

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD 8704
Хмельницького національного університету,
доктору технічних наук, професору,
Тетяні ГОВОРУЩЕНКО

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційне дослідження Слободзяна Віталія Олександровича на тему
«Методи виявлення патологій серця за МРТ-зображенням
засобами пояснювального штучного інтелекту»,
подане на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт університету

Дисертаційне дослідження присвячене створенню методів для покращення діагностики серцево-судинних захворювань, які залишаються однією з головних загроз здоров'ю населення у світі. Актуальність теми обумовлена необхідністю впровадження точних, надійних і пояснюваних технологій, зокрема в межах застосування магнітно-резонансної томографії (МРТ) як одного з найефективніших інструментів медичної діагностики.

Комплекс методів, представлений у роботі, охоплює три взаємопов'язані напрями: багатоступеневу сегментацію серцевих структур, каскадну класифікацію патологій та інтерпретацію рішень, прийнятих нейронними мережами. Завдяки архітектурній складності та послідовній організації моделей глибокого навчання, автору вдалося досягти високої точності аналізу МРТ-зображень та сформувати інтерпретацію прийнятого системою рішення у вигляді, що використовується в медичній практиці.

Застосування клінічно релевантних кількісних і візуальних ознак у процесі прийняття рішень забезпечує прозорість, підвищує довіру до системи на базі штучного інтелекту та задовольняє етичні вимоги щодо контролю лікаря над остаточним діагнозом. Це створює основу для інтеграції штучного інтелекту в практичну медицину в умовах розвитку галузі в напрямку цифровізації.

Таким чином, проведене дисертаційне дослідження зробило внесок у розвиток інтелектуальних технологій для медичної візуалізації, запропонувавши ефективні, точні та інтерпретовані методи аналізу МРТ серця. Наведені рішення демонструють практичну цінність і можливість впровадження в клінічну практику та сприяють підвищенню якості діагностики серцево-судинних захворювань у сучасних умовах розвитку інформаційних технологій в медицині.

Зазначена науково-прикладна задача відповідає предметній області Стандарту вищої освіти України із спеціальності 122 – Комп'ютерні науки для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, зокрема такому об'єкту вивчення та діяльності, як «методи і технології отримання, зберігання, обробки, передачі та використання інформації».

Дослідження, результати яких викладено в дисертації, виконано під час виконання окремих розділів науково-дослідної роботи за держбюджетною темою Хмельницького національного університету «Система виявлення ЗПЗ та

комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (ДР № 0124U000980), в яких автор був виконавцем. У межах проведеної науково-дослідної роботи за держбюджетною темою автор здійснив розробку методів обробки інформації предметної галузі засобами штучного інтелекту, а також виконав оцінку отриманих результатів за ключовими метриками.

2. Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження

Здобувач чітко сформулював науково-прикладну задачу, об'єкт і предмет дослідження, що повністю відповідають логіці висунутої гіпотези. У межах науково-прикладної задачі передбачено підвищення точності сегментації та класифікації МРТ-зображень серця, а також розроблення підходів до інтерпретації результатів, сформованих моделями глибокого навчання.

Об'єктом дослідження визначено процес аналізу МРТ-зображень серця з метою виявлення патологій із застосуванням глибинних нейронних мереж та подальшою інтерпретацією отриманих висновків. Предметом дослідження є методи та засоби глибокого навчання, призначені для автоматизованого виявлення кардіологічних патологій на основі МРТ-зображень.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення точності сегментації та класифікації МРТ-зображень серця, а також забезпечення інтерпретованості рішень, сформованих моделями глибокого навчання.

Поставлену мету досягнуто в результаті розв'язання наступних задач:

- поведено аналіз сучасного стану методів і засобів глибокого навчання, що застосовуються для обробки та аналізу медичних зображень, зокрема МРТ серця, виявлення патологій, а також методів інтерпретації результатів систем штучного інтелекту;

- розроблено метод багатоступеневої сегментації області серця на МРТ-зображеннях на регіони правого шлуночка, лівого шлуночка та міокарда. Метод поєднує моделі U-Net і ResNet для локалізації та сегментації серцевих структур і включає постобробку за допомогою згладжування Гауса для уточнення контурів та зменшення артефактів;

- розроблено метод каскадної класифікації патологій, зокрема дилатаційної кардіоміопатії (DCM), гіпертрофічної кардіоміопатії (HCM), інфаркту міокарда зі зниженою фракцією викиду (MINF), аномального правого шлуночка (ARV) та нормального стану (NOR) на основі сегментованих МРТ-зображень для підвищення точності диференціації серцевих захворювань;

- запропоновано метод інтерпретації рішень моделей глибокого навчання на основі ознак, що використовуються у медичній практиці, з метою забезпечення прозорості та клінічної обґрунтованості результатів;

- проведено експериментальні дослідження ефективності розроблених методів щодо вирішення поставленої задачі з необхідним рівнем якості та інтерпретованості отриманих результатів.

