

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD 8700
Хмельницького національного університету,
доктору технічних наук, професору,
Тетяні ГОВОРУЩЕНКО

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Ковальчука Олексія Володимировича
на тему «Методи виявлення патологій за сигналом електрокардіограми
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

Сучасна медична діагностика перебуває на етапі трансформації, де класичні підходи поступово доповнюються інтелектуальними системами обробки даних. Цей процес обумовлений не лише зростанням обсягів медичної інформації, а й потребою у більш точних, швидких та обґрунтованих клінічних рішеннях. Одним із напрямів, де ці виклики проявляються є аналіз ЕКГ-сигналів, оскільки сигнали бувають різної довжини та різної складності, а можливі патології виділяються варіацією можливих відхилень, що ускладнює діагностику.

Аритмії, як одна з найпоширеніших форм порушень серцевого ритму, часто залишаються непоміченими на ранніх етапах, але при цьому можуть мати тяжкі клінічні наслідки. Тому їх вчасне виявлення може мати ключову роль у запобіганні ускладнень. У цьому контексті особливого значення набувають інтелектуальні системи, здатні з високою точністю аналізувати ЕКГ-сигнали. На сьогодні такі системи здебільшого ґрунтуються на моделях машинного або глибокого навчання.

Водночас використання штучного інтелекту в медичних цілях висуває додаткові вимоги, зокрема щодо прозорості прийнятих рішень. У медичній практиці надзвичайно важливо не лише отримати прогноз або класифікацію, але й розуміти, на основі яких ознак або параметрів модель дійшла відповідного висновку. Це зумовлює необхідність поєднання точної класифікації з механізмами інтерпретації.

Усе зазначене визначає актуальність дослідження, виконаного Ковальчуком Олексієм Володимировичем, яке присвячене розв'язанню важливої науково-прикладної задачі ідентифікації аритмій на основі ЕКГ-сигналів із використанням глибокого навчання та подальшою інтерпретацією результатів класифікації.

Зазначена науково-прикладна задача відповідає предметній області Стандарту вищої освіти України із спеціальності 122 – Комп'ютерні науки для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Зв'язок теми із планами наукових робіт університету

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).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна одержаних автором результатів полягає в наступному:

1) розроблено новий метод ідентифікації R-зубців на ЕКГ-сигналі, який відрізняється від існуючих використанням моделі глибокого навчання з двома вхідними сигналами – ЕКГ-сигналом та, синхронним з ним, сигналом з прогнозованим розташуванням R-зубців, що дало змогу підвищити точність ідентифікації.

2) удосконалено метод класифікації патологій аритмій на ЕКГ-сигналі, який відрізняється від відомих використанням тріади кардіоциклів, що дозволяє сформулювати контекстну інформацію виникнення кардіоциклу, для подальшої класифікації вдосконаленою архітектурою моделі глибокого навчання, що дозволило збільшити кількість патологій для розпізнавання та підвищити точність класифікації;

3) вперше розроблено метод інтерпретації результатів класифікації патологій аритмій, отриманих з ЕКГ-сигналу за моделями глибокого навчання, що дало змогу подати результати класифікації за ознаками, що використовуються у медичній практиці.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Ковальчука О.В. є обґрунтованими завдяки коректному застосуванню сучасних методів до аналізу ЕКГ-сигналів, використанню методів та підходів глибокого навчання, а також підтверджені реалізацією експериментальної частини дослідження. Практичне впровадження розроблених методів продемонструвало узгодженість між теоретичними напрацюваннями та реальними результатами.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, викладених у дисертаційній роботі, забезпечується шляхом коректної постановки дослідницьких завдань, використанням актуальних архітектур глибоких нейронних мереж для вирішення задач виявлення та класифікації аритмій за ЕКГ-сигналами. Отримані результати підтверджуються експериментальним дослідженням із використанням відкритих медичних баз даних, що дозволило забезпечити об'єктивну перевірку запропонованих підходів за статистичними показниками.

Особливу новизну має запропонований у роботі метод інтерпретації результатів класифікації аритмій, який дозволяє подавати результати у вигляді ознак, які використовуються в медичній практиці. Завдяки узгодженню вихідних даних моделі зі звичними для медичної практики ознаками, підвищується інформативність та довіра до автоматизованих систем аналізу ЕКГ.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, логічно випливають із результатів, отриманих шляхом послідовного аналізу вхідних сигналів за допомогою глибоких нейронних мереж. Це дозволяє стверджувати, що висновки та запропоновані технічні рішення є коректними, обґрунтованими та можуть бути рекомендовані до впровадження у відповідних медичних програмних системах.

Здобувач успішно засвоїв методологію наукової діяльності. Мета дослідження, визначена у дисертаційній роботі, досягнута в повному обсязі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних результатів дисертаційної роботи до реалізації та у безпосередньому використанні їх у відповідних медичних установах.

Оцінка змісту та структура дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал дисертаційної роботи викладений послідовно та логічно. Стил написання дисертації відповідає вимогам, що висуваються до науково-технічних текстів. Робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 151 найменування на 18 сторінках та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 166 сторінок, з них 127 сторінок основного тексту. Дисертація містить 64 рисунки та 19 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної тематики, визначено мету та завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів. Кожен із розділів роботи логічно продовжує попередній і повною мірою розкриває зміст поставлених завдань, що забезпечує цілісність і наукову обґрунтованість дисертації.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу сучасних методів і підходів до обробки, аналізу та класифікації патологій аритмій за сигналами ЕКГ. Зокрема зосереджено увагу на класифікації патологій аритмій, що базуються на методах глибокого навчання. Проведено огляд методів інтерпретації результатів класифікацій аритмій моделями глибокого навчання. На основі аналізу визначено постановку задач, що стали підґрунтям для подальших етапів дослідження.

