

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Кислого Романа Володимировича** «Розпізнавання людських активних дій за допомогою методів штучного інтелекту»
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Загальний стрімкий ріст інтернету речей (IoT) створює можливість для використання великої кількості сенсорів у повсякденному житті. В умовах збільшення кількості людей та пандемічного розповсюдження різних захворювань, стрімко розвивається телемедицина. Інтернет речей дозволяє за допомогою сенсорів збирати, накопичувати та аналізувати показники життєдіяльності людини. Ці показники доволі часто є життєво важливими для лікування пацієнтів.

Популярність різноманітних фітнес-трекерів, розумних годинників та інших пристроїв, що входять в побут в поєднанні з величезними об'ємами даних, які вони генерують неминуче призводять до створення спеціалізованих платформ. Основними завданнями цих платформ є: агрегація даних з різноманітних джерел (спеціалізовані датчики та пристрої), збереження та аналіз даних, інтеграція з спеціалізованими медичними системами, зручний доступ до даних у вигляді веб та мобільних застосунків. Особливу увагу в цих системах приділяється безпеці, втрата даних або несанкціонований доступ до даних може привести до фатальних наслідків.

Сьогодні ринок програм Mobile Health становить приблизно 25,17 млрд. доларів. За даними Statista, глобальний ринок Mobile Health досягне 189 мільярдів доларів у 2025 році. Ринок фітнес-програм не відстає - його розмір, ймовірно, зросте на 1,68 мільярда доларів з 2020 по 2024 рік.

Необхідно відзначити, що такі компанії як Google, Samsung та Apple давно та активно розвивають цей напрямок.

На даний момент мобільні застосування включають в себе наступні напрями: застосунки для жіночого здоров'я; програми особистих записів здоров'я; програми для управління ліками; програми для управління хронічними захворюваннями; діагностичні програми; програми віддаленого моніторингу; програми, що містять вправи для схуднення; дієта та харчування; відстеження активності.

Як і в будь якій галузі важливими є протоколи обміну даними та їх стандартизація. Сьогодні існують деякі стандарти щодо API, які можна використовувати для розробки спеціального програмного забезпечення для охорони здоров'я. Наприклад, стандарт FHIR (Fast Healthcare Interoperable Resources) визначає формати медичних даних та обмін даними через REST API.

Ринок вже пропонує платформи, які дозволяють компаніям, що розробляють програмне забезпечення для охорони здоров'я, створювати застосунки, що дозволяють взаємодіяти між системами та швидко доставляти інформацію користувачам програм. Наприклад, Google Cloud Healthcare API надає стандартні протоколи та формати для прийому даних, зберігання, аналізу та інтеграції медичних даних із хмарними застосунками.

Актуальність роботи підтверджується необхідністю автоматизації медичних процесів, що закріплено в Законі України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення», де вказується необхідність побудови єдиної Електронної Системи Охорони Здоров'я (ЕСОЗ).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- За рахунок методів машинного навчання, а саме згорткових нейронних мереж (CNN) була побудована система розпізнавання дій людини з використанням портативних натільних датчиків низького рівня.
- Вперше запропоновано для підвищення ефективності застосування згорткової нейронної мережі (CNN) перетворювати одновимірні сигнали (1d) акселерометра в двовимірні (2d) графічні зображення, які обробляються за допомогою CNN із декількома обробними шарами, завдяки чому точність визначення типу дії людини в різних ситуаціях для різних фізичних станів зростає в порівнянні з випадком, коли двовимірні перетворення сигналів акселерометра не вживаються.
- Вперше для оброблення сигналів датчика-акселерометра в умовах наявності перешкоджаючих сигналів (шумів) від інших джерел та інструментальних похибок пристрою запропоновано перетворювати сигнал з допомогою вікна Хеммінга, складаючи сигнали разом послідовно по рядках (stacking) у вигляді зображення, що дозволяє кожній послідовності сигналів корелювати з іншими послідовностями.
- Вперше висунута і перевірена гіпотеза про можливість застосування систем розпізнавання дій людини для моніторингу руху грудної клітини, через який визначається частота і глибина вдихів при диханні, притаманні певним хворобам, включаючи сонне апное (зупинка дихання під час сну).

Структура дисертації. Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів роботи, висновку, списку використаних джерел та одного додатку. Загальний обсяг дисертації складає 115 сторінки, в тому числі 101 сторінку основного тексту.

