

МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУ ТУРИСТИЧНИХ МАРШРУТІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ПОВЕДІНКИ КОЛОНІЇ БДЖІЛ

© Угрин Д. І., Демчук А. Б., Наум О. М., 2016

Розглянуто модифіковану парадигму бджолоїної колонії для туристичних маршрутів розв’язанням комбінаторних задач на графах: виділення в графі незалежної підмножини вершин, знаходження максимального паропосідання в графі, розмальовки графу, виділення клік в графі. На основі аналізу поведінкової моделі самоорганізації колонії бджіл розроблено методи і механізми формування відповідних уявлень про розв’язки розглянутих комбінаторних задач на графах. Розглянуто методи формування простору пошуку. Позиція в просторі пошуку представляється у вигляді впорядкованого списку. Ключовою операцією бджолоїного алгоритму є дослідження перспективних позицій та їхніх околів у просторі пошуку. У роботі пропонується метод формування околів рішень з регульованим ступенем подібності та близькості між ними. Пропонуються три підходи до визначення числа агентів фуражирів, які направляються в околиці кожної базової позиції.

Ключові слова: бджолоїна колонія, туристичні маршрути, оптимізація, бджолоїний алгоритм, самоорганізація.

In the article the modified paradigm of bee colonies for hiking trails through the solution of combinatorial problems on graphs: the selection in the column independent subset of vertices of maximum pairing in column coloring graph, click in the selection box are studied. Based on the analysis of behavioral models of self colony of bees, methods and mechanisms of formation of the ideas are developed, the formation of combinatorial problems on graphs is discussed. Methods of forming search space are studied. Position in the search space is represented as an ordered list. The key operation of bee algorithm is promising research positions and their surroundings in the search space. In this paper, a method of forming neighborhood solutions with adjustable degree of similarity and closeness between them is suggested. We offer three approaches to determining the number of foragers agents who are sent around each base position.

Key words: bee colony, hiking trails, optimization, bees algorithm, self-organization.

Вступ

В туристичному бізнесі зацікавлення кожного туриста у відвідуванні туристичних одиниць передбачає виконання низки одночасних побажань туриста. Серед найактуальніших вимог, яким повинні відповідати умови туристичних подорожей – календарне планування туристичних подорожей і маршрути, які максимально можуть охопити усі туристичні точки, враховуючи мінімальні відстані між ними; забезпечення необхідним комплексом послуг виду діяльності туризму тощо. Пошук оптимальних маршрутів з мінімальними відстанями та охоплення максимального обсягу туристичних пропозицій є актуальною проблемою всієї туристичної сфери.

Однією із найактуальніших задач безперервної кінцевовимірної оптимізації з практичного погляду і одночасно найскладнішою є проблема глобальної умовної оптимізації туристичних маршрутів. Шляхи розв’язання задач цієї сфери можна умовно поділити на два напрями методів:

– методи зведення задачі глобальної умовної оптимізації до задачі глобальної безумовної оптимізації за допомогою штрафних або бар’єрних функцій;

– методи, спеціально сконструйовані для вирішення завдання глобальної умовної оптимізації.

Розглянутий в роботі метод поведінки колонії бджіл належить до методів першої групи. Цей метод призначений для вирішення завдань глобальної безумовної оптимізації.

Методи вирішення завдань глобальної безумовної оптимізації поділяють [1] на детерміновані, стохастичні та евристичні методи.

Евристичні методи є відносно новими та такими, що швидко розвиваються. Серед цих методів слід зазначити еволюційні та поведінкові (імітаційні) методи.

Поведінкові методи розв'язання задачі глобальної безумовної оптимізації ґрунтуються на моделюванні колективної поведінки самоорганізованих живих або неживих систем. Взаємодіючі елементи цих систем в загальному випадку називаються агентами. До ключових ідей поведінкових методів належать децентралізованість, взаємодія агентів та простота поведінки агентів. Інакше кажучи, такі методи мають для живих систем біонічну природу, тобто вони ґрунтуються на моделюванні поведінки комах, птахів, тварин тощо, поведінка яких має колективний характер, внаслідок чого досягають так званого колективного інтелекту.

Головною особливістю мультиагентних методів колективного інтелекту є їхня біонічна природа – аналіз методів колоній, призначених для розв'язання задач оптимізації, зокрема методу еволюційної оптимізації, зокрема генетичні алгоритми), методів мурашиних та бджолиних колоній. Ці методи моделюють поведінку груп різних соціальних тварин, комах тощо. Це дає змогу цим групам вирішувати різні важкі практичні завдання в природі, що свідчить про ефективність їхньої поведінки, а, отже, і про ефективність роботи цих методів.

Об'єкти та методи дослідження

Для реалізації цих методів використовують парадигму агентно-орієнтованого програмування, ґрунтованого на моделюванні колективного інтелекту, зокрема: метод мурашиних колоній (Ant Colony Optimization, ACO), метод бджолиної колонії (Bee Colony Optimization, BCO), оптимізація за допомогою рою часток (Particle Swarm Optimization, PSO) та інші методи. Ці методи вже ефективно застосовуються для розв'язання різних задач: ACO застосовується для розв'язання задачі комівояжера, задачі календарного планування, відбору інформативних ознак, кластеризації тощо; BCO – для вирішення задачі календарного планування, розв'язання задачі комівояжера, вирішення транспортного завдання тощо [2].

Постановка проблеми

Для пошуку оптимальних маршрутів, складання календарних графіків туристичного транспорту з наданням максимального сервісу на прикладі колективного інтелекту необхідно визначити функції, які виконують соціальні комахи в процесі вирішення різних задач. Метод бджолиних колоній являє собою евристичний ітеративний метод випадкового пошуку і застосовується для розв'язання різних задач оптимізації, які належать як до дискретної, так і до неперервної оптимізації, що дасть змогу покращити якість розроблення туристичного плану.

Аналіз матеріалів та їх опрацювання

Для описання поведінки бджіл в природі використовують три основні поняття: джерело нектару (квітка), зайняті робочі бджоли (фуражири), незайняті робочі бджоли.

Джерело нектару характеризується своєю корисністю, яка визначається такими факторами, як віддаленість від вулика, концентрація нектару, зручність його видобутку.

Зайняті робочі бджоли – це бджоли, які “пов'язані” з одним із джерел нектару, тобто добувають на ньому нектар. Зайняті фуражири володіють наступною інформацією про “своє” джерело нектару: напрям від вулика до джерела і корисність джерела.

Незайняті робочі бджоли – бджоли-розвідники, які шукають джерела нектару для їх використання, а також бджоли-спостерігачі, які виконують деякі роботи у вулику.

Танці – це повідомлення про появу джерела нектару та пилку, про виявлення водних ресурсів або про нове місце, придатне для будівництва житла та інше. Бджола-розвідниця, знайшовши багате джерело нектару, після повернення до вулика танцює на стільниках із повним зобиком здобичі. В танці також бджола вказує напрям, у якому летіти до взятки, щодо сонця. Навіть у похмуру погоду бджоли орієнтуються за сонцем.

Якщо бджола вирішує залишити вулик, щоб отримати нектар, вона летить за однією із бджіл-розвідників до місця з нектаром. Отже, незайнята бджола стає зайнятою. Механізми, відповідно до яких вона вирішує летіти за іншою бджолою, досліджено недостатньо, але припускають, що вербування серед бджіл з математичного погляду завжди є функцією якості джерела нектару.

Після досягнення місця з нектаром зайняті робочі бджоли добувають нектар і повертаються у вулик, залишаючи нектар там. Після того як бджола залишає нектар, вона може виконувати одну із наступних трьох дій: покинути джерело нектару і знову стати незайнятою робочою бджолою; продовжувати літати до того джерела з нектаром, не вербуючи інших особин свого вулика; виконати танець і таким чином завербувати інших. Бджола вибирає одну із альтернатив з деякою ймовірністю.

Тобто, виконується поділ функцій між зайнятими бджолами і бджолами-розвідниками: поглиблене вивчення знайдених місць з нектаром і знаходження нових місць з нектаром відповідно. Завдяки такому розподілу обов'язків ефективно працює весь рій бджіл.

Отже, самоорганізація бджолиного рою ґрунтується на чотирьох основних механізмах:

1. Позитивний зворотний зв'язок – на основі інформації, отриманої від інших бджіл, бджола летить до одного з джерел нектару;
2. Негативний зворотний зв'язок – ґрунтуючись на інформації, яку вона отримала від інших бджіл, дана бджола може вирішити, що “її” джерело нектару значно гірше за інші знайдені джерела, і залишити це джерело;
3. Випадковість – імовірнісний пошук бджолами-розвідниками нових джерел нектару;
4. Множинність взаємодії – інформація про джерело нектару, яке знайшла одна бджола та передає багатьом іншим бджолам вулика.

За цим підходом було розроблено метод бджолиної колонії для розв'язання задачі календарного планування (Bee Colony Optimization for Job-Shop Scheduling Problem, BCO-JSSP).

Задача календарного планування може характеризуватися множиною робіт, кожна з яких складається з однієї або більше операцій. Операції виконують за специфічною послідовністю спеціальних машин. Метою планування є складання розкладу робіт, що мінімізує (максимізує) міру виконання.

Задача календарного планування належить до NP-складних. Міра виконання передбачає:

- завантаження туристичного транспорту (коефіцієнт використання туристичного транспорту);
- час маршрутного циклу;
- продуктивність (витрати, пропускна здатність);
- рівень запасів та сервісів.

