

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Ліп'яніної-Гончаренко Христини Володимирівни,
доктора технічних наук, доцента кафедри інформаційно-обчислювальних
систем і управління Західноукраїнського національного університету
на дисертаційну роботу Кошутіної Дар'ї Валеріївни на тему:
**«Методи та моделі обробки і аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-
перетворення»,**
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»
у галузі знань 12 «Інформаційні технології»

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність обраної теми зумовлена розвитком інформаційних систем і зростанням обсягів даних, серед яких важливе місце посідають гетерогенні масиви. Одним із ключових викликів у цій сфері є скорочення часових і обчислювальних витрат на аналітичні операції за умови збереження належної достовірності та точності результатів. Саме обчислювальна ефективність, швидкодія і точність обробки значною мірою визначають якість функціонування сучасних систем аналізу інформації.

Дисертаційна робота Кошутіної Дар'ї Валеріївни, присвячена удосконаленню методів обробки й аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення, є актуальною. У роботі досліджено застосування вейвлет-перетворення Хаара та гіперболічних вейвлет-функцій, запропоновано модель MLP-KAN-WT і здійснено її апробацію в задачах класифікації ЕКГ-сигналів.

Дослідження виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка» в межах держбюджетних тем № 719-61/161 і № 1938, що додатково підтверджує його своєчасність і практичну спрямованість.

2. Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Для розв'язання поставлених у дисертаційній роботі завдань здобувачкою використано теорію цифрової обробки сигналів і розпізнавання образів, методи оптимізації, комп'ютерного зору та машинного навчання, а також математичний апарат статистичного й імітаційного моделювання. Теоретичні положення сформульовано на основі аналізу наукових джерел і послідовної постановки дослідницьких завдань.

Обґрунтованість основних наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректним застосуванням зазначеного математичного апарату, результатами обчислювальних експериментів і апробацією запропонованих рішень у кількох прикладних задачах. У цілому висновки відповідають наведеним у роботі результатам, хоча окремі аспекти експериментального протоколу потребують додаткового уточнення, про що зазначено нижче.

3. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність основних результатів дисертації підтверджується узгодженістю теоретичних положень із результатами обчислювальних

експериментів, порівняльним аналізом досліджуваних методів, апробацією на даних різної природи та практичним використанням окремих результатів, засвідченим наведеними в додатках актами і довідками про впровадження.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Основний науковий результат дисертаційної роботи полягає у розв'язанні важливої науково-практичної задачі удосконалення моделей та методів обробки та аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення в інформаційних системах різного прикладного призначення.

У межах виконаного дослідження одержано такі наукові результати:

– *удосконалено метод оптимізації на основі методу центрів з визначенням обмежень другого роду з ВП Хаара, що за рахунок скорочення кількості етапів обробки з ГВФ та скороченню кількості обчислень цільової функції (звернень до оракулу) дозволило підвищити швидкодію;*

– *удосконалено методи кластеризації за дисперсійною ознакою та з дрейфом центру кластера по лінійній траєкторії, особливістю яких є врахування обмежень у вигляді нерівностей та визначення належності образу до відповідного кластеру з допомогою ВФ, що завдяки скороченню кількості обчислень цільової функції (звернень до оракулу) дозволило підвищити швидкодії обчислень;*

– *удосконалено метод нейромережевої класифікації ГД на базі архітектури KAN шляхом застосування у вхідному шарі вейвлет-функцій, що дозволило підвищити точність ідентифікації станів об'єктів у зашумленому середовищі при мінімізації кількості налаштовуваних параметрів та зростанні швидкодії обчислень.*

Зазначені результати відповідають меті та завданням дисертаційного дослідження і визначають його наукову новизну.

5. Повнота викладення результатів у наукових публікаціях та дотримання академічної доброчесності

Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи апробовано, зокрема, на таких наукових конференціях:

– International Conference on Applied Innovations in IT 2024 (ICAII 2024) (м. Кетен, Німеччина, 2024 р.);

– X Міжнародній науково-практичній конференції «Інформатика. Культура. Техніка. 2024» (м. Одеса, Україна, 25–27 вересня 2024 р.);

– XII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ – Одеса – 2024)» (м. Одеса, Україна, 2024 р.);

– The 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (м. Глівіце, Польща, 2025 р.).

Основні результати дисертаційної роботи відображено у 15 публікаціях: чотирьох статтях у наукових фахових виданнях України категорії «Б» та 11 працях, що засвідчують апробацію результатів, серед яких публікації у матеріалах міжнародних конференцій і розділи колективних монографій. Чотири праці, що засвідчують апробацію результатів, проіндексовано у базі даних

Scopus; одна стаття є одноосібною. Наведений перелік свідчить про достатню повноту оприлюднення основних результатів дисертації.

За результатами ознайомлення з текстом дисертації та науковими публікаціями здобувачки ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації чи інших порушень академічної доброчесності не виявлено.

6. Аналіз змісту та форми дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність розв'язання завдань обробки й аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення за потреби підвищення швидкодії та зниження ресурсоємності. Визначено об'єкт, предмет, мету, завдання і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувачки.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи обробки й аналізу гетерогенних даних, отриманих на основі малих серій вимірювань. Проведено класифікацію даних і розглянуто обмеження їх отримання у дрібносерійному виробництві електроніки та медичній діагностиці. Показано, що наявні методи фільтрації, сегментації, ідентифікації та кластеризації на основі вейвлет-перетворення не завжди забезпечують необхідний рівень швидкодії та обчислювальної ефективності. Сформульовано науково-практичне завдання удосконалення методів обробки й аналізу малих наборів вимірювань за умов апріорної невизначеності. Запропоновано концептуальну модель оптимізації з вейвлет-перетворенням для обробки багатоекстремальних сигналів на основі кількісного ентропійно-інформаційного аналізу.

У другому розділі запропоновано удосконалені методи оптимізації, кластеризації та нейромережевої класифікації з використанням вейвлет-перетворення. Для підвищення швидкодії методу оптимізації на основі методу центрів скорочено кількість етапів обробки з гіперболічними вейвлет-функціями, що дало змогу зменшити кількість обчислень цільової функції та, за наведеними в роботі результатами, підвищити швидкодію в 1,7–2,8 рази.

На основі удосконаленого методу оптимізації розвинено методи кластеризації за дисперсійною ознакою та за умов дрейфу центру кластера за лінійною траєкторією з урахуванням обмежень у формі нерівностей, що забезпечило підвищення швидкодії обчислень.

Для підвищення точності класифікації запропоновано модель MLP-KAN-WT (Multilayer Perceptron with Kolmogorov-Arnold Layer and Wavelet Transform), у якій поєднано багат шаровий перцептрон, шар Колмогорова–Арнольда та вейвлет-обробку. Модель досліджено в задачі класифікації ЕКГ-сигналів; наведені результати свідчать про її високу точність, однак окремі числові показники та конфігурації потребують узгодження.

У третьому розділі розроблено та досліджено методи вейвлет-аналізу ЕКГ-сигналів. Удосконалено метод пошуку екстремумів багатоекстремальних нестационарних сигналів із використанням вейвлет-перетворення Хаара, який передбачає попередню обробку з вибором масштабу на основі ентропійно-інформаційного критерію, визначення координат піків і обчислення інтервалів між ними. Проведений аналіз підтвердив доцільність застосування

запропонованого критерію для вибору масштабу розкладання під час виявлення QRS-комплексів у сигналах ЕКГ, зменшення обсягу даних і рівня шуму.

У четвертому розділі розроблено та досліджено методи вейвлет-аналізу даних для електронних виробів і систем тривимірного комп'ютерного зору. На основі удосконаленого методу кластеризації з обмеженнями здійснено відбір резисторів за параметрами надійності та оцінено середній час роботи до відмови. Запропонований метод оптимізації також застосовано для оцінювання диспаратності стереозображень із виділенням контурів об'єктів за допомогою вейвлет-функцій.

У загальних висновках узагальнено основні наукові та практичні результати роботи. У додатках наведено акти і довідки про впровадження, фрагменти програмного коду, перелік публікацій та відомості про апробацію. Анотація загалом відображає зміст і основні результати дисертації.

Загальний обсяг дисертації становить 174 сторінки, з яких 130 сторінок основного тексту. Робота містить 30 рисунків і 10 таблиць, список використаних джерел із 162 найменувань та п'ять додатків.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

Водночас дисертаційна робота містить окремі дискусійні положення та аспекти, які потребують додаткового уточнення.

1. У роботі гетерогенні дані охоплюють часові сигнали, зображення, параметричні характеристики та метадані. Проте в експериментах ЕКГ-сигнали, параметри електронних компонентів і стереозображення аналізуються переважно окремо. Доцільно чіткіше обґрунтувати прояв гетерогенності в кожній задачі та спільність запропонованих методів.

2. Досліджено кілька конфігурацій MLP-KAN-WT, зокрема з використанням вейвлет-функцій db4 і Хаара. Варто чіткіше розмежувати роль вейвлет-перетворення на етапі попередньої обробки та в структурі мережі, а також визначити основну конфігурацію моделі.

3. Опис експериментального протоколу класифікації ЕКГ доцільно деталізувати, зокрема навести обсяги навчальної, валідаційної й тестової вибірок, принцип їх поділу, спосіб балансування класів і кількість запусків. Також варто уточнити, чи здійснювався поділ даних на рівні пацієнтів або записів.

4. Для повнішого підтвердження результатів доцільно подати середні значення метрик за кількома запусками, стандартні відхилення або довірчі інтервали та, за можливості, результати статистичного порівняння моделей.

5. Модель MLP-KAN-WT порівнюється переважно з MLP та іншими конфігураціями KAN. Для повнішого позиціювання підходу варто провести порівняння з 1D-CNN, CNN-LSTM, TCN або трансформерними моделями.

6. У матеріалах наведено різну довжину сегментів ЕКГ: 200 відліків у таблиці та 250 — на одній із матриць помилок. Доцільно уточнити, чи це різні серії експериментів, та узгодити відповідні параметри.

7. У роботі наявні окремі числові, термінологічні, редакційні та формальні неузгодженості. Зокрема, в анотації, основному тексті та загальних висновках наведено різні значення точності й швидкодії моделі MLP-KAN-WT, серед яких Assurance 98,45 % та 99,9662 %, а також прискорення обчислень у 2,5–

3 рази. Крім того, формулювання назви дисертації на титульному аркуші та в анотації відрізняються, а поняття «вейвлет-шар», «попередня обробка на основі вейвлет-перетворення» і «вейвлет-функція активації» подекуди недостатньо розмежовані. Доцільно узгодити числові результати із зазначенням умов і конфігурацій, для яких їх отримано, а також усунути наявні термінологічні та редакційні неточності.

Наведені зауваження мають переважно уточнювальний і рекомендаційний характер та не знижують загальної позитивної оцінки наукових і практичних результатів дисертаційної роботи.

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Кошутіної Дар'ї Валеріївни є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-практичне завдання удосконалення методів і моделей обробки та аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення. Одержані результати мають наукову новизну, теоретичне і практичне значення.

У підсумку, з огляду на актуальність теми, належний науковий рівень виконаних досліджень, повноту оприлюднення основних результатів і наявність практичного впровадження, вважаю, що дисертаційна робота «Методи обробки та аналізу гетерогенних даних на основі вейвлет-перетворення» 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 Кошутіна Дар'я Валеріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» у галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент, доктор
технічних наук,
доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і
управління
Західноукраїнського
національного університету

Христина ЛІП'ЯНІНА-ГОНЧАРЕНКО