

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Клим Галини Іванівни

на дисертацію **Цзен Сіньюй (Zeng Xinyu)**

«Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів»

(“Hardware-software and metrological support of drones”),

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка,

галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

1. Актуальність теми

Сучасний розвиток безпілотних апаратів відкриває широкі можливості для їх застосування у різних сферах, таких як військова справа, аграрний сектор, екологічний моніторинг, логістика, рятувальні операції та інші. Однак ефективне використання дронів потребує високоточного апаратно-програмного забезпечення та метрологічного контролю, що забезпечує їх надійність, точність навігації, коректність збору та опрацювання даних.

На сьогодні існує низка проблем, пов'язаних із недостатньою точністю сенсорів, стабільністю програмного забезпечення, а також відсутністю стандартизованих методик калібрування та метрологічного контролю. Це обмежує використання дронів у критично важливих сферах, у різних середовищах, де потрібна висока точність вимірювань та автоматизований аналіз даних.

Розроблення та удосконалення апаратно-програмного комплексу для дронів, а також створення ефективних методів метрологічного забезпечення є важливими напрямками наукових досліджень, що сприятимуть підвищенню точності, безпеки та функціональності безпілотних систем. У цьому контексті тема дисертації є актуальною та відповідає сучасним викликам у сфері розвитку безоператорних технологій.

2. Аналіз структури та змісту дисертації

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Загальний обсяг дисертації з додатком становить 163 сторінки, список використаних джерел містить 72 найменування.

У вступі окреслено актуальність теми дисертації, мету, завдання дослідження, продемонстровано зв'язок роботи з науковими темами кафедри, відзначено наукову новизну результатів, їх практичне значення, особистий внесок дисертанта, описано об'єкт, предмет та методи дослідження.

У першому розділі описано концепцію та особливості створення безпілотної системи, здатної функціонувати у водному середовищі. Особлива увага приділяється інтеграції апаратних компонентів, зокрема Nvidia Jetson для опрацювання даних у режимі реального часу та ROS, що забезпечує модульність системи та ефективну інтеграцію програмного забезпечення. Також у цьому розділі проаналізовано технічні аспекти та вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань, що є ключовими для оптимізації конструкції.

Другий розділ присвячений створенню тестової платформи для дослідження гідродинамічних характеристик дрона в реальних умовах експлуатації на воді. Також розглядаються метрологічні аспекти, необхідні для забезпечення високої точності вимірювань, зокрема калібрування сенсорів, вплив зовнішніх факторів і відтворюваність одержаних даних. Дослідження продуктивності дрона в контрольованих умовах дозволяє встановити взаємозв'язок між споживанням енергії та ефективністю роботи двигуна.

Третій розділ сфокусований на вирішенні проблем керування дроном у підводному середовищі, зосереджуючись на оптимізації його стабільності та точності позиціонування за допомогою вдосконалених алгоритмів фільтрації. Також відзначено ключову роль опрацювання даних у реальному часі для підвищення ефективності керування, зокрема, у динамічних умовах, де точність навігації є критично важливою. Розглянуті методи фільтрації дозволяють мінімізувати похибки вимірювань та підвищити достовірність даних, одержаних від сенсорів.

Четвертий розділ присвячений дослідженню гідродинамічної моделі, створеної на основі даних у реальному часі, одержаних із сенсорів та встановлених на дроні. Ця модель дозволяє безпілотнику адаптуватися до змінних підводних умов, прогнозуючи гідродинамічні сили. Використання методів машинного навчання, зокрема лінійної регресії, сприяє оптимізації руху дрона та підвищенню його ефективності. Також розглядається метрологічне забезпечення для перевірки точності зібраних даних.

Висновки містять інформацію щодо основних наукових результатів роботи.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень та висновків у дисертації є достатньою і базується на детальному аналізі джерел за даною проблемою, чіткій постановці задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, правильним застосуванням математичного апарату при теоретичному розгляді наукових положень дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації Цзен Сіньюй є комплексними та виходять із її вмісту, відображаючи одержані

дослідником результати.

Достовірність та обґрунтованість представлених методів і засобів підтверджується результатами досліджень та коректним застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи. Достовірність одержаних результатів також забезпечується виконаними автором дослідженнями, публікаціями у закордонних та фахових виданнях України, апробацією одержаних наукових результатів та їх впровадженням.

4. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Наукова цінність дисертаційного дослідження:

- Розроблено та вдосконалено апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів, а також платформ для їх запуску, вивчено методи та засоби передавання, зберігання, опрацювання інформації з сенсорів. Використано методи машинного навчання для підвищення точності одержаних результатів.
- Запропоноване метрологічне забезпечення дронів та їх плаваючих платформ з покращеною оперативністю, повторюваністю, кутовими характеристиками запуску, а також стабільністю виходу на напрямок експлуатації.
- Вперше розроблено підхід до прийняття коректних експлуатаційних рішень для дрона з урахуванням непевності функції регулювання в складних динамічних середовищах. Використання машинного навчання для аналізу регресійної функції процесу регулювання на основі моделі Гауса у поєднанні з цифровим фільтруванням зашумлених даних сенсорів дозволило точніше прогнозувати поведінку дрона. Оптимізація алгоритмів фільтрації для IMU та інших сенсорів суттєво знизила рівень шумів і покращила якість зібраних даних, що підвищило стійкість роботи дрона, його точність і тривалість експлуатації.
- Удосконалено інтеграцію систем управління та передачі даних завдяки випробуванням різних конфігурацій апаратного та програмного забезпечення, зокрема Nvidia Jetson і ROS. Підвищено точність реєстрації даних та їх синхронізацію в реальному часі шляхом інтеграції багатосенсорного обладнання з платформою запуску дрона. Поєднання даних із кількох силових сенсорів і розумної системи резервуарів для води підтвердило стабільність і ефективність руху підводних роботів, особливо в умовах змінного середовища. Розробка та тестування двосередовищного робота, який здатен функціонувати як на поверхні, так і під водою.

5. Практичне значення одержаних результатів

Дослідження робить важливий внесок у галузь автоматизації та приладобудування, зокрема, у покращення метрологічних характеристик

роботизованих систем та платформ. Одержані результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій для викладання дисциплін «Робототехніка, системи та комплекси», «Вибрані питання опрацювання результатів вимірювань та вимірювальних сигналів» та «Аналітичні та чисельні методи дослідження» для підготовки фахівців за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка та за спеціальністю 175 – Інформаційно-вимірювальні технології. Одержані результати досліджень також було використано для калібрування УЗ смарт-сенсорів.

6. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях

Основні положення дисертації опубліковані автором у 10 наукових працях, зокрема, у 2 статтях у закордонних періодичних виданнях, які індексуються наукометричною базою Scopus, 4 статтях у наукових фахових виданнях України та 4 працях у збірниках доповідей наукових конференцій. Основні положення та результати дослідження, представлені у дисертації, оприлюднені та обговорені на 1-ій та 2-ій Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційно-вимірювальні технології» (ІВТ-2022 та ІВТ-2024), IV Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (Львів, 2023 р.), на 60-му Міжнародному науковому колоквіумі (Ільменау, Німеччина, 2023 р.), а також на наукових семінарах кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка».

Таким чином, наукові результати, які описані у дисертації, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача. Кількість публікацій, їх повнота у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7. Оформлення, мова та стиль дисертації

Дисертацію написано англійською мовою, на хорошому стилістичному рівні. Застосована у роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення результатів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Стиль викладу матеріалів досліджень і наукових положень забезпечує їх належне сприйняття. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Тема, зміст та одержані наукові результати відповідають спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

8. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації та публікацій здобувача Цзен Сіньюй порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації тексту у роботі відсутні.

9. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. На сторінці 62 у розділі «Збір даних і моніторинг у реальному часі» стверджується, що синхронізований збір даних зменшує кількість помилок, спричинених затримкою. Це загалом правильно, але було б корисно кількісно визначити це зменшення та пояснити конкретний метод синхронізації, який використовується, наприклад, це апаратна синхронізація годинника чи програмне вирівнювання міток часу.

2. У описі тестової платформи згадуються вимірювання тяги, крутного моменту та інших гідродинамічних сил, але не вказано, скільки компонентів сили/крутного моменту вимірюється. Чи безпечно припустити, що використовується вимірювання сили-крутного моменту по трьох осях?

3. Розділ 3 зосереджений на перевагах методів злиття сенсорів, що має відношення до дослідження. Однак підрозділ 3.1.1 цього розділу, який пояснює принципи роботи інерційних вимірювальних одиниць (IMU), виглядає дещо не узгодженим з основною темою розділу. Фундаментальна робота IMU добре задокументована в існуючій літературі та, як правило, вважається загальновідомою у сфері зондування та навігації. Замість того, щоб включати цю довідкову інформацію в Розділ 3, можливо, буде доцільніше коротко згадати принципи IMU у вступі зосередити Розділ 3 виключно на тому, як злиття сенсорів покращує продуктивність.

4. Щодо моделі георадара: хоча набір даних включає різні швидкості буксирування та конфігурації з'єднань, описані експерименти зосереджені в основному на статичних умовах (експеримент 1) і досить короткі часові вікна (експеримент 2). Як щодо здатності моделі вловлювати довгострокові гідродинамічні тенденції та адаптуватися до динамічних турбулентних середовищ?

5. У роботі також зустрічаються деякі неточності у формулюваннях, відсутні посилання на ряд рисунків, деякі з них, наприклад, Рис. 3.4 є нечіткими, що утруднює сприйняття інформації.

Варто зазначити, що наведені зауваження не знижують загального враження та позитивної оцінки представленого дисертаційного дослідження.

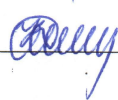
Висновки щодо дисертації

Дисертація Цзен Сіньюй (Zeng Xinyu) «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» (“Hardware-software and metrological support of drones”), представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування, є завершеним та цілісним самостійним науковим дослідженням, містить достатню наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Зміст дисертації «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» відповідає обраній темі, забезпечує досягнення поставленої мети і вирішення завдання дослідження. Вказані зауваження щодо представленого дослідження не знижують вагомості одержаних у роботі наукових та практичних результатів і не змінюють позитивної оцінки.

З огляду на актуальність проблеми, вкладу автора у вирішення поставленого завдання, відсутності порушень академічної доброчесності вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач Цзен Сіньюй (Zeng Xinyu) заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка із галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем



Галина КЛИМ

Підпис д.т.н., професора Галини КЛИМ
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»

« 04 » 03 2025 р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