

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 дослідження

Дисертаційна робота Соломатіна Владислава Андрійовича присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного завдання у сфері інженерії програмного забезпечення, пов'язаного з розробленням моделей та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними.

Серцево-судинні захворювання залишаються однією з основних причин смертності населення у світі, що зумовлює необхідність створення сучасних інформаційних технологій для підвищення якості та оперативності їх діагностики. Одним із найдоступніших і найпоширеніших методів первинного обстеження є рентгенографія органів грудної клітки, однак аналіз таких зображень потребує значного досвіду лікаря та характеризується високою залежністю від людського фактора. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування методів штучного інтелекту для автоматизації обробки медичних зображень і підтримки прийняття клінічних рішень.

Незважаючи на значний розвиток сучасних методів глибокого навчання, проблема точного автоматизованого виділення серцевої області на CXR-зображеннях залишається недостатньо розв'язаною через нечіткість анатомічних меж, варіативність форми серця, наявність шумів та низький контраст рентгенографічних зображень. Це обумовлює необхідність створення нових моделей семантичної сегментації, здатних ефективно враховувати морфологічні особливості серцевої області та забезпечувати стабільну якість результатів.

У дисертаційній роботі запропоновано нову морфологічно орієнтовану модель, а також програмне забезпечення для автоматизованої сегментації серцевої області та формування допоміжного класифікаційного висновку. Отримані результати мають наукову новизну, практичну цінність та спрямовані на вдосконалення інформаційних технологій аналізу медичних зображень, що свідчить про актуальність обраної теми дослідження та її відповідність сучасним напрямкам розвитку інженерії програмного забезпечення й медичних інформаційних систем.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота має обсяг 190 сторінок, з яких 149 сторінок становить основний текст. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 93 найменувань та 2 додатки. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому розроблено модель CardioEdgeBioMorphNet та програмне забезпечення для автоматизованої

сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки й підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відображено особистий внесок здобувача, а також наведено відомості щодо апробації результатів дослідження та їх публікації.

Перший розділ присвячено аналізу сучасних підходів до автоматизованої сегментації медичних зображень, зокрема рентгенографічних зображень органів грудної клітки. Проведено огляд класичних і сучасних методів семантичної сегментації, розглянуто архітектури глибокого навчання, проаналізовано їхні переваги та недоліки при виділенні серцевої області, а також обґрунтовано необхідність застосування морфологічно орієнтованих та edge-aware підходів.

Другий розділ присвячено постановці задачі дослідження та підготовці даних. Описано використаний набір CXR-зображень, процес формування навчальної, валідаційної та тестової вибірок, методи попередньої обробки й аугментації зображень, а також наведено обґрунтування вибору метрик оцінювання якості сегментації.

У третьому розділі представлено розроблену автором модель CardioEdgeBioMorphNet. Детально описано її архітектуру, принципи побудови encoder-decoder структури, використання блоків EdgeMorphBlock, Sobel edge-гілки, модуля ASPP, механізмів SoftMorphPool2D, DMGGA, edge-fusion, а також запропонованого механізму Adaptive Boundary Rejection, спрямованого на підвищення точності виділення меж серцевої області.

Четвертий розділ присвячено програмній реалізації запропонованої моделі, організації експериментального конвеєра навчання та тестування, порівнянню результатів із базовими архітектурами семантичної сегментації, проведенню абляційних досліджень та аналізу отриманих експериментальних результатів. Наведені результати підтверджують ефективність запропонованої моделі при автоматизованій сегментації серцевої області на CXR-зображеннях.

У висновках узагальнено основні результати виконаного дослідження, сформульовано наукові та практичні положення, що відповідають поставленим завданням, підтверджено досягнення мети роботи та визначено перспективні напрями подальших досліджень.

У додатках наведено результати апробації дисертаційної роботи, відомості про публікації здобувача за темою дослідження, документи щодо впровадження результатів роботи, а також допоміжні матеріали, що доповнюють основний зміст дисертації.

Загалом дисертаційна робота має логічну, послідовну та завершену структуру. Її зміст повністю відповідає поставленій меті та завданням дослідження, а отримані результати свідчать про завершеність виконаної наукової роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та достовірними. Їхня обґрунтованість забезпечується коректною постановкою задач дослідження, використанням сучасних методів глибокого навчання, комп'ютерного зору та аналізу медичних зображень, а також застосуванням загальноприйнятих метрик оцінювання якості семантичної сегментації.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням експериментальних досліджень на реальному наборі рентгенографічних зображень органів грудної клітки, порівнянням запропонованої моделі з базовими архітектурами семантичної сегментації, виконанням абляційного аналізу окремих компонентів моделі та використанням сучасних показників оцінювання якості сегментації. Отримані результати є логічними, узгоджуються з поставленими завданнями дослідження та підтверджують доцільність використання запропонованих автором рішень.

Таким чином, наведені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є належним чином обґрунтованими, а результати дослідження можна вважати достовірними й такими, що мають наукову та практичну цінність.

Основні наукові результати та їх наукова новизна

Серед результатів, отриманих у процесі виконання дисертаційного дослідження, доцільно відзначити такі, що мають наукову новизну:

1. **Вперше** розроблено морфологічно орієнтовану модель CardioEdgeBioMorphNet для автоматизованої сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки, яка поєднує багатомасштабне вилучення ознак, аналіз контурної інформації та спеціалізовані морфологічні компоненти, що забезпечує підвищення якості сегментації.

