

Научная статья

УДК 004.832.23

doi: 10.17213/1560-3644-2023-1-10-16

## МОДЕЛЬ КОЛЛАБОРАТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ РОЯ САРАНЧИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ МУЛЬТИЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

**В.В. Курейчик, С.И. Родзин**

*Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия*

**Аннотация.** Предлагается биоэвристический алгоритм, моделирующий паттерны поведения роя саранчи для решения задач оптимизации многомерных мультиэкстремальных функций. Показано применение методов, базирующихся на методологии алгоритмов, инспирированных природой. Рассмотрены положения теории искусственного интеллекта и биоинспирированных вычислений, теории принятия решений и методов оптимизации. Цель работы – разработка биоэвристики, способной поддержать баланс между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений. Алгоритм экспериментально протестирован на трех бенчмарках, представляющих собой многомерные функции. Сравниваются результаты с конкурирующими биоэвристиками роя частиц и дифференциальной эволюции. Проведена проверка статистической значимости результатов с использованием T-критерия суммы рангов Уилкоксона.

**Ключевые слова:** биоэвристика, глобальный оптимум, агент, рой саранчи, паттерн поведения, преждевременная сходимость, разнообразие решений, тестовая функция, критерий Уилкоксона

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-21-00089, <https://rscf.ru/project/23-21-00089/> в Южном федеральном университете.

**Для цитирования:** Курейчик В.В., Родзин С.И. Модель коллаборативного поведения роя саранчи для оптимизации многомерных мультиэкстремальных функций // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2023. № 1. С. 10–16. <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2023-1-10-16>

Original article

## A MODEL OF COLLABORATIVE BEHAVIOR OF A SWARM OF LOCUSTS FOR OPTIMIZATION PROBLEM OF MULTIDIMENSIONAL MULTIEXTREMAL FUNCTIONS

**V.V. Kureychik, S.I. Rodzin**

*Southern Federal University, Taganrog, Russia*

**Abstract.** A bioheuristic algorithm modeling patterns of locust swarm behavior for solving optimization problems of multidimensional multiextremal functions is proposed. The application of methods based on the methodology of algorithms inspired by nature is shown. The provisions of the theory of artificial intelligence and bioinspired computing, the theory of decision-making and optimization methods are considered. The aim of the work is to develop bioheuristics that can maintain a balance between the convergence rate of the algorithm and the diversification of the solution search space. The algorithm has been experimentally tested on three benchmarks representing multidimensional functions. The results are compared with competing bioheuristics of particle swarm and differential evolution. The statistical significance of the results was verified using the Wilcoxon rank sum T-test.

# Computational Model of Swarm Algorithm for Optimizing Process of Keywords Extraction from Text Information Presented as Graph

Yuri Kravchenko  
Department of Software Engineering  
Southern Federal University  
Taganrog, Russia  
yakravchenko@sfedu.ru

Dmitry Kravchenko  
Department of Software Engineering  
Southern Federal University  
Taganrog, Russia  
dkravchenko@sfedu.ru

Sergey Rodzin  
Department of Software Engineering  
Southern Federal University  
Taganrog, Russia  
srodzin@sfedu.ru

**Abstract**—The article describes the scientific problem of optimizing the processes of acquiring knowledge when processing textual information presented in the form of a graph, based on the development of a modified bioinspired algorithm for extracting keywords. The solution proposed by the authors differs from the known ones by introducing new attractive operators and behavioral patterns of bacterial agents into the computational model of the bacterial swarm algorithm. This approach allows you to balance the ratio of the speed of convergence of the algorithm with the diversification of the search space for solutions. The article also presents an analytical study of the features of two types of parsing: constituency parsing and dependency parsing. As part of the study, algorithms for syntactic parsing of dependencies between elements of text information and a graph-based dependency parsing algorithm are described. The formulation of the problem of keyword extraction is given. The task of achieving a balance between accuracy and speed of a linguistic parser is an open topic that requires further research due to the importance of this problem for improving the efficiency of text analysis, especially in applications that require real-time accuracy. To increase the efficiency of solving the problem, the authors propose a modified bioinspired algorithm for extracting keywords. The computational experiment carried out allows us to conclude that the modified bacterial optimization method proposed by the authors is in a leading position, which confirms the need to continue research into the applicability of bioinspired methods for solving problems of acquiring knowledge when processing text information presented in the form of a graph.

