

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
д.т.н., професору Борису МОРОЗУ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **ХАБАРЛАКА Костянтина Сергійовича**
*«Методи класифікації та сегментації зображень на основі змінюваних
згорткових мереж»*

подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
з галузі знань 12 *«Інформаційні технології»*,
спеціальності 122 *«Комп'ютерні науки»*

1. Актуальність теми.

Розробка нових методів комп'ютерного зору є однією з найбільш важливих прикладних областей застосування комп'ютерних наук та штучного інтелекту. Провідну роль при розробці сучасних методів класифікації та сегментації грають згорткові нейронні мережі. Висока якість їх розпізнавання передбачає задіяння значних обчислювальних ресурсів, що часто обмежує використання таких мереж на портативних або малопотужних пристроях. З одного боку, над проблемою працюють виробники процесорів, які впроваджують спеціальні апаратні блоки, що прискорюють типові арифметичні операції в нейронних мережах. З іншого боку, пропонуються нові архітектури нейронних мереж та методи їх навчання, що прискорюють роботу нейронних мереж або підвищують якість розпізнавання.

Водночас, зростання обчислювальної складності та кількості параметрів в сучасних мережах дозволяє їм вивчати більш загальні ознаки в даних та, як наслідок, підвищувати якість вирішення задач комп'ютерного зору, збільшуючи розрив між мережами, спрямованими на малопотужні пристрої та серверні комп'ютери. Дисертаційна робота Хабарлака К. С. присвячена вирішенню цього нагального питання, пропонуючи методи класифікації та сегментації, що: 1) дозволяють обирати конфігурацію згорткової мережі в онлайн режимі в залежності від доступних обчислювальних можливостей; 2) підвищують загальну ефективність роботи нейронної мережі у сенсі співвідношення якості до часу виконання.

Зважаючи на вищезазначене, дисертаційна робота Хабарлака К.С. є актуальною.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Висвітлені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є науково і теоретично обґрунтованими, достовірними та апробованими. Проведення наукового дослідження, висвітлення результатів, формулювання пропозицій та практичних рекомендацій здобувачем здійснено з використанням як загальних, так і специфічних для даної тематики апробованих методів дослідження та аналізу. Отримані автором результати достатньо обґрунтовані, ступінь їх достовірності не викликає запитань або зауважень.

Дисертація Хабарлака К. С. в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною, сприяє в достатній мірі сприйняттю викладеного автором матеріалу. Робота добре проілюстрована, наявна достатня кількість таблиць та їх графічних візуалізацій для представлення експериментальних результатів. Наявний змістовний зв'язок розділів.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

В рамках дисертаційної роботи запропоновано низку нових наукових положень:

- вперше запропоновано методи класифікації та сегментації, які дозволяють змінювати обчислювальну складність процедури виконання або навчання згорткової нейронної мережі та підвищувати їх ефективність;
- вперше розроблено метод лямбда-шаблонів прискореного навчання за кількома прикладами, що дозволяє змінювати обчислювальну складність процедури навчання нейронної мережі;
- подальший розвиток отримали нейронні мережі MobileNetV2 та U-Net, модифікації яких перевершують базові за співвідношенням якості до часу виконання;
- прискорено метод навчання за кількома прикладами MAML за допомогою методу лямбда-шаблонів;
- розроблено модифікацію мобільної системи контролю доступу на основі RFID міток, де зменшено навантаження на сервер шляхом виконання процедури аналізу зображень на мобільному пристрої за допомогою розробленої змінюваної мережі.

Дисертаційна робота є частиною двох держбюджетних тем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» («Розробка нових мобільних інформаційних технологій для ідентифікації особи та класифікації об'єктів навколишнього світу»), № 0121U109787 та «Розробка нових

адаптивних інформаційних технологій для розпізнавання об'єктів навколишнього світу», № 0123U100012).

4. Практична цінність результатів роботи.

Результати дослідження отримали впровадження в освітньому процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при викладанні дисциплін «Самонавчання складних систем» та “Methods and systems of artificial intelligence” (для іноземних студентів), а також в Придніпровському науковому центрі (в рамках розробки системи контролю стану водія транспортного засобу, акт впровадження від 06.04.2023) та Інституті геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова (в системі контролю доступу з RFID мітками, акт впровадження від 15.03.2023).

Результатами роботи є методи сегментації та класифікації, зокрема, за умови навчання за кількома прикладами, а отже, в подальшому можливе впровадження результатів роботи при аналізі медичних, супутникових знімків, відео з камер спостереження, обробки зображень облич. Слід також зазначити, що модифікована мережа U-Net є базою для дифузійних генеративних моделей, де проблема великого часу їх навчання та виконання також стоїть гостро, тому представлений результат буде застосовним і для генерації зображень.

5. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертаційних працях.

Наукові результати дисертації висвітлені у 25 роботах, серед яких 3 статті включено на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих в базах Scopus та/або Web of Science. Автором отримано 1 авторське свідоцтво та 18 публікацій у матеріалах конференцій. Публікації здобувача мають високу якість та повноцінно висвітлюють наукове дослідження, розкриваючи, де потрібно, експериментальні результати.

