

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

До захисту допустити
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

07.01.2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

на тему: Система класифікації даних від датчиків присутності в приміщенні за допомогою графової нейронної мережі

Здобувач ступеня магістра
Студент 2-го курсу,
213-ІТ-Д23 групи
Освітній рівень другий (магістр)
Галузь знань 12 - Інформаційні технології
Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма - Інтелектуальні інформаційні технології (ІІТ)

Галюченко Олександр Вадимович
(ПІБ)

Керівник Петренко Тетяна Григорівна
(ПІБ)

к.т.н., доцент, доцент кафедри ІТ УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Ковтун Ірина Володимирівна
(ПІБ)

к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортний зв'язок» УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Шергін Вадим Леонидович
(ПІБ)

к.т.н., доцент, доцент кафедри «Штучний інтелект» ХНУРЕ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____

Оцінка (ECTS) _____

м. Харків – 2025 рік

Наступні сторінки пояснювальної записки недоступні для перегляду – 2, 4, 5, 13-47, 53-77.

DO NOT COPY

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

Затверджую
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

06.10.2024 р.

Завдання

На кваліфікаційну роботу здобувача ступеня магістра	Галюченка Олесандра Вадимовича (прізвище ім'я по батькові)
Тема кваліфікаційної роботи	Система класифікація даних від датчиків присутності за допомогою графової нейронної мережі
Постановка завдання в стислій формі	Виконати аналіз предметної області та аналіз існуючих підходів до вирішення завдання, аналіз функцій проектуємої системи та аналіз результатів використання графової нейронної мережі для системи класифікації даних від датчиків присутності, сформулювати динамічну модель програмно-апаратної системи в середовищі Node-RED
Вихідні дані (2-3 адреси сайтів, матеріали яких рекомендує керівник кваліфікаційної роботи)	Studying the Use and Utility of an Indoor Location Tracking System for Non-experts. https://www.researchgate.net/publication/221015874_Studying_the_Use_and_Utility_of_an_Indoor_Location_Tracking_System_for_Non-experts mmWave Human Detection Sensor Kit Wiki. https://wiki.seeedstudio.com/mmwave_human_detection_kit/

Календарний план роботи

Дата отримання версії звіту керівником	Етап виконання роботи	Виконання (зазначає керівник)
15.11.2024	Проектування системи (включно в Jupyter notebook)	виконано
01.12.2024	Динамічна модель програмно-апаратного прототипу системи в Node-RED	виконано
09.12.2024	Підготовка та редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи за зауваженнями керівника (за змістом)	виконано
15.12.2024	Редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи (з оформлення)	виконано

Дата видачі завдання 06.10.24
Керівник (ПІБ) Петренко Тетяна Григорівна

РЕФЕРАТ

Галюченко О.В. Класифікація даних від датчиків присутності за допомогою графової нейронної мережі. – На правах рукопису.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи здобувача ступеня магістра: 77 сторінок, 29 рисунків, 5 таблиць, 23 джерела, 6 додатків.

Об'єктом дослідження є системи класифікації даних, отриманих від датчиків присутності, що застосовуються у різних сферах, таких як розумні будинки, безпека, та управління просторовою організацією приміщень. Метою роботи є розробка апаратно-програмного прототипу системи, яка здатна не лише виявляти присутність людей, але й аналізувати та класифікувати патерни руху людей в межах певного простору.

Методи дослідження включають аналіз і синтез моделей класифікації патернів поведінки на основі даних, отриманих з різних типів датчиків, таких як PIR-сенсори, ультразвукові та міліметрові сенсори.

В роботі сформовані концептуальна та фізична моделі системи з використанням засобів UML-діаграм. Моделювання різних сценаріїв роботи системи виконано в середовищі Mental Modeler. Навчання та тестування на синтетичних даних графової та рекурентної нейронних мереж, за допомогою яких реалізована класифікація даних від датчиків присутності, забезпечено Jupyter notebook.

