

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

ВІДГУК

офіційного рецензента
кандидатки технічних наук, доцентки

Удовик Ірини Михайлівни

на дисертаційну роботу

Хабарлака Костянтина Сергійовича

«Методи класифікації та сегментації зображень на основі змінюваних
згорткових мереж»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки
в галузі знань 12 – Інформаційні технології»

Актуальність роботи. Методи класифікації та сегментації на основі нейронних мереж демонструють найвищу якість серед провідних алгоритмів машинного навчання та є важливими для обробки зображень. Для виконання нейронних мереж часто використовуються «хмарні» технології або виділене обладнання, але: 1) вартість оренди або підтримки серверів з графічними процесорами є великою; 2) робота обмежується лише випадками, коли є можливість та згода передавати дані з пристрою користувача. Уникнути зазначених недоліків дозволяє виконання нейронних мереж прямо на мобільних та крайових пристроях, які мають невисоку обчислювальну потужність через їх компактність та необхідність довгої роботи від батареї. Однак, швидкість сучасних методів класифікації та сегментації на основі згорткових нейронних мереж на таких пристроях є недостатньою та потребує покращення. Набір методів, розроблених в дисертації, вирішує цю проблему та дозволяє зменшити час виконання згорткових нейронних мереж за допомогою зміни кількості активних шарів нейронної мережі під час або після завершення процедури навчання, що зумовлює актуальність дисертації Хабарлака Костянтина Сергійовича.

Наукові результати та їх новизна. Отримані наукові результати розв'язують актуальну науково-прикладну задачу прискорення навчання і

виконання нейронних мереж шляхом розробки методів, що дозволяють змінювати кількість активних шарів мереж під час або після їх навчання. В залежності від задачі, прискорення сягає від 6% до 20% із мінімальними втратами якості, а в деяких випадках і з її зростанням.

Наукові положення, запропоновані автором, полягають в наступному:

1. Автором вперше розроблено метод навчання змінюваної згорткової мережі та саму архітектуру такої мережі, які дозволяють конфігурувати обчислювальну складність мережі після завершення навчання для задач класифікації та сегментації зображень.
2. Для задачі класифікації за кількома прикладами вперше розроблено метод Λ -шаблонів прискорення адаптації ваг мережі до нових задач.
3. Автором вдосконалено систему контролю доступу, в якій завдяки використанню змінюваної мережі було прискорено систему антиспуфінгу, що виконується на мобільному пристрої, на 20%.
4. Вдосконалено архітектури мереж для класифікації та сегментації зображень шляхом вбудови змінюваного згорткового блоку, що дозволило змінювати архітектуру мережі без донавчання.
5. Вдосконалено метод оптимізаційного мета-навчання за рахунок зміни вибіркового обчислення градієнтів в методі зворотного поширення помилки, що прискорило адаптацію до нових класів.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.

Дисертаційну роботу Хабарлака Костянтина Сергійовича виконано на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Практичне значення одержаних результатів полягає, насамперед, в розробці методів та відповідного програмного забезпечення, які дозволяють прискорювати навчання нейронних мереж та їх виконання на пристроях із обмеженими обчислювальними можливостями в задачах комп'ютерного зору. Всі розроблені у дисертації методи мають комп'ютерну реалізацію та апробовані в експериментальних дослідженнях.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», дисципліни: «Самонавчання складних систем» та «Methods and systems of artificial intelligence». Дослідження, представлені у дисертації, виконано в рамках науково-дослідних робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Розробка нових мобільних інформаційних технологій для ідентифікації особи та класифікації об'єктів навколишнього світу» (№ держреєстрації 0121U109787) та «Розробка нових адаптивних

інформаційних технологій для розпізнавання об'єктів навколишнього світу» (№ держреєстрації 0123U100012). Результати дисертаційної роботи були використанні для систем контролю стану водіїв (в Придніпровському науковому центрі) та контролю доступу до технологічного обладнання (в Інституті геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова).

Вважаю, список практичних застосувань розроблених методів не обмежується зазначеними в роботі, в подальшому розроблену змінювану мережу РТА можна використати для розв'язання задач для пошуку об'єктів на зображеннях, а метод Λ -шаблонів – для навчання з підкріпленням.

Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.

У *вступі* здобувачем визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження та задачі, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, подано наукову новизну та практичне значення результатів. Наявна інформація про публікації та апробацію результатів досліджень.

В *першому розділі* автором описано та проаналізовано існуючі провідні архітектури згорткових нейронних мереж для задач класифікації, сегментації та для задачі класифікації за умови навчання за кількома прикладами. Автором проаналізовано переваги та недоліки існуючих підходів з огляду на практичні застосунки. За результатами досліджень зазначено, що аналіз зображень із використанням нейронних мереж на мобільних та крайових пристроях є бажаним, однак має ряд проблем, пов'язаних із обмеженими обчислювальними можливостями таких пристроїв та необхідністю роботи від батареї.

В *другому розділі* запропоновано базовий блок змінюваної згорткової мережі (блок РТА), мережу РТА та метод її навчання, що дозволяють під час та, що важливо, після навчання змінювати кількість шарів мережі, а відповідно і її обчислювальну складність, без додаткових ітерацій навчання. Отже, мережу можна конфігурувати відповідно до обчислювальної потужності пристрою або поточного навантаження на нього. Ефективність запропонованих мережі та методу підтверджено на наборі даних для тестування методів класифікації та наборі антиспуфінгу.

В *третьому розділі* розроблено мобільну систему контролю доступу до дверей або технологічного обладнання. Ідентифікація приладу або об'єкту відбувається за допомогою прикріпленої RFID мітки. При наданні доступу фотографія користувача перевіряється системою антиспуфінгу, яка визначає чи є фотографія достовірною або ж підробкою – фотографією іншої фотографії. В основі зазначеної системи покладено змінювану згорткову мережу.

В четвертому розділі розроблено змінювану згорткову мережу для задачі сегментації зображень, для чого мережу MobileNetV2 із РТА блоками вбудовано в якості кодувальника в мережу сегментації U-Net. Запропонована мережа також дозволяє перемикає її між декількома конфігураціями задля підвищення ефективності виконання мережі. Автором представлено метрики якості та часу виконання такої мережі на відкритому наборі даних сегментації зображень.

У п'ятому розділі автор пропонує метод Λ -шаблонів прискорення адаптації методів навчання за кількома прикладами, що є одним з напрямків мета-навчання. Показано ефективність підходу щодо навчання за 1 та 5 прикладами на клас відповідно до протоколів навчання і тестування використаного набору даних.

В рамках проведеної роботи використовувались методи машинного навчання, мета-навчання, зворотного поширення помилки, об'єктно-орієнтовного програмування. Аналіз змісту розділів, використаного інструментарію та способів його застосування свідчить про належну обґрунтованість наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, теоретично обґрунтовані, підтверджені результатами практичного використання, інформацією з науково-технічної літератури, комп'ютерною реалізацією із розрахунками якості на відкритих наборах даних класифікації та сегментації, порівняннями із новітніми науковими розробками інших авторів.

Все вищезазначене дозволяє зробити висновок про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації Хабарлака К.С.

Повнота викладення результатів дисертації в наукових виданнях. Основні результати досліджень викладено в 3 статтях в журналах, що індексуються в наукометричних базах Web of Science та/або Scopus (серед яких 1 закордонне видання), в 3 статтях в фахових виданнях України, 19 робіт, що мають апробаційний характер: 1 авторське свідоцтво та 18 публікацій у матеріалах і тезах конференцій.

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Повний обсяг роботи складає 169 сторінок, з яких 159 сторінок – основний текст. Список використаних джерел містить 189 найменувань.

Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності. Дисертація написана науково правильною мовою на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 – Комп’ютерні науки в галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Аналіз наукових праць, що опубліковані автором, змісту дисертаційної роботи, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані здобувачем особисто. В дисертаційній роботі не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів науковців без посилань на відповідні джерела.

Відсутність порушень академічної доброчесності підтверджує наявний звіт про результати перевірки на академічний плагіат дисертації Хабарлака Костянтина Сергійовича.

Зауваження до дисертації:

1. В мережі U-Net+PTA доцільно було б дослідити використання блоків PTA не лише в частині кодувальника, але й в декодувальнику, що сприяло б підвищенню ефективності запропонованої мережі.

2. Варто було б запропонувати підхід щодо автоматичного вибору конфігурацій PTA, приміром, обумовленого складністю вхідного зображення.

3. В розділі 3 автор змінює співвідношення сторін зображення з прямокутного до квадратного, використовуючи техніку каше. Таким чином, на зображенні, що подається до нейронної мережі, завжди виникає чорне обрамлення зверху та знизу, що не несе додаткової інформації. Доцільно було б обґрунтувати таку передобробку.

4. В розділі 2 слід було б навести обґрунтування усереднення меншої якості класифікації мережі PTA із використанням частот вибору конфігурацій за методом GRE у порівнянні з апріорним вибором частот. Зокрема, якщо причиною є довгий час пошуку гіперпараметрів для згорткової мережі, доцільно було б проводити пошук на меншому наборі даних та із меншою кількістю класів, аніж ImageNet.

Однак, наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи та суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред’являються до наукового ступеня доктора філософії. Дисертація Хабарлака Костянтина Сергійовича «Методи класифікації та сегментації зображень на основі змінюваних згорткових мереж» є завершеною науково-дослідницькою роботою, що містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі було вирішено актуальну науково-прикладну задачу прискорення

навчання і виконання згорткових нейронних мереж для задач класифікації та сегментації зображень за рахунок розробки змінюваних нейронних мереж.

Тема і зміст роботи відповідають спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, а наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі є значущими для галузі знань інформаційні технології.

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових результатів, висновків та рекомендацій, їх наукову новизну та практичну цінність, повноту викладу матеріалу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація Хабарлака Костянтина Сергійовича 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 від 12 січня 2022р. №44 та вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Хабарлак Костянтин Сергійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Офіційний рецензент – кандидат технічних наук,
доцент, декан факультету інформаційних технологій
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Ірина УДОВИК