

ВІДГУК

Офіційного опонента – доктора технічних наук, професора Фесенка Германа Вікторовича на дисертаційну роботу Зарецького Миколи Олександровича на тему «Моделі та методи інтелектуальної інформаційної технології оцінювання функціонального стану труб водовідведення», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Застосування інформаційних технологій відеоінспекції забезпечує найкраще співвідношення ціни та інформативності щодо оцінювання функціонального стану інфраструктури водопостачання і водовідведення. Процес аналізу відеоданих інспекції є трудомістким і рутинним, вимагає уважності і точного дотримання стандартів кодування, однак результат не захищений від суб'єктивних факторів оператора. Тому в задачі аналізу даних відеоінспекції трубопроводу водовідведення для виявлення дефектів і їх кодування згідно існуючих стандартів є потреба в підвищенні рівня автоматизації і зниження когнітивного навантаження на оператора. Традиційним підходом до автоматизації аналізу даних є використання інтелектуальних інформаційних технологій, які моделюють когнітивні процеси, що притаманні людині під час прийняття рішень. При цьому питання підвищення функціональної ефективності за умов ресурсних та інформаційних обмежень усе ще залишається недостатньо дослідженим через науково-методологічні ускладнення, пов'язані з неповною визначеністю даних.

Детальне ознайомлення з дисертаційною роботою та науковими працями здобувача дає змогу стверджувати, що одним з перспективних шляхів підвищення ефективності інформаційних технологій інтелектуального аналізу даних відеоінспекції трубопроводу водовідведення за умов ресурсних та інформаційних обмежень є використання принципів переносу знань (transfer learning) та алгоритмів настроювання гіперпараметрів. Однак візуальні спостереження в інспекції трубопроводу водовідведення досить сильно відрізняються від зображень відкритих наборів даних, на яких навчаються state-of-the-art моделі, що досить сильно знижує ефективність техніки переносу знань. Крім того дані відео інспекції труб містять значну кількість артефактів та шумів, наприклад, засвічування поверхні, бризки води, тимчасові неполадки відеопристрою, дефекти зображень, схожість бруду та піни на реальні дефекти. При цьому неоднозначність кодування дефектів складної конфігурації, висока варіативність візуальних спостережень, рутинність і дороговартісність розмітки даних, обумовлюють обмеженість обсягу і високу незбалансованість навчальних даних. Це призводить до збільшення впливу

вибору архітектури, гіперпараметрів та початкової ініціалізації вагових коефіцієнтів на ефективність навчання. Тому одним із складних завдань, на дослідження якого спрямована дисертаційна робота, є створення інтелектуальної інформаційної технології для автоматичного оцінювання функціонального стану труб водовідведення за даними відеоінспекції за умов обмеженого обсягу навчальних даних та ресурсів, доступних для навчання та обслуговування системи. Водночас вирішення цього завдання полягає в необхідності аналізу просторово-часової інформації з урахуванням незбалансованості вхідних даних та впливу довільних початкових умов процесу аналізу даних, обумовлених змінами орієнтації камери та інших контекстних умов спостереження.

Таким чином, наукове обґрунтування, розроблення та впровадження інтелектуальної інформаційної технології для автоматичного оцінювання функціонального стану труб водовідведення за даними відеоінспекції за умов обмеженого обсягу навчальних даних та ресурсів, доступних для навчання та обслуговування системи, є актуальною проблемою, на розв'язання якої спрямовані дисертаційні дослідження здобувача. Дисертаційна робота Зарецького Миколи Олександровича, яка присвячена вирішенню науково-практичних завдань щодо підвищення ефективності оцінювання функціонального стану труб водовідведення за умов неповної визначеності шляхом створення інформаційної технології машинного навчання, має беззаперечну актуальність.

Вагомість результатів дисертаційних досліджень підтверджується тим, що робота виконувалась у межах науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету, за тематиками «Інтелектуальна автономна бортова система безпілотного літального апарату для ідентифікації об'єктів на місцевості» (ДР № 0117U003934), «Методи та математичні моделі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій» (ДР № 0112U006083) та «Інформаційна технологія забезпечення резильєнтності систем штучного інтелекту для захисту кібер-фізичних систем» (ДР № 0122U000782).

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Інформаційні та комунікаційні технології» і стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні на 2011–2022 рр. «Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки».

Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій сформульованих у дисертації

Дисертаційне дослідження Зарецького Миколи Олександровича виконано на високому методичному рівні з використанням комплексу сучасних методів дослідження. Основні наукові положення та висновки, сформульовані в дисертації, логічно випливають з одержаних результатів та є достатньо обґрунтованими. Вони відповідають поставленій меті та завданням

дослідження. Чітко структуровано основні напрямки дослідження, зокрема питання синтезу ознакового опису зображень відеоінспекції та класифікаційних вирішувальних правил. Результати експериментальних та теоретичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість, відповідність літературним даним і позитивні результати дослідно-промислових випробувань.

Наукова та практична цінність дисертації та наукова новизна

В дисертаційній роботі отримано нові наукові результати.

Уперше розроблено метод навчання ієрархічного екстрактора ознак, що на відміну від відомих, забезпечує підвищення функціональної ефективності вирішувальних правил за умов зашумленості та незбалансованості навчальних даних шляхом поєднання принципів переносу знань, сіамських мереж, контрастного самонавчання та самокоректуючих двійкових кодів;

Удосконалено моделі екстракції ознакового опису спостережень шляхом поєднання локальної і просторово-часової візуальної контекстної інформації, що дозволяє підвищити інформативність ознакового опису відеоспостережень інспекції трубопроводу водовідведення за умов неповної визначеності;

Набули подальшого розвитку моделі і алгоритми синтезу вирішувальних правил для класифікаційного аналізу спостережень, які ґрунтуються на композиції моделей та оптимізації параметрів класифікаційних вирішувальних правил та гіперпараметрів екстрактора ознак за інформаційним критерієм.

Усі теоретичні розробки дисертації автор довів до конкретних інженерних методик та алгоритмів із використанням запропонованої інформаційної технології синтезу системи аналізу даних відеоінспекції трубопроводу водовідведення за умов неповної визначеності.

На основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів реалізовано хмарний сервіс аналізу даних відеоінспекції трубопроводу водовідведення, який включає модулі формування інформативного ознакового опису за вхідними зображеннями, машинного навчання для настроювання екстрактора ознак та синтезу вирішувальних правил для задач інспекції трубопроводу водовідведення та оптимізації параметрів функціонування, що дозволяє підвищити достовірність рішень і відповідно рівень автоматизації формування звітів про функціональний стан інфраструктурних об'єктів водовідведення.

Одержані наукові результати досліджень у вигляді інформаційного та програмного забезпечення впроваджено під час підготовки персоналу та проведення інспекції каналізаційної мережі в КП "Міськводоканал" СМР (м. Суми), під час розроблення інтелектуальної системи відеомоніторингу

інфраструктурних об'єктів в Товаристві з обмеженою відповідальністю "РОЗУМНІ ТЕХНОЛОГІЇ «ТИТУТУЛ»" (м. Суми), під час розроблення програмного забезпечення модуля машинного зору для дистанційно-керованої мобільної платформи в Товаристві з обмеженою відповідальністю "НОРД ТРЕК" (м. Шостка, Сумська область), під час розроблення системи класифікаційного аналізу даних відеоінспекції трубопроводу водовідведення в компанії Molfar.AI sp. z o.o., (місто Гданськ, Польща), а також у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету під час викладання дисципліни "Introduction to Data Science".

Аналізуючи наукові праці здобувача, варто зазначити, що основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 17 працях, з яких 4 статті у періодичних фахових виданнях ВАК України, 8 статей у періодичних виданнях, що індексуються наукометричною базою даних **Scopus** та **Web of Science** (зокрема 1 у виданні на території країни члена **ОЕСР**), 5 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій (зокрема, 3 у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою **Scopus**). Крім того, отримано 4 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір комп'ютерна програма, що відповідає реалізації складових інформаційного забезпечення.

В опублікованих працях автором в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Наукові положення та результати досліджень, що отримані дисертантом, проходили апробацію та доповідалися на наукових конференціях різного рівня, як національного, так і міжнародного.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності

Дисертація Зарецького Миколи Олександровича є завершеною науковою роботою, яка складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Матеріали дисертаційної роботи викладені на 184 сторінках, із яких основний текст становить – 140 сторінок. Матеріали дослідження проілюстровано 68 рисунками та подано у 8 таблицях. Список використаних джерел містить 117 найменувань розміщених на 14 сторінках. Кількість додатків – 1 на 5 сторінках.

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

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, сформульовано мету та основні завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження, описані наукова новизна та практична цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведені дані про структуру й обсяг роботи.

У першому розділі автором проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку систем водовідведення. Обґрунтовано використання відеоінспекції як основного джерела інформації для оцінювання функціонального стану труб водовідведення з точки зору інформативності та економічної ефективності. Виконано аналітичний огляд моделей і методів формування

ознакового опису кадрів відеоінспекції труб водовідведення та моделей і методів побудови вирішувальних правил для ідентифікації дефектів і оцінювання функціонального стану труб. На основі проведеного аналізу сформульовано перспективні напрямки дисертаційного дослідження.

У другому розділі дисертації описано об'єкт дослідження та формалізовано постановку задачі створення інтелектуальної інформаційної технології аналізу даних для оцінювання функціонального стану труб водовідведення за даними відеоінспекції. При цьому було описано запропоновані моделі інтелектуальної інформаційної технології, а також критерії оцінювання ефективності та оптимізації параметрів і гіперпараметрів кожної моделі.

Третій розділ присвячено опису методів оптимізації параметрів моделі аналізу даних відео інспекції труб водовідведення та аналізу результатів експериментальних досліджень. Встановлено перевагу використання згорткової моделі порівняно з LSTM та GRU мережами для аналізу контексту спостереження та запропонованого методу багатоетапного навчання. Також емпірично доведено, що регулярна згорткова архітектура температурної мережі є найбільш ефективною під час аналізу міжкадрових залежностей відеоінспекції труб. Експериментально показано, що найбільш ефективною моделлю для класифікаційного аналізу рівня води на відеокадрах є комбінація згорткової 2D-мережі і темпоральної згорткової мережі з регулярними згортками. Також продемонстровано перевагу у використанні екземпляр-прототипної контрастної функції втрат для ініціалізації параметрів без врахування розмітки даних порівняно з випадковою ініціалізацією, попереднім навчанням на наборі ImageNet та навчання в складні сегментатора зображення з архітектурою UNet. Для алфавіту класів, що описує рівні води від 0% до 55% з кроком в 5% мікроусереднене значення F-міри становить 0,879. Експериментально доведено, що використання попереднього контрастного самонавчання покращує результати як традиційного, так запропонованого методу навчання. Показано, що запропонований багатоетапний метод машинного навчання забезпечує вищу на 11% точність класифікаційного аналізу дефектів у контексті спостереження, що відповідає орієнтації камери вперед вздовж труби, порівняно з традиційним підходом і становить 98%. Отримана точність класифікації дефектів в рамках запропонованого підходу перевищує на 6% результати отримані іншими авторами, і дозволяє отримати більшу точність звітів про інспекцію.

У четвертому розділі дисертації автором розроблено структурні та функціональні схеми, представлено деталі реалізації інформаційного та програмного забезпечення інформаційної технології аналізу даних відеоінспекції водовідведення, що функціонує за умов інформаційних та ресурсних обмежень.

Висновки в повній мірі відповідають поставленій меті та завданням дисертаційної роботи та чітко і логічно витікають з проведених наукових досліджень.

Академічна доброчесність. Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях дисертанта, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Оформлення дисертації за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12.11.2017. Мова і стиль викладання дисертації точно та чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації:

1. Представлену таблицю 2.1 на стор. 67–68 доцільно було б перенести в Додатки.

2. В таблиці 3.3 вказано результати попереднього навчання екстрактора ознак в складі моделі сегментації UNet, проте не вказано, які гіперпараметри алгоритму навчання було задано.

3. Не достатньо зрозуміло чому для навчання без вчителя на нерозмічених даних було обрано саме екземпляр-прототипну функцію втрат.

4. У третьому розділі було б доцільно порівняти результати запропонованого підходу з результатами навчання детектора дефектів типу YOLO, SSD чи Faster R-CNN.

5. Бракує чітких пояснень щодо проведення донавчання системи у випадку розмітки додаткової вибірки даних.

6. Як відомо сучасні алгоритми інтелектуального аналізу даних досить вразливі до out-of-distribution даних. Тому потребують пояснень особливості врахування новизни у спостереженнях.

Зазначені зауваження не знижують наукову цінність роботи та отриманих дисертантом результатів і не носять принципового характеру.

Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Тематика досліджень повністю відповідає вимогам спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Загальні висновки

У цілому дисертаційна робота Зарецького Миколи Олександровича «Моделі та методи інтелектуальної інформаційної технології оцінювання функціонального стану труб водовідведення» є завершеною науковою працею, що спрямована на отримання нових науково обґрунтованих теоретичних та експериментальних результатів, які в сукупності є значними для підвищення ефективності оцінювання функціонального стану труб водовідведення.

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор 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, а дисертант – Зарецький Микола Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент
професор кафедри комп'ютерних систем,
мереж і кібербезпеки
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
доктор технічних наук, професор
14.08.2023


Герман ФЕСЕНКО

