

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.

Малі безпілотні літальні апарати (МЛА) або дрони, через свої габаритні розміри, в останні роки стали невід'ємною частиною життєдіяльності суспільства. Вони використовуються у доставці вантажів на важкодоступні території, проведенні аерофотозйомки та патрулюванні кордонів. Але з початком повномасштабної війни почала стрімко зростати загроза потенційно небезпечного використання дронів: незаконне спостереження, операції шпигування та доставка бойових снарядів до об'єктів критичної інфраструктури.

Оскільки МЛА малопомітні в електромагнітному діапазоні довжин хвиль через їхні малі розміри та особливості траєкторії руху, тому найбільш перспективним і ефективним підходом для вирішення цього завдання є акустичний метод. Шум моторів та лопатей обертових двигунів дронів є серйозною демаскуючою ознакою, а акустичні хвилі добре поширюються в повітрі, навіть при наявності перешкод, таких як рельєф місцевості та рослинність. Такий підхід включає в себе використання методів обробки аудіосигналів, таких як спектральний аналіз, вилучення характерних ознак та розпізнавання акустичних образів.

Таким чином, необхідність розроблення пристрою з одним вхідним сенсором-мікрофоном для ефективного виявлення малих безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних сигнатур є досить актуальним завданням даної дисертаційної роботи.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Вперше запропоновано математичну 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. Результати дисертації мають наукову новизну та обґрунтовані експериментальними даними у вигляді графіків.

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, у дисертаційній роботі 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 роботи викладено послідовно та доступно, науковим стилем мовлення із використанням сучасної загальноприйнятої термінології.

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

У вступі розглянуто та обґрунтовано актуальність наряду роботи, сформульована мета, завдання та методи дослідження, надана інформація про наукову новизну, а також практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі був проведений аналіз трьох основних методів виявлення малих безпілотних літальних апаратів: оптичного, радіолокаційного і акустичного. Кожним із методів було оцінено максимальну дальність виявлення МЛА моделі «DJI Mavic 3», який зараз широко використовується для військової розвідки.

У другому розділі дослідження розглянуто створення простого та дешевого акустичного детектора з одним мікрофоном. Цей детектор дає змогу виявляти акустичні коливання, які генеруються двигунами та лопатями дрону, на фоні шумів оточуючого середовища. В подальшому отримані сигнали обробляються для визначення місцезнаходження та траєкторії руху МЛА. За результатами експериментальних випробувань була створена база аудіофайлів, яка містить акустичні сигнатури квадрокоптерів «DJI Mavic 3», «DJI Mavic 2 Pro», «FPV», «FeiLun FX137» і «LH X43-W». Аналіз спектрів цих аудіозаписів дозволив визначити основні частоти тонів, що стало важливим моментом при розробці алгоритму класифікації безпілотників.

У третьому розділі розглядається процес створення алгоритму для ефективного виявлення та класифікації аудіосигналів МЛА на базі згорткової нейронної мережі глибокого навчання. Також у цьому розділі детально розглядається процес створення архітектури мережі та проводиться теоретична оцінка ефективності її роботи.

У четвертому розділі показані результати трьох етапів перевірки ефективності практичного використання розробленої моделі згорткової нейронної мережі. Також надані рекомендації для подальшого підвищення рівня продуктивності та адаптивності алгоритму.

У додатках наведено перелік наукових праць здобувача, акт впровадження результатів дисертаційної роботи та код програмного алгоритму виявлення та класифікації МЛА.

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 публікації здобувача висвітлюють основні положення та наукові здобутки автора дисертації. Вони написані на високому науковому рівні із дотриманням принципів академічної доброчесності. Внесок автора у публікації, що опубліковані у співавторстві, є вагомим і відноситься до суті дисертаційного дослідження.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

- 1) Рисунок 1.7. Не зрозуміло, що взято за нульовий рівень звукового тиску.
- 2) Для розширення динамічного діапазону не розглянуто варіант з прямим АРП.
- 3) Не сформульовані вимоги щодо вибору мікрофонів та не розглянуто їх вплив на виявлення МЛА.
- 4) У роботі описано нейронну мережу з відповідними шарами обробки сигналу та їх параметрами, але не зроблено аналіз впливу кожного з них на тестові дані, які використовуються в розділі 4.
- 5) В четвертому розділі не має порівняння роботи розробленого алгоритму з іншими алгоритмами для виявлення МЛА.

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:

Старший викладач кафедри
радіотехнічних систем
радіотехнічного факультету КПІ ім.
Ігоря Сікорського,
кандидат технічних наук



Ігор ТОВКАЧ

29 січня 2024р.

