

ВІДГУК

офіційного опонента Лисечка Володимира Петровича

на дисертаційну роботу

Білозерського Владислава Олександровича

на тему «Методи та засоби попередньої обробки відеоданих в комплексі
завдань наведення БПЛА»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

у галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації.

Стрімкий розвиток безпілотних авіаційних комплексів та розширення спектра їхнього застосування висувають підвищені вимоги до інтелектуалізації бортових систем управління. Однією з найбільш критичних задач для сучасних БПЛА є забезпечення автономності функціонування в умовах відсутності або нестабільності сигналів глобальних навігаційних супутникових систем. У таких сценаріях система технічного зору стає основним джерелом інформації для локалізації та наведення, що робить питання якості та надійності обробки візуальних даних пріоритетним напрямом досліджень.

Тема дисертаційної роботи Білозерського В. О. є актуальною з огляду на необхідність розроблення методів виявлення та супроводження малорозмірних повітряних цілей у реальному часі. Особливої гостроти проблема набуває при функціонуванні в умовах інтенсивних оптико-фотометричних завад: динамічного фону, різких змін освітленості та атмосферної турбулентності. Як зазначає автор, традиційні алгоритми обробки відеоданих часто демонструють недостатню робастність у складних

метеоумовах, що призводить до деградації траєкторій супроводження та зриву автоматичного наведення.

Науково-практична значущість роботи підсилюється врахуванням жорстких апаратних обмежень вбудованих обчислювальних платформ. Сучасні тенденції розвитку галузі потребують переходу від ресурсомістких нейромережових архітектур до адаптивних каскадних моделей, здатних забезпечувати високу точність локалізації при мінімальному енергоспоживанні та навантаженні на бортовий процесор. Отже, дослідження, спрямоване на вдосконалення методів просторово-морфологічної попередньої обробки відеоданих та створення інтелектуальних моделей адаптивного супроводження з використанням предиктивного моделювання, є своєчасним, обґрунтованим та має важливе значення для подальшого розвитку систем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій в авіаційній сфері.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в такому:

- Удосконалено метод технічного зору для виявлення БПЛА, що, на відміну від існуючих рішень, базується на глибокій інтеграції адаптивної просторово-морфологічної фільтрації безпосередньо в контур формування ознак. Це дозволяє здійснювати структурну реконструкцію силуетів малорозмірних цілей на ранніх етапах обробки, що суттєво підвищує завадостійкість локалізації в умовах низького контрасту та інтенсивних фотометричних завад.

- Отримав подальшого розвитку метод адаптивного супроводження повітряних об'єктів, який базується на комплексуванні візуальних трекерів із апаратом стохастичної фільтрації Калмана та механізмом інерційного прогнозування. Запропонований підхід забезпечує збереження цілісності траєкторії та безперервність видачі координат для виконавчих механізмів

наведення у моменти виникнення візуальних оклюзій або різкої зміни ракурсу цілі.

– Удосконалено модель автоматичного наведення на основі скінченного автомата, яка реалізує архітектуру каскадної селекції об'єктів. Наукова новизна полягає у поєднанні темпоральної перевірки стабільності просторових гіпотез із наступною семантичною верифікацією легковаговою згортковою нейромережею у межах локальних зон інтересу. Таке рішення дозволяє радикально мінімізувати кількість хибних спрацювань на біологічні об'єкти та динамічні елементи ландшафту при збереженні високої швидкодії в реальному часі.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується:

– Теоретичною базою: коректним застосуванням фундаментальних положень теорії цифрової обробки сигналів, методів математичної морфології та стохастичної фільтрації. Побудовані моделі завадового середовища враховують реальну фізичну природу дестабілізуючих факторів (турбулентність, шуми сенсора, вібрації).

– Методологією досліджень: використанням репрезентативного набору валідаційних відеопослідовностей, що охоплюють різні метеоумови та кінематичні сценарії. Оцінка ефективності проводилася за розширеною системою критеріїв, що включають як показники точності (Recall, IoU), так і параметри апаратної продуктивності (FPS, завантаження CPU).

– Практичною верифікацією: результатами напівнатурного моделювання на цільовій вбудованій платформі (Raspberry Pi 4B/5). Експериментально підтверджено, що розроблені методи забезпечують стабільну роботу системи з частотою понад 30 кадрів на секунду, що є критично важливою умовою для контурів управління в реальному часі.