3. Наукова новизна одержаних автором результатів

Наукова новизна одержаних автором результатів полягає в наступному:

- 1) вперше запропоновано метод багатоступеневої сегментації області серця на

області правого і лівого шлуночків та міокарда лівого шлуночка, який відрізняється від існуючих методів використанням багатоступеневого підходу, що включає: попередню локалізацію окремих областей серця з допомогою засобів глибокого навчання; визначення точних контурів окремо для кожної області серця та використання постобробки отриманих результатів згладжування Гауса для уточнення контурів і зменшення артефактів, що разом дозволило покращити точність сегментації;

2) вперше запропоновано метод каскадної класифікації патологій за МРТ-зображеннями, який відрізняється від існуючих застосуванням особливої структури каскаду класифікаторів за моделями глибокого навчання та використанням МРТ-зображень з інтегрованими даними про сегментацію областей серця, що дозволило підвищити точність класифікації для таких патологій: дилатаційна кардіоміопатія (DCM), гіпертрофічна кардіоміопатія (HCM), інфаркт міокарда зі зниженою фракцією викиду (MINF), аномальний правий шлуночок (ARV);

3) вперше запропоновано метод інтерпретації, отриманих за глибоким навчанням рішень, який відрізняється від існуючих використанням даних як класифікації, так і сегментації, а також використанням для інтерпретації ознак, які використовуються у медичній практиці, що дозволило зробити отриманні рішення прозорими та зрозумілими.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

У вступі викладено обґрунтування актуальності обраної тематики, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану розробок у галузі автоматизованого виявлення серцевих патологій на МРТ-зображеннях із використанням технологій штучного інтелекту. Розглянуто архітектури моделей глибокого навчання, методи сегментації, класифікації та інтерпретації результатів, із акцентом на концепції пояснюваного штучного інтелекту. Узагальнено ключові проблеми, пов'язані з аналізом МРТ у медичній практиці.

У другому розділі представлено розроблені методи аналізу МРТ-зображень серця з метою виявлення патологій на основі глибокого навчання. Запропоновано багатоступеневий підхід до сегментації серцевих структур – лівого і правого шлуночків та міокарда – з використанням моделей U-Net і ResNet у поєднанні з гаусівським згладжуванням для підвищення точності. Крім того, реалізовано каскадну класифікацію патологій, спрямовану на зменшення сплутування між класами (патологіями).

У третьому розділі розглянуто питання інтерпретації рішень, що приймаються нейронними мережами, в контексті клінічної значущості. Розроблено підхід до пояснення результатів класифікації із використанням сегментаційних даних та медично релевантних ознак. Визначено набір показників, що забезпечують прозоре та обґрунтоване представлення рішень для медичних фахівців.

У четвертому розділі представлено результати експериментальної оцінки запропонованих підходів. Проведено аналіз точності сегментації та класифікації, а також коректності інтерпретованості моделей. Здійснено порівняння з наявними рішеннями, що дозволило підтвердити переваги розроблених методів і доцільність їх

використання в системах медичної підтримки прийняття рішень.

У висновках дисертації систематизовано основні теоретичні положення та практичні результати дослідження. Сформульовані висновки та рекомендації логічно випливають із отриманих результатів, викладених у розділах роботи.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, ґрунтуються на коректному застосуванні методів глибокого навчання для сегментації, класифікації та інтерпретації медичних зображень. Для розв'язання поставлених задач використано сучасні архітектури нейронних мереж, що забезпечують необхідний рівень точності й відтворюваності результатів.

Результати дослідження свідчать про ефективність розроблених методів у задачах сегментації, класифікації та інтерпретації, що підтверджено результатами проведених експериментальних досліджень. Відповідність результатів клінічним критеріям та можливість інтеграції у практичні програмні рішення доводять достовірність сформульованих наукових положень і підтверджують прикладне значення дисертаційної роботи.

5. Практичне значення одержаних результатів

Результати дисертаційної роботи мають чітко виражене прикладне спрямування та знайшли застосування в практичних рішеннях. Запропоновані методи автоматизованого аналізу МРТ-зображень серця дають змогу підвищити точність сегментації й класифікації патологій, а також забезпечити зрозуміле представлення рішень, що особливо важливо при впровадженні систем штучного інтелекту в медичну сферу.

Метод багатоступеневої сегментації дозволяє точно виділяти серцеві структури завдяки поетапній локалізації, сегментації та згладжуванню контурів, що забезпечує чистий і коректний результат. Реалізована каскадна класифікація забезпечує точне розпізнавання типів патологій на основі сегментованих даних, що підвищує діагностичну цінність моделі. Розроблений інтерпретатор результатів дозволяє представити висновки у вигляді зрозумілих числових і візуальних медичних показників, адаптованих для клінічного застосування.

Ефективність рішень підтверджено практичним використанням: у промисловому програмному забезпеченні ТОВ «АЙ ТІ ХУТ», в системі комп'ютерної діагностики МРТ-зображень у медичному центрі «Сіліця Сіті+», у межах держбюджетної теми Хмельницького національного університету та у процесі викладання навчальних дисциплін зі спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки».

6. Особистий внесок здобувача

Усі результати, викладені в дисертації, є особистим внеском автора в наукову та прикладну складову дослідження. Автор самостійно розробляв і втілював методи, спрямовані на автоматизоване виявлення патологій серця за МРТ-зображеннями,

зокрема створив багатоступеневий підхід до сегментації із подальшою обробкою результатів та реалізував каскадну систему класифікації, яка дозволяє покращити точність діагностичних висновків. Важливим напрямом дослідження стала розробка методу інтерпретації отриманих рішень, що дає змогу пояснити дії моделей штучного інтелекту в термінах, зрозумілих практикуючому лікарю.

Автор не лише сформулював теоретичні основи зазначених підходів, а й безпосередньо реалізував їх у вигляді програмних компонентів, провів експерименти з метою перевірки ефективності розроблених рішень та забезпечив їх узагальнення у формі наукових положень і висновків. У межах співавторських робіт автор виконував ключову частину технічної та дослідницької роботи: аналіз літератури, підготовку наукових рукописів, моделювання, програмну реалізацію та оцінку результатів. Усі наведені в дисертації матеріали є результатом його безпосередньої науково-практичної діяльності.

7. Апробація матеріалів дисертації

Результати дисертаційних досліджень доповідались на міжнародних наукових семінарах: 5th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Ліон (Франція), 2022); 6-th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Братислава (Словаччина), 2023); Information Technology and Implementation (м. Київ (Україна), 2024).

8. Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 147 найменувань на 18 сторінках та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 180 сторінок, з них 142 сторінки основного тексту. Дисертація містить 60 рисунків та 14 таблиць. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

9. Зауваження.

1) У роботі недостатньо деталізовано методику участі медичного фахівця в аналізі результатів сегментації. Зокрема, бракує опису підходу, який застосовувався для оцінки якості результатів, а також прикладів проблемних випадків із поясненням, як саме здійснювалось їх зіставлення з клінічною практикою. Такий аналіз був би корисним для кращого розуміння обґрунтованості експертного висновку.

2) У роботі вживаються терміни англійською мовою без перекладу або пояснення, хоча в інших місцях використано українські відповідники.

3) У роботі не розглянуто часову та обчислювальну складність запропонованих методів, що є важливим аспектом при їх практичному впровадженні, особливо в умовах обмежених ресурсів медичних установ. Оцінка продуктивності моделей у термінах часу виконання, використання пам'яті та потреб у обчислювальних потужностях заслуговує на окрему увагу для кожного з методів, представлених у дисертації.

4) В тексті присутні стилістичні та орфографічні помилки; термінологічна неузгодженість: використовуються синонімічні, але не однакові терміни (інтерпретація/пояснення рішень тощо).

5) На рисунку 4.28, а також на інших зображеннях, що ілюструють інтерфейс застосунку, присутні орфографічні помилки, зокрема написання словосполучення “МРТ зображення” без дефісу.

Наведені зауваження істотно не впливають на зміст роботи та загальне позитивне враження від неї та не знижують наукову новизну та практичну цінність.

10 .Загальний висновок.

Дисертаційна робота Слободзяна Віталія Олександровича на тему «Методи виявлення патологій серця за МРТ-зображенням засобами пояснювального штучного інтелекту» є актуальним науковим дослідженням. Автором обґрунтовано актуальність дослідження, пов'язану з потребою у точних, автоматизованих та інтерпретованих методах діагностики серцево-судинних захворювань.

У межах дисертації розроблено цілісний комплекс методів аналізу медичних зображень: багатоступенева сегментація, каскадна класифікація та інтерпретація результатів, які базуються на сучасних архітектурах глибокого навчання й доповнюються пояснювальними механізмами, орієнтованими на потреби клінічної практики. Важливо, що результати дослідження підтверджено експериментально, а також реалізовано у вигляді програмних компонентів, які мають практичну цінність і демонструють прикладне спрямування роботи.

Структура дисертації, глибина аналізу літератури, якість формулювання задач і висновків, а також самостійність виконання свідчать про високий рівень здобувача. Дисертація відповідає вимогам до наукових кваліфікаційних робіт такого рівня, а її зміст – критеріям, визначеним пунктами 6, 7, 8, 9 "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 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024).

Ураховуючи викладене, вважаю, що Слободзян Віталій Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Рецензент:

доцент кафедри КІС,
кандидат технічних наук, доцент

«Підпис Марії КАПУСТЯН за свідчення»:
проректор з наукової роботи ХНУ



Марія КАПУСТЯН

Олег СИНЮК