

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н., професору Пастуху Олегу Анатолійовичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Олійника Андрія Олександровича

на дисертаційну роботу

Біщака Дмитра Сергійовича

«Методи та програмні засоби мультимодального аналізу когнітивно-моторних
сигналів»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена стрімким розвитком цифрових методів аналізу біомедичних сигналів та зростанням потреби у створенні сучасних програмних систем для дослідження неврологічних порушень. Одним із найбільш складних напрямів сучасної нейродіагностики є аналіз когнітивно-моторних взаємодій, що потребує обробки мультимодальних даних різної фізіологічної природи, зокрема електроенцефалографічних та графомоторних сигналів.

Особливу актуальність дана проблема має у задачах оцінювання тремору при хворобі Паркінсона та інших нейродегенеративних захворюваннях. Тремор є одним із основних моторних симптомів, який суттєво впливає на якість життя пацієнтів і характеризується складною часовою та спектральною структурою. Водночас сучасна клінічна практика значною мірою базується на суб'єктивному оцінюванні стану пацієнта із використанням клінічних шкал, що не завжди забезпечує достатню точність, відтворюваність та об'єктивність результатів.

Розвиток цифрових засобів реєстрації біомедичних сигналів відкриває нові можливості для кількісного аналізу моторних і нейрофізіологічних процесів. Електроенцефалографія дозволяє досліджувати електрофізіологічну активність кори головного мозку з високою часовою роздільною здатністю, тоді як сучасні графічні планшети забезпечують точну реєстрацію графомоторної активності у вигляді цифрових часових рядів. Це створює передумови для побудови інтегрованих інформаційних технологій мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів.

Разом з тим, аналіз сучасних наукових досліджень показує, що більшість існуючих підходів орієнтовані переважно на ізольований аналіз окремих типів

сигналів – або ЕЕГ, або моторної активності. Недостатньо дослідженими залишаються питання формалізації взаємозв'язків між електрофізіологічною активністю мозку та параметрами тремору, інтегрованого використання часових зсувів і крос-кореляційних залежностей, а також створення узагальнених метрик для оцінювання структурної організації тремору.

Крім того, існуючі програмні рішення часто не забезпечують модульності, масштабованості та відтворюваності обчислювальних експериментів, а також не підтримують повноцінної інтеграції мультимодальних даних у межах єдиного програмного середовища. Особливої актуальності набуває розроблення програмних платформ, здатних забезпечити синхронізацію, узгоджену обробку, аналіз та масштабовану обчислювальну інфраструктуру для мультимодальних когнітивно-моторних сигналів.

У зв'язку з цим створення методів та програмних засобів мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів, орієнтованих на формалізований, синхронізований та відтворюваний аналіз даних, є актуальним науково-прикладним завданням сучасної інженерії програмного забезпечення, медичної інформатики та цифрової нейродіагностики.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Основні результати дисертаційного дослідження, отримані автором самостійно, характеризуються науковою новизною та мають важливе теоретичне і практичне значення.

Вперше:

– запропоновано архітектурний підхід до побудови програмних систем мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів, який базується на модульному розділенні процесів збору, синхронізації, обробки та аналізу даних і реалізований у вигляді програмного фреймворку, що забезпечує відтворюваність експериментів, трасованість обчислень та масштабованість обробки даних;

– розроблено модель взаємозв'язку між ЕЕГ-сигналами та графомоторною активністю, представленою показником ΔR як узагальненим представленням моторного сигналу, яка базується на крос-кореляційному аналізі з урахуванням часових зсувів та дозволяє кількісно оцінювати когнітивно-моторну взаємодію;

– запропоновано інтегральну спектральну метрику – індекс синусоїдальності, що визначається на основі спектрального аналізу крос-кореляційних залежностей між ЕЕГ та ΔR -сигналами і забезпечує кількісне оцінювання структурної організації тремору, рівня його сфокусованості та регулярності осциляцій.

Набули подальшого розвитку:

– методи аналізу графомоторних та ЕЕГ-сигналів, які базуються на використанні спіральних траєкторій, показника радіального відхилення ΔR та спектрального аналізу, шляхом їх узгодженого застосування в єдиному

обчислювальному процесі, що дозволило підвищити інформативність оцінювання моторної активності та покращити ознаки класифікації типів тремору;

– програмні засоби синхронізації, спектрального та кореляційного аналізу мультимодальних ЕЕГ і графомоторних даних, що реалізовані у єдиному програмному фреймворку, що забезпечило узгоджене виконання обчислювальних процедур, відтворюваність результатів та масштабованість обробки даних.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні моделей, метрик та програмних засобів мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів, які розширюють підходи до цифрового аналізу тремору та створюють основу для побудови сучасних інформаційних систем підтримки діагностики неврологічних порушень.

