

ВІДГУК
на дисертаційну роботу
РОБОТЬКА Сергія Павловича

на тему «Багаторівнева автоматизована система керування роботизованою платформою для задач просторового моніторингу на основі комп'ютерного зору»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертації зумовлена необхідністю підвищення безпеки та продуктивності просторового обстеження територій, забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП), де помилка розпізнавання має критичну ціну, а ручні підходи та моносенсорні рішення залишаються повільними, небезпечними і вразливими до умов середовища. Запропонований у роботі підхід орієнтовано на перехід від “пасивного” збору даних до замкненого циклу, у якому результати мультимодального аналізу безпосередньо коригують поведінку безпілотного літального апарата (БПЛА), що є практично значущим для задач оперативного моніторингу та гуманітарного розмінування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Сформульовані результати в цілому характеризуються належною науковою обґрунтованістю й логічною узгодженістю: у роботі поєднано підходи теорії автоматичного керування, комп'ютерного зору, мультимодального аналізу та ймовірнісного прийняття рішень.

До основних положень, що виносяться на захист і становлять наукову новизну, здобувач відносить:

1) **вперше** розроблену багаторівневу архітектуру “Edge–Ground–Cloud” з паралельною асинхронною обробкою потоків і оркестрацією обчислень, де задачі, критичні до затримки (навігація, уникнення перешкод, первинна детекція), виконуються на борту з детермінованою латентністю, а ресурсоємні задачі (семантична верифікація і глобальне планування) – асинхронно на наземному/хмарному рівнях;

2) **подальший розвиток** методу автоматичного адаптивного керування польотом БПЛА, який передбачає організацією замкненого циклу “детекція – семантична верифікація – корекція місії” на основі протоколу MAVLink, що дозволяє трансформувати пасивний моніторинг у активний процес збору даних, виключити людський фактор з рутинних операцій та суттєво зменшити час реакції системи на виявлені загрози;

3) **подальший розвиток** математичної моделі прийняття рішень в умовах невизначеності, яка базується на методі зваженої агрегації довіри для мультимодального злиття гетерогенних даних (оптичний потік, семантичні дескриптори VLM, сигнали металодетектора) та на відміну від існуючих запроваджує адаптивну корекцію вагових коефіцієнтів як наближення рекурсивного байєсівського оцінювання, що дозволяє автоматично змішувати пріоритет довіри між візуальним та фізичним каналами сприйняття залежно від оцінки якості середовища та забезпечує робастність ідентифікації та мінімізацію хибних тривог і пропусків цілей у складному фоновому оточенні.

Достовірність висновків загалом підтверджується наявністю експериментального розділу з описом сценаріїв та поданням інтегральних метрик, включно з порівнянням із відомими рішеннями та обмеженнями.

Оцінка змісту дисертації за розділами

Дисертація має класичну академічну структуру, викладена логічно та послідовно, з глибоким зануренням у технічні деталі розробки кіберфізичних систем.

У першому розділі здійснюється вичерпний системний аналіз проблематики дистанційного зондування, архітектур керування та розвитку алгоритмів штучного інтелекту (ШІ). Ґрунтовно досліджено еволюцію методів комп'ютерного зору від класичних евристичних алгоритмів до сучасних трансформерних архітектур. Виявлено концептуальні недоліки моносенсорних розімкнених систем та формалізовано задачу переходу до розподілених обчислень. Аналіз обчислювальних парадигм, наведений у роботі, демонструє чітке розуміння обмежень кожного рівня, що відображено у зведеній характеристиці.

Цей аналіз підтверджує, що для задачі виявлення мін у реальному часі виключне використання хмарних обчислень є неприйнятним через ризик втрати зв'язку, тоді як бортові ресурси недостатні для запуску важких візуально-мовних моделей (англ. Vision-Language Models, VLM), що робить гібридну архітектуру безальтернативною.

Другий розділ глибоко розкриває апаратну реалізацію кіберфізичної системи. Детально описано конфігурацію гексакоптера, математичну модель його

просторового руху, а також підсистему електроживлення з використанням імпульсних регуляторів напруги для гальванічної розв'язки чутливої цифрової електроніки. Значна увага приділяється унікальній апаратній інтеграції аналогового металодетектора через аналого-цифровий перетворювач до мікрокомп'ютера з подальшою жорсткою синхронізацією усіх вимірювань за еталонним часом супутникових навігаційних систем.

Третій розділ становить фундаментальне алгоритмічне ядро роботи. Розроблено математичну модель зваженої агрегації довіри, описано процеси підготовки даних, навчання та калібрування нейромережі. Окремим вагомим здобутком є інноваційна архітектура використання фундаментальних VLM у режимі логічного висновку без попереднього донавчання для глибокої семантичної верифікації. Представлено детальну логіку роботи замкненого контуру керування, що ініціює маневри платформи на основі агрегованої оцінки

Четвертий розділ містить результати ґрунтовних польових експериментальних досліджень. Описано методику збору даних в умовах, максимально наближених до реальних сценаріїв розмінування. Оцінено метрики класифікації та доведено, що логічне та математичне злиття мультимодальних даних дозволяє досягти безпрецедентної інтегральної точності розпізнавання, ефективно нівелюючи фізичні та алгоритмічні обмеження окремих ізольованих сенсорів.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати відображено в 1 статті, опублікованій у періодичному науковому виданні “Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences” (ISSN 1310-1331), проіндексованому у базі даних (БД) Scopus та віднесеному до третього квартилю Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank (прирівнюється до двох наукових публікацій за п. 8 Постанови КМУ від 12 січня 2022 р. № 44, надалі – Постанова), а також у 6 статтях, які опубліковані у журналах, що включені до Реєстру наукових видань України за кат. Б. На жаль, для статті [1] зі Списку публікацій здобувача за темою дисертації невірно зазначена назва журналу (“Методи та прилади контролю технологічних параметрів” замість “Методи та прилади контролю якості”), але наявний у публікації активний ідентифікатор DOI засвідчує, що зазначена стаття може бути зарахована за темою дисертації згідно з п. 6 Постанови. Статті [5–6], в яких число співавторів (разом із здобувачем) становить більше двох осіб, прирівнюється до 0,5 публікації кожна.

Таким чином, можна засвідчити, що наукові результати дисертації висвітлені у 7 (семи) наукових публікаціях здобувача (це виконує вимогу п. 8 Постанови – не менше ніж у трьох).

Всього результати досліджень за темою дисертації опубліковано у 21 наукових працях, у т. ч. 13 публікацій здійснено у форматі тез міжнародних та всеукраїнських конференцій (з них 6 проіндексовано у БД Scopus), які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, та отримано 1 патент на корисну модель, який додатково відображає наукові результати дисертації.

У наведених публікаціях у повній мірі представлено теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, які є науково обґрунтованими та відповідають темі дисертації.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У табл. 3.2, де наведено результати аналізу зображень для двох візуально-мовних моделей VLM (TRUE/FALSE по кадрах та відсоток успішних виявлень), варто було графічно/структурно виокремити підсумкові відсоткові показники (67,6 % та 63,8 %) і доповнити їх узгодженим показником “на рівні об’єкта” (виявлено 27/29 та 28/29), щоб читачеві було простіше одночасно інтерпретувати “кадровий” і “об’єктний” рівні оцінювання.

2. У підрозділі 3.1, в якому проведено порівняння VLM, корисно було більш формалізовано описати протокол обробки кадрів: у якій послідовності відбувався виклик моделей (наземний скринінг у порівнянні з хмарною перехресною верифікацією), яким чином виконувалась стандартизація відповіді (парсинг першого токена TRUE/FALSE), як зберігались раціонали, як забезпечувалась відтворюваність промптів/версій моделей, а також чи застосовувалось кадрування до “області інтересу” ROI або аналізувався повний кадр. Частина цих відомостей у роботі наведена, але її доцільно було подати у вигляді компактного алгоритму/псевдокоду для підвищення відтворюваності.

3. Дисертація переконливо демонструє доцільність мультимодального злиття. Водночас у висновковій частині варто було чіткіше окреслити, за яких умов є сенс комбінувати різні типи III та/або моделей саме як ансамбль (наприклад, консенсус-правила, каскад, OR/AND-стратегії, пороги ескалації тощо), і як це впливає на компроміс між ймовірністю хибних тривог FAR і пропусками, особливо в умовах оклюзії та неоднорідного фону. Для контексту: модель YOLOv8 є поширеним детектором реального часу, що використовується в багатьох прикладних задачах комп’ютерного зору.

4. Окремого пояснення потребує експлуатаційний сценарій появи нового типу мін або інших ВНП. У роботі обґрунтовано потенціал “zero-shot” підходу та адаптації через модифікацію текстових інструкцій без донавчання для VLM, однак системна політика обробки “нових” класів могла бути описана ще більш прозоро як окремий регламент.

5. У вступі до дисертації не наведено інформацію щодо структури та обсягу дисертації, не зазначено особистий внесок здобувача в роботи [34; 44; 58], що наведені як такі, де опубліковані основні наукові результати дисертації. У структурі роботи відсутній обов'язковий додаток до дисертації зі списком публікацій здобувача за темою дисертації, що порушує вимоги пп. 8 та 13 Наказу МОНУ 12.01.2017 № 40.

Наведені вище зауваження мають дискусійний характер, спрямовані на посилення аргументації та підвищення відтворюваності окремих процедур, і не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота є завершеною, самостійно виконаною науково-дослідною працею, яка на високому академічному рівні вирішує актуальне науково-технічне завдання створення автоматизованих систем просторового моніторингу. За своєю актуальністю, глибиною наведених теоретичних положень, обсягом проведених експериментальних досліджень, науковою новизною та практичною значущістю отриманих результатів, вичерпним і повним викладенням змісту власних досліджень здобувачем наукового ступеня, дисертація відповідає вимогам пп. 6–9 Постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (у редакції від 08.05.2024) та основним вимогам Наказу Міністерства освіти та науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (у редакції від 12.07.2019), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії
Чорноморського національного
університету імені Петра Могили

Ірина ЖУРАВСЬКА