

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Баранова Миколи Вікторовича

на тему: **“Використання технік навчання нейронних мереж на малому наборі даних для адаптації моделі”**

подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань

12 — Інформаційні технології за спеціальністю 122 — Комп’ютерні науки

1. Актуальність теми дисертаційної роботи. Упродовж останнього десятиліття нейронні мережі стали ключовим інструментом у розв’язанні широкого спектра прикладних задач, які раніше вважались або надто складними, або повністю непридатними для алгоритмічного вирішення. Сучасні досягнення у галузі штучного інтелекту зокрема демонструють значний прогрес у таких напрямках, як розпізнавання мовлення, обробка зображень, аналіз відео, прогнозування часових рядів, виявлення аномалій, автоматичне генерування текстів тощо. Основою цих досягнень є здатність нейронних мереж до узагальнення інформації, що міститься в тренувальних даних, та адаптації до складних закономірностей, які складно або неможливо формалізувати вручну.

Розвиток технологій машинного навчання, зокрема глибокого навчання, сприяв автоматизації багатьох сфер, у тому числі й виробничих. Нейронні мережі вже широко застосовуються у системах контролю якості продукції, логістичних рішеннях, медичній діагностиці, моніторингу безпеки, автономному транспорті тощо. Їх застосування дає змогу суттєво підвищити ефективність процесів і знизити витрати, оскільки автоматизовані системи здатні швидко і точно аналізувати великі обсяги даних, які надходять у реальному часі.

Разом з тим, існує низка суттєвих обмежень, що стримують подальше масштабування та впровадження таких моделей, особливо у вузькоспеціалізованих або критично важливих галузях. Однією з ключових проблем є залежність сучасних моделей від наявності великої кількості якісно анотованих даних. Збір, обробка й розмітка великих масивів даних є надзвичайно ресурсозатратними процесами, що не завжди можливі, особливо у випадках роботи з рідкісними або конфіденційними даними. У багатьох прикладних задачах (наприклад, в медицині, астрономії, екології) формування таких наборів є надзвичайно складним або економічно недоцільним. Деякі дані можуть бути рідкісними або навіть унікальними, як-от зображення рідкісних патологій, незвичних атмосферних явищ, знімки космічних об’єктів тощо. Навіть якщо дані вдається зібрати, їхня анотація вимагає участі

кваліфікованих фахівців, що значно підвищує вартість підготовки тренувального набору.

Ще одним актуальним викликом є те, що навіть за наявності великих наборів даних, побудовані моделі мають тенденцію до деградації продуктивності у випадку, коли нові вхідні дані належать до іншого розподілу, ніж ті, на яких проводилось навчання. Така чутливість до зсуву домену (domain shift) суттєво обмежує використання нейронних мереж у реальних динамічних умовах, де характер даних може змінюватись з часом або залежати від контексту застосування.

Усе вищенаведене свідчить про потребу в ефективних методах тренування нейронних мереж в умовах обмежених даних. Проблема стає ще більш загостреною з огляду на обмеженість обчислювальних ресурсів, необхідних для повторного навчання моделей. Повноцінне перенавчання великих моделей може тривати тижнями навіть за умови використання сучасного апаратного забезпечення, що не завжди прийнятно в умовах, де швидкість адаптації є критичною.

Останніми роками в науковій спільноті спостерігається зростання інтересу до методів, які дозволяють ефективно тренувати моделі на основі обмеженої кількості даних. Це, зокрема, підходи до переносного навчання, дистиляції знань, використання сіамських архітектур, прототипних та реляційних мереж, а також методів мета-навчання. Усі ці напрямки мають на меті вирішення однієї спільної проблеми — забезпечення здатності моделей до генералізації без перенавчання при малих обсягах тренувальних прикладів.

У дисертаційній роботі розглядається проблема тренування нейронних мереж в умовах дефіциту анотованих даних, з акцентом на уникнення перенавчання та збереження здатності до узагальнення. Актуальність цього напрямку не викликає сумнівів, оскільки він охоплює низку важливих аспектів як теоретичного, так і прикладного характеру. Зокрема, йдеться про потенціал таких методів у створенні моделей, здатних працювати з унікальними або обмеженими за обсягом наборами даних — що має безпосереднє застосування у медицині, наукових дослідженнях, оборонній сфері, екстремому реагуванні тощо.

Окремо слід підкреслити, що дисертант не лише окреслює коло існуючих методів і підходів, але й акцентує увагу на потребі подальшого розвитку цієї галузі, що цілком обґрунтовано. Незважаючи на значний прогрес, що вже досягнуто, питання побудови моделей, стійких до перенавчання в умовах обмежених даних, залишається відкритим. Наявні підходи мають свої обмеження і не завжди демонструють стабільні результати при переході між доменами або в реальних умовах застосування.

