ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професора кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктора технічних наук, професора Шворова Сергія Андрійовича 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

Актуальність дисертаційного дослідження Таранова Д.В. зумовлена зростанням ролі ройових систем БПЛА у сучасних авіаційних, розвідувальних і тактичних задачах, де необхідними є автономність, швидка адаптація до змін середовища та збереження працездатності системи навіть у разі втрати частини апаратів. На відміну від одиночних безпілотних літальних апаратів, рій потребує не лише керування рухом окремих агентів, а й підтримання цілісної інформаційно-комунікаційної структури, узгодженості дій та здатності до оперативної реконфігурації.

Складність цієї задачі посилюється тим, що рої БПЛА можуть функціонувати в умовах невизначеності, активних радіоелектронних завад, нестабільного зв’язку, обмежених енергетичних і обчислювальних ресурсів, а також у середовищах, де використання GNSS є ускладненим або неможливим. За таких умов традиційні централізовані архітектури мають критичну вразливість через наявність єдиного керуючого вузла, а класичні децентралізовані підходи не завжди забезпечують достатню швидкість реакції на зміну топології. Тому науково-прикладна задача створення методів адаптивного

керування реконфігурацією та структурним злиттям роїв БПЛА є своєчасною і має важливе значення для розвитку автоматизованих та комп'ютерно-інтегрованих авіаційних систем.

Метою дисертаційної роботи є розробка та обґрунтування методів адаптивного керування ройовими системами БПЛА, які забезпечують реконфігурацію формації, підтримання зв'язності комунікаційного графа та децентралізоване злиття незалежних груп в умовах динамічної невизначеності. Завдання дослідження охоплюють створення гібридної моделі керування на основі методів ройового інтелекту та штучних потенціальних полів, синтез протоколу інкрементального злиття топологій, розробку алгоритму вибору координаторів ALVCS і підтвердження ефективності запропонованих методів шляхом імітаційного моделювання.

Ступінь обгрунтованості наукових положень та результатів, їх достовірності та новизни

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертаційної роботи Таранова Д.В. можна оцінити як достатньо високий, оскільки дослідження побудоване на поєднанні теоретичного аналізу, математичного моделювання, розробки алгоритмів керування та їх перевірки в імітаційному середовищі. Автор послідовно переходить від аналізу проблем сучасних ройових систем БПЛА до формалізації задачі адаптивної реконфігурації формацій і структурного злиття груп, що забезпечує внутрішню логіку та завершеність наукового дослідження.

Обґрунтованість основних положень дисертації підтверджується тим, що в роботі використано адекватний для поставленої задачі науково-методичний апарат. Для опису структури рою та оцінки його інформаційної цілісності застосовано теорію графів, матричний аналіз і спектральні характеристики комунікаційної мережі. Для побудови траєкторій та адаптивного керування формацією використано модифікований метод оптимізації ройових частинок, доповнений адаптивними ваговими коефіцієнтами, а для локального уникнення колізій і підвищення плавності руху – метод штучних потенціальних полів.

Такий вибір методів відповідає предмету дослідження та дозволяє розглядати рій БПЛА не лише як сукупність окремих агентів, а як динамічну децентралізовану систему зі змінною топологією.

Окремої уваги заслуговує розроблений у дисертації підхід до структурного злиття роїв БПЛА. Формалізація процесу об’єднання незалежних груп через протокол інкрементального злиття на основі скінченного автомата станів дозволяє зменшити невизначеність перехідних процесів та уникнути повної перебудови всієї мережі. Запропонований механізм шлюзових вузлів і контроль алгебраїчної зв’язності створюють підстави для висновку про теоретичну обґрунтованість підходу. Крім того, алгоритм ALVCS, який використовує локальне асиметричне голосування та ймовірнісну модель вибору координаторів, є логічним продовженням ідеї децентралізованого керування без єдиного лідера.

Достовірність результатів підтверджується експериментальною перевіркою запропонованих методів за допомогою імітаційного моделювання. У роботі наведено дослідження сценаріїв адаптивної реконфігурації формації, злиття незалежних роїв, підтримання мережевої зв’язності та збереження керованості за умов втрати окремих агентів. Порівняння з класичними підходами демонструє покращення часових та енергетичних характеристик, зокрема скорочення часу реконфігурації та зменшення енерговитрат. Це свідчить про практичну значущість запропонованих рішень і підтверджує відповідність теоретичних положень результатам моделювання.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробці та вдосконаленні методів, які спрямовані на вирішення актуальної задачі підвищення живучості ройових систем БПЛА. До найбільш суттєвих результатів слід віднести розроблення методу побудови та перебудови формації рою на основі модифікованого PSO з нелінійною адаптацією вагових коефіцієнтів; інтеграцію методу штучних потенціальних полів у контур керування формацією; створення принципу інкрементального злиття роїв на основі скінченного автомата станів; застосування спектрального контролю графа для збереження алгебраїчної

зв’язності; а також розробку підходу до верифікації адаптивних алгоритмів на основі агентного моделювання.

Результати роботи також пройшли апробацію через наукові публікації та доповіді на конференціях, що свідчить про відкритість основних положень дисертації для наукового обговорення. Наявність публікацій за тематикою роботи підтверджує, що ключові результати дослідження були представлені у фаховому науковому середовищі.

