

Відгук офіційного опонента –
доктора технічних наук, професора Удовенка Сергія Григорійовича
на дисертацію П'ятаченка Владислава Юрійовича
«Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою
керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дослідження

Втрата кінцівки руки обмежує взаємодію особи з інвалідністю із світом та суттєво ускладнює її функціональні можливості. Протезисти намагаються відтворити інтуїтивний руховий контроль, відчуття легкого дотику та пропріоцепцію вродженої кінцівки руки таким чином, щоб змоделювати складність її природної форми та функції. Застосування інформаційних інтелектуальних технологій аналізу електроміографічних сигналів керування протезом кінцівки руки забезпечує ефективність протезування, що є невід'ємною умовою реабілітації пацієнтів з втратою кінцівок та наближення до прийняттого рівня втрачених функцій. При цьому інтелектуальне керування протезом має відбуватися в режимі реального часу із врахуванням індивідуальних особливостей особи, що протезується, та забезпечувати динамічне прогнозування рухів протезу. Крім того, важливою задачею протезування верхньої кінцівки є ефективне керування численними можливими ступенями свободи з метою наближення її функціональності до здорової руки. Обмеженість керуючих впливів з боку людини в поєднанні зі складністю контролю, необхідного для виконання складних завдань, вимагає рішення, яке може інтерпретувати наміри людини і дозволяє протезу виконувати складні завдання з певним ступенем автономності.

В дисертаційній роботі П'ятаченка В.Ю. використовується неінвазійна система реєстрації електроміографічних сигналів, що дозволяє оперувати якісними сигналами без рухових артефактів, але передбачає необхідність розв'язання додаткових завдань, пов'язаних із забезпеченням завадостійкості

зашумлених електроміографічних біосигналів. Вирішення таких завдань дозволить забезпечити автономність протеза, зробити його чутливим для намірів людини, що носить протез, та дозволить частково відновити функції руху. Крім того, застосування інтелектуальних інформаційних технологій на основі машинного навчання та розпізнавання образів дозволяє підвищити оперативність та ефективність процедур підготовки до протезування, з метою подальшого виготовлення багатофункціональних, довговічних та зручних у використанні протезів.

Таким чином, можна стверджувати, що тема дисертаційного дослідження «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів» є актуальною, оскільки присвячена підвищенню функціональної ефективності неінвазивного протезу руки на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень

Обґрунтованість наукових положень, висновків та практичних рекомендацій визначена результатами аналізу та теоретичного узагальнення широкого спектру наукових публікацій та результатів досліджень, проведених як вітчизняними, так і зарубіжними авторами. Використання достатньої кількості результатів наукових та практичних публікацій у їх поєднанні з задіяними коректними методами досліджень мають позитивний вплив на достовірність наукових положень, висновків та практичних рекомендацій, що подані в дисертаційній роботі.

Для розв'язання завдань дослідження автор використовує сучасні та класичні методи математичного аналізу та синтезу складних систем, теорії інформації, теорії розпізнавання образів, а також методи моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень.

Достовірність наукових результатів, отриманих в рамках дисертаційного дослідження, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та здійсненням об'єктивних та систематичних досліджень.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

У дисертаційній роботі одержано наступні нові наукові результати.

1. Вперше запропоновані категорійні моделі та метод інформаційно-екстремального машинного навчання, де використовується ієрархічна структура даних у вигляді декурсивного бінарного дерева.

2. Вперше розроблено модель та метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією рівня квантування електроміографічних біосигналів, що дозволяє сформувати зріджену навчальну матрицю для збільшення повної ймовірності правильного прийняття класифікаційних рішень за результатами машинного навчання системи.

3. Удосконалено метод інформаційно-екстремального машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки з оптимізацією періоду квантування в часі електроміографічних біосигналів.

4. Отримав подальший розвиток метод агломеративного кластер-аналізу для автоматичного формування ієрархічної структури найближчих сусідніх класів розпізнавання для машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки з неінвазивною системою зчитування біосигналів.

Практична цінність одержаних результатів

У дисертації здійснено алгоритмічну та програмну реалізацію отриманих теоретичних результатів з застосуванням запропонованої інформаційної технології машинного навчання.

На основі розроблених моделей, методів та алгоритмів були створені інструменти інформаційної технології машинного навчання для управління протезом кінцівки руки. Ці інструменти включають модулі для формування математичного опису, машинного навчання, створення вирішальних правил та забезпечення функціонування системи в режимах функціонального тестування та екзамену.

Отримані наукові результати були впроваджені у складі інформаційного та програмного забезпечення згідно з планом дослідно-конструкторських робіт компанії ТОВ НВП «Метекол» та використані в навчальному процесі Сумського державного університету.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження відповідає пріоритетним напрямкам наукових досліджень Сумського державного університету, зокрема держбюджетним науково-дослідним роботам «Інтелектуальний протез кінцівки, що самонавчається» (ДР № 0117U002248) та «Інформаційна технологія автономної навігації безпілотного літального апарату за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами» (ДР № 0122U000786).

При виконанні цих досліджень здобувач приймав участь у розробленні функціональних категорійних моделей та методів інформаційно-екстремального машинного навчання кіберфізичних об'єктів, у тому числі протезу кісті руки із неінвазивною системою зчитування електроміографічних біосигналів.

Академічна доброчесність

В дисертаційній роботі П'ятаченка Владислава Юрійовича на тему «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів» наявність ознак академічного плагіату та навмисних спотворень не виявлено; на використані першоджерела у текстових та ілюстративних запозиченнях здійснено коректні посилання.

