матеріалу, який визначає

пожежне навантаження, Z_2 – його об'єм на 1 см^2 , Z_3 – нормальна швидкість горіння, Z_4 – швидкість вигорання, Z_5 – токсичність продуктів горіння, ξ – невраховані параметри. Очевидно, що тоді $\eta^i = h(Z_1^i, Z_2^i, Z_3^i, Z_4^i, Z_5^i, \xi^i)$, $i = \overline{1, n}$.

Зауважимо, що потужність та елементний склад кожного ξ^i встановлюється окремо у конкретному випадку. Для подальших досліджень потрібно було б мати ідентифіковану наведену вище залежність. Але, враховуючи унікальність кожного приміщення, її одержання в аналітичному вигляді є надто трудомістким процесом.

Вважаючи, що рівень пожежного навантаження η^i ділянки приміщення Θ_i , $i = \overline{1, n}$ відомий, переходимо до формування цільової функції, надаючи рівню пожежного навантаження η^i змісту вагового коефіцієнта, що визначає важливість надійності системи пожежного моніторингу та часу її спрацювання

Цільову функцію подамо таким чином:

$$F(W) = \sum_{i=1}^n \eta_i \cdot \sum_{j=1}^M \left(\sum_{j=1}^N \chi(d_{ij} < r) > 0 \& (T_i \in \Xi_i) \right) \times \\ \times \frac{1}{1 - (1 - p) \sum_{j=1}^N \chi((d_{ij} < r) \& (T_i \in \Xi_i))} \cdot \min_j d_{ij} + P(W),$$

де W – структура системи сповіщувачів,

$X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$, (x_i, y_i) – координати сповіщувачів,

p_c^i – ймовірність спрацювання сповіщувача або сповіщувачів з урахуванням резервування, χ^* – функція-індикатор,

d_{ij} – відстані від точок виникнення пожежі до пожежних сповіщувачів,

$T_i = (x_i^i, y_i^i)$ – точка виникнення пожежі,

$P(W)$ – штрафна функція.

Побудуємо два типи штрафних функцій: статичну та динамічну. Статична штрафна функція є такою:

$$S(W) = \sum_{i=1}^n \eta_i \cdot \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N \chi((d_{ij} < r) \& (T_i \in \Xi_i)) = 0 \right) \times \\ \times \min_j d_{ij}.$$

Динамічна штрафна функція має вигляд:

$$D(W) = \lambda(t) \cdot S(W)^2,$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} C \cdot e^{\frac{t}{v}}, & \text{при } \lambda < \lambda_{\max} \\ \lambda_{\max}, & \text{при } \lambda \geq \lambda_{\max} \end{cases},$$

де C – початкове значення множника штрафної функції,

v – швидкість зростання,

$\lambda_{\max}$ – максимальне значення множника,

t – номер ітерації.

Параметри $C, v, \lambda_{\max}$ визначаються в результаті експериментів.

Оскільки класичний МДЗ працює із розв'язком-точкою, а у даній задачі розв'язок є сукупністю точок (вектором), алгоритм було модифіковано. Потрібно знайти розв'язок-вектор, що має найкраще значення цільової функції.

Розглянемо приклад, що показаний на рис. 5. Дано три вектори - A, B і C , що складаються із семи точок $(x_i; y_i), i = 1 \dots 7$.

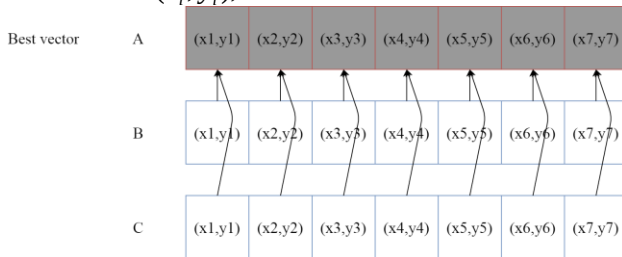


Рис. 5 – Приклад розв'язків

Припустимо, що найкращим є вектор A . Тоді нам необхідно покращити значення цільової функції векторів B і C . Для всіх точок векторів паралельно робимо однакові перетворення із однаковими вхідними параметрами. Точки $(x_1; y_1)_B$ та $(x_1; y_1)_C$ зсуваємо до точки $(x_1; y_1)_A$.

У залежності від того, який випадок використовується (тривимірний, чотиривимірний чи п'ятивимірний), використовують відповідні обчислення.

Такі дії виконуємо над усіма компонентами векторів. Тобто, далі виконуємо перетворення над $(x_2; y_2)_B$ та $(x_2; y_2)_C$, зсуваючи їх до $(x_2; y_2)_A$, і т.д. Одержимо нові вектори B^* і C^* , як показано на рис. 6.