У другому розділі представлено побудову моделі виявлення аритмій за ЕКГ-сигналами із використанням трьох основних методів: виявлення R-зубців, класифікації аритмій та інтерпретації результатів, отриманих за допомогою моделей глибокого навчання. Кожен із трьох методів детально описаний в даному розділі.

Третій розділ присвячено розробці та реалізації інформаційної системи для автоматизованого виявлення патологій аритмії на основі ЕКГ-сигналів. У ньому визначено функціональні та апаратні вимоги, а також представлено архітектуру інформаційної системи. Здобувачем наведено приклад практичної реалізації спроектованої інформаційної системи, що включає реалізацію основних модулів, які включають запропоновані в даній роботі методи.

У четвертому розділі наведено результати експериментального підтвердження валідності запропонованих методів. Оцінено точність роботи алгоритмів на основі стандартних метрик, таких як Accuracy, Precision, Recall та F1-score. Проведено порівняння із відомими підходами. Також виконано експеримент із застосування розроблених методів на клінічних даних. У розділі подано приклади інтерпретації результатів класифікації для окремих видів аритмій за допомогою запропонованого методу.

У висновках представлено отримані наукові та практичні результати роботи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою та підтверджує наявність особистого внеску здобувача у розвиток комп'ютерних наук.

За результатами перевірки на текстові збіги встановлено, що дисертація Ковальчука О.В. є самостійною науковою працею, яка не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи недоброчесних запозичень. Усі залучені ідеї, результати та тексти інших дослідників належним чином процитовано із зазначенням відповідних джерел.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати опубліковано у 8 наукових працях, серед яких 1 стаття у періодичному виданні 1-го квартилю, що індексується в наукометричних базах Scopus, Web of Science; 3 статті – у фахових наукових журналах України, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б; 4 публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (статті в матеріалах конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus). Отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Також результати дисертації апробовані на наступних 4 міжнародних наукових семінарах: 5th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Ліон, Франція, 2022); IntelITSIS'2023: 4th International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (м. Хмельницький, 2023); IDDM'2023: 6th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (м. Братислава, Словаччина, 2023); ICyberPhyS-2024: 1st International Workshop on Intelligent & CyberPhysical Systems (м. Хмельницький, 2024).

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, варто відзначити деякі недоліки та зауваження.

1. По тексту дисертації зустрічаються позначення, які не прийняті у нотаціях математики. Наприклад позначення $[i-20, i+20]$ (ст. 52, крок 1.3) традиційно використовується для неперервних числових відрізків, а не для індексів у масиві або часових точках дискретного сигналу. Коректніше й точніше буде $\{i-20, i-19, \dots, i+20\}$ або коротше у вигляді $i-20 \leq j \leq i+20, j \in S$.

2. На сторінці 73 наведено формулу для визначення присутності компенсаторної паузи із використанням знаку приблизної рівності ($\approx$), але не вказано допустиме відхилення від рівності. Це може бути як 5%, так і 25%.

3. Для визначення повної компенсаторної паузи (п. 2.3, роз. 2.5.3) використовується приблизна рівність ($\approx$). В той самий час для визначення відсутності компенсаторної паузи (п. 5.2, роз. 2.5.3) використовується строге не рівно ($\neq$). Таким чином виникає питання узгодженості критерію.

4. При описі методики оцінювання стабільності роботи класифікатора зазначено, що доцільним є проведення експериментів на різних розподілах даних – 75%/25%, 80%/20% або 90%/10%. Проте в роботі наведено результати лише для одного варіанту розбиття – 80% на 20%.

5. У роботі при порівнянні статистичних показників методу класифікації аритмій (табл. 4.12) використано два додаткові підходи, які не були попередньо розглянуті в огляді існуючих рішень у першому розділі. Відсутність їхнього опису ускладнює розуміння мотивації вибору цих методів для порівняння. Для забезпечення цілісності викладу доцільно включити короткий аналіз згаданих підходів до відповідного оглядового підрозділу;

6. Клінічні дослідження, наведені в дисертації, не охоплюють усі класи патологій, що зазначені як підтримувані в описі методу класифікації аритмій. Для забезпечення повноти дослідження варто було розширити перелік клінічно перевірених класів.

7. На сторінці 115 спостерігається неузгоджене використання термінології – поряд уживаються назви «матриця сплутувань» та «матриця невідповідностей», хоча в контексті йдеться про один і той самий інструмент оцінки класифікації.

8. На сторінці 113 спостерігається паралельне використання англійських термінів («training & validation loss») та їх перекладу українською («навчальні та валідаційні втрати»), що створює неузгодженість.

Проте, зазначені зауваження істотно не впливають на зміст дослідження та не знижують його наукової та практичної цінності.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії Ковальчука Олексія Володимировича на тему «Методи виявлення патологій за сигналом електрокардіограми засобами пояснювального штучного

інтелекту» виконана на високому рівні. Дослідження відповідає принципам академічної доброчесності та є завершеною науковою роботою, що містить ґрунтовні теоретичні й практичні результати, спрямовані на розв'язання актуальної науково-практичної задачі.

Робота повністю відповідає чинним вимогам законодавства України, зокрема положенням пунктів 6–9 «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 вищезазначене, вважаю, що Ковальчук Олексій Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

д.т.н., професор зав. каф. програмних систем і технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Олексій БИЧКОВ