Інтеграція всіх модулів системи виконано в середовищі Node-RED у вигляді динамічної моделі системи, що здатна в режимі реального часу здійснювати класифікацію патернів руху та поведінки людей на основі даних від датчиків присутності. Створена система забезпечує новий рівень функціональності для систем, орієнтованих на розумні приміщення та забезпечення безпеки.

СЕНСОР ПРИСУТНОСТІ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ДІАГРАМИ UML, FCM, MENTAL MODELER, GNN, RNN, JUPYTER NOTEBOOK, NODE-RED

ABSTRACT

Oleksandr Haliuchenko. Data Classification System from Indoor Presence Sensors using a Graph Neural Network. - On the right of the manuscript.

Explanatory note of the qualification work of a master's degree applicant: 77 pages, 29 figures, 5 tables, 23 sources, 6 appendices.

The object of the study is the classification system of data obtained from presence sensors, which are used in various fields, such as smart homes, security, and spatial organization management of premises. The aim of the work is to develop a software and hardware prototype of a system that is capable not only of detecting the presence of people, but also of analyzing and classifying patterns of people's movement within a certain space.

The research methods include the analysis and synthesis of models for classifying behavior patterns based on data obtained from different types of sensors, such as PIR sensors, ultrasonic and millimeter sensors.

The work forms conceptual and physical models of the system using UML diagrams. Modeling of various scenarios of the system's operation is performed in the Mental Modeler environment. Training and testing on synthetic data of graph and recurrent neural networks, with the help of which the classification of data from presence sensors is implemented, is provided by Jupyter notebook.

The integration of all system modules is performed in the Node-RED environment in the form of a dynamic system model capable of classifying human movement and behavior patterns in real time based on data from presence sensors. The created system provides a new level of functionality for systems focused on smart premises and security.

PRESENCE SENSOR, SMART HOME, UML DIAGRAMS, FCM, MENTAL MODELER, GNN, RNN, JUPYTER NOTEBOOK, NODE-RED

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	12
РОЗДІЛ 2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ	13
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ ВІД ДАТЧИКІВ ПРИСУТНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	17
3.1 Концептуальна модель системи. UML Use case	17
3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler	19
3.3 Логічна модель системи. Моделювання в Jupyter notebook	27
3.4 Фізична модель системи	33
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ	40
4.1 Архітектура програмної частини прототипу системи	40
4.2 Компоненти програмної частини прототипу системи в Node-RED	42
4.3 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	43
4.4 Опис контрольних прикладів і результатів тестування	44
4.5 Опис інструкцій користувачеві	46
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	50
ДОДАТОК А ДІАГРАМИ UML	53
ДОДАТОК Б МОДЕЛЮВАННЯ В MENTAL MODELER	57
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ В JUPYTER NOTEBOOK	62
ДОДАТОК Г МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ В NODE-RED	69
ДОДАТОК Ґ ТЕКСТ ПРОГРАМИ В NODE-RED	70
ДОДАТОК Д РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ	77

ВСТУП

Актуальність теми пов'язана зі зростаючою потребою в інтелектуальних системах, здатних не лише виявляти присутність людини в приміщенні, але й аналізувати більш складні патерни поведінки, маршрути та дії. Такі системи знаходять застосування у багатьох сферах, зокрема в розумних будинках, системах безпеки, управлінні просторами та навіть в аналізі поведінки споживачів у комерційних об'єктах.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи класифікації даних від датчиків присутності з використанням нейронної мережі для аналізу патернів руху та поведінки людей. Для досягнення мети сформульовані наступні завдання: проаналізувати існуючі системи та підходи до класифікації даних від датчиків присутності; спроектувати концептуальну та фізичну моделі системи; розробити програмне забезпечення для обробки та класифікації даних; провести тестування та валідацію системи.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси класифікації даних, отриманих від датчиків присутності, що застосовуються у різних сферах, таких як розумні будинки, безпека, та управління просторовою організацією приміщень.

Предметом дослідження є методи та алгоритми класифікації патернів руху на основі даних від різних типів датчиків присутності з використанням нейронних мереж.

Для вирішення поставлених завдань були використані методи: системного аналізу для визначення вимог до системи, моделювання за допомогою UML-діаграм для проектування системи, нечіткого когнітивного моделювання для аналізу взаємозв'язків між компонентами системи, машинного навчання для класифікації паттернів руху.

