

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

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Слободзяна Віталія Олександровича на тему

*«Методи виявлення патологій серця за МРТ-зображенням засобами пояснювального
штучного інтелекту»*, подану 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.*

Дисертаційне дослідження присвячене розробці методів автоматизованого аналізу магнітно-резонансних зображень серця, що є актуальним як у галузі медичної інформатики. Крім цього, важлива і актуальна міждисциплінарна інтеграція комп'ютерних наук і медицини, зокрема кардіології. Серцево-судинні захворювання залишаються однією з основних причин смертності, а отже, потребують розроблення високоточних, надійних та інтерпретованих методів діагностики. Одним із провідних інструментів візуалізації серцевих структур залишається магнітно-резонансна томографія (МРТ), ефективне застосування потребує сучасних методів обробки, аналізу та інтерпретації даних.

У цьому контексті результати дисертаційної роботи вирішують комплексне міждисциплінарне завдання, що поєднує алгоритмічні засоби глибокого навчання з вимогами клінічної діагностики. Розроблені методи – багатоступенева сегментація, каскадна класифікація та інтерпретація рішень – формують цілісну систему, яка забезпечує обґрунтоване та пояснювальне прийняття рішень. Особливістю підходу є поєднання архітектур глибокого навчання з концепціями пояснювального штучного інтелекту, що відповідає актуальним напрямам цифрової трансформації медичної галузі.

Метод багатоступеневої сегментації реалізується через каскадне застосування спеціалізованих моделей, кожна з яких виконує локалізацію, уточнення та після обробку контурів серцевих структур. Такий підхід дає змогу досягти високої адаптивності та точності результатів. Каскадна класифікація, реалізована через послідовність бінарних моделей, дозволяє уникати проблеми перетину класів у випадках обмеженої кількості даних та підвищує загальну стійкість системи. Метод інтерпретації забезпечує перетворення вихідних результатів аналізу на набір зрозумілих медичних ознак як у числовій, так і в графічній формі, з використанням засобів, що використовуються в медичній практиці.

Застосування таких підходів не лише підвищує ефективність виявлення патологій, але й відповідає етичним, правовим та професійним вимогам щодо відповідальності лікаря за остаточне рішення. Системна представленість результатів

сприяє їхній інтеграції у клінічні інформаційні системи та розвиткові технологій підтримки прийняття медичних рішень.

Науково-прикладна задача, поставлена у дисертації, повністю відповідає предметній області стандарту вищої освіти України за спеціальністю 122 – комп'ютерні науки, а саме – напряду дослідження методів і технологій отримання, обробки, передавання та інтерпретації інформації у складних предметних галузях.

Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження.

Наукову задачу, а також об'єкт і предмет дослідження сформульовано здобувачем логічно, послідовно та у повній відповідності до висунутої гіпотези й обраного міждисциплінарного підходу. Сформульована науково-прикладна задача полягає в підвищенні точності автоматизованої сегментації та класифікації МРТ-зображень серця, а також у забезпеченні можливості інтерпретації діагностичних рішень, отриманих за допомогою моделей глибокого навчання, з урахуванням вимог клінічної практики до прозорості та обґрунтованості результатів.

У якості об'єкта дослідження розглянуто процес виявлення патологій на МРТ-зображеннях серця із застосуванням глибинних нейронних мереж, доповнений механізмами інтерпретації отриманих результатів у формі, зрозумілій медичному фахівцеві. Предмет дослідження охоплює методи, архітектури та технології глибокого навчання, спрямовані на вирішення завдань автоматизованої ідентифікації структур та патологій серцево-судинної системи на основі МРТ-зображень.

Мета дослідження полягає в розробці комплексного підходу до підвищення точності сегментації та класифікації МРТ-зображень серця, а також в інтеграції інтерпретованих моделей глибокого навчання для забезпечення прозорого та відтворюваного формування діагностичних висновків.

Поставлену мету реалізовано шляхом вирішення низки взаємопов'язаних дослідницьких задач, спрямованих на побудову підходу для високоточних і водночас пояснюваних систем комп'ютерної діагностики, а саме:

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. Розроблено 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.

Наукова новизна одержаних автором результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблено 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 розроблено 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 розроблено 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.

Дисертаційна робота має чітку структурну організацію, яка охоплює ключові етапи наукового дослідження – від постановки задачі до формулювання висновків і практичних рекомендацій. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, наукову новизну, предмет, об'єкт і завдання дослідження, а також окреслено прикладне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану досліджень у галузі автоматизованого аналізу медичних зображень, зокрема МРТ серця, з використанням технологій штучного інтелекту. Проведено систематизацію наявних підходів до сегментації, класифікації та інтерпретації результатів, особливу увагу приділено пояснюваним моделям глибокого навчання. Узагальнено основні виклики, що супроводжують впровадження таких технологій у клінічну практику.

