

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Альперта Максима Іогановича

на тему «**Інформаційна технологія керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

Актуальність теми дисертації.

Безпілотні апарати широко застосовуються у багатьох галузях. Питання ефективного використання безпілотних апаратів та забезпечення їх взаємодії між собою для розв'язання складних задач потребують нових нестандартних рішень. Особливу актуальність набуває застосування коаліції безпілотних апаратів в процесі проведення пошуково-рятувальних операцій, у тому числі, доставки життєво-необхідних вантажів у важкодоступні райони. Успішне вирішення таких задач передбачає розробку нових інформаційних технологій, що забезпечують ефективне використання безпілотних апаратів. Розв'язання таких задач ускладняється обмеженістю людських, енергетичних та фінансових ресурсів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження:

– розроблено комбіновану централізовано-кооперативну математичну модель керування безпілотним літальним апаратом (БпЛА) та безпілотним наземним апаратом (БпНА), характерною особливістю якої є одночасне застосування централізованого та кооперативного методів керування безпілотним апаратом (БпА) на базі ігрового підходу, що дозволяє забезпечити ефективну взаємодію БпЛА та БпНА з урахуванням обмеженості ресурсів;

– вперше розроблено ігровий метод кооперації БпНА та БпЛА, який об'єднує переваги як централізованого так і кооперативного методів керування, який дозволяє здійснити найкращий вибір безпілотних апаратів шляхом врахування їх технічних характеристик в умовах обмеженості ресурсів;

– розроблено оптимізаційну ігрову математичну модель керування БпЛА та БпНА із застосуванням нейронних мереж в умовах ризику та невизначеності, що вирішує проблему знаходження оптимального шляху на базі ігрового підходу та дозволяє сформувати безпечний оптимальний маршрут руху БпНА;

– вперше розроблено ігровий метод керування БпЛА та БпНА, який відрізняється одночасним врахуванням ризику та невизначеності, застосування якого дозволяє отримати оптимальний маршрут руху безпілотних апаратів.

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 Альперта М.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 12 Інформаційні технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми 126 Інформаційні системи та технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у інженерно-технологічний науковий напрям.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Альперта Максима Іогановича 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.

Матеріал дисертаційної роботи надано доступно та послідовно. Стиль мовлення грамотний. Використана загальноприйнята термінологія, наукові терміни, вузькоспеціальна термінологія.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 188 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначені мета та завдання дисертаційного наукового дослідження, об'єкт та предмет дослідження, а також методи дослідження. Крім того, наведено наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, пов'язані наукові програми й особистий внесок.

У **першому** розділі надано огляд та виконано аналіз сучасного стану розвитку інформаційних технологій керування безпілотними апаратами із застосуванням ігрового підходу та нейронних мереж. Розглянуто різні типи нейронних мереж, а також їх використання у поєднанні з навчанням з підкріпленням. Зроблено висновок, що використання нейронних мереж у поєднанні з ігровими методами та навчанням з підкріпленням перспективно та

доцільно, оскільки підвищує безпеку виконання завдань безпілотними апаратами.

У **другому** розділі проаналізовані існуючі методи, надано обґрунтування обрання апарату дослідження, який застосовано в процесі проектування інформаційної технології керування безпілотними апаратами. Отримано нові математичні моделі (комбінована централізовано-кооперативна математична ігрова модель керування БПА та оптимізаційна ігрова математична модель керування БПЛА та БПНА в умовах невизначеності), а також розроблена архітектура інформаційної системи. Розроблено новий ігровий метод взаємодії (кооперації) БПНА та БПЛА, який відрізняється об'єднанням переваг як централізованого, так і кооперативного методів керування. Розроблено новий ігровий метод керування БПЛА та БПНА, який відрізняється одночасним врахуванням ризику та невизначеності, що дозволяє отримати оптимальний безпечний маршрут руху.

У **третьому** розділі виконано порівняльний аналіз найпоширеніших симуляторів, необхідних в процесі проведення практичних експериментів, а також розглянуто їхні переваги та недоліки. Для проведення експериментів дисертаційного дослідження обрано симулятор Microsoft AirSim, запропоновано модифікації цього симулятора: прибрано центральний контролер та окремий обчислювальний мікрокомп'ютер, додано нові фізичні контролери, додано блок вбудованих алгоритмів, налагоджено взаємодію вбудованих алгоритмів з API Layer. Під час проведення експериментів були використані два типи БПА (наземний та літальний), які вбудовані у Microsoft AirSim.

Для проведення експериментів з виявлення великих статичних та раптових перешкод обрано комбіновану згорткову нейронну мережу, яка поєднує швидкість розпізнавання MobileNet, точність виявлення об'єктів за допомогою SSD та переваги трансферного навчання. Експерименти полягали в навчанні згорткової нейронної мережі розпізнавати великі статичні та раптові перешкоди за допомогою трансферного навчання. Згідно отриманим результатам обрана у науковому дослідженні комбінована згорткова нейронна мережа ефективно розпізнала нові об'єкти, а саме – великі статичні блоки та раптові перешкоди.

Навчання з підкріпленням, яке було застосовано в науковому дослідженні, дозволило подолати великі статичні блоки та раптові перешкоди.

У **четвертому** розділі висвітлено питання обробки та збереження даних. Надано опис структури програмного забезпечення для роботи з базою даних (БД) центра керування та БД БПА. Розроблено діаграму класів для інформаційної технології керування безпілотними апаратами та схему інформаційної технології керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж.

На основі одержаних в результаті наукового дослідження алгоритмів розроблено програмне забезпечення та проведено комп'ютерне моделювання різних ситуацій.

Загальні висновки містять основні результати, отримані при проведенні дисертаційного дослідження та підсумовують, як розроблені методи та моделі вирішують наукові завдання.

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: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, віднесена до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Представлені публікації відображають результати проведених наукових досліджень у межах дисертаційної роботи. Порухення принципів академічної доброчесності в публікаціях не було виявлено. Особистий внесок здобувача, що відображений у цих публікаціях і описаний у дисертації, підтверджує його авторство у відповідних наукових результатах.

Також результати дисертації були апробовані/використані у навчальному процесі кафедри Інформаційних систем та технологій факультету Інформатики та обчислювальної техніки Національного Технічного Університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в матеріалах навчально-методичного забезпечення курсів: «Прикладні задачі машинного навчання», «Системи штучного інтелекту», «Штучний інтелект в задачах обробки зображень».

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Більше уваги потребує питання захисту даних при обміні інформацією між БД центра керування та БД БпА.

2. Огляд сучасного стану архітектури нейронних мереж для використання в навчанні з підкріпленням мав би бути поглибленим.

3. В дисертаційній роботі запропоновано розглядати несприятливі ситуації при виконанні завдання коаліцією БпА, які виникають в умовах невизначеності, зокрема, стосовно можливої появи як статичних перешкод (великі статичні блоки), так і раптових статичних перешкод. Разом з тим, більш

детального опрацювання потребує питання раптової появи динамічних перешкод.

Висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Альперта Максима Іогановича на тему «Інформаційна технологія керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж» 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 інформаційних технологій. 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 Альперт Максим Іоганович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології.

Офіційний опонент:

Заступник директора з наукової роботи
Інституту програмних систем НАН України,
Лауреат державної премії України в галузі науки і техніки
доктор технічних наук, професор

Віктор ШЕВЧЕНКО



«22» 04 2025 року