Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004207

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 31-07-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ЛНУ ім. Івана Франка № 1105 від 28.08.2026 р.

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Урсул Іван Зіновійович

2. Ivan Z. Ursul

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0002-9879-8008

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 03-08-2026

Спеціальність за освітою: Інформатика

Місце роботи здобувача: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 14804

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 28.23.15, 28.23.25, 28.23.37

Тема дисертації:

1. Розробка методів машинного навчання на основі моделі Transformer для детекції падінь людини.

2. Development of machine learning methods based on the Transformer model for human fall detection.

Реферат/анотація:

1. Дисертаційну роботу присвячено розробленню та дослідженню методів машинного навчання на основі моделі Transformer для виявлення падінь людини за даними інерційних сенсорів (IMU) та відеопотоку. Падіння є однією з провідних причин травматизму, госпіталізації та смертності серед людей похилого віку, а також суттєвою проблемою у сфері охорони праці та «розумних» середовищ. Наявні системи виявлення падінь, побудовані на порогових алгоритмах, згорткових і рекурентних нейронних мережах, досягають високої точності на окремих наборах даних, проте характеризуються високою частотою хибних спрацьовувань, обмеженою здатністю до узагальнення на нових суб'єктів, потребою у великих обсягах розмічених даних, ризиками для приватності у відеопідходах та значними обчислювальними витратами. Архітектура Transformer завдяки механізму самоуваги дозволяє моделювати довготривалі залежності, важливі для виявлення короткочасних, але змістовно складних подій, якими є падіння. Метою роботи є підвищення надійності, рівня приватності та здатності до узагальнення систем виявлення падінь шляхом розроблення комплексу моделей на основі архітектури Transformer, збалансованого набору даних і стратегій

розгортання в реальному часі. Об'єктом дослідження є процеси автоматизованого виявлення падінь людини за даними інерційних сенсорів та відеопотоку; предметом — методи та моделі машинного навчання на основі архітектури Transformer для виявлення падінь, зокрема суб'єктно-незалежного та неконтрольованого, з урахуванням приватності й апаратних обмежень. Використано методи машинного та глибинного навчання, цифрової обробки сигналів і часових рядів, комп'ютерного зору, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії екстремальних значень (EVT), а також протоколи оцінювання Leave-One-Subject-Out та ROC/PR-аналіз. Сформовано власний збалансований мультимодальний набір даних із 8 953 розмічених зразків (2 791 падіння та 6 162 епізоди повсякденної активності) від 29 учасників; показано, що додавання барометричних даних до акселерометричних підвищує точність класифікації. Запропоновано систему відеовиявлення падінь із захистом приватності на основі EfficientNet та LSTM із модулем динамічного розмиття, що забезпечує анонімізацію особи без суттєвого зниження точності. Виконано порівняльне оцінювання семи трансформерних архітектур (Informer, Performer, Linformer, Temporal Convolutional Transformer та інших) у єдиних експериментальних умовах, де найкращі моделі досягли повноти виявлення, близької до 100 %. Реалізовано трансформерну модель у реальному часі на System-on-Chip (Raspberry Pi Zero 2 W) із затримкою інференсу близько 34 мс та інтегрованою кібербезпековою рамкою (шифрування AES-256, блокчейн). Застосовано Vision Transformer із просторово-часовою самоувагою для відеоаналізу, причому карти уваги забезпечують інтерпретованість прогнозів. Розроблено суб'єктно-незалежний метод неконтрольованого виявлення падінь на основі маскованого Transformer та комбінованої енергетично-реконструкційної функції оцінювання з пороговим визначенням за теорією екстремальних значень; метод навчається виключно на послідовностях повсякденної активності та за протоколом LOSO досягає ROC-AUC 0,985, PR-AUC 0,955 і чутливості 95,8 % на рівні подій. Наукова новизна полягає в тому, що вперше розроблено суб'єктно-незалежний метод неконтрольованого виявлення падінь на основі маскованого Transformer та комбінованої енергетично-реконструкційної функції оцінювання з пороговим визначенням за теорією екстремальних значень, який не потребує розмічених прикладів падінь; вперше запропоновано порівняльну методологію бенчмаркінгу трансформерних архітектур для виявлення падінь за даними акселерометра в єдиних експериментальних умовах. Удосконалено архітектурне рішення для виявлення падінь у реальному часі на System-on-Chip із механізмами кібербезпеки, а також підхід до виявлення падінь за відеоданими на основі Vision Transformer. Дістали подальшого розвитку методи захисту приватності у відеоаналізі на основі EfficientNet та LSTM і підходи до формування збалансованих мультимодальних наборів даних. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоновані методи можуть бути застосовані у системах моніторингу літніх людей, охорони здоров'я, безпеки на виробництві, «розумних» будинках, носимих пристроях та системах відеоспостереження зі збереженням приватності. Сформований набір даних і відкритий програмний код забезпечують відтворюваність результатів. Практичну цінність підтверджено патентом України на корисну модель пристрою для виявлення падіння та автоматичного сповіщення рідних. Ключові слова: виявлення падінь, модель Transformer, машинне навчання, глибинне навчання, часові ряди, IMU, Vision Transformer, комп'ютерний зір, неконтрольоване навчання, виявлення аномалій, суб'єктно-незалежне виявлення, захист приватності, крайові обчислення, вбудовані системи.

2. The dissertation is devoted to the development and study of machine learning methods based on the Transformer model for human fall detection using inertial measurement unit (IMU) sensor data and video. Falls are a leading cause of injury, hospitalisation and mortality among older adults, and a significant concern in occupational safety and smart environments. Existing fall-detection systems built on threshold algorithms and on convolutional and recurrent neural networks achieve high accuracy on individual datasets but suffer from high false-alarm rates, poor generalisation to previously unseen subjects, a need for large volumes of labelled data, privacy concerns in video-based approaches, and high computational cost that hinders real-time deployment on resource-constrained devices. The Transformer architecture, through its self-attention mechanism, models the long-range dependencies that are important for detecting short but contextually complex events such as falls. The aim of the work is to improve the robustness, privacy and generalisation of fall-detection systems by developing a family of Transformer-based models, a balanced dataset, and real-time deployment strategies. The object of study

is the process of automated human fall detection from inertial sensor data and video; the subject is machine learning methods and models based on the Transformer architecture for fall detection, in particular subject-independent and unsupervised detection, accounting for privacy and hardware constraints. The work employs methods of machine and deep learning, digital signal and time-series processing, computer vision, probability theory and mathematical statistics, extreme value theory (EVT), and standard evaluation protocols (Leave-One-Subject-Out, ROC/PR analysis). A balanced multimodal dataset of 8,953 labelled samples (2,791 falls and 6,162 activities of daily living) from 29 participants was collected, and it is shown that adding barometric data to accelerometer data improves classification accuracy. A privacy-preserving video-based system based on EfficientNet for spatial feature extraction and LSTM for temporal modelling with a dynamic blurring module is proposed, anonymising the person without a substantial loss of detection accuracy. A comparative benchmark of seven Transformer architectures (Informer, Performer, Linformer, Temporal Convolutional Transformer and others) under unified conditions is provided, where the best models reach recall close to 100%. A Transformer model is deployed in real time on a System-on-Chip (Raspberry Pi Zero 2 W) with about 34 ms inference latency and an integrated cybersecurity layer (AES-256 encryption, blockchain). A Vision Transformer with spatio-temporal self-attention is applied for robust video analysis, while attention maps provide interpretability. A subject-independent unsupervised fall-detection method based on a masked Transformer and a combined energy-reconstruction scoring function with extreme-value-theory thresholding is developed; trained solely on activities of daily living, it reaches a ROC-AUC of 0.985, a PR-AUC of 0.955 and 95.8% event-level sensitivity under a leave-one-subject-out protocol. The scientific novelty is that, for the first time, a subject-independent unsupervised fall-detection method based on a masked Transformer and a combined energy-reconstruction scoring function with extreme-value-theory thresholding has been developed, which requires no labelled fall examples; and, for the first time, a comparative benchmarking methodology for Transformer architectures for accelerometer-based fall detection under unified experimental conditions has been proposed. An architectural solution for real-time fall detection on a System-on-Chip with cybersecurity mechanisms, and a Vision Transformer based approach to video fall detection, have been improved. Privacy-preserving video analysis methods based on EfficientNet and LSTM, and approaches to building balanced multimodal datasets, have been further developed. The practical significance is that the proposed methods can be applied in elderly monitoring systems, healthcare, occupational safety, smart homes, wearable devices and privacy-preserving video surveillance. The collected dataset and open source code ensure reproducibility of the results. The practical value is confirmed by a Ukrainian utility model patent for a device for fall detection and automatic notification of relatives. Keywords: fall detection, Transformer model, machine learning, deep learning, time series, IMU, Vision Transformer, computer vision, unsupervised learning, anomaly detection, subject-independent detection, privacy preservation, edge computing, embedded systems.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. Ursul, I. (2025). Benchmarking of Transformer-Based Architectures for Fall Detection: A Comparative Study. Technology Audit and Production Reserves, 3(2(83)), 62–70. (Scopus, WoS) https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329398
- 2. Ursul, I. (2023). A Systematic Review of Unsupervised Anomaly Detection for Early Disease Identification in Electronic Health Records. Вісник Львівського університету. Серія прикладна математика та інформатика, 33, 111–123. https://doi.org/10.30970/vam.2024.33.11975