У другому розділі представлено розроблені методи автоматизованого аналізу МРТ-зображень серця. Розроблено багатоступеневий метод сегментації анатомічних структур (лівого шлуночка, правого шлуночка та міокарда), що базується на поєднанні моделей типу U-Net і ResNet, а також використанні гаусівського згладжування для після обробки результатів. Для підвищення ефективності діагностики розроблено каскадну класифікаційну структуру, орієнтовану на послідовне розділення патологій серця за умов обмежених навчальних вибірок.

Третій розділ спрямовано на вирішення задачі інтерпретації рішень,

сформованих моделями глибокого навчання. Розроблено метод представлення результатів у вигляді стандартних клінічних ознак, які мають числову та графічну інтерпретацію, що дозволяє забезпечити прозорість, обґрунтованість та прийнятність таких рішень для лікарів-користувачів.

Четвертий розділ містить результати валідації розроблених методів. Проведено експериментальне оцінювання точності сегментації та класифікації, а також досліджено інтерпретованість отриманих рішень. Порівняння з існуючими підходами підтверджує переваги розробленої системи та її придатність до використання в інформаційних системах медичної підтримки прийняття рішень.

У висновках дисертації систематизовано теоретичні здобутки та практичні результати. Формулювання висновків логічно впливає з аналізу та реалізації запропонованих рішень, що свідчить про цілісність і завершеність проведеного дослідження.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, ґрунтуються на методологічно вивіреному застосуванні сучасних технологій глибокого навчання для вирішення задач сегментації, класифікації та інтерпретації медичних зображень. Побудова комплексної архітектури аналізу, що поєднує моделі нейронних мереж із засобами пояснювального штучного інтелекту, забезпечує внутрішню логічну узгодженість дослідження та його відповідність актуальним вимогам галузі медичної інформатики.

Обґрунтованість теоретичних положень підтверджено чіткою структурою дослідницького підходу, системністю експериментальних процедур і релевантністю використаних метрик оцінювання. Результати чисельних експериментів засвідчили високу точність та стабільність роботи розроблених методів у задачах обробки МРТ-зображень серця. Отримані висновки демонструють узгодженість із клінічними критеріями та підтримують вимоги практичного застосування в системах медичної підтримки прийняття рішень.

Достовірність результатів підтверджується не лише експериментальними оцінками, а й фактом практичного впровадження розроблених рішень у реальні прикладні контексти – як у промисловому програмному забезпеченні, так і в клінічній практиці. Це свідчить про високу прикладну значущість дисертаційного дослідження.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати дисертаційного дослідження мають прикладний характер і підтверджені впровадженням у медичну та промислову практику. Розроблені методи багатоступеневої сегментації, каскадної класифікації та інтерпретації рішень забезпечують підвищення точності та прозорості автоматизованого аналізу МРТ-зображень серця. Це сприяє ефективному впровадженню технологій штучного інтелекту в системи медичної підтримки прийняття рішень.

Отримані результати мають безпосереднє практичне застосування, що підтверджується їх впровадженням у кількох сферах. Зокрема, розроблені методи використовуються в системі комп'ютерної діагностики медичного центру «Сіліця Сіті+» для аналізу МРТ-зображень серця; у процесі розробки промислового

програмного забезпечення в межах виробничої діяльності ТОВ «АЙ ТІ ХУТ»; під час реалізації державної бюджетної теми Хмельницького національного університету, пов'язаної з безпекою корпоративних мереж; а також у навчальному процесі для підготовки фахівців спеціальності 122 – комп'ютерні науки.

Особистий внесок здобувача.

Усі наукові результати, викладені у дисертаційній роботі, отримано автором самостійно. Основний внесок здобувача полягає в розробці та реалізації методів аналізу МРТ-зображень серця із застосуванням засобів глибокого навчання. Зокрема, автором розроблено метод багатоступеневої сегментації, що передбачає поетапну локалізацію анатомічних структур серця з подальшим уточненням їх контурів за допомогою нейронних мереж і методів згладжування. Такий підхід забезпечує високу точність виділення правого і лівого шлуночків та міокарда, що є критично важливим для подальшого аналізу.

Крім того, автором розроблено метод каскадної класифікації патологій серця, реалізований у вигляді послідовної системи бінарних класифікаторів. Це дало змогу значно зменшити сплутування між близькими за характеристиками класами, особливо в умовах обмежених обсягів навчальних даних. Запропоноване рішення ґрунтується на моделюванні послідовного відсіювання варіантів діагнозу, що підвищує ефективність і точність класифікації.

Окремим напрямом дослідження став розроблений здобувачем метод інтерпретації рішень моделей штучного інтелекту. На відміну від традиційних підходів, у запропонованій моделі результати класифікації подаються у вигляді кількісних та візуальних показників, що відповідають медичним критеріям і можуть бути використані лікарем у клінічній практиці. Такий підхід забезпечує прозорість функціонування системи та її відповідність вимогам медичної етики.