Ступінь обґрунтованості та достовірності результатів дослідження

Отримані у дисертаційній роботі результати є достатньо обґрунтованими та підтверджуються використанням сучасних методів аналізу мультимодальних сигналів, математичного моделювання та програмної реалізації інформаційної технології мультимодального аналізу. Достовірність результатів підтверджується експериментальною перевіркою на реальних анонімізованих даних ЕЕГ- та графомоторних сигналів, а також узгодженістю отриманих висновків із результатами проведених досліджень.

Позитивною рисою роботи є послідовний зв'язок між поставленими завданнями, запропонованими методами та отриманими результатами, що забезпечує належний рівень обґрунтованості основних наукових положень дисертації.

Практична цінність одержаних результатів

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у створенні програмних засобів мультимодального аналізу ЕЕГ- та графомоторних сигналів для задач цифрової оцінки тремору та дослідження когнітивно-моторних взаємодій. Запропоновані методи й програмні рішення дозволяють виконувати формалізований аналіз часових, спектральних і кореляційних характеристик мультимодальних сигналів та забезпечують об'єктивне кількісне оцінювання моторних порушень.

Автором реалізовано модульний програмний фреймворк, орієнтований на повний цикл роботи з мультимодальними даними – від синхронізації та попередньої обробки сигналів до формування ознак, візуалізації та аналізу результатів. Важливою перевагою роботи є орієнтація архітектури на масштабованість, розширюваність та інтеграцію із зовнішніми інформаційними системами, включаючи телемедичні платформи та системи дистанційного моніторингу.

Практичний інтерес становить також можливість подальшого розвитку запропонованого підходу шляхом інтеграції ML-модулів, нових метрик аналізу та додаткових джерел біомедичних даних без зміни базової логіки системи. Це

створює основу для використання отриманих результатів у сучасних системах аналізу біосигналів та інтелектуальних медичних інформаційних технологіях.

Результати дослідження впроваджено у діяльність ТОВ «ФК Вітамін», а також використано у навчальному та науково-дослідному процесі Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи у наукових публікаціях.

Основні результати дисертаційного дослідження Біщака Д. С. належним чином висвітлені у наукових публікаціях автора. За тематикою дисертації опубліковано 10 наукових праць, серед яких стаття у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus, статті у фахових наукових виданнях України категорії Б, а також матеріали міжнародних наукових конференцій. Публікації охоплюють питання мультимодального аналізу ЕЕГ- та графомоторних сигналів, методів цифрової обробки даних, моделей когнітивно-моторної взаємодії та побудови програмних засобів аналізу сигналів.

Результати дисертації апробовані на міжнародних наукових конференціях, де обговорювалися теоретичні та прикладні аспекти мультимодального аналізу біомедичних сигналів, що підтверджує належний рівень наукової апробації роботи.

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

Дисертаційна робота Біщака Д. С. присвячена актуальній задачі мультимодального аналізу біомедичних сигналів для дослідження когнітивно-моторних взаємодій та кількісного оцінювання тремору і є цілісним та завершеним науковим дослідженням, у якому послідовно викладено результати аналізу предметної області, формалізації методів мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів, розроблення програмних засобів та експериментальної перевірки їх ефективності. Структура роботи є логічно побудованою та узгоджується з поставленою метою і сформульованими завданнями дослідження.

У вступі автором обґрунтовано актуальність тематики дослідження, визначено основні напрями роботи, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Визначено зв'язок роботи з науковими дослідженнями кафедри та наведено відомості про апробацію результатів.

Перший розділ присвячений аналізу сучасних методів і програмних систем обробки мультимодальних сигналів у задачах дослідження моторних порушень. Автором проаналізовано сучасні підходи до аналізу ЕЕГ-сигналів, графомоторної активності та методів синхронізації даних різної природи. На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність інтегрованого підходу до аналізу когнітивно-моторних сигналів.

У другому розділі запропоновано математичні моделі та методи аналізу мультимодальних даних. Автором досліджено частотні та часові характеристики тремору, розроблено підходи до крос-кореляційного аналізу ЕЕГ- та графомоторних сигналів, а також введено інтегральну метрику – індекс синусоїдальності. Важливим є те, що запропоновані методи орієнтовані на формалізований кількісний аналіз когнітивно-моторних взаємодій та можуть бути використані як основа для подальшого розвитку інтелектуальних методів аналізу біомедичних даних.

У третьому розділі описано архітектуру програмної платформи мультимодального аналізу сигналів та реалізацію програмного фреймворку. Реалізовані програмні модулі забезпечують виконання повного циклу обробки мультимодальних даних, включаючи синхронізацію, формування ознак, спектральний та кореляційний аналіз, візуалізацію результатів і підтримку API-взаємодії. Позитивною рисою роботи є орієнтація архітектури на масштабованість, розширюваність та інтеграцію із зовнішніми інформаційними системами.