- 3. Ursul, I. (2024). Elderly Fall Detection Using Unsupervised Transformer Model. Electronics and Information Technologies, 26, 44–51. https://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/electronics/article/view/4448 http://dx.doi.org/10.30970/eli.26.7
- 4. Ursul, I., Pereimybida, A. (2026). Vision Transformer Based Fall Detection: A Spatial Temporal Attention Mechanism for Robust Video Analysis. Electronics and Information Technologies, 33, 165–180. https://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/electronics/article/view/5193 http://dx.doi.org/10.30970/eli.33.12
- 5. Ursul, I. (2025). Real-Time Fall Detection with Transformers on a Customized System on Chip for High-Speed Efficiency. Lecture Notes in Networks and Systems. Proceedings of ICICT 2025, Volume 3, 451–470. https://doi.org/10.1007/978-981-96-6929-5_37 ISSN: 2367-3370 (print), 2367-3389 (electronic)
- 6. Ursul, I. (2025). Subject-Independent Unsupervised Fall Detection via Masked Transformers and Energy–Reconstruction Scoring. Вісник Львівського університету. Серія прикладна математика та інформатика. DOI: http://dx.doi.org/10.30970/vam.2026.36.14045 https://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/ami/article/view/14045
- 7. Ursul, I. (2025). A Balanced Big Dataset for Sensor-Based Fall Detection: Enhancing Model Accuracy and Robustness. International Journal of Computing, 24(2), 407–419. (Scopus) https://doi.org/10.47839/ijc.24.2.4025 ISSN: 1727-6209 (print), 2312-5381 (electronic)
- 8. Ursul, I., Pereimybida A. (2024). Evaluating Transformer-Based Architectures for Fall Detection Using Accelerometer Sensor Data. Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT 2024), 1–6.
- 9. Ursul, I., Pereimybida A. (2023). Unsupervised Detection of Anomalous Running Patterns Using Cluster Analysis. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT 2023), 1–6. https://doi.org/10.1109/ELIT61488.2023.10310751
- 10. Ursul, I., Muzamal J.H. (2024). A Dynamic Blurring Approach with EfficientNet and LSTM to Enhance Privacy in Video-Based Elderly Fall Detection. CEUR Workshop Proceedings (CMIS 2024), 3702, 199–210. ISSN: 1613-0073
- 11. Урсул І. З. Пристрій для виявлення падіння та автоматичного сповіщення рідних: патент України на корисну модель № 161466 / І. З. Урсул. — № u202500331; заявл. 27.01.2025; опубл. 10.12.2025, Бюл. № 50.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих; забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

Охоронні документи на ОПІВ:

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Патент України на корисну модель № 161466 «Пристрій для виявлення падіння та автоматичного сповіщення рідних» (заявка № u202500331, заявл. 27.01.2025, опубл. 10.12.2025, Бюл. № 50; автор — Урсул І. З.)

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Переймибіда Андрій Андрійович

2. Andrii A. Pereimybida

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доц., 01.01.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5367-6245

Додаткова інформація: https://scholar.google.com/citations?user=6KgJYBQAAAAJ&hl=uk; Scopus Author ID: 58759163200

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Теслюк Василь Миколайович

2. Vasyl M. Teslyuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5974-9310

Додаткова інформація: https://scholar.google.com/citations?user=65Wtu6wAAAAJ&hl=uk; Web of Science ResearcherID: R-5436-2017; Scopus Author ID: 24315132000

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Міца Олександр Володимирович

2. Oleksandr V. Mitsa

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6958-0870

Додаткова інформація: https://scholar.google.com.ua/citations?user=QLUsrWoAAAAJ; Scopus Author ID: 6506455939

Повне найменування юридичної особи: Державний вищий навчальний заклад "Ужгородський національний університет"

Код за ЄДРПОУ: 02070832

Місцезнаходження: вул. Підгірна, Ужгород, Ужгородський р-н., 88000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Щербина Юрій Миколайович
2. Yuriy M. Shcherbyna

Кваліфікація: к. ф.-м. н., професор, 01.01.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4942-2787

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 24484083900; Web of Science Researcher ID: F-6361-2019; https://scholar.google.com.ua/citations?user=cgQDVdIAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Павлишенко Богдан Михайлович
2. Bohdan M. Pavlyshenko

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.13.23

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9515-3488

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 8521299600; Web of Science Researcher ID: G-1263-2019; https://scholar.google.com/citations?user=Ld4m_aIAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Пелешко Дмитро Дмитрович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Пелешко Дмитро Дмитрович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Жак Ольга Володимирівна
Реєстратор	Юрченко Тетяна Анатоліївна
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна