

УДК 004.056.5

СТАТИСТИЧНИЙ ЛОКАЛЬНИЙ ПОШУК У ЕВРИСТИЧНИХ ТА МЕТАЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМАХ

Жук А.В., студент, zhuk.a.v@nmu.one, НТУ «ДП»

Желдак Т.А., к. т. н., доцент, Zheldak.t.a@nmu.one, НТУ «ДП»

Використання алгоритмів локального пошуку для задач комбінаторної оптимізації наразі є дуже поширеною практикою [1], та набуває нової популярності через зміну поглядів на їх побудову. Вибір алгоритму для вирішення конкретної задачі комбінаторної оптимізації є темою окремих досліджень, результати яких відрізняються, в залежності від типу та розмірності самої проблеми.

Емпіричні та теоретичні дослідження показують, що успіх локального пошуку сильно залежить від типу задачі та внутрішніх операторів пошуку. У зв'язку з цим у літературі було представлено декілька внутрішніх операторів локального пошуку. Однак, рішення про те, який саме варіант слід використовувати і з якими операторами є дуже складним і вимагає тривалого процесу спроб і помилок. При цьому, при роботі з практичними задачами завжди виникає потреба у ручному налаштуванні оператора локального пошуку, щоб краще їй відповідати [2].

Багато досліджень доводять, що використання оператора локального пошуку, при знаходженні глобального оптимуму, підвищує продуктивність самого алгоритму. За останні роки було багато спроб створити гібридний алгоритм за даними принципом, що призвело до отримання чудових результатів оптимізації функції однієї [3] та кількох цілей [4].

Аналогічна ситуація і з вирішенням практичних задач, що пов'язані з комбінаторної оптимізацією. Поєднання оператора локального пошуку з евристичним алгоритмом дає змогу вирішити NP – складну задачу за відносно швидкий проміжок часу [5].

Мета даного дослідження: пошук та дослідження можливого впливу статистичних оцінок на вирішення комбінаторних задач у евристичних та метаевристичних алгоритмах.

Нижче пропонується такий оператор локального пошуку, який може бути застосований до будь-яких задач комбінаторної оптимізації (за умови їх дискретності), зі збереженням своєї ефективності. При чому, ефективність роботи даного оператора забезпечується використанням статистичного апарату.

Перш за все, варто зазначити, що через статистичні елементи цей оператор може бути використаний тільки у популяційних алгоритмах, через дослідження популяції рішень. У якості базового для даного дослідження,

було обрано комбінаторний варіант алгоритму штучної імунної системи, наведений у даній роботі [6].

Виходячи з особливостей даного алгоритму, локальний пошук відбувається майже на останньому етапі, перед оператором стиснення. Таким чином, на вхід отримується популяція рішень, яка пройшла селекцію, клонування, кросингвер та мутацію.

Пропонований оператор локального пошуку складається з п'яти послідовних кроків, а саме:

Крок перший: Фіксація раніше обраних антитіл

При першій ітерації локального пошуку даний крок ігнорується, проте при усіх наступних є обов'язковим. Полягає він у тому, що успішні результати роботи на минулих ітераціях беруться до уваги у поточній.

Математично це можливо сформулювати наступним чином. Нехай, ми маємо множину U , яка являє собою набір номерів антитіл, які підлягають фіксації, та множину V , яка містить значення для фіксації цих антитіл. При чому, маємо популяцію рішень A , а її розмір дорівнює m . Тоді, для переходу на наступний крок має виконуватися умова:

$$A_{ij} = v_j, \quad \forall j \in U, \quad i = \overline{1, m} \quad (1)$$

Крок другий: Визначення меж статистичного відхилення

Для того, щоб проводити локальний пошук серед певної популяції, треба визначитися з параметрами, які будуть для нас важливими. Виходячи з того, що запропонований локальний пошук заснований на генетичному різноманітті, важливим параметром є кількісна міра наявності певного антитіла у всієї популяції.