**Keywords**—swarm bacterial algorithm, dependency parsing, keyword extraction, text processing

## I. INTRODUCTION

In the dynamic world of Natural Language Processing (NLP), parsing plays a key role in uncovering the complexities of natural language. As a foundation for understanding the structure and meaning of sentences, parsers serve as indispensable tools in a variety of NLP tasks, allowing machines to perceive and process natural language with greater accuracy and efficiency. From sentiment analysis to machine translation to question and answer systems, parsers play a key role in converting sentences into syntactic structures, which in turn facilitates more accurate and contextually relevant language processing. By breaking sentences into understandable units, parsers create the foundation for machine understanding of semantics and relationships between words, making it possible to achieve more complex and subtle results in various applications [1-3], so the creation of

effective text parsers is a very pressing scientific problem at the present time.

The main approaches to parsing include constituency parsing and dependency parsing. Component and dependency analysis are complementary approaches that are aimed at analyzing the syntactic structure of sentences. These analysis methods provide valuable information about the grammatical structure and semantic relationships in a sentence [3].

Constituent analysis focuses on identifying constituents, which are groups of words that perform a single function in a sentence. These constituents can be phrases such as noun phrases (NP) or verb phrases (VP), or even larger units such as sentences. Constituent analysis represents the hierarchical layout of a sentence using a tree structure called a parse tree or syntactic tree. On the other hand, dependency analysis focuses on the relationships between individual words in a sentence. He represents these relationships in the form of directed connections or dependencies, where each word is associated with its syntactic root or control word. Dependency analysis provides a more linear representation of sentence structure, focusing on the dependencies between words rather than the hierarchical organization of constituents [4].

One of the well-known algorithms in constituent analysis is the CYK (Cocke-Younger-Kasami) algorithm. This classic parsing algorithm, based on dynamic programming, efficiently builds a parse tree by breaking sentences into smaller constituents using a context-free grammar. Earley's algorithm is also known, which is capable of processing ambiguous grammars and parsing sentences using a predictive top-down and bottom-up approach, which leads to a more reliable parsing process [3].

On the other hand, a popular dependency analysis algorithm is the Arc-Eager algorithm. It is a Transition-based parsing algorithm that predicts the sequence of actions to build a dependency tree, effectively representing the relationships between root and dependent words. Another transition-based approach is the Arc-Standard algorithm, which builds dependency trees by reducing a sentence to a single-rooted tree through a series of actions [5].

Recent research in natural language processing has revealed the potential of deep learning to improve the efficiency of dependency parsing [5, 6]. Using neural network architectures and vast amounts of labeled data, deep learning-based parsers have achieved significant



# Spider Colony Optimization Algorithm: Bio-Heuristic for Global Optimization Problem

Sergey Rodzin<sup>(✉)</sup> and Lada Rodzina

Southern Federal University, Taganrog 344080, Russia  
srodzin@sfedu.ru

**Abstract.** Bioheuristics play a crucial role in solving optimization problems. The article describes an algorithm that models the behavior patterns of a colony of spiders for solving optimization problems of multidimensional multiextremal functions. The authors model various types of agent behavior and computational mechanisms to maintain a balance between the rate of convergence of the algorithm and the diversification of the solution search space. The study analyzes the performance of the algorithm using experiments for the problem of finding a global minimum on a set of test functions. The accuracy of the algorithm is compared with competing bioheuristics, and non-parametric proof of the statistical significance of the results obtained using the Wilcoxon signed-rank test is provided.

**Keywords:** Bio-Heuristics · Optimum · Agent · Spider Colony · Behavior Pattern · Convergence · Wilcoxon Signed-Rank Test

## 1 Introduction

Researchers study and adapt models of collective behavior of many biota species living in social groups (swarm, colony, flock) as frameworks for solving complex optimization problems. In artificial intelligence, the direction that models the collective behavior of decentralized, self-organizing systems as an optimization algorithm is referred to as swarm intelligence [1]. Swarm intelligence has several benefits, such as scalability, fault tolerance, adaptability, speed, modularity, autonomy, and concurrency. The swarm system can effectively adapt to internal and external changes.