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях

Основні положення дисертації викладено в 15 наукових працях, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України (зокрема, одна стаття у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus), 10 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій (зокрема, 3 публікації у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus). Крім того, отримано 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма», що відповідають реалізації складових інформаційного забезпечення системи керування протезу кінцівки руки.

Сукупність цих публікацій відображає викладені в дисертації результати дослідження, що відповідає вимогам п. 8, 9 вимог до присудження ступеня доктора філософії «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 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 22 січня 2022 року.

Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертація відповідає нормам наукового дослідження. Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів.

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Обсяг дисертації, (без анотації, змісту, списку використаних джерел та додатків) складає 118 сторінок, що відповідає встановленим вимогам.

У *вступі* дисертаційної роботи автором представлена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність наукової теми, сформульовані мета та задачі досліджень, відображена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

У *першому розділі* дисертації проаналізовано сучасний стан і тенденції розвитку інтелектуальних протезів кінцівки руки, здатних інтерпретувати електроміографічні сигнали, що надходять від електродів, розміщених неінвазивно на поверхні шкіри. У рамках даного розділу проведено докладний аналіз існуючих систем керування протезами руки, методів обробки і фільтрації електроміографічних сигналів та підходів до їх класифікації.

У *другому розділі* дисертації проведено аналіз особливостей процесу розпізнавання електроміографічних біосигналів системою керування біонічним протезом верхньої кінцівки в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології, в основу якої покладено максимізацію інформаційної спроможності системи розпізнавання в процесі машинного навчання. Розроблено функціональні категорійні моделі інформаційно-екстремального машинного навчання системи керування протезом для

розпізнавання електроміографічних біосигналів когнітивних команд та встановлено інформаційні критерії оптимізації параметрів машинного навчання.

У *третьому розділі* дисертації наведено алгоритми оптимізації параметрів машинного навчання для розпізнавання вхідного електроміографічного сигналу, що використовується для керування біонічним протезом кінцівки. Зокрема, у розділі розглядається процес машинного навчання системи зі створенням ієрархічної структури класів розпізнавання та вивчається вплив процесу квантування вхідних сигналів, які надходять від електроміографічних датчиків.

У *четвертому розділі* дисертації запропоновано інформаційне та програмне забезпечення інтелектуальної системи керування біонічним протезом кінцівки руки. Здобувачем реалізовані структурні та функціональні схеми програмної архітектури проекту, розроблено інформаційне та програмне забезпечення, а також запропоновано програмну реалізацію системи машинного навчання та формування правил прийняття рішень для розпізнавання електроміографічних сигналів протезом кінцівки руки.

Апробація результатів дисертації

Результати дисертації обговорювались на Міжнародних наукових конференціях та форумах, зокрема: 4-й Міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (Вінниця, 2017); 6-й Міжнародній науковій конференції «Advanced Information Systems and Technologies» (Суми, 2018); 6-й Міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, 2019); 5-й Міжнародній конференції «Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021)» (Львів, 2021); 21-й Міжнародній науково-технічній конференції «Штучний інтелект та інтелектуальні системи, Київ, Україна, 2021р.); 6-й Міжнародній конференції «Computational Linguistics and Intelligent Systems» (Глівіце, Польща, 2022р.).

Зауваження до дисертаційної роботи

1. На сторінці 86 наведено процедуру пошуку глобального максимуму інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання, але не вказано допустиму область визначення його функції.

2. У роботі доцільно було б уточнити складові такого загального терміну, як «функціональна ефективність». Зокрема, не є цілком зрозумілим призначення параметру функціонування системи розпізнавання, що використовується у виразі (3.26).

3. Символом «тета» в роботі позначено дві різні величини: коефіцієнт нечіткої компактності та коефіцієнт ступеню перетину в просторі ознак.

4. В дисертаційній роботі не прослідковується сенс використання критерію ступеню перетину класів (2.13).

5. В першому розділі проаналізовано частотні методи фільтрації ЕМГ сигналу, але не зазначено, який саме фільтр використовується для передобробки навчальних даних системи. Це ускладнює порівняння результатів, отриманих здобувачем для тестових наборів електроміографічних сигналів, з результатами досліджень інших авторів для цих же сигналів.

6. У роботі вживається низка специфічних термінів (зокрема, «контейнер класу розпізнавання», «функціональна ефективність», «зріджена навчальна матриця»), для яких доцільно було б навести більш детальне визначення.

7. Діаграма класів системи, що наведено в розділі 4 на рисунку 4.3, є скоріше діаграмою класів програмного забезпечення, а структурну схему системи машинного навчання протезу, що наведено на рисунку 4.2, варто розглядати як концептуальну.

8. Доцільно було б порівняти одержані результати моделювання з результатами використання не лише багатошарового перцептронну зі зворотним поширенням помилки, але і згорткової нейронної мережі, яка зазвичай дозволяє отримувати більш високу точність.

Наведені зауваження не зменшують загальну цінність отриманих у дисертаційній роботі результатів, а робота у цілому заслуговує на позитивну оцінку.

Висновок

Дисертація П'ятаченка Владислава Юрійовича на тему «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», є завершеним дослідженням, що містить нові наукові результати, які вирішують актуальне наукове завдання розпізнавання електроміографічних біосигналів неінвазивним протезом кінцівки руки.

Вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю проблеми, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих даних, а також за науково-теоретичним та практичним значенням повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор 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 здобувач, П'ятаченко Владислав Юрійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент –
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
інформатики та комп'ютерної техніки
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця

Сергій УДОВЕНКО

Підпис Удовенка Сергія Григоровича засвідчую:
Вчений секретар
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця



Оксана ПИСАРЧУК