

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Гончарова Дениса Сергійовича** на тему **«Моделі та методи побудови спеціалізованих систем моніторингу стану здоров'я людини»**, представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дисертації

Сучасний етап розвитку медицини характеризується переходом від епізодичних вимірювань до безперервного дистанційного моніторингу стану пацієнта, що спирається на кіберфізичні системи, Інтернет медичних речей, розподілені сервіси збору та обробки даних, а також інструменти інтелектуального аналізу. За таких умов особливої ваги набувають питання організації повного циклу роботи з гетерогенними біомедичними даними: від їх реєстрації, попередньої обробки й контролю якості до зменшення розмірності, передавання, безвратного стиснення та побудови інтерпретованих діагностичних рішень. Саме така постановка задачі відповідає сучасним потребам телемедицини та спеціалізованих систем моніторингу здоров'я.

Актуальність теми додатково зумовлена тим, що периферійні вузли ІоМТ-систем зазвичай працюють в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, пропускну здатності каналу зв'язку та енергоспоживання. Тому особливо важливою є розробка таких моделей і методів, які дозволяють зменшити обсяг даних і складність їх обробки без втрати діагностично значущої інформації. У дисертації ця проблема вирішується комплексно: через багаторівневу архітектуру системи, ранжування інформативних ознак, редукцію простору ознак, використання інтерпретованих моделей WEKA та безвратне стиснення медичних зображень із можливістю апаратного прискорення на FPGA.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є безперечно актуальною як у науковому, так і в прикладному аспектах, а її результати мають істотне значення для розвитку спеціалізованих систем моніторингу стану здоров'я людини, телемедичних сервісів та комп'ютерної інженерії загалом.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) **вперше запропоновано** концептуальну модель багаторівневої системи моніторингу стану здоров'я людини, яка, на відміну від монолітних і базорієнтованих підходів, поєднує рівні подання, прикладної логіки та даних, забезпечує балансування навантаження і паралельне опрацювання запитів від ІоМТ-пристроїв; це дало змогу зменшити частку відмов, що підвищує надійність централізованого збору даних;

2) **вперше запропоновано** метод попередньої оцінки цінності набору WBCD для первинного скринінгу, який на відміну від відомих поєднує ранжування 9 біомаркерів за 8 оцінювачами. Атрибути статистично поділено на 3 групи релевантності: високі, середні і низькі при значущості 95 %, що дало можливість збільшення виявлення кількості викидів до 10,34 %, для класу «patient» до 14,06 %;

3) **удосконалено** модель інтерпретованого діагностичного рішення на основі дерева J48 для набору WBCD, яка, на відміну від повного дерева, будується на скороченому наборі релевантних атрибутів, та забезпечує зменшення структурної складності дерева на 43,5 % за вузлами і 41,7 % за листами, що підвищує зручність інтерпретації результатів;

4) **набув подальшого розвитку** метод скорочення вимірності для WBCD, який на відміну від відомих передбачає послідовне застосування стандартизації, відбору ознак та PCA-перетворення, що дало можливість зменшити розмірність на 86,7 % зі збереженням 91 % варіативності даних.

Наукові положення дисертації є достатньо обґрунтованими. Для досягнення поставленої мети автор застосував методи системного аналізу, побудови багаторівневих ІоМТ-моделей, методи підготовки і структуризації даних, відбору ознак, машинного та глибокого навчання, кластеризації в середовищі WEKA, а також статистичні методи оцінювання якості, зокрема крос-валідацію, ROC і PRC-аналіз, коефіцієнт кореляції Метьюса та показники узгодженості кластерів. Це свідчить про методологічну цілісність і належний науковий рівень роботи.

Достовірність отриманих результатів підтверджується тим, що вони базуються на відомих наборах даних, відтворюваних процедурах аналізу, інтерпретованих моделях, а також на практичній апробації у багаторівневому контурі. Практична частина роботи охоплює не лише моделі інтелектуального аналізу, а й програмно-апаратні аспекти – зокрема використання JPEG-LS та FPGA, що підсилює прикладну вагу дослідження.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Гончарова Д. С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми доктора філософії. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Інформаційні технології».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Гончарова Дениса Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Результати досліджень викладені послідовно та лаконічно, що дозволяє читачеві легко розібратися у методології та отриманих висновках. Автор використовує доступний стиль мовлення, що сприяє зрозумінню матеріалу. Використання загальноприйнятої термінології забезпечує консистентність і точність викладення інформації, що є важливим фактором для наукових досліджень.

У вступі розкрито актуальність теми дослідження, приведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено мету і завдання дослідження, моделі та методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, кількість публікацій та обсяг роботи, що відповідає загальноприйнятій структурі дисертаційної роботи.

Скорочений опис розділів дисертації

У першому розділі проаналізовано теоретико-методичні засади побудови систем моніторингу стану здоров'я людини. Автор розглядає архітектурні підходи до побудови таких систем, моделі інтеграції WEKA до інформаційних систем моніторингу, особливості наборів даних для задач машинного навчання і діагностики раку молочної залози, а також вимоги до спеціалізованих систем моніторингу, зокрема у частині безвтратного стиснення медичних зображень та

можливостей використання FPGA як периферійного обчислювального вузла. Розділ створює належне теоретичне підґрунтя для подальшого обґрунтування запропонованої багаторівневої архітектури системи моніторингу.