Рішення поставлених завдань дозволило отримати автору наступні результати: розроблено концептуальну та фізичну моделі системи класифікації даних від датчиків присутності; створено програмне забезпечення для генерації

та обробки даних від датчиків; реалізовано та навчено нейронну мережу для класифікації патернів руху; інтегровано систему в середовище Node-RED.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої системи для автоматизації процесів у розумних будинках, підвищення рівня безпеки приміщень та оптимізації використання просторів на основі аналізу патернів руху людей.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці архітектури системи, створенні програмного забезпечення для генерації та обробки даних, навчанні нейронної мережі та інтеграції системи в середовище Node-RED.

Кваліфікаційна робота виконана відповідно науково-дослідної роботи Українського державного університету залізничного транспорту «Розумні машини та інтернет речі зі штучним інтелектом», № ДР 0120U104276.

Основні положення і результати кваліфікаційної роботи були представлені і обговорювалися на 84-й студентській науково-техничній конференції (СНТК-2024) та увійшли до складу збірника тез.

Звіт по кваліфікаційній роботі складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку посилань з 23 найменувань і 6 додатків. Звіт містить 29 рисунків, 5 таблиць. Повний обсяг звіту становить 78 сторінок, в тому числі 52 сторінок основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, а також охарактеризовано особистий внесок здобувача, практичне значення і наукова новизна отриманих результатів.

У першому розділі сформульована загальна постановка задачі та стисло описані етапи вирішення, включаючи аналіз існуючих систем, проектування та розробку програмного забезпечення. Висновки за розділом підтверджують виділення основних етапів створення системи класифікації даних від датчиків присутності.

У другому розділі виконано огляд і аналіз підходів до класифікації даних від датчиків присутності, розглянуто різні типи датчиків та методи обробки даних. За результатами огляду та аналізу зроблені висновки щодо оптимальної

архітектури системи та вибору методів класифікації. Висновки за розділом підтверджують виділення найбільш суттєвих характеристик системи що потребують втілення в прототипі.

У третьому розділі побудований проект та виконано моделювання системи з використанням UML-діаграм та нечітких когнітивних карт. Наведено опис властивостей рекурентної нейронної мережі з LSTM архітектурою та графової нейронної мережі, які забезпечують класифікацію даних від датчиків присутності. Обгунтовано та виконано навчання моделей в Jupyter notebook. Висновки за розділом підтверджують доцільність формування моделей системи, що описують функціональність системи з точки зору користувача системи та з точки зору розробника прототипу системи.

У четвертому розділі описана реалізація системи у вигляді динамічної моделі в Node-RED, включаючи генерацію тестових даних, навчання нейронної мережі та інтеграцію компонентів. Висновки за розділом підтверджують результати синтезу програмно-апаратної системи в середовищі Node-RED та результати тестування системи.

У висновках роботи представлені теоретичні та практичні результати роботи, що підтверджують досягнення поставленої мети та вирішення всіх поставлених завдань.

РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Завдання полягає в розробці системи класифікації даних від датчиків присутності з метою аналізу патернів руху. Основна мета полягає у створенні інтелектуальної системи, яка здатна збирати, обробляти та класифікувати дані, що надходять від різних типів сенсорів, таких як PIR, ультразвукові та міліметрові сенсори. Це забезпечить можливість глибокого розуміння поведінки користувачів у межах конкретного простору. Для досягнення цієї мети у роботі потрібно реалізувати такі етапи:

- 1) На етапі аналізу існуючих систем та підходів необхідно дослідити сучасні системи класифікації та аналізу даних від датчиків присутності, вивчити наукові роботи та технічну документацію щодо різних типів сенсорів та алгоритмів класифікації патернів руху.
- 2) Етап проектування системи класифікації включає в себе розробку концептуальної, логічної та фізичної моделі системи та уточнення моделей шляхом моделювання різних сценаріїв роботи системи.
- 3) На етапі уточнення фізичної моделі треба виконати вибір і інтеграцію сенсорів у єдину систему, забезпечити належну взаємодію та збір даних.
- 4) На етапі розробки програмного забезпечення виконується створення алгоритмів для обробки даних, отриманих від сенсорів, побудова графової нейронної мережі для класифікації патернів руху, а також розробку інтерфейсу користувача для взаємодії з системою.
- 5) На етапі тестування та валідації системи здійснюється перевірка коректності роботи системи, її здатність ефективно класифікувати дані, а також виявлення та усунення можливих недоліків.
- 6) На етапі аналізу результатів оцінюється ефективність системи, наводяться рекомендації щодо можливих покращень та подальшого розвитку системи.

У розділі сформульована загальна постановка задачі та стисло описані етапи вирішення завдання - створення системи класифікації даних від датчиків присутності.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було успішно розроблено та реалізовано інноваційну систему класифікації даних від датчиків присутності з використанням сучасних методів машинного навчання. Проведене дослідження дозволило не лише досягти всіх поставлених цілей, але й створити основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем моніторингу.

Ключовим досягненням роботи стала розробка гібридної архітектури, що поєднує рекурентні нейронні мережі для аналізу часових послідовностей з підготовленою інфраструктурою для інтеграції графових нейронних мереж. Така архітектура забезпечує високу точність класифікації патернів руху, що підтверджується досягнутою точністю на тестовому наборі даних для всіх визначених класів патернів: звичайна ходьба, біг, стояння на місці, падіння та відсутність руху.

Практична значимість розробленого рішення полягає у створенні повноцінної системи, готової до впровадження в реальних умовах. Система демонструє високу адаптивність та може бути використана в різноманітних сферах, включаючи охорону здоров'я, безпеку та автоматизацію будівель. У сфері охорони здоров'я система може застосовуватися для моніторингу активності пацієнтів та раннього виявлення падінь. У контексті безпеки вона забезпечує точне відстеження присутності та руху людей у захищених зонах. В області автоматизації будівель система дозволяє оптимізувати використання ресурсів на основі реальних патернів руху користувачів.

Система має значний потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Перспективними напрямками розширення функціональності є повна інтеграція графової нейронної мережі для покращення просторового аналізу даних, розробка механізмів адаптивного навчання для врахування нових патернів поведінки, та впровадження розширених алгоритмів виявлення аномалій. Важливим аспектом майбутнього розвитку є також оптимізація

обчислювальної ефективності для роботи з більшою кількістю сенсорів та впровадження механізмів федеративного навчання для розподілених систем.

Окремо варто відзначити потенціал системи для комерційного застосування. Розроблене рішення може бути адаптоване для використання в торгових центрах для аналізу потоків відвідувачів, в офісних приміщеннях для оптимізації використання робочого простору, та в житлових комплексах для підвищення рівня безпеки та комфорту мешканців. Модульна архітектура системи забезпечує можливість її масштабування та налаштування під специфічні вимоги різних користувачів та сценаріїв застосування.

Результати роботи створюють фундамент для подальших досліджень у галузі інтелектуальних систем класифікації даних від датчиків присутності. Розроблені підходи та методи можуть бути використані як основа для створення більш складних систем моніторингу та аналізу поведінки людей у приміщеннях, що відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій Інтернету Речей та Штучного Інтелекту.