У загальному випадку задачу календарного планування подають за допомогою диз'юнктивного графу. Граф складається з вузлів, що є операціями. Також є два додаткових вузли, які становлять ресурси й витрати. Множину орієнтованих дуг використовують для опису переваги кожної роботи.

Оскільки головними особливостями методу бджолиної колонії є танець і процес фуражування, то запропонована модифікація для розв'язання задачі календарного планування відрізняється саме цими етапами роботи методу бджолиної колонії порівняно із запропонованим раніше методом.

Аналогією джерела нектару в цій модифікації є шлях, який можна розглядати як розв'язання задачі календарного планування.

Після повернення до вулика, агент виконує танець з ймовірністю p . Тривалість D_i танцю i -го агента розраховують за формулою:

$$D_i = d_i \cdot A,$$

де A – масштабуючий коефіцієнт; d_i – відносна корисність знайденого джерела нектару i -го агента.

Абсолютну корисність джерела нектару i -го агента Pf_i для задачі календарного планування розраховують за формулою:

$$Pf_i = \frac{1}{C_i},$$

де C_i – цільова функція для шляху i -го агента. У цьому випадку вона являє собою тривалість виконання всіх операцій робіт для шляху.

Тоді, розрахувавши абсолютну корисність кожного агента, можна одержати середню корисність всієї колонії Pf_{colony} :

$$Pf_{colony} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Pf_j,$$

де n – кількість танців, що їх виконують у момент часу t .

Так, можна розрахувати відносну корисність d_i для i -го фуражира:

$$d_i = \frac{Pf_i}{Pf_{colony}}.$$

Ймовірність p_i того, що за i -м агентом після виконання ним танцю підуть інші незайняті фуражири, визначають за формулою [3, 4]:

$$p_i = \begin{cases} 0,60, & \text{якщо } Pf_i < 0,9 \cdot Pf_{colony}; \\ 0,20, & \text{якщо } 0,9 \cdot Pf_{colony} \leq Pf_i < 0,95 \cdot Pf_{colony}; \\ 0,02, & \text{якщо } 0,95 \cdot Pf_{colony} \leq Pf_i < 1,15 \cdot Pf_{colony}; \\ 0,00, & \text{якщо } 1,15 \leq Pf_i. \end{cases}$$

Оскільки в процесі кормодобування агенти формують рішення, переміщуючись з вузла до вузла на графі, що описує можливі роботи, то треба розрахувати ймовірність додавання в шлях агента заданого вузла.

Ймовірність P_{ij} того, що агент вибере наступний j -й вузол, перебуваючи в i -му вузлі, розраховують за формулою:

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}^a \cdot d_{ij}^{-b}}{\sum_{j \in J^k} r_{ij}^a \cdot d_{ij}^{-b}},$$

де r_{ij} – вартість дуги між j -м та i -м вузлами; d_{ij} – евристична відстань між j -м та i -м вузлами; $a, b \in [0;1]$ – коефіцієнти, обрані експериментально; J^k – множина вузлів, до яких можна переміститися з i -го вузла.

Оцінку r_{ij} визначають за формулою:

$$r_{ij} = \frac{1 - ma}{k - m},$$

де k – кількість вузлів, до яких можна переміститися з i -го вузла; m – число переваги шляху, що може бути рівним 1 або 0. Кращим вважається шлях, що на якій-небудь ітерації вважався придатним для виконання танцю. При цьому кількість таких так званих елітних шляхів обмежена. Отже, на початковій ітерації всі ребра мають число $m=0$, що робить однаковими шанси вибору будь-якого ребра.

За методом ВСО на початку процесу пошуку всі агенти розташовані у вулику. У процесі пошуку агенти зв'язуються один з одним опосередковано. Кожний агент здійснює локальні переміщення, і так поступово формує розв'язок задачі. Процес пошуку складається з ітерацій.

Перша ітерація вважається закінченою, коли агенти створять хоча б одне прийнятне рішення. Краще рішення зберігається, а потім відбувається перехід до наступної ітерації. Далі процес складання рішень повторюється. Загальна кількість ітерацій обмежується, враховуючи задачу оптимізації.

При переміщенні в просторі пошуку агенти можуть переміщуватися в прямому або зворотному напрямку. При переміщенні в прямому напрямку агенти формують різні часткові

рішення, чого досягаєть внаслідок індивідуального дослідження простору пошуку й завдяки колективного досвіду, отриманого на попередніх ітераціях.

Після створення часткового рішення агенти переміщуються у зворотному напрямку, тобто вони повертаються до вулика, де можуть брати участь у процесі вербування, виконавши танець, тим самим обмінюючись інформацією про різні створені часткові рішення. Після відвідування вулика агенти знову рухаються, продовжуючи створювати часткові рішення. Ітерація закінчується тоді, коли створюється хоча б одне припустиме рішення. Отже, ВСО, як і методи динамічного програмування, розв'язує комбінаторні задачі оптимізації поетапно.

Отже, можна зазначити, що у ВСО, на відміну від описаного раніше методу бджолоїної колонії, немає поділу в ролях агентів (зайняті фуражири, незайняті фуражири й розвідники), і рішення складається поетапно, у міру знаходження часткових рішень, поки не буде отримано прийнятне рішення.

Постановка комбінаторних задач на графах

Паропоеднанням графу $G = (X, U)$ називається підмножина таких ребер $U^* \subset U$, де будь-які два ребра $u_k, u_l \in U^*$ не мають спільних вершин, тобто не суміжні. Паропоеднання максимальної потужності визначається як паропоеднання, що містить максимальну кількість ребер [5, 6], $|U^*| = \max$.

Побудуємо граф $G_d = (U, V)$ – двоїстий для графу G . Вершини графу G_d відповідають ребрам графу G . Пара вершин (u_i, u_j) в графі G_d пов'язані ребром v_k в тому і тільки в тому випадку, якщо в графі G відповідна пара ребер (u_i, u_j) суміжні, тобто інцидентні одній вершині.

Множину $X_0 \subset X$ вершин графу $G = (X, U)$ називають внутрішньостійкою, якщо будь-які дві вершини $x_i \in X_0$ і $x_j \in X_0$ не є суміжними. Максимальне число вершин у внутрішньостійкій множині графу G називається числом внутрішньої стійкості і позначається як $\alpha(G)$. Іноді число внутрішньої стійкості називають також числом незалежності графу G .

Отже, паропоеднанню в графі G відповідає внутрішньостійка підмножина двоїстого графу G_d . Максимальному за потужністю паропоеднанню в графі G відповідає гранична внутрішньостійка підмножина (що містить найбільшу кількість вершин) двоїстого графу G_d .

Розфарбуванням графу називають таке присвоєння кольорів його вершинам, коли жодні дві суміжні вершини не однакові за кольором [7]. Мінімальне число кольорів, в яке можна розфарбувати граф G , називається хроматичним числом і позначається $\chi(G)$. Якщо в графі G виділити s внутрішньостійких підмножин вершин, які не перетинаються, то граф можна розфарбувати в s кольорів. Інакше кажучи, завдання розмальовки графу зводиться до задачі формування в графі G внутрішньостійких підмножин вершин, які не перетинаються.

Клікою графу G називають максимальну за включенням множину X_0 вершин графу, будь-які дві з яких є суміжними. Нехай $G_n = (X, U_n)$ повний граф, побудований на множині вершин X . Граф $G_k = (X, U_k)$ є доповненням графу $G = (X, U)$, якщо $U_k = \frac{U_n}{U}$, тобто $U_n = U_k \cup U$. Неважко бачити, що при переході від графу G до його доповнення G_k кожна кліка в G переходить в незалежну множину в G_k . Отже, завдання виділення кліки в графі G зводиться до задачі виділення незалежної множини вершин в графі G_k , що є доповненням графу G [8, 9].

Нехай дано граф $G = (X, U)$, де X – множина вершин, $|X| = n$, U – множина ребер. Сформулюємо задачу формування в графі $G = (X, U)$ внутрішньостійкої множини вершин $X_1 \subset X$ як задачу розбиття.

Необхідно розбити множину X на дві непусті і непересічні підмножини X_1 і X_2 , такі, що будь-які дві вершини $x_i \in X_1$ і $x_j \in X_1$ не є суміжними, $X_1 \cup X_2 = X$, $X_1 \cap X_2 = \emptyset$. Нехай $|X_1| = n_1$,

$|X_2| = n_2$, $n_1 + n_2 = n$. Критерій оптимізації – число вершин $F = n_1$ в підмножині X_1 . Мета оптимізації – максимізація критерію F .

Після формування в графі $G = (X, U)$ внутрішньостійкої множини вершин $X_1 \subset X$ для побудови паропоеднання або виділення в графі кліки здійснюється перехід від графу G до вихідного графу $G_{вих}$.

При цьому при побудові паропоеднання граф G розглядають як двоїстий до вихідного графу $G_{вих}$, а при виділенні кліки граф G розглядається як додатковий до вихідного графу $G_{вих}$.

Розв'язуючи задачу розмальовки графу, підмножину X_1 замальовують в один колір і вилучають з X . Виконуються аналогічні дії, поки не буде розфарбовано всіх вершин.

Представлення рішень у алгоритмах на основі бджолоїної колонії

Оснoву поведінки бджолоїного рою становить самоорганізація, що забезпечує досягнення загальних цілей рою на основі низькорівневої взаємодії. Основна ідея парадигми бджолоїної колонії полягає у використанні дворівневої стратегії пошуку. На першому рівні за допомогою бджіл-розвідників формується множина перспективних областей (джерел), на другому рівні за допомогою бджіл-фуражирів досліджуються околиці цих областей (джерел). Мета бджолоїної колонії – знайти джерело, що містить максимальну кількість нектару.

В алгоритмах досліджуваних задач кожне рішення представляється у вигляді точки (позиції) у просторі пошуку. Знайдена кількість нектару являє собою значення цільової функції в цій точці. Рішення є комбінацією унікальних компонент (вершин і ребер графу пошуку рішень), які вибирають, як правило, з кінцевого набору конкуруючих між собою компонент.

Значення цільової функції F визначається комбінаціями, які обрали агенти. Метою є пошук оптимальної комбінації компонент.

У евристичних алгоритмах ройового інтелекту процес пошуку рішень полягає в послідовному переміщенні агентів у просторі пошуку.

Процес пошуку рішень ітераційний. На кожній ітерації агенти переміщуються в нові позиції.

Розробка поведінкової моделі самоорганізації колонії бджіл полягає в розробці методів і механізмів:

- проектування простору пошуку;
- формування кількісного складу рою агентів-розвідників і рою агентів-фуражирів;
- пошуку агентами-розвідниками перспективних позицій;
- вибору базових позицій серед перспективних для дослідження їх околів;
- вибору агентами-фуражирами базових позицій;
- формування околів базових позицій;
- вибору агентами-фуражирами позицій в околах базових позицій;
- загальної структури оптимізаційного процесу.

Перше завдання при розробленні алгоритму на основі парадигми бджолоїної колонії полягає у формуванні простору пошуку. Позиція a_s простору пошуку представляється у вигляді впорядкованого списку $E_s = \{e_{si} | i = 1, \dots, n\}$ номерів вершин графу G , де n – кількість вершин графу. Список E_s фактично є кодом рішення. Формування відповідного списку E_s рішення – внутрішньостійкої множини X_s здійснюється покроково – послідовним переглядом елементів списку E_s , починаючи з першого. На кожному кроці i перегляду є список вершин, що вже включені в множину, яка формується $X_s(i)$, де $X_s(1) = \emptyset$. Розглядається чергова вершина e_{si} . Якщо серед вершин множини $X_s(i)$ немає жодної вершини, суміжної до вершини e_{si} , то e_{si} включається в $X_s(i)$. У результаті виконання цієї послідовної процедури формується внутрішньостійка множина X_s та список решти вершин E_{os} , сформований видаленням з E_s вершин множини X_s . Назвемо упорядкований список E_{os} залишком.

Отже, позиції a_s простору пошуку, що представляється у вигляді впорядкованого списку E_s , відповідає внутрішньостійка множина X_s і залишок E_{os} . Оцінкою позиції a_s є оцінка множини X_s . Будемо називати трійку параметрів E_s, X_s, E_{os} параметрами позиції a_s .

Ключовою операцією бджолиного алгоритму є дослідження перспективних позицій та їхніх околів у просторі пошуку. Зупинимося на понятті околу. Важливість, яку спочатку вкладали в поняття околу, полягає у тому, що рішення, які лежать в околі деякої позиції, володіють високим ступенем подібності і, як правило, незначно відрізняються один від одного. У роботі пропонується метод формування околів рішень з регульованим ступенем подібності та близькості між ними.

Розглянемо принципи формування позиції a_z , розташованої в околі базової позиції a_s^δ . Випадковим чином зі сформованої множини X_s видаляється λ елементів. Утворюється множина $X_s(\lambda)$. Потім за допомогою вищеописаної процедури формування множини X_{1_s} робиться спроба доповнити множину $X_s(\lambda)$ вершинами із залишку E_{os} . У результаті цих дій буде сформовано внутрішньостійку множину $X_s(\lambda)$, яка дуже близька за своїм змістом до внутрішньостійкої множини X_s . Ступінь відмінності регулюється керуючим параметром λ – пороговим значенням розміру околу.

Видалені з X_s вершини заносяться в кінець залишку E_{os} . Відзначимо, що, якщо після видалення вершин з підмножини X_s воно не було доповнено, то підмножина $X_{1_s}(\lambda)$ виключається з розгляду.

Організація пошукових процедур на основі моделювання адаптивної поведінки бджолиної колонії

Основними параметрами методу бджолиної колонії є: кількість агентів n_b , максимальна кількість ітерацій L , початкова кількість агентів-розвідників n_r , обмеження максимальної кількості агентів-розвідників, порогове значення розміру околу λ тощо.

На початку процесу пошуку всі агенти розташовані у вулику, тобто поза простором пошуку.

На першій ітерації ($l=1$) агенти-розвідники в кількості n_r випадковим чином розміщуються в просторі пошуку. Ця операція полягає в генерації множини списків $E = \{E_s | s=1, \dots, n_r\}$, що відрізняються один від одного, випадковим чином, яким відповідає множина позицій $A = \{a_s | s=1, \dots, n_r\}$.

Для кожного списку E_s формують внутрішньостійку множину X_s із залишком E_{os} і обчислюють значення цільової функції F_s . Вибирають n_δ базових (кращих) рішень $X^\delta = \{X_s\}$, у яких значення цільової функції не менше, ніж значення цільової функції у будь-якого не вибраного рішення. Формують множину базових (кращих) позицій $A^\delta = \{a_s^\delta | s=1, \dots, n_\delta\}$, що відповідають множині базових (кращих) рішень X^δ .

Пропонують три підходи до визначення числа агентів-фуражирів, спрямованих в околи кожної базової позиції. За першим підходом агенти-фуражири розподіляються по базовим позиціям рівномірно. За другим підходом агенти-фуражири розподіляються по базовим позиціям пропорційно до значення цільової функції позиції. За третім підходом реалізується імовірнісний вибір.

Імовірність $P(a_s^\delta)$ вибору агентом-фуражиром базової позиції $a_s^\delta \in A^\delta$ пропорційна до значення цільової функції F_s^δ у цій позиції і визначається як

$$P(a_s^\delta) = F_s^\delta / \sum_s (F_s^\delta).$$

За першим і другим підходами число рішень в околах розраховується, а за третім підходом – визначається випадково.

Після вибору агентом-фуражиром b_z базової позиції $a_s^\delta \in A^\delta$ реалізується імовірнісний вибір позиції a_z , розташованої в околі базової позиції a_s^δ . Імовірнісний вибір позиції a_z і формування відповідного їй рішення здійснюються відповідно до процедури, викладеної вище. При цьому попередньо випадковим чином визначають число вершин λ_z , що видаляються, і знаходиться в межах $1 \leq \lambda_z \leq \lambda$.

Позначимо множину позицій, вибраних агентами фуражирами в околі позиції a_s^δ як O_s^δ . Назвемо множину позицій $O_s^\delta \cup a_s^\delta$ областю D_s^δ .

У кожній області D_s^δ вибирають якнайкращу позицію a_s^* з якнайкращою оцінкою F_s^* . Назвемо F_s^* оцінкою області D_s^δ . Серед F_s^* вибирають якнайкращу оцінку F^* і відповідне їй рішення, знайдене на цій ітерації спільно роєм розвідників і роєм фуражирів. Краще рішення з оцінкою F^* зберігається, а потім відбувається перехід до наступної ітерації.

Зазначимо, що в розглянутій парадигмі бджолоїної колонії не важливо знати, яким агентом обрано позицію в просторі пошуку. Важливо знати кількість агентів-розвідників і кількість агентів-фуражирів, а також які саме позиції обрані агентами-розвідниками і які – агентами-фуражирами.

На другій та наступних ітераціях множина базових позицій $A^\delta(l)$, де $(l=2,3,\dots,L)$ формується з двох частин $A^{\delta_1}(l)$ і $A^{\delta_2}(l)$, де відповідно $A^{\delta_1}(l) \cup A^{\delta_2}(l) = A^\delta(l)$. У першу частину $A^{\delta_1}(l)$ включаються n_{δ_1} кращих позицій a_s^* , знайдених агентами в кожній з областей, сформованих на попередній ітерації. Друга частина $A^{\delta_2}(l)$ формується бджолами-розвідниками так само, як і на першій ітерації. Відмінність полягає в числі n_{r_1} агентів-розвідників, які обирають випадковим способом нові позиції, $n_{r_1} < n_r$. До множини $A^{\delta_2}(l)$ включають n_{δ_2} кращих позицій з n_{r_1} нових позицій, що знайдені агентами-розвідниками на l -й ітерації. $n_{\delta_1} + n_{\delta_2} = n_\delta$. Потім виконують дії, аналогічні діям, розглянутим на першій ітерації. Розраховують кількість агентів-фуражирів, які направляються в околиці кожної базової позиції. Кожним агентом-фуражиром b_z вибирається базова позиція $a_s(l)$ і позиція $a_z(l)$, що розташована в околиці цієї базової позиції.

У кожній області $D_s^\delta(l)$ вибирається найкраща позиція $a_s^*(l)$ з найкращою оцінкою рішення $F_s^*(l)$. Серед оцінок $F_s^*(l)$ вибирається найкраща $F^*(l)$. Якщо $F^*(l)$ краще за $F^*(l-1)$, то зберігається рішення з цією оцінкою, а потім відбувається перехід до наступної ітерації.

Схема роботи ройового алгоритму розміщення містить такі кроки:

1. Задаються основні параметри методу бджолоїної колонії: L – максимальна кількість ітерацій; n_r – початкова кількість агентів-розвідників; n_δ – кількість базових позицій; λ – порогове значення розміру околу; n_f – початкова кількість агентів-фуражирів; n_{δ_1} – кількість базових позицій, формованих з кращих позицій $a_s^*(l)$, які знайдені роєм на l -й ітерації; n_{r_1} – кількість агентів-розвідників, які обирають випадковим способом нові позиції; n_{δ_2} – кількість базових позицій, які формуються з кращих нових позицій, які знайдено агентами-розвідниками на l -й ітерації;

2. $l = 1$ (l – номер ітерації);

3. Генерація множини списків $E(l) = \{E_s(l) | s=1,\dots,n_r\}$, що відрізняються один від одного випадковим чином, яким відповідає множина позицій $A(l) = \{a_s(l) | s=1,\dots,n_r\}$;

4. Для кожного списку $E_s(l)$ формується внутрішньо стійка множина $X_s(l)$ із залишком $E_{os}(l)$ та обчислюється значення цільової функції $F_s(l)$;

5. Формується множина базових рішень $X^\delta(l) \subset X(l)$ з кращими значеннями цільових функцій $F_s(l)$ і відповідна множина базових позицій $A^\delta(l) \subset A(l)$. $|A^\delta(l)| = |X^\delta(l)| = n_\delta$;

6. $z = 1$ (z – порядковий номер агента фуражира);

7. Вибір з ймовірністю $P(a_s^\delta) = F_s^\delta / \sum_s (F_s^\delta)$ базової позиції $a_s^\delta(l) \in A^\delta(l)$;

8. Ймовірнісний вибір позиції $a_z(l)$, розташованої в околиці базової позиції $a_s^\delta(l)$, з відповідним рішенням $X_z(l)$;

9. Якщо позиція $a_z(l)$ збігається з раніше обраними позиціями, то перехід до 8, а інакше перехід до 10;

10. Позиція $a_z(l)$ включається в множину $O_s(l)$;

11. Розрахунок значення цільової функції $F_z(l)$ рішення $X_z(l)$;

12. Якщо $z < n_f$, то $z = z + 1$ і перехід до 7, інакше перехід до 13;
 13. Формування для кожної базової позиції $a_s^\delta(l)$ області $D_s(l) = O_s(l) \cup a_s^\delta(l)$;
 14. У кожній області $D_s(l)$ вибирається найкраща позиція $a_s^*(l)$ з кращим рішенням $X_s^*(l)$;
 15. Серед $X_s^*(l)$ вибирається краще рішення $X^*(l)$;
 16. Якщо $X^*(l)$ краще $X^*(l-1)$, то воно зберігається, інакше $X^*(l) = X^*(l-1)$;
 17. Якщо $l < L$, то $l = l + 1$ і перехід до 18, інакше перехід до 22;
 18. У першу частину $X^{\delta_1}(l)$ включаються n_{δ_1} кращих позицій, серед позицій $x_s^*(l-1)$, знайдених агентами в кожній з $D_s(l-1)$ областей, сформованих на попередній ітерації;
 19. Генерація випадковим чином множини та списків $E(l) = \{E_s(l) | s = 1, \dots, n_{r1}\}$, що відрізняються один від одного, яким відповідає множина позицій $A(l) = \{a_s(l) | s = 1, \dots, n_{r1}\}$. $|E(l) = n_{r1}|$;
 20. Включення до множини $A^{\delta_2}(l)n_{\delta_2}$ кращих позицій з множини $A(l)$ нових позицій, знайдених агентами-розвідниками на l -й ітерації $n_{\delta_1} + n_{\delta_2} = n_\delta$;
 21. Формування множини базових позицій $A^\delta(l) = A^{\delta_1}(l) \cup A^{\delta_2}(l)$. Перехід до б;
 22. Кінець роботи алгоритму. Рішення $X^*(l)$ – найкраще рішення, знайдене роєм агентів.
- Тимчасова складність цього алгоритму залежить від часу життя колонії l (число ітерацій), кількості позицій s і числа агентів m та визначається як $O(l * c^2 * m)$.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

