

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Кир'янова Артемія Юрійовича на тему «Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дисертації.

На сьогоднішній день проблема групового управління автономними об'єктами у реальних умовах є досить актуальною. Це обумовлено в першу чергу складністю управління, динамічними змінами параметрів обстановки та обмеженнями на вхідні сигнали управління в реальних системах «автопілот-БПЛА». Проблемі групового управління безпілотних літальних апаратів (БПЛА) присвячено багато досліджень та публікацій зарубіжних та українських вчених, таких як: A. Piccard, C. Ryan, C. Peebles, G. Collins, A. Erickson, N. Baldock, M. R. Mokhtarzadeh-Dehghan, L. N. Craig, R. Olfati-Saber, R.W. Beard, W. Ren, T.W. McLain, H. Yamaguchi, а також Л. Артюшин, О. Кононов, О. Машков, Д. Кучеров, Т. Шевельова, П. Павленко, Д. Бондарев, В. Голембо, А. Бочкарьов, О. Мартинюк, В. Герасименко, О. Барабаш та інших.

У роботах вищевказаних вчених досліджувалися задачі групового управління автономних БПЛА та їх спільного виконання поставлених завдань. Особливістю цих завдань є побудова та підтримка заздалегідь визначеної геометричної форми групи автономних об'єктів протягом всієї місії. Слід додати, що груповий політ БПЛА знаходить своє застосування в багатьох практичних завданнях, підтверджуючи ефективність використання груп БПЛА у порівнянні з поодинокими польотами. Значним недоліком в більшості досліджень у цій галузі є використання спрощених моделей БПЛА, які не враховують високорівневу нелінійну динаміку БПЛА або динаміку систем автопілота. Згідно з цим, задачу децентралізованого управління можна реалізувати на програмному рівні під час відстеження заданої траєкторії та відносного положення кожного БПЛА в групі. Отже, питання групового управління БПЛА залишається актуальним і перспективним для подальшого вивчення. Також це дає можливість удосконалення в автономній робототехніці та технологіях БПЛА за рахунок реалізації ефективного математичного та програмного забезпечення на борту літального апарату. Тому виконання наукового завдання, яке полягає в розробці методів та архітектури програмного забезпечення для децентралізованого групового управління БПЛА з урахуванням особливостей їх динаміки, а також розробці

математичної моделі для експериментального дослідження ефективності управління груповим польотом БПЛА, є актуальним. Саме вирішенню цього завдання і присвячена дисертаційна робота Кир'янова А.Ю.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в такому:

Вперше розроблено архітектуру та програмне забезпечення для управління та візуалізації групових польотів БПЛА, що базується на використанні децентралізованої архітектури взаємодії на основі схем консенсусу та гетерогенних векторних полів для відстеження заданої траєкторії руху. Зазначене програмне забезпечення відрізняється від відомих лінійних моделей завдяки інтеграції автопілотів БПЛА, що розширює можливості практичного застосування за межами існуючих підходів. Програмне забезпечення дозволяє підтримувати різні статуси місій та дронів та надає можливості користувачам виконувати різноманітні дії через інтерфейс для групового управління. Використання даного програмного забезпечення дозволяє керувати групами БПЛА для виконання різних завдань, зменшуючи енергетичні та часові витрати на виконання завдань.

Удосконалено метод простору відносних станів для формування групового управління БПЛА, що відрізняється від відомих законів керування точковими масами врахуванням динаміки польоту БПЛА. Реалізація зазначеного методу дозволяє мінімізувати загальну енергію, необхідну для підтримки групи БПЛА, враховуючи відстань між сусідніми БПЛА та необхідну корекцію курсу, що дозволило знизити енергоспоживання на 20 %.

Удосконалено метод формування керуючих впливів наведення БПЛА, який відрізняється від традиційних законів керування застосуванням методу нелінійного синтезу. Метод не враховує точне відстеження керуючих сигналів кінематичними моделями БПЛА, що дозволяє істотно збільшити ефективність виконання місій. Врахування сил притягування та відштовхування, що реагують на зміни в динаміці групи та середовища, дозволяє оптимізувати шляхи БПЛА для зниження загального часу місії та витрат енергії для групи з 15 БПЛА, що призвело до скорочення часу виконання місії на 25 %.

Удосконалено модель групового польоту БПЛА в середовищі MATLAB/Simulink, яка, на відміну від спрощених моделей, реалізує нелінійну динаміку апаратів і стандартні автопілоти для кожного з них, що дозволяє проводити налаштування параметрів у законах групового управління, оцінювати дію атмосферних полів на груповий політ БПЛА, а також здійснювати візуалізацію одержаних результатів.

Отримані в роботі результати є коректними і базуються на

математичному апараті, доведених теоретичних твердженнях, а також на результатах проведених експериментів. Математичні викладення та докази, що наведені в роботі є коректними.

Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення й дослідження науково-методичного апарату з розробки моделей, методів та програмного забезпечення у практичних застосуваннях для підвищення точності та ефективності управління БПЛА, зокрема у сфері моніторингу, пошуку, рятування та військових цілях.

Дисертаційне дослідження виконане відповідно до планів наукової та науково технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці та є частиною досліджень в рамках науково-дослідної роботи: «Методи забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційних систем» (державний реєстраційний № 0121U108334, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ), яку виконує Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у 2021 – 2025 р.

Реалізація запропонованої в дисертації комплексної системи управління та методів і програмного забезпечення можуть бути застосовані при розробці систем групового управління безпілотними літальними апаратами. Ці системи є важливими для вирішення різноманітних практичних завдань. Наприклад, вони можуть бути використані для радіолокаційної локалізації, операцій радіоелектронної боротьби, подолання ППО противника за допомогою хибних цілей. Крім того, вони дозволяють координувати ураження цілей, формувати антенні решітки на базі БПЛА для покращення зв'язку і вимірювати швидкість вітру для метеорологічних досліджень. Ці досягнення також дозволяють збільшити корисне навантаження або дальність польоту за рахунок зменшення індуктивного опору під час польотів у щільних групах. Такі застосування підкреслюють широкомасштабний вплив результатів досліджень на ефективність застосування як військових, так і цивільних БПЛА.

В дисертації проведено аналіз ефективності удосконалень для запропонованих методів та алгоритмів. Значних змін було досягнуто в методі простору відносних станів для формування групового управління, який, в результаті удосконалення, враховує динамічну поведінку БПЛА в польоті. Застосування цього методу дозволило помітно зменшити загальну кількість енергії, необхідної для підтримання положення групи БПЛА, що призвело до зниження енергоспоживання на 20 %. Крім того, удосконалено метод формування керуючих впливів на БПЛА шляхом нелінійного синтезу. Цей метод не покладається на точне відстеження керуючих сигналів кінематичними моделями БПЛА, що дозволило суттєво підвищити ефективність виконання місії. Включення адаптивних сил притягування та

відштовхування, які реагують на групову динаміку і зміни навколишнього середовища, оптимізує траєкторії руху БПЛА. Це дозволило на 25 % скоротити час виконання місії для групового управління з 15 БПЛА. Це надає можливість стверджувати, що ефективність використання цих методів у практичних застосуваннях для підвищення точності та ефективності управління безпілотними літаками, зокрема у сфері моніторингу, пошуку, рятуванні та військових цілях, підвищується.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кир'янова А.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інженерії програмного забезпечення.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кир'янова Артемія Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Матеріал викладено зрозуміло та з логічною послідовністю. В кожному розділі є відповідні посилання на відповідні джерела та представлені результати досліджень.

Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставленої мети і задач досліджень, що сприяє доступності сприйняття та використання. Дисертаційна робота загальним обсягом 206 сторінок машинописного тексту складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 152 найменувань та додатків. Дисертація містить 53 рисунків, 3 таблиці і 3 додатків.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, серед яких 4 наукових статті в фахових журналах, затверджених МОН України, із них 1 стаття проіндексована Scopus, а також 8 публікацій в матеріалах наукових конференцій.

Всі публікації здобувача відповідають високому науковому рівню. В кожній з наукових публікацій дотримано принципів академічної доброчесності. В них детально описані головні наукові здобутки. Роботи, опубліковані у співавторстві, відображають особистий внесок автора, розкривають результати дисертаційних досліджень та не викликають сумнівів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності управління формуванням та підтримкою заданого положення групи автономних безпілотних літальних апаратів за рахунок розробки методів, алгоритмів та програмного забезпечення децентралізованого управління, що враховує нелінійний характер структури систем "автопілот-апарат", але в дисертаційній роботі не вказані кількісні значення на скільки ці показники зростають за рахунок застосування в цілому запропонованих автором моделей та методів.

2. Розділ 1 дисертації присвячено порівняльному аналізу, який охоплює вирішення завдань безпеки, уникнення зіткнень та забезпечення стабільності польоту при спільному виконанні місій. Слід зауважити, що постановочна частина дисертації (розділ 1) виглядала б краще, якби більш наглядно, у вигляді діаграм та графіків були б наведені порівняльні характеристики існуючих методів керування групами БПЛА. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зроблених автором висновків щодо необхідності удосконалення моделей керування групами БПЛА, що використовує механізм на основі застосування децентралізованого управління груповим польотом на основі теорії неоднорідного векторного поля.

3. В другому розділі дисертації удосконалюються методи групового управління на основі методу простору відносних станів і адаптивності векторного поля. Доцільно було узагальнити доведення даних і показати, що структура запропонованої системи дозволяє виявляти нештатні ситуації та застосувати заходів щодо нейтралізації негативних наслідків.

4. В роботі відсутній детальний аналіз недоліків сучасного стану процесів групового керування БПЛА та опис алгоритмів зазначеного процесу. Також не було розглянуто особливості військових систем та протидію кібернетичним атакам на них, а також питання стійкості до РЕБ.

Проте, висловлені зауваження не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кир'янова Артемія Юрійовича на тему «Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «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 р. № 44.

Здобувач Кир'янов Артемій Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Рецензент:

Професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор

« 1 » серпня 2024 року

