

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Яворського Олександра Андрійовича

на тему «Геометрична локальна консолідація гетерогенних ансамблів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 11 – «Математика та статистика»

за спеціальністю 113 – «Прикладна математика»

Актуальність теми дисертації.

Сучасні методи автоматизації фокусуються на інтелектуальній роботі людини, що надає методам її керованого та направленого відтворення особливої актуальності. Особливо важливими стають підходи, що дають здатність до відтворення складних процесів креативної діяльності як от діагностування захворювань, реферування та переклад, класифікація тощо. Серед таких підходів, методи машинного навчання та штучного інтелекту, загалом, займають одне з ключових місць, адже дозволяють ефективно симулювати такі процеси.

Завдяки простоті у використанні, дані методи стали широко використовуватись у практичній діяльності для автоматизації креативних процесів, зокрема і в науці. Окрім цього, завдяки гнучкості, алгоритми машинного навчання, зокрема нейронні мережі, знайшли своє застосування і в задачах симуляції широкого класу фізичних процесів не тільки як алгоритми корекції, але і як основні методи для розв'язку задач та передбачення поведінки систем.

Утім, моделі на основі алгоритмів машинного навчання мають ряд притаманних їм обмежень, наприклад: високі вимоги до якості та об'єму даних для навчання, низька здатність до генералізації та невисока інтерпретованість. Особливо гостро ці проблеми стоять для напрямків, що покладаються на високий рівень відтворюваності та прозорості, як вищезгаданий процес постановки діагнозу чи, наприклад, симуляція фізичного процесу.

Дана дисертація Яворського О.А. ставить собі за мету послабити вищезгадані обмеження, роблячи відомі класи нейронних алгоритмів більш надійними у використанні та такими, що мають високий рівень інтерпретованості, що, у свою чергу, робить дану роботу обґрунтованою

науково та такою, що має велике практичне значення для широкого ряду сфер та застосувань алгоритмів машинного навчання.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна здобутих результатів полягає в наступному:

1. Вперше створено та математично обґрунтовано метод геометричної локальної консолідації для гетерогенних ансамблів нейромереж. Запропонований метод консолідації використовує аналіз структури вхідних даних та оцінює складність такого простору. Даний підхід використано для динамічного розподілу точок простору між різними компонентами ансамблів.
2. Як результат, запропоновано новий метод побудови нейромережових архітектур — геометрично консолідованих гетерогенних ансамблів — що використовують інформацію про складність вхідного простору даних для фактичного навчання.
3. Покращено механізми локальної інформаційної консолідації в гетерогенних ансамблях завдяки формулюванню нової функції втрат, що оцінює рівень топологічної та геометричної узгодженості між різними компонентами ансамблю та їх відповідними масками.
4. Експериментально проаналізовано застосування запропонованих методів для покращення стійкості гібридних нейромереж на прикладах різних модальностей даних: графів, зображень та текстів (у тому числі, медичної направленості); а також на основі різних архітектур: багат шарового перцептрона, фізично-інформованих нейромереж (PINNs) і нейро-диференціальних рівнянь (NDE).

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичного моделювання та аналізу даних КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом д.т.н., проф. Куцуль Н.М. Результати дисертаційного дослідження здобуті та використані під час виконання науково-дослідних проєктів, зокрема:

1. Моделі простору станів для оцінки змін навколишнього середовища (Міністерство освіти і науки України)

2. Методи машинного навчання з адаптивним злиттям мультимодальних даних для кросс-регіонального перенесення моделей класифікації земного покриття (Міністерство освіти і науки України)
3. DT4LC: Розробка масштабованих цифрових моделей двійників для аналізу змін земного покриття за допомогою машинного навчання (Швейцарський національний науковий фонд — Swiss National Science Foundation)
4. Сервіси Copernicus нового покоління: інтелектуальний цифровий двійник для аналізу лісового покриття України (Міністерство освіти і науки України)

Відповідно до цього, наукове завдання даного дисертаційного дослідження, що полягає у розробці методів геометричної локальної консолідації гетерогенних ансамблів, які спрямовані на покращення прозорості та стійкості архітектур машинного навчання є виконаним повністю. Дисертант повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

Дисертаційна робота Яворського О.А., відповідно до результатів перевірки на текстові співпадиння, є оригінальним твором та не містить фальсифікації, плагіату або інших видів неправомірних запозичень. Дослідження є оригінальним та самостійним, а всі ідеї та результати, що належать іншим авторам, мають відповідні посилання на оригінальні джерела.

Дисертаційне дослідження є завершеною працею та має чітко виокремлений особистий внесок здобувача у відповідний науковий напрям у сфері машинного навчання та штучного інтелекту, а також суміжних проблем: класифікації тексту, зображень (зокрема, медичних) та графів, а також симулювання фізичних процесів.

Зміст дисертаційної роботи Яворського О.А. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 113 «Прикладна математика» та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна математика».

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота представлена українською мовою. Матеріал викладено доступно і послідовно та у науковому стилі мовлення із дотриманням сучасної загальноприйнятої термінології у галузі прикладної математики та машинного навчання. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і списку літератури. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки.

Вступ до дисертаційної роботи розкриває актуальність дослідження геометричної локальної консолідації в ансамблевих архітектурах задля забезпечення їх вищої робастності та здатності до інтерпретації їх внутрішньої роботи. У вступі сформульовані мета й завдання, окреслені об'єкт та предмет наукового пошуку, а також висвітлені наукова новизна, практична значимість результатів, відомості про їх апробацію, опубліковані праці та безпосередній внесок автора, а також науково-дослідницькі проекти, у межах яких виконувалось дане дослідження.

