

**Відгук офіційного опонента –
доктора технічних наук, професора Удовенка Сергія Григоровича
на дисертацію Мироненка Микити Ігоровича на тему
«Моделі та методи інформаційної технології машинного навчання
автономного безпілотного літального апарату для відеомоніторингу
місцевості», подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»**

Актуальність теми дослідження

Інтенсивний розвиток безпілотних авіаційних комплексів є одним із важливих напрямів сучасного науково-технічного прогресу для розв'язання широкого кола задач у різних галузях соціально-економічної сфери українського суспільства та підвищення обороноздатності України. Розширення функціональних можливостей і забезпечення надійності виконання польотного завдання обумовило необхідність надання функцій автономності безпілотному літальному апарату (БПЛА), що дозволяє йому самостійно виконувати потрібні дії без втручання оператора наземної станції керування.

Основним шляхом удосконалення автономних БПЛА є застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів. Втім варто зазначити, що більшість сучасних інтелектуальних інформаційних технологій аналізу даних (зокрема, нейромережевих технологій), не завжди забезпечують високу функціональну ефективність машинного навчання за умов апріорної невизначеності даних, що має місце при формуванні цифрових зображень наземних об'єктів.

Таким чином тема дисертаційної роботи Мироненка М. І. є **актуальною**, оскільки вона присвячена підвищенню функціональної ефективності машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для розпізнавання наземних об'єктів шляхом зменшення впливу неінформативних ознак розпізнавання оточуючого середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційну роботу виконано відповідно до планів пріоритетних наукових досліджень Сумського державного університету, зокрема держбюджетних науково-дослідних робіт «Бортова система безпілотного літального апарату для автономного розпізнавання наземних малогабаритних об'єктів» і «Інформаційна технологія автономної навігації безпілотного літального апарату за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами» (ДР № 0117U002248, ДР № 0122U000786), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Роль здобувача в цих науково-дослідних роботах полягала в розробленні математичних моделей та методів інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для семантичної сегментації цифрових зображень регіону спостереження, розпізнавання наземних природних, інфраструктурних об'єктів та малогабаритних транспортних засобів.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень

Обґрунтованість наукових положень, висновків та практичних рекомендацій дисертації визначена результатами аналізу та теоретичного узагальнення сучасних наукових публікацій та результатів досліджень, проведених як вітчизняними, так і зарубіжними авторами.

Для виконання завдань дослідження здобувач використовує сучасні та класичні методи інтелектуального інформаційного аналізу даних та інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології машинного навчання; методи теорії ймовірностей і математичної статистики; методи об'єктно-орієнтованого проектування складних систем для розробки інформаційного алгоритмічного та програмного забезпечення бортової системи БПЛА, що навчається.

Достовірність наукових результатів, отриманих в рамках дисертаційного дослідження, обґрунтовано коректним використанням

математичного апарату та здійсненням об'єктивних та систематичних досліджень.

Наукова новизна результатів дослідження

У дисертаційній роботі одержано наступні нові наукові результати:

– вперше розроблено метод інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для розпізнавання наземного транспортного засобу з оптимізацією рівня квантування яскравості пікселів кадру зони інтересу, що дозволяє детектувати контур транспортного засобу з метою визначення на ньому центру полярної системи координат для формування навчальної матриці. Побудовані вирішальні правила є інваріантні до зсуву та повороту наземного об'єкту у кадрі зони інтересу;

– вперше розроблено метод інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для розпізнавання наземних об'єктів з оптимізацією розміру кадру зображення регіону, що дозволяє підвищити функціональну ефективність інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи через зменшення впливу неінформативних ознак розпізнавання оточуючого середовища;

– вперше розроблено метод інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для семантичної сегментації зображення регіону шляхом оптимізації за інформаційним критерієм вагових коефіцієнтів RGB-компонент зображень наземних об'єктів, що дозволяє підвищити повну ймовірність прийняття правильних класифікаційних рішень;

– удосконалено метод інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для відеомоніторингу місцевості за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева, що дозволяє побудувати в процесі машинного навчання із заданою глибиною безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила;

– набув подальшого розвитку метод автономної відеонавігації за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами з відомими

географічними координатами, що дозволяє визначати місцезнаходження автономного БПЛА без використання глобальної мережі позиціонування GPS і цим підвищити інформаційну захищеність літального апарату.

Практична цінність одержаних результатів

У дисертаційній роботі Мироненка М. І. здійснено алгоритмічну та програмну реалізацію отриманих теоретичних результатів для побудови бортової системи автономного БПЛА, призначеної для розпізнавання наземних природних, інфраструктурних і малогабаритних транспортних об'єктів за умови неповної визначеності даних, що обумовлена апріорно нечітким розбиттям класів розпізнавання у просторі ознак.

Крім того, наукові результати дисертації використано при проектуванні системи підтримки прийняття рішень оператором наземної станції керування, який здійснює машинне навчання автономного БПЛА з використанням стенду-симулятора для розпізнавання наземних об'єктів. Основні наукові результати впроваджено також для розробки інформаційної технології при модернізації тренажерів безпілотних авіаційних комплексів у Науково-дослідному центрі ракетних військ і артилерії Збройних сил України (акт впровадження від 09.06.2023 р.) і в навчальний процес Сумського державного університету (акт впровадження від 05.06.2023 р.).

