

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD 12360
Хмельницького національного університету
доктору технічних наук, професору
Олегу САВЕНКУ

РЕЦЕНЗІЯ

**на дисертаційну роботу Чабана Олександра Романовича
на тему «Методи та засоби інтеграції знань в моделі штучного інтелекту
медичних діагностичних комплексів», 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.

Сучасне медичне діагностування функціонує за умов сталого зростання обсягів візуальних, текстових та структурованих клінічних даних. Системи штучного інтелекту стають важливим інструментом оброблення результатів магнітно-резонансної томографії (МРТ), комп'ютерної томографії, рентгенологічних досліджень та клінічних записів. Водночас практичне використання таких систем обмежується не лише вимогами до точності, а й потребою в клінічній обґрунтованості, відтворюваності та зрозумілості діагностичних висновків.

Класичні нейромережеві моделі, побудовані переважно на статистичному опрацюванні даних, демонструють високу результативність за наявності великих і якісно розмічених вибірок. Проте медична предметна галузь характеризується дефіцитом анотованих даних, варіативністю діагностичного обладнання, доменним зсувом між клінічними центрами та семантичним розривом між низькорівневими ознаками зображень і високорівневими клінічними поняттями. За таких умов моделі, що не використовують формалізованих медичних знань, можуть бути нестійкими до збурень, недостатньо інтерпретованими та схильними до топологічних або логічних помилок.

Особливої ваги набуває завдання побудови гібридних архітектур, у яких статистичне навчання поєднується з анатомічними, онтологічними, процедурними та реляційними знаннями. Для задач сегментації зображень МРТ серця такими знаннями є обмеження вкладеності та суміжності анатомічних структур; для задач класифікації патологій – взаємозв'язки між морфологічними показниками, тканинними ознаками та клінічними кореляціями; для задач аналізу медичних текстів – семантичні відношення, тональність, модальність і заперечення.

Наразі вбачається суттєва суперечність між об'єктивною потребою в точних, стійких та клінічно інтерпретованих системах підтримки прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах та фрагментарністю відомих методів інтеграції експертних знань у моделі штучного інтелекту. Розв'язання цієї суперечності є актуальною науково-прикладною задачею, що полягає у підвищенні точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень шляхом

розроблення методів та засобів інтеграції знань у моделі штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів.

Зазначена науково-прикладна задача відповідає предметній області Стандарту вищої освіти України зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, зокрема, напрямам, пов'язаним із математичним, інформаційним та програмним забезпеченням інтелектуальних систем, методами оброблення даних, машинним навчанням, комп'ютерним зором та системами підтримки прийняття рішень.

Дисертаційну роботу виконано в рамках науково-дослідної тематики Хмельницького національного університету. Здобувач був безпосереднім виконавцем держбюджетної науково-дослідної теми ГУ 57-2024 «Інтелектуальна система розпізнавання дефектів об'єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА» (№ державної реєстрації 0124U004665), що фінансується коштом зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу, спрямованого на реалізацію зобов'язань України в межах програми Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження.

Здобувачем правильно визначено науково-прикладну задачу, об'єкт і предмет дослідження, відповідно до логіки розроблення інтелектуальних діагностичних систем, що інтегрують дані та знання. Об'єктом дослідження визначено процеси інтеграції знань та опрацювання даних у системах штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів. Предметом дослідження встановлено методи та засоби інтеграції експертних знань у моделі глибокого навчання для задач сегментації, класифікації медичних зображень та аналізу текстових клінічних даних.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах через створення методів та засобів інтеграції експертних знань у моделі штучного інтелекту.