Перший розділ містить огляд базових принципів інтелектуального аналізу даних, класифікацію архітектурних парадигм машинного навчання та опис ключових методів оцінки якісної поведінки моделей для базових типів задач. Наприкінці вводиться поняття інформаційної консолідації для ансамблевих архітектур.

У другому розділі розглянуто основні поняття з топологічного аналізу даних та відповідні базові означення загальної топології. Окрім цього, проаналізовано сучасні методи використання топологічних даних для навчання моделей та основні виклики, які лежать у даній площині. У другій частині даного розділу розглядається додаткова специфіка інформаційної консолідації, також детально висвітлюється сучасний стан методів, що покладаються на використання топологічних ознак або, загалом, топологічних та геометричних технік для побудови нейро-архітектур.

Третій розділ даного дисертаційного дослідження присвячено експериментальній перевірці гіпотез, сформульованих у попередніх розділах, щодо потенційної оптимальності геометрично консолідованих нейронних гібридів у порівнянні із класичними моделями на прикладі задачі класифікації для даних різних типів: графи, текст та зображення (у тому числі, медичного спрямування). Оскільки методи оцінки складності простору у даних експериментах є окремим кроком, розглядається також метод

вбудованої оцінки та відповідної архітектури, моделі logitPTIC. Надано також її порівняльний аналіз із рядом відомих моделей глибинного навчання для задачі бінарної класифікації медичного тексту з сильно незбалансованими класами.

Останній, четвертий розділ, роботи сфокусовано на розширенні запропонованої методології шляхом переходу від елементарних гетерогенних ансамблів до таких, що використовують мережі ознак Фур'є та поліноміальні моделі разом із нейромережевими алгоритмами. Показано підходи до використання запропонованих методів для задач фізичного моделювання (на прикладі фізично-інформованих нейромереж та нейро-диференціальних рівнянь). Вказано на існуючі обмеження у застосуванні нового методу та запропоновано підхід до розв'язання деяких із них шляхом використання допоміжної функції втрат для поглиблення геометричної узгодженості.

У загальних висновках до дисертаційної роботи представлено основні результати, вказано на існуючі обмеження як запропонованого методу геометричної консолідації, так і роботи загалом, наведено ряд прикладів практичного використання і запропоновано шляхи покращення розроблених методів. 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.

Робота має необхідний рівень наукової апробації та обґрунтування. Результати роботи представлено у 7 наукових публікаціях, серед яких: 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, що має кuartиль Q1 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 1 стаття у періодичному науковому виданні, що має кuartиль Q2 та 1 стаття у фаховому виданні категорії "Б".

Для апробації результатів роботи, їх було представлено у якості розділів монографій у співавторстві та на конференціях: Proceedings of 11th of International Conference on Applied Innovation in IT (ICAIIIT) і CEUR Workshop Proceedings (IT&I Workshops).

Науковий доробок, що є основою даного дисертаційного дослідження, відповідає тематиці роботи та підтверджує особистий внесок здобувача, а

також повністю підтверджує результати самого дослідження. Публікації дисертанта оформлено належним чином та вони мають високий науковий рівень, що підтверджено виданням у загальновизнаних міжнародних журналах високого рівня.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційне дослідження Яворського О.А. справляє позитивне враження. Утім варто зазначити на певні компоненти, що ймовірно потребують додаткового опрацювання:

1. У другому розділі автором використовується визначення гібридного нейронного алгоритма як такого, що складається лише з двох компонент; однак не вказано чому такий підхід є оптимальним і не проаналізовано чи є він оптимальним загалом, у порівнянні з аналогічною багатокomпонентною архітектурою.
2. Термін консолідації визначається референтним шляхом замість дефінітивного, що було б доречним у межах роботи та спростило б викладення другого розділу.
3. Топологічні та геометричні методи відомі своєю обчислювальною складністю, однак в роботі не представлено оцінки запропонованого підходу та порівняльного аналізу із суміжними підходами у даному аспекті.
4. Інтерпретованість моделей визначається у роботі якісним шляхом, утім не визначено які кількісні методи є доречними для запропонованих архітектур. Окрім цього, цікаво було б побачити чи можна використовувати геометричну консолідацію як метод інтерпретації, а не тільки як метод побудови більш інтерпретованих моделей.
5. Для моделі ФітцХ'ю-Нагумо формулюється, фактично, окремий метод оцінки результатів, утім не роз'яснено необхідності такого переходу, чи пов'язаний він з переходом від фізично-інформованих мереж до нейро-диференціальних моделей чи ні.
6. Запропонований метод консолідації було випробувано на даних різного типу. Разом із цим, було б доречним надати не тільки кількісне, але і якісне порівняння для наведених наборів даних, наприклад, через оцінки сили зсуву розподілів після зашумлення.
7. У другому, третьому і четвертому розділах представлено чимало базових означень для, наприклад, основних топологічних понять, характеристик

загальновідомих рівнянь (наприклад, рівняння теплопровідності) тощо. Разом із цим, ці означення та характеристики відіграють лише контекстуальну роль, а тому доречним було б винести їх поза межі основного тексту — у додатки представленої роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

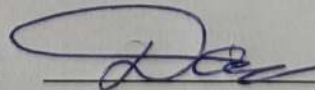
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Яворського Олександра Андрійовича на тему «Геометрична локальна консолідація гетерогенних ансамблів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням.

Наукові та практичні підходи та представлені методи, а також інші результати даного дослідження розв'язують поставлені наукові завдання та відповідають темі дисертаційної роботи. Теоретичні та практичні результати даного дослідження мають істотне значення для галузі знань 11 «Математика та статистика». Актуальність, практична цінність та наукова новизна роботи 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 Яворський Олександр Андрійович 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 «КПІ імені Ігоря
Сікорського», доктор технічних наук



(підпис)

Валерій ДАНИЛОВ

« 29 » червня 2026 р.