Отже, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є логічно обґрунтованими, методично послідовними та підтвердженими результатами імітаційного моделювання. Достовірність одержаних результатів забезпечується використанням сучасного математичного апарату, коректною постановкою задачі, порівняльним аналізом і експериментальною перевіркою. Новизна роботи полягає у створенні цілісного комплексу методів адаптивного керування реконфігурацією та структурним злиттям роїв БПЛА в умовах невизначеності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності, дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота Таранова Д.В. є структурно цілісною та змістовно завершеною. Її побудова відповідає логіці наукового дослідження: від аналізу проблематики адаптивного керування роями БПЛА – до розробки нових методів і перевірки їх ефективності.

У першому розділі розглянуто сучасний стан розвитку ройових систем БПЛА, типи формацій, архітектури керування та обмеження існуючих підходів. У другому розділі сформовано підходи до вибору й утримання формації з використанням методів PSO, APF та топологічних обмежень. У третьому розділі запропоновано принципи структурного злиття роїв, протокол інкрементального злиття та алгоритм ALVCS. У четвертому розділі проведено експериментальну перевірку розроблених рішень засобами імітаційного моделювання.

Зміст дисертації свідчить про завершеність дослідження, оскільки в роботі послідовно визначено проблему, розроблено математичні й алгоритмічні

рішення та здійснено їх перевірку. Важливо, що автор не обмежився теоретичними положеннями, а підтвердив працездатність запропонованих методів у модельному середовищі.

Дотримання академічної доброчесності забезпечено належним цитуванням використаних джерел і чітким виділенням власних результатів здобувача. У роботі не простежується некоректного використання чужих ідей або матеріалів.

Мова дисертації є науковою, термінологічно коректною та відповідає тематиці спеціальності. Окремі фрагменти є технічно насиченими, однак це зумовлено складністю предмета дослідження і не знижує загальної якості роботи.

Отже, дисертаційна робота є завершеною, має логічну структуру, містить науково обґрунтовані результати та відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційного дослідження Таранова Д.В. пройшли належну апробацію та були оприлюднені у наукових працях. Основні положення роботи викладено у 4 статтях у фаховому науковому виданні України Electronics and Control Systems, а також у 5 матеріалах і тезах наукових конференцій.

Тематика публікацій безпосередньо пов’язана зі змістом дисертації та охоплює питання керування БПЛА, адаптивної перебудови роїв, прогнозування рухомих цілей, уникнення перешкод, децентралізованого зв’язку та багатошарових ройових формацій. Результати були представлені на конференціях ABIA-2023, «Авіація в XXI столітті», MIT@AIS-2025, ABIA-2025 та IEEE 8th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control.

Аналіз наведених публікацій свідчить, що вони розкривають ключові результати дисертаційної роботи та підтверджують їх апробацію в науковому середовищі. Публікації узгоджуються з темою дисертації, а подані матеріали не містять ознак недотримання принципів академічної доброчесності.

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

Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, проте під час її аналізу можна виділити кілька дискусійних положень і зауважень.

1. У дисертації достатньо переконливо представлено результати імітаційного моделювання, однак бажано було б детальніше обґрунтувати вибір базових методів для порівняння із запропонованими алгоритмами, щоб чіткіше показати переваги розробленого підходу імітаційного моделювання в умовах невизначеності.
2. Окремого пояснення потребує стійкість запропонованих алгоритмів до зміни параметрів середовища, зокрема рівня втрат пакетів, затримок у каналах зв’язку та похибок локалізації агентів.
3. У роботі подано оцінку обчислювальної складності алгоритмів, однак практичну спрямованість дослідження посилило б докладніше висвітлення вимог до бортових обчислювальних ресурсів БПЛА.
4. Запропонований підхід до злиття роїв є цікавим і перспективним, але в подальших дослідженнях доцільно розглянути його застосування для гетерогенних груп БПЛА з різними швидкісними, енергетичними та сенсорними характеристиками.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Вони можуть бути враховані автором у подальших наукових дослідженнях.

Висновки по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Таранова Д.В. є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено важливу задачу розробки методів адаптивного керування реконфігурацією та структурним злиттям роїв БПЛА в умовах невизначеності. Обрана тема є актуальною для сучасних автоматизованих авіаційних систем, оскільки пов’язана з підвищенням автономності, стійкості та живучості ройових систем у складних умовах функціонування.

Наукова новизна роботи полягає у розробці методів адаптивної перебудови формацій БПЛА, підтримання зв'язності комунікаційного графа, інкрементального злиття незалежних роїв та децентралізованого розподілу ролей між агентами. Практичне значення результатів підтверджується можливістю їх використання для моделювання й подальшої реалізації ройових систем БПЛА, що працюють в умовах радіоелектронних завад, втрати окремих агентів і нестабільного зв'язку.

Основні положення дисертації є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними, оскільки вони базуються на сучасному математичному апараті, алгоритмічному синтезі та імітаційному моделюванні. Зміст роботи відповідає поставленій меті та завданням, а результати дослідження пройшли апробацію через наукові публікації та конференційні матеріали.

Дисертація відповідає вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Таранов Денис Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Офіційний опонент:
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України

Сергій ШВОРОВ