У **вступі** представлено загальну характеристику дисертації, включаючи актуальність теми, зв'язок роботи із науковими програмами, планами та темами, мету, завдання та методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію та дані про публікації результатів.

У **першому розділі** здобувач розглянув основні поняття та провів аналіз відомих підходів до автоматизації медичної галузі. На початку розділу проводиться аналіз проблеми визначення виду людської діяльності (human activity recognition) та наводяться формальні визначення. Після чого описана загальна структура HAR систем. В описі увагу приділено типовим складовим HAR систем. В розділі наведено класичний підхід до проектування HAR систем, що залежить від типів активностей. Також розглянуто класичні підходи до обробки даних отриманих з датчиків та оцінки точності існуючих систем. В кінці розділу наведені висновки.

В **другому розділі** розглянуто методи отримання і оброблення сигналів з сенсорів, проаналізовано вимоги до сенсорів, та обробки отриманих даних. Розділ починається з порівняльного аналізу існуючих сенсорів та їх можливостей. Особлива увага приділена місцю кріплення сенсорів та допустимі режими роботи. Далі описано методи отримання даних з сенсорів для подальшого аналізу та здійснено аналіз методів фільтрації шуму з отриманих даних. Також в цьому розділі розглянуто різні методи виявлення та фільтрації сигналів і порівняно їх між собою. В ході аналізу, запропоновано використання смугових фільтрів, та зокрема фільтру Баттерворта в якості найоптимальніших для фільтрації шуму і виявлення сигналу руху людини. Здобувач описує стандартні підходи до виявлення аномалій в отриманих даних та розглянуто 2 різні види знаходження аномалій – за допомогою статистичних методів та використовуючи автоенкодера і глибинне навчання. В кінці розділу наведено відповідні висновки.

У **третьому розділі** проводиться аналіз відомих алгоритмів машинного навчання. Розділ починається з опису загальновідомих фактів про машинне навчання. Після чого розглядаються статистичні методи класифікації часових рядів, що можуть бути використані при розв'язанні задачі визначення людських дій. В цьому розділі вводиться формальне визначення часових рядів та задачі їх класифікації. Здобувачем розглянуті методи кодування часових рядів для класифікації та описані методи глибинного навчання. Проаналізовано недоліки

та переваги використання різних архітектур при роботі з даними з сенсорів. Було використано трансферне навчання для задачі визначення людської діяльності, а саме класифікації типу дихання. В кінці наведені висновки до розділу.

У **четвертому розділі** розглянуто використання розпізнавання людської діяльності на прикладі визначення типів дихання людини. Запропоновано загальну архітектуру системи збору та аналізу даних з носимих сенсорів. Проведено опис розробленого приладу для отримання даних руху грудної клітини та описано процес отримання даних з восьми користувачів різного віку та фізичної форми. В ході аналізу виділено важливі деталі, які стосуються розмітки даних для класифікації людської діяльності – зокрема підкреслена необхідність виділяти повністю дані, зняті з окремої людини в набір даних для перевірки моделі щоб уникнути перенавчання. Після чого, запропоновано методи обробки зібраних даних, зокрема перетворення вхідних даних в 2д малюнок для підвищення точності роботи згорткової нейронної мережі. Для підтвердження висунутої гіпотези описано процес тренування мережі і визначення типів дихання людини. Проведено порівняння точності розпізнавання типів дихання при використанні запропонованого методу попередньої обробки даних. В кінці розділу наведено відповідні висновки.

Висновки відповідають змісту дисертації, стисло та чітко висловлюють основні результати роботи.

Список використаних джерел в достатньому обсязі охоплює вітчизняні та зарубіжні джерела по тематиці роботи.

Додатки містять документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, рекомендацій та висновків

Положення дисертації, що виносять на захист є в цілому достатньо обґрунтованими.

Всі основні результати докладно розглянуто у тексті дисертації та публікаціях автора, на які спирається викладення матеріалу. Автор використовував перевірені методики і підходи до вирішення поставлених задач, а саме: методи математичного моделювання, методи цифрової обробки сигналів, методи системного аналізу, методи агрегації, методи навчання та тестування алгоритмів класифікації, методи машинного навчання та нейронних згорткових мереж – для ефективного навчання запропонованих методів, методи експериментальних досліджень – для перевірки запропонованих гіпотез і підходів.

