

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Супруненка Микити Костянтиновича на тему «Моделі та методи інформаційної технології машинного навчання системи розпізнавання електроміографічних біосигналів в протезуванні», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Характеристика особистості здобувача

Супруненко Микита Костянтинович у 2019 році закінчив Сумський державний університет за напрямом підготовки «Інформатика», освітній рівень «Бакалавр»; з 2019 по 2020 р. навчався в магістратурі Сумського державного університету за спеціальністю 122- комп'ютерні науки. З 2021 і по сьогодні є здобувачем наукового ступеню доктора філософії в Сумському державному університеті за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки на кафедрі комп'ютерних наук.

Тему дисертації у останній редакції затверджено на засіданні Вченої ради СумДУ (протокол № 17 від «19» травня 2025 р.).

За час навчання в аспірантурі Супруненко М. К. зарекомендував себе сумлінним, відповідальним та високопрофесійним науковцем. Опанував та оволодів сучасними методами наукових досліджень.

Прийняв участь у Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях, а саме: Міжнародна наукова конференція «Штучний інтелект: досягнення, виклики та ризики», Київ, 2024; XVII Всеукраїнська науково-практична web конференція аспірантів, студентів та молодих вчених «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі», Кривий ріг, 2024; XI International conference «Information Technology & Implementation (Satelite)», 21 November, 2024, Kijv, Ukraine, 2024; Міжнародна наукова конференція «Інформатика. Математика. Автоматика (ІМА)», 24 квітня 20214 р., Суми, Україна. – 2024; Перша науково-практична Міжнародна конференція «Сучасні інформаційні технології та системи MIT@AIS-2025», Харків-Яремче, 2025 р.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 9 наукових працях, зокрема 3 статті у наукових фахових виданнях України, дві з яких індексуються в наукометричній базі Scopus (квартілі Q2 s Q4). Апробацію результатів також здійснено у формі 5 публікацій у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій. Крім того, здобувач є співавтором навчального посібника, в якому за темою дисертаційного дослідження розроблено і програмно реалізовано алгоритм функціонального тестування системи розпізнавання, що навчається за методом інформаційно-екстремального машинного навчання.

Науковим завданням є розроблення інформаційної технології машинного

навчання системи розпізнавання електроміографічних біосигналів для керування протезом кісті руки.

Метою дослідження є підвищення функціональної ефективності машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів для створення інтелектуального протезу шляхом побудови в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту високо достовірних і оперативних вирішувальних правил, практично інваріантних до багато вимірності словника ознак і абетки класів розпізнавання.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан та тенденцію розвитку інтелектуальних протезів руки та сучасних інтелектуальних інформаційних технологій аналізу даних;

- розробити функціональні категорійні моделі і на їх основі методи глибокого машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів за лінійною структурою даних з паралельно-послідовною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання;

- розробити функціональну категорійну модель і метод машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів з оптимізацією рівня селекції координат усереднених двійкових реалізацій класів розпізнавання;

- розробити функціональну категорійну модель і метод машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів з оптимізацією рівня квантування ознак розпізнавання для формування “розрідженої” робочої бінарної навчальної матриці;

- розробити функціональну категорійну модель і метод глибокого машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева;

- розробити засоби інформаційної технології проектування системи підтримки прийняття рішень для персоналізованого машинного навчання особи з інвалідністю.

Актуальність теми

Основним напрямом підвищення функціональної ефективності протезу руки є надання системі розпізнавання електроміографічних біосигналів (ЕМГ-біосигналів) властивості адаптивності до довільних умов формування вхідних даних на основі машинного навчання. Водночас аналіз функціональних можливостей сучасних інтелектуальних протезів руки показує невисоку точність розпізнавання електроміографічних біосигналів (ЕМГ-біосигналів), які реалізують когнітивні команди для виконання жестів пальцями руки.

Особливо складною є задача підвищення точності машинного навчання для протезів з неінвазивною системою зчитування біосигналів через їх значну зашумленість, обумовлену якістю контакту ЕМГ-сенсора, так і впливом зовнішніх факторів на емоційно-психологічний стан користувача. Незважаючи на наявність сучасних ЕМГ-сенсорів з фільтрацією і нормалізацією біосигналів,

підвищення точності розпізнавання ЕМГ-біосигналів залежить від релевантності вхідного математичного опису системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів та методу машинного навчання, які забезпечують високу точність і оперативність виконання когнітивних команд на відповідні жести протезу руки. Тому тема дисертаційного дослідження Супруненка М. К. є актуальною, оскільки вона присвячена підвищенню функціональної ефективності, системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів, основними складовими якої є точність машинного навчання й оперативність прийняття класифікаційних рішень за умови неповної визначеності даних, суттєвого перетину класів розпізнавання в просторі ознак і великої потужності абетки класів розпізнавання, які характеризують ЕМГ-біосигнали відповідних жестів протезу руки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету відповідно до плану науково-дослідних робіт за держбюджетними темами: «Методи, математичні моделі та інформаційна технологія аналізу і синтезу інфокомунікаційних систем» (ДР № 0118U006971) і «Інформаційна технологія автономної навігації безпілотної літального апарату за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами» (ДР № 0122U000786).

