

Голові разової спеціалізованої
вченої ради ДФ 70.052.022
Хмельницького національного
університету
доктору технічних наук, професору
Тетяні ГОВОРУЩЕНКО
29016, м. Хмельницький,
вул. Інститутська, 11

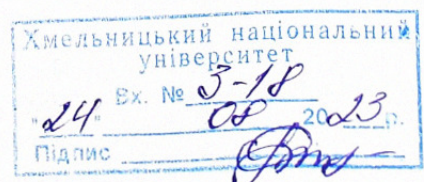
ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента Боярчука Артема Володимировича
на дисертаційну роботу Мельниченка Олександра Вікторовича
*«Методи збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із
використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів»*,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
з галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виконання різних завдань набуло широко поширення. Можливість доповнення БПЛА відеокамерами для збору та отримання зображень покращила ефективність виконання завдань у важкодоступних місцях та суттєво автоматизувала таку роботу. Важливим напрямом їх використання є галузь садівництва, де необхідна автоматизація процесів обліку врожаю, яку можна виконати за допомогою безпілотних літальних апаратів. Така задача зводиться до застосування методів збору, отримання, обробки та аналізу інформації про задані об'єкти. Використання цих методів, а також стратегій, підходів, способів та технологій має важливе значення в контексті автоматизації процесів. Однак, суттєвими проблемами, які виникають у процесі використання БПЛА та збору зображень у реальному часі та в реальних умовах є зовнішні природні впливи, які впливають на ефективність функціонування автоматизованих систем із використанням БПЛА та, відповідно, збір зображень. Крім того, у випадку використання декількох БПЛА, крім позиціонування та узгодження їх роботи між собою зі збору зображень, виникають проблеми з вибору маршруту та досягнення ними руху за заданими координатами в просторі.

Сучасні автоматизовані системи з використанням БПЛА відрізняються між собою, залежно від функційних можливостей здійснювати збір, отримання, розпізнавання зображень заданих об'єктів, обчислення кількості заданих об'єктів, налаштуваннями, ефективністю роботи та точністю отриманих результатів. Залишаються актуальними питання забезпечення ефективності функціонування таких систем зі збору та отримання зображень у реальних умовах і точність розпізнавання для подальшого обчислення кількості.



Вирішення задачі розробки методів збору, розпізнавання та обробки зображень отриманих із використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів, є однією із важливих наукових задач у сфері інформаційних технологій, орієнтованих на побудову та подальшу експлуатацію автоматизованих систем із використанням БПЛА. Попри значний обсяг виконаних у цьому напрямку наукових досліджень і, відповідно, отриманих наукових результатів та розробок, актуальною залишається задача покращення ефективності збору, точності розпізнавання, обробки зображень отриманих із використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів та вибір і узгодження маршрутів для групи БПЛА.

Тому, актуальною науковою задачею є розробка методів збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів, які б покращували ефективність збору, точність розпізнавання та обробки зображень, які отримані з використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів.

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

Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідної тематики Хмельницького національного університету: держбюджетної науково-дослідної теми «Розроблення інформаційної технології прийняття контрольованих людиною критично-безпекових рішень за ментально-формальними моделями машинного навчання» №2Б-2021 (№ держреєстрації 0121U112025), в якій автор дисертації був виконавцем.

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1) розроблено новий метод побудови маршрутів БПЛА згідно технологій самонавчання, який на відміну від відомих, полягає в позиціюванні апаратних пристроїв у тривимірному координатному просторі в реальному часі за рахунок самонавчання при побудові маршрутів їх руху, що дає змогу покращити переміщення та синхронізацію між групою БПЛА або одного БПЛА в межах робочого сегменту і за рахунок цього збільшення кількості опрацьованих даних.

2) розроблено новий метод динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА, який на відміну від відомих відрізняється тим, що забезпечує в процесі активації кожного БПЛА генерацію відеоряду в центральну систему, прийняття рішень про подальшу роботу групи БПЛА, підтвердження цілісності програмної місії та визначення рівня критичності для продовження виконання роботи групи БПЛА за рахунок визначення станів модулів та комплексному врахуванні вимог розподілення, багаторівневості та автоматизованості, що покращує узгодження між різними БПЛА та досягнення переміщення всієї групи БПЛА від заданих початкових до кінцевих точок програмної місії автономно.

3) розроблено новий метод синхронізації відеопотоків в режимі реального часу, який відрізняється від відомих тим, що забезпечує накопичення даних про попередні програмні місії БПЛА, у випадку критичних збоїв, які спотворюють цілісність структур даних із джерел отримання відеопотоків, зберігає такі структури в спеціальному журналі помилок та не відправляє їх як вхідні параметри в наступну обробку, що дає змогу виконувати порівняння отриманих

поточних результатів із минулими в режимі реального часу і це забезпечує оперативне отримання результатів та здійснення виявлення структурних об'єктів, які були пропущені в процесі минулих програмних місій.