Поставлену мету досягнуто в результаті розв'язання таких завдань:

– проведено аналіз сучасного стану методів глибокого навчання та підходів до формалізації медичних знань, виявлено наявні обмеження статистичних підходів та визначено перспективи створення гібридних архітектур;

– розроблено метод адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня для забезпечення точності процесу діагностування в умовах зсуву домену та обмеженої розмітки даних;

– розроблено метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах через інтеграцію онтологічних знань та аналізу тональності в архітектуру нейронної мережі для підвищення точності інтерпретації клінічних записів;

– розроблено метод сегментації зображень МРТ серця, що ґрунтується на синергетичному поєднанні механізму експертно-керованої уваги та спеціалізованої функції втрат із топологічними обмеженнями для забезпечення анатомічної коректності результатів;

– розроблено метод ідентифікації патологій із використанням графової згорткової мережі, який інтегрує реляційні діагностичні знання та дає змогу моделювати взаємозв'язки між анатомічними структурами;

– спроектовано архітектуру інтелектуальної інформаційної системи інтеграції знань, яка забезпечує гнучке оброблення гетерогенних медичних даних та підтримку модульної взаємодії між компонентами сегментації, класифікації та аналізу текстів;

– виконано програмну реалізацію інтелектуальної інформаційної системи інтеграції знань, здійснено постановку експерименту та проведено експериментальні дослідження на еталонних медичних наборах даних.

Для розв'язання поставлених завдань у дисертації використано методи глибокого навчання, теорії нейронних мереж, комп'ютерного зору, оброблення природної мови, інженерії знань, теорії графів, графових згорткових мереж, математичної статистики та оптимізації. Такий добір методів є узгодженим із метою роботи та характером досліджуваних задач.

Наукова новизна одержаних автором результатів полягає в наступному:

1) удосконалено метод адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня, який відрізняється від аналогів використанням динамічного ансамблю моделей-вчителів зі спеціалізованою моделлю для змагальної адаптації домену та механізмом селективної фільтрації, що дає змогу накопичувати досвід із різних клінічних доменів та передавати його компактній моделі-учню, підвищуючи в такий спосіб точність процесу прийняття рішень за варіативності вхідних даних;

2) удосконалено метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах, який, на відміну від наявних, поєднує інтеграцію онтологічних знань та явне кодування інформації про тональність і заперечення, що підвищує точність інтерпретації клінічних записів та забезпечує логічну узгодженість висновків;

3) розроблено новий метод сегментації зображень МРТ серця, який ґрунтується на синергетичному поєднанні механізму експертно-керованої уваги для фокусування на складних ділянках та спеціалізованої функції втрат із топологічними обмеженнями на основі знакової відстані, який, на відміну від наявних підходів, дає змогу явно кодувати вкладеність та суміжність анатомічних структур, що забезпечує підвищення точності визначення меж органів та усунення топологічних артефактів;

4) розроблено новий метод ідентифікації патологій серця за зображенням МРТ із використанням графової згорткової мережі, орієнтованої на знання, який, на відміну від відомих рішень, реалізує парадигму реляційного міркування на графах, де вузли об'єднують гібридні візуальні та морфологічні ознаки, а матриця суміжності формується як суперпозиція просторових зв'язків та клінічних кореляцій із медичних настанов, що дає можливість підвищити точність класифікації діагнозів та забезпечити інтерпретованість прийнятих рішень.

Короткий аналіз основного змісту дисертації.

Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Повний обсяг роботи становить 182 сторінки друкованого тексту, з них основний текст подано на 130 сторінках. Дисертація містить 54 рисунки та 27 таблиць. Список використаних джерел налічує 142 найменування.

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

У першому розділі проаналізовано сучасні методи та підходи до інтеграції знань у системи штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів. Автор розглянув обмеження статистичних моделей, проблему дефіциту анотованих даних, доменного зсуву, семантичного розриву та недостатньої інтерпретованості. На основі аналізу сформульовано вимоги до гібридних архітектур, здатних поєднувати обчислювальну результативність глибокого навчання з формалізованими медичними знаннями.

У другому розділі розроблено математичне та алгоритмічне забезпечення методів передачі експертних знань. Деталізовано метод адаптивної дистиляції знань, описано навчання ансамблю моделей-вчителів, модель змагальної адаптації домену, механізм селективної фільтрації та агрегаційну мережу. Також подано метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах, що використовує вектори BioELMo, MultE, інформацію про тональність і заперечення та механізм уваги.

У третьому розділі наведено методи інтеграції топологічних та реляційних знань в архітектурі глибокого навчання медичних систем. Запропоновано метод сегментації зображень МРТ серця, у якому запропонована функція втрат забезпечує контроль вкладеності та суміжності анатомічних структур. Крім того, розроблено метод ідентифікації патологій серця на основі графової згорткової мережі, де граф пацієнта формується з урахуванням просторових та клінічних зв'язків.

У четвертому розділі спроектовано архітектуру та реалізовано програмний комплекс «IDK Medical AI», побудований за принципами модульної мікросервісної архітектури. Подано технічні деталі реалізації, експериментальне середовище, результати валідації методів на еталонних наборах даних, а також результати абляційних досліджень, оцінювання обчислювальної складності та практичної придатності розробленої системи.

У висновках дисертації подано узагальнення отриманих наукових та практичних результатів. Основні висновки логічно впливають із розділів роботи, відповідають поставленій меті та підтверджують виконання сформульованих завдань.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові висновки та рекомендації, що наведені в дисертації, ґрунтуються на адекватному використанні математичного апарату глибокого навчання, теорії графів, механізмів уваги, інженерії знань, методів оптимізації та математичної статистики. Коректність запропонованих положень підтверджується формалізацією задач адаптації домену, дистиляції знань, сегментації з топологічними обмеженнями, реляційної класифікації та логічного виведення в медичних текстах.

Достовірність результатів забезпечується проведенням комплексних експериментальних досліджень на еталонних наборах медичних даних, використанням відповідних метрик точності та якості, порівнянням із базовими моделями, абляційним аналізом і оцінюванням обчислювальної складності. Отримані результати демонструють послідовне підвищення точності та стійкості

моделей, що підтверджує відповідність теоретичних положень результатам експериментального використання.

Обґрунтованість також підтверджується практичною реалізацією програмного комплексу «IDK Medical AI» та його використанням у навчальному процесі, діяльності медичного закладу, виробничому процесі підприємства й у межах держбюджетної науково-дослідної теми. Це засвідчує прикладну придатність розроблених методів та їхню відповідність реальним потребам медичних діагностичних комплексів.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних результатів дисертаційної роботи до програмної реалізації у вигляді інтелектуальної інформаційної системи «IDK Medical AI». Система забезпечує опрацювання гетерогенних медичних даних, підтримує модульну взаємодію компонентів сегментації, класифікації та аналізу текстів, а також передбачає роботу з форматами DICOM/NIfTI, формування діагностичних результатів, масок сегментації та JSON-маніфестів експериментальних конфігурацій.

Розроблений метод адаптивної дистиляції знань забезпечив підвищення метрики точності класифікації на цільовому домені до 81,45 % за наявності лише 500 розмічених зразків, що відповідає приросту на 8,8 % порівняно з базовими методами адаптації. Метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах досяг точності 81,14 % та F1-міри 79,85 %, покращивши виявлення заперечень у медичних текстах. Запропонований метод сегментації зображень МРТ серця зменшив HD95 для міокарда з 9,8 мм до 6,5 мм та підвищив коефіцієнт Дайса для лівого шлуночка до 95,5 %. Метод ідентифікації патологій серця забезпечив точність класифікації п'яти патологічних станів серця на рівні 94,0 %, перевершивши базові 3D-CNN на 9,0%.

Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені в навчальний процес Львівського торговельно-економічного університету для викладання дисциплін з інтелектуального аналізу даних (м. Львів); у діяльність Хмельницької інфекційної лікарні для автоматизованого аналізу анонімованих ультразвукових досліджень серця (м. Хмельницький); у виробничий процес ТОВ «КЦ НЕЙРОН» під час розроблення систем підтримки прийняття рішень (м. Хмельницький); а також використані під час виконання держбюджетної науково-дослідної теми Хмельницького національного університету (ДР № 0124U004665).

Особистий внесок здобувача.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні системного аналізу методів глибокого навчання та підходів до формалізації медичних знань, удосконаленні методу адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня, удосконаленні методу встановлення смислових зв'язків у медичних текстах, розробленні методу сегментації зображень МРТ серця, розробленні методу ідентифікації патологій серця, проектуванні архітектури та програмній реалізації інтелектуальної інформаційної системи «IDK Medical AI».

Усі наукові результати дисертаційного дослідження, які подані до захисту, отримані автором особисто. У публікаціях, що опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать основні ідеї, теоретична та практична розробка положень, відображених у характеристиці наукової новизни отриманих результатів.

Дисертаційна робота виконана на базі Хмельницького національного університету. Наукові керівники: Манзюк Едуард Андрійович, доктор технічних наук, професор; Кльоц Юрій Павлович, кандидат технічних наук, доцент.

За результатами проведених досліджень основні наукові результати опубліковані у 12 наукових працях, поміж яких 1 стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, 3 статті у фахових виданнях України категорії «Б», 6 публікацій у матеріалах конференцій, поміж яких 2 наукові праці, що індексуються наукометричною базою Scopus, 1 розділ у колективній монографії та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

Апробація матеріалів дисертації.

Апробацію основних положень, ідей, висновків дисертаційної роботи проведено на наукових семінарах та науково-практичних заходах. Наукові результати доповідались та обговорювались на 2nd International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (Khmelnyskyi, 2025); 8th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (Lviv, 2025); 5th Edge Computing Workshop (Zhytomyr, 2025); XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024» (Хмельницький, 2024); 12th International Conference Information Control Systems & Technologies (Odesa, 2024); XXII Міжнародній науковій конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТЗ-2024» (Краматорськ-Тернопіль, 2024).

Зауваження.

У результаті розгляду дисертації сформовано наступні зауваження та рекомендації:

1) у змісті дисертації (стор. 18) назву підрозділу 4.4 варто було граматично узгодити, оскільки словосполучення «Експериментальна дослідження» доцільно подати як «Експериментальні дослідження»;

2) у підрозділі 2.1.3 (стор. 63–66) автор докладно навів оцінювання обчислювальної складності навчання та експлуатацію методу адаптивної дистиляції знань, проте варто було б детальніше описати критерії вибору кількості моделей-вчителів та порядок добору доменів для ансамблю в умовах розгортання системи на базі різних медичних закладів;

3) у підрозділі 2.2.3 (стор. 77) трапляється мовна неточність у формулюванні «у результаті виконанні таких кроків»; з огляду на науковий стиль роботи, це речення варто було подати як «у результаті виконання таких кроків»;

4) у підрозділі 3.3.2 (стор. 99–103) при описі побудови матриці суміжності графа пацієнта на основі просторових зв'язків та клінічних кореляцій варто було б додатково уточнити процедуру оновлення компоненти «Визнання» або «Acknowledge» у випадку зміни клінічних настанов або появи нових доказових зв'язків між морфологічними показниками та діагнозами;

5) у розділі 4.1.2 та додатку Г (стор. 117–118, 179–181) достатньо переконливо подано технічну реалізацію програмного комплексу «IDK Medical AI» та його інтерфейси; водночас у подальших дослідженнях доцільно детальніше розкрити механізми інтеграції з лікарняними інформаційними системами за стандартами HL7/FHIR, а також подати аудит дій користувачів у клінічному середовищі.

Втім, зазначені зауваження суттєво не впливають на загальний, доволі високий, рівень проведеного дослідження.

Загальний висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота Чабана Олександра Романовича на тему «Методи та засоби інтеграції знань в моделі штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів» містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки галузі 12 Інформаційні технології, які в сукупності розв'язують актуальну науково-прикладну задачу підвищення точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка характеризується єдністю змісту, належним рівнем теоретичного опрацювання, достатньою експериментальною перевіркою та практичною цінністю. Основні результати, що виносяться на захист, є достовірними та отримані автором особисто.

Тому, з огляду на вище вказане, вважаю, що дисертаційна робота «Методи та засоби інтеграції знань в моделі штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем, практичною цінністю, змістом та оформленням відповідає вимогам пп. 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», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а її автор, Чабан Олександр Романович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент:

д.т.н., професор, професор кафедри
комп'ютерної інженерії та
інформаційних систем
Хмельницького національного університету


Єлизавета ГНАТЧУК

«Підпис Єлизавети ГНАТЧУК засвідчую»:
Учений секретар Вченої ради
Хмельницького національного університету




Ольга ГОНЧАР