

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента

кандидата фізико-математичних наук,
доцента кафедри комп'ютерної інженерії
факультету комп'ютерних наук

Чорноморського національного університету ім. Петра Могили

Пузирьова Сергія Володимировича

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 Інформаційні технології

Актуальність теми

Дисертаційне дослідження Тогоєва О.Р. спрямоване на вирішення науково-практичної проблеми удосконалення, створення та впровадження методів та засобів аналізу параметрів WiFi-сигналу з метою підвищення ефективності пошуку об'єктів та покращення якості їх ідентифікації.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю підвищення швидкості та якості ідентифікації та пошуку статичних та рухомих об'єктів у приміщеннях на основі аналізу різних параметрів WiFi-сигналів, що вимагає розробки нових методів аналізу даних з використанням методів машинного навчання.

Традиційний підхід ідентифікації об'єктів у WiFi-мережах полягає у аналізі лише одного набору даних по вибраному параметру WiFi-сигналу. Також часто використовуються вже готові тренувальні набори даних для нейронних мереж для ідентифікації об'єктів. Але такі підходи не дають достатньої точності для ідентифікації об'єктів з різнорідних матеріалів. Особливо критично це проявляється при збільшенні кількості WiFi-точок доступу, що різко збільшує кількість помилкових детектувань.

Як свідчить аналіз наукових джерел, проведений у дисертаційній роботі, існуючі методи не забезпечують належний рівень автоматизації процесів ідентифікації статичних об'єктів та практично не можуть забезпечити прийнятний рівень точності ідентифікації об'єктів, особливо, якщо вони переміщуються.

У дисертації запропоновано метод, який дозволяє подолати зазначені обмеження завдяки застосуванню методів машинного навчання для автоматичної ідентифікації та пошуку об'єктів майже у реальному часі на основі комплексного аналізу різних параметрів WiFi-сигналів з різних точок доступу. Розроблений метод та апаратно-програмне забезпечення дають значне покращення ключових

показників ефективності детектування як статичних, так і рухомих об'єктів, таких як точність ідентифікації, швидкість пошуку та реакції.

Таким чином, наукове завдання розробки методу ідентифікації та пошуку об'єктів у приміщеннях та відповідного апаратно-програмного комплексу на основі ESP32/8266 та пакетів Pandas/TensorFlow, що є основою дисертаційної роботи Тогоєва О. Р., відкриває нові можливості для пасивного моніторингу об'єктів у різноманітних приміщеннях, як-то шпиталі, офіси компаній, склади, охоронні систем.

Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій

Усі наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційному дослідженні, є обґрунтованими та достовірними. Це підтверджується коректною постановкою завдань, використанням сучасного математичного апарату та їх узгодженістю з відомими підходами. У роботі застосовано методи аналізу, моделювання та експериментальні дослідження, що забезпечують належний рівень об'єктивності й надійності отриманих результатів.

Новизна наукових результатів дослідження

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 та засобів для здійснення 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, 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.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів

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 за рахунок обчислення характеристик сигналу (CSI) під час прямого зв'язку рухомих об'єктів (англ. *peer-to-peer*), а також зв'язку через WiFi-точки доступу.

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 WiFi-сніферів.

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 WiFi-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 WiFi-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 123 Комп'ютерна інженерія.

Зміст дисертації та оформлення роботи

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).

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 (ОЕСР); 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.

Відповідність академічній доброчесності

Здобувач наукового ступеня доктора філософії Тогоєв О.Р. дотримався принципів академічної доброчесності, здійснивши ретельний огляд і аналіз попередніх наукових досліджень із належним використанням їх результатів як основи для власної роботи.

У дисертації коректно оформлені всі посилання на використані джерела, що також наведені у списку літератури. Наукові публікації автора є відкритими для пошуку через сучасні пошукові системи й представлені у провідних наукометричних базах. Під час ознайомлення з дисертацією порушень академічної доброчесності не виявлено.

Недоліки та зауваження

1. У дисертаційній роботі проведено дослідження ідентифікації об'єктів з обмеженої кількості матеріалів. Доцільно було б розширити перелік матеріалів та поповнити статистику ідентифікації об'єктів.

2. У дисертаційній роботі недостатньо висвітлено питання економічної ефективності запропонованого рішення. Такі економічні аспекти, як вартість розгортання, експлуатації та обслуговування, — мають велике значення для практичного впровадження технології. Для підвищення практичної цінності роботи доцільно було б додати хоча б коротку оцінку економічних переваг розробленого методу. Це дозволило б краще зрозуміти потенційну конкурентоспроможність запропонованого підходу на практиці.

3. В дисертації недостатньо детально описано модель для машинного навчання та не вказано, яким чином отримується первинний dataset.

4. У блок-схемах алгоритмів відсутній блок Вихід або Кінець, що створює враження нескінченного виконання алгоритму.

Вказані недоліки не знижують наукової цінності та практичного значення одержаних в дисертаційній роботі наукових результатів і, внаслідок цього, її позитивну оцінку в цілому.

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 **у** 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, 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 фізико-математичних наук, доцент

доцент кафедри комп'ютерної інженерії

факультету комп'ютерних наук

Чорноморського національного університету

ім. Петра Могили

Дата

(підпис) Сергій ПУЗИРЬОВ
