

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
д.т.н., професору Івану ЛАКТИОНОВУ

ВІДГУК

офіційного опонента на кваліфікаційну наукову працю (дисертацію)
Казимиренка Олексія Володимировича
на тему «Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту
на аерокосмічних зображеннях»,
поданою на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРАНОЇ ТЕМИ

Метою дисертаційної роботи Казимиренка Олексія Володимировича є підвищення ефективності інтелектуального розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої роздільної здатності, в умовах змін масштабу, просторової орієнтації об'єктів та варіативних умов зйомки.

Розвиток сучасних технологій спостереження за поверхнею Землі вимагає ефективних методів обробки великих обсягів геопросторових даних. Це завдання набуває важливого значення у контексті розбудови інтелектуальних транспортних систем, оперативного моніторингу логістичних шляхів та зміцнення національної безпеки. На сьогоднішній день існує значна потреба у вдосконаленні технологій автоматизованого виявлення транспортних об'єктів на аерокосмічних зображеннях, оскільки класичні алгоритми комп'ютерного зору часто не забезпечують необхідної точності в умовах складної фонові обстановка та варіативності ракурсів зйомки. Більшість існуючих підходів виявляється неспроможними ефективно справлятися з обробкою потоків даних високої просторової розрізненості, обсяг яких постійно збільшується за рахунок активного використання аерокосмічних даних. Крім того, відчувається нестача інтегрованих інформаційних технологій, здатних виконувати комплексне розпізнавання об'єктів транспорту з урахуванням їхньої довільної орієнтації та малих геометричних розмірів. Тому розробка нових, більш ефективних технологій, що базуються на сучасних

методах глибинного навчання та нейромережових архітектурах, є надзвичайно актуальним науково-прикладним завданням. Це дозволить покращити якість інтерпретації даних, мінімізувати вплив людського фактора через підвищення рівня автоматизації та забезпечити швидке прийняття управлінських рішень на основі високоточних результатів локалізації транспортних засобів. Такий підхід, у свою чергу, сприятиме підвищенню ефективності використання аерокосмічної інформації у галузях цивільної логістики, міського планування та спеціального моніторингу територій.

АНАЛІЗ ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота Казимиренка О.В. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації – 168 сторінок; список використаних джерел – 142 найменування, 3 додатки. Робота проілюстрована 46 рисунками та містить 10 таблиць.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання досліджень, визначені методи досліджень, дана загальна характеристика роботи і структура дисертації, визначені наукова новизна, практичне значення проведених наукових досліджень та особистий внесок автора, наведені відомості про публікації та результати апробації та впровадження роботи.

У першому розділі здобувачем проаналізовано сучасний стан розвитку методів аерокосмічного спостереження та інтелектуальної обробки зображень високої просторової роздільної здатності. Казимиренком О.В. детально розглянуто технічні аспекти формування знімків, їхні фізико-спектральні характеристики, а також існуючий інструментарій попередньої обробки даних. Проведено критичний огляд підходів до класифікації об'єктів, зокрема транспортних засобів, де особливу увагу приділено еволюції методів машинного навчання від класичних алгоритмів до глибоких згорткових нейронних мереж. На основі виявлених проблем автоматизованого розпізнавання транспортних засобів, зокрема обмеженої стійкості класичних методів до змін масштабу, ракурсу та складного фону, а також недостатньої інваріантності окремих нейромережових підходів до просторових трансформацій, автором обґрунтовано необхідність створення комплексної інформаційної технології просторово-орієнтованого розпізнавання транспортних засобів. У розділі логічно сформульовано мету та основні завдання дисертаційного дослідження, окреслено наукові передумови для побудови багатокомпонентної нейромережової архітектури, здатної

забезпечити підвищення точності та надійності розпізнавання на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності.

Другий розділ роботи присвячений методам та інформаційним технологіям для семантичної сегментації та розпізнавання транспортних засобів. Здобувачем розроблено оригінальний нейромережевий підхід на базі архітектури DeepLab із залишковою мережею ResNet, що забезпечує ефективне багатомасштабне вилучення ознак. Використання автором функції втрат на основі коефіцієнта Dice дозволило досягти високої точності виділення об'єктів навіть у складних багатокласових сценах. Особливої уваги заслуговують запропоновані автором методи підвищення точності: інтеграція контурних ознак для повітряного транспорту та застосування модифікованої архітектури YOLOv11 з орієнтованими обмежувальними рамками для автомобілів.

У третьому розділі Казмиренком О.В. розроблено інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання, архітектура якої базується на поєднанні Backbone Network та модулів просторової стабілізації Spatial Transformer Network. Автором представлено повний цикл розробки програмного додатку: від проектування архітектури системи та функціональних модулів до алгоритмічної реалізації інтерфейсу користувача. Здобувачем продемонстровано функціональні можливості програмного додатку, включаючи режими автоматичного та ручного налаштування параметрів, що підтверджує практичну спроможність розробленої технології.

Четвертий розділ роботи присвячений експериментальним дослідженням створеної інформаційної технології. Здобувачем власноруч сформовано спеціалізований набір даних на основі знімків камери SONY DSC-WX220 (тайлінг 200×200 пікселів). Автором здійснено тестування та порівняльний аналіз продуктивності запропонованого підходу з класичними методами та сучасними нейромережами. Результати експериментів, отримані здобувачем, підтверджують високу точність виявлення, стійкість моделі до змін масштабу та орієнтації об'єктів, а також ефективність локалізації транспортних засобів у складних умовах аерокосмічної зйомки.

У додатках наведені основні праці здобувача та документи впровадження результатів дисертації.

СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

В дисертаційній роботі при обґрунтуванні наукових положень використано методи попередньої обробки та аналізу аерокосмічних зображень,

методи комп'ютерного зору і машинного навчання, принципи побудови глибоких нейронних мереж, зокрема моделей сімейства YOLO та сегментаційних архітектур типу DeepLab, методи виділення ознак та механізми багатомасштабного аналізу. Відповідність та обґрунтованість результатів досліджень підтверджуються апробацією методів та інформаційних технологій на тестових прикладах, зіставленням отриманих результатів з відомими, виступами на наукових конференціях міжнародного рівня. Адекватність отриманих автором теоретичних результатів підтверджена проведеними експериментальними дослідженнями на реальних даних та актами про впровадження та використання державними організаціями та установами. Всі результати дисертаційних досліджень повно відображено у публікаціях автора у фахових виданнях України та у виданнях, що індексуються у провідних світових наукометричних базах.

ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ

Дисертаційна робота Казимиренка О.В. виконувалась в рамках науково-дослідних робіт кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії в рамках науково-дослідних робіт: «Моделі й інформаційні технології обробки та аналізу даних в складних комп'ютерних системах і мережах» (реєстраційний номер 0121U114523, 2022-2024 рр.), «Методи та інформаційні технології інтелектуального аналізу неструктурованих даних в розподілених комп'ютерних системах» (реєстраційний номер 0125U000076).

НАУКОВА ЦІННІСТЬ ДИСЕРТАЦІЇ, ПРИКЛАДНА ЦІННІСТЬ ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

В дисертаційному дослідженні автором розв'язана важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності інтелектуального розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої роздільної здатності, в умовах змін масштабу, просторової орієнтації об'єктів та варіативних умов зйомки.

До основних результатів дисертації слід віднести наступні:

Автором вперше:

- запропоновано комплексний багатокomпонентний підхід до нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, що ґрунтується на інтеграції просторової нормалізації ознак, виділення областей інтересу, багатомасштабного представлення ознак та семантичної сегментації в єдиній

нейромережевій архітектурі для виявлення та класифікації об'єктів транспорту довільної орієнтації та масштабу;

