

*Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
доктору технічних наук, професору
Ланде Дмитру Володимировичу*

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Гнатушенка Володимира Володимировича на дисертаційну роботу Охріменка Антона Олександровича **«Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання наборах даних»**, що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» в галузі знань 11 «Математика та статистика»

Актуальність теми дисертації.

У сучасному світі особливої актуальності набуває застосування методів глибинного навчання у задачах комп'ютерного зору, що пов'язано з необхідністю обробки великих обсягів зображень у таких галузях, як дистанційне зондування, біомедицина, аграрний сектор та промисловий контроль. Однією з найважливіших задач у цій сфері є семантична сегментація зображень, яка передбачає точне виявлення та розпізнавання об'єктів різних класів на рівні пікселів. Ефективність систем семантичної сегментації значною мірою залежить від якості навчальних даних та здатності моделі навчатися на складних вибірках. Такі вибірки у реальних прикладних задачах зазвичай містять перекриття класів, розмиті межі об'єктів, суттєвий дисбаланс у представленості класів, артефакти тощо. За таких умов традиційні підходи до навчання глибинних моделей демонструють зниження точності, зокрема для малочисельних або слабо виражених класів.

Додатковим викликом є те, що анотація великих наборів даних потребує значних ресурсів, а збільшення кількості прикладів не завжди забезпечує суттєве зростання якості моделей. Це формує потребу у створенні методів, які дозволяють ефективно використовувати наявні дані, адаптуючи процес навчання до їхньої структури та складності.

Дисертаційна робота Охріменка А.О. спрямована на подолання вказаних обмежень, пов'язаних із якістю та структурною складністю навчальних вибірок у задачах семантичної сегментації зображень. Метою авторського дослідження є підвищення точності розпізнавання слабо репрезентованих класів без збільшення обсягу навчальних даних. Існуючі на сьогодні підходи не забезпечують достатньої ефективності при використанні. З огляду на це, тема дисертаційної роботи «Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання наборах даних» є важливою та актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Робота побудована цілісно, всі розділи та підрозділи логічно пов'язані між собою, що забезпечує системний підхід до вирішення поставленої наукової проблеми незбалансованих наборів даних та перекриття класів у задачах сегментації складних зображень.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації мають високий ступінь обґрунтованості та достовірності, які базуються на опрацюванні сучасних і ретроспективних наукових розробок з питань балансування навчальних наборів і використання генеративних змагальних мереж для генерації штучних зображень. Наукові положення у повній мірі досліджені, про що свідчить структурна побудова та зміст роботи. Мета, яка полягає в розробленні нових ефективних методів навчання моделей для задачі сегментації при наявній проблемі незбалансованості та перекриття класів у навчальному наборі даних, визначена чітко і коректно. Завдання дослідження логічно узгоджені з метою роботи та забезпечують її комплексне розкриття.

Наукова новизна отриманих автором результатів.

Аналіз викладених у дисертаційній роботі наукових положень дає змогу стверджувати, що робота містить ряд нових теоретичних і науково-прикладних положень, найбільш суттєвими з яких, на мій погляд, з огляду на наукову і практичну значущість є такі результати, що містять елементи наукової новизни:

1. Запропоновано новий метод кількісної оцінки якості навчального набору даних, який базується на аналізі локального оточення прикладів з використанням алгоритму k-найближчих сусідів. Даний метод забезпечує об'єктивне оцінювання складності даних, дозволяючи виявляти ділянки з потенційно високим ризиком помилкової класифікації ще до початку навчання моделі.

2. Удосконалено підхід до побудови функції втрат у задачах семантичної сегментації зображень шляхом застосування вагових масок, що формуються на основі локальної складності прикладів у просторі ознак. Запропонований метод дозволяє підвищити точність сегментації слабо представлених класів в умовах часткового перекриття ознак між класами, не знижуючи точності на домінуючих класах.
3. Вперше адаптовано метод генеративної аугментації на основі GAN до багатоканальних супутникових зображень у задачах семантичної сегментації, що дало змогу поповнювати навчальну вибірку прикладами слабо представлених класів без необхідності збору додаткових даних, а також забезпечило підвищення точності сегментації за рахунок зменшення класового дисбалансу.
4. Удосконалено метод формування вагових масок у функції втрат шляхом урахування просторового контексту пікселів, що досягається адаптацією алгоритму виявлення неоднозначних даних до задач семантичної сегментації. Запропоноване рішення дозволяє точніше оцінювати складність локальних ділянок зображення, що сприяє підвищенню точності сегментації.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Результати дисертаційного дослідження мають як теоретичне, так і практичне значення, створюючи фундамент для майбутніх досліджень у сфері покращення продуктивності моделей сегментації при наявності незбалансованих наборів даних та проблеми перекриття класів. Розроблені методи практично застосовані в різних областях машинного навчання, передусім для моделей, що використовують функцію втрат для свого навчання. Окрім того, GAN-аугментація може бути використана для більш широкого класу моделей, а метод визначення частки неоднозначних даних та його майбутні модифікації можуть бути використані для оцінки якості навчальних даних для різних видів задач машинного навчання.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Ознайомлення з дисертацією та науковими публікаціями А.О. Охріменка дозволяє зробити висновок, що основні положення дисертаційної роботи достатньо повно 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 статей у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (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.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно та доступно, науковим стилем мовлення із використанням сучасної загальноприйнятої термінології.

Зміст дисертації, новизна розроблених наукових положень.

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

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено його зв'язок із науковими програмами та проектами. Сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, окреслено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та публікації за темою дисертації.

У *першому розділі* автором здійснено огляд типових проблем при побудові моделей глибинного навчання у випадках незбалансованих вибірок, перекриття ознак між класами та внутрішньої неоднорідності даних. Окреслено вплив зазначених факторів на якість класифікації та узагальнено існуючі підходи. Окремо проаналізовано задачі семантичної сегментації з точки зору їх застосування до реальних задач, зокрема класифікації сільськогосподарських культур за супутниковими знімками та розпізнавання клітинних структур на гістологічних зображеннях.

У другому розділі дисертантом розроблено метод виявлення неоднозначних екземплярів даних на основі аналізу локального оточення у просторі ознак за допомогою алгоритму k-найближчих сусідів. На основі цього методу запропоновано новий підхід до кількісної оцінки якості навчальної вибірки, що дозволяє виявляти ще до початку навчання екземпляри даних, на яких модель може з високою ймовірністю помилитися. Окреслено можливі напрямки застосування цього методу в контексті попередньої діагностики вибірок.

У третьому розділі А.Охріменком запропоновано вдосконалення функції втрат шляхом введення вагових масок, значення яких визначаються з урахуванням складності пікселів у контексті подібності їхніх сигналів до інших класів. Автором детально описано алгоритм формування масок та способи їх інтеграції в процес навчання сегментаційної моделі, проведено порівняльний аналіз ефективності базового та удосконаленого підходів на однаковій архітектурі та однаковому наборі даних.

У четвертому розділі автором представлено метод генерації додаткових навчальних даних із використанням генеративних змагальних мереж, адаптований до задач семантичної сегментації. Розглянуто підходи до генерації зображень у випадках класового дисбалансу та реалізовано механізм цільової аугментації. Порівняно ефективність базової моделі та моделей, навчених з використанням генеративного розширення вибірки та класичних методів аугментації.

У п'ятому розділі метод вагових масок перевірено у іншій предметній області, а саме у задачі семантичної сегментації гістологічних зображень. Адаптовано метод визначення неоднозначних екземплярів даних до ефективної роботи з пікселями зображень, підтверджено ефективність на практиці.

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

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.

Зауваження.

У цілому, позитивно оцінюючи подану до захисту дисертаційну роботу, водночас, варто звернути увагу на деякі дискусійні положення дисертаційної роботи:

1. У роботі автором не проаналізовано вплив вибору гіперпараметрів (зокрема, кількості сусідів для KNN, параметрів генерації масок) на поведінку запропонованих методів. Такий аналіз дозволив би глибше зрозуміти стабільність і чутливість підходу до параметричних налаштувань.
2. У роботі описано підхід до генерації додаткових зразків за допомогою GAN, однак не проаналізовано часові та обчислювальні витрати, пов'язані з цим процесом. З урахуванням потенційного застосування на великих наборах даних, варто було б оцінити ефективність реалізації з погляду обчислювальних ресурсів.
3. Автору було б доцільно окреслити межі застосовності розроблених методів, зокрема оцінити умови, при яких додаткова точність від даних методів переважає витрати на їх застосування.
4. У деяких фрагментах тексту окремі елементи методики або результати експериментів викладено дещо стисло. Було б доцільно подати деякі з них у більш розгорнутому вигляді.
5. На жаль використання отриманих автором науково-практичних результатів роботи не підтверджено відповідними актами впровадження.
6. В ряді місць матеріали дисертації переобтяжені необов'язковою загальновідомою інформацією, які можна було винести у додатки. В тексті дисертації зустрічаються невдалі формулювання, друкарські помилки та стилістичні вади.

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.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

На підставі аналізу дисертаційної роботи здобувача ступеня доктора філософії Охріменка Антона Олександровича на тему «Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання наборах даних» можна зробити висновок, що вона 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 та має вагоме 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 пп.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, а її автор – Охріменко Антон Олександрович – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії

Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

доктор технічних наук, професор  Володимир ГНАТУШЕНКО

Підпис В.В. Гнатушенка засвідчую

Вчений секретар

Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА