

УДК 004.853

О.Ю. ЧУБУКОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

Г.Ф.ІВАНЧЕНКО

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БДЖОЛИНИХ КОЛОНІЙ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ

*У статті розглянуто метод бджолиних колоній, який являє собою евристичний ітеративний метод випадкового пошуку і застосовується для розв'язку різних задач оптимізації, які відносяться як до дискретної, так і до неперервної оптимізації.*

**Ключові слова:** метод бджолиних колоній, штучний інтелект, задачі оптимізації, агенти.

Розробка та створення інтелектуальних інформаційних систем нового покоління, зокрема інструментальних комплексів інформаційно-когнітивної підтримки процесів синтезу, інтегрування та актуалізації знань, є одним з головних напрямів фундаментальних наукових досліджень у галузі штучного інтелекту (ШІ), та характеризуються іноваційністю в багатьох галузях економіки [1,5]:

Новим напрямом розвитку методів штучного інтелекту є методи моделюють колективний інтелект (КІ) суспільних тварин, комах та інших живих істот, – методи Swarm Intelligence.

Дані методи мають біонічну природу, тобто вони засновані на моделюванні поведінки комах, птахів, тварин і т.ін., поведінка яких носить колективний характер, за рахунок чого досягається, так званий, колективний інтелект.

Головною особливістю мультиагентних методів КІ є їхня біонічна природа – аналіз методів колоній, призначених для розв'язання задач оптимізації, зокрема методу еволюційної оптимізації (в тому числі генетичні алгоритми), методів мурашиних та бджолиних колоній. При цьому слід зазначити, що дані методи моделюють поведінку груп різних соціальних тварин, комах і інших живих істот, яка дозволяє цим групам вирішувати різні важкі практичні задачі в природі, що свідчить про ефективність їхньої поведінки, а, отже, і про ефективність роботи даних методів.

### **Об'єкти та методи дослідження**

При реалізації даних методів використовується парадигма агентно-орієнтованого програмування, заснованих на моделюванні суспільного інтелекту, відносяться: 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. Дані методи вже ефективно застосовуються для вирішення різних задач, ACO застосовується для вирішення задачі комівояжера, задачі календарного планування, відбору інформативних ознак, кластеризації і ін, BCO – для вирішення задачі календарного планування, вирішення задачі комівояжера, вирішення транспортного завдання і ін [4,5].

### **Постановка завдання**

Для розуміння 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'язку різних задач оптимізації, які відносяться як до дискретної, так і до неперервної оптимізації.

*Результати та їх обговорення*

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

Танці – це повідомлення про появу джерела нектару та пилку, про виявлення водяних 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 напрямок у якому летіти до взятки, щодо сонця, навіть в похмуру погоду вони орієнтуються по сонцю.

Якщо бджола вирішує залишити вулик, щоб дістати нектар, вона летить за однією із бджіл-розвідників до місця з нектаром. Таким чином, незайнята бджола стає занятою. Механізми, у відношенні з якими вона вирішує іти за іншою бджолою, дослідженні недостатньо добре, але припускається, що вербування серед бджіл з математичної точки зору завжди являється 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 одне 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.

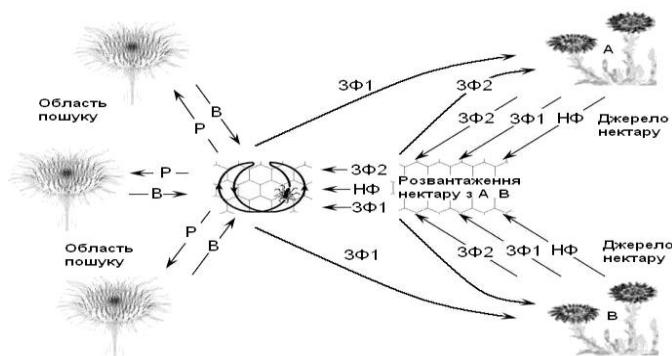
Таким чином, виконується поділ функцій між занятими бджолами і бджолами-розвідниками на покращене вивчення знайдених з нектаром і знаходження нових місць з нектаром відповідно. За рахунок такого розподілу обов'язків досягається ефективна робота всього рою бджіл.

