

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Кучерука Володимира Юрійовича

на дисертаційну роботу

Артемука Сергія Ігоровича

"Застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу",

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

Актуальність теми дисертації

Нині стрімко розвиваються системи локалізації об'єктів, які застосовуються в навігації, картографії, геодезії, телекомунікаціях, безпеці, обороні та робототехніці. Визначення місця розташування об'єкта здійснюється за допомогою оптичних, радіо, теплових, акустичних та інших сигналів. Для забезпечення високої якості координат, системи локалізації повинні бути точними, надійними та швидкими. Сучасні інформаційні та комп'ютерні технології сприяють розробці систем з покращеними характеристиками.

Особливу увагу приділяють акустичним системам, оскільки акустичні хвилі здатні проникати через перешкоди та стійкі до електромагнітних завад. Проте залишаються проблеми, такі як неоднозначність результатів, складність визначення координат кількох об'єктів одночасно, необхідність великої кількості сенсорів, що ускладнює алгоритми розрахунку і знижує швидкодію, а також вплив шуму і реверберації на точність.

З розвитком технологій машинного навчання стає актуальним створення систем визначення координат акустичних сигналів з використанням нейронних мереж для покращення їх характеристик.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

У дисертації визначено меду дослідження, яка полягає у розробці і дослідженні способу визначення координат джерела акустичного сигналу з використанням різницево-часового методу та нейронної мережі.

Відповідно були поставлені завдання теоретичного, методичного та прикладного характеру, які успішно вдалося вирішити і досягти поставленої мети. Завдання співвідносяться із ознаками наукової новизни дослідження, про що свідчить правильність методології та методики дослідження. Об'єкт дослідження, предмет та мета роботи логічно пов'язані. Зміст дисертації відповідає її темі та спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Виклад матеріалів дослідження є логічним, послідовним та відповідає вимогам наукового стилю.

Аналіз поданої до захисту дисертаційної роботи показує, що наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими, достовірними і змістовними. Сформовані та викладені в дисертації результати досліджень ґрунтуються на основних положеннях теорії похибок та непевностей вимірювання, машинного навчання, статистичного аналізу випадкових процесів, положеннях фізики у розділі акустики, аналізі наукового викладу проблематики у працях вітчизняних та закордонних вчених. Достовірність отриманих у дисертаційній роботі наукових результатів базується на належному застосуванні загальнонаукових та специфічних методів дослідження, теоретичного узагальнення, експериментальних досліджень та використанні спеціальних програмно-технічних засобів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробленні і обґрунтуванні науково-методичних підходів, теоретичних положень щодо забезпечення ефективного функціонування засобів визначення координат джерела акустичного сигналу:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

Практичне значення одержаних результатів та впровадження результатів роботи

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 програмне забезпечення 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.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота є цілісною, завершеною та самостійно виконаною науковою працею, яка містить особистий внесок здобувача, має теоретичну

цінність і практичну значущість для розвитку сучасної науки за спрямуванням інформаційно-вимірювальних технологій.

Ознайомившись із звітом подібності за результатами перевірки дисертації на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота С. Артемука є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату і запозичень, і відповідає принципам академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела, яке подано з дотриманням норм законодавства про авторське право.

Мова та стиль викладення результатів

Текст дисертації викладено українською мовою. Стиль викладення матеріалів дослідження відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, вирізняється науковістю, системністю, обґрунтованістю та логічністю.

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів та висновків до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 194 сторінки, основний зміст викладено на 134 сторінках. Робота містить 16 таблиць, 70 рисунків та 61 формулу. Список літературних джерел налічує 146 посилань. Дисертація містить 6 додатків.

У вступі обґрунтовується необхідність дослідження, описуються методи, мету та завдання, а також предмет і об'єкт дослідження. Визначено наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок автора. Представлено інформацію про публікації та апробацію результатів.

У першому розділі проведено огляд активних і пасивних методів визначення координат фізичних об'єктів: часовий, фазовий, частотний, доплерівський, амплітудний та різницево-часовий. Описано їх суть та структуру, проаналізовано переваги і недоліки. Встановлено, що активні методи непридатні для визначення координат акустичних сигналів. Оптимальним методом виявився різницево-часовий з використанням нейронної мережі.

У другому розділі досліджено математичну модель швидкості поширення акустичного сигналу в повітрі. Описано структурну схему системи визначення координат джерела акустичного сигналу за різницево-часовим методом із застосуванням нейронної мережі. Розроблено програмно-математичні моделі для симуляції сигналу, розрахунку часу реєстрації та навчання нейронної мережі. Запропоновано алгоритм дослідження похибок системи. Перший етап аналізує базову похибку нейронної мережі. Другий етап оптимізує параметри системи. Третій етап перевіряє можливість виникнення неоднозначностей та вплив температури і вологості. Максимальна абсолютна похибка для базових параметрів не перевищує 16 м.

У третьому розділі проведено ітеративну оптимізацію системи за критерієм мінімуму похибки для різних параметрів. Встановлено, що оптимальними є: 25000 навчальних пар, 5 прихованих шарів, квадратна форма розташування 9 сенсорів, алгоритм trainlm, відстань між найближчим сенсором і периметром джерела – 300 м, розширювана структура шарів. Система з оптимізованими параметрами зменшує максимальну абсолютну похибку на 4 порядки у порівнянні з базовими параметрами.

У четвертому розділі досліджено проблему неоднозначності визначення координат джерела акустичного сигналу, яка часто призводить до значної похибки в системах локалізації. Встановлено, що в системах на основі різницево-часового методу з нейронною мережею ця проблема відсутня.

Виявлено залежність абсолютної похибки від температури та вологості. Найбільший вплив на похибку має температура (від -10°C до 50°C), з максимальною похибкою 110 м при 50°C і 20 м при -10°C .

Запропоновано корекційний метод, який зменшує вплив температури та вологості, знижуючи максимальну похибку до 0.38 м за координатою X і 0.087 м за координатою Y.

Оцінено сумарну похибку визначення координат, відстані та кута до джерела. Максимальна сумарна похибка становить 1.5 м за X, 0.25 м за Y, 1.5 м для відстані та 0.031° для кута. Відносна похибка визначення відстані та кута в 5 разів менша за існуючі методи, не перевищуючи 0.08%.

В додатках розміщено акт впровадження результатів дисертаційної роботи, програмний код розроблених компонентів, розрахункові дані.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дослідження опубліковано в 11 наукових роботах, з яких 6 є тезами доповідей на науково-технічних конференціях, 4 опубліковано у наукових журналах, що входять до переліку фахових видань, 1 опубліковано у закордонному науковому журналі (входить до наукометричної бази Scopus).

Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи

1. Недостатньо обґрунтовано вибір нейронної мережі прямого поширення для вирішення поставленої задачі (розділ 2).

2. Мало уваги приділено опису процесу навчання запропонованої нейронної мережі, а також технічним засобам, які використані для її реалізації.

3. Не зрозуміло, чому в роботі використовується поняття саме абсолютної похибки визначення координат, адже відомо, що в метрологічних розрахунках краще використовувати поняття відносної похибки.

4. Слід було б більш чітко сформулювати критерії оптимізації параметрів системи визначення координат джерела акустичного сигналу.

Вважаю, що дані зауваження не зменшують загальну наукову новизну та практичну цінність результатів, і не впливають на загальну позитивну цінність роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Артемука Сергія Ігоровича на здобуття ступеня доктора філософії на тему "Застосування штучних нейронних мереж для визначення координат джерела акустичного сигналу" виконана на високому науковому рівні, містить наукові результати досліджень, які вирішують актуальне наукове завдання, не порушує принципів академічної доброчесності та є самостійним, цілісним, закінченим науковим дослідженням. Дисертаційна робота за актуальністю, теоретичною значущістю, практичною цінністю, науковою новизною відповідає:

- предметній області спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»;

- вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Про затвердження 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;

- вимогам до обсягу, структури, змісту та оформлення роботи.

Забезпечено повноту викладу у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, наукових положень, висновків і рекомендацій. За результатами проходження індивідуальної освітньо-наукової траєкторії здобувач набув необхідні теоретичні знання та відповідні компетентності.

Вищевикладене є достатньою підставою вважати, що здобувач Артемук Сергій Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний опонент, професор кафедри
інформаційних технологій Уманського
національного університету садівництва,
доктор технічних наук, професор

 Володимир КУЧЕРУК

