

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 26.204.005
в Інституті проблем математичних машин і
систем НАН України
доктору технічних наук, доценту
Бегуну Василю Васильовичу

РЕЦЕНЗІЯ

ГРЕЧАНІНОВА Віктора Федоровича, кандидата технічних наук, старшого дослідника, завідувача науково-дослідного відділу №220 «Інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем» Інституту проблем математичних машин і систем НАН України на дисертацію **ОЛЕКСІЄНКА Петра Дмитровича** «**Моделі та метод програмного керування роями дронів на основі групового інтелекту**» подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

1. Актуальність теми дослідження

Сучасні робототехнічні та кіберфізичні системи розвиваються у напрямі підвищення автономності, розподілення функцій і здатності спільно діяти у складному динамічному середовищі. Особливе місце серед таких систем посідають рої безпілотних літальних апаратів, застосування яких є перспективним для моніторингу територій, пошуку об'єктів, виконання рятувальних операцій, патрулювання та захисту критичної інфраструктури.

У цьому контексті рій БПЛА розглядається як мультиагентна система, у якій кожний дрон є автономним агентом, а загальна поведінка формується на основі локального обміну інформацією та групового прийняття рішень. Така організація дозволяє забезпечувати адаптивність, відмовостійкість і масштабованість системи, однак водночас суттєво підвищує вимоги до програмного керування окремими агентами.

Актуальність дослідження також визначається необхідністю своєчасного реагування рою на зміни зовнішнього середовища. Поява нової цілі, перешкоди, несправності або повідомлення від іншого агента потребує оперативної зміни поточного алгоритму дій. Традиційні програмні підходи, засновані на циклічному опитуванні станів, можуть спричиняти додаткові затримки та непродуктивне використання обчислювальних ресурсів, що обмежує їх ефективність у системах реального часу.

Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є використання формалізованих виконуваних моделей, які безпосередньо визначають поведінку агента та активуються внаслідок виникнення відповідних подій. Запропонований у дисертації підхід на основі керуючих E-мереж, подієвих тригерів переходів і вбудованої організації моделей відповідає цим вимогам, оскільки забезпечує поєднання формального опису алгоритмів із можливістю їх практичного виконання у програмному середовищі БПЛА.

Практична цінність теми зумовлена її безпосереднім зв'язком із завданнями створення масштабованих ройових систем, здатних діяти за обмеженого часу, нестабільного зв'язку та неповної інформації про зовнішнє середовище.

Отже, актуальність обраної теми полягає у необхідності розроблення нових моделей і методів програмного керування роями дронів, які забезпечують подієву реактивність, підтримку паралельних процесів та узгоджене використання групового інтелекту під час виконання спільної місії.

2. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями

Дисертаційна робота пов'язана з виконанням державної прикладної науково-дослідної роботи «Мультиагентна система захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі рою мультикоптерних дронів», що виконувалася у Національному університеті «Чернігівська політехніка» у 2023–2025 роках, № державної реєстрації 0123U101819.

Результати дисертаційного дослідження використано під час розроблення моделей поведінки рою БПЛА та програмних засобів керування дронами-агентами у складі мультиагентної захисної системи.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їхня достовірність

Наукова обґрунтованість результатів дисертаційного дослідження базується на всебічному аналізі наукових джерел, коректному застосуванні теорії мультиагентних систем, формального апарату керуючих Е-мереж і методів імітаційного моделювання. Наукові положення, висновки та рекомендації є теоретично обґрунтованими, експериментально апробованими й достовірними.

Достовірність отриманих результатів підтверджується програмною реалізацією запропонованого методу, проведенням повторюваних порівняльних експериментів та статистичною обробкою часових, ресурсних і функціональних показників. Загальні висновки дисертації є логічними та переконливими, відповідають поставленим завданням і відображають результати виконаного дослідження.

4. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розробленні та вдосконаленні моделей і методів програмного керування роями дронів на основі групового інтелекту. Запропоновані автором рішення поєднують формальний

опис алгоритмів, подієво-орієнтовану організацію процесів та можливість безпосереднього виконання моделей у програмному середовищі дрона-агента.

Серед основних результатів, які визначають наукову новизну роботи, слід відзначити:

1. Вперше розроблено формальну модель алгоритму керування агентом у складі рою дронів, яка, на відміну від існуючих, безпосередньо виконує роль трирівневої програми керування з подієво-орієнтовним реагуванням на зміну ситуації, що забезпечує узгоджене прийняття рішень при виконанні місії.

