

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

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

Серцево-судинні захворювання залишаються однією з основних причин смертності у світі, що зумовлює потребу в розробці високоточних, надійних та інтерпретованих методів діагностики. Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є одним із найінформативніших інструментів для візуалізації структур серця, однак її ефективне використання вимагає застосування сучасних комп'ютерних методів обробки даних.

Запропоновані в дисертаційній роботі методи багатоступеневої сегментації, каскадної класифікації та інтерпретації рішень на основі глибокого навчання відображають актуальні напрями розвитку пояснювального штучного інтелекту. Вони комплексно вирішують проблему автоматизованої діагностики, поєднуючи точність обчислень із прозорістю прийнятих рішень, що особливо важливо в умовах цифрової трансформації медичної практики.

Сегментація МРТ-зображень виконується послідовно за допомогою спеціалізованих моделей глибокого навчання, кожна з яких відповідає за локалізацію та уточнення контурів анатомічних структур серця. Такий багаторівневий підхід забезпечує високу точність і гнучкість аналізу. Класифікація реалізується у формі каскадної структури відповідних бінарних моделей глибокого навчання, що дозволяє зменшити ймовірність сплутування схожих патологій у випадку обмежених даних, зберігаючи фокус кожного класифікатора на конкретних патологіях.

Метод інтерпретації результатів базується на поданні діагностичної інформації у вигляді стандартних клінічних ознак у числовій і графічній формах, що відповідає звичному, для медичного працівника, підходу. Це сприяє зростанню довіри до систем штучного інтелекту з боку лікарів, а також забезпечує етичну, юридичну та професійну відповідальність за клінічні рішення.

Отже, результати дисертаційного дослідження демонструють цілісний, науково обґрунтований підхід до задачі автоматизованої діагностики серцево-судинних захворювань. Запропоновані методи відповідають сучасним викликам у сфері цифрової медицини та розвитку комп'ютерних наук, поєднуючи ефективність, інтерпретованість і практичну цінність.

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.

Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження.

Наукову задачу, об'єкт та предмет дослідження сформульовано здобувачем коректно та відповідно до попередньо обґрунтованої гіпотези. Науково-прикладна задача полягає у підвищенні точності сегментації та класифікації МРТ-зображень серця, а також у забезпеченні можливості інтерпретації рішень, отриманих за допомогою моделей глибокого навчання.

Об'єктом дослідження є процес виявлення патологій на МРТ-зображеннях серця із застосуванням методів глибокого навчання та подальшою інтерпретацією отриманих результатів. Предмет дослідження охоплює методи і засоби глибокого навчання, призначені для ідентифікації патологічних змін на МРТ-зображеннях серця.

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

Поставлену мету дослідження реалізовано шляхом послідовного розв'язання таких задач:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Запропоновано метод інтерпретації рішень моделей глибокого навчання на основі ознак, що використовуються у медичній практиці, з метою забезпечення прозорості та клінічної обґрунтованості результатів.

5. Проведено експериментальні дослідження ефективності розроблених методів щодо вирішення поставленої задачі з необхідним рівнем якості та інтерпретованості отриманих 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 згладжуванням 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.

Короткий аналіз основного змісту дисертації.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, основні завдання, предмет та об'єкт дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі здійснено аналіз сучасного стану методів і підходів до виявлення патологій серця на основі МРТ-зображень із використанням засобів штучного інтелекту. Розглянуто архітектури моделей глибокого навчання, підходи до сегментації, класифікації та інтерпретації медичних зображень, зокрема з фокусом на пояснювальний штучний інтелект. Узагальнено основні проблеми автоматизованого аналізу МРТ.

У другому розділі представлено методи для аналізу МРТ-зображеннях та виявлення патологій на них із використанням моделей глибокого навчання. Зокрема розроблено багатоступеневий підхід до сегментації структур серця, а саме правого і лівого шлуночків та міокарда, із використанням поєднання моделей U-Net і ResNet, а також постобробки результатів за допомогою гаусівського згладжування. Запропоновано каскадну структуру класифікації патологій серця для покращення точності розпізнавання.

У третьому розділі розглянуто проблему пояснюваності рішень моделей глибокого навчання в контексті медичної діагностики. Запропоновано метод інтерпретації результатів класифікації з використанням результатів сегментації та ознак, що застосовуються в медичній практиці. Визначено перелік показників, що

дозволяють формалізовано оцінювати діагностичні рішення, підвищуючи їх прозорість і клінічну обґрунтованість.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень. Проведено оцінку точності та аналіз інтерпретованості запропонованих методів сегментації, класифікації та пояснення рішень. Порівняно ефективність запропонованих підходів із відомими методами, обґрунтовано їх переваги та практичну придатність для інтеграції у системи медичної підтримки прийняття рішень.

У висновках дисертації узагальнено основні теоретичні й практичні результати дослідження. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, базуються на послідовному використанні сучасних методів глибокого навчання для аналізу медичних зображень. Застосування комплексного підходу до сегментації, класифікації та інтерпретації результатів забезпечує теоретичну обґрунтованість і логічну цілісність отриманих результатів.

Достовірність висновків підтверджено результатами проведених експериментальних досліджень, у яких методи продемонстрували точність, узгодженість з клінічними показниками та потенціал до практичного застосування в медичних інформаційних системах. Ефективність запропонованих підходів обґрунтовується їх впровадженням, що засвідчує прикладну цінність дослідження та достовірність його теоретичних положень.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значущість результатів дисертаційного дослідження полягає у впровадженні теоретичних розробок у прикладні системи аналізу медичних зображень, що підтверджено їх використанням у реальних умовах. Запропоновані методи дозволяють вирішувати актуальні технічні, етичні та юридичні виклики, пов'язані з впровадженням штучного інтелекту в медичну діагностику, зокрема шляхом підвищення точності, прозорості та безпеки автоматизованих рішень.

Розроблений метод багатоступеневої сегментації забезпечує виділення серцевих структур на МРТ-зображеннях за допомогою поєднання моделей глибокого навчання та методів постобробки, що зменшує кількість артефактів і підвищує надійність результатів. Метод каскадної класифікації забезпечує ефективне розмежування патологій серця, підвищуючи точність діагностичних висновків на основі сегментованих даних. Метод інтерпретації дозволяє представити рішення ШІ у формі, що використовується в медичній практиці, тим самим підвищуючи рівень довіри та можливість практичного використання результатів у медичних закладах.

Отримані результати можуть бути використані у практичній діяльності медичних установ, що підтверджується впровадженням у медичному закладі «Сіліця Сіті+» для цифрового діагностування патологій серця на МРТ зображеннях. Також, результати дисертаційної роботи впроваджено у ТОВ «АЙ ТІ ХУТ» для розробки промислового програмного забезпечення; при виконанні держбюджетних тем Хмельницького національного університету «Система

виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (ДР № 0124U000980); у навчальному процесі для студентів першого та другого освітніх рівнів спеціальності «Комп'ютерні науки».

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методів аналізу та обробки МРТ-зображень. Усі наукові результати, представлені у дисертаційній роботі, отримані автором особисто. У межах проведеного дослідження автором розроблено метод багатоступеневої сегментації МРТ-зображень серця, який передбачає локалізацію анатомічних структур з подальшим уточненням контурів із використанням методів глибокого навчання та постобробки. Також автором запропоновано метод каскадної класифікації патологій серця, який забезпечує покращену точність розпізнавання завдяки послідовному застосуванню спеціалізованих моделей нейронних мереж. Окрему увагу в роботі приділено проблемі інтерпретації рішень моделей штучного інтелекту, для чого автор розробив підхід до представлення результатів класифікації на основі медичних ознак, що використовуються в клінічній практиці.

За результатами проведених досліджень основні результати опубліковано у 7 наукових працях, серед яких 3 статті – у фахових наукових журналах України, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б; 3 публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (статті в матеріалах конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus). Також автором отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

У спільних наукових публікаціях автору належить, як розробка основних методичних компонентів, так і виконання аналітичної роботи, пов'язаної з оглядом сучасних підходів до обробки МРТ-зображень, вивченням можливостей інтеграції медичних знань у моделі глибокого навчання, а також створенням програмних засобів для проведення експериментальних досліджень. Саме автор забезпечив реалізацію ключових ідей у вигляді програмних модулів, провів експерименти для валідації результатів, здійснив узагальнення отриманих даних та формулювання висновків, що знайшли відображення у змісті дисертації.

Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення та наукові результати доповідались на міжнародних наукових семінарах. А саме: Information Technology and Implementation (м. Київ (Україна), 2024); 6-th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Братислава (Словаччина), 2023); 5th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Ліон (Франція), 2022).

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».

Зауваження.

1. У роботі проведений недостатній порівняльний аналіз використаного набору даних ACDC з іншими доступними медичними наборами МРТ-зображень.

Висновок щодо його переваг ґрунтується переважно на оцінках, наведених у сторонніх джерелах, без наведення самостійного аналізу та проведення відповідних експериментів. Доцільно було б здійснити власну оцінку якості та придатності наборів для розв'язання конкретних практичних завдань поставлених автором.

2. У роботі відсутнє формальне означення метрики AUC, яка використовується для оцінки ефективності методу класифікації патологій. Це виглядає непослідовно на тлі того, що для інших метрик, зокрема Dice та Accuracy, відповідні визначення наведено в підрозділі 1.6.

3. В тексті та на рисунках присутні англійські терміни які варто було б перекласти українською. Наприклад рис. 4.11 - 4.13 містить текст "Added/Removed" який з легкістю можна перекласти без втрати сенсу тощо.

4. В списку літератури присутні застарілі джерела. Наприклад: 37 - 2005р.; 38 - 2010р.; 70 - 2016р тощо.

5. На деяких рисунках присутні орфографічні помилки, наприклад "систулі" на рис. 4.2 коли на цьому ж рисунку присутня коректна форма (систолі).

Варто зазначити, що наведені зауваження не впливають на загальний, доволі високий, рівень роботи, та позитивне враження від неї.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота «Методи виявлення патологій серця за МРТ-зображенням засобами пояснювального штучного інтелекту», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено важливу науково-прикладну задачу, яка має значення для галузі інформаційних технологій та медицини.

Робота відзначається рівнем наукової новизни, актуальністю теми, а також практичною значущістю результатів. Запропоновані у дисертації методи глибокого навчання для сегментації, класифікації та інтерпретації медичних зображень відповідають сучасним тенденціям розвитку пояснювального штучного інтелекту й мають потенціал до впровадження у клінічну практику.

За змістом, оформленням та науковим рівнем дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, 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).

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

Рецензент:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри КПС, Хмельницький національний університет

«Підпис Єлизавети ГНАТЧУК завідувача»:

Проректор з наукової роботи ХНУ



Єлизавета ГНАТЧУК

Олег СИНЮК