У четвертому розділі наведено результати експериментальної перевірки запропонованих методів на реальних анонімізованих даних синхронної реєстрації ЕЕГ та графомоторних сигналів. Проведено аналіз функціональних станів до та після фармакологічної модуляції, досліджено часові зсуви та кореляційні залежності між ЕЕГ і моторною активністю. Результати експериментів підтверджують ефективність запропонованих підходів для задач аналізу та класифікації тремору.

Додатки містять допоміжні матеріали, необхідні для кращого розуміння та відтворення результатів дослідження, включаючи структури даних, описи методів аналізу сигналів, а також документи щодо впровадження результатів роботи. Це свідчить про належний рівень практичної апробації запропонованих методів і програмних засобів та підсилює прикладне значення дисертаційної роботи.

Загалом дисертаційна робота справляє позитивне враження, характеризується достатнім рівнем наукової обґрунтованості та демонструє поєднання сучасних підходів аналізу біомедичних даних, цифрової обробки сигналів і програмної реалізації систем мультимодального аналізу.

У роботі дотримано принципів академічної доброчесності. Використані наукові положення, результати та ідеї інших авторів супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела. Під час аналізу дисертації ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів не виявлено.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота викладена українською мовою у науковому стилі. Матеріал подано послідовно та достатньо аргументовано, із використанням сучасної термінології у галузі програмної інженерії, цифрової обробки сигналів та медичної інформатики. Результати дослідження сформульовані коректно, а наведені пояснення, рисунки та таблиці сприяють цілісному сприйняттю основних положень дисертації.

Зміст дисертаційної роботи, її наукові положення та отримані результати узгоджуються з предметною областю спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Позитивною рисою дисертаційної роботи є поєднання методів цифрової обробки сигналів, аналізу мультимодальних даних та програмної реалізації інформаційної технології мультимодального аналізу, що визначає її актуальність і науково-практичну цінність. Разом із тим окремі положення роботи можуть бути предметом дискусії або становити перспективу для подальших досліджень:

1. У дисертації запропоновано інтерпретований підхід до аналізу когнітивно-моторних взаємодій на основі крос-кореляційного аналізу та спектральних характеристик, однак порівняння отриманих результатів із сучасними ML-підходами до аналізу біомедичних сигналів представлено обмежено.

2. Автором обґрунтовано використання індексу синусоїдальності як інтегральної характеристики тремору, проте доцільним було б провести його додаткову перевірку на ширшій вибірці даних та в різних функціональних станах пацієнтів.

3. У роботі основна увага приділена ЕЕГ- та графомоторним сигналам, тоді як питання інтеграції інших типів біомедичних або сенсорних даних лише окреслено як перспективний напрям подальших досліджень.

4. Перспективним напрямом розвитку запропонованої інформаційної технології могло б бути розширення системи шляхом інтеграції методів машинного навчання для автоматизованого налаштування параметрів аналізу та підтримки прийняття рішень.

5. У тексті дисертації трапляються окремі стилістичні повтори та дещо перевантажені теоретичні формулювання. У роботі наявні окремі редакційні неточності та незначні недоліки оформлення, зокрема поодинокі пропуски нумерації, які не впливають на наукову цінність дисертації.

6. У дисертації лише частково розглянуто аспекти захисту медичних даних та безпечної інтеграції із зовнішніми інформаційними системами, що є важливим для практичного використання сучасних інтелектуальних медичних технологій.

Перспективним виглядає проведення додаткової експериментальної перевірки запропонованих методів на ширших наборах мультимодальних даних, у тому числі з використанням відкритих дослідницьких наборів даних.

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, її наукову новизну та практичне значення.

Висновок про дисертаційну роботу.

Представлена дисертаційна робота Біщака Дмитра Сергійовича на тему «Методи та програмні засоби мультимодального аналізу когнітивно-моторних

сигналів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, присвяченою розв'язанню актуальної задачі аналізу мультимодальних біомедичних сигналів для дослідження тремору та когнітивно-моторних взаємодій. У роботі запропоновано підходи до інтегрованого аналізу ЕЕГ- та графомоторних даних, розроблено моделі та метрики для кількісного оцінювання характеристик тремору, що має важливе значення для розвитку сучасних методів цифрової нейродіагностики та інтелектуального аналізу медичних даних.

Отримані в дисертації наукові результати, використані методи дослідження та зміст роботи відповідають спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Результати дослідження охоплюють сучасні напрями цифрової обробки сигналів, аналізу даних, моделювання когнітивно-моторних процесів та створення програмних систем для роботи з мультимодальними біомедичними даними. Робота демонструє міждисциплінарний підхід на перетині програмної інженерії, комп'ютерних наук та медичної інформатики.

На підставі аналізу змісту дисертації, рівня наукових результатів та їх практичного значення можна зробити висновок, що дисертаційна робота «Методи та програмні засоби мультимодального аналізу когнітивно-моторних сигналів» відповідає вимогам чинних нормативних документів Міністерства освіти і науки України щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Бішак Дмитро Сергійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»

