

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, кандидата технічних наук, старшого викладача кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету **Коробова Артема Геннадійовича** на дисертаційну роботу **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 роботи.**

Застосування інтелектуальних інформаційних технологій аналізу зображень, отриманих за результатами відеоспостереження земної поверхні, дозволяє підвищити рівень автономності БПЛА, що дозволяє розширити його функціональні можливості і водночас знизити когнітивне навантаження на оператора наземної станції керування. У теперішній час спостерігається тенденція використання автономних БПЛА як при виконанні завдань інспекції технологічних і житлових споруд, охоронній, пошуковій та розвідувальній діяльності, так і завдань, які пов'язані з небезпекою та загрозою життю пілота-людини, наприклад, спостереження за зоною радіоактивної техногенної катастрофи, розпиленню пестицидів у сільському господарстві тощо. Особлива необхідність забезпечення автономності функціонування БПЛА виникає внаслідок застосування засобів радіоелектронної боротьби, що робить за умов бойових дій використання радіозв'язку і радіонавігації неефективним. Дослідження, пов'язані з інформаційним синтезом інтелектуальних автономних систем різного призначення в науково-технічній літературі знайшло відносно широке висвітлення. При цьому питання підвищення функціональної ефективності за умов ресурсних та інформаційних обмежень все ще залишаються недостатньо дослідженими через науково-методологічні ускладнення, пов'язані з неповною визначеністю даних.

Одним з перспективних шляхів підвищення функціональної ефективності за умов ресурсних і інформаційних обмежень є синтез здатної навчатися бортової системи автономного БПЛА на основі машинного навчання. Однак традиційні технології машинного навчання характеризуються високою обчислювальною трудомісткістю і потребують великих обсягів розмічених навчальних даних, що призводить до збільшення накладних витрат та значного сповільнення процесу адаптації моделі до нових умов функціонування. Тому однією зі складних задач, на дослідження якої спрямована дисертаційна робота, є створення інтелектуальної інформаційної технології машинного навчання автономного БПЛА за умов обмеженого обсягу розмічених навчальних даних та обчислювальних ресурсів. При цьому розв'язання цієї задачі полягає в необхідності аналізу просторово-часової візуальної інформації з урахуванням незбалансованості вхідних даних та впливу довільних умов процесу відеомоніторингу, обумовлених змінами місцевості, висоти, ракурсу і погодних умов спостереження.

Тому є **актуальною** тема дисертаційної роботи Мироненка М. І., в якій вирішується важливе **наукове завдання** розроблення інформаційної

інтелектуальної технології машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для відеомоніторингу місцевості за умови неповної визначеності даних у рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційне дослідження Мироненка М. І. виконано в рамках науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету, зокрема держбюджетним науково-дослідним роботам «Бортова система безпілотного літального апарату для автономного розпізнавання наземних малогабаритних об'єктів» (ДР № 0117U002248), «Інформаційна технологія автономної навігації безпілотного літального апарату за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами» (ДР № 0122U000786).

Роль автора в цих науково-дослідних роботах полягала в розробленні математичних моделей, методів та алгоритмів інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для розпізнавання наземних природних, інфраструктурних та інших малогабаритних об'єктів і засобів інформаційної технології її синтезу.

### **Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій сформульованих у дисертації.**

Аналіз та теоретичне узагальнення широкого кола наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів, присвячених дослідженням розпізнавання електроміографічних сигналів та систем керування протезами дозволив автору обґрунтувати особисто одержані наукові положення, висновки та практичні рекомендації.

Наукові положення та результати, викладені здобувачем є достатньо обґрунтованими та логічно викладеними. Висновки роботи обґрунтовані та підтверджуються результатами досліджень.

Основні напрями досліджень чітко структуровані, зокрема щодо висвітлення наукової проблеми синтезу вхідного математичного опису системи за електроміографічними сигналами та класифікаційних вирішальних правил.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, також були опубліковані у фахових виданнях.

### **Наукова і практична цінність дисертації, наукова новизна.**

У дисертаційній роботі розв'язано важливе науково-практичне завдання розроблення інформаційної інтелектуальної технології машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для відеомоніторингу місцевості за умови неповної визначеності даних у рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту.

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 та побудувати в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА вирішальні правила, інваріантні до зсуву та повороту наземного об'єкту в 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 БСР через зменшення впливу неінформативних та заважаючих ознак розпізнавання оточуючого середовища наземного об'єкту.

