

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри комп'ютерної інженерії
факультету комп'ютерних наук

Чорноморського національного університету ім. Петра Могили

Крайника Ярослава Михайловича

на дисертаційну роботу **Тогоєва Олексія Романовича** на тему:
«Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів
WiFi-сигналу», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
галузі знань 12 Інформаційні технології

Актуальність теми

Дисертаційне дослідження Тогоєва О.Р. присвячене удосконаленню методів та засобів аналізу параметрів WiFi-сигналу з метою ефективного пошуку статичних і рухомих об'єктів та підвищення якості їх ідентифікації.

Тема дослідження є актуальною, з огляду на те, що на відміну від відеоспостереження чи радарів, аналіз WiFi-сигналів дозволяє здійснювати ефективний моніторинг простору без встановлення додаткової апаратури, особливо якщо для такого простору встановлені вимоги конфіденційності. Крім того, сучасні методи обробки сигналів, зокрема із застосуванням штучного інтелекту, машинного та глибокого навчання (які використовував здобувач в своєму дослідженні), відкривають широкі можливості щодо пошуку та ідентифікації об'єктів за динамікою зміни WiFi-сигналів.

Дисертант, на основі аналіз наукових джерел та наявних практичних рішень, справедливо зауважує, що в пріоритеті у розробників були пошук та ідентифікація насамперед статичних об'єктів. Внаслідок цього, природно, попередні методи не є ефективними щодо пошуку об'єктів динамічних. Крім того, в сучасних умовах України існує запит на швидке та ефективне розпізнавання не тільки власне об'єктів, а й матеріалів, з яких вони зроблені та(або) містять всередині себе.

У рецензованій праці розроблено метод та апаратно-програмне забезпечення, які сприяють швидкому пошуку рухомих і статичних об'єктів, покращенню ефективності їх розпізнавання та визначення матеріалів, з яких вони

складаються і, як наслідок, своєчасності й адекватності реагування на можливі загрози.

Таким чином, науково-практичне завдання розробки методів та засобів пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів WiFi-сигналу та відповідного апаратно-програмного комплексу на основі ESP32 та пакетів Pandas, вирішення якого запропоновано в дисертаційній роботі Тогоєва О. Р., відкриває широкі можливості для ефективного неінвазивного моніторингу об'єктів у приміщеннях різної площі та конфігурації.

Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій

Сформульовані в рецензованій дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є обґрунтованими та вірогідними. Завдання дослідження поставлені коректно, для здійснення розрахунків використано сучасний математичний апарат, отримані здобувачем наукового ступеню результати не протирічать відомим підходам. Застосовані у дисертації методи моделювання й аналізу а також ретельно описані проведені експериментальні дослідження забезпечують необхідний рівень об'єктивності та надійності отриманих дисертантом результатів.

Новизна наукових результатів дослідження

Зміст дисертації, основні публікації здобувача та результати фахового семінару свідчать, що метою дисертаційного дослідження був розвиток методів та засобів моніторингу середовища (приміщення) для виявлення та ідентифікації об'єктів на основі аналізу RSSI- та CSI-інформації про WiFi-мережу. Це знайшло відображення в основних положеннях роботи, сформульованих автором особисто, наукова новизна яких 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 CSI-ідентифікації матеріалів шляхом

двоступеневої обробки (калібруванням фази та низькочастотною фільтрацією) інформації про стан каналу та використанням високого критерію подібності ($\geq 0,95$). Запропоновані зміни дали здобувачеві можливість підвищити з середнього рівня до високого точність розпізнавання металевих та скляних об'єктів, що було підтверджено результатами достатньої кількості контрольних дослідів;

- набули подальшого розвитку методи багаторангової класифікації об'єктів за амплітудними та фазовими патернами CSI. Зокрема, створено експериментальну базу з восьми матеріалів (метал, скло, тканина, пластик, сіль, борошно, картон, селітра) й доведено можливість їх коректної ідентифікації в середньому у 77,62 % випадків.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів

Здобувачем розроблено процедуру віддаленого моніторингу переміщення об'єктів бездротової корпоративної мережі на основі мультиагентного підходу з урахуванням багатофакторного характеру радіоканалу, що дозволяє підвищити точність виявлення об'єктів бездротової корпоративної мережі шляхом обчислення характеристик сигналу під час прямого зв'язку рухомих об'єктів, а також зв'язку через WiFi-точки доступу. Дану процедуру впроваджено в навчальний процес ЧНУ імені Петра Могили в умовах воєнного стану.

Реалізовано можливість розбудови системи неінвазивного моніторингу змін навколишнього середовища, визначення параметрів нових об'єктів без застосування додаткових пристроїв, що суттєво економить витрати та розширює можливості використання технології WiFi-сніферів.

Практичну цінність, підтверджену відповідними Свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір, мають написані дисертантом комп'ютерні програми «Smart Monitor» та «Складання WiFi-мапи переміщення пацієнтів територією реабілітаційного центру», які спрямовані на забезпечення оперативного та точного навігаційного супроводу суб'єктів територією, охопленою бездротовою корпоративною мережею, за умови наявності у них персональних гаджетів.

Викладене вище засвідчує, що результати дисертаційної роботи мають істотне практичне значення в галузі стандартизації методів ідентифікації матеріалів і пристроїв, використання автоматизованих систем аналізу сигналів Wi-Fi щодо місцеперебування об'єктів, та персоналізованого їх позиціонування.

Запропоновані методи можуть бути використані для виявлення сторонніх осіб або об'єктів у приміщеннях, відстеження переміщення людей у критичних зонах, розпізнавання небажаної активності (навіть без прямої видимості об'єкта) в системах віддаленого моніторингу та безпеки, корпоративних WiFi-мережах, на платформах IoT.