Well-known nature-inspired swarm intelligence algorithms are particle swarm optimization (PSO), ant colony optimization (ACO) and bee colony optimization (ABC), bats (BA), fireflies (FA), moths flying towards light (MFO), bacterial chemo-taxis (BFO), school of fish (FFS), etc. [2]. However, they have certain disadvantages, such as premature convergence, difficulties in overcoming local optima when searching for a global optimum. During the algorithm execution, the population of solutions quickly loses its diversity or, conversely, we observe slow convergence. Finding a balance between the rate of convergence of an algorithm and the diversification of the solution search space is an open research problem that is important for ensuring the accuracy and performance of optimization algorithms. Revealing patterns of individual and collective behavior of



# Locust Swarm Optimization Algorithm: A Bio-Heuristic for Global Optimization Problem

Sergey Rodzin, Elmar Kuliev, Dmitry Zaporozhets, Lada Rodzina<sup>(✉)</sup>,  
and Olga Rodzina

Institute of Computer Technology and Information Security, Southern Federal University,  
Taganrog 344080, Russia

{srodzin, ladarodzina}@sfedu.ru

**Abstract.** The article proposes a bioheuristic algorithm that simulates a combination of patterns of individual and swarm behavior of locusts to solve optimization problems for multidimensional multiextremal functions. The locust is a representative example of insects that can combine swarming and solitary behavior, which is implemented by various attractive operators. Two locusts in individual behavior do not get closer if there is a small distance between them, and vice versa. In swarming behavior, locusts rapidly concentrate around individuals that have found food sources. This makes it possible not only to model the cooperative behavior of a locust colony more realistically, but also to enable a computational mechanism that avoids such shortcomings of many popular bioheuristics as premature convergence, maintains a balance between the rate of convergence of the algorithm and the diversification of the solution search space. We experimentally tested the algorithm on three multivariate test functions. We compared the results with competing particle swarm and differential evolution algorithms. The proposed algorithm provides the best results for all considered functions. Checking the statistical significance of the results got using the Wilcoxon signed-rank test for independent samples showed that the results of the algorithm are statistically significant. #CSOC1120.

**Keywords:** Bioheuristics · Global Optimum · Agent · Locust Swarm · Behavior Pattern · Premature Convergence · Diversity Solutions · Wilcoxon Rank Sum Test

## 1 Introduction

Researchers study and adapt models of collective behavior of many biota species living in social groups (swarm, colony, flock) as frameworks for solving complex optimization problems. In artificial intelligence, the direction that models the collective behavior of decentralized, self-organizing systems as an optimization algorithm is referred to as swarm intelligence [1]. Swarm intelligence has several benefits, such as scalability, fault tolerance, adaptability, speed, modularity, autonomy, and concurrency. The swarm system can effectively adapt to internal and external changes.

# Программные продукты и системы

DOI 10.15827/0236-235X

/ Об эффективности  
алгоритма саранчи

/ Сравнительный  
анализ  
методов сжатия  
табличных данных

/ Реализация  
программного  
комплекса  
психодиагностики

/ О нейросетевом  
методе оценки  
потерь  
электроэнергии



№ 2

ТОМ 37

2024

## Глобальная оптимизация на основе гибридизации алгоритмов роя саранчи и колонии пауков

С.И. Родзин <sup>1</sup>✉<sup>1</sup> Южный федеральный университет, г. Таганрог, 347922, Россия

### Ссылка для цитирования

Родзин С.И. Глобальная оптимизация на основе гибридизации алгоритмов роя саранчи и колонии пауков // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37. № 2. С. 146–154. doi: 10.15827/0236-235X.142.146-154

