



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

Іван ДЕМИДОВ

25 / 04 2024 р.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу» здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 *Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка* (галузь знань 15 *Автоматизація та приладобудування*)
Артемука Сергія Ігоровича
наукового семінару кафедри інформаційно-вимірвальних технологій**

1. Актуальність теми дисертації

Останнім часом відбувається стрімкий розвиток систем локалізації об'єктів, які застосовуються в різних сферах життєдіяльності людини, зокрема, навігації, картографії, геодезії, телекомунікації, безпеці, обороні, робототехніці тощо. Існує безліч технологій для визначення місця розташування об'єкта, які використовують оптичні, радіо, теплові, акустичні та інші сигнали. Для забезпечення якісного визначення координат об'єктів системи локалізації повинні забезпечувати на достатньому рівні такі параметри як точність, надійність, швидкодію тощо. Поява нових інформаційних та комп'ютерних технологій створює передумови для розроблення нових систем локалізації об'єктів з покращеними технічними та метрологічними характеристиками. У цій галузі особливу увагу приділяють системам локалізації, які визначають координати із використанням акустичних сигналів. Такі системи мають низку переваг, що пов'язані в першу чергу із здатністю акустичних хвиль проникати через різноманітні перешкоди, що робить їх застосування ефективним у різних умовах та середовищах. Крім того, акустичні сигнали є стійкішими до електромагнітних перешкод, які можуть створюватися іншими об'єктами в навколишньому середовищі. Однак, у цьому напрямку досліджень ще є чимало невирішених питань, зокрема: неоднозначність результатів визначення координат; складність реалізації для визначення координат кількох об'єктів одночасно, особливо коли ці об'єкти одного типу; необхідність застосування відносно великої кількості сенсорів, що ускладнює алгоритм розрахунку

координат і зменшує швидкодію; значний вплив шуму, завад та реверберації на точність визначення координат тощо. Враховуючи стрімкий розвиток технологій машинного навчання актуальним завданням є створення систем визначення координат джерела акустичного сигналу із використанням нейронних мереж для покращення їхніх метрологічних та технічних характеристик.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційна робота відповідає науковому напряму кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету "Львівська політехніка": "Теоретичні та прикладні основи метрології і вимірювань в ІТ (інформаційно-вимірювальних, кібер-фізичних, робототехнічних та інших системах); тестування якості продукції і програмного забезпечення".

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основний зміст роботи, всі теоретичні та практичні результати, висновки і дослідження, що представлено до захисту, отримано автором самостійно. Здобувачем особисто сформовано постановку завдання з вивчення можливості застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу, проаналізовано існуючі методи визначення координат джерела акустичного сигналу і обрано оптимальний для вирішення поставленого завдання, розроблено програмні модулі та алгоритми для навчання та перевірки нейронної мережі, розроблено алгоритм корекції результатів визначення координат, отримано залежності абсолютної похибки від параметрів нейронної мережі та системи визначення координат, отримано залежності сумарної похибки вимірювання відстані та кута від місця розташування джерела акустичного сигналу у досліджуваному периметрі. Ідеї, висновки, гіпотези чи досягнення інших авторів, використовуються лише для підкріплення результатів та ідей здобувача та мають відповідні посилання. Постановку завдань, обговорення результатів та підготовку публікацій до друку здійснено під керівництвом д.т.н., проф. Микитина І.П.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Достовірність представлених у дисертації рішень, висновків та рекомендацій базується на кваліфікованому підході до постановки завдань досліджень, логічно правильному обґрунтуванні прийнятих допущень під час вибору математичних моделей і коректному використанні математичного апарату. Крім того, достовірність підтверджується коректністю розрахунків, проведених за допомогою сучасних прикладних програмних пакетів та апробацією отриманих результатів на наукових конференціях та семінарах.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру.

