

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. Ректора

**Чорноморського національного
університету імені Петра Могили
д-р техн. наук, професор**

 **Леонід КЛИМЕНКО**
«18» серпня 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу від 18 серпня 2025 р. № 12
розширеного засідання кафедри комп'ютерної інженерії
факультету комп'ютерних наук
Чорноморського національного університету імені Петра Могили

ПРИСУТНІ:

- з кафедри комп'ютерної інженерії: професори Журавська І. М., Чуйко Г. П., Нікольський В. В.; доценти Бойко А. П., Крайник Я. М., Пузирьов С. В., Савінов В. Ю.; ст. викладачі Дарнапук Є. С.; Бурлаченко І. С., Старченко В. В., Тогоєв О. Р., Обухова К. О.
- з кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій: професор Трунов О. М.;
- з кафедри кібербезпеки Хмельницького національного університету (м. Хмельницький): канд. техн. наук, доцент Чешун В. М.;
- з кафедри комп'ютерних систем та робототехніки Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (м. Харків): професор Мірошник М. А.;
- з Молодіжної ради при Миколаївській обласній військовій адміністрації: голова Євсюков Є. А.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри комп'ютерної інженерії ТОГОЄВА Олексія Романовича за матеріалами дисертаційної роботи «Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології.

Тему дисертаційної роботи «Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу» затверджено на засіданні

Вченої ради Чорноморського національного університету імені Петра Могили (протокол від 21 листопада 2024 р. № 10).

Науковим керівником затверджений д-р техн. наук, проф. Журавська І. М.

2. Запитання до здобувача Тогоєва О. Р.

Запитання по темі дисертації ставили: д-р фіз.-мат. наук, проф. Чуйко Г. Б.; д-р техн. наук, проф. Нікольський В. В.; д-р техн. наук, проф. Трунов О. М.; д-р техн. наук, проф. Мірошник М. А.; канд. техн. наук, доц. Крайник Я. М.; канд. техн. наук, доц. Савінов В. Ю.; канд. техн. наук, доц. Чешун В. М.; канд. фіз.-мат. наук, доцент Пузирьов С. В.; ст. викладач Бурлаченко І. С.

3. Виступи за обговореною роботою Тогоєва О. Р..

В обговоренні дисертації взяли участь: д-р фіз.-мат. наук, проф. Чуйко Г. П.; д-р техн. наук, проф. Журавська І. М.; д-р техн. наук, проф. Нікольський В. В.; д-р техн. наук, проф. Трунов О. М.; д-р техн. наук, проф. Мірошник М. А.; канд. техн. наук, доц. Крайник Я. М.; канд. техн. наук, доц. Савінов В. Ю.; канд. техн. наук, доц. Чешун В. М.; канд. фіз.-мат. наук, доцент Пузирьов С. В.; PhD, д-р філософії, Дарнапук Є. С.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дисертації
ТОГОЄВА Олексія Романовича

за матеріалами дисертаційної роботи на тему «Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
з галузі знань 12 Інформаційні технології

Наукова новизна отриманих результатів

Ознайомлення зі змістом дисертації та основними публікаціями, а також за результатами фахового семінару дозволяє дійти висновку, що основна мета дослідження полягає у створенні нових та вдосконаленні вже існуючих методів і засобів для здійснення моніторингу середовища (приміщення) для виявлення та ідентифікації об'єктів на основі аналізу RSSI та CSI інформації про Wi-Fi мережу. Це знайшло відображення в основних положеннях роботи, які сформульовані автором особисто та містять наукову новизну.