### Информация о статье

Группа специальностей ВАК: 1.2.1

Поступила в редакцию: 08.01.2024

После доработки: 22.02.2024

Принята к публикации: 06.03.2024

**Аннотация.** Перспективным решением задач глобальной оптимизации являются метаэвристики, вдохновленные природой. Они представляют собой недетерминированные алгоритмы, исследующие пространство поиска решений, обучающиеся в процессе поиска, не привязанные к конкретной задаче, хотя и не гарантирующие точного решения. Целью данного исследования является разработка эффективного алгоритма для решения прикладных проблем глобальной оптимизации многомерных мультиэкстремальных функций, встречающихся в задачах вычислительной филогенетики, при проектировании электрических схем, расчетах инженерной безопасности зданий, калибровке моделей распространения радиосигналов и в других. Для достижения этой цели предложен гибридный алгоритм, моделирующий паттерны поведения роя саранчи и колонии пауков. Основное внимание уделено снижению вероятности преждевременной сходимости гибридного алгоритма, поддержке баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений (интенсификация/диверсификация). Приводятся этапы модифицированных алгоритмов колонии пауков и роя саранчи, моделирующих различные паттерны их поведения, что позволяет снизить влияние очень хороших или плохих решений на процесс поиска. Гибридизация алгоритмов осуществляется путем их последовательной комбинации (препроцессор/постпроцессор). Алгоритм экспериментально протестирован на семи известных многомерных функциях. Результаты сопоставлены с конкурирующими алгоритмами роя частиц, дифференциальной эволюции, колонии пчел. Предлагаемый алгоритм обеспечивает лучшие результаты для всех рассмотренных функций. Проверка полученных результатов с использованием Т-критерия суммы рангов Уилкоксона для независимых выборок показала, что результаты по алгоритму являются статистически значимыми. Разработанное программное приложение предназначено для использования в рамках университетского курса по машинному обучению и биоинспирированной оптимизации, а также для решения широкого круга научно-прикладных задач поисковой оптимизации.

**Ключевые слова:** алгоритм, глобальный оптимум, агент, рой саранчи, колония пауков, паттерн поведения, интенсификация поиска, диверсификация поиска, тестовая функция, критерий Уилкоксона

**Благодарности.** Исследование выполнено в Южном федеральном университете за счет гранта РФФИ № 23-21-00089, <https://rscf.ru/project/23-21-00089/>

**Введение.** Эвристические алгоритмы, вдохновленные природой, вместе с нейронными сетями и другими методами образуют класс алгоритмов машинного обучения. Для них характерны исследование пространства решений, поиск точек в области определения функции, на которых она достигает минимального или максимального значения, их оценка и селективный отбор. Алгоритм обучается нахождению областей определения функции, которые содержат наилучшие решения. Поиск по БД Web of Science, Scopus, Google Scholar, цифровой библиотеке IEEE Xplore, российским библиотекам eLibrary.Ru и «КиберЛенинка» позволяет говорить о существовании более 400 алгоритмов, вдохновленных природой [1]. Их число и показатели цитируемости растут: 85 % статей, в которых предлагаются алгоритмы, вдохновленные природой, цитируются в среднем около 20 раз, в то время как

среднегодовая норма цитирования статей в целом в области Artificial Intelligence составляет около 5 [2]. С 2010 г. по настоящее время лидерами по количеству публикаций являются роевые алгоритмы. Они применяются практически во всех областях науки, техники и экономики. В этих областях многие задачи оптимизации и проектирования нелинейные, зачастую NP-трудные. Между тем такие алгоритмы, как оптимизация роя частиц (PSO), дифференциальная эволюция (DE), колония муравьев (ACO), пчел (ABC), светлячков (FA), поиска кукушки (CS) и многие другие продемонстрировали большой потенциал при решении сложных задач поисковой оптимизации за разумное время [3].

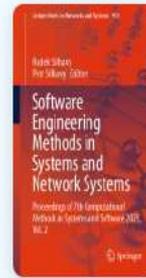
Чтобы алгоритм, вдохновленный природой, был эффективным, он должен обладать некоторыми особыми возможностями. Например, генерировать новые решения, улучшающие существующие путем интенсивного ис-

Home > [Software Engineering Methods in Systems and Network Systems](#) > Conference paper

# The Swarm Bacterial Algorithm Based on New Attractive Operators and Patterns of Agent Behavior

Conference paper | First Online: 28 February 2024

pp 147–168 | [Cite this conference paper](#)