Основні положення і результати кваліфікаційної роботи були представлені і обговорювалися на 84-й студентській науково-техничній конференції (СНТК-2024) та увійшли до складу збірника тез [23].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1) Петренко Т.Г. Методичні матеріали до порядку та змісту підготовки, оформлення та захисту пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи магістранта. Харків: УкрДУЗТ, 2024. – 23 с.
- 2) Studying the Use and Utility of an Indoor Location Tracking System for Non-experts. URL:
https://www.researchgate.net/publication/221015874_Studying_the_Use_and_Utility_of_an_Indoor_Location_Tracking_System_for_Non-experts (Last accessed: 15.12.24)
- 3) Location Systems. An Introduction to the Technology Behind Location Awareness. URL:
<https://www3.cs.stonybrook.edu/~mdasari/courses/cse570/lamarca-location-awareness-tutorial.pdf> (Last accessed: 15.12.24)
- 4) Occupancy Prediction in IoT-Enabled Smart Buildings: Technologies, Methods, and Future Directions. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/11/3276> (Last accessed: 15.12.24)
- 5) PIR (motion) sensor. URL:
https://www.adafruit.com/product/189?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-GxBhC1ARIsADGgDjvA8hM310lnqu0zFyjFCs_NDvjoYeR7d6miyT0IY2sKS588GPZP1pkaAuLGEALw_wcB (Last accessed: 15.12.24)
- 6) PIR and ultrasonic sensors: What's the difference and how do they work? URL:
<https://my.avnet.com/abacus/resources/article/pir-and-ultrasonic-sensors-whats-the-difference-and-how-do-they-work> (Last accessed: 15.12.24)
- 7) MB1010 LV-MaxSonar-EZ1. URL:
https://maxbotix.com/products/mb1010?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xRkqDrT3ySSb9J_FH36swhhOGuvf_3jEs2HqAA6tRCs1Ol6dxiQ93UaAkGcEALw_wcB&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_term (Last accessed: 15.12.24)

- 8) 24GHz mmWave Sensor - Human Static Presence Module Lite Datasheet. URL: https://files.seeedstudio.com/wiki/mmWave-radar/24GHz_mmWave_Sensor-Human_Static_Presence_Module_Lite_Datasheet.pdf (Last accessed: 15.12.24)
- 9) mmWave Human Detection Sensor Kit. URL: https://www.seeedstudio.com/mmWave-Human-Detection-Sensor-Kit-p-5773.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xTSVLpPaV5AmWT_7_T3NWd2n6twUFyD6CC1SoU0-uOReM8Xl0kGVgsaAjtGEALw_wcB (Last accessed: 15.12.24)
- 10) mmWave Human Detection Sensor Kit Wiki. URL: https://wiki.seeedstudio.com/mmwave_human_detection_kit/ (Last accessed: 15.12.24)
- 11) Intelligent Millimeter-Wave System for Human Activity Monitoring for Telemedicine. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/1/268> (Last accessed: 15.12.24)
- 12) Fuzzy Cognitive Map. Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com> (Last accessed: 15.12.2024)
- 13) Jupyter Notebooks. URL: <https://jupyter.org> (Last accessed: 15.12.24)
- 14) Google Collaboratory. URL: <https://colab.research.google.com> (Last accessed: 15.12.24)
- 15) Recurrent Neural Networks. URL: <https://stanford.edu/~shervine/teaching/cs-230/cheatsheet-recurrent-neural-networks> (Last accessed: 15.12.24)
- 16) Long Short-Term Memory Neural Networks. URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/long-short-term-memory-networks.html> (Last accessed: 15.12.24)
- 17) Graph Attention Networks. URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.10903> (Last accessed: 15.12.24)
- 18) RNN: Working with Sequences. URL: https://d2l.ai/chapter_recurrent-neural-networks/sequence.html (Last accessed: 15.12.24)

- 19) Time-series data analysis using LSTM. URL:
<https://www.kaggle.com/code/amirrezaeian/time-series-data-analysis-using-lstm-tutorial> (Last accessed: 15.12.24)
- 20) Time Series Analysis using LSTM Keras. URL:
<https://www.kaggle.com/code/hassanamin/time-series-analysis-using-lstm-keras> (Last accessed: 15.12.24)
- 21) How Powerful Are Graph Neural Networks? URL:
<https://arxiv.org/pdf/1810.00826> (Last accessed: 15.12.24)
- 22) Graph neural network starter for beginners. URL:
<https://www.kaggle.com/code/validmodel/graph-neural-network-starter-for-beginners> (Last accessed: 15.12.24)
- 23) Галюченко О. Проектування системи класифікації даних від датчиків присутності. Збірник тез 84-й студентської науково-техничної конференції (СНТК-2024), с.80-81. URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/tezi-sntk-84.pdf> (Дата звернення: 20.12.24)