Наукові положення і висновки, наведені у роботі, підтверджені рядом експериментів.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечена коректністю постановки задач дисертаційного дослідження з урахуванням відповідних обмежень, апробацією основних результатів на науково-практичних виставках та конкурсах, успішними результатами обчислювальних експериментів та досвідом практичного впровадження результатів дослідження.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у наступному: розроблено математичні моделі та методи класифікації людської діяльності; практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи, а саме рекомендації по методиці проектування платформи збору даних з сенсорів, запропонований підхід до класифікації видів діяльності, впроваджені та використовуються в діяльності ТОВ «ИТ-ТРАНЗИТ» (Вих. №06-1/2021 від 19го лютого 2021).

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах

Основні положення і результати дисертаційного дослідження опубліковані в п'яти наукових працях, з яких два в виданнях, що індексуються наукометричною базою SCOPUS, одну статтю опубліковано в науковому періодичному виданні Польщі. Результати також доповідалися на одному форумі та двох конкурсах.

В вищенаведених статтях і доповідях конференцій висвітлені повністю основні наукові результати дисертаційного дослідження; за обсягом опублікованих праць та за науковим рівнем отриманих результатів дана робота відповідає вимогам щодо порядку присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Ідентичність автореферату та дисертації

Автореферат є ідентичним за змістом основних положень дисертації, які виносяться на захист, повно і достатньо висвітлює актуальність дослідження, мету дослідження, постановку задачі, положення дисертації, теоретичне і практичне значення, апробацію наукових результатів у друкованих виданнях, зміст основних розділів дисертації і висновки по роботі. Дисертація та автореферат оформлені згідно вимог, які ставляться до дисертаційних робіт в

Україні, а саме Наказу МОН України №40 від 12.01.2017 року та в Бюлетні ВАК України, №9-10 2011 року.

Зауваження до матеріалу дисертаційної роботи

Робота має низку, зауважень, які перераховані нижче:

1. Робота містить ряд помилок як стилістичних так і граматичних, що ускладнює розуміння;
2. В роботі часто плутаються поняття. Наприклад: «використовуються стандартні метрики, наприклад, точність, recall, precision». Precision це і є точність. В роботі наводиться F-метрика, що насправді є збалансованою F-мірою і є лише спрощеним варіантом.
3. В тексті наводяться посилання на рисунки, що відсутні. Наприклад є рисунок 24 та 26, а рисунок 25 відсутній.
4. Запропонована архітектура сервісу збору даних є надзвичайно спрощеною і абсолютно не деталізується. В роботі не наведена деталізація використаних протоколів обміну даних, шлюзу для обміну повідомлень, не сказано, що використовується для збереження даних. В роботі описово сказано, що необхідно вирішувати проблеми захисту даних, та роботи з великими об'ємами даних але не наведений розв'язок цих проблем
5. Дуже маленький тренувальний набір, всього в тесті взяло участь 8 чоловік. Сумнівний і не аргументований вибір тестового набору «дані, зібрані в одного з учасників зберігалися окремо в якості тестового набору даних». Чому не були розглянуті та порівняні інші варіанти?
6. В роботі велику увагу приділено загально відомим теоретичним фактам, а от місця для докладного опису архітектури, наведенню програмного коду реалізації не знайшлося. Програмний код не наведений навіть в додатках
7. Результати наведені в таблицях 3 та 4 використовуються для аргументації того, що метрики з використанням перетворення сигналу в малюнок мають кращий результат за метрики з використанням нормалізованого сигналу, але отримані результати майже не відрізняються, а зважаючи на маленьку тренувальну і тестову вибірки є абсолютно незначними.
8. Результати наведені в таблицях 5 та 6 взагалі не роз'яснені і не зрозуміло як отримані

Зауваження, що наведені вище впливають на характеристику проведеної роботи, проте не знижують її практичного значення та цінності отриманих результатів.

Висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Кислого Романа Володимировича «Розпізнавання людських активних дій за допомогою методів штучного інтелекту», яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – «Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем», є завершеною працею, в якій викладені нові обґрунтовані наукові та практичні результати, задовольняє вимогам до кандидатських дисертацій згідно пунктів 9, 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженою постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор Кислий Роман Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – «математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
декан факультету інформатики
Національного університету
«Києво-Могилянська академія»

Глибовець А.М.

