

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Білозерського Владислава Олександровича на тему «Методи та засоби попередньої обробки відеоданих в комплексі завдань наведення БПЛА», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

На засіданні кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій за участі:

- Дергачова Костянтина Юрійовича, к.т.н., с.н.с., завідувача кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Гавриленко Олени Володимирівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри систем управління літальними апаратами «ХАІ»;
- Жукевича Аркадія Борисовича, к.т.н., доцента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Мірошниченко Галини Анатоліївни, к.т.н., доцента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Пасічника Сергія Миколайовича, к.т.н., доцента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Сокола Дмитра Вадимовича, д.ф., доцента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Бичкової Ірини Володимирівни, ст. викладача кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Джуглакова Віталія Георгійовича, ст. викладача кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Петельки Максима Євгеновича, асистента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Гуртового Олексія Олександровича, асистента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Садовникова Бориса Ігоровича, д.ф., асистента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Сиволовського Іллі Михайловича, д.ф., асистента кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Овдіюка Євгена Миколайовича, аспіранта кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Дубініна Владислава Артемовича, аспіранта кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Айзацького Олександра Миколайовича, аспіранта кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Лобойка Іллі Євгеновича, аспіранта кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;
- Андрюшкіна Миколи Андрійовича, студента 2-го курсу кафедри систем управління літальних апаратів «ХАІ»;

а також запрошених:

Ключникова Ігоря Миколайовича, д.т.н., с.н.с., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;

Кривенка Сергія Станіславовича, д.т.н., ст. досл., старшого наукового співробітника кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О. О. Зеленського;

Крицького Дмитра Миколайовича, к.т.н., доцента, декана факультету літакобудування «ХАІ»;

Дмітрієва Олега Миколайовича, д.т.н., професора, провідного наукового співробітника Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

Личечка Володимира Петровича, д.т.н., професора, начальника науково-дослідного відділу вивчення та впровадження досвіду наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Білозерського Владислава Олександровича* на тему «**Методи та засоби попередньої обробки відеоданих в комплексі завдань наведення БПЛА**».

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Актуальність теми досліджень зумовлена стрімким розвитком систем автономного наведення та масовим впровадженням технологій технічного зору в критично важливі сфери (моніторинг об'єктів, логістика, системи безпеки та спеціальні застосування), де точність виявлення та супроводження динамічних цілей безпосередньо впливає на надійність і результативність виконання завдань.

Водночас існуючі підходи до автоматизованої обробки відеоданих в умовах інтенсивних оптико-фотометричних завад (динамічного фону, руху біологічних об'єктів та оклюзій) переважно мають фрагментарний характер і не забезпечують необхідної стійкості треку при високошвидкісному маневруванні цілей. Проблема загострюється через критичну невідповідність між високими вимогами до точності нейромережових архітектур та обмеженими обчислювальними ресурсами вбудованих платформ, що обумовлює необхідність розроблення методів попередньої обробки та адаптивних алгоритмів управління, здатних комплексно забезпечувати високу точність наведення БПЛА у реальному часі при мінімальному апаратному навантаженні.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Представлені в роботі результати дослідження застосовувались при виконанні науково-дослідницької роботи «Рациональне управління

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Удосконалено метод технічного зору для виявлення безпілотних літальних апаратів у відеопотоці за рахунок інтеграції етапів просторової та морфологічної попередньої обробки відеоданих для реалізації механізмів адаптивної фільтрації динамічних оптико-фотометричних завад та структурної реконструкції силуетів цілей безпосередньо на ранніх стадіях аналізу кадру, що надає змогу підвищити точність селекції рухомих об'єктів та забезпечити формування просторових гіпотез щодо локалізації цілі у вигляді обмежених зон інтересу.

2. Отримав подальшого розвитку метод адаптивного супроводження цілей за рахунок комплексування візуальних трекерів із стохастичним оцінюванням на базі лінійного фільтра Калмана та запровадження інерційного прогнозування параметрів руху в моменти тимчасової втрати цілі, що забезпечує збереження цілісності треку та гарантує безперервність супроводження об'єкта в жорстких умовах його швидкого маневрування, зміни ракурсу та виникнення оклюзій.

3. Удосконалено модель автоматичного наведення на основі скінченного автомата за рахунок впровадження перевірки темпоральної стабільності потенційних цілей та семантичною верифікацією легковаговою нейромережею у межах локального фрагменту кадру, що надає змогу мінімізувати хибні фіксації на природні елементи сцени чи біологічні об'єкти, а також оптимізувати використання обчислювальних ресурсів при роботі системи в масштабі реального часу.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення результатів роботи полягає у розвитку наукових підходів до побудови систем технічного зору для виявлення та супроводження безпілотних літальних апаратів шляхом інтеграції методів просторової та морфологічної обробки відеоданих, комплексування візуальних трекерів зі стохастичним оцінюванням на базі фільтра Калмана та впровадження механізмів темпорально-семантичної верифікації об'єктів, що дозволяє забезпечити безперервність супроводження в умовах інтенсивних маневрів та оклюзій, мінімізувати ймовірність хибних спрацювань у складних фоно-цільових умовах та оптимізувати використання обчислювальних ресурсів у масштабі реального часу. Отримані моделі, алгоритми та методи розширюють методологічну базу досліджень у галузі автоматизації процесів візуальної навігації.

