

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Ушкаренка Олександра Олеговича
на дисертаційну роботу

Роботька Сергія Павловича

**“Багаторівнева автоматизована система керування роботизованою
платформою для задач просторового моніторингу
на основі комп’ютерного зору”,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології**

Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність дисертаційної роботи зумовлена зростаючою потребою у створенні ефективних та безпечних технологій просторового обстеження територій, що містять потенційно небезпечні об’єкти, зокрема вибухонебезпечні предмети. В умовах сучасних загроз значні площі залишаються забрудненими такими об’єктами, що ускладнює їх подальше використання та становить тривалу небезпеку для населення. Існуючі підходи до обстеження, які передбачають безпосередню участь людини, характеризуються низькою продуктивністю та високим рівнем ризику, що обмежує можливості їх широкого застосування. Застосування безпілотних літальних апаратів у поєднанні з методами комп’ютерного зору розглядається як перспективний напрям підвищення ефективності моніторингу. Реалізація багаторівневої архітектури дає змогу досягти балансу між швидкодією та глибиною

аналізу, а також підвищити надійність функціонування системи в реальних умовах. Отже, дослідження, присвячене створенню багаторівневої автоматизованої системи керування роботизованою платформою для задач просторового моніторингу, є своєчасним і обґрунтованим, а його результати мають суттєве значення для розвитку інтелектуальних технологій, зокрема у сфері гуманітарного розмінування територій.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами Університету та кафедри

Дисертаційна робота Роботька С.П. є складовою частиною держбюджетної науково-дослідної роботи “Новітні системи дистанційного керування мобільними роботами для відновлення суден і портової інфраструктури” (номер державної реєстрації 0126U001721), в якій здобувач був виконавцем.

Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі, їх наукова новизна

Результати дисертаційної роботи відзначаються належним рівнем наукової обґрунтованості, і базуються на комплексному аналізі сучасних підходів до побудови роботизованих платформ, застосуванні методів математичного моделювання, алгоритмів комп'ютерного зору та мультимодальної обробки даних, а також підтверджені результатами експериментальних досліджень. Запропоновані моделі та алгоритми враховують особливості функціонування багаторівневої архітектури типу «Edge-Ground-Cloud», умови обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку та вплив зовнішнього середовища, що забезпечує їх адекватність. Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці багаторівневої розподіленої архітектури системи керування роботизованою платформою просторового моніторингу, яка забезпечує паралельну асинхронну обробку інформаційних потоків, а також у подальшому розвитку методів автоматичного керування БПЛА на основі замкненого циклу виявлення, змістовної перевірки та корекції завдання. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю теоретичних положень із

результатами експериментальних досліджень, зокрема під час тестування модулів комп'ютерного зору, металодетекції та їх інтеграції в єдину систему. Основні положення дисертації відображено у наукових публікаціях та пройшли апробацію на наукових заходах, що свідчить про їх відповідність вимогам до наукових досліджень.

Структура і зміст дисертації

Дисертаційна робота має чітку структуру та логічну побудову. Загальний обсяг дисертації складає 227 сторінок. Основний текст дисертації становить близько 175 сторінок, що відповідає встановленим вимогам до обсягу дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено використані методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасного стану проблеми автоматизованого керування роботизованими платформами для задач просторового моніторингу. Розглянуто архітектури систем керування, апаратні рішення, методи комп'ютерного зору, а також підходи до організації обчислень на різних рівнях, виконано постановку завдань дослідження. Другий розділ присвячений розробці архітектури багаторівневої роботизованої платформи, обґрунтовано вибір елементів системи, наведено математичну модель руху гексакоптера, описано процес інтеграції сенсорного комплексу у загальну систему. У третьому розділі розглядаються питання створення програмно-алгоритмічного забезпечення модуля комп'ютерного зору. Виконано розробку математичної моделі багаторівневого аналізу, реалізовано метод виявлення об'єктів на основі нейронної мережі, досліджено підходи до хмарної обробки та семантичної верифікації. У четвертому розділі наведено методику та результати експериментальних досліджень інтегрованої системи, виконано тестування модулів комп'ютерного зору та металодетекції, наведено результати їх інтеграції, що

підтверджують ефективність запропонованих рішень. Зміст дисертації повністю відповідає меті роботи та логічно розкриває етапи виконаного дослідження.

Практичне значення наукових результатів

Результати, отримані в дисертаційній роботі, мають прикладну цінність і можуть бути використані при створенні та впровадженні автоматизованих систем керування роботизованими платформами для задач просторового моніторингу та гуманітарного розмінування. Запропонована багаторівнева архітектура та алгоритми мультимодального злиття даних дозволяють підвищити ефективність виявлення вибухонебезпечних об'єктів, зменшити кількість хибних спрацювань і забезпечити адаптивну поведінку БПЛА в умовах невизначеності середовища. Розроблені моделі та програмно-алгоритмічні рішення можуть бути використані в інженерній практиці, зокрема при проєктуванні безпілотних систем моніторингу, та у навчальному процесі при підготовці фахівців у галузі автоматизації, робототехніки та комп'ютерного зору. Результати дисертації впроваджено на підприємствах міста Миколаєва ТОВ «Хладотехніка» і МП «Орбіта», а також у навчальний процес Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Повнота викладення основних результатів дослідження в опублікованих наукових працях

