

Голові разової спеціалізованої вченої
ради в Національному університеті
«Одеська політехніка» доктору
технічних наук, професору, завідувачу
кафедри інформаційних систем
Навчально-наукового інституту
комп'ютерних систем
Олені АРСІРІЙ

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента кафедри
інформаційних систем

Національного університету «Одеська політехніка»

Ніколенко Анатолія Олександровича на дисертаційну роботу здобувача
Шуніна Олександра Юрійовича

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

що подана 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 обраної теми дисертації

Розвиток систем дистанційного зондування та безпілотних технологій закономірно приводить до збільшення кількості сенсорів, які одночасно використовуються під час обстеження територій. Однак сама наявність кількох вимірювальних каналів ще не забезпечує підвищення достовірності. Дані імпульсної індукції, магнітометрії, мультиспектрального спостереження і георадіолокації формуються за різними фізичними принципами, мають неоднакову структуру та потребують попереднього узгодження до моменту їх подання на вхід нейронних мереж.

У задачах виявлення аномалій у фізичних полях ця обставина має принципове значення. Прихований об'єкт проявляється через слабке, нелінійне і часто зашумлене відхилення від фонового стану. Результат залежить від властивостей ґрунту, висоти та швидкості руху носія, просторового положення цілі, погодних умов і техногенних завад. Окремий сенсор відображає лише

частину таких ознак, тому достовірний пошук потребує спільного аналізу кількох взаємодоповнювальних полів.

Практичним контекстом роботи обрано дистанційне обстеження потенційно небезпечних територій із застосуванням мультисенсорної БПЛА-платформи. Це обґрунтований вибір: дистанційна система здатна зменшити перебування людини у небезпечній зоні, а нейромережеве оброблення дає можливість перейти від візуального аналізу окремих графіків до автоматизованого виділення, класифікації та локалізації аномалій.

Роботу виконано в межах проєкту Національного фонду досліджень України № 2023.04/0161 «Використання штучного інтелекту для підвищення якості визначення вибухових пристроїв мультисенсорним дроном-міношукачем», грантового науково-технічного проєкту СШ/5-2024 «Інтелектуальна система визначення стану довкілля у реальному часі на базі БПЛА» та НДР 723-43 «Розробка інтелектуальних сенсорів дистанційного комплексного моніторингу деградації ґрунтів повоєнних територій». Здобувач брав участь у виконанні цих робіт як співвиконавець.

Отже, тема дисертації Шуніна Олександра Юрійовича є актуальною як у науковому, так і в прикладному аспекті. Вона відповідає напряму розвитку систем штучного інтелекту, комп'ютерної обробки сигналів і мультисенсорних інформаційних систем.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Структура дисертації підпорядкована поставленій меті. У першому розділі визначено особливості аномалій у полях фізичних величин та обмеження одноканальних підходів. Другий розділ присвячено формуванню узгодженого інформаційного простору: синхронізації потоків, геоприв'язці, інтерполяції на спільну сітку і побудові тензорного подання. У третьому розділі розглянуто нейромережеві моделі, ансамблевий класифікатор та фізично-інформовану регуляризацию. Четвертий розділ охоплює формування навчальних вибірок, доменний зсув і планування місій, а п'ятий – програмну реалізацію та експериментальну перевірку.

Важливою рисою дослідження є увага до коректності підготовки даних. Автор використовує розбиття вибірки на рівні вимірювальних проходів, не допускаючи витоку просторово корельованих фрагментів між навчальною та тестовою частинами. Для шестикласової РІ-класифікації застосовано п'ятикратну групову крос-валідацію. Одержані значення $\text{Assurasy} = 0,955$ і $\text{macro-F1} = 0,952$ доповнено пофолдовим розкидом та 95-відсотковим довірчим інтервалом. Окрема перевірка на польових серіях дає $Pd = 0,965$ для задачі виявлення об'єкта без польового донавчання.

Методи часового та просторового узгодження розглянуто не лише на рівні загальної схеми. Для них наведено кількісні оцінки: 2–4 см просторового еквівалента похибки синхронізації та 1–8 см похибки геоприв'язки. Дані різних каналів інтерполюються на координатну сітку 10×10 см, після чого формують 14-канальний тензор $T(x, y, k)$. Така послідовність забезпечує зрозумілий зв'язок між вимірювальною системою та нейромережовим входом.

Достовірність результатів додатково підтримується використанням лабораторних і польових вимірювань, відкритим оприлюдненням РІ-набору та порівняльним аналізом показників. Автор не приховує наявні обмеження: окремо зазначає демонстраційний характер магнітометричної перевірки, відсутність власних натурних георадарних вимірювань і необхідність подальшої апробації повної схеми злиття. Тому висновки слід оцінювати диференційовано: результати РІ-гілки та процедур узгодження підтверджено переконливіше, ніж результати повного мультисенсорного конвеєра.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертаційне дослідження містить взаємопов'язані наукові результати, спрямовані на усунення розриву між різнорідними вимірювальними потоками та вимогами нейромережових моделей до структури вхідних даних. Наукову новизну становлять такі положення:

- удосконалено нейромережовий метод виявлення і класифікації аномалій у полях фізичних величин, який використовує геометрично узгоджене тензорне подання $T(x, y, k)$, ансамбль одновимірних згорткових мереж і стекінговий метакласифікатор;

- вперше розроблено чотиривимірну модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$ для даних імпульсної індукції, що пов'язує параметри приймального каналу, координати точки зондування та час релаксації сигналу;

- удосконалено метод часового узгодження сенсорних потоків шляхом їх апаратної прив'язки до спільного опорного сигналу;

- удосконалено метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань з використанням автономної кінематики реального часу та кількісного контролю точності;

- набув подальшого розвитку підхід до фізично-інформованого навчання нейронних мереж через введення до функції втрат структурних обмежень, пов'язаних із дипольною моделлю магнітної аномалії та багате експоненційним затуханням РІ-відгуку.

Суттєвим є те, що новизна роботи не зводиться до вибору конкретної архітектури нейронної мережі. Основний результат полягає у побудові послідовного переходу від фізичного вимірювання до структурованого нейромережового представлення та інтегрального рішення.

4. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано десять наукових праць. П'ять робіт містять основні наукові результати: колективна монографія, стаття у виданні, що індексується у Scopus, дві статті у фахових виданнях України категорії «Б» та стаття у науковому періодичному виданні іншої держави. Ще п'ять публікацій засвідчують апробацію матеріалів на наукових заходах; матеріали конференції APUAVD 2024 індексуються у Scopus.

Зміст публікацій узгоджується з основними напрямками дисертації: дистанційним зондуванням ґрунту, мультисенсорним злиттям, побудовою БПЛА-платформи, ансамблевою класифікацією, формуванням синтетичних наборів та плануванням місій. Особистий внесок здобувача у працях зі співавторами наведено окремо і співвіднесено з результатами дисертації. Отже, основні положення роботи достатньо повно представлені в опублікованих працях та пройшли належну апробацію.

5. Значення роботи для науки та практики

Наукова цінність одержаних результатів визначається системним розглядом нейромережевого виявлення аномалій як задачі, що починається не з вибору класифікатора, а з коректного формування вхідних даних. У роботі узгоджено фізичний, координатний, часовий та інформаційний рівні. Це дозволяє використовувати спільний понятійний і математичний апарат для потоків різної природи.

Практично значущими є створена мультисенсорна платформа, процедури синхронізації та геоприв'язки, програмний конвеєр РІ-аналізу, засоби побудови просторових карт і відкритий набір вимірювань. Набір містить лабораторні та польові записи трикуткового імпульсного металошукача і може використовуватися для незалежного відтворення частини експериментів. Час оброблення РІ-вектора менш ніж 4 мс свідчить про можливість роботи відповідної гілки в темпі надходження даних.

Практичні результати пройшли випробування на ТОВ ВП «Спецмонтаж» і впроваджені у діяльність ТОВ «ОМ Енерджи», що підтверджується документами, наведеними у додатках. Запропоновані рішення можуть бути використані не тільки під час первинного обстеження небезпечних територій, а й у задачах моніторингу ґрунтів, геофізичного контролю та інших системах, де об'єкт виявляється через збурення кількох фізичних полів.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У результаті аналізу тексту дисертації порушень принципів академічної доброчесності не встановлено. Відомості, запозичені з наукових джерел, мають відповідні посилання. Результати здобувача, матеріали спільних публікацій та внесок співавторів розмежовано. Список використаних джерел пов'язаний із

текстом роботи та охоплює публікації за тематикою нейромережевого аналізу, сенсорного злиття і виявлення аномалій.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

1. Експериментальний набір РІ-вимірювань є цінним результатом роботи, однак його польова частина обмежена 642 файлами, шістьма сценаріями та невеликою кількістю типів об'єктів. Для оцінювання стійкості класифікатора до сезонних змін, різних типів ґрунту, висоти польоту та складного фоновому металевому забруднення потрібне подальше розширення польової вибірки.

2. Інтегровану архітектуру описано для РІ-, магнітометричного, оптичного та георадарного каналів, проте її не апробовано на єдиному реальному синхронному наборі всіх потоків. Через це кількісний внесок мультисенсорного підтвердження у зменшення хибних тривог поки що не визначений.

3. Фізично-інформована регуляризація та адаптивне зважування каналів є обґрунтованими складовими запропонованої архітектури, але в дисертації відсутнє повне кількісне порівняння їхнього впливу на точність, стійкість до доменного зсуву та рівень хибних тривог. Такий експеримент дозволив би чіткіше відокремити внесок кожної складової від ефекту базової 1D-CNN.

4. Окремі редакційні неузгодженості потребують усунення. Зокрема, у вступі нейромережевий метод визначено як удосконалений, тоді як у підрозділі 3.4 його названо вперше запропонованим. Також не збігаються посилання на програмні додатки та їх фактичний зміст: додатки Б і В містять документи про випробування і впровадження, а програмні лістинги розташовані у додатках Г–Е.

Зазначені зауваження мають дискусійний і редакційний характер. Вони не змінюють загальної позитивної оцінки роботи та окреслюють питання, які доцільно розвинути під час подальших польових досліджень.

8. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» є цілісним і завершеним науковим дослідженням, що має науково-прикладне значення. У роботі отримано нові результати у сфері просторово-часового узгодження різнорідних сенсорних потоків, їх структурованого подання та нейромережевого оброблення. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Беручи до уваги актуальність обраної теми, рівень обґрунтованості наукових положень, наукову новизну, практичну цінність і повноту опублікування результатів, вважаю, що дисертація 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. 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,

доцента кафедри інформаційних систем

Навчально-наукового інституту

комп'ютерних систем

Національного університету

«Одеська політехніка»

Анатолій НІКОЛЕНКО