

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

ВІДГУК

офіційного опонента **ГОЛУБА Сергія Васильовича**, доктора технічних наук,
завідувача кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Черкаського державного технологічного університету
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

Актуальність теми зумовлена тим, що ройова система БПЛА є складною мультиагентною системою, у якій кожен дрон діє як автономний агент, приймає рішення на основі локальної інформації та взаємодіє з іншими учасниками для досягнення спільної мети. За такої організації колективна поведінка формується не лише централізованими командами, а насамперед унаслідок координації локальних дій, обміну повідомленнями та використання механізмів групового інтелекту.

Керування агентом у складі рою має багаторівневий характер і охоплює безпосереднє реагування на події, планування поведінки та взаємодію з іншими агентами. Ці процеси виконуються паралельно та мають різні часові вимоги, тоді як їх процедурна реалізація у вигляді розрізнених програмних компонентів

ускладнює синхронізацію, аналіз переходів між станами та перевірку узгодженості поведінки агента на різних рівнях керування.

У зв'язку з цим актуальним є поєднання формального опису багаторівневої поведінки агента з можливістю безпосереднього виконання відповідної моделі у програмному середовищі. Запропоновані автором рішення, що ґрунтуються на використанні керуючих Е-мереж, подієвих тригерів та MVC-підходу, спрямовані на організацію взаємодіючих паралельних процесів і асинхронну активацію елементів моделі. Це визначає актуальність дисертаційного дослідження для розвитку методів побудови мультиагентних систем реального часу та програмного керування колективною поведінкою автономних агентів.

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

Дисертаційне дослідження пов'язане з виконанням державної прикладної НДР «Мультиагентна система захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі рою мультикоптерних дронів» у Національному університеті «Чернігівська політехніка», № державної реєстрації 0123U101819, 2023-2025 роки.

Зміст дисертації відповідає спрямованості зазначеної НДР у частині мультиагентного подання рою, організації локальної взаємодії агентів і формування колективної поведінки. Отримані здобувачем результати стосуються формалізації багаторівневого керування дроном-агентом, подієвої організації взаємодіючих процесів та підтримки групового прийняття рішень під час виконання спільної місії.

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

Ступінь обґрунтованості отриманих результатів визначається послідовним застосуванням положень теорії мультиагентних і розподілених

систем керування, формального апарату мереж Петрі та їх розширень, методів імітаційного моделювання й аналізу часових характеристик. Запропоновані наукові положення утворюють логічно узгоджену послідовність: від мультиагентного подання рою та формалізації багаторівневої поведінки агента – до вдосконалення керуючих Е-мереж і програмної реалізації виконуваних моделей.

Достовірність висновків забезпечується перевіркою формальних рішень у програмному середовищі, порівнянням подієвої активації з циклічним опитуванням станів та статистичною обробкою результатів повторюваних експериментів. Отримані експериментальні дані узгоджуються з теоретичними положеннями роботи й підтверджують сформульовані автором висновки щодо часової, ресурсної та функціональної ефективності запропонованого методу.

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

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку модельно-орієнтованих засобів побудови мультиагентних систем керування, у яких формальна модель поведінки агента безпосередньо виконує функції керуючої програми. Запропонований підхід охоплює рівні реагування, планування та міжагентної взаємодії, забезпечуючи їх узгоджене й подієво-орієнтоване функціонування в реальному часі.

У дисертації П. Д. Олексієнка обґрунтовано такі положення, що мають наукову новизну:

- 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.

- 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.

- 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.

- 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

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у розвитку методу програмного керування мультиагентною системою, за якого формалізована модель поведінки агента безпосередньо виконує функції керуючої програми. Запропонований метод забезпечує узгоджене функціонування рівнів реагування, планування та міжагентної взаємодії, а введення подієвих тригерів у керуючі Е-мережі дозволяє активувати паралельні процеси без циклічного сканування станів.

Практична значущість методу полягає у можливості його застосування для розроблення програмних систем керування автономними агентами в реальному часі. Реалізація методу у вигляді програмного пакета мовою Python забезпечує створення, вбудовування та виконання CEN-моделей у програмному середовищі дрона, а також спрощує модифікацію алгоритмів його поведінки та взаємодії з іншими агентами.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Наукові результати дисертації належним чином представлені у працях здобувача, зміст яких відповідає меті та основним завданням дослідження. У публікаціях послідовно розкрито мультиагентне подання рою, формалізацію алгоритмів поведінки агентів, подієву організацію керування та програмну реалізацію взаємодіючих процесів.

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

Порушень академічної доброчесності у дисертаційній роботі не встановлено. Автор коректно посилається на використані джерела, а оригінальність поданого тексту та результатів підтверджується перевіркою за допомогою антиплагіатної системи.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1) У дисертації переконливо показано придатність керуючих Е-мереж для опису алгоритмів поведінки агента рою БПЛА, однак порівняльний аналіз цього формалізму з іншими сучасними засобами опису дискретно-подієвих систем подано недостатньо розгорнуто. Зокрема, було б корисно системно зіставити керуючі Е-мережі зі скінченними автоматами, класичними, часовими, кольоровими та ієрархічними мережами Петрі.

2) У другому розділі сформовано широку систему показників, яка охоплює часову ефективність, результативність місії, покриття, координацію та стійкість

до відмов. Однак в експериментальній частині детально перевірено лише частину запропонованих метрик.

3) Експериментальні дослідження містять багаторазові запуски та статистичний опис отриманих результатів. Водночас у роботі не наведено результатів перевірки статистичної значущості відмінностей між циклічним та подієво-орієнтованим підходами.

4) Не всі результати виконання завдань у повній мірі відображені у висновках до дисертації. Так результати виконання завдань «5. Розробити метод вбудовування формальної моделі у програмне забезпечення керування БПЛА» та «7. Оцінити часову, ресурсну та функціональну ефективність запропонованого підходу» потребують більш детального опису у висновках.

5) Було б доцільно відобразити інформаційну технологію, у рамках якої проводились дослідження моделей, методів та засобів, у графічній формі, наприклад у формі діаграми станів.

6) Недостатньо чітко описаний процес верифікації моделей. Необхідно більш детально описувати процеси оцінки їх адекватності, походження масивів даних, на основі яких проводилось моделювання.

7) При оформленні рисунків написи виконані англійською мовою. Зазвичай, якщо дисертація написана українською, то і написи на рисунках повинні бути виконані українською мовою (рис. 4.9 на сторінці 160, рис. 4.10, на сторінці 162 та інші).

Вважаю, що наведені зауваження не мають принципового характеру, і не зменшують наукової та практичної цінності роботи.

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 завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання у галузі комп'ютерних наук. За своїм змістом, структурою,

обсягом, обґрунтованістю і достовірністю наукових положень, їхньою новизною та практичною значущістю дисертація 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».

Офіційний опонент:

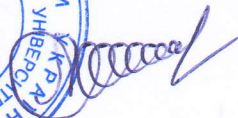
Завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Черкаського державного технологічного університету, доктор технічних наук, професор



Сергій ГОЛУБ

Підпис проф. С. В. Голуба засвідчую.

Перший проректор Черкаського державного технологічного університету, кандидат технічних наук, професор



Артем ГОНЧАРОВ