У дисертаційній роботі вирішено конкретне наукове завдання *розроблення та дослідження способу визначення координат джерела акустичного сигналу на основі різницево-часового методу та нейронної мережі в складі обчислювального компонента.*

Отримано такі наукові результати:

- вперше розроблено програмно-математичну модель системи визначення координат джерела акустичного сигналу на основі різницево-часового методу та технологій машинного навчання, що дає змогу сформувати набір даних для навчання та перевірки нейронної мережі, а також оптимізувати параметри системи за критерієм мінімуму похибки;
- вперше отримано залежності похибки визначення координат джерела акустичного сигналу від досліджуваних параметрів системи та нейронної мережі, які дають змогу розрахувати похибку визначення координат за необхідних параметрів системи та нейронної мережі;
- розроблено математичну модель корекції результатів вимірювання, застосування якої дає змогу зменшити додаткову похибку визначення координат джерела акустичного сигналу, що зумовлена зміною температури та вологості на два порядки;
- отримав подальший розвиток різницево-часовий метод, який за рахунок використання нейронних мереж дозволяє покращити метрологічні характеристики реалізованих на його основі систем визначення координат джерела акустичного сигналу.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основні положення та результати дисертації повністю відображені в наступних наукових працях:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. S. Artemuk and I. Mykytyn, «System for determining the sound source coordinates», *Measuring Equipment and Metrology*, vol. 84, no. 4, pp. 17–22, 2023, doi: 10.23939/istcm2023.04.017.

2. С. І. Артемук і І. П. Микитин, «Оптимізація алгоритму визначення координат джерела акустичного сигналу за критерієм мінімуму похибки», *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*, vol. 23, no. 2, pp. 41–51, 2023, doi: 10.32684/2412-5288-2023-2-23-41-51.

3. С. І. Артемук, І. П. Микитин, «Система для визначення координат джерела акустичного сигналу на основі різницево-часового методу та методів машинного навчання», *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 3, с. 7-18, 2023. doi: 10.31891/2219-9365-2023-75-1.

4. С. І. Артемук, І. П. Микитин, «Методи визначення координат джерела акустичного сигналу», *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, №3, с. 59-72, 2022. doi: 10.24025/2306-4412.3.2022.260586.

5. Ю. В. Хома, І. П. Микитин, С. І. Артемук, and В. А. Бридінський, «Нейрокомп'ютерна система керування на основі платформи Open VSI та глибоких нейронних мереж», *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, no. 4, p. 127, 2020, doi: 10.32838/2663-5941/2020.4/18.

Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій, збірники яких входять до міжнародних наукометричних баз:

6. S. Artemuk, V. Brydinskyi, I. Mykytyn, and Y. Khoma, «Application of Deep Neural Networks for EEG Signal Processing in Brain-controlled Wheeled Robotic Platform», in 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Cracow, Poland: IEEE, 2021, pp. 81–85. doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660965.

Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій:

7. S. Artemuk, I. Mykytyn, «Ambiguity in determining the coordinates of the acoustic signal source», Proceedings of VII international scientific and practical conference, p. 106-109, 11-13 March 2024, Berlin, Germany. URL: <https://sciconf.com.ua/vii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-challengesof-science-and-education-11-13-03-2024-berlin-nimechchina-arhiv/>.

8. С. І. Артемук, І. П. Микитин, «Підвищення точності системи визначення координат джерела акустичного сигналу», VI Міжнародної науково-практичної конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”, с. 159-160, 16-17 листопада 2023, Львів.

9. С. І. Артемук, І. П. Микитин, «Застосування машинного навчання для визначення розташування джерела акустичного сигналу», IV Міжнародно-практичної конференції “The world of modern technologies and inventions”, с. 262-264, 10-13 жовтня 2023, Відень, Австрія. doi: <https://doi.org/10.46299/isg.2023.2.4>.

10. С. І. Артемук, І. П. Микитин, «Порівняння методів визначення координат джерела акустичного сигналу», IX Міжнародної науково-технічної конференції “Захист інформації і безпека інформаційних систем”, с. 153-154, 25-26 травня 2023, Львів.

11. Y. Khoma, V. Brydinskyi, and S. Artemuk, «Application of deep learning technologies for biosignal processing», in Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference, International Science Group, 16-19 March 2021, Berlin, Germany. doi: <https://doi.org/10.46299/isg.2021.i.xii>.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

У кожному розділі дисертації вказуються публікації, у яких відображено результати досліджень цього розділу. Опубліковані роботи відображають основні положення дисертації. Аналіз їх змісту свідчить, що усі результати є повністю опубліковані та апробовані.

