

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСОЛІДОВАНОГО РУХУ АВТОНОМНИХ АГЕНТІВ

Сучасна практика досліджень і впровадження нових рішень у сфері надзвичайних ситуацій та діяльності в середовищах з небезпечними умовами фокусує увагу на застосуванні, поряд з людським компонентом або автономно, роботизованих пристроїв та штучного інтелекту [1]. При цьому у загальній тематиці досліджень штучного інтелекту важливе місце посідає вивчення взаємодії декількох елементів штучного інтелекту між собою. Підвищення уваги до таких систем обумовлене швидким зростанням парку роботизованих пристроїв та прогнозами щодо їхнього впровадження у найрізноманітніші сфери життя [2, 3]. Радикально нові способи взаємодії, притаманні промисловим практикам за концепцією Industry 4.0, також передбачають взаємодію та співпрацю кіберфізичних систем між собою та з людьми в єдиному безбар'єрному просторі [4, 5].

Методи та засоби управління групами мобільних роботів, як напрям досліджень та практичної діяльності, демонструють інтенсивний розвиток вже протягом двох останніх десятиліть та відомі під назвою «swarm robotic» (групова робототехніка). Увага до використання у прикладних задачах груп роботів цілком виправдана, оскільки вони забезпечують охоплення більшого функціонального простору, надають більш широкий набір функціональних можливостей, підвищують ймовірність успішного виконання завдань. Очевидною є висока складність таких систем та потенційні ризики від використання кіберфізичних пристроїв як окремо, так і у складі груп таких агентів, об'єднаних спільним простором та/або спільними функціональними завданнями. Тому типовим рішенням є застосування моделювання на всіх етапах життєвого циклу пристроїв зі штучним інтелектом.

Серед різноманіття методів та засобів моделювання групової поведінки агентів зі штучним інтелектом використовуються програмні засоби імітаційного моделювання. На жаль, дослідники не завжди мають доступ до систем з функціоналом, придатним для багатofакторного аналізу мультиагентних інтелектуальних систем зі складними сценаріями взаємодії. Зокрема, великий інтерес є до дослідження консолідації груп агентів при виконанні спільних завдань. З огляду на це, нами проводяться роботи зі створення оригінальних програмних засобів моделювання з актуальними для даної постановки задачі можливостями.

Реалізація програмного середовища моделювання поведінки групи автономних самокерованих модулів ґрунтується на моделі, яка будується за біонічними принципами. Даний підхід є доцільним, зважаючи на подібність типових завдань та сценаріїв групової поведінки автономних роботів і представників живої природи. У якості базового прецеденту використано дослідження поведінки зграй риб [6, 7]. Модель угруповання самокерованих агентів представлено графом з визначеною конкретною задачею топологією взаємозв'язків. Консолідація групи має відбуватися за рахунок виконання кожним з агентів маневрів, які формуються та здійснюються ними самостійно на основі спостереження за іншими членами групи.

Очевидною є обмеженість взаємної видимості таких агентів внаслідок ситуативних просторово-геометричних конфігурацій їхнього розташування та характеристик сенсорів (видимими є лише деякі сусіди). Разом з тим, дослідження [6, 7] доводять, що відстань до сусіда не є визначальною для рішення щодо використання спостереження за ним для формування власної траєкторії, а для консолідації зграї достатньо взаємодії особини лише з одним іншим членом угруповання.

Таким чином, у модельованій мультиагентній системі, яка складається з лідера та певної кількості підпорядкованих йому агентів, будь-яка вершина графа має не більше ніж дві дуги, кожна з яких замкнута на сусідів. Одна з дуг однієї вершини з множини агентів обов'язково замкнута на вершину-лідера. Динаміку лідера та агентів описано системами диференціальних рівнянь. Обчислення за такою математичною моделлю дозволяють отримати залежності для знаходження положення та напрямку руху кожного елемента в певний момент часу [8]. Зазначимо, що в ході реалізації задачі було вжито додаткових заходів для зменшення громіздкості формул, запропонованих у згаданому джерелі.

Оскільки реальні прикладні системи з угрупованнями агентів актуального для даного дослідження типу мають значну складність як на рівні опису її топології, структури, алгоритмів функціонування та комунікаційних зв'язків агентів, так і на рівні урахування властивостей функціонального середовища, а деталізація часткових моделей негативно відбиватиметься на конструктивності загальної моделі багатоагентної системи, у запропонованій моделі встановлення консенсусу урахування додаткових чинників було виконано шляхом введення до неї узагальнюючих коефіцієнтів. Таким чином, на базі запропонованого рішення можуть бути побудовані дослідницькі моделі з достатнім рівнем адекватності конкретним прикладним системам.