Наукова новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає у наступному:

- **вперше запропоновано** метод пошуку рухомих об'єктів, як хостів бездротової мережі, на основі мультиагентного підходу, що може бути використано для визначення черговості обслуговування та дозволяє прискорити на 11,2 % формування черги обслуговування об'єктів на основі прослуховування трафіку бездротових мереж у приміщеннях корпоративної мережі;

- **удосконалено** метод ідентифікації матеріалів за інформацією про стан каналу (CSI) шляхом двоступеневої обробки (калібруванням фази та низькочастотною фільтрацією) та використанням критерія подібності $\geq 0,95$. Запропоновані зміни дали змогу підвищити точність розпізнавання металевих

об'єктів на 14,38 % (з середнього базового рівня 77,62 % до 92 %) та збільшити точність визначення скляних об'єктів на 3,38 % (до 81 %), що підтверджується результатами 80 контрольних дослідів (8 класів $\times$ 10 вимірювань).

– **набули подальшого розвитку** методи багатокласової класифікації об'єктів за амплітудними та фазовими патернами CSI: розроблено експериментальну базу з восьми різнорідних матеріалів (метал, скло, тканина, пластик, сіль, борошно, картон, селітра) й доведено можливість коректної ідентифікації у 77,62 % випадків у середньому, при цьому для картону досягнуто 89 % успіху, а для селітри – 83 %, що демонструє стійкість підходу до об'єктів з близькими діелектричними властивостями.

Наукова новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів, сформульованих висновків і наданих рекомендацій є очевидною та свідчить про досягнення поставленої мети. Результати також характеризуються оригінальним авторським підходом до вирішення поставленого науково-практичного завдання. Основні наукові результати отримані особисто здобувачем.

Репрезентативність результатів досліджень

Достовірність отриманих результатів обумовлена коректною постановкою задач дослідження, використанням сучасних методів обробки даних, зокрема використанням стійких до аномалій у значеннях сигналів RSSI та CSI, що дозволили мінімізувати вплив викидів і флуктуацій шуму; математичного моделювання експоненціального згладжування, поліноміальної регресії для демонстрації залежності між рівнем сигналу та відстанню у моделях поширення радіохвиль; аналізу головних компонент для зменшення розмірності даних CSI та виділення ключових ознак сигналів; розпізнавання образів, інтелектуального аналізу даних і машинного навчання; цифрової середньозваженої, медіанної та смугової фільтрації сигналів для знешумлення, калібрування фази CSI та екстракції трендів.

Об'єктивною формою підтвердження обґрунтованості та адекватності основних положень дисертації є апробація запропонованих методів на міжнародних та всеукраїнських конференціях; результати, отримані у ході експериментальних досліджень, а також їхнє впровадження у навчальний процес Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Проведено серію тестувань зробленої системи на різних апаратних конфігураціях, таких як MikroTik та ESP32. Отримані результати в ході тестувань, дозволили оцінити точність, швидкодію та стійкість розроблених алгоритмів. У тому числі, отримані результати підтверджено статистичними розрахунками, що демонструють високу кореляцію між розробленими методами та традиційними підходами до аналізу медичних сигналів, і дозволили зробити висновки щодо доцільності інтеграції декількох методів і подальший розвиток системи для практичного використання у реальному середовищі.

Практичне використання результатів дослідження забезпечується можливістю їхньої інтеграції у системи автоматизованого аналізу сигналів Wi-Fi, моніторингу місцезнаходження об'єктів, персоналізованого позиціонування та стандартизації методів ідентифікації матеріалів і пристроїв. Запропоновані

методи можуть бути використані у системах безконтактного моніторингу та безпеки, корпоративних Wi-Fi мережах і IoT-платформах. Отримані висновки можуть бути використані при удосконаленні методів пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів Wi-Fi-сигналу, що відкриває перспективи для їхнього застосування у сфері бездротового моніторингу та безпеки.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів

- розроблено процедуру віддаленого моніторингу переміщення об'єктів бездротової корпоративної мережі на основі мультиагентного підходу з урахуванням багатостороннього характеру радіоканалу, що дозволяє підвищити точність виявлення об'єктів бездротової корпоративної мережі за рахунок обчислення характеристик сигналу (CSI) під час прямого зв'язку рухомих об'єктів (англ. peer-to-peer), а також зв'язку через Wi-Fi-точки доступу;

- впроваджено в організацію навчального процесу в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуації для НПП та здобувачів кафедри комп'ютерної інженерії ЧНУ ім. Петра Могили;

- реалізовано можливість розбудови системи для моніторингу навколишнього середовища, ідентифікації змін та визначення параметрів об'єктів без потреби в додаткових датчиках чи камерах, що сприяє заощадженню ресурсів та розширює горизонти використання технології Wi-Fi та Wi-Fi-сніфферів;

- використано методику та результати досліджень, проведених під час роботи над дисертацією, при розробленні робочих програм і проведенні лекційних, практичних та лабораторних робіт з дисциплін «Комп'ютерні мережі», «Бездротові комп'ютерні мережі» та «Технології захисту інформації» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 123 Комп'ютерна інженерія та 122 Комп'ютерні науки;

- практичну цінність мають комп'ютерні програми «Smart Monitor» та «Складання Wi-Fi-мапи переміщення пацієнтів територією реабілітаційного центру», що дозволяють забезпечити оперативний та точний навігаційний супровід людей на території, охопленій бездротовою корпоративною мережею, за умови наявності у людей персональних гаджетів (Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно № 107018 та № 107427).

Результати дисертаційної роботи мають суттєве практичне значення в галузі автоматизованих систем аналізу сигналів Wi-Fi, моніторингу місцезнаходження об'єктів, персоналізованого позиціонування та стандартизації методів ідентифікації матеріалів і пристроїв. Запропоновані методи можуть бути використані в системах безконтактного моніторингу та безпеки, корпоративних Wi-Fi мережах, «розумних» просторах та платформах Інтернету речей (IoT), наукових дослідженнях, розробці інтелектуальних систем класифікації об'єктів, а також у навчальному процесі підготовки фахівців за спеціальністю Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили (надалі – ЧНУ ім. Петра Могили).

Матеріали дисертаційного дослідження увійшли у заключні звіти з науково-дослідних робіт (НДР) «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (№ ДР 0121U109898, 2021–2022 рр.) та «Розроблення мобільних малогабаритних та стаціонарних бездротових приладів ранньої діагностики, профілактики, лікування та посттравматичних відновлень військово-цивільного застосування» (№ ДР 0119U100422, 2019–2020 рр.), що фінансувалися з коштів державного бюджету.

Здобувач наразі здійснює впровадження отриманих результатів власних досліджень у НДР «Інженерія даних як процеси виявлення, збору, реєстрації та подальшої обробки даних в рамках побудови апаратно-програмної інфраструктури даних» (№ ДР 0125U000904, 2022–2029 рр.), як виконавець.

Оцінка основного змісту дисертації та її структури

Дисертація є завершеною науковою працею. Стиль і мова викладення матеріалу в тексті дисертаційної роботи цілком відповідають існуючим вимогам викладення науково-технічної інформації. Робота написана грамотною науково-технічною мовою із використанням загальноприйнятої термінології та за своїми змістом і формою повністю відповідає вимогам пп. 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 від 12 січня 2022 р. № 44 (у редакції від 08.05.2024).