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 у порівнянні з початковими одиничними значеннями вагових коефіцієнтів як це приймалося в наукових дослідженнях попередників.

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. Доведено доцільність реалізації інформаційно-екстремального машинного навчання за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева при кількості класів розпізнавання більше двох.

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 та/або кіберзахищеність літального апарату.

За одержаними науковими результатами розроблено засоби інформаційної технології інформаційно-екстремального машинного навчання автономного БПЛА для відеомоніторингу місцевості з використанням стенду-симулятора 3D-макетів наземних об'єктів, що дозволяє зменшити витрати на розробку, налагодження та верифікацію інформаційного та програмного забезпечення.

Результати досліджень упроваджено у вигляді розробленого інформаційного та програмного забезпечення при модернізації тренажеру операторів керування БПЛА в Науково-дослідному центрі ракетних військ і артилерії Збройних сил України (акт впровадження від 09.06.2023) та в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету (акт впровадження від 30.05.2023).

#### **Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях.**

Основні положення дисертації викладено у 18 наукових працях, зокрема п'ять статей у наукових фахових виданнях України, з яких дві статті індексуються в наукометричній базі Scopus; одна стаття в закордонному виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus (квартіль Q2); дев'ять публікацій у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій, з яких три індексуються в наукометричній базі Scopus. Крім того, отримано 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма», що відповідає реалізації складових інформаційної технології машинного навчання бортової системи автономного БПЛА для розпізнавання наземних об'єктів. Сукупність усіх публікацій відображає викладені в дисертації результати дослідження, що

відповідає вимогам п. 8, 9 вимог до присудження ступеня доктора філософії «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 №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 22 січня 2022 р.

#### **Академічна доброчесність.**

За результатами перевірки дисертаційної роботи Мироненка Микити Ігоровича на тему «Моделі та методи інформаційної технології машинного навчання автономного безпілотного літального апарату для відеомоніторингу місцевості», на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстративних запозичень; навмисних спотворень не виявлено. Звідси можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

#### **Оформлення дисертації.**

Матеріали дисертації викладено згідно з існуючим стандартом і рекомендаціями оформлення дисертаційних робіт, логічно структуровано з дотриманням наукового стилю написання.

#### **Зауваження щодо змісту дисертації.**

1. У науковому завданні дисертаційних досліджень вказано, що воно полягає в розробленні інтелектуальної інформаційної технології машинного навчання. У той же час у назві дисертаційної роботи як основні результати наукових досліджень декларуються моделі та методи інформаційної технології машинного навчання автономного БПЛА.

2. У рекомендації на сторінці 87 щодо альтернативного підходу до визначення відстані БПЛА до наземного орієнтиру за допомогою лідара в режимі відеонавігації, на мій погляд, необхідно пояснити яким чином визначається на рецепторному полі зображення регіону координата центральної оптичної вісі відеокамери.

3. У виразі (2.18), який задає структуру вхідного математичного опису машинного навчання автономного БПЛА, як кардинальне число множини навчальних матриць вказано кількість страт декурсивного дерева  $S$ . Оскільки на кожній страті знаходиться два класи розпізнавання, то кардинальне число повинно дорівнювати  $2S$ .

4. У відомих методах інформаційно-екстремального машинного навчання розглядається розбиття простору ознак на класи розпізнавання. У роботі замість розбиття розглядається поняття покриття. Тому бажано було б пояснити доцільність використання такого поняття.

Вище вказані зауваження не впливають на рівень наукової цінності поданої на захист дисертаційної роботи Мироненка Микити Ігоровича, в якій представлено результати вирішення нової актуальної наукової задачі, що має теоретичне і практичне значення.

#### **Висновок.**

Дисертаційна робота **Мироненка Микити Ігоровича** на тему «Моделі та методи інформаційної технології машинного навчання автономного

безпілотного літального апарату для відеомоніторингу місцевості» за актуальністю проблеми, методичними підходами, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих даних, повнотою викладу принципів наукових положень, науково-теоретичним та практичним значенням повністю 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 дисертант, з урахуванням виконання в повному обсязі освітньої складової освітньо-наукової програми та індивідуального плану наукової роботи, заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, старший викладач,  
кафедри комп'ютерних наук  
Сумського державного університету



Артем КОРОБОВ