У співавторстві з іншими дослідниками здобувач виконав основну частину методичної та аналітичної роботи: провів аналіз сучасних підходів до аналізу МРТ-зображень, здійснив вивчення можливостей інтеграції медичних знань у моделі глибокого навчання, розробив програмні модулі для реалізації розроблених методів, а також організував та провів експериментальні дослідження для оцінки їх ефективності. Формулювання висновків і наукових положень, що відображено в дисертації, також є результатом самостійної роботи здобувача.

Апробація матеріалів дисертації.

Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження були апробовані під час доповідей на міжнародних наукових конференціях, що засвідчує їх актуальність і наукову новизну. Здобувач приймав участь у таких конференціях:

- Information Technology and Implementation (м. Київ, Україна, 2024);
- 6th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Братислава, Словаччина, 2023);
- 5th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Ліон, Франція, 2022).

У межах зазначених заходів було оприлюднено результати, що стосуються методів сегментації, каскадної класифікації та інтерпретації рішень, а також обговорено можливості їх практичного застосування у сфері медичної діагностики.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота має логічно вибудовану структуру, що відповідає вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Робота включає анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, який налічує 147 найменувань на 18 сторінках, та чотири додатки. Загальний обсяг дисертації становить 180 сторінок, з яких 142 сторінки – основний текст. У роботі представлено 60 рисунків та 14 таблиць, що ілюструють основні етапи дослідження, результати моделювання та експериментальної перевірки запропонованих рішень.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі недостатньо розкрито вплив застосованого методу Гауса, на якість отриманої маски сегментації. Вибір методу згладжування обґрунтовано лише з якісної точки зору, без надання кількісних метрик, які б підтверджували доцільність його використання. Зважаючи на те, що згладжування може негативно впливати на контрастність і точність виявлення меж структур на медичних зображеннях, його застосування потребує ретельнішого кількісного аналізу.

2. У роботі представлено велику кількість зображень високої роздільної здатності безпосередньо в основному тексті, що дещо перевантажує його та ускладнює сприйняття змісту. Більшість із них слугують ілюстративними прикладами без критичної необхідності для розкриття основного тексту, тому доцільно було б винести такі зображення до додатків. Це дозволило б зберегти логічну структуру викладу та зробити текст компактнішим і зручнішим для читача.

3. У дисертації при описі моделей типу U-Net і ResNet використано графічний спосіб. Автору бажано було б використати аналітичний спосіб опису, з вказанням функцій перетворень, які використовуються у цих моделях.

4. У роботі мало уваги приділено опису та обробці баз даних МРТ-зображень, які використані для навчання U-Net мереж.

5. У дисертаційному дослідженні використано пояснювальний інтелект для інтерпретації та пояснення підтримки прийняття рішень. Бажано було б пояснення рішень організувати у вигляді бази знань експертів-медиків, які пояснюють на практиці поставлений діагноз.

6. У вступі згадано ряд досліджень як українських, так й іноземних вчених у цій галузі, проте варто було б розширити контекст і надати мінімальний опис робіт та впливу на роботу автора.

7. У тесті дисертаційного дослідження зустрічаються граматичні помилки. Так на рисунках 4.28–4.33 присутні орфографічні помилки, зокрема одночасно використано некоректну форму “систулі” та правильну – “систолі”.

Зазначені зауваження не є принциповими та загалом не знижують наукову та практичну цінність та не впливають на позитивну оцінку роботи.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Слободзяна Віталія Олександровича на тему «Методи виявлення патологій серця за МРТ-зображенням засобами пояснювального штучного інтелекту» є завершеним, самостійним, науково обґрунтованим

дослідженням, у якому розв'язано комплексну науково-прикладну задачу, що має міждисциплінарний характер і знаходиться на перетині галузей комп'ютерних наук, медичної інформатики та штучного інтелекту.

Актуальність дослідження підтверджується глобальним викликом у сфері охорони здоров'я, пов'язаним із діагностикою серцево-судинних захворювань. Запропоновані методи багатоступеневої сегментації, каскадної класифікації та інтерпретації результатів моделей глибокого навчання спрямовані на підвищення точності, надійності та прозорості автоматизованого аналізу МРТ-зображень. Вони відповідають сучасним напрямкам розвитку пояснювального штучного інтелекту та задовольняють вимоги, що висуваються до медичних діагностичних систем.

Наукові положення, висновки та практичні результати є логічно цілісними, обґрунтованими та підтвердженими результатами експериментальної перевірки. Робота демонструє високий рівень наукової новизни та практичної значущості, а також потенціал до інтеграції в клінічну практику і розвиток прикладних медичних технологій.

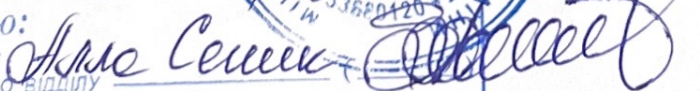
За змістом, науковим рівнем, структурою та оформленням дисертація повністю відповідає вимогам, визначеним пунктами 6, 7, 8, 9 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора 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).

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

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерної інженерії Західноукраїнського національного університету,
доктор технічних наук, професор

Олег БЕРЕЗЬКИЙ

Підпис 
Завіряю: 
НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ