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

6. Мова, стиль та зміст дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Стиль мовлення, використаний для викладення концепцій та результатів дослідження, є структурованим та послідовним, що допомагає читачеві легко зрозуміти постановку задачі, запропоновані методи, проведені експерименти. Використання математичних методів та експериментальних результатів допомагає підкреслити обґрунтованість та наукову цінність представлених результатів. Загалом, стиль мовлення в роботі демонструє високий рівень наукової грамотності та вміння ефективно описувати складні ідеї в науковому

контексті. Застосування загальноприйнятої термінології в роботі свідчить про глибоке знання та розуміння предметної області. Автор використовує фахові терміни для точного виразу концепцій, що допомагає забезпечити коректність та наукову достовірність викладу.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг роботи – 169 сторінок, з яких 159 належать до основної частини.

Короткий зміст дисертації. У вступі автором розкрито актуальність роботи, сформульовану мету та поставлено задачі дослідження, описано наукову новизну досягнутих результатів та практичну цінність розроблених методів, наведено інформацію про публікації та апробацію роботи здобувача.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів класифікації та сегментації на основі згорткових нейронних мереж. Розглянуто особливості таких методів, архітектури мереж, наведено розрахунки їх обчислювальної складності за кількістю операцій множення-додавання та кількістю параметрів, також увагу приділено модифікаціям методів, необхідних для розв'язання специфічних задач комп'ютерного зору. Виявлено слабкі сторони існуючих методів.

Другий розділ присвячено розробці змінюваної мережі та методу її навчання. Автором представлено блок, що має 2 гілки із різною обчислювальною складністю, описано, як інтегрувати такий блок в існуючу нейронну мережу, запропоновано метод навчання блоку, що дозволяє вирішувати задачу класифікації, перемикаючи гілки з «важкої» на «легку» (в термінах, введених в дисертації) або використовувати обидві разом. Автором відтворено процедуру навчання інших нейронних мереж на наборі даних ImageNet та проведено порівняння розробленого методу з існуючими. Також проведено дослідження для задачі антиспуфінгу.

В третьому розділі представлено програмну реалізацію системи контролю доступу, яку побудовано так, аби основне навантаження з аналізу зображень відбувалось на мобільному пристрої користувача. Зокрема, для прискорення роботи системи на мобільному пристрої виконується запропонована змінювана мережа. Використано технології контейнеризації для швидкого розгортання розробленого програмного забезпечення на підприємствах. Автентифікація користувача відбувається за міжнародним стандартом.

В четвертому розділі представлено вирішення за допомогою змінюваної згорткової мережі задачі сегментації. В ході експериментів показано, що

запропонований в дисертації метод дозволив як змінювати архітектуру мережі після завершення навчання, так і прискорювати її без втрат якості.

В п'ятому розділі розроблено метод лямбда-шаблонів навчання за кількома прикладами з вибірковим обчисленням градієнту в методі зворотного поширення помилки, що, як показано в експерименті, прискорює навчання мережі виконувати нові задачі.

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

7. Дотримання академічної доброчесності.

Ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В схемах нейронних мереж, наведених в розділах 2, 4, 5 доцільно було б використати однакові позначення згорткових блоків та виконати схеми в єдиному стилі, що полегшило б їх сприйняття.
2. Автором навчено змінювану мережу та оцінено її якість на наборі даних ImageNet. Ваги мережі, отримані на даному наборі даних широко використовуються для трансферного навчання. Доцільно було б і авторові провести дослідження якості змінюваної мережі на випадок трансферного навчання.
3. Мережі РТА та U-Net+РТА автор навчає, використовуючи випадкову ініціалізацію параметрів мережі. Доречно було б описати процедуру вбудови блоку РТА в базову мережу, коли остання є вже навченою на цільовому наборі даних. Це дозволило б спростити впровадження запропонованого методу та мережі в існуючі системи класифікації та сегментації зображень.
4. Таблицю 5.2 (прискорення адаптації за допомогою Λ -шаблонів) доцільно було б побудувати з групуванням за кількістю кроків адаптації, це дозволило б показати приріст ефективності, отриманий за допомогою запропонованого методу *за умови* різної кількості кроків адаптації.
5. В розділі 5 доцільно було б дослідити один з підходів метричного мета-навчання, що дозволило б авторові не лише застосувати метод Λ -шаблонів, але й використати змінювану мережу РТА та метод її навчання з розділу 2 для задачі навчання за кількома прикладами та, як наслідок, отримати додаткове пришвидшення роботи нейронної мережі.

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

9. Загальний висновок.

Ступінь наукової новизни отриманих результатів, теоретичне і практичне значення, достовірність отриманих висновків і рекомендацій, актуальність теми дослідження, достатня апробація представлених до захисту результатів та відсутність порушення норм академічної доброчесності дозволяють зробити висновок, що дисертаційна робота «Методи класифікації та сегментації зображень на основі змінюваних згорткових мереж» Хабарлака Костянтина Сергійовича відповідає вимогам, що передбачені в «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 Хабарлак Костянтин Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри програмних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Сергій СУББОТІН