Для проведення експериментів була сформована дослідна сцена, яка складалася з агента-лідера та шести агентів-переслідувачів. Координати початкового положення агентів, їхній статус у групі та траєкторія руху лідера задавалися експериментатором. Консолідація виконувалася за сценарієм, який наразі реалізовано у моделюючому середовищі: сходження агентів до рухомого лідера. В процесі відпрацювання сценарію в реальному часі відбувається анімаційне відтворення руху групи агентів відповідно до алгоритму стеження за рухом сусідів.

Отримані результати імітаційного моделювання є адекватними властивостям реальних систем-прототипів. На поведінку складових моделей впливають їхнє просторове положення у групі, топологія групи, параметри руху агента-лідера. Варіація результатів експериментів відповідає варіації властивостей досліджуваних моделей. Зокрема, введення стохастичного коефіцієнту дозволило ускладнити поведінку агентів відповідно до реальних ситуацій виконання функціональних завдань у відкритому виробничому просторі зі складними властивостями.

Таким чином, можна очікувати на позитивний ефект від використання програмного середовища моделювання в задачах попередньої перевірки поведінки автономних самокерованих пристроїв (роботів) з метою визначення очікуваних часових характеристик колективного виконання прикладних завдань, визначення оптимального початкового розміщення цих пристроїв, підбору оптимальних характеристик агентів. Подальший розвиток дослідницького середовища вбачається у розширенні його функціональних можливостей як шляхом поглиблення аналізу

динаміки агентів, так і шляхом створення засобів формування модельних сцен з властивостями, наближеними до реальних прототипів, вдосконалення опису властивостей агентів, системи комунікації у групі, розширення номенклатури базових сценаріїв консолідації.

#### Abstract

The paper focused on the problem of modeling in swarm robotic. The experience of creating a research environment for the study of the consolidated movement of autonomous agents is presented. The choice of the bionic type model is substantiated. The environment provides the creation of a given scenario in real time with an animated reproduction of the movement of a group of agents in accordance with the algorithm for tracking the movement of neighbors. Compliance with real application systems is ensured with a set of parameters describing their topology, structure, algorithms and communication connections of agents. Additional parameters of agents and functional environment are taken into account by introducing a generalizing stochastic coefficient into the model. The results of experiments in the experimental scene, which consisted of a leader agent and several pursuing agents with consolidation according to the scenario of convergence of agents to a moving leader, are presented. The obtained results of simulation modeling are generally adequate to the properties of real prototype systems. The variation of the experimental results corresponds to the variation of the properties of the studied models.

#### Перелік посилань

1. SUCRÉ: Reliability and Resilience for the cooperative control and management of sociotechnical systems: Human(s)-Robot(s) cooperation in hostile environment. LAMIH, <https://www.uphf.fr/LAMIH/en/reliability-and-resilience-cooperative-control-and-management-sociotechnical-systems-humans-robots>
2. Harold L. Sirkin, Michael Zinser, Justin Ryan Rose. The Robotics Revolution. The Next Great Leap in Manufacturing. The Boston Consulting Group (BCG), 2015. – Available at: [https://www.automationsmaland.se/dokument/BCG\\_The\\_Robotics\\_Revolution\\_Sep\\_2015.pdf](https://www.automationsmaland.se/dokument/BCG_The_Robotics_Revolution_Sep_2015.pdf).
3. Аналитическое исследование: Мировой рынок робототехники. НАУРР – 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://robotforum.ru/assets/files/000\\_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototehniki-%28yanvar-2016%29.pdf](http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototehniki-%28yanvar-2016%29.pdf).
4. Fourth Industrial Revolution: From Wikipedia, the free encyclopedia. – Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth\\_Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution)
5. "As soon as they have to start thinking about safety fencing, most of them opt out". Ulrike Goetz, 7. September 2018, <https://www.blog.kuka.com/2018/09/07/collaboration-and-coexistence/?lang=en>
6. Jiang L, Giuggioli L, Perna A, Escobedo R, Lecheval V, Sire C, et al. (2017) Identifying influential neighbors in animal flocking. PLoS Comput Biol13(11): e1005822. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005822> pmid:29161269
7. Jhawar J., Morris R.G., Amith-Kumar U.R. et al. Noise-induced schooling of fish // Nat. Phys. 16, 488–493 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41567-020-0787-y>
8. Wen G. Distributed Cooperative Control for Multi-Agent Systems, Ph.D. Thesis,

2013.