Таким чином, для того, щоб провести локальний пошук, необхідно визначитися з верхнім та нижнім порогом наявності антитіла у цілої популяції. Це необхідно, так як антитіла, які знаходяться в даних межах підлягають подальшому дослідженню.

Перед тим, як кількісно визначати ці пороги, необхідно визначитися з рівнем допустимої, статистичної похибки P . Рекомендується брати значення в 10%, так як при визначенні меж завжди отримується ціле число, яке не підлягає округленню, що впливає на якість локального пошуку.

Верхній (U_b) та нижній (L_b) поріг генетичного різноманіття визначається наступним чином:

$$U_b = \frac{m}{2} + mP \quad (2)$$

$$L_b = \frac{m}{2} - mP \quad (3)$$

Крок третій: Обчислення генетичного різноманіття

Визначившись, з верхнім та нижнім порогом генетичного різноманіття, можливо переходити до наступного кроку. Генетичне різноманіття популяції полягає у статистичній оцінці наявності певного антитіла у всієї популяції. Тобто, дана оцінка може бути сформульована наступним чином:

$$\sum_{i=1}^m x_{jm}, \forall j \in U \quad (4)$$

У випадку, коли антитіло має оцінку, що задовольняє визначені межі – воно береться до подальшого розгляду.

У випадку, коли генетичне різноманіття жодного з антитіл не задовольняє встановлені межі – локальний пошук припиняється.

Крок четвертий: Дослідження антитіл

На даному кроці, визначається який вплив несе обране антитіло на цільову функцію (антиген). Для цього визначається середнє значення цільової функції популяції (C), за умови наявності або відсутності даного антитіла

$$One = \frac{\sum_{i=1}^m c_{jm}}{\sum_{i=1}^m x_{jm}}, \forall x_j = 1 \quad (5)$$

$$Zero = \frac{\sum_{i=1}^m c_{jm}}{m - \sum_{i=1}^m x_{jm}}, \forall x_j = 0 \quad (6)$$

Виходячи з того, що розглядаються задачі мінімізації значення цільової функції, то для подальшого кроку обираються характеристики з найменшою оцінкою. Тобто, для усіх визначених антитіл у популяції, їх наявність є краще.

Крок п'ятий: Фіксація

Даний крок є заключним, і він пов'язаний з фіксацією (додаванням або відніманням визначеного антитіла у поточній популяції. Надалі, для вже нової популяції визначаються актуальні значення цільової функції та відбувається її стиснення.

Важливо розуміти, що шляхи фіксації можуть бути різні, і є темою окремого дослідження, проте, наразі пропонуються три різні варіанти. Також, після кожної фіксації, номер антитіла та його оптимальний стан запам'ятовується.

Фіксація за генетичним різноманіттям

При даній варіації фіксації, кандидати сортуються за значенням статистичного відхилення генетичного різноманіття. Перший з кандидатів обирається на фіксацію.

Фіксація за значенням цільової функції

При даній варіації фіксації антитіл, кандидати сортуються за середнім значенням цільової функції в оптимальному стані. Перший з кандидатів обирається на фіксацію.

Фіксація за значенням цільової функції

При даній варіації фіксації антитіл, усі відбувається аналогічно попередньому варіанту. Різниця полягає у тому, фіксації підлягає не тільки перший кандидат, а й усі наступні, у випадку, коли статистичне відхилення від середнього значення для цих антитіл дорівнює 0.

Реалізація алгоритму штучної імунної системи з запропонованим оператором локального пошуку відбувалася у середовищі Visual Studio Code, за допомогою мови програмування Python. Варто відмітити, що з метою забезпечення найкращої швидкості були використані такі модулі, як Pandas, Numpy та Numba.

