УДК 004.023

Зіборов І.К., аспірант гр. 122а-20
Желдак Т.А., к.т.н., завідувач кафедри системного аналізу та управління
(*Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна*)

АДАПТИВНИЙ ОПЕРАТОР СТИСНЕННЯ ПОПУЛЯЦІЇ ЯК ЗАПОРУКА УСПІШНОСТІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ ПОШУКОВИХ АЛГОРИТМІВ

Вирішення проблем управління та планування складних технологічних процесів у сучасному промисловому виробництві, зокрема, металургії, передбачає постановку та розв’язання складних задач багатовимірної умовної оптимізації. Для розв’язання деяких з них високу ефективність в порівнянні з іншими методами оптимізації демонструють еволюційні методи пошуку, зокрема основані на використанні аналогій з живою природою.

Основним спільним недоліком так званих популяційних алгоритмів, у яких головним (а часто і єдиним) пошуковим оператором є сліпа мутація на основі того чи іншого закону розподілу ймовірностей, є небезпека передчасної збіжності алгоритму до рішення, яке є локальним, але не глобальним оптимумом [1]. Особливо це проявляється у випадку алгоритмів, які використовують взаємодію пошукових агентів через обмін генетичною інформацією. До таких алгоритмів відносяться, зокрема генетичні алгоритми, різноманітні версії меметичних алгоритмів, а також алгоритми на основі моделювання штучних імунних систем.

В [2] докладно розглянуто ряд підходів до підвищення ефективності гібридного адаптивного алгоритму глобальної оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи людини. Крім іншого, автори відзначають, що оператор стиснення популяції визначає успіх пошуку рішень у парадигмі штучних імунних систем. Він запобігає передчасній збіжності рішень та зупинці в локальних оптимумах, що властиво всім еволюційним алгоритмам.

Робота оператора стиснення полягає у наступному. По закінченні усіх пошукових операторів (селекція, клонування, кросинговер, мутація, локальний пошук) клітини нового покоління оцінюються за якістю. Разом з попереднім поколінням вони утворюють конфліктну множину, з якої відбирають таку кількість клітин N_p, які з одного боку мають найкращу функцію пристосованості, а з іншого – лежать не ближче, ніж у радіусі подібності R одна від одної. Для цього виконуються наступні операції:

– сортування нового покоління за зменшенням афінності;

– циклічно від першої клітини до спустошення множини ще не розглянутих:

– вилучення усіх клітин, близьких до поточної і гірших за неї.

У [2] запропоновано пов’язувати радіус подібності з радіусом мутації клонів в поточному поколінні $\delta(t)$. Таким чином радіус мутації на поточній ітерації для кожного пошукового агента розділяє простір пошуку рішення на «внутрішню область» або ж окіл, в якому за пошук оптимуму відповідає мутація, та «зовнішній простір», якому належать інші пошукові агенти. Це забезпечує різноманітність у кожному з поколінь.

Адаптивний алгоритм оптимізації на основі штучної імунної системи передбачає, що радіус пошукової мутації зменшується поступово в процесі пошуку, звужуючи область пошуку навколо вже відомих кращих рішень. Одним з варіантів такої залежності є

$$\delta(t)=\frac{\delta_0}{\sqrt{1+t}} \qquad (1)$$

де δ_0 - деякий початковий радіус, t – номер ітерації.

На відміну від інших залежностей, зокрема пропорційної, запропонованої в [2], залежність (1) не прив'язана до певного заданого числа ітерації $t_{\max}$, що дозволяє варіювати умови завершення алгоритму, не призводить до обернення радіусу мутації в нуль та має нелінійний характер: на початкових ітераціях радіус мутації зменшується доволі швидко, але поступово темп зменшення радіусу уповільнюється.

Величина початкового радіусу мутації, а відтак і радіусу подібності для задач умовної оптимізації вочевидь легко визначається через обмеження за $i-$тим виміром (координатою) як напіврізниця верхнього і нижнього обмеження

$$\delta_{0,i} = \frac{\left| x_{\max,i} - x_{\min,i} \right|}{2}. \tag{2}$$

В разі розв'язання задачі безумовної оптимізації в безкінечному просторі в якості значень $x_{\max,i}$ та $x_{\min,i}$ слід прийняти такі координати простору, які гарантовано охоплюють очікуваний глобальний оптимум.

Як показали експериментальні дослідження, залежність радіусу подібності оператора стиснення від мірності простору, який досліджується та від кількості пошукових агентів, які його одночасно досліджують, має суттєво нелінійний характер, який важко оцінити за допомогою простих регресійних моделей. Втім, якщо розглядати область пошуку рішення як гіперкуб, радіус заповнючих його максимально щільно рівних гіперсфер добре досліджено в роботі [3]. Автори цього дослідження доводять, що максимальний радіус гіперсфер, вписаних в кількості N_p в одиничний n-вимірний гіперкуб дорівнює

$$R_{\max} = \frac{1}{\sqrt[n]{N_p}}. \tag{3}$$

Узагальнюючи викладене, зводимо (1), (2) та (3) до шуканої залежності, що описує радіус подібності по координаті i адаптивного оператора стиснення популяції на ітерації t

$$R(t,i) = \frac{\left| x_{\max,i} - x_{\min,i} \right|}{2 \cdot \sqrt{1+t} \cdot \sqrt[n]{N_p}}. \tag{4}$$

В разі виконання попередньої нормалізації простору і переходу до пошуку рішення в одиничному гіперкубі чисельник згортається до 1 по кожній з координат.

Отриманий вираз (4) може застосовуватись як в алгоритмі оптимізації на основі штучної імунної системи, так і в інших багатоагентний пошукових алгоритмах оптимізації. Він дозволяє отримати замість одного рішення їх сімейство, відмінних на певну величину.

Застосування адаптивного оператору стиснення за (4) в багатоагентний пошукових алгоритмах додатково підвищить швидкість їх збіжності за рахунок ретельного обстеження всієї області пошуку, розподіленої між пошуковими агентами.

Перелік посилань

1. Agasiev T. Modern Techniques of Global Optimization. Review / Taleh Agasiev, Anatoly Karpenko // Informacionnye Tehnologii, 2018. 24. 370-386. DOI: 10.17587/it.24.370-386.

2. Zheldak T. Efficiency Improvement of the Algorithm Based on an Artificial Immune System Modeling Applied to Continuous and Combinatorial Problems / T. Zheldak, I. Ziborov, V. Lyman, A. Zhuk // CEUR Workshop Proceedingsthis, 2021, 3106, pp. 82–95.

3. Tatarevic M. On limits of dense packing of equal spheres in a cube // The Electronic Journal of Combinatorics, 2015. 22(1). P1.35.