**Software Engineering Methods in Systems and Network Systems**

(CoMeSySo 2023)

D. Yu. Kravchenko , Yu. A. Kravchenko, E. V. Kuliev, S. I. Rodzin & L. S. Rodzina

 Part of the book series: [Lecture Notes in Networks and Systems](#) ((LNNS, volume 934))

Access this chapter

Log in via an institution →

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Том 29

2023

№ 11

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

САПР

МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДЫ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ  
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

НЕЙРОСЕТИ И  
НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
СИСТЕМЫ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

ИТ В ОБРАЗОВАНИИ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 004.832.23

DOI: 10.17587/it.29.559-573

**В. В. Курейчик**, д-р техн. наук, проф., e-mail: vkur@sfedu.ru,  
**С. И. Родзин**, канд. техн. наук, проф., e-mail: srodzin@yandex.ru,  
Южный федеральный университет, г. Таганрог

## Биоэвристики, инспирированные фауной (обзор)\*

*В последние годы заметно увеличение числа публикаций, посвященных новым биоэвристикам для эффективного решения оптимизационных задач, для которых классические методы не обеспечивают приемлемого результата с разумными затратами времени и ресурсов. В обзоре основное внимание уделяется биоэвристикам, инспирированным фауной, которые моделируют паттерны поведения особей животного мира. В последние десять лет публикации, посвященные биоэвристикам, инспирированным фауной, составляют около половины всех публикаций, связанных с биоэвристиками. Обзор организован с учетом биологической классификации фауны и моделируемых механизмов поведения животных. Также приводится анализ механизмов, используемых для обеспечения баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений.*

**Ключевые слова:** биоэвристика, сходимость алгоритма, диверсификация пространства поиска, популяция, функция пригодности, оптимизация, фауна

### Введение

Биоэвристика — это высокоуровневая, независимая от проблемы процедура, предназначенная для поиска, генерации или выбора алгоритма частичного поиска, который может обеспечить достаточно хорошее решение задачи оптимизации, особенно с неполной информацией или ограниченной вычислительной мощностью [1]. В последние годы в литературе заметно увеличение числа публикаций, посвященных новым оптимизаторам, инспирированным природой (биоэвристикам), полученным путем модификации процедур локального поиска или гибридизации нескольких процедур [2]. Этот рост связан с необходимостью поиска эффективных решений проблем, для которых классические методы не обеспечивают приемлемые результаты в разумные сроки и с разумными затратами времени и ресурсов.

Для всех биоэвристических оптимизаторов справедлива *NFL*-теорема, утверждающая, что не существует алгоритм поиска или оптимизации, который "работает" лучше других на всем множестве задач. Иными словами, если некоторый алгоритм работает лучше (быстрее, точнее) на одних задачах, значит, на других за-

дачах он будет работать хуже [3]. Один конкретный алгоритм не может превзойти свои аналоги во всех задачах, а только лишь в определенных типах или классах задач. Более подробную информацию о *NFL*-теореме, ее детальном анализе и тесной связи с колмогоровской сложностью можно найти в работе [4].

Один из первых биоэвристических оптимизаторов (описанный в 60...70-е годы XX века) представлен генетическими алгоритмами, основанными на использовании механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. В настоящее время спектр механизмов, на основе которых строятся биоэвристики, стал значительно шире и охватывает идеи, варьирующиеся от поведения очень маленьких объектов, таких как вирусы и бактерии, до галактических механизмов. Однако свыше 45 % этих алгоритмов основаны на идеях, взятых у объектов фауны.

В статье основное внимание уделяется биоэвристикам, инспирированным животным миром, проводится их анализ на основе работ, охватывающих период с 2006 по 2021 гг. Обзор организован с учетом биологической классификации животного мира и моделируемых механизмов поведения животных. Также проанализированы механизмы, используемые для обеспечения баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений.

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00089, <https://rscf.ru/project/23-21-00089/> в Южном федеральном университете.

