

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Сокольського Сергія Олеговича

на тему «Акустичне виявлення безпілотних літальних апаратів»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань «17 — Електроніка та телекомунікації»

за спеціальністю «172 — Телекомунікації та радіотехніка».

Актуальність теми дисертації.

Під час війни існує серйозна загроза використання противником малих безпілотних літальних апаратів (МЛА або дрони) як для операцій розвідки, так і для бойових ударних операцій.

Оскільки МЛА через їхні розміри та особливості руху малопомітні в електромагнітному та інфрачервоному діапазонах довжин хвиль, акустичний метод їх виявлення є ефективним рішенням. Шуми від двигунів та лопатей МЛА — важливі демаскуючі ознаки, а акустичні хвилі досить добре поширюються в повітрі, навіть в умовах складного рельєфу.

Вважаю, що завдання створення та дослідження пристрою для ефективного виявлення МЛА на основі аналізу акустичних сигнатур є актуальним.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Вперше запропоновано модель ідентифікатора МЛА, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на використанні бази аудіозаписів акустичних сигнатур дронів та надає можливість зменшити похибку під час класифікації їхньої моделі.

2) Вперше розроблено метод цифрової обробки акустичних сигналів дронів, наукова новизна якого полягає в тому, що він ґрунтується на теорії штучного інтелекту та використовує згорткову нейронну мережу глибокого навчання з оптимізатором Adam для підвищення швидкості та ефективності ідентифікації типу малих безпілотних літальних апаратів.

3) Удосконалено методику розрахунку кількості мел-фільтрів та їхнього частотного діапазону, що, на відміну від існуючих, враховує бажану частотну розділову здатність та дає змогу підвищити швидкість та точність отримання

основних представлень аудіосигналу МЛА під час використання техніки зважування коефіцієнтів ШПФ за допомогою банків мел-фільтрів.

Достовірність наукових результатів підтверджується експериментально із використанням розробленого акустичного детектора для виявлення малих безпілотних літальних апаратів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі Прикладної радіоелектроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР за договором № Дндч/0201.01/2100.02/47/2023 під керівництвом в.о. завідувача кафедри ПРЕ, кандидата технічних наук, доцента Мовчанюка Андрія Валерійовича.

Отже, поставлене наукове завдання — розроблення пристрою з одним вхідним сенсором-мікрофоном для ефективного виявлення малих безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних сигнатур, 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 Сокольського С.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «172 — Телекомунікації та радіотехніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям кафедри ПРЕ «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сокольського Сергія Олеговича 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 викладено науковим стилем мовлення, доступно та послідовно, а також із використанням сучасної загальноприйнятої термінології.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації 183 сторінки.

У вступі проведено докладний аналіз актуальності обраного напрямку дослідження, сформульовано основну мету, поставлені завдання та описані методи для їхнього виконання. Додатково надано інформацію про наукову оригінальність дослідження та його практичне застосування.

Перший розділ присвячено докладному аналізу трьох основних методів детектування безпілотників: оптичному, радіолокаційному та акустичному. При цьому, кожним з цих методів теоретично оцінювалась максимальна дальність виявлення МЛА, на прикладі використання квадрокоптера «DJI Mavic 3».

У другому розділі описано процес створення простого акустичного детектора, що використовує у якості первинного електроакустичного перетворювача, один електретний мікрофон. Розроблений детектор дозволяє виявляти звукові коливання, генеровані двигунами та лопатями дронів, навіть в умовах шумів оточуючого середовища. Далі відбувається процес оброблення отриманих акустичних сигналів для визначення місцезнаходження та траєкторії руху МЛА. У рамках експериментів була створена колекція аудіофайлів, що містить акустичні сигнатури дронів моделей «DJI Mavic 3», «DJI Mavic 2 Pro», «FPV», «FeiLun FX137» та «LN X43-W». Аналіз спектрів аудіозаписів надає важливі дані для подальшої розробки алгоритму класифікації безпілотників.

Третій розділ роботи зосереджений на розробленні алгоритму ефективного виявлення та класифікації аудіосигналів малих безпілотних літальних апаратів із використання згорткової нейронної мережі глибокого навчання. Крок за кроком розглянуто етапи проектування архітектури мережі, вибір оптимізатора для оновлення значення коефіцієнтів ваги, а також визначено теоретичну оцінку продуктивності роботи готової моделі.

У четвертому розділі представлені результати перевірки ефективності практичного застосування розробленого алгоритму виявлення МЛА на основі згорткової нейронної мережі. Крім того, надані рекомендації для подальшого вдосконалення продуктивності та адаптивності алгоритму.

У додатках наведено список наукових праць автора, акт про впровадження результатів дисертаційної роботи та код програмного забезпечення для виявлення та класифікації малих безпілотних літальних апаратів.

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у

періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Усі наукові праці автора дисертації висвітлюють ключові наукові досягнення дослідження. Ці публікації підтверджуються високим науковим рівнем та дотриманням усіх норм і правил академічної доброчесності. Автор вносить значний внесок у спільні публікації, які важливою мірою сприяють розвитку й поглибленню основних аспектів дисертаційного дослідження.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

На мою думку, в роботі наявні наступні недоліки:

- 1) При огляді діаграм спрямованості мікрофонів не було розглянуто їхню частотну залежність.
- 2) Для навчання нейронної мережі розробленого алгоритму використовувалась надлишкова смуга сигналів. Автор використовував діапазон частот до 20 кГц, що становить частотну межу роботи обраної моделі мікрофону, хоча в першому розділі роботи було вказано, що акустичні сигнали МЛА являють собою сукупність гармонічних і широкосмугових складових із смугою до 12 кГц.
- 3) Не достатньо розкриті питання по акустичному оформленню мікрофону.

Вважаю, що 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.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сокольського Сергія Олеговича на тему «Акустичне виявлення безпілотних літальних апаратів» 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 галузі знань «Електроніка та телекомунікації». 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 Сокольський Сергій Олегович заслуговує присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «17 — Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю «172 — Телекомунікації та радіотехніка».



Рецензент:

Доцент кафедри прикладної
радіоелектроніки радіотехнічного
факультету КПІ ім. Ігоря
Сікорського,
кандидат технічних наук



Руслан АНТИПЕНКО

« 30 » січня 2024 року

Підпис гр. _____	
ЗАСВІДЧУЮ	
Відділ кадрів та діловодства	
 підпис	 пр-ще