4) вдосконалено метод виявлення заданих структурних об'єктів на зображеннях, який на відміну від оригінальної архітектури YOLOv5, полягає в тому, що модифіковано модуль фокусування нейронної мережі, видалено згортковий шар поєднуючий вхідну карту ознак з операцією конкатенації, актуалізовано механізм візуальної уваги для вилучення ознак, об'єднання шарів 4 і 15, 6 і 11, 10 і 21 оригінальної архітектури замінено на об'єднання шарів 5 і 18, 8 і 14, 13 і 24 вдосконаленої архітектури, вихідні карти ознак 14-го та 21-го шарів вдосконаленої архітектури об'єднано між собою, що дало змогу покращити точність виявлення і зменшити час навчання нейронної мережі.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації.

У *вступі* роботи представлено обґрунтування актуальності наукової задачі із забезпечення покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів Також, подано зв'язок тематики дослідження з напрямками наукових досліджень відомих дослідників цієї проблеми в світі та відображено основні наукові результати роботи та її практичне значення.

У *першому розділі* виконано аналіз предметної області дослідження, відомих методів збору, розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів, зокрема актуальності їх застосування до польових задач садівництва, розпізнавання фруктових плодів в реальних умовах фруктового саду, а також, методи виявлення та відстеження заданих структурних об'єктів за відеопотоком, методи ідентифікації та обчислення кількості заданих структурних об'єктів, огляд технічних пристроїв та апаратного забезпечення для використання безпілотних літальних апаратів, керування робочими місіями групи безпілотних літальних апаратів, використання групи безпілотних літальних апаратів для генерації фото та відеоматеріалів.

У *другому розділі* представлено розробку методу побудови маршрутів БПЛА на основі технологій самонавчання, архітектуру автоматизованої системи динамічного отримання зображень заданих об'єктів в тривимірному просторі, проектування робочої місії БПЛА в тривимірному просторі, інформаційні потоки автоматизованої системи під час виконання програмної місії, процес генерації зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі, створення програмної місії в системі, програмний інтерфейс автоматизованої системи та розробку методу динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА, а також підсумовано отримані результати.

У *третьому розділі* представлено розроблений метод синхронізації відеопотоків в режимі реального часу, вдосконалений метод виявлення заданих структурних об'єктів, спосіб обчислення кількості заданих структурних об'єктів, створення детектора у задачі розпізнавання образів у режимі реального часу, постановку експерименту, підготовку робочого середовища, підготовку

навчальних наборів даних, створення детектора, тестування та результати створеного детектора, а також підбито підсумки з отриманих результатів.

У *четвертому розділі* представлено програмну реалізацію автоматизованої системи виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів, опис експериментальної установки, постановку і проведення експериментальних досліджень із застосування розробленої автоматизованої системи, опис експериментального середовища, оцінювання ефективності автоматизованої системи, а також зроблено підсумки з отриманих результатів.

У *висновках* представлено отримані наукові та практичні результати дослідження.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації обґрунтовані коректним та доцільним використанням математичного апарату, алгоритмами побудови маршрутів, узгодження роботи різних БПЛА в групі, збору і отримання зображень в реальних умовах, розпізнавання заданих об'єктів та обчислення їх кількості, успішною реалізацією розробленої автоматизованої системи, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційного дослідження на підприємствах, що використовують такі автоматизовані системи, яке продемонструвало відповідність теоретичних досліджень з реальними результатами застосування.

Обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, є достатньою і ґрунтується на детальному аналізі джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, а також проявляється у якісному та аргументованому формулюванні висновків.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи.

6. Практичні результати роботи.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у виконаних здобувачем досліджень, результатом яких є розроблені методи, алгоритми та засоби збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, що дало змогу покращити ефективність виявлення заданих об'єктів за допомогою кількох БПЛА. Розроблені методи, алгоритми та засоби є частиною запропонованої у роботі автоматизованої системи виявлення та обрахування кількості яблук у фруктовому саду в режимі реального часу. Перевагою розробленої системи над аналогами є отримання нею множини відеокадрів у режимі реального часу з камер кількох БПЛА та синхронізація цих відеокадрів між собою в одну інформаційну структуру даних, що надалі трансформується в суцільне зображення. Крім того, використання функцій оптимізації якості зображення дає змогу максимально ефективно виявляти структурні під час виконання робочих місій БПЛА в робочому середовищі. Використання такого засобу трансформації дало змогу системі отримувати суцільний потік даних до

всіх наступних програмних компонентів автоматизованої системи. Так, оцінка синхронізації відеопотоків за індексом SSIM коливається від 0,79 до 0,92, із середнім значенням 0,87, а за індексом PSNR – від 22 до 39, що свідчить про високу ефективність роботи розробленої системи із відеопотоками та належну якість отриманих об'єднаних зображень.

