

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора, завідувачки кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили

Журавської Ірини Миколаївни

на дисертаційну роботу

Дарнапука Євгена Сергійовича

на тему «Методи та засоби обробки медичних сигналів для підвищення ефективності діагностичних систем»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дослідження

Розвиток технологій та методів комп'ютерної інженерії у сфері обробки медичних сигналів набуває все більшого значення в контексті трансформації сучасної системи охорони здоров'я. Застосування інженерних рішень у цифровій обробці медичних даних забезпечує підвищення точності діагностики за рахунок зниження рівня шумів, автоматичного виявлення аномальних та патологічних змін, а також впровадження алгоритмів машинного навчання для раннього виявлення захворювань. Такий підхід дозволяє не лише прискорити процес діагностування, а й адаптувати терапевтичні рішення відповідно до індивідуальних фізіологічних характеристик пацієнта. Окрім того, автоматизація рутинних клінічних завдань, таких як розшифрування ЕКГ чи аналіз медичних зображень, сприяє зменшенню ризику людських помилок і дозволяє лікарям зосередитися на складних клінічних випадках.

Подальше вдосконалення комп'ютерних засобів і методів обробки сигналів сприяє появі нових медичних технологій, здатних інтегруватися в існуючі системи охорони здоров'я. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення економічної ефективності лікувального процесу завдяки ранній діагностиці, скороченню тривалості перебування пацієнтів у медичних закладах, а також впровадженню віддаленого моніторингу стану здоров'я, що набуває особливої актуальності в умовах обмежених ресурсів або підвищеного епідеміологічного ризику.

Цифрові комп'ютерні технології та обробка медичних сигналів – це основа сучасної діагностики, лікування та профілактики захворювань. Їх розвиток безпосередньо впливає на якість та доступність медичної допомоги. Тому ця робота, у якій розглядаються комп'ютерні методи та комп'ютерні засоби обробки медичних сигналів є актуальною та важливою.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Матеріали дисертаційного дослідження увійшли у заключний звіт з науково-дослідної роботи (НДР) «Розробка апаратно-програмного комплексу неінвазійного моніторингу тиску крові та частоти серцевих скорочень подвійного призначення» (№ ДР 0120U101266, 2020–2021 рр.), що фінансувалася з коштів державного бюджету. Наразі здобувач здійснює впровадження отриманих результатів власних досліджень як відповідальний виконавець НДР «Інженерія даних як процеси виявлення, збору, реєстрації та подальшої обробки даних в рамках побудови апаратно-програмної інфраструктури даних» (№ ДР 0125U000904, 2022–2029 рр.).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) **вперше запропоновано** семантичну модель походження медичних даних (Data provenance), в якій IoT-пристрої, що надсилають інформацію з сенсорів до основної системи обробки, можна розглядати як основне джерело даних для контролю, що дозволяє отримувати верифіковані медичні дані пацієнтів у відповідності до онтологій та правил для їх обробки та візуалізації, використовуючи метод головних компонент, метод наближення до еліпсу, рекурентні графіки та графіки Пуанкаре, та надає можливість спеціалістам приймати клінічні рішення;

2) **набули подальшого розвитку** метод рекурентного аналізу та обробки коротких серій медичних сигналів, що, на відміну від традиційних методів

оцінки варіабельності за середніми значеннями, дозволяє ідентифікувати перехідні стани фізіологічних процесів із точністю 92 %, зменшити вплив шумів на 30 % та прогнозувати циркадні коливання із похибкою менше ніж 2 %;

3) **удосконалено** метод оцінки варіабельності SpO_2 , зокрема, шляхом застосування міжквартильного діапазону (IQR) як надійного статистичного показника, що демонструє більшу стійкість до викидів у порівнянні зі стандартним відхиленням, допускаючи до 12 % викидів без спотворення статистичних оцінок;

4) **вперше запропоновано** метод диференціального аналізу сигналів оксигенації, який враховує довжину інтервалів між перемиканнями рівня SaO_2 та їхній статистичний розподіл за законами Ерланга та Пуассона, що, на відміну від традиційних методів аналізу середніх значень, дозволяє збільшити точність оцінки динаміки змін оксигенації на 18–25 % та прогнозувати кількість перемикань рівня сатурації з похибкою не більше ніж 10 %;