# Hybrid Algorithm of Locust Swarm and Spider Colony for Global Optimization Problems

Sergey Rodzin  
Department of Software Engineering  
Southern Federal University  
Taganrog, Russia  
srodzin@sfnu.ru

Olga Rodzina  
Department of Software Engineering  
Southern Federal University  
Taganrog, Russia  
orodzina@sfnu.ru

**Abstract**—Nature-inspired algorithms demonstrate great potential for solving complex search engine optimization problems in engineering calculations and design of large and small energy facilities, including renewable energy sources. In this paper, we propose a hybrid algorithm that models the behavior patterns of a locust swarm and a spider colony to efficiently solve global optimization problems of multivariate multi-extremal functions. The modified locust swarm algorithm avoids concentration of individuals at the current best positions, reduces the probability of premature convergence, and maintains the intensification/diversification balance. The modified spider colony algorithm models two unique behavior patterns, allows diversification of the search space for the optimal solution, and acts as a filter to reduce the influence of very good or bad solutions on the search process. Hybridization of the modified algorithms is done by combining them sequentially (preprocessor/post-processor). We experimentally tested the algorithm on seven known multivariate functions. We compared the results with competing algorithms for particle swarm, differential evolution, and colony of bees. The proposed algorithm provides better results for all considered functions. Checking the statistical significance of the results obtained using the Wilcoxon rank sum test for independent samples showed that the algorithm results are statistically significant.

**Keywords**—algorithm, global optimum, agent, locust swarm, spider colony, behavior pattern, search intensification, search diversification, test function, Wilcoxon test

## I. INTRODUCTION

Heuristic algorithms inspired by nature, together with neural networks, form a class of machine learning algorithms. Their characteristic feature is the exploration of the solution space, the search for points in the function definition domain on which the function reaches a minimum or maximum value, their evaluation and selective selection. The algorithm is trained to find the regions of function definition that contain the best solutions [1]. Searching the Web of Science, Scopus, Google Scholar, IEEE Xplore digital library, Russian libraries eLibrary.ru and CyberLeninka databases allows us to talk about the existence of more than 400 metaheuristics. Their number and citation rates are growing: 85% of articles proposing nature-inspired algorithms are cited on average about 20 times, while the average annual citation rate of articles in the Artificial Intelligence field is about 5. From 2010 to the present, swarm algorithms are the leaders in the number of publications of metaheuristics. They are applied in almost all fields of science, engineering, and economics. In these fields, many optimization and design problems are nonlinear, often NP-hard. Meanwhile, metaheuristics such as particle swarm optimization (PSO), differential evolution

(DE), ant colony (ACO), bee colony (ABC), firefly (FA), cuckoo search (CS) and many others have shown great potential in solving complex search optimization problems in reasonable time [2].

For a metaheuristic algorithm to be effective, it must have some special capabilities. For example, to generate new solutions that improve existing ones by intensively exploring the local space around the current suitable solution found (intensification). On the other hand, the algorithm should be able to avoid premature convergence to a local optimum by expanding the solution search area and discovering search areas where the global optimum may lie (diversification). A successful combination of intensification and diversification of the search contributes to the high efficiency of the metaheuristic. Finding the balance of these two important components of any metaheuristic is an open research problem. Each metaheuristic utilizes a unique balance between them, often far from the optimal one.

This paper proposes a hybrid global optimization algorithm based on modified locust swarm and spider colony algorithms, and investigates its performance on a number of well-known test problems.

## II. MODIFIED ALGORITHM OF SWARMING AND SOLITARY BEHAVIOR OF LOCUSTS

Nature-inspired algorithms describing collective intelligent behavior patterns in the animal and insect world have attracted the attention of researchers since the end of the last century. Stereotypical behavioral patterns observed in groups of animals and insect aggregations provide survival advantages. A group of individuals can solve quite complex tasks while the individuals composing the group are relatively simple, use limited local information, and allow for task specialization.

Locusts, being a kind of large grasshopper, represent an example of such groups of insects. Locusts exhibit both solitary and swarming behavior patterns, with their distinct behavioral differences. In solitary behavior, when food and space are plentiful, locusts avoid contact, so the swarm explores space by spreading out. The swarming behavior pattern, on the contrary, means locusts tend to aggregate around promising food sources. The use of such specialized behavior patterns in the optimization algorithm allows maintaining the necessary balance between intensification and diversification of search, avoiding premature convergence to suboptimal solutions.