У результаті проведених експериментальних досліджень було доведено ефективність роботи розробленої автоматизованої системи, що підтверджується високим середнім значенням у 82,69% показника достовірності виявлення та обчислення кількості фруктових плодів та низьким середнім рівнем помилок I (14,67%) та II (18,33%) роду.

Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені в ТОВ «ЮКС++» (м. Хмельницький), Державному підприємстві «Новатор» (м. Хмельницький), ПП «НОЛТ ТЕХНОЛОДЖИС» (м. Хмельницький), ТОВ «Агротех сервіс», а також, в освітньому процесі Хмельницького національного університету при викладанні дисциплін на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем для спеціальності 126 Інформаційні системи та технології, 123 Комп'ютерна інженерія та кафедрі комп'ютерних наук для спеціальності 122 Комп'ютерні науки, зокрема в курсах «Методи та системи штучного інтелекту», «Комп'ютерні та кіберфізичні системи», «Методи, засоби та алгоритми в задачах обчислювального інтелекту та комп'ютерного зору», «Теорія, проектування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем» та «Технології проектування інформаційних систем».

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та п'яти додатків. Повний обсяг роботи містить 204 сторінки друкованого тексту, з них анотація – на 12 ст., зміст – на 3 ст., перелік умовних скорочень – на 1 ст., основний текст – на 137 ст., список зі 140 використаних джерел – на 14 ст., додатки – на 36 ст. Дисертація містить 42 рисунки та 12 таблиць.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки й рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено в розділах роботи.

Отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

За результатами проведених досліджень опубліковано 12 наукових праць, з яких основні наукові результати опубліковано в 6 наукових статтях у фахових наукових журналах України, апробація засвідчена публікаціями 5 праць у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій, з яких одна праця індексована в наукометричній базі Scopus. Опубліковано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (програму).

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

8. Мова та стиль дисертаційної роботи.

Вважаю, що текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній послідовності. Матеріал дисертації достатньо проілюстрований схемами, рисунками, графіками й таблицями. Загальні висновки та рекомендації у дисертації впливають з проведених здобувачем досліджень та відображають основні результати роботи. Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації відповідають вимогам, які ставляться до наукових праць.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні технології.

9. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

До зауважень та недоліків дисертації варто віднести наступне:

1) У методі побудови маршрутів БПЛА за технологією самонавчання (п. 2.2.1) не розкрито повною мірою, за якими формальними показниками запропонований метод оцінює якість побудованого маршруту в режимі реального часу.

2) У роботі мало уваги приділено підсистемі самовідновлення, що повинна реагувати на виникнення критичних збоїв під час руху групи БПЛА. Не розкрито питання чи запрограмовані деякі сценарії таких критичних збоїв, чи автоматизована система має самостійно визначати, що поточна подія є дійсно критичним збоєм, а не типовим станом функціонування системи.

3) У методі синхронізації відеопотоків (п. 3.1 розділу 3) не зрозуміло, як метод забезпечує допустиме склеювання відеокадрів, щоби цільові об'єкти на двох послідовних кадрах не перетиналися. Водночас якщо перетин цільових об'єктів допускається, то варто було деталізувати поріг такого перетину з допустимим значенням.

4) На рис. 3.4 (с. 104) подано порівняння класичної архітектури YOLOv5 та вдосконаленої YOLOv5-v1. У тексті варто було деталізувати кожен блок архітектури YOLOv5 із рис. 3.4, щоб стало зрозуміліше в чому саме полягало вдосконалення YOLOv5-v1 проти класичної YOLOv5.

5) У розділі 3 рис. 3.15-3.17 подані з низькою роздільною здатністю. Ці рисунки варто було покращити для кращого сприйняття.

6) Деякі деталі окремих рисунків, наприклад, рис. 2.1 (с. 54), рис. 2.7 (с. 75), рис. 3.2 (с. 98), 3.11 (с. 122), складні для читання через надто малий шрифт. Можливо варто використати інші формати рисунків, щоб покращити сприйняття та розуміння інформації, яка подана на них.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

Висновки щодо дисертації загалом

Представлена дисертаційна робота «Методи збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів» є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати.

У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі 12 Інформаційні технології загалом та спеціальності 122 Комп'ютерні науки зокрема. Тема і зміст дисертації повністю відповідають спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Мельниченко Олександр Вікторович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент – кандидат технічних наук,
доцент, постдокторант
інституту права
Талліннського технічного університету

Артем БОЯРЧУК

Підпис Артема БОЯРЧУКА засвідчую:
Директор інституту права
Талліннського технічного університету



Танел КЕРІКМАЕ

*Hereby I certify the signature of Artem BOYARCHUK
Director of the TalTech Law School*

Tanel Kerikmäe

22 серпня 2023 р.