Голові разової спеціалізованої вченої ради
Державного університету «Житомирська політехніка»
доктору технічних наук, професору
ЖУРАВСЬКОМУ Юрію Володимировичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента, проректора з науково-педагогічної роботи та цифрової трансформації
Державного університету «Житомирська політехніка»
МОРОЗОВА Андрія Васильовича
на дисертацію
МАЦІЄВСЬКОГО Вадима Анатолійовича
на тему **«Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників»**, представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми зумовлена переходом охорони здоров'я до безперервного дистанційного моніторингу стану пацієнтів, за якого дані надходять не від одного діагностичного приладу, а від множини різнотипних пристроїв: носимих браслетів, приліжкових моніторів, холтерівських реєстраторів, а також з відкритих медичних баз даних. Кожне з цих джерел має власні технічні характеристики, тому програмне забезпечення, яке аналізує такі дані, має не лише виявляти клінічно значущі зміни, а й відокремлювати їх від відмінностей, спричинених самою апаратурою. Якщо цього не зробити, автоматизований висновок системи може ґрунтуватися на особливостях сенсора, а не на стані пацієнта.

Поширені сьогодні підходи переважно покладають компенсацію таких відмінностей на модель машинного навчання, через що підключення нового пристрою потребує її повторного навчання, а самі висновки моделі важко пояснити лікарю. Водночас програмні засоби моніторингу дедалі частіше працюють на периферійних пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами. Тому розроблення методів і програмних засобів, які забезпечують стійкий до апаратних відмінностей опис біосигналу, придатний для потокової обробки, та пояснювані автоматизовані висновки, є важливим завданням інженерії програмного забезпечення медичного призначення.

Тому вважаю, що тема дисертації «Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників» є актуальною та своєчасною.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» за 2022–2025 роки, зокрема в межах тематики дослідження процесів побудови систем біоінженерного призначення (державний реєстраційний номер 0121U113293) та НДР «Проєктування інформаційно-цифрового здоров'язбережувального середовища університету в умовах карантинних обмежень» (державний реєстраційний номер 0122U000973).

Структура дисертації забезпечує послідовний перехід від постановки проблеми до її розв'язання: аналіз наявних платформ і методів обробки біосигналів дав змогу визначити невирішену частину проблеми, на цій основі розроблено методи, алгоритми та модель конвеєра опрацювання даних, а завершує роботу їх програмна реалізація та експериментальна перевірка. Наукові положення, винесені на захист, логічно пов'язані з метою та завданнями дослідження, мають достатнє теоретичне обґрунтування та підтверджені експериментальними результатами.

Досягнення поставленої мети забезпечено поєднанням теоретичних методів (теорії динамічних систем і реконструкції фазового простору, теорії нейронних мереж, логіки предикатів першого порядку) з емпіричними методами (байєсівською корекцією джерел даних, багатомірною імпутацією пропусків, цифровою обробкою сигналів) та методами архітектурного проєктування і тестування програмного забезпечення, що дало змогу сформулювати обґрунтовані висновки та підтвердити їх цінність для подальших досліджень і практичного застосування.

Достовірність результатів підтверджується коректністю математичних постановок, аналітичною оцінкою обчислювальної складності розроблених критеріїв, узгодженою з результатами профілювання, проведенням експериментів за наперед визначеними протоколами і критеріями прийняття зі статистичною перевіркою значущості, а також успішним проходженням повного набору автоматизованих тестів програмної реалізації. Залучення достатнього кола наукових джерел (153 найменування, з них 143 – іноземною мовою), у тому числі актуальних зарубіжних публікацій, підтверджує обізнаність здобувача із сучасним станом проблеми. Поставлені завдання дослідження розв'язано в повному обсязі.

Ступінь наукової новизни результатів дисертаційного дослідження.

Дисертація Мацієвського В.А. є комплексним дослідженням, присвяченим розробленню моделі, методів, алгоритмів та програмного забезпечення опрацювання біомедичних показників, що надходять від гетерогенних джерел даних. Дисертація містить як нові теоретичні результати, так і їх практичну реалізацію, що підтверджено довідками про впровадження, та забезпечує повноту й завершеність наукового внеску.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження у дисертації:

вперше: - розроблено метод формування простору ознак предиктивних програмних компонентів біомедичного моніторингу, який, на відміну від відомих методів екстракції ознак на основі часового та частотного аналізу, ґрунтується на обчисленні геометричних інваріантів фазового портрета біосигналу, що забезпечує стійкість ознак до коливань частоти дискретизації та апаратних збоїв сенсорів;

- запропоновано модель інваріантного конвеєра опрацювання біомедичних показників, яка, на відміну від відомих моделей IoMT-платформ, де компенсація розбіжностей джерел даних виконується всередині навченої класифікаційної моделі, реалізує цю компенсацію окремим детермінованим етапом конвеєра;

- запропоновано метод автоматичного вибору тракту реконструкції фазового простору біосигналу за морфологічним критерієм у реальному часі, який, на відміну від відомого вибору методу реконструкції за апріорним типом сигналу, забезпечує узагальнюваність підходу на довільний квазіперіодичний біосигнал;

- запропоновано метод ентропійної оцінки заповнення фазової площини шляхом нормування ентропії розподілу точок стану на максимальну ентропію сітки, який, на відміну від існуючих, забезпечує обмеженість метрики діапазоном [0; 1] та стійкість ознаки до пропусків у потоці даних;

удосконалено: - алгоритмічну логіку конвеєра трансформації даних у складі програмних сервісів забезпечення інтероперабельності гетерогенних медичних даних шляхом виділення байєсівської корекції джерел в окремий мікросервіс етапу первинної обробки даних;

- розрахунок фазового коефіцієнта варіації форми як застосування класичного коефіцієнта варіації до радіус-векторів фазової траєкторії відносно центроїда, що дозволяє виявляти мікроаритмії та нестаціонарні перешкоди безпосередньо в процесі потокової обробки сигналу.

набули подальшого розвитку: архітектурно-алгоритмічні рішення підсистеми підтримки прийняття клінічних рішень шляхом гібридизації предиктивних векторів рекурентної нейромережі та детермінованих продукційних експертних правил над розробленими фазовими критеріями,

що забезпечило верифікованість та прозорість висновків; підходи до розподілу обчислювального навантаження у розподілених програмних комплексах охорони здоров'я за рахунок винесення цифрової смугової фільтрації та поциклової сегментації сигналів на периферійний рівень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблено програмні алгоритми обчислення запропонованих фазових критеріїв, які функціонують у режимі потокової обробки;
- реалізовано хмарний мікросервіс предиктивного аналізу та декларативну базу знань діагностичної системи на основі продукційних експертних правил, що забезпечує інтерпретованість висновків штучного інтелекту;
- реалізовано програмне забезпечення обробки біомедичних показників та проведено серію експериментів, що дозволило підтвердити здатність апаратно-інваріантної системи компенсувати апаратну розбіжність джерел даних при підключенні різнорідних сенсорів та публічних наборів даних, коректно усувати спотворення фазових критеріїв на етапі попередньої обробки сигналу та функціонувати в режимі потокової обробки, придатному для застосування в реальному часі.

Повнота опублікування основних положень дисертації.

Дисертація Маційовського В.А. є самостійною і повноцінною науковою працею. Основні положення і наукові результати дослідження опубліковано у 12 наукових працях, з яких 2 публікації у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, 2 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» та 8 публікацій апробаційного характеру в матеріалах конференцій різного рівня.

Положення дисертаційного дослідження, що відображають наукову новизну, висвітлені у фахових виданнях та обговорені на наукових і науково-практичних конференціях. Сформульовані наукові результати, висновки та пропозиції належать особисто автору, а його внесок у праці, підготовлені у співавторстві, чітко визначено. На захист виносяться виключно власні результати здобувача.

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів і рекомендацій про їх використання.

Теоретичні результати дисертації формують самостійний внесок у розвиток методів проєктування програмного забезпечення опрацювання біомедичних даних: запропоновано формалізований опис біосигналу через геометричні інваріанти його фазового портрета, модель конвеєра з перевірюваним критерієм підключення нового джерела даних без повторного навчання моделі, а також формально верифіковану базу продукційних правил для пояснення автоматизованих висновків.

Практичні результати, реалізовані у прототипі програмної платформи, пройшли апробацію в ТОВ «Медичний центр Асклепій Плюс», КУ «Обласна клінічна лікарня ім. О. Ф. Гербачевського» Житомирської обласної ради та в освітньому процесі Державного університету «Житомирська політехніка», що підтверджено відповідними довідками.

Отримані рішення можуть бути використані закладами охорони здоров'я та розробниками медичних інформаційних систем під час створення і вдосконалення програмних комплексів дистанційного моніторингу пацієнтів, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти під час підготовки фахівців з інженерії програмного забезпечення.

Оцінка структури дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи становить 350 сторінок, з них 164 сторінки основного тексту, що містить 28 таблиць і 53 рисунки. Структура дисертації є логічною і відповідає меті дослідження. Вступ окреслює актуальність, мету, об'єкт, предмет, завдання та методи дослідження, формулює наукову новизну та практичне значення результатів.

У першому розділі дисертації автором проведено аналіз системних викликів, що постають під час проєктування програмних комплексів опрацювання біомедичних показників у середовищах Інтернету медичних речей, розглянуто нормативні вимоги та наявні комерційні й відкриті платформи. Здійснено класифікацію та порівняння методів обробки біосигналів і алгоритмів інтелектуальної діагностики, за результатами яких обґрунтовано вибір методів фазового простору як основи подальшого дослідження.

Другий розділ являє собою теоретичне ядро роботи. У ньому розроблено алгоритмічну логіку первинної обробки даних із корекцією відмінностей між джерелами та відновленням пропусків, метод формування простору ознак на основі фазового портрета біосигналу з критеріями IDA, NFD і FCV, інтелектуальний алгоритм діагностики на основі поєднання рекурентної нейронної мережі та продукційних правил, а також узагальнену модель апаратно-інваріантного конвеєра опрацювання даних.

Третій розділ завершує цикл практичною реалізацією запропонованих рішень: обґрунтовано технологічний стек і мікросервісну архітектуру, наведено архітектурні діаграми в нотації C4 та блок-схеми алгоритмів, описано програмну реалізацію прототипу платформи. Сформовано експериментальну базу та проведено серію експериментів, які підтвердили стійкість розроблених критеріїв, ефективність корекції джерел даних і придатність конвеєра до потокової обробки.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертація написана українською мовою з використанням загальноприйнятої термінології у сфері інженерії програмного забезпечення, цифрової обробки сигналів та медичної інформатики. Стиль викладення є науковим, матеріал подано послідовно та логічно. Ілюстративний матеріал охоплює графіки, архітектурні діаграми, блок-схеми алгоритмів та порівняльні таблиці; він виконаний якісно та є достатнім для сприйняття викладених результатів.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертації Мацієвського В.А. ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації не виявлено. Посилання на першоджерела для текстових та ілюстративних запозичень оформлено коректно. Здобувач зазначив, що засоби штучного інтелекту використовувалися лише як допоміжний інструмент для візуалізації окремих схем за власним описом і не застосовувалися для створення тексту дисертації чи формулювання наукових результатів. Дисертацію перевірено за допомогою програми StrikePlagiarism, і аналіз звіту подібності підтверджує самостійність отриманих автором результатів. Отже, принципів академічної доброчесності дотримано.

Недоліки та зауваження до дисертації:

1. Заходи захисту персональних даних пацієнтів (псевдонімізація ідентифікаторів, шифрування даних на транспортному рівні) описано на концептуальному рівні. У роботі не розглянуто механізми автентифікації та розмежування доступу користувачів до робочих місць лікаря й пацієнта, ведення журналу аудиту дій користувачів, а також не наведено модель загроз, хоча в першому розділі захист персональних даних визначено як одну з ключових вимог до програмних комплексів цього класу.
2. Інтеграцію платформи із зовнішніми медичними інформаційними системами передбачено через окремий шар перетворення даних у ресурси стандарту HL7 FHIR. Проте в роботі не проаналізовано можливість взаємодії з Електронною системою охорони здоров’я України, що є важливим для практичного впровадження результатів у вітчизняних закладах охорони здоров’я.
3. Робочі місця лікаря та пацієнта в підсистемі візуалізації реалізовано, однак оцінювання зручності інтерфейсу та сприйняття пояснень автоматизованих висновків кінцевими користувачами, зокрема лікарями, у дисертації не проводилося.

Зазначені зауваження та рекомендації не применшують значущості одержаних наукових результатів, а лише окреслюють аспекти, що можуть бути розвинуті в подальших дослідженнях.

Висновок про дисертацію.

Дисертація МАЦІЄВСЬКОГО Вадима Анатолійовича виконана на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням. Сукупність отриманих теоретичних і практичних результатів розв'язує актуальне науково-прикладне завдання у сфері інженерії програмного забезпечення – розроблення моделі, методів, алгоритмів та програмного забезпечення опрацювання біомедичних показників, отриманих від гетерогенних джерел даних. Тему дисертації розкрито в повному обсязі, визначені завдання розв'язано, мету дослідження досягнуто, представлено нові наукові результати.

Зважаючи на актуальність, наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, їх обґрунтованість і достовірність, дисертація МАЦІЄВСЬКОГО Вадима Анатолійовича на тему «Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників» повністю відповідає вимогам «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), а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

Проректор з науково-педагогічної роботи
та цифрової трансформації
Державного університету
«Житомирська політехніка»
кандидат технічних наук, доцент

«28» 10 2026 року Андрій МОРОЗОВ