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

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента,
завідувача кафедри комп'ютерної інженерії та штучного інтелекту
Державного університету «Житомирська політехніка»
ЛОБАНЧИКОВОЇ Надії Миколаївни
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. Сучасний розвиток інформаційних технологій у сфері охорони здоров'я характеризується активним впровадженням інтелектуальних програмних систем, технологій Інтернету медичних речей, засобів дистанційного моніторингу фізіологічного стану людини та систем підтримки прийняття клінічних рішень. Важливим завданням при цьому є забезпечення достовірного, оперативного та ефективного опрацювання значних обсягів біомедичних даних, що надходять із різнорідних джерел. Об'єднання таких даних в одній програмній системі створює низку інженерних проблем так як дані різняться частотою дискретизації, точністю перетворення та рівнем шумів, містять пропуски через втрати пакетів у бездротових каналах, а їх обробка має виконуватися з мінімальною затримкою, зокрема на пристроях з обмеженими ресурсами.

Особливої уваги потребує вимога до прозорості автоматизованих висновків. Для медичного програмного забезпечення недостатньо отримати точний прогноз, лікар має розуміти, на підставі яких ознак система дійшла того чи іншого висновку, а розробник – мати змогу перевірити кожен компонент системи окремо. Наявні рішення, у яких весь аналіз зосереджено всередині нейромережевої моделі, цим вимогам відповідають лише частково.

Тому вважаю, що тема дисертації «Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників», що спрямована на розробку методів і програмних засобів, які

поєднують стійкість до неоднорідності джерел даних, придатність до потокової обробки та роз'яснення висновків, є актуальною та своєчасною.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Дисертація має логічну структуру, у якій послідовно викладено розв'язання поставлених завдань у відповідних підрозділах, а результати відображено у висновках до розділів і в загальних висновках. Наукові положення, винесені на захист, логічно пов'язані з метою та завданнями дослідження, мають достатнє теоретичне обґрунтування та підтверджені експериментальними результатами.

Дисертація виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» (державні реєстраційні номери 0121U113293 та 0122U000973), що засвідчує її зв'язок із науковою тематикою закладу.

Досягнення поставленої мети забезпечено обґрунтованим вибором методів дослідження: формалізація фазового простору спирається на теорему Такенса, корекція відмінностей між джерелами на емпіричний байєсівський підхід, база знань підсистеми підтримки рішень на апарат логіки предикатів, а проєктування платформи – на мікросервісний підхід. Такий комплекс методів дав змогу сформулювати обґрунтовані висновки та підтвердити їх цінність для подальших досліджень і практичного застосування.

Достовірність результатів підтверджується формальним доведенням повноти та несуперечливості бази продукційних правил, узгодженістю аналітичної оцінки лінійної обчислювальної складності з результатами профілювання, статистичною обробкою результатів експериментів, а також високим рівнем покриття програмного коду автоматизованими тестами. Здобувач коректно окреслює межі застосовності отриманих результатів і напрями їх подальшої перевірки. Залучення достатнього кола наукових джерел, 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, яке присвячене розв'язанню важливої науково-технічної задачі достовірного та пояснюваного автоматизованого аналізу біомедичних показників у розподілених програмних комплексах, що отримують дані від різнотипних сенсорів. Дисертація містить як нові теоретичні результати, так

і практичне значення, реалізація яких підтверджена довідками про впровадження, що забезпечує повноту та завершеність наукового внеску.

До наукової новизни отриманих результатів слід віднести:

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 здатність до узагальнення 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 баєсівської корекції джерел в окремий мікросервіс етапу первинної обробки даних;

- розрахунок фазового коефіцієнту 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.

Отримані результати є науково обґрунтованими, мають теоретичну цінність і практичне значення.

Повнота опублікування основних положень дисертації. 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.

Кількість і якість публікацій відповідають вимогам до оприлюднення результатів дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Наукова новизна дисертації належним чином відображена у фахових публікаціях, а результати пройшли обговорення на міжнародних і всеукраїнських конференціях. Особистий внесок здобувача в колективні праці визначено у вступі до дисертації, і на захист виносяться результати, отримані ним самостійно.

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів і рекомендацій про їх використання. Теоретичні результати дисертації формують самостійний внесок у розвиток методів інженерії програмного забезпечення для систем біомедичного моніторингу. Зокрема, запропоновані фазові критерії розширюють набір ознак, придатних для автоматичної програмної інтерпретації біосигналів, а формалізований критерій підключення нового джерела даних задає вимогу до архітектури таких систем, що піддається верифікації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці програмних алгоритмів обчислення запропонованих фазових критеріїв, які функціонують у режимі потокової обробки; реалізованому хмарному мікросервісі предиктивного аналізу та декларативній базі знань діагностичної системи на основі продукційних експертних правил, що забезпечує інтерпретованість висновків штучного інтелекту; реалізованому програмному забезпеченні обробки біомедичних показників та проведеній серії 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, придатної для застосування в реальному часі.

