

ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Соломатіна Владислава Андрійовича** на тему
**«Розроблення моделей та програмного забезпечення підтримки
прийняття рішень під час діагностики за медичними даними»**,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 –
Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Соломатіна Владислава Андрійовича присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання у сфері інформаційних технологій та інженерії програмного забезпечення, а саме розробленню моделей і програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час аналізу медичних даних для підвищення якості автоматизованої діагностики серцево-судинних захворювань.

Актуальність теми дослідження обумовлена високою поширеністю серцево-судинних захворювань, зокрема ішемічної хвороби серця, яка залишається однією з основних причин смертності населення. Водночас інтерпретація рентгенографічних зображень органів грудної клітки значною мірою залежить від досвіду лікаря, якості отриманих зображень, наявності шумів, артефактів та накладання анатомічних структур. Це створює передумови для використання сучасних методів штучного інтелекту, здатних забезпечити автоматизовану обробку медичних зображень і підвищити об'єктивність діагностичних висновків.

Останніми роками активно розвиваються методи глибокого навчання для аналізу медичних зображень, однак більшість існуючих моделей орієнтована на загальні задачі семантичної сегментації і недостатньо враховує морфологічні особливості серцевої області, її контурні характеристики та специфіку рентгенографічних зображень. Це обумовлює необхідність створення спеціалізованих моделей, здатних забезпечувати більш точне виділення області інтересу та формувати інформацію, придатну для подальшої підтримки прийняття лікарських рішень.

Актуальність роботи також визначається потребою у створенні сучасного програмного забезпечення, яке забезпечує повний цикл автоматизованого аналізу медичних зображень — від попередньої обробки та сегментації серцевої області до формування допоміжного класифікаційного висновку та візуалізації результатів. Запропонований автором комплексний підхід поєднує сучасні методи глибокого навчання, морфологічний аналіз, механізми врахування контурної інформації та програмну реалізацію єдиної системи підтримки прийняття рішень.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є своєчасною, актуальною та має важливе наукове і практичне значення для розвитку інформаційних технологій у медицині, систем підтримки прийняття рішень та програмного забезпечення медичного призначення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до індивідуального плану підготовки здобувача ступеня доктора філософії кафедри інженерії програмного забезпечення Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Тематика дослідження відповідає основним науковим напрямкам кафедри, пов'язаним із розробленням інформаційних технологій, програмного забезпечення, моделей, алгоритмів машинного навчання та інтелектуальної обробки даних для розв'язання прикладних задач.

Одержані автором результати отримано в межах виконання науково-дослідної роботи «Розроблення програмного забезпечення аналізу та кластеризації часових рядів» (2022–2024 рр., шифр ФПМ-2-22, державний реєстраційний номер 0122U001465) та науково-дослідної роботи «Розроблення інформаційної технології обробки статистичних даних» (2025–2027 рр., шифр ФПМ-2-25, державний реєстраційний номер 0125U002280).

Результати дисертаційного дослідження органічно доповнюють зазначені науково-дослідні роботи та спрямовані на розвиток сучасних методів штучного інтелекту, комп'ютерного бачення та інженерії програмного забезпечення для автоматизованого аналізу медичних даних. Запропоновані автором моделі та програмне забезпечення розширюють можливості застосування інтелектуальних інформаційних технологій у системах підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними.

Формулювання наукової задачі, розв'язання якої одержане в дисертації. У дисертаційній роботі Соломатіна В.А. розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, яке полягає у розробленні моделей та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними шляхом підвищення точності автоматизованої сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки та формування допоміжного класифікаційного висновку.

Для розв'язання поставленої наукової задачі автором отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз сучасних методів автоматизованої сегментації медичних зображень та визначено їх переваги, недоліки й перспективні напрями розвитку для задач аналізу CXR-зображень.

2. Розроблено морфологічно орієнтовану модель CardioEdgeBioMorphNet, яка поєднує багатомасштабне виділення ознак, аналіз контурної інформації та спеціалізовані механізми морфологічної обробки для підвищення точності сегментації серцевої області.

