

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Купін А.І.<sup>1</sup>, Косей М.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна*

**Анотація.** У цій роботі проведено огляд алгоритмів ройового інтелекту, висвітлюючи значний потенціал та перспективи розвитку мультиагентних систем та ройового інтелекту. Підкреслюється тривала дослідницьку активність у цій галузі та безперервне розширення сфер застосування. Вивчаючи різні дослідження та публікації, робиться висновок про важливість інтеграції підходів з різних наукових дисциплін для вирішення різноманітних і складних проблем за допомогою ройового інтелекту. Майбутні дослідження спрямовані на надання більш детального аналізу та порівняння різних алгоритмів ройового інтелекту у різних сферах застосування.

**Ключові слова:** *штучний інтелект, інтелектуальний агент, мультиагентні системи, ройовий інтелект, алгоритми оптимізації ройового інтелекту.*

В даний час, мультиагентні системи все частіше використовуються у широкому спектрі наукових та технічних областей, стаючи ключовим елементом в еволюції та розвитку сучасних технологій.

Це особливо актуально під час військових конфліктів, коли потреба в самостійних системах з розвиненими можливостями інтелектуального керування значно зростає, що підкреслює важливість та актуальність розвитку мультиагентних систем.

Ця технологія вже використовується в безпілотних літальних апаратах, які експлуатуються у військовій сфері, сільському господарстві, сферах пошуку та рятування, будівництві та екологічному моніторингу.

Аналітичні дані [Error! Reference source not found.] вказують на те, що обсяг ринку військових безпілотних літальних апаратах в 2022 році становив приблизно 12,55 мільярди доларів США, в 2023 - збільшився до 14,14 мільярдів доларів США в 2023 році і продовжить збільшуватися до 35,60 мільярдів доларів США до 2030 року, з середнім річним темпом зростання на рівні 14,10%.

Серед ключових гравців на цьому ринку вирізняються такі компанії, як Lockheed Martin, Northrop Grumman, General Atomics, і Boeing. Швидке зростання попиту на військові дрони свідчить про значну увагу та інвестиції в

дану область, а також про масове застосування дронів у військових цілях. Такий інтерес обумовлений сучасними військовими конфліктами (повномасштабне вторгнення Росії в Україну з 24 лютого 2022 року та терористичні атаки Хамасу проти Ізраїлю з 7 жовтня 2023 року), а також стрімким розвитком у галузі штучного інтелекту в останні роки.

Ройовий інтелект - це тип мультиагентних систем, надихнутих природою, де багато простих агентів працюють разом, імітуючи поведінку природних роїв, таких як рої комах, зграї птахів, та інших тварин. Ці агенти взаємодіють між собою та з оточенням за допомогою простих правил, що дозволяє їм разом вирішувати складні задачі.

Ройовий інтелект є однією з галузей штучного інтелекту, яка динамічно розвивається. Як попередників ройового інтелекту можна згадати три алгоритми: алгоритм стохастичного дифузійного пошуку (SDS - Stochastic Diffusion Search), мурашиний алгоритм (ACO - Ant Colony Optimization) та метод рою часток (PSO - Particle Swarm Optimization).

Сімейство алгоритмів ройового інтелекту продовжує розширюватися. У книзі Адама Словіка надано перелік 45 алгоритмів [Error! Reference source not found.] впорядкованих за датою створення (рисунок 1).

Алгоритми ройового інтелекту - приклад того, як природні процеси та поведінка можуть бути адаптовані для вирішення складних завдань у сферах оптимізації, пошуку та інших обчислювальних задачах.

Основними рисами цих алгоритмів є їх здатність до самоорганізації, гнучкість, масштабованість та робастність.

Структура алгоритму ройового інтелекту (рисунок 2) складається з таких етапів:

**Визначення параметрів алгоритму:** Налаштування початкових значень, які керують поведінкою алгоритму.

SI Algorithm (Year)	Biological inspiration
Stochastic Diffusion Search (1989)	Tandem calling mechanism employed by one species of ants
Ant Colony Optimization (1992)	Real ant colonies using pheromone as a means of chemical messenger
Particle Swarm Optimization (1995)	Social behavior of bird flocking or fish schooling
Bee System (2001)	Foraging behavior of bee colonies
Bacterial Foraging (2002)	Social foraging behavior of Escherichia coli
Fish-swarm Algorithm (2002)	Fish behaviors such as preying and swarming
Beehive (2004)	Communicative and evaluative methods and procedures of honey bees
Bacterial Colony Chemotaxis (2005)	Bacterium's reaction to chemoattractants
Bee Colony Optimization (2005)	Bee colonies in nature
Bee Swarm Optimization (2005)	Behavior of real bees in nature
Virtual Bees (2005)	Swarm of bees and interactions between them when they find nectar
Cat Swarm (2006)	Behaviors of cats and their skills such as tracing and seeking
Artificial Bee Colony (2007)	Natural foraging behavior of real honey bees
Fast Bacterial Swarming (2008)	Foraging mechanism of Escherichia coli and the swarming pattern of birds
Bumblebees (2009)	Collective behavior of social insects
Cuckoo Search (2009)	Brood parasitic behavior of some cuckoo species
FireFly Algorithm (2009)	Behavior of fireflies and their flashing light (process of bioluminescence)
Glowworm Swarm Optimization (2009)	Luciferin induced glow of a glowworm which is used to attract mates/prey
Artificial Fish School Algorithm (2010)	Fish behaviors such as preying, swarming, following
Bat Algorithm (2010)	Echolocation characteristics of microbats
Cockroach Swarm Optimization (2010)	Social behavior of cockroaches
Hunting Search (2010)	Group hunting of animals such as lions, wolves, and dolphins
Bacterial Colony Optimization (2012)	Five basic behaviors of Escherichia coli bacteria in their whole lifecycle
Blind-Naked Mole-Rats (2012)	Social behavior of the blind naked mole-rats colony
Krill Herd (2012)	Herding behavior of krill individuals
Lion's Algorithm (2012)	Lion's social behavior that aids to keep the mammal strong in the world
Wolf Search (2012)	Wolves search for food and survive by avoiding their enemies
Fruit Fly Optimization (2013)	Behavior of fruit flies
Social Spider Optimization (2013)	Cooperative behavior of social-spiders which interact with each other
Chicken Swarm Optimization (2014)	Behavior of chickens when they search for food
Dispersive Flies Optimisation (2014)	Swarming behavior of flies over food sources
Grey Wolf Optimizer (2014)	Mimics the social dominant structure of the grey wolves pack
Elephant Herding (2015)	Herding behavior of the elephant groups
Monarch Butterfly Optimization (2015)	Migration of monarch butterflies
Crow Search Algorithm (2016)	Intelligent behavior of crows
Dolphin Swarm Algorithm (2016)	Dolphin's echolocation, information exchanges, cooperation
Dynamic Virtual Bats Algorithm (2016)	Bat's ability to manipulate frequency/wavelength of the emitted sound waves
Whale Optimization Algorithm (2016)	Social behavior of humpback whales - the bubble-net hunting strategy
Swarm Dolphin Algorithm (2016)	Social behaviors of dolphins
Artificial Wolf Pack Algorithm (2016)	Social behaviors of the wolf pack in scouting, calling and besieging
Grasshopper Optimisation (2017)	Behavior of grasshopper swarms in nature
Spotted Hyena Optimizer (2017)	Social relationship between spotted hyenas and their collaborative behavior
Salp Swarm Algorithm (2017)	Swarming behaviour of salps when navigating and foraging in oceans
Emperor Penguin Optimizer (2018)	Mimics the huddling behavior of emperor penguins
Seagull Optimization Algorithm (2019)	Migration and attacking behaviors of a seagull in nature

Рисунок 1 – Перелік алгоритмів оптимізації ройового інтелекту.

**Ініціалізація агентів:** Створення початкової популяції агентів, де кожен агент представляє можливе рішення задачі.

**Встановлення умови завершення:** Задання критеріїв, за якими алгоритм зупинить виконання, наприклад, досягнення максимальної кількості ітерацій або задовільного рівня точності рішення.

**Обчислення фітнес функції:** Оцінка кожного агента з використанням функції пристосованості, яка вимірює, наскільки добре агент вирішує поставлену задачу.

**Виконано умову завершення?:** Перевірка, чи була досягнута умова завершення алгоритму. Якщо так, алгоритм завершує роботу; якщо ні, процес продовжується.

**Оновлення агентів:** Модифікація станів агентів на основі обміну інформацією між ними для покращення їх рішень.

**Отримання оптимального результату:** Вибір найкращого рішення з усіх агентів після завершення алгоритму або досягнення умови завершення.

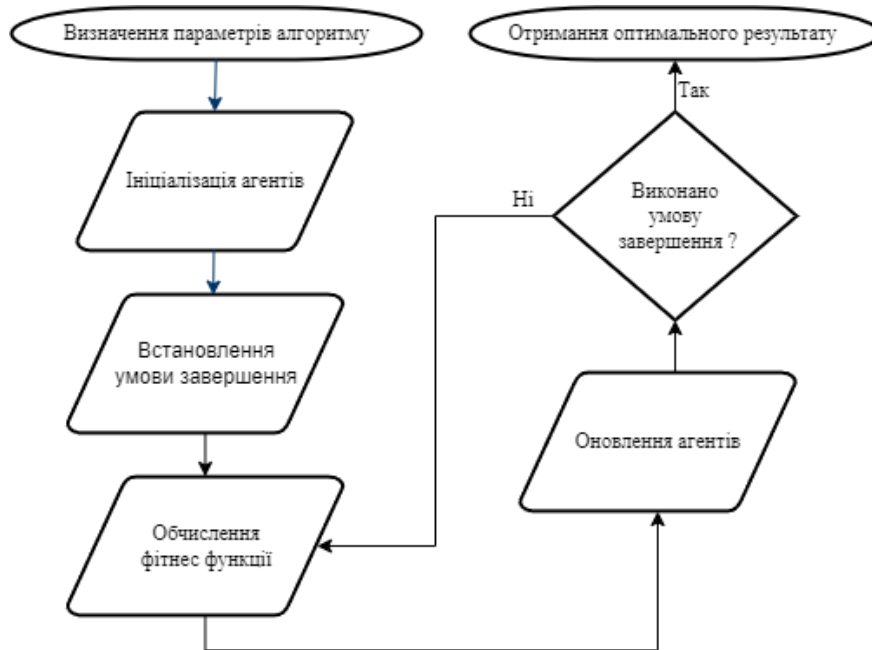


Рисунок 2 – Загальна структура ройового алгоритму.

Але для конкретних алгоритмів послідовність та кількість етапів може відрізнятися від загальної структури.

Серед алгоритмів ройового інтелекту найбільш популярними є алгоритм оптимізації роєм частинок (PSO) та алгоритм мурашиного колонії (ACO).

PSO є привабливим через свою простоту у реалізації та здатність швидко знаходити рішення.

ACO, з іншого боку, надихнутий поведінкою мурашиних колоній при пошуку їжі та вирізняється своєю ефективністю у вирішенні задач маршрутизації та розкладу. Обидва алгоритми широко застосовуються в різних областях, включаючи логістику, робототехніку, енергетику, обробку даних, безпілотні літальні апарати демонструючи свою універсальність та силу в вирішенні складних проблем [0,0,0,0].

### ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено аналіз алгоритмів ройового інтелекту, демонструючи їхній потенціал та широке поле діяльності у сфері мультиагентних систем. Вказано на активне дослідження в цій галузі та наростання застосувань. Вивчення різних наукових робіт вказує на необхідність поєднання знань із різних областей для ефективного вирішення складних завдань за допомогою ройового інтелекту.

У майбутніх дослідженнях передбачається провести детальніший розгляд та порівняння алгоритмів ройового інтелекту, а також розглянути можливості їх інтеграції з іншими методами штучного інтелекту для покращення рішень у різних областях застосування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Military Drone Market to Hit USD 35.60 Billion by 2030 | Featuring a Detailed 200-Pages Research Report. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/military-drone-market-102181> (дата звернення 02.02.2024)
2. Adam Slowik. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. CRC Press, 2020. 348p.
3. Louis P. Walters. Applications of swarm intelligence. Nova Science Publishers, Incorporated, 2010. 234p.
4. Abhishek Kumar, Pramod Singh Rathore, Vicente Garcia Diaz, Rashmi Agrawal. Swarm Intelligence Optimization Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2021. 364p.
5. Modestus O. Okwu, Lagouge K. Tartibu. Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 196p.
6. Lewis M. Pyke [www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org) Craig R. Stark - Dynamic Pathfinding for a Swarm Intelligence Based UAV Control Model Using Particle Swarm (дата звернення: 15.03.2024)

### ANALYSIS OF SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS

Kupin Andrey, Kosei Maksym

**Abstract.** *This paper conducts a comprehensive review of swarm intelligence algorithms, highlighting the significant potential and development prospects of multi-agent systems and swarm intelligence. It underscores the ongoing research activity in this field and the continuous expansion of application areas. By examining various studies and publications, the paper concludes the importance of integrating approaches from different scientific disciplines to tackle diverse and complex problems using swarm intelligence. Future research is aimed at providing a more detailed analysis and comparison of various swarm intelligence algorithms across different application domains, as well as exploring their integration with other artificial intelligence methods.*

*This work points towards the growing relevance of swarm intelligence in solving real-world problems, showcasing its versatility and effectiveness across multiple sectors, including military, agriculture, search and rescue, and environmental monitoring.*

**Keywords:** artificial intelligence, intelligent agent, multi-agent systems, swarm intelligence, swarm intelligence optimization algorithms.

## **REFERENCES**

1. Military Drone Market to Hit USD 35.60 Billion by 2030 | Featuring a Detailed 200-Pages Research Report. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/military-drone-market-102181> (дата звернення 02.02.2024)
2. Adam Slowik. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. CRC Press, 2020. 348p.
3. Louis P. Walters. Applications of swarm intelligence. Nova Science Publishers, Incorporated, 2010. 234p.
4. Abhishek Kumar, Pramod Singh Rathore, Vicente Garcia Diaz, Rashmi Agrawal. Swarm Intelligence Optimization Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2021. 364p.
5. Modestus O. Okwu, Lagouge K. Tartibu. Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 196p.
6. Lewis M. Pyke [www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org) Craig R. Stark - Dynamic Pathfinding for a Swarm Intelligence Based UAV Control Model Using Particle Swarm (дата звернення: 15.03.2024)