ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професора кафедри систем керування літальними апаратами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доктора технічних наук, професора Збруцького Олександра Васильовича на дисертаційне дослідження Таранова Дениса Володимировича “Методи адаптивного керування реконфігурацією та структурним злиттям роїв БПЛА в умовах невизначеності”, представлене на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”, галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Актуальність та мета дослідження

Сучасний розвиток безпілотних авіаційних систем характеризується переходом від застосування окремих апаратів до використання автономних груп і роїв БПЛА, здатних виконувати складні завдання моніторингу, розвідки, цілевказання та підтримки тактичних операцій. Такі системи мають значні переваги завдяки децентралізації, масштабованості та підвищеній живучості, однак їх ефективність суттєво залежить від здатності підтримувати узгоджену просторову структуру, стабільний інформаційний обмін та керованість у складних умовах.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах дії радіоелектронної боротьби, відсутності або нестабільності сигналів глобальної навігації, втрати окремих агентів, обмеженості бортових ресурсів та швидкої зміни топології комунікаційної мережі. Класичні підходи, що ґрунтуються на фіксованих формаціях, централізованому керуванні або повній перебудові структури рою, не завжди забезпечують необхідну швидкодію, стійкість і безперервність виконання місії. У зв’язку з цим виникає потреба в розробці нових методів адаптивного керування, які дозволяють рою автономно змінювати формацію,

уникати колізій, підтримувати зв’язність мережі та об’єднуватися з іншими групами без втрати керованості.

Метою дисертаційної роботи Таранова Д.В. є підвищення ефективності та живучості ройових систем БПЛА в умовах динамічної невизначеності та радіоелектронних завад шляхом розробки методів адаптивної реконфігурації формацій і децентралізованого злиття груп. Для досягнення цієї мети в роботі передбачено побудову математичних моделей керування формацією, синтез алгоритму інкрементального злиття роєвих топологій, розробку методу динамічного розподілу ролей на основі асиметричного локального голосування та експериментальну перевірку запропонованих рішень засобами імітаційного моделювання.

Ступінь обгрунтованості наукових положень та результатів, їх достовірності та новизни

Наукові положення, висновки та результати, сформульовані у дисертаційній роботі Таранова Дениса Володимировича, ґрунтуються на комплексному підході, що поєднує аналітичний огляд сучасних методів керування роями БПЛА, побудову математичних моделей, розробку нових алгоритмічних рішень та їх експериментальну перевірку шляхом імітаційного моделювання. Така структура дослідження дозволяє стверджувати, що отримані результати мають достатній рівень теоретичної обґрунтованості, логічної послідовності та прикладної спрямованості.

Насамперед слід відзначити, що теоретичні положення дисертації підтверджені використанням відповідного математичного апарату. У роботі застосовано теорію графів і матричний аналіз для опису комунікаційної топології рою, спектральний аналіз лапласіана графа для оцінки алгебраїчної зв’язності, методи ройового інтелекту та еволюційної оптимізації для синтезу траєкторій, а також підходи теорії автоматичного керування для забезпечення стійкості контурів керування. Це свідчить про те, що автор не обмежується загальною постановкою задачі, а формує цілісну модель процесів адаптивної реконфігурації та структурного злиття роїв БПЛА в умовах невизначеності.

Важливою ознакою обґрунтованості роботи є також послідовний зв’язок між поставленою метою, завданнями, методами дослідження та отриманими результатами. Мета роботи полягає у підвищенні ефективності та живучості ройових систем БПЛА в умовах динамічної невизначеності та радіоелектронних завад. Відповідно до цієї мети в дисертації розроблено математичну модель адаптивного керування формацією, алгоритм інкрементального злиття топологій, метод динамічного розподілу ролей ALVCS та програмний комплекс імітаційного моделювання для перевірки працездатності запропонованих рішень.

Наукова новизна результатів проявляється на кількох рівнях. По-перше, розроблено протокол інкрементального злиття топологій на основі скінченного автомата станів, який дозволяє об’єднувати незалежні рої «на льоту» без зупинки виконання місії та зі збереженням зв’язності мережі. По-друге, удосконалено метод керування формацією шляхом поєднання модифікованого алгоритму ройових частинок PSO з методом штучних потенціальних полів APF та адаптивними ваговими коефіцієнтами. По-третє, набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу ролей у децентралізованих системах завдяки застосуванню алгоритму асиметричного локального голосування ALVCS, що забезпечує вибір координаторів без необхідності глобального консенсусу.

Таким чином, наукові положення, викладені у дисертації, є достатньо обґрунтованими, теоретично коректними та підтвердженими результатами моделювання. Достовірність отриманих результатів забезпечується поєднанням математичного аналізу, алгоритмічного синтезу та експериментальної перевірки. Новизна роботи не викликає сумнівів, оскільки здобувач запропонував комплекс взаємопов’язаних методів, спрямованих на підвищення ефективності, масштабованості та живучості ройових систем БПЛА в умовах невизначеності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності, дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота Таранова Д.В. має логічну та завершену структуру. Вона складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку

використаних джерел та додатків. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об’єкт, предмет, методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

Зміст роботи підтверджує завершеність дослідження. У першому розділі проведено аналіз сучасного стану ройових систем БПЛА, їх архітектур, формацій та сфер застосування. У другому розділі розглянуто методи вибору й утримання формації дронів у режимі реального часу, зокрема із застосуванням PSO та штучних потенціальних полів. У третьому розділі запропоновано підхід до інкрементального злиття роїв БПЛА та алгоритм асиметричного локального голосування ALVCS. У четвертому розділі здійснено імітаційне моделювання та оцінено ефективність запропонованих методів.

