

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Соколова Кирила Анатолійовича

на тему «Методи адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого малорозмірного БПЛА за даними відеокамери та далекоміра»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність теми дисертації.

Кількість сфер застосування різноманітних БПЛА невпинно зростає, що безпосередньо впливає на темпи їх виробництва. Зростання кількості малорозмірних БПЛА зумовлено не тільки їх високою мобільністю, а також і можливістю переносити корисне навантаження. Для забезпечення безпеки об'єктів приватної власності та цивільної інфраструктури нагальною є потреба у розробці нових ефективних методів адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого малорозмірного БПЛА. Виконання такої задачі потребує певних технічних засобів збору інформації таких як системи відеоспостереження, аудіо системи, радіолокатори тощо. Поєднання камери та далекоміру дозволяє отримувати відеодані та дані про дистанцію до об'єкту у повітрі. Таке комплексування каналів отримання інформації надає можливість однозначно визначити місцезнаходження повітряного об'єкту у просторі. Використання сучасних пристроїв надає можливість широкої інтеграції компонентів між собою та забезпечує гнучкість розгортання комплексу, що містить у собі камеру та далекомір. Розроблені методи адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого малорозмірного БПЛА у поєднанні з алгоритмами керування рухомою камерою або рухомою платформою дозволяють спрямовувати далекомір, що забезпечує цілісну роботу комплексу стеження за МБПЛА. Сучасні підходи в розв'язанні наукових задач з визначення місцеположення та відслідковування повітряних об'єктів у просторі переважно використовують апарат обробки нейронними мережами, що має ряд переваг, проте значним недоліком таких рішень є необхідність у значних обчислювальних ресурсах для їх реалізації. Авторський підхід у розв'язанні наукової задачі, який полягає у розробці методів адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними відеокамери та далекоміра, що забезпечують підвищення точності визначення його місцеположення, виявлення типів руху повітряного об'єкта з високою імовірністю, що на противагу не вимагають значних обчислювальних витрат, і визначає надзвичайну актуальність дисертаційного дослідження Соколова К. А.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено метод адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними відеокамери з використанням кореляційного пошуку, в якому, на відміну від існуючих, виконується розпізнавання виду його руху, що дозволяє підвищити точність оцінювання і будувати строби супроводу адекватно поточній ситуації.

2. Розроблено метод адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними далекоміру при наявності пропусків та хибних вимірювань, в якому, на відміну від існуючих, виконується сумісне розпізнавання виду його руху і хибних вимірювань, що дозволяє підвищити точність оцінювання і забезпечує стійку роботу адаптивного фільтру.

3. Модифіковано метод адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними далекоміру за рахунок фіксування коефіцієнтів підсилення каналів фільтру, що забезпечує зниження обчислювальних витрат.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі радіотехнічних систем (РТС) радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках в рамках держбюджетної теми: № 2317п «Програмний комплекс моделювання процесів обробки траєкторної інформації в системі захисту від малорозмірних безпілотних літальних апаратів» (номер державної реєстрації — 0120U102321) під керівництвом завідувача кафедри д.т.н, професора Жука Сергія Яковича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, а саме розробити методи адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними відеокамери та далекоміра, що забезпечують підвищення точності визначення його місцеположення і не вимагають значних обчислювальних витрат, 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 Соколова К. А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «172 Телекомунікації та радіотехніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Телекомунікації та радіотехніка.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Соколова К. А. 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. Текст дисертації характеризується смисловою завершеністю, доступністю викладення, цілісністю й логічною послідовністю. Дисертація написана з використанням сучасного наукового стилю, що склався в технічних науках та, в основному, термінології, яка є прийнятою у науковому напрямку, до якого відноситься дисертація.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації 187 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання, предмет та об'єкт, подано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Наводиться інформація про список публікацій автора.

У *першому розділі* увагу приділено основним теоретичним засадам дослідження. Автором наголошено актуальність обраної тематики дослідження на початку розділу. Надано часткову класифікацію БПЛА та розглянуто будову та принцип роботи квадрокоптеру, який відноситься до класу малорозмірних БПЛА. Зазначені основні види повітряних об'єктів та виокремлено особливості руху різних БПЛА. Надана класифікація пропульсивних систем БПЛА за допомогою якої автор описує додаткові фактори виявлення БПЛА. Розглянуто сучасні системи відеоспостереження в розрізі, який важливий для дослідження. Наведено приклад конструктивне виконання комбінованої системи відеоспостереження та описано принцип роботи сучасної ІР камери. Оглянуто базові теоретичні засади роботи лазерних далекомірів та їх класифікацію. Розглянуто принцип функціонування класичного FMCW радару та роль трирівневого процесу FFT у контексті обробки сигналів даного радару. Графічно проілюстровано типові маневри, що здатні виконувати МБПЛА. Проведено аналіз методів виявлення та супроводження рухомих об'єктів на послідовності кадрів системи відеоспостереження на основі теорії комп'ютерного і технічного зору. Розглянуто алгоритм фільтра Калмана та сучасні методи адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючих об'єктів. Виконано постановку задачі дослідження. Розділ завершено структурованими висновками.

У *другому розділі* детально описано розробку алгоритмів адаптивного оцінювання параметрів руху МБПЛА за даними відеокамери. Описано проекційну модель системи координат камера та модель руху МБПЛА. Показано параметри руху маневруючого БПЛА у різних системах координат. Надано геометричне представлення проективної моделі відеокамери. Детально розглянуто питання застосування методу кореляційного пошуку на кадри відеопослідовності. Наведено енергетичні характеристики тестових зображень. Побудовано графіки нормованих взаємно кореляційних функцій тестових зображень та еталону. Розглянуто питання стробування ділянки зображення при використанні кореляційного пошуку. Проведено синтез оптимального та квазіоптимального алгоритмів адаптивного оцінювання з використанням кореляційного пошуку. Проаналізовано роботу квазіоптимального алгоритму з наведенням графіків математичних очікувань і СКВ помилок оцінки то прогнозу положення МБПЛА. Графічно показані ймовірності розпізнавання адаптивним алгоритмом різних видів руху МБПЛА. Розділ завершено структурованими висновками.

Третій розділ дослідження присвячений розробці методів адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними далекоміру. Виконано синтез низки оптимальних і квазіоптимальних алгоритмів адаптивного оцінювання та проведено їх аналіз. Окрему увагу приділено розробці адаптивного алгоритму з постійними коефіцієнтами підсилення каналів фільтру та розробці адаптивного алгоритму при наявності пропусків та хибних вимірювань. Для кожного алгоритму наведені характеристики помилок оцінок і прогнозу дальності та швидкості при використанні адаптивного фільтра, а також графічно проілюстровані ймовірності визначення типу руху БПЛА у різних випадках. Наведені потенційні СКВ помилок прогнозу дальності та швидкості для трьох типів руху на різних інтервалах. Розділ завершено структурованими висновками.

Четвертий розділ висвітлює пропозиції щодо побудови комплексу стеження за МБПЛА з використанням відеокамери та далекоміра. На початку розділу наведено приклад отримання відеопотоку з використанням середовища MATLAB. Графічно надано експериментальну модель роботи комплексу стеження за МБПЛА, та описано принцип роботи визначеної конфігурації комплексу. Розглянуто сучасні IP PTZ відеокамери та наведено принцип керування такими камери з використання протоколу ONVIF. Детально описано синтез програмного алгоритму керування IP PTZ відеокамерою на базі вищезазначеного протоколу, зокрема описано структуру запиту на здійснення операції керування. Також автором виконано синтез оптимального PID контролера для керування механізмами поворотної платформи далекоміра. Розглянуті характеристики крокових двигунів, які можуть бути використані для

побудови поворотної платформи. Власне наведені основні характеристики досліджуваної моделі поворотної платформи, та змодельовано її роботу. Запропоновані дві конфігурації комплексу стеження за МБПЛА, які різняться за вмістом компонентів і відповідно вартісними показниками. Коротко описані основні вимоги до комплектуючих обох конфігурацій комплексу. Розділ завершено структурованими висновками.

Загальні висновки містять послідовно викладені тези, які повною мірою відображають результати дослідження.

Список використаних джерел містить 147 позицій актуальної літератури та інтернет джерел.

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.

Наукові результати дисертації висвітлені у 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України (на момент опублікування) за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка, з них 1 стаття у періодичному науковому фаховому виданні проіндексованому у базі Web of Science Core Collection та 10 тез виступів на наукових конференціях.

Також результати дисертації були апробовані на 9 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень перерахованих публікацій може бути оцінений як високий, у них дотримано принципів академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В роботі проведеного порівняння розробленого адаптивного алгоритму оцінювання параметрів руху маневруючого МБПЛА за даними далекоміру з алгоритмом калманівської фільтрації. Було б доцільно провести таке порівняння також і для адаптивного алгоритму з використанням кореляційного пошуку на послідовності кадрів.

2. У підрозділі 4.2 автор згадує PTZ операцію MoveAndStartTracking описану у WSDL файлі, яка здатна виконувати автоматичне відслідковування об'єкта на зображенні, проте не зазначає чому саме її не використовує.

3. В дисертаційному дослідженні не розглянуто задачу виявлення зриву супроводження МБПЛА в далекомірному каналі.

4. У роботі не наведено алгоритмів керування наближенням PTZ відеокамери в залежності від дальності до об'єкта.

5. Поодинокі орфографічні та граматичні помилки, у роботі зустрічаються малі та розмиті рисунки. Подекуди не витримано оформлення роз'яснень формул, а також наявні поодинокі розбіжності символічних позначень у тексті та на рисунках.

6. Здебільшого перевантажений перший розділ, у якому здобувач проводить аналіз сучасних систем відеоспостереження, далекомірів, існуючих методів пошуку об'єкта на послідовностях зображень а також огляд адаптивних методів оцінювання параметрів руху.

7. У другий та третій розділи переобтяжені формулами, які можна було б винести у додатки.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Соколова Кирила Анатолійовича на тему «Методи адаптивного оцінювання параметрів руху маневруючого малорозмірного БПЛА за даними відеокамери та далекоміра» 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 електроніки та телекомунікації. 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.

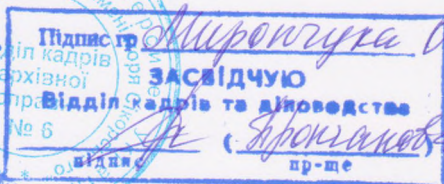
Здобувач Соколов Кирило Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент:

Доцент кафедри
радіотехнічних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
PhD, доцент



Олександр МИРОНЧУК



« 06 » 06 2025 року