5) **вперше** доведено фрактальну природу сигналів щодо оксигенації артеріальної крові і вказано одновимірний фрактал – часові позиції змін рівня сатурації, – що в подальшому надає можливість зменшення частоти вимірів показників артеріальної крові максимум до $2^8 = 256$ разів без втрати їх точності.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що викладені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, а отримані результати досліджень узгоджуються з вже відомими та є їх подальшим розвитком.

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 Дарнапука Є. С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, затвердженого наказом МОНУ від 25.05.2022 № 482, та предметній області відповідної освітньо-наукової програми ЧНУ ім. Петра Могили. Дисертаційна робота є завершеною

науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у галузь знань 12 Інформаційні технології.

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

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Основний зміст роботи викладено на 159 сторінках друкованого тексту, містить 41 рисунок та 11 таблиць. Список використаних джерел містить 178 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 173 сторінки.

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.

Скорочений опис розділів дисертації

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану методів цифрової обробки медичних сигналів, які застосовуються для покращення діагностичних можливостей медичних систем. У ньому проаналізовано існуючі методи фільтрації шумів, такі як адаптивні фільтри, вейвлет-фільтрація та спектральні методи. Окрему увагу приділено алгоритмам вилучення характерних ознак із сигналів та їхньому застосуванню в автоматизованих системах медичної діагностики. Проведено порівняльний аналіз методів класифікації патологічних станів, серед яких розглянуто нейронні мережі, метод опорних векторів та ансамблеві алгоритми.

Недостатньо дослідженими залишаються принципи побудови медичних кіберфізичних систем, які є одним з об'єктів вивчення та діяльності для спеціалістів комп'ютерної інженерії.

Другий розділ присвячено розробці та реалізації нових методів обробки медичних сигналів, зокрема із застосуванням технологій Інтернету речей (IoT) та конфігурованих апаратних рішень. У роботі досліджено методи управління походженням медичних даних та їхню інтеграцію в сучасні цифрові діагностичні системи. Запропоновано стандартизовані підходи до семантичного аналізу потоків даних, що підвищує їхню точність та відповідність вимогам сучасних медичних протоколів. Вирішена задача формування, збереження та обробки великих масивів медичних сигналів із дотриманням вимог до якості та точності аналізу. Значну увагу приділено можливостям підключення сенсорних систем до діагностичних комплексів та організації їх ефективної взаємодії.

Окремо досліджено використання FPGA-пристроїв для адаптивного управління сенсорною обробкою в реальному часі. Розроблено конфігуровані моделі підключення сенсорів, що дозволяють масштабувати систему залежно від вимог медичного моніторингу. Запропоновано методи автоматизованого налаштування параметрів обробки сигналів на апаратному рівні, що дозволяє забезпечити оптимальне використання обчислювальних ресурсів та підвищити ефективність діагностичних процедур. Окрему увагу приділено використанню вейвлет-фільтрації, зокрема вейвлетів Хаара, для цифрової обробки медичних сигналів. Виконано перетворення оригінальних рядів за допомогою вейвлетів із поділом на низькочастотні та високочастотні складові, що дозволило виділити значущі діагностичні ознаки. Розглянуто цифрові фільтри Хаара, які дозволяють адаптивно налаштовувати частотні характеристики сигналів, що підвищує точність виявлення патологій.

Третій розділ присвячений реалізації вдосконалених методів рекурентного аналізу, аналізу варіабельності та графіків Пуанкаре для обробки та візуалізації медичних сигналів. Досліджено ефективність рекурентних графіків для амбулаторного моніторингу артеріального тиску, що дозволило

оптимізувати вибір параметрів аналізу та зменшити вплив шумів на 30 %. Запропоновано нову методику аналізу сигналів амбулаторного моніторингу тиску крові (АМТК) з використанням зсуву вікна, що дозволяє виявляти циркадні коливання з похибкою прогнозування менше ніж 2 %. Розроблено метод оцінки графіків Пуанкаре на основі ентропії Шеннона, що дає можливість ідентифікувати перехідні стани фізіологічних процесів із точністю 92 %. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих підходів у порівнянні з традиційними методами аналізу медичних сигналів.

Четвертий розділ присвячений дослідженню методів обробки рівня оксигенації крові пацієнтів, зокрема аналізу сигналів SpO_2 та SaO_2 . Запропоновано вдосконалений підхід до оцінки варіабельності SpO_2 шляхом використання міжквартильного діапазону (IQR), що забезпечує стійкість до викидів, допускаючи до 12 % аномальних значень без спотворення оцінок. Реалізовано метод диференціального аналізу сигналів оксигенації, що враховує довжину інтервалів між перемиканнями рівня SaO_2 та їхній статистичний розподіл за законами Ерланга та Пуассона. Це дозволяє підвищити точність оцінки динаміки змін оксигенації на 18–25 % та прогнозувати кількість перемикань рівня сатурації з похибкою не більше ніж 10 %. Також встановлено негативну кореляцію ($-0,86$) між коефіцієнтом рекурентності (RR) та показниками варіабельності, що підтверджує доцільність використання рекурентного аналізу для оцінки стабільності кисневої сатурації.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 17 наукових публікаціях, з них 4 статті – у наукових фахових виданнях України кат. А, які також проіндексовані у наукометричній базі Scopus та видання яких віднесені до першого – третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 7 праць – у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій, проіндексованих у наукометричній базі Scopus. Додатково відображають наукові результати дисертації 1 стаття – в зарубіжному періодичному науковому

виданні; 3 колективні монографії (дві з них англійською мовою), 1 навчальний посібник та 1 датасет у репозиторії Mendeley Data.

Здобувач продемонстрував високий науковий рівень у своїх публікаціях, який відображається в їхній актуальності, методичності та оригінальності, про що свідчить наявність трьох наукових статей у виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus. Здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності, представляючи результати своїх досліджень з чітким викладенням 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. Графіки, що відображають залежності коефіцієнтів повторення та ентропії (с. 94), не мають назв осей українською мовою. Це суперечить вимогам до оформлення звітів у сфері науки і техніки.

2. В тексті роботи використовуються маловживані в комп'ютерній інженерії вирази, наприклад, «кноідальні хвилі» (с. 80), «циркадні ритми» (с. 89), без пояснень їхнього значення та відмінності значень.

3. Частина елементів розробленої семантичної моделі походження медичних даних можуть бути реалізовані за допомогою сервісів хмарних обчислень, але в роботі не вказано, за допомогою яких саме сервісів можна їх реалізувати.

4. Мета та результати дисертації не повною мірою охоплюють всю ширину заявленої теми, що стосується проєктування програмно-апаратних систем для обробки медичних сигналів. У роботі переважає математико-статистичний підхід, тоді як технічна реалізація (зокрема програмно-апаратна платформа) розкрита лише частково.

5. У дисертації зустрічаються стилістичні помилки, тавтології та неточності в окремих реченнях.

Висловлені зауваження та рекомендації не є визначальними і не зменшують наукову новизну та практичну значимість результатів, тому не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

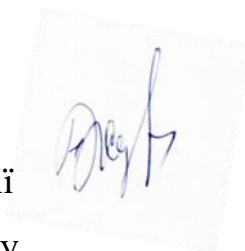
Незважаючи на приведені зауваження та недоліки, дисертація є завершеним науковим дослідженням, що виконано здобувачем на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для комп'ютерної інженерії. В роботі отримано наукові результати, що мають наукову новизну та практичне значення.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Дарнапука Євгена Сергійовича на тему «Методи та засоби обробки медичних сигналів для підвищення ефективності діагностичних систем» за актуальністю, практичним значенням та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 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.

З врахуванням вищевикладеного, вважаю, що Дарнапук Євген Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Рецензент

доктор технічних наук, професор,
завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії
Чорноморського національного університету
ім. Петра Могили



Ірина ЖУРАВСЬКА