

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Охріменка Антона Олександровича

на тему **«Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання**

наборах даних»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **11 – «Математика та статистика»**

за спеціальністю **113 – «Прикладна математика»**

Актуальність теми дисертації.

У контексті стрімкого поширення різноманітних систем машинного навчання та глибинних нейронних мереж, одним із пріоритетних завдань сучасної науки є розробка нових ефективних підходів до створення моделей глибинного навчання та підвищення їхньої продуктивності. Зі збільшенням кількості параметрів моделі, вона показує кращі результати, але також значно збільшується кількість даних, необхідних для її навчання. У багатьох практичних застосуваннях відсутня можливість отримати достатньо якісні навчальні дані у необхідних кількостях. Значна частина реальних даних не мають рівномірного розподілу класів у навчальній вибірці, а також екземпляри різних класів у таких вибірках не можуть бути чітко розрізнені між собою. Це призводить до систематичних помилок моделей, навчених на таких даних.

Дослідження, присвячене проблемі перекриття та незбалансованості класів у навчальному наборі даних на прикладі задачі сегментації зображень, є актуальним через необхідність забезпечити стійку роботу моделей глибинного навчання навіть за умови використання неідеальних даних. Дослідження у цьому напрямку дозволять використовувати навіть неідеальні дані з більшою ефективністю, та зменшать витрати ресурсів для навчання моделей.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Охріменка А.О. є не лише науково обгрунтованою, але й практично значущою, оскільки запропоновані підходи можуть знайти широке застосування у реальних проектах, де немає можливості отримати ідеальні навчальні набори даних.

Оцінка обгрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано заснований на k-Nearest Neighbors (KNN) метод визначення неоднозначних екземплярів даних, які неможливо чітко відділити у просторі ознак від представників інших класів. Цей підхід дозволяє визначити складні для класифікації екземпляри даних та зони міжкласового перекриття, а також оцінити якість навчального набору даних.
2. Вперше використано вагові маски для регулювання навчання сегментаційної моделі відповідно до рівня довіри до кожного конкретного пікселя на зображенні. Це дозволяє акцентувати увагу моделі на більш якісній частині даних та підвищує загальні метрики моделі, зокрема значно покращуються метрики мало представлених класів.
3. Вперше вдосконалено методику генерації штучних екземплярів даних для задачі по-піксельної сегментації за допомогою генеративних змагальних мереж. Запропонований підхід орієнтований не на глобальне розширення вибірки, а на цільове доповнення класів з малою кількістю екземплярів. У результаті, значно покращуються результати роботи моделі на малих класах.
4. Отримав подальший розвиток метод вагових масок, модифікований для врахування просторової інформації на зображенні. Підтверджено ефективність даного підходу на незалежній предметній області, що свідчить про його універсальність.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичного моделювання та аналізу даних КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках наукового проекту програми Horizon Europe «Satellites for Wilderness Inspection and Forest Threat Tracking» (SWIFTT) (грантова угода 101082732, 2022-2025); наукового проекту НФД України «Методи і моделі глибинного навчання для прикладних задач супутникового моніторингу» (2020.02/0292, 2020-2023); науково-технічною роботою (НТР) «Інформаційні технології геопросторового аналізу розвитку сільських територій і громад» (Договір РН/27-2023 від 25 травня 2023 р.) за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень і інновацій «Горизонт 2020»; під керівництвом професора кафедри математичного моделювання та аналізу даних, доктора технічних наук, професора Куссуль Наталії Миколаївни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розробки нових ефективних методів навчання моделей для задачі сегментації при наявній проблемі незбалансованості та перекриття класів у навчальному наборі даних

виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Охріменка А. О. повністю відповідає освітньо-науковій програмі зі спеціальності 113 – «Прикладна математика» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна математика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям методи машинного і глибокого навчання.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Охріменка Антона Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал викладено послідовно і доступно, у науковому стилі мовлення із дотриманням сучасної загальноприйнятої термінології.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 118 сторінок.

У вступі висвітлено актуальність вибраної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет роботи. Вказано інформацію про зв'язок роботи з науковими проектами та грантами, наведено наукову новизну і практичну значимість результатів, а також описано публікацію та апробацію матеріалів роботи.

У першому розділі подано огляд проблеми перекриття та незбалансованості класів у навчальному наборі даних. Детально проаналізовано та систематизовано існуючі підходи у даній області, зокрема підходи що стосуються генерування навчальних даних та модифікації функцій втрат. Особливу увагу приділено задачі сегментації зображень, а саме багатоканальних супутникових знімків та гістологічних зображень. Визначено основні задачі дослідження, що вирішуються у дисертації.

У другому розділі представлено метод визначення неоднозначних екземплярів даних. Надано детальну аргументацію даного підходу, схему

алгоритму та опис методу. Продемонстровано результати роботи розробленого методу з різними гіперпараметрами на штучно згенерованому наборі даних. Проаналізовано можливості застосування даного методу впродовж всього циклу створення моделі машинного навчання.

У третьому розділі описано розробку нового методу вагових масок для задачі сегментації багатоканальних супутникових знімків. Запропоновано модифіковану функцію втрат для використання вагових масок, що згенеровані за допомогою алгоритму визначення неоднозначних екземплярів. Наведено опис навчального набору даних, архітектуру моделі та детальний опис експериментів. Показано, що використання описаного методу дозволяє збільшити чутливість моделі до малих класів або нечітко представлених класів.

У четвертому розділі розроблено метод генерації штучних екземплярів даних із використанням генеративних змагальних мереж. Наведено модифіковану архітектуру генеративної моделі, методику генерації нових зображень, детально описано умови експерименту. Запропоновано використання вагових масок під час навчання як генеративної, так і сегментаційної моделей. Розроблена модель, навчена на комбінації зі справжніх та штучних даних показує кращі результати у порівнянні з базовою моделлю. Поєднання запропонованого підходу з методом вагових масок підвищує узагальнювальну здатність моделі.

У п'ятому розділі застосовано розроблений підхід до задачі сегментації гістологічних зображень. Внесено корективи до методу вагових масок, зокрема на етапі визначення неоднозначних екземплярів даних для врахування простих просторових властивостей зображення. Проведено експериментальні дослідження та кількісний аналіз результатів. Показано, що використання модифікованого методу підвищує точність розпізнавання слабо представлених класів. Для окремих класів, підвищення метрик склало до 48%. Запропоновано алгоритм післяопераційної обробки, який дозволяє покращити візуальне представлення сегментаційних масок.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and

Country Rank або Journal Citation Reports; 1 одноосібний розділ у монографії, що рекомендована до друку Вченою радою КПП ім. Ігоря Сікорського та пройшла рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Публікації мають високий науковий рівень, що є результатом самостійних досліджень здобувача і не містять елементів плагіату та запозичень. В усіх наукових публікаціях здобувача дотримано принципів академічної доброчесності. Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих зі співавторами є вагомим.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Попри високу наукову якість і обґрунтованість результатів, дисертаційна робота має кілька недоліків, які доцільно врахувати при подальшому розвитку теми:

1. Недостатньо аргументовано вибрані значення гіперпараметрів для алгоритму визначення неоднозначних екземплярів даних.
2. Вибір операції для створення різних наборів вагових масок, недостатньо обґрунтований. Зокрема незрозуміло, чому вибрані ядра розмірами саме 3×3 та 5×5 .
3. Рішення щодо поділу зображень на фрагменти фіксованого розміру 256×256 пікселів залишилось без методологічного обґрунтування.
4. У розділі 3 та 5 не надано достатнього обґрунтування вибору моделей архітектури U-Net та SegNet для проведення експериментів.
5. Усі експерименти проведено на прикладі задачі сегментації даних, варто побачити результати роботи розроблених методів у застосуванні їх до іншого типу задач.
6. У роботі недостатньо висвітлено процедуру оцінювання якості генеративної моделі та критерії зупинки її навчання. Оцінювання ефективності генерації здійснюється опосередковано, а саме через загальні метрики якості сегментації після навчання моделі-споживача, без аналізу властивостей згенерованих зразків як самостійних об'єктів.
7. Не досліджено вплив кількості згенерованих прикладів на стабільність та узагальнювальну здатність моделі.

У роботі є зауваження редакційного характеру, орфографічні та стилістичні помилки.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Охріменка Антона Олександровича на тему «Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання наборах даних» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 11 – «Математика та статистика». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Охріменко Антон Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 11 – «Математика та статистика» за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

Рецензент:

професор кафедри Штучного інтелекту
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
д.т.н., професор

М.П.

«09» серпня

2025 року

