

КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ШТУЧНОЇ ІМУННОЇ СИСТЕМИ

Желдак Т.А. к.т.н. доц., Зіборов І.К. аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

Вступ. Вирішення оптимізаційних задач в сучасних умовах багатоетапного та багатокомпонентного промислового виробництва є повсякденною практикою. Особам, які приймають рішення доводиться враховувати декілька критеріїв, що мають у загальному випадку різну значимість та вирішувати задачі в багатовимірному просторі. Одним з механізмів, які дозволяють вирішувати подібні математично складні задачі, є еволюційні технології прийняття рішень.

Особливістю подібних еволюційних технологій є евристичний (зазвичай не обумовлений математичним доведенням) характер алгоритму прийняття рішень, який може бути вдосконалений за застосування рахунков нових, більш ефективних на практиці евристик. Багато з останніх відносяться до методів аналогії – інструменту прикладного системного аналізу, що застосовує для вивчення та моделювання складних системи аналогії з живої чи неживої природи.

Одною з таких евристик є алгоритми моделювання штучних імунних систем, що дозволяє знайти рішення задачі умовної або безумовної оптимізації за рахунок використання певної комбінації еволюційних операторів, що моделюють роботу імунної системи людини. Докладний аналіз різних реалізацій алгоритмів моделювання штучної імунної системи при вирішенні оптимізаційних задач наведено в [1].

Мета дослідження. Підвищити ефективність оптимізаційного алгоритму на основі моделювання штучної імунної системи за рахунок збільшення ефективності окремих його операторів.

Опис дослідження. В [2] запропонований гібридний адаптивний алгоритм оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи, який використовує оператори клональної селекції, кросоверу, мутації, локального пошуку та стиснення популяції. Особливостями викладеного алгоритму є:

1) побудова оператора селекції на основі оцінки пристосованості рішень з використанням методу аналізу ієрархії Сааті;

2) застосування парного адаптивного кросоверу для генерації нових клітин, що містять генетичні дані двох різних клітин попереднього покоління;

3) використання адаптивного оператора мутації, що залежно від результативності пошуку на попередніх етапах обирає мутацію нащадків за нормальним або поліноміальним законами розподілу ймовірностей;

4) обмежений покоординатний локальний пошук методом золотого перетину, який інтенсифікує пошук оптимуму в околі поточного рішення.

Результати дослідження показали високу ефективність запропонованого алгоритму при мінімізації стандартних тестових цільових функцій, що при розмірності простору до 100 вимірів. Останнє робить алгоритм ефективним в якості апарату навчання нейронних мереж прямого поширення, що мають велику кількість змінних.

У згаданому алгоритмі адаптація полягає у оцінці рішень в кожному поколінні й зміні налаштувань окремих операторів залежно від якості цих рішень. Окрема, оператор кросоверу має ступінь схрещування, залежний від того, чи фенотипічно близькі клітини, що обмінюються генами. Оператор мутації не лише змінює радіус мутації залежно від номера покоління, поступово зменшуючи його, а й використовує різні види мутацій залежно від якості рішення, що описується клітиною. Ближчі до кращого в поколінні клітини і їх нащадки мутують за поліноміальним законом, гірші – за гаусівським.

Втім, розглянутий алгоритм має ще один оператор, який визначає успішність пошуку рішень саме в парадигмі штучних імунних систем – запобігає передчасній збіжності й застрягання в локальних оптимумах, що властиво всім еволюційним алгоритмам. В більшості джерел [1, 2] так званий радіус схожості особин, який визначає мінімальну відстань у просторі рішень між особинами, що переходять з покоління в покоління, визначається емпірично і визначається як константа, або ж як величина, що рівномірно спадає.

Пропонується зв'язати радіус схожості з радіусом мутації нащадків у поточному поколінні. Таким чином, головним оператором, що відповідає за пошук рішення, в запропонованому алгоритмі, як і в більшості реалізацій методу штучних імунних систем, залишається оператор мутації. Водночас оператор стиснення популяції приймає на себе головну роль в якості диверсифікатора.

Згідно із запропонованою методикою, в околі поточного розташування кожної з клітин, що є пошуковими агентами, за пошук відповідає саме оператор мутації, тоді як за межами цього околу, що дорівнює радіусу мутації, тоді як оператор стиснення відповідає за пошуки за межами околу, який здійснюють інші пошукові агенти. Сам радіус мутації, а відповідно і пропорційний йому радіус схожості, мають поступово зменшуватись в ході роботи алгоритму, по-перше, по мірі досягнення оптимального рішення (зменшення відносного його покращення), по-друге. У відповідності до номеру ітерації (починаючи з широкого околу, завершуючи вузьким, порівняним з заданою точністю пошуку).

Запропонований підхід був випробуваний для вирішення ряду задач як у дійсному просторі – з використанням алгоритму в нотації [2], так і в його бінарній версії, де замість евклідової відстані використана відстань за Хемінгом. Остання версія алгоритму була застосована до комбінаторної задачі паралельного використання декількох замовлень на прокатну продукцію за математичною моделлю, запропонованою в [3]. Результати, отримані на тестових функціях та при рішенні комбінаторної задачі на дійсних даних, показали високу ефективність запропонованого алгоритмічного підходу.

Одним з безсумнівних успіхів слід вважати збільшення долі покращення рішень, що припадає на оператор мутації у порівнянні з базовим варіантом алгоритму для розв'язання типових задач в багатовимірному дійсному просторі.

Зокрема, відсоток корисних кроків алгоритму (покращення рішення), що припадають на оператор мутації у версії оптимізаційного алгоритму моделювання штучної імунної системи з радіусом схожості, пропорційним радіусу мутації, зростає майже вдвічі: з 31,4% до 60,8%. Водночас значно

зменшується доля кращих рішень, знайдених за рахунок локального пошуку (з 55,2% до 29,3%) та за рахунок кросоверу (з 19,3% до 8,8%). Підвищення ефективності мутації, обумовлене відсутністю передчасної збіжності дозволяє в певних рішеннях відмовитись від деяких операторів. Зокрема, при оптимізації у дійсному просторі можна обійтись без громіздкого SBX-кросовера, який вносить високу випадкову складову, а при вирішенні комбінаторних задач – від часткового локального пошуку, який набуває сенсу повного або обмеженого перебору.

Відмова від певних операторів робить алгоритм універсальним та швидшим без суттєвої втрати збіжності. В подальшому пропонується підвищення ефективності оптимізаційного алгоритму за рахунок пошуку кращих налаштувань операторів селекції та кросоверу (за потреби), які б підвищували ефективність кожної ітерації розглянутого алгоритму.

Висновки. Авторами запропоновано покращити ефективність відомого алгоритму оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи за рахунок адаптивного оператора стиснення популяції. Радіус схожості особин, який відповідає за те, чи зможуть вони бути представлені в наступному поколінні, пропонується зробити пропорційним радіусу мутації клітин - пошукових агентів. При цьому радіус мутації, а відповідно і пропорційний йому радіус схожості, мають поступово зменшуватись в ході роботи алгоритму, по мірі досягнення оптимального рішення та у відповідності до номеру ітерації. Запропонований підхід був випробуваний на ряді задач у дійсному та бінарному просторі. Результати розв'язання тестових задач показали високу ефективність запропонованого алгоритмічного підходу.

Література

1. Gao Sh. Revisiting Immunological Algorithms for Numerical Optimization / Shangce Gao, Yuki Todo, Beibei Chen, Jianhong Chai // IC: International Journal of Immune Computation. 2013. Vol.1. Pages 9-17.
2. Zheldak T. A. The algorithm of artificial immune system simulation with Saaty selection operator and one-dimensional local search / T. A. Zheldak, V. V. Slesarev, I. G. Gulina // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2016. №5 с. 149-156.

3. Желдак Т.А. Оптимізація двоетапного виробництва металопрокату шляхом формування зливків / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем. СМОCS-2020: тези доповідей 6-ї міжн. наук.-техн. конф. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ. 2020. с. 80-81.
<https://doi.org/10.32434/CMOCS-2020>

MANAGEMENT OF THE OPTIMIZATION ALGORITHM ON THE BASIS OF MODELING ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

Zheldak Timur, Ziborov Illia

Abstract. The efficiency improvement of the known optimization algorithm based on modeling of the artificial immune system due to the adaptive population compression operator is proposed. The radius of similarity of individuals, which is responsible for whether they can be represented in the next generation, is proposed to be proportional to the radius of mutation of cells - search agents. In this case, the radius of the mutation, and accordingly the radius of similarity proportional to it, should gradually decrease during the operation of the algorithm, in accordance with the optimal solution achievement and proportionally to the iteration number. The proposed approach was tested on a number of problems in real and binary space. The results of solving the test problems showed the high efficiency of the proposed algorithmic approach.

Keywords: algorithm, mutation, artificial neural systems, compression, operator, optimization, radius of similarity.

References

1. Gao Sh. Revisiting Immunological Algorithms for Numerical Optimization / Shangce Gao, Yuki Todo, Beibei Chen, Jianhong Chai // IC: International Journal of Immune Computation. 2013. Vol.1. Pages 9-17.
2. Zheldak T. A. The algorithm of artificial immune system simulation with Saaty selection operator and one-dimensional local search / T. A. Zheldak, V. V. Slesarev, I. G. Gulina // Naukovyj visnyk Nacional'nogo girnychogo universytetu. 2016. №5 s. 149-156.
3. Zheldak T.A. Optymizacija dvoetapnogo vyrobnyctva metaloprokatu shljahom formuvannja zlyvkiv / T.A. Zheldak, L.S. Korjashkina // Komp'juterne modeljuvannja ta optymizacija skladnyh system. СМОCS-2020: tezy dopovidej 6-i' mizhn. nauk.-tehn. konf. Dnipro: DVNZ UDHTU. 2020. s. 80-81. <https://doi.org/10.32434/CMOCS-2020>.