**Штанчаев Хайрутин Баширович** – Дагестанский государственный технический университет; e-mail: shtanchaev.h@gmail.com; г. Махачкала, Россия; тел.: +79883081572; кафедра ПОВТиАС; к.т.н.

**Shtanchaev Khairutin Bashirovich** – Dagestan State Technical University; e-mail: shtanchaev.h@gmail.com; Makhachkala, Russia; phone: +79883081572; the department of POVTiAS; cand. of eng. sc.

УДК 004.832.23

**С.И. Родзин**

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОЭВРИСТИК: КЛАССИФИКАЦИЯ, БЕНЧМАРКИНГ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ\***

*Целями данной статьи является анализ современного состояния исследований в области разработки алгоритмов, инспирированных природой, включая категоризацию, классификацию, тестирование, цитируемость и области применения. Представлена новая многоуровневая система классификации на основе следующих признаков: критерий соответствие природной метафоре, структурный, поведенческий, поисковый, компонентный и оценочный критерии. Классификация биоэвристик предполагает систематическое отнесение каждой биоэвристики к одному и только одному классу в рамках системы взаимоисключающих и неперекрывающихся классов. Категоризация позволяет объективно подходить к выбору биоэвристик. Для каждой биоэвристики имеются конкретные задачи, с которыми она хорошо справляется. Знать эти взаимосвязи важно для целенаправленного применения биоэвристики. Рассмотрен пример классификации. Отмечено, что наиболее информативным критерием классификации является поведенческий критерий, наиболее цитируемым классом биоэвристик являются алгоритмы роевого интеллекта, а наиболее цитируемой биоэвристикой – алгоритм роя частиц PSO. Представлены современные подходы к бенчмаркингу биоэвристик: задачи дискретной и непрерывной оптимизации, а также оптимизационные инженерные задачи. Отмечена тенденция проводить сравнение производительности биоэвристик, используя статистическую проверку гипотез на бенчмарках. Систематизированы задачи, успешно решаемые биоэвристикой в таких областях, как инженерное проектирование, обработка изображений и компьютерное зрение, компьютерные сети и коммуникации, энергетика и энергоменеджмент, анализ данных и машинное обучение, робототехника, медицинская диагностика. Намечилась тенденция к гибридизации биоэвристик в одном оптимизаторе. Однако требуются убедительные доказательства, что результаты компенсируют увеличение сложности по сравнению с отдельными алгоритмами. Отмечены задачи оптимизации, требующие дальнейших исследований: задачи динамической и стохастической оптимизации; задачи многокритериальной оптимизации; задачи мультимодальной оптимизации; задачи многомерной оптимизации; задачи меметической оптимизации, в которых комбинируется множество поисковых алгоритмов; задачи оптимизации и адаптации настроек параметров биоэвристик для достижения баланса между скоростью сходимости и диверсификацией пространства поиска решений.*

*Биоэвристика; классификация; категоризация; бенчмаркинг; фреймворк; агент; оператор; популяция; стигмергия.*

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00089, <https://rscf.ru/project/23-21-00089/> в Южном федеральном университете.

## КОЭВОЛЮЦИОННЫЙ САМОНАСТРАИВАЮЩИЙСЯ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ

© 2022 С. И. Родзин<sup>✉</sup>

*Южный федеральный университет  
пер. Некрасовский, 44, 347929 Таганрог, Ростовская область, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье предложен коэволюционный самонастраивающийся алгоритм для решения задач глобальной оптимизации. Алгоритм моделирует эгоистичное поведение особей стада травоядных, подвергающихся нападению стаи хищников. Поиск агенты управляются набором аттрактивных операторов поиска на основе паттернов индивидуального и коллективного поведения агентов, а также механизмов популяционного отбора в системе «жертва–хищник». Агент перемещается в пространстве решений задачи оптимизации, используя набор операторов, имитирующих различные виды поведения, в том числе эгоистичного. В отличие от большинства конкурирующих алгоритмов предлагаемый коэволюционный самонастраивающийся алгоритм позволяет не только моделировать различные виды эгоистичного поведения. Он включает вычислительные механизмы для сохранения баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений. Результативность алгоритма анализируется с помощью серии экспериментов для задач поиска глобального минимума в наборе из 5 известных тестовых функций. Результаты сравнивались с 7 конкурирующими биоэвристиками по таким показателям, как среднее лучшее на данный момент решение, медианное лучшее на данный момент решение и стандартное отклонение от лучшего на данный момент решения. Точность предлагаемого алгоритма оказалась выше, нежели у конкурирующих алгоритмов. Непараметрическое доказательство статистической значимости полученных результатов с использованием Т-критерия Уилкоксона позволяет утверждать, что результаты коэволюционного самонастраивающегося алгоритма являются статистически значимыми.