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях та їх апробація

Основні положення дисертації викладено в 15 наукових працях, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях (зокрема, 2 статті у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus), 9 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій (зокрема, 4 публікації у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus). Крім того, здобувачем отримано 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права.

Сукупність цих публікацій відображає викладені в дисертації результати дослідження.

Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 221 сторінку, з яких основний текст займає 165 сторінок, список використаних джерел становить 170 найменувань. Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів. Всі розділи логічно пов'язані між собою.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також наведено інформацію про апробацію результатів та їх висвітлення у публікаціях.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасного стану розвитку та застосуванню БПЛА в різних галузях соціально-економічної сфери суспільства. Відзначено, що перспективним напрямом розвитку БПЛА є надання йому властивості автономності на основі машинного навчання. Показано, що перспективною альтернативою штучним нейронним мережам є методи машинного навчання, розроблені в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту.

У *другому розділі* обґрунтовано вибір методу досліджень у рамках так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка базується на максимізації інформаційної спроможності системи розпізнавання в процесі машинного навчання. Представлено формалізовану постановку задачі та функціональну категорійну модель інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи автономного БПЛА за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева, що дозволяє здійснювати машинне навчання за лінійним алгоритмом з забезпеченням його високої точності.

Запропоновано функціональні категорійні моделі інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією параметрів формування

вхідного математичного опису. Для усунення фону на зображенні наземного об'єкту розроблено функціональну категорійну модель інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією рівня квантування яскравості кадру цифрового зображення наземного об'єкту.

Третій розділ дисертації присвячено опису алгоритмів інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для розв'язання задач семантичної сегментації зображення регіону спостереження та розпізнавання транспортних засобів. При цьому запропоновано формування вхідної навчальної матриці здійснювати шляхом оброблення зображень наземних об'єктів в полярній системі координат, що забезпечує інваріантність ознак розпізнавання при зсуві та повороті наземного об'єкту. Досліджено вплив таких параметрів, як розмір кадру зображення регіону та вагові коефіцієнти RGB-компонент зображення наземних об'єктів, на функціональну ефективність інформаційно-екстремального машинного навчання.

У четвертому розділі розроблено концептуальні моделі та інтерфейси додатків системи прийняття рішень для машинного навчання бортової системи автономного БПЛА, яке здійснює оператор наземної станції керування. За допомогою стенду-симулятора моделюються наближені до реальних умови формування цифрових зображень наземних об'єктів і можливі режими польоту автономного БПЛА. Також розглянуто засоби інформаційної технології реалізації розроблених методів інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для розпізнавання природних, інфраструктурних об'єктів та малогабаритних транспортних засобів.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У дисертаційній роботі доцільно було б навести визначення та опис специфічних термінів для обраних методів досліджень, а також перелік позначень англійських аббревіатур, які використовуються у першому розділі при огляді методів розпізнавання зображень і методів машинного навчання.

2. У підрозділі 2.1 слід було б більш переконливо обґрунтувати доцільність вибору гіперсферичного контейнера класів розпізнавання, який відновлюється в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання в радіальному базисі простору ознак, оскільки він є частинним випадком гіпереліпсоїдного контейнера.

3. У підрозділі 2.6 при визначенні місцезнаходження БПЛА за наземними орієнтирами доцільно враховувати напрям польоту безпілотної, що дозволило б узагальнити одержані результати.

4. На рисунку 3.15 наведено графік залежності нормованого критерію від параметра машинного навчання, а на рисунку 3.16 наведено аналогічний графік для ненормованого критерію, що ускладнює порівняльний аналіз одержаних результатів.

5. Слід було б порівняти одержані результати моделювання з результатами використання не лише багат шарового перцептронів зі зворотним поширенням помилки, але і згорткової нейронної мережі, яка для переважної більшості практичних завдань дозволяє отримувати більш високу точність.

6. Новизна методів, зазначених у пунктах 3, 4 основних висновків, більш відповідає рівню удосконалення, оскільки ці методи мають однакову структуру вхідних даних для існуючих методів інформаційно-екстремального машинного навчання; в той же час метод, зазначений у пункті 5 основних висновків, може бути віднесений до рівня «вперше запропоновано», оскільки він має як специфічний вхідний математичний опис, так і новий спосіб побудови ієрархічної структури даних у вигляді декурсивного дерева.

Зазначені зауваження не зменшують наукової цінності дисертаційної роботи Мироненка М. І., в якій одержано нові наукові результати, що мають як теоретичне значення, так і практичну цінність.

Висновок

Дисертація Мироненка М. І. є завершеною науковою роботою, у якій одержано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливе науково-технічне завдання підвищення функціональної ефективності машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для семантичної сегментації зображень регіону спостереження та розпізнавання наземних об'єктів. Актуальність і практична важливість результатів роботи підтверджується актами їх впровадження.

Випадків порушення академічної доброчесності у роботі не виявлено.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості наукових результатів, практичною цінністю, повнотою викладу результатів у працях здобувача і за якістю оформлення дисертаційна робота відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор 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, а здобувач, Мироненко Микита Ігорович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент –
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
інформатики та комп'ютерної техніки
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця

Сергій УДОВЕНКО

Підпис Удовенка Сергія Григоровича засвідчую:
Вчений секретар
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця



Оксана ПИСАРЧУК