3. Запропоновано комплекс архітектурних рішень, що включає блоки EdgeMorphBlock, модуль DMGGA, окремий Sobel edge-потік, механізм edge-fusion та Adaptive Boundary Rejection, спрямовані на покращення локалізації меж серця та зменшення кількості хибнопозитивних сегментів.

4. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує повний цикл автоматизованого аналізу рентгенографічних зображень органів грудної

клітки: від попередньої обробки даних до сегментації серцевої області, формування класифікаційного висновку та візуалізації результатів.

5. Проведено експериментальне дослідження запропонованої моделі, виконано її порівняння з базовими архітектурами семантичної сегментації, а також здійснено абляційний аналіз окремих компонентів, що підтвердило доцільність використання запропонованих архітектурних рішень.

6. Реалізовано механізм використання сегментованої серцевої області для автоматизованого формування допоміжного висновку щодо ймовірного клінічного стану на основі аналізу ймовірностей у межах виділеної області інтересу.

Отримані результати свідчать про успішне розв'язання поставленої наукової задачі та підтверджують доцільність використання запропонованих моделей і програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень під час аналізу медичних даних.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у розвитку методів автоматизованої обробки медичних рентгенографічних зображень на основі глибокого навчання шляхом розроблення нових архітектурних рішень для сегментації серцевої області та їх інтеграції із засобами підтримки прийняття рішень.

До найбільш вагомих наукових результатів, отриманих автором, слід віднести:

1. Розроблення нової морфологічно орієнтованої архітектури CardioEdgeBioMorphNet, призначеної для автоматизованої сегментації серцевої області на CXR-зображеннях із використанням морфологічних ознак, контурної інформації та багатомасштабного аналізу.

2. Подальший розвиток методів побудови морфологічних блоків нейронних мереж шляхом інтеграції edge-aware компонентів, механізму channel attention та морфологічного gating, що забезпечує точніше локалізування меж серцевої області.

3. Розроблення нового диференційовного механізму морфологічної уваги DMGGA, який дозволяє ефективніше виділяти структурні особливості та текстурні характеристики медичних зображень.

4. Запропонування окремого контуру обробки граничної інформації на основі оператора Sobel із подальшим поєднанням отриманих ознак із семантичними представленнями під час декодування, що покращує якість відтворення контурів серця.

5. Реалізацію адаптивного механізму відкидання невпевнених прикордонних пікселів Adaptive Boundary Rejection, який сприяє зменшенню кількості хибнопозитивних результатів сегментації.

6. Експериментальне підтвердження ефективності комплексного використання морфологічних механізмів, контурного аналізу, багатомасштабного представлення ознак та адаптивного порогового відкидання у задачі сегментації серцевої області.

7. Інтеграцію результатів сегментації з автоматизованим формуванням допоміжного класифікаційного висновку на основі аналізу ймовірностей у межах області інтересу та оцінки рівня впевненості моделі.

Наведені результати мають наукову новизну, є достатньо обґрунтованими та свідчать про внесок автора у розвиток методів автоматизованого аналізу медичних зображень і систем підтримки прийняття рішень.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні програмного забезпечення та розробленні моделі CardioEdgeBioMorphNet, призначених для автоматизованої сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки та формування допоміжного класифікаційного висновку в системах підтримки прийняття рішень.

Практична цінність роботи полягає у тому, що автором:

1. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує повний цикл автоматизованого аналізу CXR-зображень, включаючи їх передобробку, сегментацію, класифікацію та візуалізацію отриманих результатів.

2. Забезпечено автоматизоване виділення серцевої області без необхідності ручної розмітки, що сприяє скороченню часу обробки медичних зображень та підвищує відтворюваність отриманих результатів.

3. Реалізовано механізми формування допоміжного висновку щодо ймовірного клінічного стану пацієнта на основі аналізу рентгенографічних зображень, що розширює можливості використання розробленої системи як інструменту підтримки прийняття лікарських рішень.

4. Запропоновано архітектурні рішення, які забезпечують більш точне відтворення меж серцевої області та зменшення кількості хибнопозитивних сегментів за рахунок використання морфологічних механізмів, аналізу контурної інформації та адаптивного відкидання невпевнених пікселів.