Результати дисертаційної роботи відображено у 21 науковій публікації, 7 з яких є основними. Зокрема, одну статтю опубліковано у виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus (квартиль Q3), і ще шість – у наукових журналах, включених до переліку фахових видань України. Такий рівень апробації свідчить про належну якість і наукову значущість отриманих результатів. Достовірність головних наукових положень дисертаційної роботи також підтверджується їхньою апробацією на Міжнародних і Всеукраїнських наукових конференціях, опубліковано 13 тез доповідей. В опублікованих наукових працях у повному обсязі відображено

основний зміст дисертації, а також викладено отримані наукові результати та сформульовані висновки, що становлять її основу.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

Всі наукові положення та результати, запозичені здобувачем із праць інших науковців, супроводжуються коректними посиланнями на відповідні джерела. В процесі ознайомлення з дисертаційною роботою, а також за результатами перевірки тексту рукопису електронним сервісом Identific від 25.02.2025 р., порушень принципів академічної доброчесності не виявлено. Отже, у дисертації та наукових публікаціях Роботька С.П. відсутні ознаки порушення академічної доброчесності.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації

1. Анотація дисертації має досить великий обсяг (близько 4 сторінок), що перевищує типовий рекомендований обсяг для анотацій дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Доцільно було б подати її у більш стислому вигляді, зосередившись на основних результатах і науковій новизні роботи. Також наведено досить великий перелік ключових слів (15 позицій). Частина з них має загальний характер або частково дублює зміст одне одного (зокрема «комп'ютерний зір», «обробка зображень», «штучна нейронна мережа»). Доцільним було б скоротити кількість ключових слів та зосередитися на термінах, які більш повно відображають специфіку запропонованих в дисертації методів, моделей та архітектури системи.

2. Щодо формулювання пункту 2 наукової новизни, а саме положення про «подальший розвиток застосування методу автоматичного адаптивного керування польотом БПЛА», слід зазначити, що воно має дещо декларативний характер і недостатньо чітко відображає конкретні наукові результати, отримані автором. З тексту не повною мірою зрозуміло, які саме елементи методу (модель, алгоритм, структура керування) удосконалено. Крім того, формулювання «виключити людський фактор з рутинних операцій та суттєво зменшити час реакції» є узагальненим і потребує конкретизації, що мається на увазі під «людським

фактором» в даному контексті, які операції вважаються «рутинними», а також що означає «суттєво зменшити» у кількісних показниках.

3. У переліку апробації результатів дисертації наведено патент України на корисну модель №157368 «Пристрій для вимірювання товщини струмопровідної металеві плівки в процесі напилювання у вакуумі». Однак із тексту дисертації не зовсім зрозуміло, яким чином результати, що стосуються цього патенту, пов'язані з тематикою дослідження, присвяченого багаторівневій автоматизованій системі керування роботизованою платформою для задач просторового моніторингу на основі комп'ютерного зору. Доцільно було б більш чітко пояснити цей зв'язок.

4. У формулах (2.4) на стор. 83 та (2.9) на стор. 84 використано змінні q_0 , q_1 , q_2 , q_3 . Хоча в тексті дисертації згадується використання одиничного кватерніона, і що ці змінні є компонентами кватерніона орієнтації, доцільно було б більш чітко пояснити їх фізичний зміст і роль у моделі, та описати їх зв'язок з орієнтацією роботизованої платформи в просторі. Це підвищило б зрозумілість математичної моделі.

5. На стор. 142 дисертації зазначено, що сигнал сенсора (металодетектора) проходить етап цифрової фільтрації. Далі, у параграфі 4.3 (стор. 177) вказано, що сигнал дискретизується та піддається смуговій фільтрації, вирівнюванню рівня та виділенню огинаючої. Також на стор. 183 підкреслюється, що смугова фільтрація є одним із ключових етапів цифрової обробки сигналу. Водночас у тексті дисертації не наведено низку важливих параметрів цієї обробки, зокрема частоту дискретизації та розрядність оцифрованого сигналу, а також характеристики застосованого смугового фільтра (частоти зрізу, тип фільтра – рекурсивний чи нерекурсивний, його порядок та обґрунтування вибору цих параметрів). З огляду на те, що цифрова обробка сигналу є важливою складовою запропонованої системи, наведення зазначених характеристик дозволило б більш повно відтворити та оцінити запропонований підхід.

6. Зі змісту другого та третього розділів дисертації видно, що у деяких підрозділах (зокрема 2.5, 3.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.6, 3.5) значна увага приділена загальному опису існуючих та відомих технологій, архітектур та програмних сервісів (Raspberry Pi, архітектура YOLOv8, хмарні сервіси, ChatGPT-4.1 Vision тощо). Аналіз сучасного стану проблеми та обґрунтування вибору підходів зазвичай подаються у першому розділі. Натомість другий і третій розділи доцільно більшою мірою присвячувати безпосередньо авторським розробкам, їх математичному, алгоритмічному та технічному обґрунтуванню, та аналізу отриманих результатів.

7. На рис. 3.15 на стор. 145 наведено структурну схему автоматичного керування місією БПЛА, яка містить декілька контурів зворотного зв'язку. Водночас у дисертаційній роботі не наведено аналізу стійкості запропонованої системи керування з урахуванням цих контурів, що є важливим для оцінювання коректності та надійності функціонування системи. Крім того, на схемі не деталізовано типи сигналів та даних, що передаються між окремими функціональними блоками (телеметрія, відеопотік, результати CV-аналізу, керуючі сигнали тощо), що ускладнює повне розуміння інформаційних потоків у системі. Також від блоку «Логіка траєкторії» до блоку «ПІД-регулятори» показано дві стрілки зв'язку, однак у тексті роботи не пояснено, чому використано два канали взаємодії та яка саме інформація передається кожним із них. Доцільно було б уточнити призначення цих сигналів і більш детально описати структуру інформаційних потоків у системі.

8. Окремі фрагменти дисертаційної роботи (розділи 3.4 та 3.5) викладені у стилі, що частково має ознаки інженерного або прикладного звіту. Зокрема, використовується займенник «ми» у таких виразах, як «ми свідомо обираємо» (стор. 129), «ми перемикаємося», «ми розглядаємо», «ми маємо» (стор. 133), «ми використовуємо», «ми можемо» (стор. 152), «ми виконуємо» (стор. 165) та інших, та розмовні формулювання (наприклад «у нашій багаторівневій архітектурі», «політика “все до хмари”», «багатослівні промпти»), а також надмірна деталізація

реалізаційних аспектів. Для дисертаційного дослідження доцільніше застосовувати більш формалізований, безособовий науковий стиль викладу, а також, за можливості, узагальнювати технічні деталі з акцентом на методичні та наукові аспекти. Це сприятиме підвищенню академічного рівня та цілісності сприйняття роботи.

9. У тексті дисертації при поясненні математичної моделі та інтерпретації результатів експериментальних досліджень використовується термін «шанс» (зокрема на стор. 185 при поясненні формули (4.3) та на стор. 189 у контексті аналізу результатів OR-фузії каналів). У наукових роботах доцільніше використовувати більш строгий термін «ймовірність». Крім того, у наведеному поясненні використовується припущення про квазінезалежність каналів, однак у тексті роботи відсутнє достатнє обґрунтування цього припущення або аналіз впливу можливої кореляції між каналами на результати інтеграції. Більш детальне пояснення цих аспектів дозволило б підвищити строгість інтерпретації отриманих результатів.

10. Незважаючи на чітко сформульовані завдання дослідження, у загальних висновках дисертації явно не простежується відповідність отриманих результатів кожному із поставлених завдань. Загальні висновки переважно дублюють висновки розділів і не містять узагальненого представлення основних наукових результатів у прив'язці до мети та завдань роботи. Доцільним було б переробити структуру висновків, забезпечивши їх безпосередню кореляцію із завданнями дослідження.

11. У списку використаних джерел, який містить 70 найменувань, представлено переважно публікації іноземних авторів, тоді як роботи українських учених у цій галузі практично не відображені. Врахування результатів досліджень вітчизняних науковців та відчизняної наукової школи сприяло б більш комплексному аналізу наукових підходів до розв'язання досліджуваної проблеми.

Наведені зауваження не зачіпають ключових положень та результатів дисертаційної роботи, не зменшують її наукової та практичної значущості й не впливають на загальний позитивний висновок щодо роботи.

Загальна оцінка та висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам та придатності роботи для захисту

Дисертаційна робота Роботька С.П. на тему «Багаторівнева автоматизована система керування роботизованою платформою для задач просторового моніторингу на основі комп'ютерного зору» присвячена розв'язанню актуальної науково-практичної проблеми. Дослідження має завершений характер, виконане автором самостійно з дотриманням установлених вимог до кваліфікаційних наукових праць. Дисертація характеризується належним науково-методичним рівнем опрацювання. Її зміст є логічно структурованим, повністю відповідає обраній темі дослідження та спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими, достовірними та переконливими. Поставлену мету дослідження досягнуто, основні завдання успішно виконано. Наукові публікації автора повною мірою відображають зміст дисертаційної роботи, висвітлюють її основні наукові результати, наукову новизну, практичну значущість та особистий внесок здобувача.

За рівнем наукової новизни, теоретичним і практичним значенням одержаних результатів дисертаційна робота Роботька С.П. на тему «Багаторівнева автоматизована система керування роботизованою платформою для задач просторового моніторингу на основі комп'ютерного зору» відповідає вимогам, визначеним наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «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 (із змінами внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор Роботько Сергій Павлович, заслуговує

присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмованої електроніки,
електротехніки і телекомунікацій

Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

_____ Ушкаренко О.О.

Підпис Ушкаренко О.О. підтверджую:

начальник відділу кадрів

Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

_____ Зубарєв А.А.