При розв'язанні чотирьох поширених комбінаторних задач (задачі про призначення, про наплічник, оптимального розбиття та покриття множин) були отримані наступні результати. У ході дослідження було показано, що:

- запропонований оператор локального пошуку показує високу ефективність на 3 з 4 поставлених задач;
- для вирішення задачі про наплічник найкраще підходить використання оператора локального пошуку за 1 типом фіксації;
- локальний пошук за 1 типом також найкраще підходить для вирішення задачі про покриття множини. Для даної задачі усі варіанти оператора локального пошуку показали кращі результати, ніж імунний алгоритм за кількістю ітерацій та часом пошуку рішення;
- при вирішенні задачі про призначення, локальний пошук за 3 типом фіксації забезпечує в середньому 8% меншу кількість ітерацій та 32% менший час для досягнення глобального оптимуму.

Висновок. Запропонований новий підхід до організації локального пошуку у метаевристичних алгоритмах при розв'язанні дискретних комбінаторних задач, який заснований на статистичних оцінках. Результати тестування даного оператора свідчать статистичну ефективність оператору при розв'язанні ряду задач, зокрема, задач оптимального розбиття та покриття множин. Варто зауважити, що даний варіант оператора локального пошуку має великий потенціал до покращення та подальшого дослідження з використанням інших популяційних алгоритмів.

Список використаних джерел

1. A. Radhakrishnan and G. Jeyakumar, “Evolutionary algorithm for solving combinatorial optimization—a review,” *Innovations in Computer Science and Engineering*, pp. 539–545, 2021.

2. Turkey, A., Sabar, N.R., Dunstall, S. and Song, A. (2020). Hyper-heuristic local search for combinatorial optimisation problems. Knowledge-Based Systems, 205, p.106264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106264>.
3. Turkey, A., Sabar, N.R., Dunstall, S. and Song, A. (2020). Hyper-heuristic local search for combinatorial optimisation problems. Knowledge-Based Systems, 205, p.106264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106264>.
4. Z. Cui, J. Zhang, Y. Wang et al., “A pigeon-inspired optimization algorithm for many-objective optimization problems,” Science China Information Sciences, vol. 62, no. 7, pp. 70212–70221, 2019
5. Haneen Algethami (2023). Local Search-Based Metaheuristic Methods for the Solid Waste Collection Problem. Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 2023, pp.1–11. doi:<https://doi.org/10.1155/2023/5398400>
6. Zheldak T. Efficiency Improvement of the Algorithm Based on an Artificial Immune System Modeling Applied to Continuous and Combinatorial Problems / Zheldak, T., Ziborov, I., Lyman, V., Zhuk, A. // CEUR Workshop Proceedings, (2021) – 3106, pp. 82–95.

УДК 332.055:330.341.1

МОДЕЛЮВАННЯ ФАКТОРІВ ЦІФРОВОГО РОЗВИТКУ КРАЇН

Заборна Д.Д, студентка, zdashka1@gmail.com, ХНЕУ ім. С. Кузнеця
Прокопович С.В., к.е.н., доцент, prokopovichsv@gmail.com, ХНЕУ ім. С.
Кузнеця

Цифровий розвиток означає процес використання та інтеграції цифрових технологій у різні сфери суспільного життя, економіки та державного управління. Він має величезний вплив на соціальні відносини, економічне зростання, управління, освіту та інші сфери життя. Країни та суспільства, які активно розвивають інформаційно-комунікаційні (цифрові) технології, прагнуть підвищити ефективність економіки держави, рівень та якість життя своїх громадян за рахунок впровадження інновацій.

Дослідженням широкого кола питань цифрового розвитку, цифрової економіки чи цифрової освіти присвячено велику кількість сучасних робіт відомих українських та зарубіжних авторів, таких як Гур'янова Л.С., Султанова Л., Желуденко М., Коломієць Г. М., Глушач Ю. С., Гуцалюк О. М., Гаврилова Н. В., Шкригун Ю. О., Вітлінський В. В., Катуніна О. С., Легомінова С. В., Прокопович С.В., Чаговець Л.О., Яненкова І. Г., Franz-