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел до кожного розділу та п'яти додатків. Основний зміст роботи викладено на 132 сторінках друкованого тексту, містить 27 рисунків та 13 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 168 сторінок. **Перший розділ** містить аналіз сучасного стану виявлення та ідентифікації об'єктів із використанням WiFi-технологій. Здійснено аналіз сучасного стану науково-практичної розробленості питання ідентифікації об'єктів з використанням Wi-Fi, викладено теоретичні основи виявлення об'єктів у WiFi-мережі. Окремо було визначено, що питання виявлення та ідентифікації об'єктів з використанням мережі Wi-Fi вивчається сьогодні у трьох напрямках: дослідження фізичних змін сигналу, розробка теоретичних моделей, розробка класичних та глибинних методів машинного навчання. **Другий розділ** присвячений методам отримання та обробки даних про місцезнаходження й розпізнавання об'єктів у бездротових мережах. Розглянуто підходи до локалізації за допомогою WiFi-відбитків (англ. RSSI Fingerprinting), що дозволяють визначати положення об'єктів у приміщеннях без використання GPS. Детально описано алгоритм k-найближчих сусідів (k-NN) для завдань позиціонування, а також переваги баєсівських моделей для роботи з невизначеностями та залежностями сигналів CSI. Окрему увагу приділено аналізу пакетів даних Wi-Fi і використанню технологій «сніфінгу» для підвищення точності позиціонування, методам на основі моделювання поширення радіохвиль та системам RADAR. Крім цього, виокремлено потенціал CSI (Channel State Information), як джерела унікальних характеристик для

ідентифікації людей, пристроїв і предметів у середовищі, що дозволяє створювати комплексні системи безконтактного моніторингу. **Третій розділ** зосереджений на розробленні та дослідженні інструментів для реалізації експериментів з пошуку та ідентифікації об'єктів. Було запропоновано метод пошуку рухомих об'єктів як хостів бездротової мережі на основі мультиагентного підходу, обґрунтовано вибір мов програмування (Python для аналізу даних і побудови графічних інтерфейсів та C++ для роботи з апаратними компонентами ESP32) і бібліотек (Pandas, PyQt, routeros_api) для ефективною реалізації алгоритмів обробки сигналів та інтеграції з мережевим обладнанням. Проаналізовано апаратну базу – від точок доступу MikroTik для збору RSSI-даних до мікроконтролерів ESP32 для роботи з CSI – з наведенням технічних характеристик і порівнянь моделей. Визначено архітектуру майбутніх експериментів та алгоритми, що забезпечують поєднання даних із різних джерел у єдиній системі моніторингу. **Четвертий розділ** присвячений реалізації експериментальної частини дослідження та аналізу отриманих результатів. Представлено розроблені експериментальні алгоритми, схеми збору даних та їх практичне застосування для оцінки ефективності підходів на основі RSSI та CSI. Було удосконалено метод ідентифікації матеріалів за інформацією про стан каналів (CSI) шляхом двоступеневої обробки (калібруванням фази та низькочастотною фільтрацією) та використанням критерія подібності $\geq 0,95$. Проведено тестування розробленої системи на різних апаратних конфігураціях, таких як MikroTik та ESP32, що дозволило оцінити точність, швидкодію та стійкість алгоритмів у реальних умовах. Розглянуто порівняння отриманих результатів із класичними методами позиціонування, визначено обмеження та потенційні напрями вдосконалення. На основі отриманих даних зроблено висновок про доцільність інтеграції кількох методів та подальший розвиток системи для практичного використання в реальному середовищі. Запропоновані підходи можуть бути використані в системах неінвазивного моніторингу, що дозволяє підвищити точність результатів, скоротити час обробки сигналів та автоматизувати процеси аналізу параметрів у задачах ідентифікації об'єктів у середовищі. **Висновки** сформовані коректно. Список використаних джерел містить 99 найменувань. У додатках містяться документи про впровадження наукових розробок здобувача, програмний код розроблених програмних компонент, список опублікованих праць.