2. **Удосконалено** архітектуру морфологічного блоку шляхом інтеграції edge-aware компонентів, механізмів channel attention та морфологічного gating, що дозволило покращити локалізацію меж серцевої області та підвищити точність її виділення.

3. **Вперше** запропоновано диференційовний механізм морфологічної уваги DMGGA (Differentiable Multi-kernel Gated Geometric Attention), який використовує багоядерну морфологічну обробку ознак для підсилення контурної інформації та текстурних особливостей під час сегментації.

4. **Вперше** реалізовано явний контурний потік (edge-потік) на основі оператора Собеля з подальшим поєднанням контурних та семантичних ознак у декодері моделі, що забезпечує точніше відтворення прикордонних зон серцевої області.

5. **Вперше** запропоновано механізм Adaptive Boundary Rejection, який здійснює адаптивне віднесення невпевнених пікселів до фонового класу,

що дозволяє зменшити кількість хибнопозитивних включень і покращити якість сегментаційної маски.

6. **Вперше** експериментально підтверджено ефективність комплексного поєднання морфологічних блоків, edge-aware механізмів, багатомасштабного аналізу та адаптивного відкидання невпевнених пікселів, що забезпечує перевагу запропонованої моделі над базовими архітектурами семантичної сегментації за основними показниками якості.

7. **Вперше** реалізовано інтеграцію результатів автоматизованої сегментації із формуванням допоміжного класифікаційного висновку щодо ймовірного клінічного стану на основі аналізу області інтересу та показника confidence margin, що розширює функціональні можливості програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики.

Практичне значення одержаних результатів

1. Практичне значення дисертаційної роботи полягає у розробленні моделі CardioEdgeBioMorphNet та програмного забезпечення для автоматизованої сегментації серцевої області на рентгенографічних зображеннях органів грудної клітки, що забезпечує підтримку прийняття рішень під час діагностики захворювань серцево-судинної системи.

2. Розроблене програмне забезпечення реалізує повний цикл обробки CXR-зображень, який включає їх завантаження, попередню обробку, автоматизоване виділення серцевої області, формування сегментаційної маски, визначення ймовірного клінічного стану та візуалізацію отриманих результатів. Запропонована модель забезпечує автоматичне виділення області інтересу без необхідності ручної розмітки, підвищує точність визначення меж серця та зменшує кількість хибнопозитивних включень завдяки використанню морфологічних компонентів, контурного аналізу та механізму Adaptive Boundary Rejection.

3. Практична цінність роботи підтверджується можливістю використання розробленої моделі та програмного забезпечення як допоміжного інструменту автоматизованого аналізу медичних зображень у клінічній практиці, наукових дослідженнях та освітньому процесі. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, а запропоновані підходи можуть бути використані як основа для подальшого розвитку сучасних інформаційних систем підтримки прийняття рішень у медицині.

Зауваження до викладеного у дисертації

1. Автором запропоновано оригінальну архітектуру, що поєднує декілька нових структурних компонентів. Разом із тим доцільно було б детальніше обґрунтувати вибір саме такого поєднання модулів та розширити аналіз причин, з яких кожен із них забезпечує покращення якості сегментації порівняно з існуючими підходами.

2. У третьому розділі дисертації наведено математичний опис запропонованих компонентів архітектури. Разом із тим доцільно було б детальніше пояснити, яким чином кожне із запропонованих удосконалень

впливає саме на покращення якості сегментації серцевої області, що дозволило б краще простежити взаємозв'язок між теоретичними положеннями та отриманими експериментальними результатами.

3. У дисертації практично не розглянуто вплив окремих особливостей рентгенографічних зображень (ступеня накладання анатомічних структур, якості експозиції, індивідуальних анатомічних відмінностей пацієнтів) на ефективність запропонованої моделі, хоча такий аналіз міг би бути корисним для оцінювання її практичного використання.

4. Результати експериментальних досліджень наведено достатньо повно, однак їх доцільно було б доповнити аналізом характерних випадків, у яких запропонована модель працює менш ефективно, та обговоренням причин таких результатів.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях

Основні наукові результати дисертаційної роботи достатньою мірою відображені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б» та 7 тез доповідей у матеріалах всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференцій.

Опубліковані праці повною мірою відображають основні положення дисертації, її наукову новизну, практичне значення та результати експериментальних досліджень. Основні результати роботи пройшли апробацію на наукових конференціях, отримали позитивну оцінку наукової спільноти та відповідають вимогам щодо оприлюднення результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Соломатіна Владислава Андрійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що забезпечують розв'язання актуального науково-прикладного завдання у сфері інженерії програмного забезпечення, пов'язаного з розробленням моделей та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними.

Робота відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», оскільки присвячена розробленню нової моделі семантичної сегментації медичних зображень, створенню програмного забезпечення для автоматизованого аналізу рентгенографічних зображень органів грудної клітки та вдосконаленню інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у медичній діагностиці.

Отримані автором результати характеризуються науковою новизною, достатнім рівнем обґрунтованості та достовірності, мають практичне значення, пройшли апробацію на наукових конференціях і достатньою мірою висвітлені у наукових публікаціях.

Враховуючи актуальність теми дослідження, наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів, а також

відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам, вважаю, що дисертація Соломатіна Владислава Андрійовича на тему «Розроблення моделей та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень під час діагностики за медичними даними» 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 дисертації, Соломатін Владислав Андрійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за галуззю знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних
управляючих систем
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Максим ЄВЛАНОВ

Підпис проф. М. В. Євланова засвідчую.
Проректор з наукової роботи
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор



Юрій РОМАНЕНКОВ