У зв'язку з цим можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є вчасною, актуальною та такою, що має велике наукове й практичне значення. Вона відповідає сучасним тенденціям розвитку штучного інтелекту і безпосередньо пов'язана з однією з центральних проблем сучасного машинного навчання — здатністю моделей ефективно функціонувати при обмеженості вхідних даних.

2. Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів. У першому розділі дисертаційної роботи, на основі ґрунтовного аналізу наукових джерел, представлено систематизований огляд сучасного стану методів навчання на малих вибірках. Особливу увагу приділено класифікації підходів, їх практичному застосуванню, а також ключовим проблемам, що залишаються актуальними в цій галузі. Окремо відзначено місце дисертаційного дослідження шляхом чіткого позиціонування мети роботи у контексті наявних наукових розробок.

У Розділі 2 дисертаційної роботи проаналізовано ключові аспекти проблеми навчання нейронних мереж в умовах обмеженого обсягу даних, а також досліджено можливості покращення якості моделей шляхом застосування ймовірнісного підходу до навчання. Детально розглянуто теоретичні засади запропонованого підходу, зокрема його переваги у контексті роботи з малими вибірками. Наведено приклади, які ілюструють ефективність такого підходу, а також обґрунтовано доцільність його інтеграції в архітектуру реляційних нейронних мереж. Окрему увагу приділено концепції нейронних мереж з розподіленими знаннями, що забезпечує можливість автоматичної кластеризації інформації всередині моделі. На підставі узагальнення отриманих результатів обґрунтовано, що комбінація ймовірнісного підходу з моделями, які оперують розподіленими знаннями, є перспективною для задач багатокласової класифікації при навчанні на обмежених даних.

У Розділі 3 наведено результати експериментальної перевірки запропонованих підходів. У першій частині розділу описано проведення серії експериментів на відкритому наборі астрономічних зображень з різними обсягами тренувальної вибірки. Показано, що ймовірнісне навчання забезпечує вищу ефективність у порівнянні з класичними підходами, особливо у випадках малої кількості даних. У другій частині представлено результати апробації моделей з розподіленими знаннями, які продемонстрували якість, порівнювану з традиційними методами. Третя частина присвячена оцінці комбінованого підходу, що поєднує ймовірнісне навчання з розподіленими знаннями. Отримані результати

підтверджують доцільність такого поєднання: моделі, побудовані за запропонованим підходом, забезпечують покращення показників точності в задачах багатокласової класифікації на малих вибірках.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження. Використання в дисертаційній роботі апробованих у науковій літературі методів і підходів, коректне формулювання дослідницьких задач, а також ґрунтовна інтерпретація й аналіз отриманих результатів забезпечують належний рівень обґрунтованості наукових положень та висновків. Достовірність і обґрунтованість сформульованих автором наукових результатів підтверджується їх оприлюдненням у фахових рецензованих виданнях, у тому числі у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Web of Science та Scopus. Основні положення дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних наукових конференціях.

4. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження.

У роботі вирішено важливу наукову проблему навчання нейронних мереж на малих тренувальних вибірках. Всі основні результати дисертації є новими.

У дисертації вперше:

1. Побудовано архітектуру нейронної мережі з використанням ймовірнісної задачі тренування, здатну тренуватися в умовах обмеженого набору даних.
2. Розширено можливості реляційних моделей на прогнозування декількох змінних за один прямий прохід (forward pass) шляхом додавання деревовидної структури в останні класифікаційні шари.
3. Об'єднано стійку до невизначеностей та неузгодженостей модель з архітектурою, що використовує деревовидну структуру класифікаційних шарів.
4. Показано, що запропоновані архітектури моделей покращують результати попередніх відомих архітектур класичних нейронних мереж на базі функції активації softmax та аналогічних моделей з використанням ймовірнісного прогнозування.
5. Запропонована інтеграція концепції множини експертів у реляційну модель дозволяє ефективно розділяти знання у великих просторах класів, що є особливо корисним для задач із багатьма категоріями при малій кількості прикладів.

6. Також заслуговує на увагу адаптивна побудова навчальних пар, яка теоретично й експериментально обґрунтована в роботі.

5. Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані методи можуть бути використані для створення систем, які потребують точного прогнозування на основі обмежених або зашумлених даних. Це має практичну цінність у таких галузях, як астрономія, медична діагностика, безпілотні системи, робототехніка, обробка рідкісних зображень або звуків, а також при роботі зі складно розміченими або краудсорсинговими вибірками.