Роль автора в цих науково-дослідних роботах полягала в розробленні математичних моделей, алгоритмів інформаційно-екстремального машинного навчання і засобів інформаційної технології аналізу і синтезу системи розпізнавання, що навчається.

Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі розв'язано важливе науково-практичне завдання розроблення інформаційної інтелектуальної технології машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-сигналів для керування протезом кисті руки з неінвазивною системою зчитування біосигналів.

Вперше розроблено комплекс функціональних категорійних моделей, на основі яких розроблено метод інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева з п'ятьма рівнями глибини, на яких окрім відомих параметрів машинного навчання оптимізуються рівні селекції координат усереднених двійкових реалізацій класів розпізнавання та рівень квантування ознак розпізнавання, що дозволило за розрідженою вхідною навчальною матрицею побудувати високостовірні вирішувальні правила.

Удосконалено метод формування варіаційного ряду класів розпізнавання за критерієм збільшення міжкласової відстані для обраного базового класу розпізнавання, що дозволило автоматизувати побудову декурсивного дерева та багатокласове машинне навчання звести до двохкласового для класів розпізнавання кожної страти декурсивного бінарного дерева.

Набув подальшого розвитку метод формування вхідного інформаційного забезпечення, що дозволило сформувати релевантну вхідну навчальну матрицю і відповідно підвищити точність інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів.

Практичне значення одержаних наукових результатів. Розроблено засоби технології інформаційного синтезу здатної навчатися системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів за умови неповної визначеності даних та нечіткої компактності векторів ознак класів розпізнавання, що дозволило за результатами машинного навчання побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішувальні правила, які дозволяють у робочому режимі приймати високодостовірні оперативні класифікаційні рішення. Крім того, розроблено засоби інформаційної технології проектування системи підтримки прийняття рішень (СППР), що дозволяє особі з інвалідністю здійснювати персоналізоване інформаційно-екстремальне машинне навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів.

Результати дослідження впроваджено в НВО «МЕТКОЛ» (м. Ніжин, Україна) при модернізації тренажера оператора НСК (м. Суми) (акт впровадження від 01.06.2025 р.) та у навчальний процес Сумського державного у

н
і **Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях, персональний внесок здобувача**

е Дисертаційна робота є самостійним завершеним науковим дослідженням. Положення і результати, винесені на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: [1] – функціональна категорійна модель, алгоритм і його програмна реалізація для машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-сигналів за лінійною структурою даних; [2] – функціональна категорійна модель, алгоритм і його програмна реалізація для глибокого інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів з оптимізацією рівня квантування ознак розпізнавання; [3] – функціональна категорійна модель, алгоритм і його програмна реалізація для машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-сигналів за декурсивною структурою даних; [4] – розробка та програмна реалізація алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання за лінійною структурою даних і алгоритму функціонального тестування системи розпізнавання при інформаційно-екстремальному машинному навчанні. Сукупність опублікованих праць охоплює всі положення, які виносяться на захист, та в повному обсязі відображає результати дослідження, викладені у дисертації, що відповідає вимогам п. 8, 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 № 44 від 22 січня 2022 року.

ж
е
н
н

Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних наукових конференціях, а саме: Міжнародна наукова конференція «Штучний інтелект: досягнення, виклики та ризики» 2024,; XVII Всеукраїнська науково-практична вебконференція аспірантів, студентів та молодих вчених «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі», Кривий ріг, 2024; XI International conference «Information Technology & Implementation (Satelite)» (Kijv, Ukraine, 2024); Міжнародна наукова конференція «Інформатика. Математика. Автоматика (ІМА)» (Суми, Україна. – 2024); Перша науково-практична Міжнародна конференція «Сучасні інформаційні технології та системи MIT@AIS-2025», Харків-Яремче, 19-22 травня 2025 р.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, що сформульовані в дисертації

Дисертаційне дослідження Супруненка Микити Костянтиновича виконано на високому науково-методичному рівні із застосуванням сучасного інструментарію аналізу даних на основі машинного навчання. Методи дослідження базуються на принципах і методах системного аналізу та інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних для побудови в процесі машинного навчання високодостовірних і оперативних вирішувальних правил; методах теорії ймовірностей і математичної статистики для оцінки випадкових величин і перевірки статистичних гіпотез; методах та характеристиках теорії інформації для оцінки точності інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів; об'єктно-орієнтованій методології проектування складних систем для розробки інформаційного та програмного забезпечення системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів, що навчається.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, логічно впливають із поставленої мети, відповідають сформульованим завданням і ґрунтуються на достовірних експериментальних і аналітичних результатах. Структура роботи демонструє чітку логіку викладу, а методична база охоплює всі ключові аспекти розробки моделей, методів і архітектури здатної навчатися системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів.

Результати дисертації доповідались і обговорювались на провідних міжнародних науково-практичних конференціях, знайшли відображення в рецензованих фахових виданнях, зокрема в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus (квартилі Q2, Q4). Про достовірність одержаних результатів свідчить їх відтворюваність, узгодженість із результатами моделювання, а також успішне впровадження розроблених рішень у програмних продуктах для персоналізованого машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-біосигналів.

З метою зменшення ступенів свободи, характерних для протезу руки, наукові дослідження, спрямовані на формування вхідного інформаційного забезпечення та розроблення методу машинного навчання, виконуються для протезу кисті руки з трьома ступенями свободи, що сприяє прозорості дисертаційної роботи

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

Наукові праці, які опубліковано у фахових виданнях України:

1. Suprunenko M. K., Zborshchuk O. P., Sokolov O. Information-extreme machine learning of wrist prosthesis control system based on the sparse training matrix. *Journal of Engineering Sciences*, 2022, vol. 9(2), pp. E28-E35, doi: 10.21272/jes.2022.9(2).e4. (Scopus). *(Особистий внесок: функціональна категорійна модель, алгоритм і його програмна реалізація для машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-сигналів за лінійною структурою даних).*

2. Dovbysh A. S., Piatachenko V. Y., Myronenko M. I., Suprunenko M. K., Simonovskiy J. V. Hierarchical information-extreme machine learning of hand prosthesis control system based on decursive data structure. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, 2024, Vol. 11(2), pp. E1-E8. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(2\).e1](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(2).e1). (Scopus, Q2). *(Особистий внесок: функціональна категорійна модель, алгоритм і його програмна реалізація для машинного навчання системи розпізнавання ЕМГ-сигналів за декурсивною структурою даних)*

Навчально-методична праця:

3. Мироненко М. І. Основи машинного навчання. Лабораторний практикум : навчальний посібник [Електронне видання] / М. І. Мироненко, В. Ю. П'ятаченко, М. К. Супруненко.— Суми : Сумський державний університет, 2025.— 114 с. *(Особистий внесок: розроблення та програмна реалізація алгоритмів інформаційно-екстремального машинного навчання за лінійною структурою даних та функціонального тестування системи розпізнавання, що навчається)*

Опубліковані праці апробаційного характеру:

4. Супруненко М.К. Інформаційно-екстремальне машинне навчання системи розпізнавання електроміографічних біосигналів / М.К. Супруненко // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Штучний інтелект: досягнення, виклики та ризики», 2024. – С. 271–275.

5. Супруненко М. К. Вибір базового класу розпізнавання при інформаційно-екстремальному машинному навчанні / М.К. Супруненко // Матеріали XVII Всеукраїнської науково-практичної webконференції аспірантів, студентів та молодих вчених «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі», Кривий ріг, 2024. – С. 124–127.

6. Suprunenko M. K. Information-extreme machine learning of electromyographic biosignal recognition systems / M. K. Suprunenko // *Proceedings*

XI International conference «Information Technology & Implementation (Satelite)», 21 November, 2024, pp. 91–92.

7. Супруненко М. К. Використання паралельно-послідовного алгоритму Інформаційно-екстремального машинного навчання з частковою послідовною оптимізацією в задачі класифікації біосигналів» / М. К. Супруненко // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інформатика. Математика. Автоматика (ІМА)», 24 квітня 2024 р., Суми, Україна. – 2024. – С. 126–127.

8. Микита Супруненко. Інформаційно-екстремальне машинне навчання системи керування протезом кісті руки за лінійною структурою даних / Микита Супруненко// Матеріали 1-ї науково-практичної Міжнародної конференції «Сучасні інформаційні технології та системи MIT@AIS-2025» Частина 1 [Електронний ресурс], Харків-Яремче, 19-22 травня 2025 р. / наук. ред. Ю.О. Романенков, Є.В. Бодянський, К.С. Смеляков, Sergiy Yakovlev, В.В. Безкоровайний, Pavol Sokol, В.Г. Кобзев. – Х.:ХНУРЕ, 2025. – С. 130–133.

Оцінка мови та стилю дисертації

Матеріали дисертації викладено українською мовою, послідовно за формально-логічною структурою з дотриманням наукового стилю написання.

Відповідність фаху

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За результатами перевірки дисертаційної роботи Супруненка Микити Костянтиновича на тему «Моделі та методи інформаційної технології машинного навчання системи розпізнавання електроміографічних біосигналів в протезуванні», на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстративних запозичень; навмисних спотворень чи несанкціонованих запозичень не виявлено. Звідси можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Супруненка Микити Костянтиновича за актуальністю проблеми, методичними підходами, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих результатів, повнотою викладу принципів наукових положень, науково-теоретичним і практичним значенням повністю відповідає вимогам п. 6 «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, а дисертант, з урахуванням виконання у повному обсязі освітньої

складової освітньо-наукової програми та індивідуального плану наукової роботи, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Головуюча на апробаційній раді
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,
завідувачка кафедри інформаційних технологій,
кандидат технічних наук, доцент



Віра ШЕНДРИК