Практичне значення полягає у можливості використання розробленого алгоритмічного забезпечення та програмного комплексу, реалізованого у вигляді уніфікованої бібліотеки та спеціалізованого класу `TrackingManager`, для проектування та вдосконалення систем автоматичного наведення і моніторингу повітряного простору. Впровадження створеної апаратно-програмної системи на

вбудованих обчислювальних платформах дозволяє підвищити надійність виявлення та захоплення цілей за наявності оптичних завад і динамічного фону при одночасному зниженні апаратних витрат. Результати роботи можуть бути застосовані у засобах протидії безпілотним літальним апаратам, системах охорони периметра, комплексах екологічного та інфраструктурного нагляду, а також при розробці інтелектуальних систем керування для безпілотних авіаційних комплексів різного призначення.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на конференціях:

1. Bilozerskyi, V., Dergachov, K., Krasnov, L. New methods for video data pre-processing to improve the quality of computer vision systems. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312988>.

2. Bilozerskyi, V., Dergachov, K., Hurtovyi, O. Performance Evaluation of Modified Detection Algorithms Within the Framework of a Simulation System for Modelling UAV Visual Guidance. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2024 (ICTM), Springer, Cham, 2024, pp. 81-95. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94845-9_7.

3. Dergachov, K., Ovdyyuk, E., Dubinin, V., Hurtovyi, O., Bilozerskyi, V. Simulation System for Modelling UAV Visual Guidance. 2024 14th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, 2024, pp. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/DESSERT65323.2024.11122130>.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено:

- у навчальному процесі кафедри систем управління літальних апаратів у вигляді лекцій у навчальних дисциплінах: «Основи побудови автономних навігаційних систем», «Проектування автономних навігаційних систем», «Технічний зір в системах управління», «Сучасні методи побудови і моделювання систем управління» та «Штучний інтелект в системах управління»;
- при виконанні науково-дослідницької роботи «Раціональне управління функціонуванням технічних систем з невизначеною динамікою» ДР № 0124U000767 впродовж 2024-2026 рр.;

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація В. О. Білозерського є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових публікацій, у тому числі:

- дві статті в наукових фахових виданнях України категорії «А» за спеціальністю;
- дві статті в фаховому виданні України категорії «А», проіндексовані в базі Scopus;
- три доповіді на міжнародних наукових конференціях.

Статті в фаховому виданні України категорії «А», проіндексовані в базі Scopus:

1. Dergachov, K., Krasnov, L., Bilozerskyi, V., Zymovin, A. Data pre-processing to increase the quality of optical text recognition systems. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2021, no. 4, pp. 183-198. Doi: 10.32620/reks.2021.4.15.

Здобувачем виконано синтез алгоритмів попередньої обробки відеоданих для компенсації геометричних викривлень та нерівномірного освітлення в системах технічного зору. Розроблено програмні модулі для адаптивної фільтрації та сегментації зображень, а також впроваджено методику оцінювання ефективності розпізнавання образів за імовірнісними критеріями.

2. Bilozerskyi, V., Dergachov, K., Krasnov, L., Zymovin, A., Popov, A. New method for video stream brightness stabilization: algorithms and performance evaluation. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2023, no. 3, pp. 125-135. Doi: 10.32620/reks.2023.3.10.

Здобувачем виконано дослідження часової мінливості параметрів відеоданих та розробку методів їхньої адаптивної стабілізації в системах технічного зору. Ним синтезовано алгоритми цифрової фільтрації просторово-часових процесів та запропоновано лінійну процедуру корекції кадрів для компенсації негативного впливу зовнішнього середовища. Проведено експериментальну перевірку розробленого програмного забезпечення, що підтвердило ефективність запропонованих рішень для розв'язання задач розпізнавання образів у реальному часі.

Статті в наукових виданнях України категорії «А», затверджених як фахові за спеціальністю 151:

3. Дергачов, К., Білозерський, В., Краснов, Л. Аналіз і попередня обробка відеоданих для підвищення якості роботи систем технічного зору. *Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики»*, 2023, 2(164), С. 50-66. Doi: 10.34229/1028-0979-2023-2-4.

У статті виконано системний аналіз мінливості характеристик відеоданих під впливом негативних зовнішніх факторів, проаналізовано існуючі архітектури нейронних мереж та засобів їх програмної підтримки для задач розпізнавання образів, визначено середню яскравість кадру як найбільш універсальний показник якості відеопотоку, а також обґрунтовано необхідність використання адаптивної фільтрації та лінійної стабілізації для підвищення ефективності систем технічного зору.

4. Білозерський, В., Білоус, О., Дергачов, К., Краснов, Л. Оцінка ефективності нового методу стабілізації яскравості відеопотоку в реальному масштабі часу. Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики», 2024, no. 1, С. 87-104. Doi: 10.34229/1028-0979-2024-1-8.

У статті було виконано розробку та дослідження методу аналізу і стабілізації яскравості відеоданих у системах технічного зору. Створено алгоритм просторово-часової обробки для формування послідовності значень яскравості, розроблено цифрові фільтри низьких частот для усунення високочастотних завад. Запропоновано лінійну процедуру корекції пікселів для стабілізації світлових параметрів відеопотоку без порушення кольорового балансу. Проведено експериментальну оцінку ефективності підходу за критерієм середньої абсолютної помилки на реальних відеозаписах, результати якої подано у вигляді порівняльних трендів та гістограм для підтвердження високої точності стабілізації.

7. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Білозерським Владиславом Олександровичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Білозерський Владислав Олександрович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Білозерського Владислава Олександровича на тему «Методи та засоби попередньої обробки відеоданих в комплексі завдань наведення БПЛА», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Головуючий на засіданні
кандидат технічних наук, доцент кафедри
систем управління літальних апаратів
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»



Сергій ПАСІЧНИК