Аналіз публікацій

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 20 наукових праць, з них 2 статті – у періодичних наукових фахових виданнях України (кат. Б); 3 статті у періодичних наукових фахових виданнях, проіндексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science; 12 робіт апробаційного характеру у форматі тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях (у т. ч. 2 праці проіндексовано у наукометричній базі Scopus). Додатково відображають наукові результати дисертації 1 стаття – в зарубіжному періодичному науковому виданні (OECP); 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Особиста участь автора в отриманні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі, полягає у наступному: проведено

комплексний аналіз сучасних засобів і методів виявлення та ідентифікації об'єктів із використанням WiFi-технологій; розроблено методику визначення місцезнаходження пацієнтів на базі WiFi-трафіку з використанням RSSI; описано проведені експерименти, проаналізовано їх результати та створено прототип системи, що забезпечує позиціонування в умовах відсутності GPS; створено мультиагентну модель моніторингу рухомих об'єктів у корпоративній мережі; запропоновано архітектуру комунікації агентів, алгоритм об'єднання даних з різних точок доступу та CSI-підхід до ідентифікації об'єктів, проведено тестування CNN-моделі, що забезпечила точність понад 97 % при розпізнаванні типів об'єктів; розроблено алгоритм інтеграції RSSI-даних із кількох точок доступу для визначення координат об'єкта, створено базову реалізацію «Smart Monitor»; створено програмні рішення для збору та візуалізації даних Wi-Fi, інтегровано алгоритми класифікації (k-NN, Random Forest, CNN) і модулі попередньої обробки CSI.

Загальний висновок

Дисертаційна робота ТОГОЄВА Олексія Романовича є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, що є суттєвим для створення моделей та інформаційних технологій для підвищення якості процесу прийняття рішень в задачах вибору припустимих за оптимальністю організаційних структур великих наукомістких підприємств. Зміст дисертації відповідає визначеній меті, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені, і, таким чином, мету дослідження досягнуто. Основні положення дисертації, що задекларовані здобувачем, містять елементи наукової новизни, рівень яких визначено коректно. Робота відповідає стандарту спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та вимогам до рівня наукової кваліфікації здобувача.

Публікації та апробації повністю відображають результати дисертації, а особистий внесок здобувача до наукових публікацій, що підготовлені в співавторстві відображені коректно та можуть бути зараховані за темою дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації обґрунтовані, містять пункти наукової новизни та пройшли необхідну апробацію на науково-практичних конференціях.

Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, а саме: постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (у редакції від 08.05.2024); наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (у редакції від 12.07.2019).

З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей ТОГОЄВА Олексія Романовича дисертаційна робота на тему «Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу»

рекомендується для подання до розгляду та захисту на Вченій раді ЧНУ ім. Петра Могили.

УХВАЛИЛИ:

1. Затвердити Висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дисертації **ТОГОЄВА Олексія Романовича** на тему «**Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу**».

2. Рекомендувати дисертаційну роботу «**Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу**», подану **Тогоєвим Олексієм Романовичем** на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

3. Запропонувати Вченій раді ЧНУ ім. Петра Могили включити до складу разової спеціалізованої вченої ради з правом прийняття до розгляду та проведення захисту дисертації нижчезазначені кандидатури:

Голова Ради: ТРУНОВ Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв)

Рецензент: КРАЙНИК Ярослав Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв)

Рецензент: ПУЗИРЬОВ Сергій Володимирович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв)

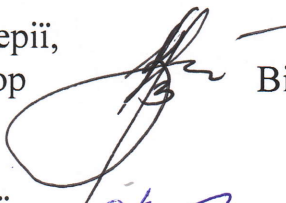
Опонент: МІРОШНИК Марина Анатоліївна, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри комп'ютерних систем та робототехніки Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (м. Харків)

Опонент: Чешун Віктор Миколайович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки Хмельницького національного університету (м. Хмельницький).

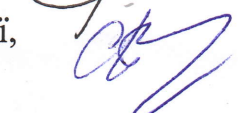
Результати голосування присутніх на засіданні докторів наук та кандидатів наук:

– всього: «За» – 10, «Проти» – 0, «Утрималось» – 0.

Головуючий на засіданні
професор кафедри комп'ютерної інженерії,
д-р техн. наук зі спец. 05.13.05, професор

 Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

Секретар засідання
доцент кафедри комп'ютерної інженерії,
канд. фіз.-мат. наук, доцент

 Сергій ПУЗИРЬОВ