- розроблено інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності на основі запропонованої архітектури глибоких нейронних мереж. Запропонована технологія забезпечує розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на різночасових аерокосмічних зображеннях та оптимізує час навчання моделей і обробки даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні інформаційної технології нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, яка забезпечує інтеграцію багатомасштабного аналізу ознак, орієнтоване виявлення об'єктів, семантичну сегментацію контекстуальної інформації та зручний графічний інтерфейс для візуалізації результатів та оцінки ефективності розпізнавання з мінімальними витратами часу і обчислювальних ресурсів. Практичне значення результатів підтверджується впровадженнями результатів дисертаційної роботи у практику робіт «Дніпрокосмос» філії Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України та впровадженням у освітній процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

З аналізу отриманих наукових результатів Казимиренка О.В. можна відзначити, що вони є внеском у розвиток методів автоматизованого розпізнавання транспортних об'єктів на цифрових аерокосмічних зображеннях із використанням підходів машинного та глибокого навчання. Отримані автором результати можуть бути рекомендовані для використання у системах моніторингу транспортної інфраструктури, аналізу інтенсивності дорожнього руху, управління логістичними потоками, підтримки прийняття рішень у сфері міського планування, а також у комплексах дистанційного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів та супутникових платформ.

ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 9 наукових працях. Чотири статті опубліковано у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України (всі індексуються у НМБД Index Copernicus), три з них – категорії А (Scopus, Web of Sc.), чотири наукових праці

опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій, одну з яких проіндексовано у НМБ Scopus; отримано одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО РОБОТІ

1. У роботі запропоновано інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, проте в дисертації недостатньо чітко окреслено граничні умови та обмеження її застосування. Доцільним було б подати кількісні оцінки ефективності функціонування технології залежно від розміру зображень, щільності об'єктів, обсягу навчальної вибірки та вимог до обчислювальних ресурсів.

2. В першому розділі порівняння з іншими методами сегментації обмежене кількома моделями, хоча існують сучасні підходи (SegFormer, Mask2Former), які варто було б згадати чи включити у бенчмарки.

3. Описано високу складність запропонованої багатокomпонентної архітектури (Backbone + STN + OBB + Multi-Task Loss), проте відсутнє порівняння з менш ресурсоемними моделями, що дозволило б оцінити компроміс між точністю розпізнавання та витратами обчислювальних ресурсів.

4. У третьому розділі при описі програмної реалізації інформаційної технології доцільно було б детальніше висвітлити механізми підготовки та завантаження зображень великого розміру (тайлінг, масштабування, нормалізація), а також проаналізувати вплив просторової роздільної здатності та параметрів попередньої обробки на кінцеві результати розпізнавання.

5. У дисертації недостатньо аргументовано вибір алгоритмів оптимізації та параметрів навчання нейромережевих моделей (швидкість навчання, стратегія зміни кроку, регуляризація тощо). Більш розгорнуте порівняння альтернативних алгоритмів навчання підвищило б обґрунтованість прийнятих рішень.

6. У роботі опис методів аугментації зведений лише до загальних операцій, тоді як для орієнтованих рамок (OBB) аугментація має специфіку (rotate-aware augmentation), яку варто було б описати глибше.

7. У тексті дисертації трапляються окремі термінологічні неточності та стилістичні недоліки, що не впливають на загальне позитивне враження від роботи, однак потребують редакційного уточнення.

Проте, відмічені зауваження не носять принципового характеру та не впливають на загальне позитивне враження від роботи.

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі Казимиренка Олексія Володимировича «Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях» вирішується важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності інтелектуального розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої роздільної здатності, в умовах змін масштабу, просторової орієнтації об'єктів та варіативних умов зйомки. Робота відповідає вимогам актуальності, наукової новизни та практичної цінності. Викладення матеріалу – логічне та послідовне. Роботи автора, які опубліковані в фахових виданнях та виданнях, що входять до наукометричних баз, відображають основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертації. Результати наукових досліджень мають апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам ДСТУ.

Вважаю, що робота відповідає змісту та компетентностям освітньо-наукової програми доктора філософії, за якою навчався здобувач, 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 р. №44, а її автор – Казимиренко Олексій Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний опонент:

доцент кафедри інформаційних
технологій і систем
Українського державного
університету науки та технологій
канд. техн. наук, доцент

Катерина ОСТРОВСЬКА

