

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Інституту енергетичних машин та
систем ім. А. М. Підгорного НАН
України
д. т. н., проф, Олені Стрельніковій
вул. Комунальників, 2/10, м. Харків,
61046

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, провідного наукового співробітника відділу нелінійної механіки та математичного моделювання, доктора технічних наук Чугая Андрія Михайловича на дисертаційну роботу Конюхова Владислава Дмитровича “Ансамблеві алгоритми машинного навчання для сегментації зображень низької якості” подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 “Математика та статистика” за спеціальністю 113 “Прикладна математика”.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Сегментація зображень є однією з фундаментальних та критично важливих задач у сфері комп'ютерного зору та аналізу зображень. Успішне вирішення цієї задачі має вирішальне значення для широкого спектра прикладних галузей, включаючи медичну діагностику, автономні транспортні засоби, супутниковий моніторинг, системи безпеки та контроль якості у промисловості.

Незважаючи на значні досягнення у розробці алгоритмів сегментації, зокрема з використанням глибокого навчання, ефективність багатьох існуючих методів суттєво знижується при роботі із зображеннями низької якості. Такі зображення часто зустрічаються на практиці та можуть характеризуватися наявністю шуму різної природи, розмиттям, низькою роздільною здатністю, недостатньою або надмірною освітленістю, артефактами чи спотвореннями, викликаними умовами зйомки.

Традиційні методи сегментації та навіть окремі моделі машинного навчання часто виявляються недостатньо стійкими до таких спотворень. У цьому контексті ансамблеві алгоритми машинного навчання представляють собою перспективний напрямок досліджень. Ансамблеві методи поєднують прогнози декількох індивідуальних моделей для отримання більш точного, стабільного та надійного результату порівняно з кожною моделлю окремо. Основна ідея полягає в тому, що різні моделі можуть по-різному реагувати на шум та інші дефекти

зображення, і їх комбінація дозволяє компенсувати індивідуальні помилки та покращити загальну якість сегментації.

Отже, дослідження ефективності застосування ансамблевих алгоритмів машинного навчання для сегментації зображень низької якості є своєчасним та важливим завданням, вирішення якого може суттєво покращити результативність систем аналізу зображень у складних умовах та розширити межі їх практичного застосування.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертація складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 166 сторінок, з яких 109 сторінок основного тексту, що містять 52 рисунки та 15 таблиць. Список використаних джерел налічує 128 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та основні завдання, які необхідно було вирішити. Також у вступі розкрито наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення, наведено інформацію про особистий внесок автора у розробку представлених алгоритмів, відомості щодо апробації ключових положень роботи та її загальну структуру.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду існуючих методів сегментації зображень. Тут проаналізовано класичні підходи, починаючи від порогових методів, кластеризації К-середніх, алгоритму зростання регіонів, алгоритму вододілу, до графових алгоритмів та застосування базових технік машинного навчання. Для наочності проведено порівняльну оцінку точності розглянутих підходів на прикладі обробки медичного рентгенівського знімка.

У **другому розділі** фокус приділяється ансамблевим методам в контексті машинного навчання для задач сегментації. Детально досліджено два ансамблеві алгоритми: метод усереднення з порогом та алгоритм, що базується на об'єднанні результатів. Важливою частиною розділу є визначення та обґрунтування критеріїв, які дозволяють кількісно оцінити переваги використання ансамблевих підходів порівняно із застосуванням окремих моделей.

Третій розділ містить виклад основних наукових результатів, отриманих у ході дослідження. Тут детально описано запропоновані нові алгоритми сегментації, включаючи ансамблевий підхід на основі усереднення форм об'єктів, алгоритми з використанням центрування, методи комбінування різних ансамблевих алгоритмів, а також інтеграцію алгоритму адаптивного уточнення контуру з ансамблевим підходом. Особливу увагу приділено розробці та дослідженню багатоетапного ансамблювання, яке показало найкращі показники ефективності. Проведено експериментальне порівняння продуктивності запропонованих алгоритмів на двох різних наборах даних, що дозволило оцінити їхню адаптивність та ефективність для даних різного типу.

Четвертий розділ присвячений практичній реалізації результатів дослідження – розробці програмного комплексу для автоматизації процесу

визначення діагностичних параметрів хребців на медичних зображеннях. У розділі послідовно описано етапи створення цього програмного продукту: від постановки задачі та підготовки даних для навчання моделей до безпосереднього процесу застосування алгоритмів та розробки користувацького інтерфейсу додатку. Створене програмне забезпечення слугує підтвердженням практичної застосовності розроблених алгоритмів у сфері медичної діагностики.

У висновках узагальнено ключові результати дисертаційної роботи, підсумовано основні наукові здобутки та підкреслено їх наукову новизну і практичну цінність для галузі обробки зображень.

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

Наукові положення, висновки та рекомендації, що представлені у дисертаційній роботі характеризуються високим ступенем обґрунтованості. Ця обґрунтованість спирається, перш за все, на аналіз предметної області, що охоплює як класичні підходи до сегментації зображень, так і сучасні методи машинного навчання, з особливим акцентом на ансамблевих алгоритмах. Такий аналіз дозволив чітко ідентифікувати актуальну науково-практичну проблему, пов'язану з обробкою зображень низької якості, та коректно сформулювати мету і завдання дослідження.

Крім того, обґрунтованість підкріплюється застосуванням науково коректної методології. Вона включала розробку нових ансамблевих алгоритмів, визначення адекватних критеріїв для оцінки їхньої ефективності та проведення ретельного порівняльного аналізу із існуючими рішеннями. Важливо зазначити, що сформульовані наукові положення та висновки підтверджені результатами численних експериментальних досліджень. Використання двох різних наборів даних для експериментів свідчить про увагу до оцінки узагальнюючої здатності запропонованих алгоритмів. Представлені експериментальні дані є репрезентативними, піддані належному кількісному аналізу, і саме на них логічно базуються основні висновки роботи, зокрема щодо переваг розроблених ансамблевих підходів, особливо багатоетапного ансамблювання, для сегментації зображень низької якості.

Нарешті, практична значущість та обґрунтованість рекомендацій щодо застосування результатів підтверджуються розробкою та описом програмного рішення для автоматизованого аналізу медичних зображень, що демонструє реальну можливість впровадження створених алгоритмів у практику. Таким чином, поєднання міцного теоретичного підґрунтя, адекватної методології дослідження, релевантних експериментальних даних та результатів практичної апробації забезпечує високий ступінь доказовості та обґрунтованості всіх ключових наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційному дослідженні.

4. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових та міжнародних наукових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 9 наукових праць, зокрема 1 стаття у виданні, яке індексується у наукометричній базі Scopus; 2 статті у виданні, яке індексується у наукометричній базі Web of Science; 4 статті опубліковані у виданнях, що належать до категорії Б; а також дві тези доповідей, представлені на науково-технічних конференціях.

Дисертант отримав наступні наукові результати:

- вперше запропоновано алгоритм адаптивного уточнення контуру об'єкта з використанням ансамблевих алгоритмів, що відрізняється від існуючих інтеграцією ансамблевих методів з аналізом яскравості сусідніх пікселів. Це дозволило покращити точність сегментації на різних нейронних мережах.
- вперше запропоновано нові ансамблеві алгоритми на основі центрування, які відрізняються від традиційних підходів використання інформації про центри об'єктів, виділених моделями, для агрегації кінцевого результату. Це дозволило покращити точність сегментації, особливо для об'єктів на низькоякісних зображеннях.
- вперше запропоновано ансамблевий алгоритм усереднення форм об'єктів, що відрізняється від відомих методів ансамблювання тим, що агрегація результатів відбувається за рахунок обчислення трансформації відстані пікселів.
- вперше запропоновано нові комбінації ансамблевих алгоритмів, що відрізняються від використання окремих методів поєднання різних стратегій, зокрема алгоритму усереднення форм об'єктів з ансамблевим алгоритмом об'єднання. Це дозволяє одночасно покращувати як повноту виявлення об'єктів, так і якість їхніх контурів.
- вперше запропоновано підхід до використання різних ансамблевих алгоритмів у двоетапних та багатоетапних алгоритмах сегментації, що відрізняється від стандартного одноетапного ансамблювання можливістю ієрархічної обробки інформації та поступового уточнення результату на кожному етапі. Це дало змогу створити більш гнучкі та потужні системи сегментації, здатні ефективніше долати труднощі, пов'язані з низькою якістю зображень, та досягати вищої кінцевої точності.

5. Практичне значення одержаних результатів.

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати становлять вагомий внесок у розвиток теорії ансамблевих методів машинного навчання та їх практичного застосування для вирішення складних задач аналізу зображень.

Було розроблено програмне забезпечення для визначення діагностичних параметрів хребців грудної клітини за допомогою ансамблевих алгоритмів.

Сегментація зображень була виконана за допомогою запропонованих ансамблевих алгоритмів.

Практична реалізація одержаних результатів також полягає у передачі результатів досліджень ТОВ «РАДІОПРОМ» (м. Харків) для впровадження запропонованих методик, алгоритмів та бібліотек зі втіленими авторськими алгоритмами, що підтверджено відповідним актом (Додаток Б). Результати роботи були впроваджені у навчальний процес кафедри інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при проведенні лекційних, лабораторних та практичних занять з курсів «Вступ до обробки даних» і «Обробка зображень та сигналів» для студентів 3 курсу бакалаврату та «Наближені методи розв'язання задач математичної фізики» і «Обробка даних фізичних експериментів» для студентів 1 курсу магістратури спеціальності 105 - «Прикладна фізика та наноматеріали», що підтверджено відповідним актом (Додаток Б).

6. Дотримання академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

7. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Після опису архітектур моделей не надано детального пояснення щодо функції втрат, яка використовувалася для навчання кожної моделі в ансамблі. Які критерії були враховані при її виборі?

2. У третьому розділі зазначено, що попередня обробка зображень не застосовувалася, з огляду на можливе зниження чіткості меж об'єктів сегментації. Враховуючи важливість цього аспекту для якості результатів, було б доцільно більш детально обґрунтувати прийняте рішення, а також розглянути можливі альтернативні підходи до покращення якості вхідних даних.

3. Було б також цікаво розглянути можливість застосування методів постобробки до отриманих масок сегментації. Це могло б допомогти покращити їхню якість, наприклад, шляхом усунення невеликих артефактів, згладжування меж або заповнення невеликих розривів.

4. При візуалізації результатів відчувається недостатня кількість візуальних прикладів сегментації для різних рівнів та типів низької якості вхідних зображень. Було б корисно надати більше порівняльних зображень, що демонструють оригінальні знімки та відповідні отримані маски сегментації. Це дозволило б краще оцінити візуальну якість роботи розроблених ансамблевих алгоритмів у різних умовах погіршення якості зображень.

5. Було б цінним представити окрему оцінку стійкості розроблених ансамблевих алгоритмів до різних типів та рівнів шуму, розмитості та інших артефактів, характерних для зображень низької якості.

8. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Конюхова Владислава Дмитровича “Ансамблеві алгоритми машинного навчання для сегментації зображень низької якості”, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 11 “Математика та статистика” за спеціальністю 113 “Прикладна математика” є актуальною, завершеною науковою працею, що виконана на належному науково-теоретичному рівні з логічно- та доступно-викладеним матеріалом.

Вважаю, що подана до захисту дисертаційна робота Конюхова В. Д. відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, зокрема 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 12.01. 2022 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022 та Постановою Кабінету Міністрів України № 502 від 19.05.2023) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – “Прикладна математика” у галузі знань 11 – “Математика та статистика”.

Офіційний рецензент,
доктор технічних наук,
провідний науковий співробітник
Інституту енергетичних машин
та систем
ім А. Н. Підгорного НАН України



Андрій ЧУГАЙ