Теоретичне значення одержаних здобувачем результатів полягає у можливості їх використання у подальших наукових дослідженнях, зокрема в галузі розробки інтелектуальних інформаційних систем класифікації об'єктів.

Результати дисертаційного дослідження та розроблена здобувачем методика введені до робочих програм, лекційних, практичних та лабораторних занять з навчальних 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.

Зміст дисертації та оформлення роботи

Дисертація Тогоєва О. Р. є самостійною завершеною працею, стилістика мовлення якої відповідає чинним вимогам до викладення науково-технічної інформації. В роботі використано загальноновживану технічну термінологію. За своїми змістом і формою дисертаційне дослідження 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).

Аналіз публікацій

За темою дослідження здобувачем опубліковано 20 наукових праць, з них 3 статті у періодичних фахових виданнях, що індексовані у наукометричних базах

Scopus та Web of Science; 2 статті – у періодичних фахових виданнях України категорії Б; 12 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях (у т. ч. дві публікації індексовані у наукометричній базі Scopus). Також, як було вказано вище, автором одержано 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми.

Особистий внесок автора щодо науково-практичних результатів, викладених в дисертаційній роботі та наукових публікаціях, полягає:

- у здійсненні аналізу сучасних засобів і методів пошуку та ідентифікації статичних об'єктів із використанням WiFi-технологій щодо їх ефективності для виявлення та розпізнання рухомих об'єктів;
- у розробці методики визначення місцеперебування пацієнтів методом аналізу WiFi-трафіку з використанням RSSI;
- у плануванні, розробці, здійсненні та описі проведених експериментів, аналізі їх результатів та створенні прототипу системи забезпеченні позиціонування об'єктів в умовах відсутності GPS;
- у створенні мультиагентної моделі віддаленого моніторингу рухомих об'єктів у корпоративній мережі;
- у створенні архітектури комунікації агентів на основі алгоритму об'єднання даних з різних точок доступу та CSI-підході до ідентифікації об'єктів, проведенні тестування запропонованої CNN-моделі, яка, за результатами тестування, забезпечила високу точність розпізнавання типів об'єктів;
- у розробленні алгоритму інтеграції RSSI-даних із кількох точок доступу для визначення координат об'єкта, і створенні на основі даного алгоритму базової реалізації – комп'ютерної програми «Smart Monitor»;
- у створенні програмних рішень для збору та візуалізації даних Wi-Fi, у які (рішення) інтегровано алгоритми класифікації (k-NN, Random Forest, CNN), і модулів попередньої обробки CSI-даних.

Відповідність принципам академічній доброчесності

В процесі ознайомлення з дисертацією порушень академічної доброчесності не виявлено. Здобувач здійснив ретельний огляд і аналіз попередніх наукових

досліджень та практичних розробок в обраній галузі, використав викладені в них результати, як відправну точку для власних науково-практичних розробок із дотриманням принципів академічної доброчесності. У дисертації коректно оформлені посилання на використані джерела, наведені у списку літератури. Наукові публікації автора представлені у провідних наукометричних базах і відкриті для сучасних пошукових систем.

Недоліки та зауваження

1. У роботі ефективно використано мікроконтролер ESP32 для збору CSI-даних, однак доцільним було б доповнити дослідження коротким аналізом режимів його роботи (зокрема STA та promiscuous) з точки зору впливу на якість і стабільність зібраної інформації. Такий аналіз міг би надати додаткові аргументи для обґрунтування вибору конфігурації системи в умовах різних сценаріїв застосування.

2. У дисертації представлено код прошивки ESP32, однак не деталізовано процес оновлення або масштабування ПЗ для серійного розгортання пристроїв. Розгляд механізмів OTA-оновлення або автоматизованої конфігурації дозволив би полегшити інтеграцію системи в більші IoT-інфраструктури.

3. Під час реалізації експериментів із класифікації об'єктів за CSI-даними значну роль може відігравати частота зчитування інформації з мережевого інтерфейсу. У цьому контексті корисним доповненням до дослідження було б оцінювання впливу частоти оновлення вимірювань на точність класифікації та позиціонування, що дало б змогу оптимізувати роботу системи в реальному часі.

Однак, вказані недоліки не знижують науково-практичної цінності одержаних в дисертаційній роботі результатів і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок

Дисертаційна робота Тогоєва Олексія Романовича є самостійним завершеним науковим дослідженням, в якому використано міждисциплінарні підходи для створення інноваційних, ефективних і економічно вигідних систем

пошуку та ідентифікації об'єктів у реальному середовищі.

Зміст дисертації відповідає сформульованій меті, поставлені завдання вирішені, отже, мету дослідження досягнуто. Основні положення дисертації містять елементи коректно зазначеної наукової новизни. Робота відповідає стандарту спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та вимогам до рівня наукової кваліфікації здобувача.

Результати дисертаційного дослідження повністю відображені у одноосібних наукових публікаціях здобувача. Особистий внесок дисертанта до наукових розвідок, підготовлених у співавторстві, сформульований коректно та може бути зарахований за темою дослідження. Наукові положення, висновки та рекомендації обґрунтовані, містять елементи наукової новизни та отримали апробацію на науково-практичних конференціях.

Структура, мова та стиль викладення дисертаційного дослідження Тогоєва О. Р. відповідають постанові Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 «Порядок 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) та наказу Міністерства освіти та науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (у редакції від 12.07.2019).

Вважаю що Тогоєв Олексій Романович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Рецензент

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії
факультету комп'ютерних наук
Чорноморського національного університету
ім. Петра Могили

Ярослав КРАЙНИК

(підпис)

Дата