5. Створено програмний інструментарій, який може бути використаний як основа для подальшого розвитку інтелектуальних систем автоматизованого аналізу медичних зображень, а також для проведення наукових досліджень і навчального процесу.

Отримані результати мають практичну цінність та можуть бути використані під час розроблення інформаційних систем медичного призначення, систем підтримки прийняття рішень, програмних засобів комп'ютерного аналізу медичних зображень, а також у науково-дослідній та освітній діяльності закладів вищої освіти й наукових установ.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та логічно пов'язаними із поставленими метою і завданнями дослідження. Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується комплексним аналізом сучасних наукових праць за тематикою дослідження, коректною постановкою задач, використанням сучасних методів

машинного навчання, комп'ютерного бачення та інженерії програмного забезпечення, а також послідовним виконанням усіх етапів дослідження.

Достовірність отриманих результатів підтверджується експериментальними дослідженнями, проведеними на реальному наборі рентгенографічних зображень органів грудної клітки, використанням загальноприйнятих метрик оцінювання якості сегментації, порівнянням запропонованої моделі з базовими архітектурами семантичної сегментації, проведенням абляційного аналізу окремих компонентів моделі та візуальною оцінкою отриманих результатів.

Основні положення дисертаційної роботи є логічно взаємопов'язаними, висновки випливають із проведених теоретичних і експериментальних досліджень, а сформульовані рекомендації мають практичну спрямованість та можуть бути використані під час створення сучасних систем підтримки прийняття рішень у сфері автоматизованого аналізу медичних зображень.

Загалом ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій є достатнім, а отримані результати можна вважати достовірними та такими, що мають наукову і практичну цінність.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, наведені в дисертаційній роботі та винесені на захист, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним відповідно до індивідуального плану підготовки здобувача ступеня доктора філософії.

Автором самостійно проведено аналіз сучасного стану досліджень у галузі автоматизованої обробки медичних зображень, сформульовано мету та завдання дослідження, обґрунтовано вибір методів і засобів їх реалізації. Здобувачем розроблено архітектуру моделі CardioEdgeBioMorphNet, запропоновано нові морфологічно орієнтовані компоненти, реалізовано програмне забезпечення для автоматизованої сегментації серцевої області на CXR-зображеннях та формування допоміжного класифікаційного висновку.

Особисто автором виконано підготовку та передобробку набору даних, проведено експериментальні дослідження, абляційний аналіз, порівняння запропонованої моделі з базовими архітектурами, здійснено аналіз отриманих результатів, сформульовано основні наукові положення, висновки та рекомендації щодо практичного використання розробленої моделі і програмного забезпечення.

Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Дисертаційна робота має логічну, послідовну та завершену структуру, що відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок, з яких 149 сторінок займає основний текст. Робота містить 21 рисунок, 10 таблиць, список використаних джерел із 93 найменувань та 2 додатки.

1. У **вступі** автором обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості щодо апробації результатів, публікацій та особистого внеску здобувача.

2. У **першому розділі** виконано ґрунтовний аналіз сучасних методів сегментації медичних зображень, зокрема рентгенографічних зображень органів грудної клітки. Проаналізовано класичні та сучасні архітектури глибокого навчання, визначено їх переваги й обмеження при виділенні серцевої області, а також обґрунтовано доцільність використання морфологічно орієнтованих і edge-aware підходів для підвищення точності сегментації.

3. У **другому розділі** сформульовано постановку задачі дослідження, наведено характеристику використаного набору CXR-зображень, описано процес формування навчальної, валідаційної та тестової вибірок, методи попередньої обробки й аугментації даних, а також обґрунтовано вибір метрик оцінювання якості сегментації.

4. У **третьому розділі** представлено запропоновану автором модель CardioEdgeBioMorphNet, детально описано її архітектуру та принципи функціонування. Розглянуто реалізацію спеціалізованих модулів EdgeMorphBlock, DMGGA, SoftMorphPool2D, ASPP, Sobel edge-гілки, механізму edge-fusion та Adaptive Boundary Rejection, а також обґрунтовано їх вплив на покращення якості сегментації серцевої області.