**Ключевые слова:** коэволюционный алгоритм, глобальный оптимум, агент, «жертва–хищник», паттерн поведения, преждевременная сходимость, разнообразие решений, тестовая функция, критерий Уилкоксона.

### ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация является актуальной проблемой в таких областях как распознавание образов, робототехника, компьютерные сети, информационная безопасность, инженерное проектирование, интеллектуальный анализ данных, финансы, цифровая экономика. В результате интенсификации исследований, направленных на развитие инструментов оптимизации предложено много различных подходов к решению широкого спектра

реальных задач поисковой оптимизации. Одним из самых популярных подходов являются биоэвристики — алгоритмы, вдохновленные природой. Примером является разумное коллективное поведение многих видов животных, живущих в социальных группах (стадо, колония, рой, стая). Исследователи изучают и адаптируют модели коллективного поведения в качестве фреймворков для решения сложных оптимизационных задач. Это известные алгоритмы оптимизации роя частиц (PSO), муравьиных (ACO) и пчелиных (ABC) колоний, летучих мышей (BA), ворон (CSA), кукушки (CS), светлячков (FA), опыления цветов (FPA), серых волков (GWO),

✉ Родзин Сергей Иванович  
e-mail: srodzin@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# Модифицированный метаэвристический алгоритм синус-косинуса для многомерных задач глобальной оптимизации\*

С. И. Родзин

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

**Аннотация.** Исследована вычислительная модель метаэвристического алгоритма синус-косинуса. Предложен модифицированный алгоритм, включающий вычислительные механизмы для сохранения баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией пространства поиска решений. Результативность алгоритма анализируется с помощью серии экспериментов для задач поиска глобального минимума в наборе из многомерных тестовых функций. Проверяется статистическая значимость полученных результатов.

**Ключевые слова:** алгоритм синус-косинуса, метаэвристика, популяция, глобальный оптимум, агент, преждевременная сходимость, тестовая функция, критерий Уилкоксона.

DOI 10.14357/20718594230306

## Введение

Метаэвристические алгоритмы оптимизации являются актуальным и быстро растущим классом методов машинного обучения [1]. Согласно библиометрическим данным *Scopus*, сейчас насчитывается свыше 400 метаэвристик, причем если среднегодовая норма цитирования статей в области искусственного интеллекта составляет около 5, то около 85 % статей, в которых предлагаются метаэвристики, цитируются в среднем около 20 раз.

Синус-косинус (Sine Cosine Algorithm, SCA) является относительно новым популяционным алгоритмом [2], основанным на вычислении направления дифференциального вектора. SCA генерирует различные исходные случайные решения и обновляет их в соответствии с уравнениями, используя математическую модель,

основанную на функциях синуса и косинуса. В SCA сочетаются популяционный подход и стратегия локального поиска, простота реализации, гибкость и возможности применения для решения различных задач оптимизации, таких как планирование, проектирование сетей, диспетчирование электроэнергии, обработка изображений и др. Однако, как и многие метаэвристики, SCA имеет тенденцию попадать в ловушку локальных оптимумов и не всегда поддерживает баланс между скоростью сходимости и диверсификацией пространства поиска решений.

В статье представлен анализ работ по применению SCA, предлагается его эффективная модификация для решения многомерных задач глобальной оптимизации, а также результаты серии вычислительных экспериментов для проверки трудоемкости, точности и сходимости по сравнению с конкурирующими алгоритмами.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00089 в Южном федеральном университете