2. Вперше розроблено мультиагентну модель поведінки рою мультикоптерних дронів при виконанні місії із захисту інфраструктурних об'єктів, яка, на відміну від існуючих, відтворює роль групового інтелекту в процесі відбиття нападу повітряних цілей з урахуванням можливостей підсистем спостереження та розпізнавання, що дозволяє отримувати попередні оцінки ефективності проектних рішень по системним показникам.

3. Удосконалено формальний апарат керуючих Е-мереж шляхом введення подієвих тригерів переходів, що забезпечує асинхронну активацію елементів моделі на рівнях реагування, планування та взаємодії без використання циклічного сканування станів системи керування, що забезпечує 100-кратне скорочення часу реакції на події.

4. Отримав подальший розвиток метод програмного керування роєм дронів, який, на відміну від існуючих, базується на MVC-підході в запропонованій інтерпретації до процесів керування та взаємодії вбудованих моделей агентів у реальному часі, що забезпечує самоорганізацію поведінки рою дронів з використанням групового інтелекту.

5. Теоретична цінність і практична значущість наукових результатів

Результати дисертації мають теоретичну і прикладну цінність, оскільки розвивають засади модельно-орієнтованого програмного керування

мультіагентними системами БПЛА. Теоретичне значення роботи полягає у формалізації поведінки дрона-агента та поєднанні рівнів реагування, планування і взаємодії засобами виконуваної керуючої моделі.

Запропонований метод програмного керування роєм дронів дозволяє підвищити швидкість реагування системи та ефективність використання обчислювальних ресурсів завдяки подієвій активації елементів моделі без циклічного опитування станів.

Отримані результати створюють основу для практичного використання програмних систем керування роями БПЛА у завданнях моніторингу, пошуку, перехоплення цілей і захисту інфраструктурних об'єктів.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертаційного дослідження повною мірою висвітлено в наукових публікаціях здобувача. Тематика опублікованих праць охоплює теоретичні, модельні, програмні та експериментальні аспекти керування роями дронів і відповідає змісту представленої дисертації.

Результати проведеного дисертаційного дослідження було опубліковано у 6 наукових працях, а саме: 2 (у співавторстві) у наукових фахових виданнях, 3 наукові праці (у співавторстві) опубліковані у виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, 1 теза доповідей (у співавторстві) у збірниках матеріалів конференцій.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Аналіз дисертаційної роботи не виявив випадків порушення академічної доброчесності. Автор послідовно дотримується вимог щодо коректного цитування й оформлення посилань, що свідчить про належний рівень академічної культури та особистої відповідальності.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Розроблена мультиагентна модель досліджується переважно на прикладі оборонного сценарію захисту інфраструктурного об'єкта. Межі перенесення запропонованого методу на моніторингові, пошуково-рятувальні, логістичні та інші класи ройових місій у дисертації окреслено недостатньо чітко.

2. Ефективність запропонованого подієво-орієнтованого механізму оцінюється переважно шляхом порівняння із циклічним опитуванням станів. У роботі не наведено експериментального порівняння з іншими поширеними способами реалізації керуючої логіки, притаманних робототехнічним програмним системам.

3. У дисертації розглядаються нестабільність каналів зв'язку, відмови агентів та інші нештатні умови функціонування рою. Водночас експериментальна перевірка програмного прототипу недостатньо охоплює сценарії втрати повідомлень, затримок передавання даних, перевантаження черг подій, надходження суперечливих повідомлень і відмови окремих компонентів агента.

Водночас подані зауваження мають конструктивний характер і не впливають на наукову або практичну цінність проведеного дослідження.

9. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Олексієнка Петра Дмитровича на тему «Моделі та метод програмного керування роями дронів на основі групового інтелекту» є завершеним науковим дослідженням, яке за своїм змістом, структурою, обсягом, актуальністю, достовірністю отриманих результатів, їхньою науковою новизною і практичною цінністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня

2022 року № 44, а її автор, Олексієнко Петро Дмитрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

кандидат технічних наук,

завідувач

науково-дослідного відділу №220

Інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем

Інституту проблем математичних машин і систем

Національної академії наук України

Віктор Гречанінов

Підпис к.т.н. ГРЕЧАНІНОВА В.Ф. ЗАВІРЯЮ

Учений секретар ІПММС Національної академії наук України

к.т.н., с.н.с.

М.Г. ІЄВЛЄВ