Розглянуто модифіковану парадигму бджолоїної колонії для туристичних маршрутів розв'язання комбінаторних задач на графах: виділення в графі незалежної підмножини вершин, знаходження максимального паропоседнання в графі, розмальовки графу, виділення клік в графі. На основі аналізу поведінкової моделі самоорганізації колонії бджіл розроблені методи і механізми формування відповідних уявлень рішень розглянутих комбінаторних задач на графах. Розглянуто методи формування простору пошуку. Позиція в просторі пошуку представляється у вигляді впорядкованого списку. Ключовою операцією бджолоїного алгоритму є дослідження перспективних позицій та їх околів у просторі пошуку. Враховуючи різні застосування методу бджолоїної колонії, можна виділити такі переваги методу: метод не схильний до зациклення в локальних оптимумах, оскільки оснований на випадковому пошуку; мультиагентність реалізації; пошук кращого рішення ґрунтується на рішеннях агентів всієї колонії бджіл; може використовуватися в динамічних застосуваннях, оскільки він здатний адаптуватися до змін навколишнього середовища; може використовуватися для вирішення як дискретних, так і безперервних задач оптимізації; не приводить до циклічності в локальних оптимумах, оскільки вони ґрунтуються на випадковому пошуку; застосовується в динамічних додатках, оскільки здатний адаптуватися до зміни навколишнього середовища. Крім того, у статті пропонується метод формування околів рішень з регульованим ступенем подібності та близькості між ними. Запропоновано використовувати три підходи до визначення числа агентів-фуражирів, які направляються в околиці кожної базової позиції.

1. Weise T. *Global Optimization Algorithms – Theory and Application: Ph.D. thesis / Weise T.; University of Kassel. – Kassel, 2008.* 2. Олейник А. А. *Порівняльний аналіз методів оптимізації на основі методу мурашиних колоній / Олейник А. А. // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць / за ред. Д. М. Пізи, С. О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. – С. 147–159.* 3. *The Bees Algorithm / A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi. – Cardiff: Cardiff University, 2005.* 4. Basturk B. *An artificial bee colony (abc) algorithm for numeric function optimization / Basturk B., D. Karaboga // IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2006, Indianapolis, Indiana, USA. – Indianapolis, 2006.* 5. Андерсон Д. *Дискретная математика и комбинаторика / Андерсон Д. – М.: Вильямс, 2003.* 6. Лебедев Б. К. *Эволюционный алгоритм нахождения максимального паросочетания / Лебедев Б. К., Лебедев О. Б. // 3-й Международный НТС*

“Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте”. – М: Изд-во Физматлит, 2005. – С. 274–280. 7. Курейчик В. М. Применение пчелиного алгоритма для раскраски графов / Курейчик В. М., Кажаров А. А. // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2010. – № 12 (113). – С. 30–36. 8. Курейчик В.В. Генетический алгоритм определения паросочетаний графа / Курейчик В.В., Курейчик В. М. // *Труды 10-ой Междунар. конф. “Knowledge-dialogue-solution”*, 2003, Варна, Болгария. – Варна, 2003. – С. 246–251. 9. Engelbrecht A. P. *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence/ Engelbrecht A. P.* . – , Chichester: John Wiley & Sons, 2005.

УДК 004.652

О. В. Шулима, В. В. Шендрик, М. О. Шестак
Сумський державний університет,
кафедра комп'ютерних наук

ПОБУДОВА СХОВИЩА ДАНИХ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

© Шулима О. В., Шендрик В. В., Шестак М. О., 2016

Розглянуто проблеми, що виникають під час роботи з розрізненими джерелами інформації з використанням баз даних. Наведено модель сховища даних як засобу інтеграції та опрацювання даних з розрізнених джерел при створенні системи підтримки прийняття рішень для проектування розподілених енергетичних систем.

Ключові слова: концептуальна модель, база даних, сховище даних, система підтримки прийняття рішень, альтернативні джерела енергії, розподілена енергетична система.

This paper discusses the problems that arise when working with disparate data sources using database. The model of data warehouse is presented as way of integrating and processing data from disparate sources while creating a decision support system for the design of distributed energy systems.

Key words: conceptual model, database, data warehouse, decision support system, renewable energy system, distributed energy system.

Вступ. Загальна постановка проблеми

У попередніх роботах було визначено актуальність побудови розподілених енергетичних систем, що використовують альтернативні джерела енергії (вітер та сонце) [1]. Було визначено загальну схему досліджуваної мережі [2]. Це група будівель зі встановленими власними сонячними панелями і батареями для зберігання акумульованої енергії. Існує також загальний парк вітряних генераторів разом з банком зберігання енергії. Крім того, існує зв'язок між системою і зовнішньою мережею для додаткового споживання і продажу надлишків енергії в мережу. В Україні для пересічного користувача дуже важко спланувати роботу такої мережі для власного господарства та оцінити, які саме потужності відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) слід використовувати.

Процес прийняття рішень, що стосуються проектування розподіленої мережі, ускладнюється невизначеністю процесу генерації електроенергії: кількість первинної енергії залежить від пори року, доби, погодних умов, а також різних чинників, які важко врахувати. Це збільшує час на прийняття правильного рішення відносно планування вибору місць спорудження систем, визначення її складових з погляду оцінки ефективності роботи.

Методологічною основою процесу проектування розподіленої мережі є системний аналіз, в основу якого покладено процедуру побудови узагальненої моделі системи. На практиці це