

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри електроніки та управляючих систем
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,
професора Краснобаєва Віктора Анатолійовича
на дисертаційну роботу Яловеги Владислава Анатолійовича
«Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі
на основі нейронних мереж глибокого навчання»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми.

Розробка нових та удосконалення існуючих методів обробки мультиспектральних зображень є важливим науковим напрямком під час розробки систем моніторингу земної поверхні при проведенні дистанційного зондування земної поверхні, адже вони дозволяють отримувати оперативну інформацію про стан та характеристики наземних об'єктів. Це є особливо актуальним у випадках, коли немає можливості відправити спеціаліста для безпосереднього спостереження за визначеною місцевістю. Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича спрямована на розробку та реалізацію в якості програмних засобів у комп'ютеризованій системі методів багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Комп'ютерна інженерія та програмування» НТУ «ХПІ». Здобувач брав участь у науково-дослідній роботі «Моделі і методи обробки та захисту інформації в комп'ютерних системах» (ДР №0122U200526), де замовником виступало ТОВ «Передові цифрові рішення», здобувачем виконано два підрозділи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Яловеги Владислава Анатолійовича, є логічно сформульованими та обґрунтованими. Їх основою є системність та послідовність у проведенні аналізу методів класифікації у нейронних мережах глибокого навчання, використанні досвіду побудови моделей згорткових нейронних мереж, обробці зображень високої роздільної здатності.

Робота відзначається широким спектром використаних сучасних методів оптимізації глибоких моделей нейронних мереж на основі нових технологій (зокрема, й фреймворку RayTune). Це дозволило автору розробити процедуру оптимізації згорткової нейронної мережі на етапах структурного та параметричного налаштування, що підвищило якість класифікації мультиспектральних зображень.

Сформульовані висновки дисертаційного дослідження є конкретними, відзначаються науковою новизною та свідчать про вагомий внесок автора у розвиток методів багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень. Апробація нових наукових результатів дисертації проводилася на багатьох міжнародних наукових конференціях. Розроблені в дисертаційній роботі положення знайшли впровадження в системах детекції та класифікації супутникових зображень.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень.

Наукові результати застосовані під час створення програмних засобів багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень у комп'ютеризованій системі.

До наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Вперше запропоновано метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву, який відрізняється від відомих процедурою пошуку оптимального набору спектральних індексів на основі вперше запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі в комп'ютеризованій системі, що дозволило підвищити точність класифікації об'єктів земної поверхні.

2. Отримав подальший розвиток метод оптимізації згорткових нейронних мереж для задачі багатокласової класифікації супутникових зображень земного покриву за рахунок запропонованої процедури проведення оптимізації етапами структурного та параметричного налаштування при заданих бюджетних обмеженнях, що з одного боку дозволило підвищити результуючі метрики оцінки якості класифікації супутникових зображень згортковою нейронною мережею, а з іншого – врахувати наявні ресурсні обмеження.

3. Удосконалено метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву високої розрізнявальної здатності, який відрізняється від відомих трансферним навчанням згорткових нейронних мереж на основі запропонованого набору даних EuroPlanet високої роздільної здатності та пошуком оптимальної конфігурації спектральних індексів, що дозволило підвищити точність класифікації даних дистанційного зондування земної поверхні та ефективність роботи моделі нейронної мережі й на території України.

Значимість отриманих результатів і практичного використання.

Серед практичного значення отриманих результатів можна виділити:

- розроблено метод та програмне забезпечення побудови згорткової нейронної мережі для задачі багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень із оптимальним набором спектральних індексів, що дозволяє підвищити точність класифікації до 84,19% та метрику F1 до 84,05%;

– отримав подальший розвиток метод та розроблено програмне забезпечення для оптимізації згорткових нейронних мереж задачі класифікації супутникових зображень земної поверхні, що покращило точність класифікації та метрику оцінки якості нейронних моделей F1 до 97.04% та до 97.05% відповідно, а для класів Herbaceous Vegetation, Permanent Crop, та Highway метрика F1 на тестовому наборі даних зросла до 20%. До того ж, проведення оптимізації на основі сучасного фреймворку Ray Tune дозволило ефективно використати наявні ресурси з огляду визначених бюджетних обмежень;

– розроблено процедуру фільтрації якісних супутникових зображень високої роздільної здатності, що пришвидшило й автоматизувало формування набору даних EuroPlanet у комп'ютеризованій системі;

– удосконалено метод та розроблене програмне забезпечення багатокласової класифікації зображень земного покриву набору даних EuroPlanet високої роздільної здатності та з оптимальною конфігурацією спектральних індексів. Точність класифікації на тестових даних склала 93,83%, а метрика F1 зросла до 93,56%. Показано можливість практичного застосування удосконаленого метода.

Практична цінність полягає у впровадженні результатів досліджень:

– у системи детекції та класифікації об'єктів на супутникових зображеннях території України компанії ТОВ «АМК СИСТЕМА»;

– у ДП «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»;

– у навчальний процес кафедри «Комп'ютерної інженерії та програмування», Національного технічного університету «ХПІ».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 24 роботах, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, що індексуються в базі Scopus, 4 статті (у співавторстві) в наукових фахових виданнях України категорії «Б», 1 розділ колективної монографії у співавторстві, 15 матеріалів конференцій, 1 авторське право на комп'ютерну програму. Участь здобувача в даних працях зазначена у дисертаційній роботі.

За темою дисертації зараховано 7 публікацій, які відповідають існуючим вимогам: 3 статті у наукових фахових виданнях, які проіндексовані в базі даних Scopus (2 статті віднесені до третього квартиля (Q3)), 4 статті у фахових виданнях України категорії «Б» (кожна стаття прирівнюється до 0,5 публікації).

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено наукове та практичне значення отриманих результатів, сформульовані мета, наукові задачі,

наукова новизна, наведено зв'язок дисертації з науковими планами та темами, зазначена апробація дисертаційної роботи та особистий внесок здобувача в опублікованих наукових працях за тематикою дисертації.

У першому розділі виконано постановку науково-технічної задачі обробки мультиспектральних зображень у комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання. Проведено дослідження необхідності спостереження за зміною земної поверхні та обробки даних дистанційного зондування Землі. Досліджено існуючі класичні методи вирішення задач класифікації та методи на основі глибокого навчання, проведено порівняння різних підходів. Обґрунтовано вибір методів для подальших досліджень.

У другому розділі досліджено сучасні набори даних дистанційного зондування Землі, проведено аналіз особливостей побудови згорткових нейронних мереж для задач комп'ютерного зору. Досліджено та розраховано спектральні індекси, що можуть бути подані в якості додаткових каналів у згорткову нейронну мережу для підвищення якості класифікації. Розроблено метод багатокласової класифікації мультиспектральних зображень зі спектральними індексами на основі запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі.

У третьому розділі дисертаційної роботи визначена задача оптимізації глибоких нейронних мереж із заданими бюджетними обмеженнями. Досліджено класичні методи оптимізації чорної скриньки та сучасні багаторівневі методи оптимізації у нейронних мережах. У вдосконаленому методі оптимізації запропоновано процедури структурного та параметричного налаштування гіперпараметрів глибоких нейронних мереж із заданими бюджетними обмеженнями. За рахунок можливості асинхронних обчислень на основі сучасного фреймворку RayTune разом із алгоритмами оптимізації та планування досліджено більшу кількість конфігурацій гіперпараметрів при проведенні оптимізації. Вирішено задачу оптимізації згорткової нейронної мережі, що підвищило точність класифікації мультиспектральних зображень земного покриву. Знайдено оптимізовану архітектуру згорткової нейронної мережі. Проведено порівняльне дослідження з відомими методами класифікації.

У четвертому розділі досліджено сучасні підходи до трансферного навчання у глибоких нейронних мережах. Проаналізовано переваги та недоліки використання попередньо навчених нейронних мереж для нових наборів даних. Сформовано сучасний набір даних EuroPlanet. Також проведено валідацію набору даних EuroPlanet на основі трансферного навчання для згорткових нейронних мереж Res-Net50v2, EfficientNetV2, Xception, VGG-16 та DenseNet201. Показана можливість застосування удосконаленого методу для систем моніторингу змін земної поверхні на території України.

Висновки до розділів сформульовані чітко, відповідають змісту дисертаційної роботи та містять основні результати дисертаційного дослідження.

Список використаних джерел складається з 184 найменувань, є повним і містить вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації, розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У додатку А представлено список наукових праць здобувача за темою дисертації. У додатку Б представлені фрагменти текстів програм методів багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень. У додатку В наведені акти впровадження наукових результатів.

Академічна доброчесність

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

Наукові результати, які винесено здобувачем на захист, отримані самостійно і висвітлені в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити такі зауваження:

1. Тема даного дисертаційного дослідження є занадто узагальненою як для рівня дисертації наукового ступеня доктора філософії. У роботі було докладено зусиль у дослідженні різних методів обробки мультиспектральних зображень, однак основний акцент спрямовувався саме на багатокласову класифікацію супутникових знімків на основі наперед визначених класів земної поверхні.

2. У другому розділі недостатньо описано, яким чином проводилась попередня обробка та нормалізація даних мультиспектральних супутникових зображень перед подачею на вхід до нейронної мережі (які саме методи були для цього застосовані та у якій послідовності).

3. У третьому розділі дисертаційної роботи недостатньо висвітлено теоретичні основи методів багаторівневої оптимізації в частині баєсівської оптимізації разом із Hyperband. Також, при проведенні оптимізації на етапах структурного та параметричного налаштування не до кінця зрозуміло, яким саме чином визначались значення для умови зупинення процесу оптимізації.

4. У четвертому розділі під час обґрунтування необхідності формування набору даних високої роздільної здатності надлишково проводиться порівняльний аналіз із наборами даних, що були зазначені у другому розділі. Також, у дослідженнях четвертого розділу під час трансферного навчання донавчались тільки повнозв'язні шари, проте не було досліджено вплив на результуючі метрики оцінки якості навчання частини нижніх згорткових шарів нейронних мереж.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Яловеги В. А. за своїм змістом відповідає спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія та є завершеною науково-дослідною роботою, у якій розв'язана важлива науково-практична задача, що полягає в підвищенні якості класифікації оперативної інформації про об'єкти земної поверхні при проведенні дистанційного зондування.

Дисертаційна робота «Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання» відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, зі змінами, а здобувач, Яловега Владислав Анатолійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент

професор кафедри електроніки та управляючих систем

Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

доктор технічних наук, професор

Віктор КРАСНОБАЄВ

“17” квітня 2024 р.

В.О. **ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ**
Начальник відділу
кадрів