Такі паралельні перетворення здійснюємо для стиснення, перенесення, повороту тощо.

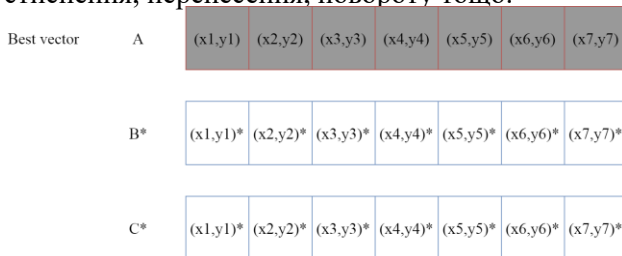


Рис. 6 – Результат перетворень

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Моделювання проведено за таких початкових умов:

- розмір приміщення 10×10 ;
- кількість пожежних сповісвачів = 30;
- радіус реакції сповісвача дорівнює 2;
- ймовірність спрацювання сповісвача дорівнює 0.9;
- 3 зони пожежного навантаження;
- $C = 0.1, v = 1, \lambda_{\max} = 1$.

Критерії завершення алгоритму (далі КЗА1,

КЗА2, КЗА3):

1. За кількістю ітерацій (200 прогонів);
2. За збіжністю різниць середніх значень фітнес-функцій для двох популяцій (точність 0.000001);
3. За збіжністю різниць максимальних значень фітнес-функцій для двох популяцій (точність 0.000001).

Введемо наступні позначення для відображення результатів на рисунках:

– прямокутні зони – зони різного пожежного навантаження;

– точки – координати виникнення пожежі;

– кола – це пожежні сповісвачі, які мають певний радіус дії.

При використанні статичної штрафної функції даним методом для п'ятикутника отримуємо результати, зображені на рис. 7-8.

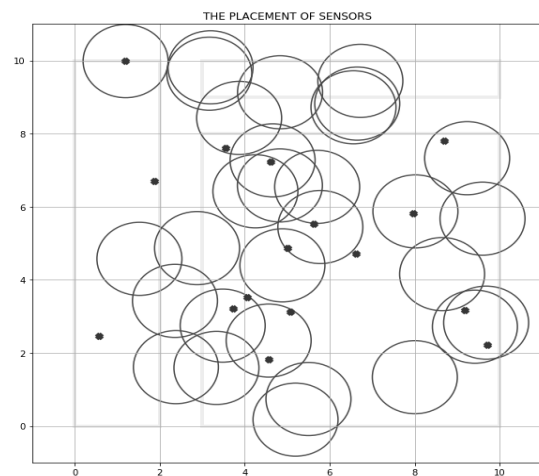


Рис. 7 – Розміщення сповісвачів: 100 ітерацій

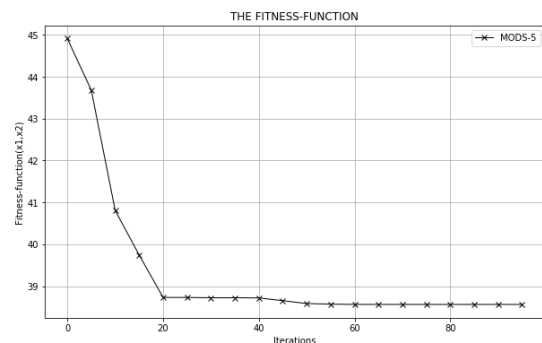


Рис. 8 – Динаміка зміни цільової функції: 100 ітерацій

Результати при використанні динамічної штрафної функції зображені на рис. 9-10.

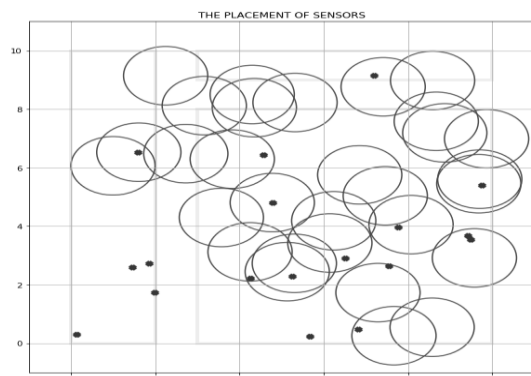


Рис. 9 – Розміщення сповісвачів: 100 ітерацій

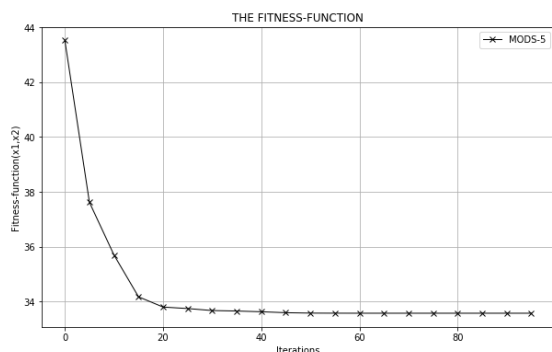


Рис. 10 – Динаміка зміни цільової функції: 100 ітерацій

Нижче в табл. 1 та табл. 2 наведені узагальнені результати для 10 запусків програми.

Таблиця 1. Узагальнений результат при використанні статичної штрафної функції

Метод	Критерій 1	Критерій 2	Критерій 3
МДЗ-3	27.979	30.54	38.604
МДЗ-4	19.406	21.193	45.856
МДЗ-5	38.457	38.703	35.023

Таблиця 2. Узагальнений результат при використанні динамічної штрафної функції

Метод	Критерій 1	Критерій 2	Критерій 3
МДЗ-3	24.346	28.11	21.053
МДЗ-4	15.443	14.686	18.103
МДЗ-5	33.176	29.097	26.16

6. ВИСНОВОК

Метод деформованих зірок демонструє переконливі результати своєї ефективності. Головна його ідея – більш глибоке дослідження області зміни аргументів, врахування

взаємовпливу потенційних розв'язків, спрямованість пошуку та легкість реалізації. Метод є параметричним і допускає значну кількість налаштування, що може значно підвищувати як швидкість збіжності, так і точність розв'язання оптимізаційних задач.

При розв'язанні актуальної проблеми оптимізації розміщення пожежних сповісвачів за допомогою методу деформованих зірок найкращі результати показав чотирирівимірний випадок даного методу. Мінімальне значення цільової функції склало, в середньому, 22.4. Іншими еволюційними методами одержали значення цільової функції 28.4 та 33.4, що дозволяє стверджувати про ефективність методу деформованих зірок при розв'язанні практичних задач.

7. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Du, D. Z.; Pardalos, P. M.; Wu, W. (2008). "History of Optimization". In Floudas, C.; Pardalos, P. (eds.). Encyclopedia of Optimization. Boston: Springer. pp. 1538–1542.
- [2] Spall, J. C. (2003). Introduction to Stochastic Search and Optimization. Wiley. ISBN 978-0-471-33052-3.
- [3] Vikhar, P. A. (2016). "Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects". Proceedings of the 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC). Jalgaon. pp. 261–265.
- [4] J.A. Vasconcelos, J.A. Ramirez, R.H.C. Takahashi, R.R. "Saldanha Improvements in genetic algorithms", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 37, Issue 5, Sept. 2001.
- [5] S. Van Rijn, H. Wang, M. van Leeuwen, T. Bäck, "Evolving the structure of Evolution Strategies", in 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 6-9 Dec. 2016.
- [6] A. Ukhov, "Differential Evolution: A tool for global optimization", Cornell Hospitality Report, 16(24), 3-44, 2016.
- [7] Землянський А.Н., Каверина Н.П., Снитюк В.Е. Проектирование систем пожарного мониторинга в условиях неопределенности / Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 483-488.
- [8] Antonevych M. Optimization of functions of two variables by deformed stars method / M. Antonevych, A. Didyk, V. Snytyuk. // 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory. – 2019. – С. 475–480.
- [9] Snytyuk V., Method of Deformed Stars for Multi-extremal Optimization. One- and Two-Dimensional Cases // In Proc. Int. Conf. "Mathematical Modeling and Simulation of

Systems. MODS 2019”, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1019, Springer, Cham.

- [10] Быченко А.А., Джулай А.Н., Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в пожаротушении. – Черкассы: Маклаут, 2008. –264 с.



Снитюк Віталій Євгенович, Вищу освіту здобув у Київському державному університеті імені Т.Г. Шевченка у 1991 році. У 2009 році захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктор технічних наук за спеціальністю «Інформаційні технології». Пасада: декан факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Наукові інтереси: Прийняття рішень в умовах невизначеності, обчислювальний інтелект.



Антоневич Марина Миколаївна, студентка Київського національного університету імені Тараса Шевченка факультету інформаційних технологій за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».
Наукові інтереси: еволюційні обчислення, штучні нейронні мережі, інтелектуальний аналіз даних



Дідик Анна Андріївна, студентка Київського національного університету імені Тараса Шевченка факультету інформаційних технологій за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».
Наукові інтереси: еволюційні обчислення, веб-розробка, штучні нейронні мережі