Практичні результати, реалізовані у прототипі програмної платформи, пройшли апробацію у закладах охорони здоров'я Житомирської області (ТОВ «Медичний центр Асклепій Плюс», КУ «Обласна клінічна лікарня ім. О. Ф. Гербачевського» Житомирської обласної ради) та в освітньому процесі Державного університету «Житомирська політехніка».

Отримані рішення можуть бути рекомендовані для використання розробниками медичних інформаційних систем і систем дистанційного моніторингу, закладами охорони здоров'я, а також у навчальних дисциплінах, пов'язаних з проєктуванням програмного забезпечення та обробкою сигналів.

Оцінка структури дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, загальним обсягом 350 сторінок. 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 огляд проблематики програмних комплексів опрацювання біомедичних показників, проаналізовано вимоги до них, нормативне регулювання, особливості наявних платформ, а також лінійні, часово-частотні та нелінійні методи обробки біосигналів і алгоритми інтелектуальної діагностики. Результатом розділу є чітке формулювання невирішеної частини науково-технічної задачі.

Другий розділ являє собою виклад запропонованих моделей і методів первинної обробки та гармонізації даних, формування простору ознак на основі фазового портрета біосигналу, гібридного алгоритму діагностики з базою продукційних правил та узагальненої моделі апаратно-інваріантного конвеєра.

Третій розділ завершує цикл практичною реалізацією, містить архітектуру платформи, обґрунтування інструментальних засобів, алгоритми та опис програмної реалізації, а також результати експериментальної перевірки розроблених методів і профілювання обчислювального ядра.

Така структура забезпечує послідовний перехід від постановки наукової задачі до її програмно-алгоритмічного розв'язання та перевірки отриманих результатів.

Мова та стиль викладення результатів. Мова та стиль викладення матеріалу дисертації відповідають вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня. Дисертація написана українською мовою з використанням сучасної науково-технічної термінології у галузі

інформаційних технологій та інженерії програмного забезпечення. Матеріал викладено логічно, послідовно та аргументовано, із чітким дотриманням причинно-наслідкових зв’язків між поставленим науковим завданням, запропонованими методами та отриманими результатами. Текст характеризується достатнім рівнем наукової обґрунтованості, коректним використанням спеціалізованих термінів, математичного апарату. Оформлення дисертації, структура розділів, таблиць, рисунків і додатків загалом відповідають встановленим вимогам до дисертацій.

Дотримання принципів академічної доброчесності. Аналіз змісту дисертації, характеру викладення матеріалу, наукових результатів, наведених посилань на джерела інформації та публікації автора, дає підстави стверджувати, що дисертація виконана самостійно та відповідає принципам академічної доброчесності. Аналіз наведено звіту подібності, сформованого програмою StrikePlagiarism, не виявив ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації. Текстові та ілюстративні запозичення супроводжуються коректними посиланнями на джерела. Використання засобів штучного інтелекту здобувач задекларував у вступі.

Таким чином, дисертація МАЦІЄВСЬКОГО Вадима Анатолійовича відповідає вимогам академічної доброчесності, встановленим законодавством України та нормативними документами у сфері вищої освіти і наукової діяльності.

Недоліки та зауваження до дисертації. Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертації, доцільно висловити окремі дискусійні зауваження та рекомендації:

1. У підрозділі 3.3 дисертаційної роботи наведено результати експериментальної оцінки розроблених методів формування ознак, зокрема критеріїв IDA та NFD. Водночас оцінювання їх внеску в точність класифікації критичних станів здійснювалося на синтетичній вибірці. На нашу думку, доцільним було б розширити експериментальні дослідження з використанням клінічно розмічених даних реальних пацієнтів, що дозволило б більш переконливо обґрунтувати діагностичну цінність запропонованих критеріїв.

2. Аналіз стану проблеми ґрунтується переважно на зарубіжних джерелах, зокрема з 153 використаних джерел лише 10 є вітчизняними, а у вступі під час огляду попередніх досліджень згадано лише праці зарубіжних учених. Напрацювання українських наукових шкіл у галузі обробки біомедичних сигналів і медичних інформаційних систем висвітлено недостатньо.

3. Мікросервісну архітектуру платформи з асинхронною взаємодією сервісів через брокер повідомлень обґрунтовано зокрема вимогами

масштабованості, однак експериментально досліджено пропускну здатність лише одного периферійного вузла. Поведінку хмарного рівня за одночасного обслуговування великої кількості пацієнтів і можливості його горизонтального масштабування в роботі не оцінено.

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 на тему «Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні з дотриманням принципів академічної доброчесності. Отримані в ній теоретичні та практичні результати в сукупності розв'язують актуальне науково-прикладне завдання у сфері інженерії програмного забезпечення, пов'язане з опрацюванням біомедичних показників від гетерогенних джерел даних. Мету дослідження досягнуто, поставлені завдання розв'язано, тему розкрито повністю.

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» 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:
завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії
та штучного інтелекту Державного університету
«Житомирська політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент Надія ЛОБАНЧИКОВА

Підпис Надії Лобанчикової
Засвідчую:
Учений секретар
Житомирська політехніка
Оксана Войтович

Міністерство освіти і науки України * Державний університет «Житомирська політехніка» * ідентифікаційний код 05407870 * Україна * м.Житомир