Основні особливості поведінки бджіл можна пояснити за допомогою рис. 1, де зображено випадок, коли вже знайдено два джерела нектару А та В, а також зображено бджолу – потенційного фуражира. На самому початку ця бджола може прийняти одне із двох рішень:

- стати розвідником («Р») і після цього направитися у пошуках нектару в будь-яку область;
- направитися у вулик і, надалі, брати участь у вербуванні («В»).

При цьому якщо бджола направляється у вулик на площадку для виконання танцю, то вона може стати або зайнятим фуражиром («ЗФ1»), або, у випадку, якщо бджола не була піддана вербуванню, теж стати розвідником.

Коли бджола стає зайнятим фуражиром, вона може бути спрямована як у джерело А, так і в джерело В. Це залежить від виконаного виляючого танцю. Після того, як бджола, будучи зайнятим фуражиром, набрала нектар у джерелі, вона повертається у вулик і залишає там зібраний нектар. При цьому, коли бджола-фуражир повертається, вона вже може залишатися як зайнятим фуражиром, якщо нектар ще залишився у джерелі, так і стати незайнятим фуражиром («НФ»). Після того, як бджола залишила нектар, вона може направитися на площадку для виконання танцю або відразу відправитися назад до джерела з нектаром («ЗФ2»). Після чого, даний цикл може повторюватися доти, поки не буде остаточно повністю використане досліджуване джерело нектару.



### Основні особливості поведінки бджіл

На основі запропонованого в підході було розроблено метод бджолоїної колонії для вирішення 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 виконуються на специфічній послідовності спеціальних машин. Метою планування є складання розкладу робіт, що мінімізує (максимізує) міру виконання.

Задача календарного планування відноситься до NP-важких. Міра виконання включає: завантаження устаткування (коефіцієнт використання устаткування), час виробничого циклу, продуктивність (витрату, пропускну здатність) і рівень запасів.

У загальному випадку задача календарного планування подається за допомогою диз'юнктивного графа. Граф складається з вузлів, що являють собою операції. Також є два додаткових вузли, які становлять ресурси й витрати. Множина орієнтованих дуг використовується для опису переваги кожної роботи.

Оскільки головними особливостями методу бджолоїної колонії є виляючий танець і процес фуражування, то запропонована модифікація для рішення задачі календарного планування відрізняється саме цими етапами роботи методу бджолоїної колонії в порівнянні із запропонованим раніше методом. Аналогією джерела нектару в даній модифікації є шлях, що може розглядатися як рішення задачі календарного планування.

Після повернення у вулик, агент виконує виляючий танець з ймовірністю  $p$ . Тривалість  $D_i$  виляючого танцю  $i$ -го агента розраховується за формулою:

$$D_i = d_i \cdot A,$$

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

Абсолютна корисність джерела нектару  $i$ -го агента  $Pf_i$  для задачі календарного планування розраховується за формулою:

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

де  $C_i$  – цільова функція для шляху  $i$ -го агента. У цьому випадку вона уявляє собою тривалість виконання всіх операцій всіх 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 виляючих танців, що виконуються у момент часу  $t$ .

Таким чином, можна розрахувати відносну корисність  $d_i$   $i$ -го фуражира:

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

Ймовірність  $p_i$  того, що за  $i$ -им агентом, після виконання ним танцю, підуть інші незайняті фуражири, визначається за формулою [26]:

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

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

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

$$P_{ij} = \frac{\rho_{ij}^{\alpha} \cdot d_{ij}^{-\beta}}{\sum_{j \in J^k} \rho_{ij}^{\alpha} \cdot d_{ij}^{-\beta}},$$

де  $\rho_{ij}$  – вартість дуги між  $j$ -им та  $i$ -им вузлами;  $d_{ij}$  – евристична відстань між  $j$ -им та  $i$ -им вузлами;  $\alpha, \beta \in [0; 1]$  – коефіцієнти, обрані експериментально;  $J^k$  – множина вузлів, у які можна переміститися з  $i$ -го вузла.

Оцінка  $\rho_{ij}$  визначається за допомогою формули:

$$\rho_{ij} = \frac{1 - m\alpha}{k - m},$$

де  $k$  – кількість вузлів, у які можна переміститися з  $i$ -го вузла;  $m$  – число переваги шляху, що може бути дорівнює 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. Таким чином, на початковій ітерації всі ребра мають число  $m=0$ , що робить рівними шанси вибору будь-якого ребра.

У методі ВСО на початку процесу пошуку всі агенти розташовані у вулику. Протягом процесу пошуку агенти зв'язуються один з одним опосередковано. Кожний агент робить ряд локальних переміщень, і в такий спосіб поступово формує рішення 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 виходячи із задачі оптимізації.

При переміщенні в просторі пошуку агенти можуть переміщуватися в прямому або у зворотному напрямку. При переміщенні в прямому напрямку агенти формують різні часткові рішення, що досягається за рахунок індивідуального дослідження простору пошуку й за рахунок колективного досвіду, отриманого на попередніх ітераціях.

Після створення часткового рішення агенти переміщуються у зворотному напрямку, тобто вони повертаються у вулик, де можуть брати участь у процесі вербування шляхом виконання танцю, тим самим обмінюючись інформацією про різні створені часткові рішення. Після відвідування вулика агенти знову переміщуються у прямому напрямку й продовжують створювати часткові рішення. Ітерація закінчується тоді, коли створюється хоча б одне припустиме рішення. Таким чином, ВСО, як і методи динамічного програмування, вирішує комбінаторні задачі оптимізації поетапно.

Виходячи з вищесказаного, можна відзначити, що в 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 отримане повне прийнятне рішення.

Метод FBS призначений для вирішення задач, що характеризуються невизначеністю, агенти при вирішенні задачі використовують правила нечіткої логіки [91, 92] для організації зв'язку між агентами і їхніми діями.

Відповідно до FBS при додаванні компонента рішення до власного рішення агент може розглядати компонент рішення як: «менш корисний», «корисний» або «більш корисний». Також агенти здатні розрізняти додаткові властивості: «короткий», «середній» або «довгий», «нецінний», «середній» або «цінний».

#### **Висновки**

Виходячи з різних застосувань методу бджолоїної колонії можна виділити такі переваги методу:

- метод є нескільким до зациклення в локальних оптимумах, оскільки заснований на випадковому пошуку; мультиагентність реалізації;
- пошук кращого рішення ґрунтується на рішеннях агентів всієї колонії бджіл;
- може використовуватися в динамічних застосуваннях, оскільки здатен адаптуватися до змін навколишнього середовища;
- може використовуватися для вирішення як дискретних, так і безперервних задач оптимізації. не приводить до циклічності в локальних оптимумах, оскільки базуються на випадковому пошуку;
- застосовуються в динамічних додатках, оскільки здатні адаптуватись до зміни навколишнього середовища.

#### Список використаної літератури

1. Когнитивная бизнес-аналитика: Учебник / Под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.М. Абдикеева. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 511 с.
2. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект: Учеб. Пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с.
3. Люгер, Джордж, Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание.: Пер. с. англ.– М. : Издательский дом «Вильямс», 2005.– 864 с.
4. Олейник Ал. А. Сравнительный анализ методов оптимизации на основе метода муравьиных колоний // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць / За ред. Д. М. Пізи, С. О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. – С. 147–159.
5. Иванченко Г. Ф. Системы штучного інтелекту Навч.посібник. – К.:КНЕУ, 2011.– 400 с.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2012

**Применение метода пчелиных колоний для решения задач оптимизации**

Чубукова О. Ю.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

Иванченко Г. Ф.

*Киевский национальный экономический университет имени Вадима Гетмана*

В статье рассмотрен метод пчелиных колоний, который является эвристическим итеративным методом случайного поиска и применяется для решения разных задач оптимизации, которые относятся как к дискретной, так и к непрерывной оптимизации.

**Ключевые слова:** метод пчелиных колоний, искусственный интеллект, задачи оптимизации, агенты.

**Application of method of bees colonies for the decision of tasks of optimization**

Chubukova O.

*Kiev National University of Technology and Design*

Ivanchenko G.

*Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman*

The method of bees colonies, which shows itself the heuristic method of random search and is used for the decision of different tasks optimizations, which behave both to discrete and to continuous optimization, is considered in the article.

**Keywords:** method of bee colonies, artificial intelligence, optimization problems, the agents.