

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента, старшого дослідника, доцента кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Чернігівська політехніка» **Степенка Сергія Анатолійовича**

на дисертаційну роботу

Солодчука Максима Олександровича на тему:

«Електромеханічна система двокоординатного позиціонування допоміжної відеокамери безпілотного літального апарату»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження

У сучасних умовах стрімкого розвитку безпілотних авіаційних комплексів спостерігається зростання ролі автоматизованих систем збору та обробки інформації, отриманої з повітряних платформ. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) широко застосовуються для виконання завдань спостереження, розвідки, пошуково-рятувальних операцій, що зумовлює підвищені вимоги до ефективності виявлення та ідентифікації об'єктів інтересу в умовах обмеженого часу та ресурсів.

Однією з ключових проблем є перевантаження пілота-оператора великими обсягами візуальної інформації, що негативно впливає на якість прийняття рішень та підвищує ймовірність пропуску цільових об'єктів. У зв'язку з цим актуальною задачею є розвиток технічних рішень, спрямованих на автоматизацію процесів виявлення та супроводження об'єктів із використанням методів комп'ютерного зору та інтелектуальних алгоритмів.

Ефективним напрямом вирішення зазначеної задачі є застосування електромеханічних систем позиціонування допоміжних відеокамер, які працюють у взаємодії з бортовими детекторами об'єктів. Це дозволяє розподілити функції пошуку та ідентифікації, зменшити навантаження на оператора та підвищити ефективність виконання місій.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, присвячена розробці електромеханічної системи двокоординатного позиціонування допоміжної відеокамери БпЛА, є актуальною та має важливе науково-прикладне значення.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, є обґрунтованими та базуються на комплексному аналізі сучасних підходів до побудови систем позиціонування та обробки відеоінформації в БпЛА.

У роботі застосовано сучасні методи дослідження, зокрема математичне моделювання, теорію електроприводу, методи теорії автоматичного керування, а також інструменти комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB/Simulink. Отримані результати підтверджені експериментальними дослідженнями на фізичному прототипі системи, що забезпечує їхню достовірність.

Висновки дисертаційної роботи логічно узгоджуються з поставленими завданнями, відповідають меті дослідження та базуються на результатах власних теоретичних і експериментальних досліджень автора.

Структура і зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку зі 148 використаних джерел та 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 209 сторінок, зокрема 165 сторінок основного тексту.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану розвитку оптико-електронних систем БпЛА, розглянуто особливості оптичної локації та методи пошуку об'єктів, а також визначено основні проблеми, пов'язані з навантаженням на оператора та обмеженнями існуючих систем.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню структури системи двокоординатного позиціонування допоміжної відеокамери, розробці методу

формування дискретних команд керування та аналізу людино-машинної взаємодії.

У третьому розділі розглянуто принципи побудови електромеханічної системи позиціонування, розроблено математичні моделі електроприводів, здійснено синтез системи керування та проведено імітаційне моделювання.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень, виконаних на створеному програмно-апаратному комплексі, що підтверджують ефективність запропонованих рішень.

Дисертаційна робота є логічно структурованою, послідовною та завершеною.

Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності пошуку об'єктів інтересу за допомогою БПЛА шляхом розробки електромеханічної системи позиціонування допоміжної відеокамери.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

- запропоновано структуру системи з функціональним розподілом каналів виявлення та ідентифікації об'єктів із використанням допоміжної відеокамери з електромеханічним позиціонуванням;
- розроблено метод формування дискретних команд позиціонування на основі геометричного зонування зображення.

Удосконалено:

- математичну модель електроприводу з урахуванням дискретності сигналів у системі керування;

Набули подальшого розвитку:

- методи керування електроприводами позиціонування шляхом переходу до дискретного ступінчастого позиціонування.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Отримані результати мають теоретичне значення, оскільки розвивають підходи до побудови та аналізу електромеханічних систем позиціонування в умовах обмежених ресурсів БпЛА.

Практичне значення полягає у розробці та експериментальній перевірці прототипу системи позиціонування, яка може бути використана при створенні сучасних безпілотних авіаційних комплексів, а також у навчальному процесі.

Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені у наукових публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць, серед яких 4 статті у фахових наукових виданнях України, включених до категорії «Б», та 3 публікації у виданнях, індексованих у наукометричній базі Scopus. Також апробацію результатів засвідчують 4 тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Публікації охоплюють основні положення дисертації, зокрема питання побудови електромеханічної системи позиціонування, розробки алгоритмів керування та експериментальної верифікації результатів.

Матеріали роботи апробовані на наукових заходах та обговорені у професійному середовищі. Зміст наукових публікацій відповідає темі дисертації, відображає її основні результати та підтверджує особистий внесок здобувача. Наукові праці містять активні ідентифікатори DOI (Digital Object Identifier).

Наукові публікації відповідають вимогам п. 8, 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.

Дотримання норм академічної доброчесності

Дисертація відповідає нормам і принципам академічної доброчесності та нормам авторського права, порушень цих норм та академічного плагіату не виявлено.

Дисертація містить посилання на релевантні джерела, перелічені у списку використаних джерел, а особистий внесок автора в опубліковану роботу підтверджено у співавторстві.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі використовується поняття «дискретного позиціювання» (зокрема у розділі 2, с. 71), однак не наведено достатньо чіткого порівняння з класичними методами безперервного трекінгу (servo tracking) з точки зору критеріїв якості, таких як точність наведення, швидкодія та енергоспоживання.
2. При використанні нейромережових детекторів об'єктів YOLO (с. 55, 65) відсутній аналіз впливу помилок детектування (false positive / false negative) на точність позиціонування допоміжної камери, що може суттєво впливати на ефективність системи в реальних умовах.
3. У розділі 3 при побудові математичної моделі електроприводу використано спрощення, зокрема апроксимацію динаміки системи передатною функцією обмеженого порядку. Водночас відсутнє обґрунтування впливу таких припущень на точність моделювання при зміні параметрів навантаження та швидкісних режимів.
4. Експериментальні дослідження (розділ 4) виконано на лабораторному прототипі програмно-апаратного комплексу (2DCAM), при цьому не відображені результати повномасштабних випробувань у реальних умовах експлуатації БПЛА, зокрема з урахуванням вібрацій, аеродинамічних збурень та змін освітлення.

5. У дисертаційній роботі недостатньо детально розглянуто питання часових затримок у контурі керування, зокрема затримок обробки відеопотоку та передачі команд, що можуть становити десятки мілісекунд і впливати на точність позиціонування та стійкість системи.
6. У дисертації запропоновано метод формування дискретних команд позиціонування на основі геометричного зонування зображення (розділ 2, с. 65-75), однак методологічно не в повній мірі розкрито питання вибору параметрів зонування (розмірів зон, їх кількості та геометрії) з точки зору оптимальності системи в цілому. Зокрема, відсутній аналіз компромісу між точністю позиціонування, швидкістю системи та обчислювальними витратами, а також не сформульовано критерії оптимізації, які б дозволили обґрунтовано визначати ці параметри для різних сценаріїв застосування БпЛА, що ускладнює можливість узагальнення отриманих результатів та їх перенесення на інші конфігурації систем.

Наведені зауваження не впливають на загальний позитивний висновок щодо виконаної дисертаційної роботи.

Загальні висновки та оцінка дисертації

Дисертаційна робота Солодчука Максима Олександровича на тему «Електромеханічна система двокоординатного позиціонування допоміжної відеокамери безпілотного літального апарату» є завершеною науковою працею, яка має наукову новизну, достовірні результати та практичну цінність.

За змістом, структурою та рівнем виконання дисертаційна робота відповідає вимогам чинних нормативних документів, зокрема Порядку присудження ступеня доктора філософії.

За змістом, структурою, обсягом та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Про

затвердження 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 №44 від 12 січня 2022.

Враховуючи вищезазначене, Солодчук Максим Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
старший дослідник, доцент кафедри
електричної інженерії та інформаційно-
вимірювальних технологій Національного
університету «Чернігівська політехніка»

Сергій СТЕПЕНКО