

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, професора кафедри
комп'ютеризованих систем та програмних технологій

Національного університету «Одеська політехніка»

Фоміна Олександра Олексійовича на дисертаційну роботу здобувача

Шуніна Олександра Юрійовича

на тему «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних
величин»,

що подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного
університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на
здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки
галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

Сучасні системи дистанційного спостереження формують значні обсяги даних, які відрізняються за фізичною природою, частотою надходження, просторовою роздільною здатністю та рівнем завад. У задачах пошуку прихованих або слабко виражених об'єктів вимірюється не сам об'єкт, а спричинене ним відхилення фізичного поля від фонового стану. За таких умов достовірність результату залежить не тільки від чутливості окремого сенсора, а й від способу узгодження та спільного оброблення різнорідних вимірювань.

Особливе практичне значення ця проблема має для гуманітарного розмінування, первинного обстеження потенційно небезпечних територій, дистанційного моніторингу ґрунтів та геофізичних досліджень. Використання безпілотної платформи дає змогу зменшити ризик для оператора і підвищити продуктивність обстеження, проте одночасна робота імпульсно-індукційного, магнітометричного, мультиспектрального та георадарного каналів потребує єдиного часового, просторового й інформаційного подання даних.

Існуючі одноканальні рішення не забезпечують одночасно високої ймовірності виявлення, прийняттого рівня хибних тривог і необхідної точності локалізації. Просте об'єднання результатів вимірювань також не розв'язує цю проблему, оскільки сенсорні потоки мають різні формати, системи координат і частоти дискретизації. Тому дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича, присвячена розробленню нейромережевих методів пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій у полях фізичних величин на

основі узгодженого подання мультисенсорних даних БПЛА-платформи, є актуальною і відповідає сучасним потребам комп'ютерних наук.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення та висновки дисертації спираються на послідовне розв'язання поставлених задач. Автор переходить від аналізу фізичних принципів окремих каналів і джерел похибок до часового та просторового узгодження вимірювань, формування структурованого подання даних, побудови нейромережових моделей і програмної перевірки запропонованих рішень. Використані методи цифрового оброблення сигналів, машинного навчання, розпізнавання образів, тензорного подання, статистичного та порівняльного оцінювання відповідають предмету дослідження.

Обґрунтованість основних результатів підтверджено лабораторними і польовими вимірюваннями РІ-каналу. Відкритий набір трикуткового імпульсного металошукача містить 1658 записів: 1016 лабораторних та 642 польових. Для шестикласової класифікації застосовано п'ятикратну стратифіковану групову крос-валідацію з розбиттям на рівні файлів, що унеможлиблює потрапляння фрагментів одного проходу одночасно до навчальної та контрольної частин. Отримано загальну точність 95,5 % і macro-F1 = 0,952. Перенесення лабораторно навченого детектора на 600 польових серій без донавчання забезпечило ймовірність виявлення $P_d = 0,965$ для задачі «об'єкт–фон».

У роботі кількісно обґрунтовано точність часового та просторового узгодження: просторовий еквівалент похибки синхронізації становить 2–4 см, а похибка геоприв'язки 1–8 см. Автор також чітко відокремлює результати, отримані на реальних РІ-даних, від демонстраційної перевірки магнітометричного і георадарного каналів. Це дає підстави вважати основні положення, що стосуються РІ-каналу, структурованого подання даних і просторово-часового узгодження, достатньо аргументованими. Водночас ступінь експериментального підтвердження окремих складових повної мультисенсорної схеми є різним, що враховано у зауваженнях.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розвитку методів підготовки та нейромережового оброблення різнорідних даних про аномалії у полях фізичних величин. До основних результатів слід віднести:

- удосконалений нейромережевий метод виявлення і класифікації аномалій за мультисенсорними даними БПЛА-платформи, у якому геометрично узгоджене тензорне подання $T(x, y, k)$ використовується як спільний багатоканальний вхід для ансамблю одновимірних згорткових нейронних мереж і стекінгового метакласифікатора;
- вперше розроблену чотиривимірну модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$ для даних імпульсної індукції, що формалізує залежність сигналу від параметрів приймального каналу, просторових координат і часу релаксації відгуку та забезпечує структуроване подання вхідних даних нейронних мереж;
- удосконалений метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків, заснований на апаратній прив'язці сенсорних каналів до спільного опорного сигналу;
- удосконалений метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань, який поєднує автономну кінематику реального часу з кількісним обґрунтуванням точності геоприв'язки;
- подальший розвиток підходу до побудови фізично-інформованих нейронних мереж шляхом введення до функції втрат складових, що відображають дипольну модель магнітної аномалії та багатоекспоненційне затухання вихрових струмів.

Зазначені положення пов'язані між собою і відповідають меті дисертаційної роботи. Їх сукупність формує завершений підхід: від отримання та узгодження вимірювальних потоків до підготовки нейромережевого входу, класифікації й просторового подання результатів.

4. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації відображено у десяти наукових працях. До переліку входять одна стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, одна стаття у науковому виданні іншої держави, дві статті у фахових виданнях України категорії «Б», розділи колективної монографії та матеріали п'яти наукових заходів. Одна публікація у матеріалах конференції також індексується у Scopus.

Тематика публікацій охоплює інформаційну модель дистанційного зондування ґрунту, злиття мультисенсорних даних, архітектуру БПЛА-платформи, формування синтетичних навчальних наборів, ансамблеві класифікатори та планування місій. Наведений у дисертації розподіл особистого внеску здобувача дає змогу простежити його участь у постановці прикладних задач, розробленні апаратної та інформаційної частин системи, формуванні

наборів даних і дослідженні нейромережових методів. Кількість і зміст публікацій достатньо повно відображають основні результати роботи.

5. Значення роботи для науки та практики

Наукове значення роботи полягає у формуванні узгодженого підходу до подання різнорідних вимірювань фізичних полів як вхідних даних нейронних мереж. Модель $S(c, X, Y, t)$, тензор $T(x, y, k)$, методи часового та просторового узгодження і ансамблева схема класифікації розширюють методичну основу побудови мультисенсорних систем виявлення аномалій.

Практична цінність визначається створенням БПЛА-платформи, програмних засобів оброблення РІ-сигналів, магнітометричних і георадарних даних, а також засобів формування інтегральної карти ризику. Для РІ-каналу показано можливість оброблення одного вектора менш ніж за 4 мс, що відповідає часовому бюджету вимірювального тракту з частотою 238 Гц. Відкритий набір лабораторних і польових вимірювань оприлюднено з постійним цифровим ідентифікатором, що створює умови для незалежної перевірки результатів.

Практичну спрямованість роботи підтверджують акт випробування результатів дисертаційного дослідження на ТОВ ВП «Спецмонтаж» та довідка про впровадження результатів у ТОВ «ОМ Енерджи». Результати також використано під час виконання проєкту НФДУ № 2023.04/0161, грантового науково-технічного проєкту СШ/5-2024 від 28.11.2024 та НДР 723-43.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою ознак некоректного використання результатів інших авторів не виявлено. Використані положення та відомості супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Власні результати здобувача відокремлено від відомих підходів, а відомості про особистий внесок у спільні публікації наведено у вступі.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

До дисертаційної роботи є такі зауваження:

- повну інтегровану схему злиття не перевірено на реальних синхронних потоках усіх передбачених сенсорних каналів. Експериментальна частина переважно спирається на РІ-канал, тоді як магнітометричну гілку перевірено на демонстраційних даних, а георадарну – на відкритих і синтетичних радарограмах без власних натурних вимірювань;
- для польової перевірки детектора наведено $P_d = 0,965$, однак польовий рівень хибних тривог P_{fa} не визначено через відсутність

репрезентативної фонові вибірки. Для прикладної задачі розмінування цей показник потребує окремого кількісного оцінювання;

- при прямому перенесенні лабораторно навченої моделі на польові дані точність розпізнавання конкретного типу об'єкта знижується до 41,3 %. Запропонований протокол польового донавчання є логічним, але його повну реалізацію віднесено до подальших досліджень;

- підхід до фізично-інформованої регуляризації описано змістовно, проте систематичне кількісне оцінювання її внеску автор також визначає як напрям подальших досліджень. Доцільним було б навести абляційне порівняння моделі з фізичними складовими функції втрат і без них;

- ефективність адаптивного зважування сенсорних гілок не порівняно з базовою схемою фіксованих ваг у змінних умовах освітлення, мінералізації ґрунту та магнітних завад. Без такого порівняння переваги механізму уваги залишаються переважно архітектурно обґрунтованими;

- для неперервної локалізації наведено загальну характеристику похибки як «одиниці сантиметрів», але не подано одного підсумкового значення $rRMSE$, розкиду та довірчого інтервалу. Це ускладнює точне порівняння з іншими системами;

- посилання на програмні додатки в п'ятому розділі потребують виправлення. У тексті підрозділів 5.2 і 5.3 згадано додатки Б і В, хоча вони містять акт випробування та довідку про впровадження; програмні лістинги розміщено в додатках Г–Е. Крім того, додаток Г позначено як лістинг підрозділу 5.1, але фактично він містить генерацію та оброблення демонстраційних георадарних даних.

Наведені зауваження не заперечують отриманих автором результатів і не знижують загальної наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Вони переважно визначають межі виконаної експериментальної перевірки та напрями подальшого розвитку запропонованої системи.

8. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано важливу науково-практичну задачу розроблення нейромережевих методів пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій за різнорідними сенсорними даними. Зміст роботи відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

З огляду на актуальність теми, обґрунтованість основних наукових положень, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, а також повноту їх висвітлення у наукових публікаціях, дисертаційна робота відповідає вимогам 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 року № 44 зі змінами, а її автор, Шунін Олександр Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний рецензент:
кандидат технічних наук,
професора кафедри комп'ютеризованих
систем та програмних технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»

Олександр ФОМІН