Завдяки можливості навчати моделі навіть за відсутності великомасштабних наборів, дослідження відкриває шлях до створення адаптивних інтелектуальних систем у середовищах з обмеженими ресурсами. Робота має прикладну цінність і з точки зору розвитку українських наукових досліджень у сфері машинного навчання.

6. Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Дисертаційна робота є самостійним завершеним науковим дослідженням. Автором здійснено ґрунтовний аналіз наукової літератури, на основі якого сформульовано мету, визначено актуальні наукові завдання та окреслено шляхи їх розв'язання. У процесі виконання дослідження, в результаті отриманих нових наукових результатів, виникли нові наукові ідеї, окреслено відкриті питання та виявлено перспективні напрями подальших досліджень і можливих практичних застосувань запропонованих підходів.

Частину запропонованих автором ідей реалізовано безпосередньо в рамках дисертаційного дослідження. У другому розділі, який логічно структуровано на три частини, послідовно викладено мотивацію, обґрунтування та теоретичне підґрунтя побудови трьох архітектур нейронних мереж: ймовірнісної моделі для навчання на малих вибірках, моделі з розподіленими знаннями на основі експертів, а також гібридної архітектури, яка поєднує ймовірнісний підхід з підходом розподілених знань для вирішення задач багатокласової класифікації в умовах обмежених даних. Усі отримані результати було порівняно з актуальними моделями, що розглядалися в огляді літератури першого розділу. У третьому розділі дисертаційної роботи здійснено апробацію запропонованих моделей на відкритих наборах даних із дотриманням загальноприйнятих найкращих практик тренування та тестування

нейронних мереж. Отримані результати подано чітко, з логічними поясненнями, що засвідчує належний рівень дослідника та достовірність отриманих висновків.

З огляду на викладене, слід відзначити, що дисертаційна робота вирізняється високим науковим рівнем. Представлені результати та зроблені висновки становлять значний інтерес для наукової спільноти й засвідчують перспективність подальшого розвитку досліджень. Методологія побудована на глибокому аналізі сучасних наукових джерел, охоплює переваги та недоліки існуючих підходів. Усі результати підкріплені експериментами, детально описаними архітектурами, графічними і табличними даними. Розроблені моделі верифіковано на відкритих наборах даних, що забезпечує прозорість і повторюваність експериментів.

7. Повнота викладу сформульованих у дослідженні наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях. Отримані в дисертаційній роботі результати опубліковані в наукових фахових виданнях, пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано в 7 статтях, з яких 2 статті входять у наукометричну базу Scopus.

8. Зауваження щодо змісту дисертаційної роботи.

1. У дисертаційному дослідженні застосування ймовірнісних підходів розглядаються здебільшого для задачі класифікації. Тим не менше, запропоновані підходи можуть стати корисними й в інших задачах машинного навчання, як пошук об'єктів, сегментація, тощо. Також цікавим є застосування цих підходів для задачі аналізу тексту, тощо.
2. Основні результати апробації отримано на відкритому наборі даних Galaxy Zoo DECaLS. Використання цього набору даних чудово демонструє переваги запропонованого в роботі підходу на даних з різного роду помилками та нечіткими анотаціями. Проте було б показово перевірити підходи на простіших вибірках для більш широкого порівняння.
3. У тексті дисертації зустрічаються описки та дрібні граматичні помилки, що не перешкоджають розумінню основного змісту роботи.

Наведені вище зауваження зумовлені високим рівнем та глибиною дисертаційного дослідження і не впливають на загальну оцінку роботи та її змісту.

9. Відсутність порушень академічної доброчесності. Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових працях М. В. Баранова не виявлено.

10. Заключна оцінка дисертаційної роботи. Подана до захисту дисертаційна робота Баранова Миколи Вікторовича на тему "Використання технік навчання нейронних мереж на малому наборі даних для адаптації моделі" є завершеним та самодостатнім науковим дослідженням. Опубліковані наукові праці, що стосуються обраної теми, повною мірою відображають основні положення дисертаційної роботи. Представлені результати дослідження були висвітлені на міжнародних наукових конференціях у достатньому обсязі.

Представлена дисертація Баранова М. В. відповідає 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 № 44 від 12 січня 2022 року (із змінами), актуальним вимогам до оформлення дисертації згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” № 40 від 12.01.2017 р., а її автор, Баранов Микола Вікторович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 “Інформаційні технології” за спеціальністю 122 “Комп’ютерні науки”.

Рецензент:

Доцентка кафедри дискретного
аналізу та інтелектуальних систем
Львівського національного університету
імені Івана Франка
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Надія КОЛОС