

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук,
професора кафедри комп'ютеризованих систем та програмних технологій
Національного університету «Одеська політехніка»
ФОМІНА Олександра Олексійовича
на дисертаційну роботу ОЛЕКСІЯ Артура Олеговича
«Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів
на основі нейромережових моделей»,
подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного технічного
університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 — Інформаційні технології
за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

Актуальність обраної теми

Аналіз акустичних сигналів водного середовища є критично важливим завданням у багатьох сферах, таких як підводний моніторинг, гідроакустична розвідка, навігація автономних підводних апаратів та екологічний контроль. Висока варіативність підводного шуму, його нелінійність та непередбачуваність ускладнюють точну ідентифікацію та класифікацію сигналів. Традиційні методи аналізу, що базуються на класичних алгоритмах спектрального та статистичного аналізу, часто виявляються недостатньо ефективними в умовах низького рівня сигналу та високого рівня завад.

Стрімкий розвиток методів штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, відкриває нові можливості для обробки акустичних сигналів. Глибокі згорткові нейронні мережі та генеративні змагальні мережі демонструють високу ефективність у завданнях шумозаглушення та класифікації сигналів. Використання таких підходів дозволяє значно підвищити точність і швидкість аналізу підводних акустичних даних, що має велике значення для наукових досліджень та прикладних завдань.

Однак, існуючі підходи, незважаючи на їхні успіхи, потребують подальшого вдосконалення у напрямку підвищення стійкості до варіативних умов середовища, адаптації до широкого спектру акустичних сигналів та зменшення обчислювальних

витрат. Саме тому розробка методів та програмних засобів аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережевих моделей є актуальною науково-прикладною задачею, що має важливе значення для розвитку сучасної гідроакустики.

Отже, можна стверджувати, що тема "Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережевих моделей" є актуальною у сфері гідроакустики.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Олексія Артура Олеговича, в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі теоретичних результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій базується на коректному використанні математичного апарату теорії нейронних мереж, теорії інформації, методів математичного та імітаційного моделювання. Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасних підходів програмної інженерії.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі експериментальних задач та апробація запропонованих рішень виконані у відповідності до положень організації комп'ютерних засобів моделювання та обчислювального експерименту. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертаційній роботі, підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень, коректним застосуванням математичного апарату, сучасних методів моделювання, а також впровадженням запропонованих рішень в рекомендаційних системах. Наукові результати застосовані під час створення імітаційних моделей з використанням сучасних бібліотек мови програмування Python.

Достовірність отриманих результатів додатково підтверджується даними числових експериментів, результати яких повністю узгоджуються з теоретичними засадами і концепціями у галузі інформаційних технологій.

**Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій,
сформульованих у дисертації**

Дисертаційна робота вирішує актуальне наукове завдання, важливе для розвитку акустичних систем. Можна погодитись, що вона містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

- Вдосконалено метод аналізу, а саме класифікації акустичних сигналів водного середовища на основі згорткової нейромережі SOP, яка на відміну від оригінальної нейромережі містить, багатомасштабну згортку, що дозволяє вилучати характеристики з різною роздільною здатністю, середній пулінг, що дозволяє зменшувати розмірності вхідних даних та модифіковано повнозв'язний шар з функцією активації ReLU шляхом додавання пакетної нормалізації, що забезпечує кращу узагальнюючу здатність.

- Отримав подальший розвиток метод придушення фонових шумів акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережі UWAR-GAN для вилучення сигналу водного судна шляхом придушення фонових шумів водного середовища у зашумленому сигналі.

- Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення для аналізу акустичних сигналів водного середовища, що реалізує модифікований шаблон 'Фабрика', що передбачає автоматизоване створення нейромережевих моделей. Програмне забезпечення має можливість виконання придушення фонових шумів у зашумлених вхідних сигналах з застосуванням нейронних мереж та класифікацію вхідних сигналів водного середовища. Також, програмне забезпечення надає можливість тренувати запропоновані нейромережі для придушення та аналізу водного середовища на різних вибірках даних, аналізувати обрані семпли акустичних сигналів водного середовища, виводячи різні характеристики обраних сигналів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному.

Запропоновано використання UWAR-GAN для придушення шумів та CNN-SOP для класифікації акустичних сигналів. застосовуючи нейромережу UWAR-GAN, вдалося підвищити співвідношення відношення сигнал/шум на 10 дБ після обробки сигналів генератором U-net. Визначено, що нейромережа CNN-SOP забезпечує точність класифікації на 3% більше в порівнянні з оригінальним методом.

Розроблено програмне забезпечення, що використовує модифікований патерн "Фабрика" для автоматизованого аналізу акустичних сигналів із можливістю очищення та класифікації. Методика дослідження та отриманні результати можуть також бути використані для аналізу акустичних сигналів інших доменів, тим самим розширюючи сферу потенційних застосувань. Дослідження може стати основою для подальшого розвитку програмного забезпечення аналізу акустичних сигналів водного середовища та внести вклад у зростаючий обсяг наукової літератури з даної теми.

Результати досліджень прийняті до впровадження в конструкторському бюро «ШТОРМ» (акт від 14.02.2025р.); впроваджено в навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики при викладанні дисципліни «Методології розробки інтелектуальних комп'ютерних програм» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» та дисципліни «Інтелектуальний аналіз даних для задач енергетики» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» усіх форм навчання.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 11 публікаціях з них: 4 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук за спеціальністю дисертації, 7 публікацій у працях і матеріалах науково-практичних конференцій.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, Постанові КМУ від 06.03.2019 № 167 «Про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами.

Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Перший розділ досліджує умови аналізу підводних акустичних сигналів та застосування методів машинного навчання для їх обробки. Визначено основні джерела шуму у водному середовищі, включаючи природні та антропогенні фактори, та їхній вплив на точність аналізу сигналів. Проведено огляд програмного забезпечення для гідроакустичного аналізу та встановлено його обмеження при роботі в умовах високого рівня шуму. Досліджено методи машинного навчання, такі як згорткові нейромережі та генеративно-змагальні мережі, і обґрунтовано вибір підходів, що найкраще підходять для придушення шумів і класифікації сигналів.

Другий розділ формалізує математичні моделі аналізу акустичних сигналів. Представлено часово-частотні перетворення, що використовуються для представлення даних, зокрема перетворення Фур'є та CQT. Запропоновано підхід до придушення шумів на основі генеративно-змагальної нейромережі UWAR-GAN, що включає U-Net генератор і Patch-GAN дискримінатор. Математично описано функції втрат та алгоритм оптимізації цієї мережі. Крім того, розглянуто покращену згорткову нейромережу CNN-SOP, яка використовує багатомасштабну згортку та пулінг другого порядку для підвищення точності класифікації. Запропоновані моделі спрямовані на мінімізацію впливу шуму та підвищення ефективності обробки акустичних сигналів.

Третій розділ присвячений експериментальній перевірці запропонованих методів. Описано створення навчальних вибірок, що містять акустичні сигнали із синтетичними та реальними шумами. Проведено навчання UWAR-GAN і отримано значне покращення відношення сигнал/шум у середньому на 10 дБ. Оцінка якості відновлених сигналів за допомогою RMSE, PSNR, SNR, та стандартного відхилення показала, що запропонований метод зберігає можливість придушення шумів при меншому інтервалі тренування. Класифікація акустичних сигналів після придушення шуму за допомогою CNN-SOP досягла точності 98%, що на 3% вище, ніж оригінальний метод. Проведено аналіз впливу зміни гіперпараметрів на стабільність роботи мережі та доведено її стійкість до змін параметрів.

Четвертий розділ описує розробку програмного забезпечення для аналізу акустичних сигналів. Створено систему, що дозволяє автоматично очищати сигнали від шуму за допомогою UWAR-GAN та класифікувати їх за допомогою CNN-SOP. Реалізовано веб-інтерфейс на основі Flask, що забезпечує інтерактивний доступ до функцій системи. Розроблено архітектуру програмного забезпечення, що . Проведено тестування на нових акустичних записах, що підтвердило ефективність запропонованих методів у реальних умовах.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел складається зі 100 найменувань та включає різний спектр публікацій, що пов'язані з предметною областю та спеціальністю.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження до дисертаційної роботи

В цілому дисертація виконана з дотриманням нормативних документів на оформлення результатів науково-дослідних робіт. Однак необхідно зауважити наступне.

1. У вступі було б доцільно більш детально описати конкретні кроки реалізації кожної з поставлених задач дослідження. Це дозволило б краще зрозуміти обрану методологію та логіку роботи, а також підвищило б прозорість

представлених результатів.

2. У першому розділі варто було б додати порівняльну таблицю з характеристиками програмного забезпечення для організації проведення експериментальних досліджень, Це дозволило б детальніше проаналізувати їхні переваги та обмеження, а також чіткіше обґрунтувати вибір певних інструментів для використання в роботі.
3. У другому розділі обираються метрики для оцінки класифікації акустичних сигналів водного середовища (Accuracy, Precision, Recall та F1). Було б доцільно обґрунтувати вибір саме цих метрик, а також розглянути можливість застосування альтернативних підходів до оцінки класифікації.
4. У третьому розділі, при експериментальній перевірці методів аналізу акустичних сигналів водного середовища, не було виконано аналіз чутливості до зміни гіперпараметрів. Такий аналіз є критично важливим для оцінки стабільності та надійності запропонованої моделі.
5. У третьому розділі при експериментальній перевірці придушення шумів акустичних сигналів водного середовища нейромережею UWAR GAN результати придушення шумів не перевірені на структурну подібність. Додавання такої перевірки покращило б достовірність представлених результатів.
6. У четвертому розділі бракує діаграма прецедентів, яка б значно покращила розуміння функціональності та сценаріїв використання системи та наочно ілюструвала взаємодію користувача з системою.

Перелічені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати дослідження та ніяким чином не зменшують наукову і практичну цінність роботи та позитивне враження від впровадження її результатів.

Загальні висновки та оцінка дисертації

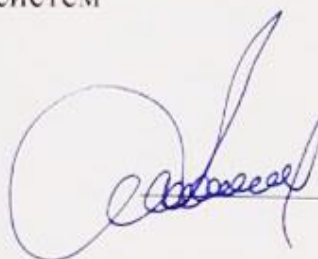
Дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича «Методи та програмні засоби підвищення швидкодії моделей розпізнавання образів на основі машинного навчання» за своїм змістом відповідає спеціальності 121 – Комп'ютерна інженерія. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу

науково-практичну задачу, що складається дослідженні методів оптимізації і збільшенні швидкодії нейронних мереж.

Подана дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича «Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей» відповідає спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44 із змінами, а здобувач Олексій Артур Олегович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютеризованих систем
та програмних технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»
доктор технічних наук, професор



Олександр ФОМІН

Підпис д.т.н., професора О.О. ФОМІНА посвідчую.
Вчений секретар Ради Національного
Університету «Одеська політехніка»,
д.філос.н., професор



Лада ПРОКОПОВИЧ

М.П.

«30» червня 2025 року