Висновки та результати дисертації логічно впливають із поставлених завдань, є внутрішньо несуперечливими та підтверджуються актами впровадження у наукову та навчальну діяльність.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання 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 Білозерського В. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Автоматизація, приладобудування та комп'ютерно-інтегровані технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям автоматизації процесів автономного візуального наведення БПЛА та розроблення інтелектуальних методів завадостійкої обробки відеоінформації в реальному часі.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Білозерського Владислава Олександровича 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 високим рівнем наукової грамотності, логічною послідовністю та системністю викладу складних технічних рішень. Автор демонструє здатність чітко та аргументовано представляти результати досліджень, дотримуючись суворого академічного стилю.

Матеріал роботи викладений доступно, із глибоким опрацюванням теоретичних положень та їхньої практичної імплементації. Кожен розділ

дисертації має внутрішню логічну завершеність: від глибокого аналізу завадового середовища автор послідовно переходить до синтезу математичних методів фільтрації, проектування інтелектуальної архітектури супроводження та завершує роботу описом натурної реалізації апаратно-програмного комплексу. Такий підхід дозволяє повною мірою простежити шлях вирішення основної наукової проблеми.

У дисертації коректно використана загальноприйнята науково-технічна термінологія, що відповідає сучасним стандартам у галузях автоматизації, комп'ютерного зору та безпілотної авіації. Здобувач влучно оперує специфічними поняттями цифрової обробки сигналів та нейромережних технологій, що свідчить про його високу фахову кваліфікацію. Окремо слід відзначити високу якість оформлення ілюстративного матеріалу – блок-схем алгоритмів, діаграм класів та графіків експериментальних досліджень, які значно полегшують сприйняття запропонованих методів і підтверджують достовірність отриманих результатів. Робота є стилістично витриманою та повністю відповідає вимогам до оформлення кваліфікаційних наукових праць.

Структура роботи

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації 128 сторінок.

У вступі автор обґрунтовує актуальність теми, сформульовано науково-прикладну задачу підвищення точності наведення в реальному часі за наявності інтенсивних оптико-фотометричних завад. Визначено об'єкт, предмет, мету та завдання дослідження, а також висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено системний аналіз умов функціонування систем технічного зору БПЛА. Автор досліджує вплив метеорологічних умов, турбулентності атмосфери та динамічних збурень на процес формування відеозображення. Виконано критичний огляд існуючих методів виявлення та супроводження об'єктів (від градієнтних операторів до глибоких нейромереж

YOLO/MobileNet), що дозволило виявити фундаментальне протиріччя між швидкодією та завадостійкістю алгоритмів на вбудованих платформах та обґрунтувати потребу в методах попередньої обробки даних.

У другому розділі розроблено математичний апарат удосконалених методів виявлення повітряних цілей. Науковий пошук зосереджений на глибокій інтеграції лінійної та нелінійної просторової фільтрації, локальної адаптивної бінаризації та морфологічної реконструкції безпосередньо в алгоритмічні контури формування ознак. Експериментально доведено, що такий підхід дозволяє нівелювати проблему фрагментації силуету цілі та суттєво підвищити відношення сигнал/шум, забезпечуючи повноту виявлення на рівні 0.96 для складних сценаріїв спостереження.

У третьому розділі представлено модель адаптивного супроводження та ієрархічного управління станами системи наведення. Автор пропонує комплексування візуальних трекерів зі стохастичним оцінюванням на базі фільтра Калмана, що реалізує механізм інерційного прогнозування для подолання візуальних оклюзій. Розроблено архітектуру на основі скінченного автомата, яка забезпечує перехід між режимами пошуку та супроводження, а також впроваджено каскадну селекцію цілей із семантичною верифікацією легковаговою нейромережею у межах локальних зон інтересу.

У четвертому розділі висвітлено результати розроблення та оптимізації апаратно-програмної платформи комплексу. Обґрунтовано вибір мікрокомп'ютера Raspberry Pi та оптичної системи з CSI-інтерфейсом для мінімізації латентності. Описано об'єктно-орієнтовану архітектуру програмного забезпечення з використанням шаблону MVC. Шляхом напівнатурного моделювання на валідаційних відеопослідовностях підтверджено експлуатаційну придатність системи: частота обробки кадрів у всіх режимах перевищила порогове значення 25–30 FPS при стабільних температурних показниках обчислювача.