Робота поєднує теоретичний і прикладний аспекти: автор використовує математичний апарат теорії графів, методи ройового інтелекту, скінченні автомати та ймовірнісні моделі, а також перевіряє запропоновані рішення шляхом моделювання.

Принципи академічної доброчесності дотримано. У дисертації зазначено, що робота містить результати власних досліджень, а використані ідеї та матеріали інших авторів мають відповідні посилання. Авторські результати відмежовані від відомих підходів.

Мова й стиль дисертації відповідають академічним вимогам. Робота написана науковим стилем із використанням сучасної технічної термінології. Загалом дисертація є завершеним дослідженням і відповідає вимогам до робіт на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення та результати дисертаційної роботи Таранова Д.В. оприлюднено у наукових публікаціях і матеріалах конференцій. За темою дослідження опубліковано 4 статті у науковому фаховому виданні України Electronics and Control Systems, у яких висвітлено питання точного скидання корисного навантаження з FPV-дрона, перебудови рою на основі локальних

можливостей і глобальної координації, прогнозування рухомих цілей та децентралізованого комунікаційного протоколу для малих роїв БПЛА.

Апробація результатів дисертації здійснювалася шляхом участі здобувача у наукових конференціях, зокрема ABIA-2023, «Авіація в XXI столітті», MIT@AIS-2025, ABIA-2025 та IEEE International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control. У матеріалах цих конференцій представлено результати, пов’язані з інтелектуальною класифікацією даних, автозахопленням і трекінгом цілі FPV-дроном, гібридним PSO-MPC, динамічною перебудовою формацій та перехопленням цілей багатошаровим роєм БПЛА.

Представлені публікації відповідають тематиці дисертації та відображають її основні наукові результати. Ознак порушення академічної доброчесності, плагіату чи некоректного дублювання результатів у межах аналізу поданих матеріалів не встановлено.

Дискусійні питання та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи і її окремих положень

Загалом дисертаційна робота Таранова Д.В. виконана на належному науковому рівні, однак окремі її положення мають дискусійний характер і можуть бути предметом подальших досліджень.

1. У роботі доцільно було б детальніше розкрити обмеження застосування запропонованих методів для роїв різної чисельності, особливо у випадках суттєвого збільшення кількості агентів та високої щільності їх розташування.
2. Потребує додаткового пояснення питання вибору окремих параметрів моделювання, зокрема вагових коефіцієнтів у гібридному PSO/APF-підході та критеріїв вибору координаторів в алгоритмі ALVCS.
3. Імітаційне моделювання підтверджує працездатність запропонованих рішень, однак практичну цінність роботи посилила б перевірка алгоритмів у більш наближених до реальних умовах, наприклад із

використанням апаратно-програмного стенду або експериментальних польотних даних.

4. У роботі розглянуто вплив радіоелектронних завад і втрат зв’язку, проте доцільно було б ширше описати можливі сценарії комбінованих впливів, коли одночасно діють завади, втрата агентів і зміна цільового завдання.

Зазначені зауваження не знижують наукової цінності дисертаційної роботи, а лише окреслюють перспективні напрями подальшого розвитку запропонованих методів.

Висновки по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Таранова Дениса Володимировича на тему «Методи адаптивного керування реконфігурацією та структурним злиттям роїв БПЛА в умовах невизначеності» присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності та живучості ройових систем безпілотних літальних апаратів в умовах динамічної невизначеності, радіоелектронних завад, втрати зв’язку та зміни топології мережі.

У роботі розроблено та обґрунтовано методи адаптивної реконфігурації формацій БПЛА, запропоновано гібридний підхід на основі PSO та штучних потенціальних полів, створено протокол інкрементального злиття роїв на основі скінченного автомата станів, а також алгоритм асиметричного локального голосування ALVCS для динамічного вибору координаторів у децентралізованій системі.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням коректного математичного апарату, зокрема теорії графів, спектрального аналізу, методів ройового інтелекту, імітаційним моделюванням у середовищі Python та порівняльною оцінкою ефективності запропонованих рішень. Результати дослідження оприлюднені у наукових публікаціях і матеріалах конференцій.

Дисертаційна робота за актуальністю теми, науковою новизною, практичним значенням, обсягом виконаних досліджень і дотриманням принципів академічної доброчесності відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Здобувач Таранов Денис Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології», галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Підпис гр. Зруцького О.В
ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів
підпис пр-ще

Рецензент:
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри приладів і систем керування літальними апаратами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Олександр ЗБРУЦЬКИЙ