5. У **четвертому розділі** наведено опис програмної реалізації розробленої моделі, експериментального конвеєра навчання і тестування, виконано порівняння запропонованого підходу з базовими моделями семантичної сегментації, проведено абляційний аналіз окремих компонентів архітектури та візуальне оцінювання отриманих результатів, що підтверджує ефективність запропонованих рішень.

6. У **висновках** узагальнено результати виконаного дослідження відповідно до поставлених завдань, сформульовано основні наукові та практичні результати, а також визначено перспективні напрями подальших досліджень.

7. **Список використаних джерел** охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні наукові праці, що свідчить про достатній рівень опрацювання літератури за тематикою дослідження.

8. **Додатки** містять матеріали, які доповнюють основний зміст дисертаційної роботи.

Дисертація викладена українською мовою. Матеріал подано послідовно, логічно та у науковому стилі. Використана термінологія є коректною та відповідає сучасним поняттям у галузі інженерії програмного забезпечення, комп'ютерного бачення, машинного навчання та аналізу медичних зображень. Загалом структура роботи є цілісною, а стиль викладення забезпечує належне сприйняття основних положень і результатів проведеного дослідження.

Зауваження по роботі

Дисертаційна робота справляє позитивне враження, однак окремі її положення потребують уточнення або можуть бути предметом подальших досліджень.

1. Під час формулювання задач дослідження доцільно було б більш чітко встановити взаємозв'язок між поставленими задачами, запропонованими методами їх розв'язання та результатами, наведеними у висновках дисертації.

2. Доцільно було б більш детально дослідити стійкість запропонованої моделі до змін умов отримання рентгенографічних зображень, зокрема різної якості знімків, наявності шумів або артефактів, що наблизило б результати дослідження до умов реальної клінічної практики.

3. У роботі використовується термін «механізм» для позначення окремих компонентів моделі. На думку рецензента, в окремих випадках доцільніше застосовувати терміни «метод», «алгоритм», «модуль» або «блок» відповідно до їх функціонального призначення, що забезпечило б більшу термінологічну однозначність.

4. У дисертації наведено результати експериментальних досліджень, однак окремі твердження щодо переваг запропонованої моделі могли б бути підкріплені ширшим аналізом сучасних публікацій та результатів інших авторів у цій предметній області.

5. Представлене програмне забезпечення демонструє працездатність запропонованого підходу. Водночас перспективним напрямом подальших досліджень є масштабованість програмного забезпечення, модульність архітектури, можливість розгортання у хмарному середовищі.

6. Варто було б розширити оцінку узагальнюючої здатності моделі шляхом тестування на зовнішніх незалежних наборах даних (публічних CXR-датасетах). Це дозволило б ще переконливіше підтвердити її ефективність у різних клінічних умовах і підвищило б рівень довіри до отриманих результатів.

Наведені зауваження не впливають на наукову цінність дисертаційної роботи та не знижують загальної позитивної оцінки отриманих автором результатів.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Враховуючи актуальність обраної теми, належний науковий рівень проведеного дослідження, новизну та практичну значущість одержаних результатів, їх достатню обґрунтованість і достовірність, а також повноту викладення основних положень у наукових публікаціях, вважаю, що дисертаційна робота Соломатіна Владислава Андрійовича на тему «Розроблення моделей та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне

завдання у галузі інженерії програмного забезпечення, пов'язане з розробленням моделей і програмного забезпечення для автоматизованої сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки та підтримки прийняття рішень під час діагностики.

За своїм змістом, науковою новизною, теоретичним рівнем, практичною цінністю та оформленням дисертаційна робота 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 (зі змінами), а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року.

Автор дисертаційної роботи, Соломатін Владислав Андрійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за галуззю знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент

доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем,
національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент

Сергій ПРИХОДЧЕНКО

Підпис Приходченка С. Д. засвідчую:

Учений секретар

НТУ «Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА