

УДК 519.8

*Л.Ф.Гуляницький**, *О.Ю.Мулеса***

(* Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України,

** ДВНЗ «Ужгородський національний університет»)

ДО КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТАЕВРИСТИК

Існує декілька підходів до класифікації алгоритмів комбінаторної оптимізації: за точністю, за типом використаних просторів, за структурою обчислювальної схеми тощо [1, 7].

Так за точністю алгоритми поділяються на точні, які знаходять глобальний розв'язок, наближені та евристичні алгоритми.

Наближені алгоритми можна розділити на власне наближені алгоритми, які не лише знаходять розв'язок з певною точністю, а і дозволяють дати певні його оцінки, та евристичні алгоритми, які будуються на основі правдоподібних міркувань, хоча і не дають ніяких оцінок знайденому розв'язку.

Ітераційні методи, які оперують на кожному кроці одним (поточним) розв'язком, називаються траєкторними; інколи у зарубіжній літературі такі методи називаються базованими на одному розв'язку чи стані (Single-Solution Based/Single-State Methods), а під траєкторними розуміють такий їх підклас, який породжує послідовність сусідніх розв'язків – траєкторію у просторі пошуку. Алгоритми, які опрацьовують на кожній ітерації не один, а декілька розв'язків одночасно, називаються популяційними (Population-Based Methods).

Серед сучасних наближених оптимізаційних методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації окремий клас утворюють метаевристики. Метаевристика – це гібридний метод розв'язування широкого класу обчислювальних задач шляхом такого комбінування існуючих процедур, при якому одна виступає провідною, а інша (чи декілька інших) – як підлегла. У якості як провідної, так і підлеглих процедур зазвичай виступають деякі відомі евристики чи інші алгоритми. Якщо складовою метаевристики є певний математичний метод, то вживають термін мат евристика [4].

За складністю структури АКО можна виділити:

- "прості" алгоритми;
- гібридні алгоритми;
- метаевристики;
- гібридні метаевристики
- гіперевристики.

Гіперевристикою (гіперевристичним алгоритмом) називають метод пошуку, який орієнтований на автоматизацію процесів вибору, комбінування або адаптації чи налаштування декількох більш простих

алгоритмів (евристик чи метаевристик) для ефективного розв'язування ЗКО чи їх класів [2]. Це може досягатися як вибором наявних евристик чи їх фрагментів, так і генеруванням нових.

Таким чином, якщо метаевристики та інші алгоритми здійснюють, в основному, пошук у просторі розв'язків задач комбінаторної оптимізації, то простором пошуку для гіперевристик є множина евристик (більш простих алгоритмів чи їх частин).

За впливом на ландшафт пошуку більшість алгоритмів комбінаторної оптимізації можна віднести до таких, що залишають його незмінним. В той же час, є алгоритми, які модифікують цей ландшафт шляхом:

- зміни простору розв'язків (наприклад, послідовні алгоритми);
- зміни цільової чи оцінкової функції (алгоритми керованого локального пошуку);
- варіації системи околів, що використовується при пошуку (алгоритми локального пошуку зі змінними околами, метод вектора спаду з пульсуючими околами).

Якщо робота алгоритму базується на безпосередніх даних задач комбінаторної оптимізації, то такі алгоритми комбінаторної оптимізації відносяться до задаче-орієнтованих алгоритмів.

В ряді нових алгоритмів комбінаторної оптимізації використовуються не стільки прямі дані задачі комбінаторної оптимізації, скільки спеціальна модель задачі (наприклад, феромонна матриця та матриця маршрутів у оптимізації мурашиними колоніями) – такі алгоритми отримали назву моделе-орієнтованих.

Метаевристики також класифікують відповідно до парадигми, яка використовується при їх побудові. Буде розглянуто підхід до класифікації та наведені приклади поширених метаевристик, серед яких такі.

1. Детермінований локальний пошук – це метаевристики ітераційного типу, в основі яких лежить частковий перебір варіантів на кожній ітерації в околі поточного розв'язку.

Виділяють такі поширені метаевристики цього типу:

- пошук зі змінюваними (пульсуючими) околами;
- керований локальний пошук;
- табу-пошук.

2. Метаевристики на основі стохастичного локального пошуку. Використовують у якості підлеглої процедуру локального пошуку, у яку вбудовано ймовірнісні механізми. Це, зокрема, дозволяє будувати нерелаксаційні обчислювальні схеми з метою уникнення передчасної збіжності. Найбільш відомі такі алгоритми:

- метод звужувальних околів;
- алгоритми імітаційного відпалу;
- G-алгоритми;
- повторюваний локальний пошук;

- квантовий відпал;
- метод кросс-ентропії;
- GRASP.

3. Еволюційні метаевристики – це алгоритми пошуку, що використовуються для розв'язання задач оптимізації і моделювання шляхом послідовного відбору, комбінування і варіації шуканих параметрів розв'язків із використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію. Найбільш відомими є:

- генетичні алгоритми;
- міметичні алгоритми;
- імунні алгоритми.

Варто відзначити, що за певної інтерпретації складових компонент до цього класу можна віднести і ряд метаевристик, які описуються авторами у інших термінах.

4. Метаевристики на основі ройового інтелекту – децентралізовані системи простих агентів, які локально взаємодіють як з середовищем, так і між собою. Часто їх об'єднують під назвою "навіяні природою чи засновані на принципах біології" [5]. Ці метаевристики бурхливо розвиваються в останні роки, тому важко скласти повний перелік; відмітимо ті, які вже пройшли певний період досліджень і апробації:

- мурашині алгоритми;
- оптимізація роєм часток;
- бджолині алгоритми;
- алгоритми світлячків;
- алгоритми моделювання поведінки бактерій.

Останнім часом запропоновані і досліджуються також алгоритми комбінаторної оптимізації, засновані на моделюванні чи імітації поведінки косяків риб, жаб, летючих мишей.

5. Методи сканування простору – популяційні метаевристики, на кожній ітерації яких формуються напрями нелокального пошуку в просторі розв'язків на основі наявних декількох варіантів наближень. Метою є диверсифікація процесу пошуку у просторі розв'язків. У комбінаторній оптимізації знайшли застосування такі методи цього типу:

- розсіяний пошук;
- перекомпоновка маршрутів;
- Н-метод.

Як впливає, метаевристики використовують різні стратегії як при виборі наступного поточного розв'язку, так і для прийняття такого розв'язку. Підсумовуючи сказане, перелічимо деякі із найважливіших особливостей цих стратегій:

- Траекторні методи. При пошуку наступного наближення пошук ведеться в околі поточного розв'язку. Це правило застосовується, наприклад, у порогових алгоритмах та методах табу.

- Методи нелокального збурення. Здійснюють пошук у всьому просторі розв'язків. Прикладами є переходи у повторюваному локальному пошуку, генетичних алгоритмах, Н-алгоритмах і колоніях мурах.
- Популяційні (мультиагентні) методи. Результати пошуку агентів (простих процедур чи алгоритмів) заносяться в колективний досвід.
- Керований пошук чи пошук з використанням пам'яті. Включають ряд додаткових правил и вказівок щодо напрямку пошуку. У генетичних і міметичних алгоритмах популяція містить пам'ять про останній крок пошуку; у мурашиних алгоритмах адаптивною пам'яттю всієї колонії є матриця маршрутів. В пошуку табу список заборон є короткостроковою пам'яттю.
- Некерований пошук чи методи без запам'ятовування. Проводять повністю евристичний пошук.

Класифікація метаевристик (як і інших алгоритмів комбінаторної оптимізації) дозволяє як будувати нові гібридні метаевристики, так і деталізувати та досліджувати існуючі метаевристики [6].

Перспективним напрямом створення нових комбінованих алгоритмів комбінаторної оптимізації є розробка кооперативних метаевристик [1,3,7]. Їх особливістю є пошук (оптимізація) в просторі моделей, який проводиться на основі часткових моделей, сформованих базовими алгоритмами.

1. *Сергиенко И.В.* Классификация прикладных методов комбинаторной оптимизации / И.В. Сергиенко, Л.Ф. Гуляницкий, С.И. Сиренко // Кибернетика и системный анализ. — 2009. — № 5. — С. 71-83.
2. *Blum C.* Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey / C. Blum, J. Puchinger, G.R. Raidl, A. Roli // Applied Soft Computing. — 2011. — **11**, 6. — P. 4135-4151.
3. *Hulianytskyi L.F.* Cooperative model-based metaheuristics / L.F. Hulianytskyi, S.I. Sirenko // Electronic Notes in Discrete Mathematics. — 2010. — **36**. — P. 33-40.
4. *Matheuristics. Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming* / V. Maniezzo, T. Stutzle, S. Voß, ed. — N.Y., Dordrecht, Heidelberg, London: Springer-Verlag, 2009. — 269 p.
5. *Pintea C.M.* Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems / C.M. Pintea — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. — 188 p.
6. *Raidl G.R.* A unified view on hybrid metaheuristics / G.R. Raidl // Lect. Notes Computer Sci. — Berlin: Springer-Verlag, 2006. — **4030**. — P. 1–12.
7. *Talbi El-Ghazali.* Metaheuristics: from design to implementation / El-Ghazali Talbi. — Vol. 74. John Wiley & Sons, 2009. — 593 pp.