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 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого – третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій Білозерського В. О. повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт ступеня доктора філософії та демонструє високу якість представлених результатів. Вибір видань, таких як «Radioelectronic and Computer Systems» та «Проблеми керування та інформатики», підкреслює фахову спрямованість робіт та їхню високу значущість для галузі авіаційної автоматики та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Публікації охоплюють усі ключові етапи дослідження: від методів стабілізації яскравості відеопотоку та попередньої обробки зображень до оцінки ефективності алгоритмів виявлення малорозмірних об'єктів у спеціалізованих імітаційних системах. Наявність публікацій у матеріалах конференцій IEEE KhPIWeek та DESSERT свідчить про успішну міжнародну апробацію отриманих результатів та визнання їх науковою спільнотою.

Аналіз опублікованих праць дає підстави стверджувати про суворе дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності. У наукових текстах відсутні ознаки плагіату, фальсифікації чи фабрикації даних. Усі запозичення ідей, методів або результатів сторонніх дослідників

супроводжуються належним бібліографічним описом та коректними посиланнями.

Особистий внесок Білозерського В. О. у роботах, опублікованих у співавторстві, є визначальним. Здобувачем самостійно розроблено алгоритми фільтрації, програмні модулі для стабілізації параметрів відеопотоку та проведено комплексні експериментальні дослідження з аналізом швидкодії та точності на вбудованих платформах. Усі наукові результати, що становлять основу новизни дисертації та винесені на захист, отримані автором особисто, що чітко відображено у змісті публікацій. Загалом, публікаційна активність автора повністю репрезентує обсяг виконаних досліджень та підтверджує його високу наукову кваліфікацію.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

При оцінюванні дисертаційної роботи Білозерського В. О., слід зазначити її високий науковий рівень та практичну значущість. Водночас, за результатами вивчення матеріалів дослідження, вважаю за необхідне висловити наступні зауваження та рекомендації:

1. У першому розділі, при аналізі дестабілізуючих факторів, автор детально класифікує оптико-фотометричні завади, проте недостатньо уваги приділяє математичному опису динамічних характеристик специфічних завад, що виникають при роботі в контурному світлі (наприклад, ефекту «засліплення» сенсора), що могло б посилити обґрунтування вибору методів адаптивної стабілізації.

2. У другому розділі запропоновано вдосконалений метод виявлення на основі просторово-морфологічної обробки. Однак у роботі відсутній аналіз того, як саме змінюється ефективність запропонованих алгоритмів при зміні форми та розміру структурного елемента (ядра) морфологічних операцій для різних типів БПЛА (крило/мультиротор), що зазвичай має емпіричний характер.

3. Стосовно третього розділу, де описано модель адаптивного супроводження, доцільно було б надати більш розширене обґрунтування вибору порогових значень для перемикання станів скінченного автомата (зокрема, ліміту кадрів для режиму інерційного прогнозування).

4. В алгоритмічній реалізації каскадної селекції семантична верифікація виконується за допомогою нейромережі MobileNetV2. Хоча вибір моделі обґрунтований, у роботі не наведено порівняльного аналізу затримок інференсу при різних рівнях квантування моделі, що є критичним для забезпечення стабільного детермінізму в системах реального часу.

5. Експериментальна верифікація в четвертому розділі виконана на базі напівнатурного моделювання з використанням валідаційних відеопослідовностей. Незважаючи на високу достовірність отриманих результатів, проведення повномасштабних випробувань у замкненому контурі керування дозволило б більш детально оцінити вплив апаратної затримки передачі сигналу по каналу UART на динамічну похибку наведення.

При цьому, висловлені зауваження не зменшують загальної наукової новизни та практичної значимості результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та мають дискусійний характер.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Білозерського Владислава Олександровича на тему «Методи та засоби попередньої обробки відеоданих в комплексі завдань наведення БПЛА» 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 галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування. 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 Білозерський Владислав Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань у галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний опонент:

Начальник науково-дослідного відділу
вивчення та впровадження досвіду наукового
центру Повітряних Сил Харківського
національного університету Повітряних
Сил імені Івана Кожедуба
доктор технічних наук, професор

Володимир ЛИСЕЧКО