Основний зміст роботи, теоретичні та практичні результати, висновки і дослідження, які представлено до захисту, одержані автором особисто. Особисто здобувачеві належать наступні наукові результати: розроблено спосіб корекції, який дозволяє зменшити додаткову похибку визначення координат [1]; отримано залежності середнього значення абсолютної похибки від параметрів системи та визначено оптимальні значення цих параметрів за

критерієм мінімуму похибки [2, 8, 11]; синтезовано програмно-математичні моделі розташування сенсорів та джерел акустичного сигналу, підготовлено набір даних для навчання та перевірки нейронної мережі, розроблено алгоритм навчання нейронної мережі [3, 5, 6]; здійснено аналітичний огляд активних та пасивних методів визначення координат джерела акустичного сигналу, порівняння характеристик методів, їх переваг та недоліків [4, 10]; здійснено дослідження неоднозначності результатів визначення джерел акустичного сигналу [7]; синтезовано структурну схему системи визначення координат джерела акустичного сигналу [9];

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на семінарах та конференціях: наукових семінарах кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка» (2020-2024); The XII International Scientific and Practical Conference: Advances in Technology and Science (16-19 березня 2021 року, Берлін, Німеччина); The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (22-25 вересня 2021 року, Краків, Польща); IX Міжнародна науково-технічна конференція «Захист інформації і безпека інформаційних систем» (25-26 травня 2023 року, Львів, Україна); IV Міжнародно-практична конференція «The world of modern technologies and inventions» (10-13 жовтня 2023 року, Відень, Австрія); VI Міжнародно-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (16-17 листопада 2023 року, Львів, Україна); 7th International scientific and practical conference: Current challenges of science and education (11-13 березня 2024 року, Берлін, Німеччина).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Результати роботи та виконаних досліджень мають вагоме наукове значення у спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», а також в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», а саме: покращення метрологічних характеристик систем локалізації об'єктів у навігації, картографії, геодезії, телекомунікації, безпеці, обороні, робототехніці. Результати досліджень дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін: «Мобільні робото-технічні пристрої» для магістрів спеціальності 175 *Інформаційно-вимірювальні технології* та «Машинний інтелект в робототехніці» для бакалаврів спеціальності 152 *Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка*.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Розроблені програмні модулі та алгоритми формування даних для навчання та перевірки нейронної мережі дають змогу оптимізувати параметри нейронної мережі залежно від конфігурації системи. Із використанням математичної моделі поширення акустичного сигналу в повітрі розроблено програмний модуль для дослідження залежності похибки визначення координат джерела акустичного сигналу від зміни температури та вологості навколишнього середовища. Розроблений алгоритм корекції результатів визначення координат джерела акустичного сигналу дає змогу зменшити додаткові похибки від зміни температури та вологості. Отримано залежності сумарної похибки визначення відстані та кута від місця розташування джерела акустичного сигналу у досліджуваному периметрі. Результати дисертаційної роботи використовуються в діяльності UNIDATALAB LTD (London, United Kingdom).

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота складається із анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Всі частини роботи взаємоузгоджені, а її структура є логічною. В загальному, дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи

11.3 урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій ухвалили:

11.1. Дисертація Артемука Сергія Ігоровича «Застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання *розроблення та дослідження способу визначення координат джерела акустичного сигналу на основі різницево-часового методу та нейронної мережі в складі обчислювального компонента*, що має важливе значення для метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 11 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 матеріал міжнародної наукової та науково-практичної конференції, яка індексується у базі Scopus, 5 матеріалів міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про

присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

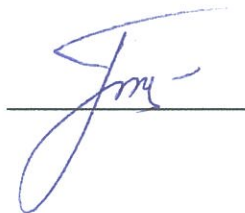
11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Артемука Сергія Ігоровича дисертація «Застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	вісімнадцять
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)

Головуюча на науковому семінарі
кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій,
зав. кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій, д.т.н.,
професор



Тетяна БУБЕЛА

Рецензенти:
професор кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій
д.т.н., професор



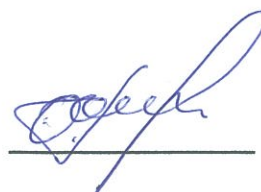
Євген ПОХОДИЛО

професор кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій
д.т.н., професор



Орест КОЧАН

Відповідальна у ІКТА
за атестацію PhD
к.т.н., доцент,
доцент кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем



Оксана ГОНСЬОР

«2» квітня 2024 р.