Другий розділ присвячено концептуальним моделям та методам інтелектуального аналізу даних у медичному моніторингу. У ньому систематизовано математичний апарат моделювання фізіологічних процесів, розглянуто підготовку інформативних ознак для машинного навчання, радіомічну екстракцію ознак, а також сучасні підходи до класифікації, кластеризації, виявлення аномалій, пояснюваного штучного інтелекту та федеративного навчання в розподілених сценаріях. Розділ формує концептуальну основу дисертації та методичне підґрунтя для подальшої практичної реалізації моделей і методів у середовищі WEKA.

У третьому розділі наведено практичну реалізацію моделей і методів інтелектуального аналізу даних із використанням WEKA в контурі багаторівневої системи моніторингу. Саме в цьому розділі реалізовано метод інтеграції WEKA через Django ORM і формат ARFF, метод попередньої оцінки цінності набору CBCD, метод скорочення вимірності набору WBCD із формуванням $ds1-ds3$, а також побудовано інтерпретовану діагностичну модель на основі дерева рішень J48. Отримані результати мають безпосереднє відношення до наукової новизни роботи: атрибути набору CBCD статистично поділено на 3 групи релевантності при значущості 95 %, що дало змогу виявляти викиди до 10,34 %, а для класу «patient» — до 14,06 %; для набору WBCD запропонований метод скорочення вимірності забезпечив зменшення розмірності на 86,7 % зі збереженням 91 % варіативності даних; удосконалена модель J48 дала змогу зменшити структурну складність дерева рішень на 43,5 % за вузлами та на 41,7 % за листами. Саме цей розділ найбільш повно відображає основні кількісні результати дисертаційного дослідження.

У четвертому розділі дисертації наведено результати впровадження та експериментальної перевірки розробленої багаторівневої системи моніторингу стану здоров'я людини. Автором описано структуру рівня даних, модулі збору, попередньої обробки та серверної аналітики ІоМТ-даних, а також розглянуто програмно-апаратну реалізацію безвтратного стиснення медичних зображень, інтеграцію стиснених даних у контур інтелектуального аналізу та використання периферійного модуля на основі AD8232. Окрему увагу приділено експериментальній перевірці продуктивності системи, за результатами якої встановлено, що після виходу на робочий режим базова реалізація забезпечувала близько 296,9 запитів/с, тоді як багаторівнева архітектура – 316,2 запитів/с. Це дає підстави стверджувати про підвищення пропускну здатності запропонованої

архітектури на 8 %, що підтверджує її практичну ефективність і доцільність застосування в системах дистанційного медичного моніторингу.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 16 наукових публікаціях, з них 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі Scopus, у т. ч. 1 стаття – у науковому фаховому виданні України кат. А, яке віднесено до квартилю Q3 бази Scopus відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank (прирівнюється до двох наукових публікацій); 5 статей – у наукових фахових виданнях України кат. Б; 8 праць – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій (у т. ч. 1 тези проіндексовані у базі Scopus).

Здобувач продемонстрував високий науковий рівень у своїх публікаціях, який відображається в їхній актуальності, методичності та оригінальності, про що свідчить наявність трьох наукових публікацій у виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus. Здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності, представляючи результати своїх досліджень з чітким викладом джерел та відсутністю плагіату.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У другому розділі дисертації розглянуто широкий спектр сучасних підходів – від ансамблевих моделей і трансформерних архітектур до пояснюваного ШІ та федеративного навчання. Водночас в експериментальній частині основний акцент зосереджено на підходах WEKA, ранжуванні ознак, PCA та інтерпретованих моделях. У зв'язку з цим доцільно було б чіткіше відмежувати у тексті оглядові положення другого розділу від тих методів, які безпосередньо реалізовані та експериментально перевірені автором.

2. У роботі обґрунтовано вибір JPEG-LS та FPGA для використання в периферійному контурі системи моніторингу, а також наведено результати щодо коефіцієнта стиснення та доцільності такого вибору. Проте роботу посилює б більш розгорнуте порівняння з альтернативними підходами за однакових експериментальних умов – зокрема з іншими алгоритмами безвартного стиснення або іншими платформами периферійної реалізації.

3. Попри наявність у роботі оцінки метрологічних та експлуатаційних характеристик системи на реальних наборах даних і підтвердження працездатності периферійного модуля AD8232, подальше розширення валідації

на більш різномірні клінічні вибірки або незалежні медичні джерела даних могло б ще більше підсилити доказовість практичної ефективності запропонованих рішень.

4. У першому розділі та в окремих місцях дисертації використовується помітна кількість англомовних термінів на кшталт database-centric, client-server, distributed, edge, що загалом є зрозумілим у межах ІТ-тематики, однак у тексті кваліфікаційної праці українською мовою бажаною була б ще послідовніша термінологічна уніфікація та подання українських відповідників.

5. Практична частина дисертації переконливо демонструє значення контролю якості даних, обробки викидів, редукції ознак та використання інтерпретованих моделей. Разом з тим задля ще більшої прикладної цінності для медичної практики доцільно було б розширити обговорення клінічної інтерпретації окремих метрик якості моделей і меж їх застосовності під час прийняття рішень у реальному моніторинговому середовищі.

Підводячи підсумок критичного розгляду матеріалів дисертаційної роботи, зазначу, що більшість зауважень, як видно із відгуку, торкається формальної чи технічної сторони оформлення роботи.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Гончарова Дениса Сергійовича на тему «Моделі та методи побудови спеціалізованих систем моніторингу стану здоров'я людини» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує прикладне наукове завдання, що має істотне значення для галузі комп'ютерної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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.

Здобувач Гончаров Денис Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент

в.о. декана факультету комп'ютерних наук і технологій Національного університету «Запорізька політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент

Марія ТЯГУНОВА