МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

Данайканич Ростислав Васильович

Інтелектуальна система моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами/Intelligent Wi-Fi Coverage Monitoring System with Active Probes

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Освітньо-професійна програма – Штучний інтелект

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КНШІ-41
Р. В. Данайканич

Науковий керівник:
к.т.н., доцент, О.Р. Осолінський

Кваліфікаційну роботу допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.

Завідувач кафедри
_____Н.В. Дзюбановська

Тернопіль – 2026

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління
Освітній ступінь «бакалавр»
спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
освітньо-професійна програма – Штучний інтелект

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____ Н.В. Дзюбановська
«____» _____20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ДАНАЙКАНИЧУ Ростиславу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Інтелектуальна система моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами/Intelligent Wi-Fi Coverage Monitoring System with Active Probes
керівник роботи О.Р. Осолінський, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджений наказом по університету від 01 грудня 2025 року № 894.
2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи 25 травня 2026 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу студента, наукові статті, технічна література.
4. Основні питання, які потрібно розробити:
- провести аналіз особливостей Wi-Fi-покриття як об'єкта моніторингу;
- проаналізувати аналіз сучасних методів і систем моніторингу wi-fi-покриття;
- сформувати постановку задачі розроблення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття;
- розробити архітектуру інтелектуальної системи моніторингу wi-fi-покриття;
- розробити алгоритми функціонування системи та активних зондів;
- спроектувати інформаційне забезпечення системи;
- провести вибір програмних і апаратних засобів реалізації системи;
- реалізувати ключові модулі програмного прототипу;
- розробити Веб-Інтерфейс адміністратора системи;
- провести тестування функціональності програмного прототипу.
5. Перелік графічного матеріалу в роботі:
- функціональна схема прототипу інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi;
- загальний алгоритм роботи модуля інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел відповідно до предметної області та складання плану роботи	до 01.01.2026 р.	
2	Написання 1 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.02.2026 р.	
3	Написання 2 розділу кваліфікаційної роботи	до 15.03.2026 р.	
4	Написання 3 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.05.2026 р.	
5	Представлення попереднього варіанту кваліфікаційної роботи, перевірка та внесення змін керівником	до 15.05.2026 р.	
6	Опрацювання зауважень та представлення завершеного варіанту кваліфікаційної роботи. Підготовка супроводжуючих документів	до 25.05.2026 р.	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на оригінальність тексту	до 30.05.2026 р.	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи та отримання допуску до захисту	до 10.06.2026 р.	
9	Подання кваліфікаційної роботи до захисту на засіданні атестаційної комісії	до 10.06.2026 р.	

Студент_____ Р. В. Данайканич
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи_____ О.Р. Осолінський
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 73 с., 20 рис., 1 таблиця, 36 джерел, 4 додатки.

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка забезпечує збір, обробку та аналіз даних про стан бездротового середовища, побудову й уточнення радіокарти, виявлення аномалій і формування рекомендацій для адміністратора мережі.

Об’єкт дослідження — процеси моніторингу, збору та аналізу параметрів Wi-Fi-покриття в бездротових мережах приміщень.

В роботі застосовано методи системного аналізу, просторово прив’язаного моніторингу бездротових мереж, логічного структурування алгоритмів, проектування інформаційного забезпечення, обробки телеметричних даних, а також методи штучного інтелекту для класифікації зон покриття та виявлення аномалій.

Запропоновано архітектуру інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття.

Розроблено алгоритми функціонування системи та активних зондів, що охоплюють ініціалізацію вимірювальної сесії, збір параметрів Wi-Fi-середовища. Також спроектовано інформаційне забезпечення системи, описано вхідні та вихідні інформаційні потоки й побудовано концептуальну інфологічну модель даних.

Реалізовано програмний прототип системи, який включає серверну частину, модуль активного зонда, модуль збору та збереження телеметрії, модуль попередньої обробки даних, інтелектуальний аналітичний модуль та веб-інтерфейс адміністратора.

Ключові слова: WI-FI-ПОКРИТТЯ, МОНІТОРИНГ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ, АКТИВНИЙ ЗОНД, ТЕЛЕМЕТРІЯ, РАДІОКАРТА, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ, КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОН ПОКРИТТЯ, ВЕБ-ІНТЕРФЕЙС, ПРОГРАМНИЙ ПРОТОТИП.

ANNOTATION

Explanatory note to the qualification thesis: 73 pages, 20 figures, 1 table, 36 references, 4 appendices.

The aim of the work is to develop an intelligent Wi-Fi coverage monitoring system with active probes that provides collection, processing, and analysis of data on the state of the wireless environment, radio map construction and refinement, anomaly detection, and generation of recommendations for the network administrator.

The object of research is the processes of monitoring, collecting, and analyzing Wi-Fi coverage parameters in indoor wireless networks.

The work applies methods of systems analysis, spatially referenced wireless network monitoring, logical structuring of algorithms, information support design, telemetry data processing, as well as artificial intelligence methods for coverage zone classification and anomaly detection.

An architecture of an intelligent Wi-Fi coverage monitoring system has been proposed.

Algorithms for the operation of the system and active probes have been developed, covering the initialization of a measurement session and the collection of Wi-Fi environment parameters. In addition, the information support of the system has been designed, input and output information flows have been described, and a conceptual infological data model has been constructed.

A software prototype of the system has been implemented, including the server side, the active probe module, the telemetry collection and storage module, the data preprocessing module, the intelligent analytical module, and the administrator web interface.

Keywords: Wi-Fi COVERAGE, WIRELESS NETWORK MONITORING, ACTIVE PROBE, TELEMETRY, RADIO MAP, INTELLIGENT ANALYSIS, ANOMALY DETECTION, COVERAGE ZONE CLASSIFICATION, WEB INTERFACE, SOFTWARE PROTOTYPE.

ЗМІСТ

ВСТУП

Сучасні бездротові мережі стали однією з ключових складових цифрової інфраструктури навчальних закладів, офісів, адміністративних будівель, виробничих приміщень та розумних середовищ. Через Wi-Fi користувачі отримують доступ до хмарних сервісів, електронних освітніх платформ, систем відеозв'язку, внутрішніх інформаційних ресурсів і прикладних сервісів. Тому якість бездротового покриття безпосередньо впливає на стабільність роботи інформаційної системи загалом.

Особливістю Wi-Fi-середовища є його висока мінливість. На рівень сигналу та якість з'єднання впливають планування приміщення, матеріали стін, кількість користувачів, завантаження каналів, взаємні перешкоди між точками доступу, зміна розташування обладнання та наявність сторонніх джерел радіозавад.

Традиційні підходи до перевірки Wi-Fi-покриття часто ґрунтуються на разових вимірюваннях рівня сигналу або ручному аналізі теплових карт. Проте такого підходу недостатньо. В таких умовах виникає потреба в системах, які можуть збирати параметри Wi-Fi-середовища та аналізувати їх.

Перспективним напрямом є використання активних зондів, які працюють як окремі вимірювальні вузли. Поєднання таких вимірювань з методами інтелектуального аналізу дозволяє автоматично виявляти аномалії і давати рекомендації щодо покращення покриття.

Актуальність теми полягає в необхідності розроблення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та аналіз даних про стан бездротового середовища.

Метою є розробка інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка забезпечує збір, обробку та аналіз даних про стан бездротового середовища, побудову й уточнення радіокарти, виявлення аномалій і формування рекомендацій для адміністратора мережі.

Завдання кваліфікаційної роботи полягають у послідовному виконанні таких етапів:

− провести аналіз особливостей Wi-Fi-покриття як об’єкта моніторингу;

− проаналізувати сучасні методи та системи моніторингу Wi-Fi-покриття;

− сформувати постановку задачі розроблення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття;

− розробити архітектуру інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами;

− розробити алгоритми функціонування системи та активних зондів;

− спроектувати інформаційне забезпечення системи, визначити вхідні та вихідні інформаційні потоки;

− провести вибір програмних і апаратних засобів реалізації системи;

− реалізувати ключові модулі програмного прототипу;

− провести тестування функціональності програмного прототипу.

Об’єкт дослідження — процеси моніторингу, збору та аналізу параметрів Wi-Fi-покриття в бездротових мережах приміщень.

Предмет дослідження — методи, алгоритми та програмні засоби побудови інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами.

В роботі застосовано методи системного аналізу, просторово прив’язаного моніторингу бездротових мереж, логічного структурування алгоритмів, проєктування інформаційного забезпечення, методів штучного інтелекту для класифікації зон покриття та виявлення аномалій.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані та опубліковані в матеріалах VII Міжнародної наукової конференції, «Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки», м. Чернігів,Україна

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО МОНІТОРИНГУ WI-FI-ПОКРИТТЯ

1.1 Особливості Wi-Fi-покриття як об’єкта моніторингу

Моніторинг Wi-Fi-покриття можна розглядати як прикладний напрям, що поєднує бездротові мережі, позиціювання, аналіз телеметрії та візуалізацію результатів. Основне завдання такого моніторингу — не просто зафіксувати наявність сигналу, а оцінити, наскільки стабільно мережа працює в конкретній точці приміщення. Для сучасних приміщень це особливо важливо, оскільки користувача цікавить не просто підключення до точки доступу, а стабільність з’єднання, швидкість передавання даних, затримка, якість роумінгу між точками доступу та відсутність зон з деградованим сервісом. Актуальність такої задачі підсилюється і розвитком стандартів Wi-Fi. В [1, 9, 10] показано рух Wi-Fi не лише в бік вищої пропускної здатності, а і у бік сприйняття середовища як джерела вимірювальної інформації.

На практиці моніторинг Wi-Fi-покриття часто починається з site survey — обстеження бездротового середовища. За офіційним описом NetSpot таке обстеження дає інформацію про кількість мереж у зоні, їх покриття, силу сигналу, використання каналів, рівень інтерференції, співвідношення сигналу до шуму та підтримувані режими PHY. Отримані дані подаються у вигляді теплових карт, де значення кожного параметра прив’язуються до реального плану приміщення. Саме тому моніторинг покриття слід розглядати як просторово прив’язаний процес спостереження за мережею, а не як простий набір разових вимірювань.

В межах цієї області важливо не лише зібрати дані, а і правильно поєднати їх з геометрією об’єкта, поверхами, кімнатами, коридорами, матеріалами стін і розміщенням точок доступу [2, 11].

На рисунку 1.1 показано принцип побудови радіокарти приміщення на основі виміряних значень рівня сигналу RSSI у різних контрольних точках. Такий підхід дає змогу оцінити розподіл Wi-Fi-покриття в просторі та виявити ділянки зі слабким або нестабільним сигналом.

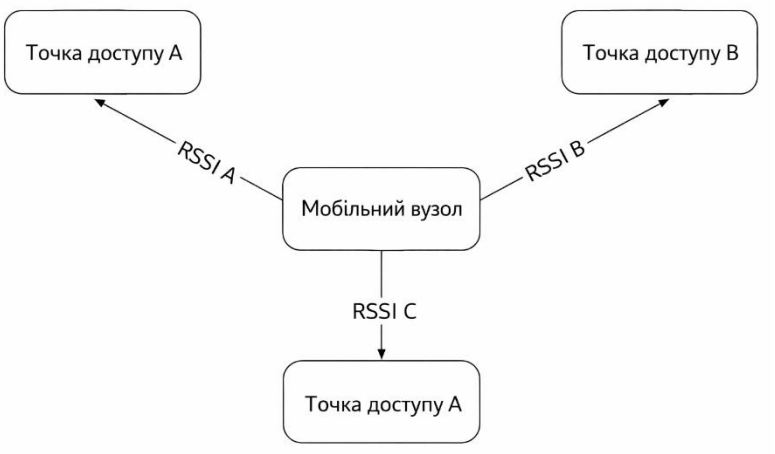


Рисунок 1.1 – Схема позиціювання на основі значень RSSI

У межах такого підходу важливо розрізняти пасивне спостереження за ефіром і активне тестування мережі за допомогою зондів. Пасивний моніторинг дозволяє слухати радіоефір і збирати інформацію про покриття, силу сигналу, SNR та взаємні перешкоди без обов'язкового підключення до конкретної мережі. Активний підхід потребує підключення до цільової WLAN і дає змогу вимірювати вже не лише стан радіосередовища, а фактичну якість сервісу, зокрема throughput, round-trip time і packet loss. Тому активний зонд можна розглядати як окремий вузол, що працює подібно до звичайного клієнтського пристрою, виконує тестові підключення і дає більш практичну оцінку якості покриття. Подібну логіку видно і в Cisco Catalyst Center [2], де wireless sensors і sensor-driven tests використовуються для оцінки network health, перегляду результатів тестів, трендів продуктивності та сусідніх точок доступу [11, 12].

Для оцінювання Wi-Fi-покриття використовують кілька груп показників. До базових належать RSSI, шум, SNR, зайнятість каналу, кількість видимих точок доступу, діапазон частот і покриття за типом PHY.

До сервісних належать швидкість приймання і передавання, затримка, packet loss, jitter, успішність асоціації та якість роумінгу. Для активного моніторингу цього набору достатньо, щоб переходити від оцінки простої наявності сигналу до оцінки реальної користувацької якості. В цьому полягає одна з головних відмінностей між класичним аналізатором ефіру та інтелектуальною системою

моніторингу покриття. Інтелектуальна система має не лише зберігати вимірювання, а й допомагати знаходити слабкі зони, нестабільні ділянки, конфлікти каналів, падіння швидкості та підвищену затримку [2, 11, 12].

Наукові роботи підтверджують, що саме сила сигналу залишається одним з основних первинних індикаторів при дослідженні покриття, але її не можна трактувати ізольовано. В роботі [1] розглядається задача формального оцінювання бездротових мережевих сервісів для навчальних приміщень і інтелектуальних просторів з метою досягнення кращого рівня сигналу та безпечнішого електромагнітного середовища. Це важливо бо показує, що якість покриття залежить не тільки від потужності передавача, а й від кількості точок доступу та їх розміщення. В роботі [5] система на базі IEEE 802.11ax побудована на RSSI-вимірюваннях, але прямо вказується, що точність такого підходу обмежується затуханням сигналу, електромагнітними перешкодами і мінливістю середовища. З цього виходить, що високий рівень сигналу сам по собі ще не гарантує стабільної роботи мережі. Тому під час аналізу потрібно враховувати і радіопараметри, і умови конкретного середовища. [1, 3, 5].

Важливе місце в цій області займає концепція fingerprinting, коли параметри сигналу збираються у багатьох контрольних точках простору і формують радіокарту об’єкта. Такий підхід корисний для позиціювання та для глибшого розуміння фактичного покриття. В дослідженні [2] показано, що дані радіовідбитків можна збирати за допомогою роботизованої платформи, яка одночасно будує карту середовища та визначає своє положення, після чого поєднувати результати сканування Wi-Fi з точною просторовою прив’язкою. Автори цієї роботи вказують, що такий підхід дає щільніший набір вимірювань і зменшує час формування карти середовища.

Близькою за ідеєю є робота [8], у якій мобільна роботизована платформа збирає просторово узгоджені телеметричні дані про затримку, втрату пакетів, пропускну здатність і стан мережі під час руху в реальному виробничому середовищі. Це означає, що активний зонд слід трактувати, як сучасний інструмент

польового вимірювання, який поєднує властивості клієнтського пристрою, датчика телеметрії та мобільного елемента картографування мережі [2, 4, 8].

Окремою проблемою є динамічність середовища. В оглядовій роботі [4] прямо наголошується, що для позиціювання в приміщенні на основі значень RSSI у Wi-Fi-мережах головною перешкодою є нестабільність і завади під час поширення сигналу в мінливому середовищі. На рівень сигналу можуть впливати люди, меблі, двері, відбиття радіохвиль, багатопроменеве поширення та зміна орієнтації пристрою під час вимірювання. Подібні труднощі видно і у великих багатоповерхових будівлях, що підкреслює і огляд в роботі [6], де Wi-Fi fingerprinting розглядається саме для великих багаторівневих об’єктів. На рисунку 1.2 показано основні фактори, які змінюють рівень прийнятого сигналу в реальних умовах експлуатації мережі. До них належать перешкоди в приміщенні, переміщення людей, багатопроменеве поширення сигналу та зміна положення або орієнтації пристрою.

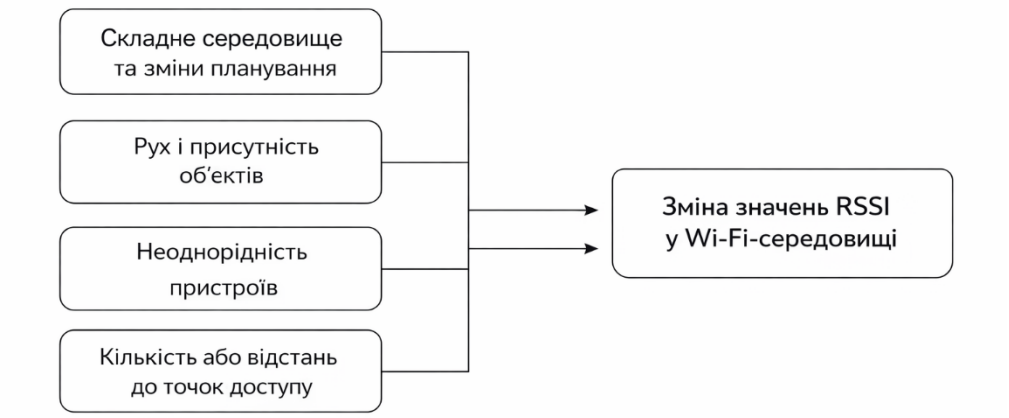


Рисунок 1.2 – Схема чинників, що впливають на значення RSSI у Wi-Fi-середовищі

Якщо система орієнтується лише на одиничний вимір, вона не зможе відділити справді проблемну зону від тимчасової локальної флуктуації. Тому предметна область вимагає багаторазових спостережень, накопичення статистики та порівняння результатів в часі [4, 5, 6].

Ще один напрям розвитку пов’язаний із переходом від одного RSSI до часових характеристик сигналу. В огляді [3] показано, що визначення місцеположення за допомогою Wi-Fi на основі методу Fine Timing Measurement стало важливим напрямом позиціювання в приміщенні, а дослідження вже охоплюють не лише стандарт 802.11mc, а й новіші розширення 802.11az та 802.11bk. Для моніторингу покриття це важливо тому, що Wi-Fi-мережа поступово перетворюється не лише на канал зв’язку, а й на джерело просторових вимірювань. В роботі [14], WiFi RTT розглядається в якості навігації та позиціонування пішоходів у приміщенні.

Тому сучасна предметна область поступово переходить від простих карт сигналу до комбінованих моделей, в яких враховуються і рівень сигналу, і часові параметри проходження радіосигналу [3, 6, 14].

Найперспективнішим є поєднання різних типів вимірювань. В роботі [7] запропоновано гібридний підхід Wi-Fi RTT-RSS для надійного позиціювання в приміщенні, який одночасно враховує час проходження сигналу та рівень прийнятого сигналу.

На рисунку 1.3 подано загальну структуру підходу, в якому для оцінювання стану Wi-Fi-середовища одночасно використовуються показники RSS і RTT. Поєднання цих параметрів дозволяє підвищити точність аналізу покриття та зробити результати менш чутливими до випадкових коливань сигналу.

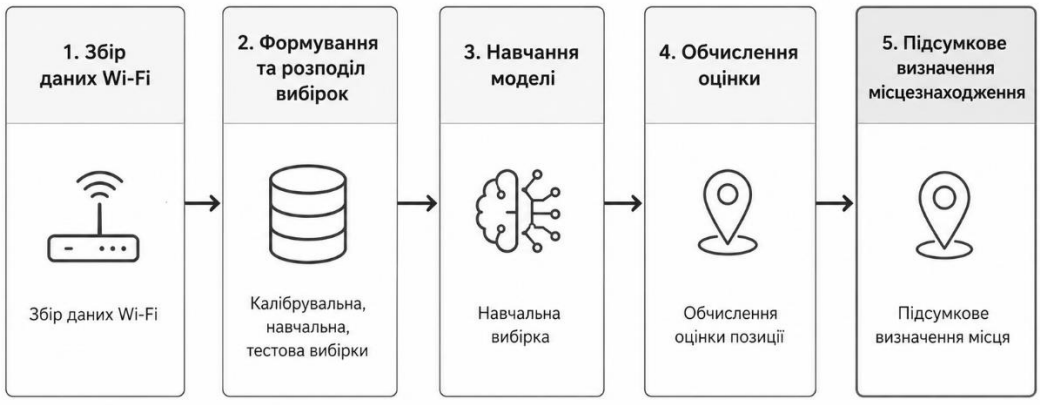


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема надійного Wi-Fi-позиціювання на основі RTT і RSS

Для проектування системи важливо врахувати можливість формування стійкішої оцінки стану середовища. Якщо RSSI чутливий до завад і випадкових коливань, то часові вимірювання дають додаткову опору, а разом ці ознаки дозволяють точніше локалізувати деградацію сервісу. Прикладні дослідження також показують, що поєднання кількох типів вимірювань дає точніші результати. Наприклад, в роботі [13] порівнюються Wi-Fi і BLE в обмежених просторах з використанням доступного серійного обладнання, що показує реальну залежність точності від конкретного середовища.. Це підкреслює, що моніторинг покриття не можна відривати від умов об’єкта, у якому працює мережа [7, 13].

Підсумовуючи розглянуті підходи, Wi-Fi-покриття бажано описувати через три взаємопов’язані рівні. Перший шар є радіочастотним і описує фізику покриття. Другий є сервісним і показує фактичну якість мережі для клієнта. Третій є аналітичним і відповідає за візуалізацію, виявлення аномалій, підтримку рішень щодо оптимізації та повторне вимірювання після змін у конфігурації [2, 11, 12].

1.2 Аналіз сучасних методів і систем моніторингу Wi-Fi-покриття

Огляд сучасних рішень моніторингу Wi-Fi-покриття показує, що ця область вже давно вийшла за межі простих теплових карт сигналу. Якщо раніше основна увага зосереджувалась на разовому вимірюванні RSSI та ручному аналізі карти покриття, то тепер більшість нових підходів поєднує бездротові вимірювання з машинним навчанням, автоматичним оновленням радіокарт, аналізом телеметрії та засобами прогнозування стану мережі. Огляд [1] показує, що рішення на базі відбитків RSSI вже розглядаються не лише з точки зору самої технології вимірювання, а й з точки зору вибору моделей машинного та глибокого навчання. Систематичний огляд [2] також підтверджує, що Wi-Fi лишається домінантною технологією у цій сфері, а серед типів вимірювань найчастіше використовується саме RSSI, хоча роль CSI, RTT та інших більш інформативних характеристик постійно зростає [1, 2].

За даними огляду [2], у вибірці з 280 проаналізованих досліджень 82 відсотки робіт були пов’язані саме з Wi-Fi, а 70 відсотків використовували RSSI як головне джерело інформації. Це підтверджує, що в класичному моніторингу покриття RSSI залишається найпростішим і найпоширенішим показником. Водночас той самий огляд показує поступовий перехід до складніших рішень, де в аналіз додають CSI, RTT, AoA і моделі глибокого навчання. Тому сьогодні існуючі рішення розглядаються як перехід від класичного обстеження бездротової мережі до інтелектуальних систем, які не лише виконують вимірювання, а і самостійно виявляють закономірності, збої та тенденції змін у середовищі [2].

Серед таких рішень окреме місце займають підходи, що використовують радіовідбитки сигналу як показано на рисунку 1.4. Робота [8] показує типовий приклад такого напряму. Автори використовують Wi-Fi RSSI fingerprinting і порівнюють кілька моделей машинного навчання, зокрема SVM, KNN, дерева рішень, Random Forest і лінійну регресію. В дослідженні застосовано дев’ять наборів даних із загальним обсягом понад 31 тисячу записів, а найкращий результат, за висновком авторів, показав KNN. Цінність такого підходу полягає в тому, що методи ШІ застосовуються не для повного керування мережею, а для точнішого аналізу вже зібраних вимірювань. [8].

Водночас класичні рішення на основі радіовідбитків мають суттєве обмеження.

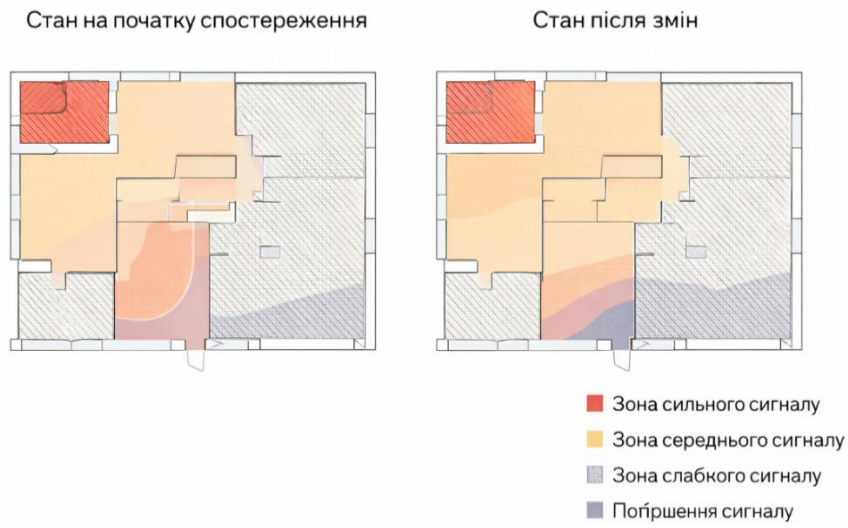


Рисунок 1.4 – Зміна розподілу сигналу точки доступу в часі

Переміщення точок доступу, зміна їх потужності, ремонт приміщень, поява нових пристроїв і регулярні зміни навколишнього середовища призводять до того, що колись зібрана карта покриття вже не відображає реальну ситуацію. Саме цю проблему вирішує робота [4], де запропоновано підхід GUFU на основі графових нейронних мереж для оновлення Wi-Fi-відбитків за допомогою нових немаркованих сигналів [31]. В роботі підкреслюється, що такий підхід дозволяє не проводити повне повторне обстеження об’єкта, а поступово актуалізувати базу відбитків. У цій роботі заявлено зниження похибки за RSS на 21,4 відсотка і зниження похибки визначення місця на 29,8 відсотка порівняно з іншими підходами.

Окремий клас рішень використовує вже наявну Wi-Fi-інфраструктуру (рисунок 1.5) не лише для доступу до мережі, а і як джерело телеметрії для аналітики стану об’єкта.

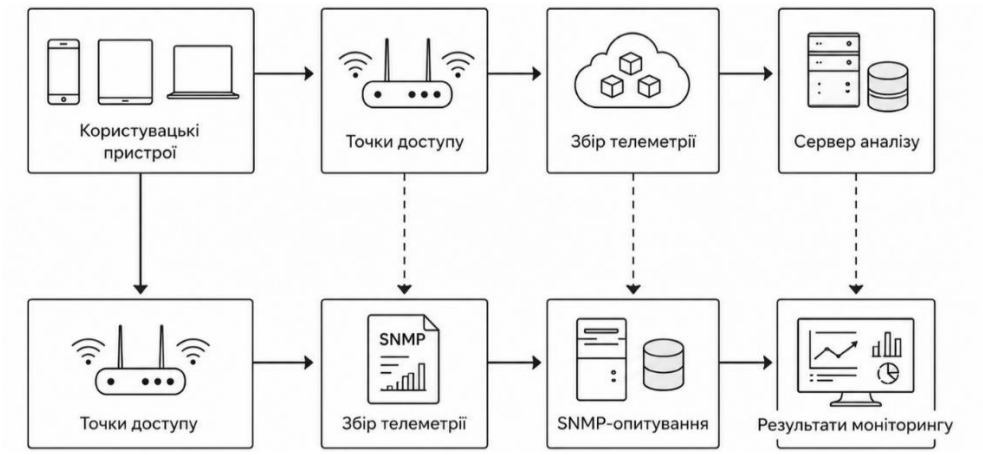


Рисунок 1.5 – Потік даних у системі Wi-Fi-моніторингу

Приклад такого підходу наведено в роботі [5], де точки доступу університетської бібліотеки використовуються як джерела телеметричних даних. Автори показують, що анонімізовані дані про підключення пристроїв можуть використовуватися для оцінювання присутності людей у приміщенні. В дослідженні використано сім точок доступу, централізований збір даних через контролер, доступ до телеметрії через SNMP. Хоча ця робота орієнтована не на карту покриття в класичному вигляді, а на підрахунок присутності, вона важлива

для аналізу існуючих рішень, бо показує ширший сучасний підхід. Wi-Fi-мережа тут уже сприймається як сенсорна система, яка дає змогу оцінювати реальний стан середовища без встановлення окремих датчиків.

Паралельно з цим у наукових роботах зростає інтерес до рішень, які працюють не лише з RSSI, а з більш багатою телеметрією. Робота [6] показує один із найсучасніших напрямів. В ній запропоновано систему WiFiGPT, у якій модель типу трансформера лише з декодером використовується для безпосередньої обробки телеметрії Wi-Fi.. Автори наголошують, що їхній підхід здатний працювати з різними типами вхідних даних, зокрема RSSI, FTM і CSI, без ручної побудови ознак. В роботі заявлено, що модель досягає субметрової точності для RSSI та FTM і сантиметрової точності для CSI. Тому, сучасні підходи поступово зменшують залежність від ручного формування ознак і переходять до моделей, здатних самостійно виявляти складні закономірності у Wi-Fi-середовищі [3, 6].

Ще одна тенденція пов’язана з переходом від окремих алгоритмів до повноцінних систем керування мережею на основі ШІ (рисунок 1.6). У корпоративному сегменті дедалі помітнішим стає перехід від реактивного адміністрування до замкненого циклу оптимізації.

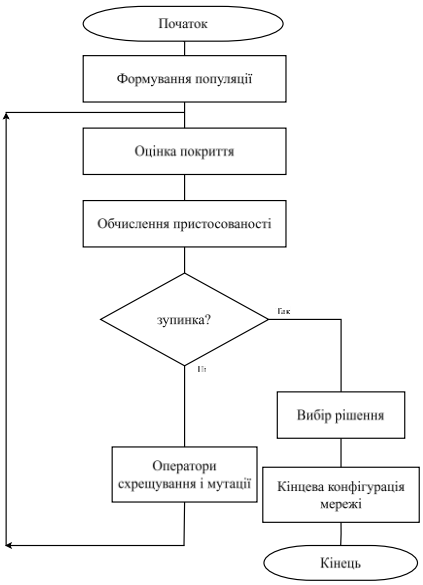


Рисунок 1.6 – Алгоритм оптимізації Wi-Fi-мережі на основі штучного інтелекту

В статті [7] підкреслено, що традиційні контролери вже не забезпечують потрібного рівня гнучкості в умовах високої щільності клієнтів і динамічного навантаження. Автори розглядають інтелектуальні Wi-Fi-контролери як засіб безперервного аналізу радіосередовища, оцінювання шуму, завантаження каналів, перекриття спектра, якості сервісу, а також автоматичного регулювання потужності та параметрів мережі. Важливо і те, що в цій роботі окремо виконано порівняльний аналіз рішень Juniper Mist AI, HPE Aruba Networking Central і Cisco DNA Center, а також запропоновано власний замкнений алгоритм оптимізації на основі генетичних алгоритмів і ШІ [7].

Промислові системи добре підтверджують цей перехід. Згідно з документацією Juniper Mist Wi-Fi Assurance, ця платформа базується на машинному навчанні, орієнтована на користувацький досвід і дає змогу задавати та контролювати сервісні пороги для часу підключення, покриття, пропускної здатності та інших параметрів. У документації також зазначено, що платформа відстежує понад 150 змін стану клієнтів і точок доступу та може автоматично запускати захоплення пакетів при появі аномалій. У випадку HPE Aruba Central AI Insights акцент зроблено на телеметрії від точок доступу, комутаторів і шлюзів, а також на виявленні аномалій на рівні точки доступу, підключення та клієнта через event correlation і root cause analysis. В межах цього підрозділу ці системи можна вважати найбільш зрілими прикладами промислових рішень, де моніторинг Wi-Fi-покриття вже нерозривно пов’язаний із прогнозною аналітикою та автоматизованим пошуком причин проблем [11, 12].

Подібні ідеї простежуються також в сучасних дипломних і дисертаційних дослідженнях. Наприклад в роботі [13] запропоновано використання глибокого навчання для прогнозування втрат сигналу, інтерполяції радіокарт та оптимізації розміщення точок доступу за допомогою великої мовної моделі. У цьому випадку інтелектуальний аналіз використовується не лише після розгортання мережі, а вже на етапі її планування та подальшого супроводу. В роботі [14] наголошено на проблемах варіативності, перенавчання і низької відтворюваності в Wi-Fi sensing, особливо коли даних мало. Показується, що для стабільної роботи моделей

потрібні спеціальні підходи до навчання і чіткі правила оцінювання. В іншій роботі [15] акцент зроблено на довірі до даних локалізації та на тому, що Wi-Fi-маяки й інші бездротові сигнали можуть бути вразливими до атак підміни, ретрансляції та навмисного спотворення. Тобто інтелектуальна система моніторингу [33] повинна бути не лише точною, а й стійкою до помилкових або змінених вимірювань [13, 14, 15].

Узагальнюючи проведений аналіз, видно, що існуючі рішення моніторингу Wi-Fi-покриття сьогодні розвиваються в кількох напрямах одночасно. Перший напрям зберігає класичну логіку fingerprinting і використовує ШІ для кращого аналізу RSSI. Другий напрям орієнтується на автоматичне оновлення радіокарт і зменшення потреби в повторному повному обстеженні об’єкта. Третій напрям використовує мережу як сенсорну інфраструктуру, де телеметрія від Wi-Fi слугує основою для виявлення подій, аномалій та змін середовища. Четвертий напрям представлений промисловими платформами, які вже реалізують безперервний збір телеметрії, ML-аналітику, root cause analysis і автоматичну оптимізацію.

Хоча готові промислові рішення мають ширші можливості, в більшості випадків вони є закритими та прив’язаними до конкретної екосистеми обладнання. Саме тому залишається актуальною задача створення власної інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка поєднає безперервний збір вимірювань, адаптивний аналіз і зрозуміле подання результатів для подальшої оптимізації мережі.

1.3 Постановка задачі розроблення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Проведений аналіз існуючих рішень показав, що сучасний моніторинг Wi-Fi-покриття не обмежується разовим вимірюванням рівня сигналу. Для реального оцінювання стану бездротової мережі потрібно враховувати просторово прив’язані вимірювання, телеметрію мережевої інфраструктури, побудову та оновлення радіокарт, виявлення аномалій, а також використання методів машинного

навчання. Особливу роль у такій системі відіграють активні зонди, тому що вони дають змогу оцінювати як радіопараметри, так і фактичну якість зв’язку.

Також показано, що готові промислові платформи є функціонально потужними, проте в більшості випадків вони закриті, прив’язані до конкретної екосистеми обладнання і не дають змоги гнучко реалізувати власну дослідницьку модель моніторингу. Тому актуальною є задача створення власної інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка поєднуватиме збір вимірювань, аналіз стану покриття та формування рекомендацій для адміністратора мережі.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка забезпечує збір, обробку та аналіз даних про стан бездротового середовища, побудову й уточнення радіокарти, виявлення аномалій і формування рекомендацій для адміністратора мережі.

В межах роботи передбачено підтримку активного та пасивного режимів вимірювання, інтеграцію з мережевою інфраструктурою, обробку телеметрії, аналіз зон покриття та зручне подання результатів адміністратору.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз предметної області моніторингу Wi-Fi-покриття та дослідити існуючі підходи і системи оцінювання стану бездротового середовища.

2. Розробити архітектуру інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття.

3. Розробити алгоритми функціонування системи та активних зондів, які забезпечують планування вимірювань.

4. Розробити інформаційне забезпечення системи, описати вхідну і вихідну інформацію та побудувати концептуальну інфологічну модель даних.

5. Виконати вибір програмних і апаратних засобів для реалізації системи.

6. Реалізувати ключові модулі системи активного зонда, модуль збору та збереження телеметрії, модуль попередньої обробки даних, інтелектуальний аналітичний модуль і модуль представлення результатів.

7. Реалізувати інтерфейс взаємодії з користувачем для перегляду вимірювальних сесій.

8. Провести тестування функціональності розробленого програмного прототипу та оцінити працездатність основних модулів системи.

2. АРХІТЕКТУРА ТА АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ WI-FI-ПОКРИТТЯ

2.1 Архітектура інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Проаналізовані роботи показують, що сучасні підходи поєднують просторово прив’язані вимірювання [15], телеметрію мережі [8], моделі машинного навчання, оновлення радіокарт і механізми виявлення аномалій [10], [16]. Тому пропонована архітектура системи (рисунок 2.1) має бути модульною, багаторівневою і такою, що підтримує вимірювання та подальший аналіз [7], накопичення знань про середовище та адаптацію до його змін.

Також потрібно врахувати, що Wi-Fi-мережа може бути не тільки каналом зв’язку, а і джерелом даних про стан простору.

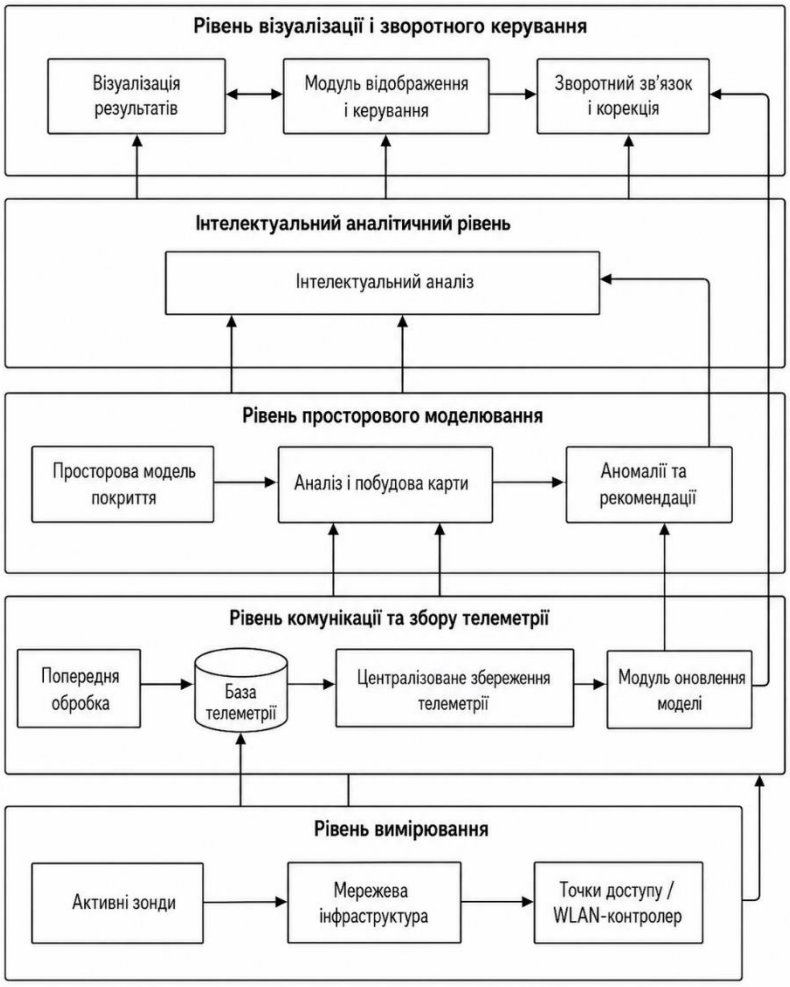


Рисунок 2.1 – Структурно-функціональна схема інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Перший шар має відповідати за збір первинних даних. Другий шар має виконувати їх передавання, нормалізацію і накопичення. Третій шар реалізацію інтелектуального аналізу і побудову просторової моделі покриття. Четвертий шар відповідатиме за візуалізацію результатів і підтримки рішень адміністратора мережі. П’ятий має забезпечувати адаптацію, коли результати аналізу повертаються назад у вигляді нових завдань на вимірювання, оновлення радіокарт або рекомендацій щодо зміни параметрів мережі. Такий підхід узгоджується і з сучасними AI-орієнтованими рішеннями для Wi-Fi assurance та безперервного моніторингу.

Початковим рівнем запропонованої архітектури має бути рівень вимірювання. Він повинен включати активні зонди, що переміщуються по об’єкту або встановлюються в контрольних точках, а також можливість використовувати телеметрію вже наявної інфраструктури. Такий підхід обґрунтований тим, що активні вимірювання показують не лише стан радіосередовища, а і реальну якість сервісу для користувача. Активний режим дає доступ до bandwidth, latency, signal strength і SNR, а пасивний — до спостереження за всією Wi-Fi-активністю в зоні вимірювання. Тобто архітектура повинна підтримувати щонайменше два режими роботи зонда: режим радіомоніторингу і режим активного тестування мережі.

В якості активного зонду може використовуватись ноутбук чи смартфон, а як окремий елемент системи з модулем позиціювання, засобами мережевих вимірювань, локальним буфером і синхронізацією часу. Це дозволить поєднати кожен вимір з поточним значенням RSSI чи RTT, а з реальною точкою плану приміщення.

Другим важливим рівнем архітектури є рівень інтеграції з мережевою інфраструктурою. Частина сучасних рішень працює не тільки через окремі зонди, а і через вже встановлені точки доступу, які збирають або передають телеметрію. Подібний принцип можна використати, тобто система моніторингу повинна взаємодіяти не тільки з активними зондами, а й із контролером WLAN, точками доступу або сервером мережевого менеджменту, від яких можна отримувати дані про асоційовані пристрої, рівні навантаження, статистику сеансів, каналів і часові

характеристики мережі. В найпростішому вигляді цей потік можна подати як послідовність від вимірювання на рівні точки доступу або зонда до централізованого збору телеметрії, збереження, аналітики та відображення результатів.

Наступним рівнем є шар попередньої обробки та накопичення даних. Тут архітектура повинна виконувати нормалізацію показників, синхронізацію часових міток, фільтрацію аномальних вимірів і формування структурованих записів для подальшого аналізу. Цей шар не можна зводити лише до таблиці з полями координата і RSSI. Проаналізовані роботи показують, що практична цінність даних різко зростає, коли разом із основними показниками зберігаються ознаки середовища, відомості про конфігурацію точки доступу, номер каналу, діапазон, ідентифікатор сесії, тип вимірювання, а також службові дані про спосіб отримання конкретного запису.

Окрему роль у запропонованій архітектурі відіграє модуль просторової моделі покриття. Так як карта покриття повинна розглядатися не як статичне зображення, а як робоча модель середовища то вона містить контрольні точки, значення радіопараметрів, оцінені зони сильного, середнього і слабкого сигналу, а також відомості про достовірність цих оцінок. Якщо система працює з fingerprinting, то тут формується еталонна радіокарта. Якщо система працює з RTT або комбінованими сигналами, то карта доповнюється часовими показниками та просторовими обмеженнями. Крім того треба враховувати, що карта покриття не є сталою і змінюється в часі навіть без повної перебудови мережі.

Для цього в архітектурі передбачено окремий модуль оновлення радіокарти. Тобто система повинна не просто збирати нові вимірювання, а вміти використовувати їх для поступового уточнення вже накопиченої моделі покриття. Тому між шаром накопичення даних і шаром аналітики має бути механізм поступового оновлення даних невеликими частинами або просторової карти покриття. Це важливо для університетів, офісів і навчальних корпусів, де характеристики радіосередовища постійно змінюється.

Ключовою частиною архітектури є інтелектуальний аналітичний модуль. Саме він відрізняє запропоновану систему від класичного інструмента site survey. За результатами аналізу джерел потрібно передбачити кілька рівнів складності аналітичного модуля. На першому рівні достатньо базових моделей для класифікації зон покриття, оцінювання якості сигналу і простих прогнозів. В роботах [7] і [12] показано, що моделі KNN, SVM, дерева рішень чи Random Forest можуть бути придатними для практичного старту. На другому рівні система повинна підтримувати більш складні моделі, які працюють з багатомодальними даними, тобто не лише з RSSI, а й з RTT, CSI та похідними ознаками [34]. На третьому рівні в архітектурі потрібно залишити місце для більш універсальних моделей, подібних до WiFiGPT, які можуть працювати з різними форматами телеметрії без жорстко заданого набору ручних ознак

Також потрібно, щоб модуль не лише оцінював поточний стан, а і формував рекомендації. Для цього в архітектурі передбачено модуль виявлення аномалій і модуль рекомендацій, які пояснюють причину проблеми в конкретній зоні та пропонують можливі дії адміністратора.

Ще одним важливим елементом архітектури є модуль невизначеності та оцінювання довіри до результатів. Для системи моніторингу покриття це означає, що на карті або в інтерфейсі потрібно показувати не тільки оцінене значення, а й міру впевненості. В практичному сенсі це дає змогу відокремити проблемну зону від такої, де система просто має мало даних або дані суперечливі.

Окремий рівень архітектури повинен відповідати за представлення результатів. З урахуванням проаналізованих робіт і готових платформ цей рівень має включати карту покриття, часові графіки зміни параметрів, порівняння поточних і попередніх вимірювань, модуль перегляду аномалій, а також звітний блок. Користувачеві повинно бути зрозуміло, де саме є проблема, наскільки вона стійка, чи пов’язана вона з конкретною точкою доступу, і чи повторюється вона в часі. Тут має бути інтерфейс керування кампаніями вимірювання, де адміністратор може задавати маршрути зондам, запускати активні обстеження, порівнювати карти до і після змін та переглядати рекомендації системи.

2.2 Алгоритми функціонування системи та активних зондів

Алгоритми роботи системи мають охоплювати повний цикл від отримання первинних вимірювань до формування висновків, рекомендацій і повторного запуску спостереження за потреби. Аналіз опрацьованих робіт показує, що сучасні системи цього класу поєднують кілька логічно пов’язаних процесів. До них належать планування вимірювань, збір характеристик Wi-Fi-сигналу і телеметрії, просторова прив’язка зібраних даних, попередня обробка, побудова або уточнення радіокарти, інтелектуальний аналіз, виявлення аномалій, оцінювання довіри до результатів і формування рекомендацій для адміністратора мережі.

Алгоритм роботи починається з формування початкової популяції можливих варіантів конфігурації мережі. Після цього для кожного варіанта виконується оцінка покриття, тобто визначається, наскільки сформована конфігурація забезпечує необхідні характеристики бездротового середовища в межах заданого об’єкта. На основі результатів оцінки покриття здійснюється обчислення пристосованості, яке дає змогу кількісно оцінити якість кожного варіанта та визначити його придатність для подальшого використання в процесі оптимізації.

Після обчислення пристосованості перевіряється умова зупинки алгоритму. Якщо умова зупинки ще не виконується, застосовуються оператори схрещування і мутації, за допомогою яких формується нова популяція розв’язків. Сформована популяція знову передається на етап оцінки покриття, після чого цикл повторюється. Таким чином, алгоритм послідовно покращує сукупність можливих конфігурацій мережі, наближаючись до найбільш ефективного варіанта.

Якщо умова зупинки виконується, алгоритм переходить до етапу вибору рішення. На цьому етапі з усіх отриманих варіантів обирається найкраща конфігурація, яка найбільш повно задовольняє встановлені вимоги до якості покриття. Результатом виконання алгоритму є кінцева конфігурація мережі, яка розглядається як підсумкове рішення задачі. Після формування кінцевої конфігурації робота алгоритму завершується.

На цьому етапі (рисунок 2.2) система завантажує план об’єкта, перевіряє доступність точок доступу, контролера WLAN і серверної частини, ініціалізує активні зонди та визначає режим роботи. До початку вимірювань мають бути задані карта приміщення, перелік AP, часові параметри сеансу, тип вимірювання та умови збереження результатів.

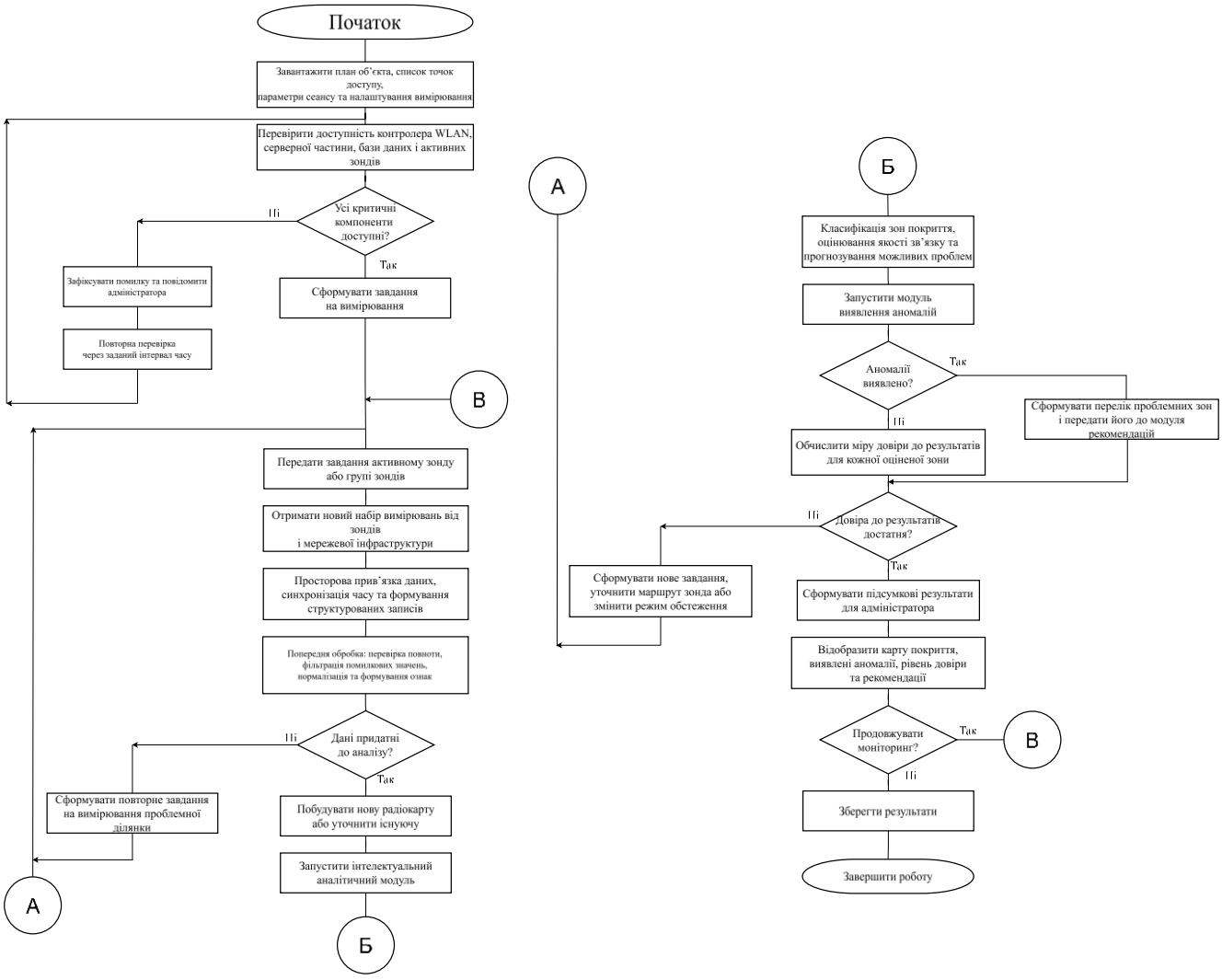


Рисунок 2.2 - Загальний алгоритм роботи системи

Після ініціалізації система переходить до алгоритму роботи активного зонда алгоритм якого представлено на рисунку 2.3.

Рисунок 2.3 – Схема алгоритму активного зонда

Активний зонд працює як окремий програмно-апаратний агент, що послідовно виконує заданий сценарій вимірювання. Спочатку зонд визначає свою поточну позицію або отримує координати контрольної точки. Далі він обирає режим вимірювання, запускає опитування бездротового середовища, накопичує результати в локальному буфері і передає їх до центрального вузла системи. Якщо

використовується мобільний зонд, то після завершення вимірювання в поточній точці він переходить до наступної позиції маршруту і повторює цикл.

У функціонуванні активного зонда важливим є розділення активного і пасивного режимів. У пасивному режимі зонд спостерігає за Wi-Fi-середовищем без обов'язкового обміну службовим трафіком із конкретною мережею. В такому режимі він реєструє видимі точки доступу, рівень сигналу, зайнятість каналів, співвідношення сигналу до шуму, ідентифікатори мереж і додаткові параметри ефіру. В активному режимі зонд підключається до мережі і виконує вже не лише радіоспостереження, а і перевірку якості зв'язку. В цьому режимі система може визначати час проходження сигналу в обидва боки, рівень втрати пакетів, фактичну пропускну здатність каналу та стабільність сеансу зв'язку. В офіційному описі NetSpot зазначено, що активне обстеження дозволяє оцінювати пропускну здатність, затримку передавання даних і втрату пакетів, тоді як пасивне обстеження більше призначене для спостереження за покриттям і рівнем перешкод [17]. Для системи моніторингу це означає, що алгоритм активного зонда повинен підтримувати обидва режими і вміти перемикатися між ними залежно від поставленого завдання.

Далі в роботі системи настає етап просторової прив'язки даних. Кожний вимір повинен бути пов'язаний за часом та конкретною точкою простору. Це один з ключових етапів алгоритму, тому що саме просторова прив'язка перетворює звичайний журнал вимірювань на основу для побудови карти покриття.

Отже, після отримання чергового набору вимірів система повинна виконати процедуру синхронізації часу, прив'язки до координати, позначення поверху або зони приміщення і формування єдиного структурованого запису. Після цього дані можна передавати на наступний рівень обробки.

Наступним кроком є попередня обробка і нормалізація зібраних вимірів. Після надходження даних від зонда або мережевої інфраструктури система повинна перевірити їхню повноту, відфільтрувати некоректні записи, уніфікувати шкали значень і сформувати набір ознак для подальшого аналізу. Тому алгоритм

функціонування системи повинен мати окрему процедуру попередньої підготовки даних перед запуском інтелектуального аналізу.

Після отримання нового набору вимірювань запускається алгоритм побудови просторової моделі покриття. На початковому етапі система приймає структуровані дані від активних зондів і мережевої інфраструктури, після чого перевіряє, чи існує раніше сформована радіокарта. Якщо така карта відсутня, система переходить до її початкового побудування. У цьому випадку формується матриця контрольних точок, для кожної з яких обчислюються усереднені значення RSSI та інших доступних характеристик Wi-Fi-сигналу. Якщо доступні додаткові параметри, зокрема RTT або інші часові характеристики, вони також включаються до моделі. На основі підготовлених даних будується багатошарова радіокарта покриття.

Якщо радіокарта вже існує, система переходить до етапу її уточнення. Для цього нові вимірювання порівнюються з поточними значеннями у відповідних зонах, після чого визначаються ділянки, у яких спостерігаються істотні зміни або високий рівень невизначеності. Якщо таких ділянок не виявлено, система безпосередньо переходить до аналітичного етапу. Якщо ж такі ділянки є, виконується локальне оновлення значень радіокарти лише в межах цих зон. Побудована або уточнена карта передається до аналітичного модуля.

На наступному етапі запускаються моделі класифікації зон покриття та оцінювання якості зв’язку. Якщо система працює в базовому режимі, застосовуються прості моделі аналізу. В разі роботи в розширеному режимі використовуються багатомодальні дані та складніші моделі. В результаті для кожної зони покриття формується оцінка її стану. Далі нові результати порівнюються з очікуваними або еталонними значеннями. Якщо виявлені розбіжності перевищують допустимий поріг, відповідна зона позначається як аномальна.

Для кожної аномальної зони додатково обчислюється рівень довіри до отриманого висновку. Якщо довіра є достатньою, система формує рекомендацію для адміністратора. Якщо ж довіра недостатня, формується запит на повторне

вимірювання або уточнення маршруту активного зонда. Після цього перевіряється, чи всі зони покриття вже проаналізовані. Якщо залишаються необроблені зони, система переходить до наступної зони і повторює етапи оцінювання, перевірки аномальності та формування висновків. Після завершення аналізу всіх зон результати передаються до модуля візуалізації та зворотного керування, де вони використовуються для відображення стану покриття, аномалій і рекомендацій. На цьому виконання алгоритму завершується.

Система формує матрицю контрольних точок і зберігає для кожної з них усереднені значення RSSI та інші параметри та одразу створює багатошарову радіокарту, де окремо описуються сила сигналу, якість каналу, затримка, показники довіри і, за наявності, часові характеристики RTT. Крім того, алгоритм побудови карти має підтримувати роботу з різними типами вимірювань.

Важливим елементом функціонування системи є алгоритм поступового оновлення радіокарти. Після обробки нового набору вимірювань система не перебудовує карту повністю, а уточнює лише ті ділянки, де зафіксовано істотні зміни або високий рівень невизначеності. Тому після кожної серії спостережень запускається процедура локального оновлення радіокарти.

Коли карта побудована або уточнена, система переходить до інтелектуального аналітичного етапу. Тут запускаються моделі, які повинні перетворювати набір вимірів на змістовні висновки. На першому рівні це моделі, які класифікують ділянки простору за рівнем якості покриття або прогнозують можливе погіршення зв’язку. Це означає, що алгоритм аналітичного модуля підтримує як базовий режим з простішими моделями, так і розширений режим, в якому аналізуються багатомодальні дані.

Окремо треба виділити алгоритм виявлення аномалій. Такий алгоритм може спиратися на відхилення від очікуваних значень для конкретної зони, на різкі зміни телеметрії, на розбіжність між моделлю і новими вимірюваннями або на комбінацію кількох критеріїв одночасно. Алгоритм аномалій має працювати після побудови карти та після кожного істотного оновлення телеметрії.

Після виявлення аномалій запускається алгоритм формування рекомендацій. Його мета — запропонувати адміністратору можливу дію куди входить повтор вимірювання, уточнення маршруту активного зонда або перевірка конкретної точки доступу. В складнішому випадку система може пропонувати зміну каналу, коригування потужності, перегляд покриття певної зони або додатковий крок активного тестування. Тому алгоритм рекомендацій є логічним продовженням алгоритму аномалій, коли до кожної суттєвої проблеми прив’язується найбільш доцільний сценарій реагування

Ще одним важливим етапом функціонування системи є оцінювання довіри до результату. Тому після того як система отримала оцінку стану зони або знайшла потенційну проблему, вона повинна обчислити міру впевненості. Це можна робити через кількість доступних спостережень, стабільність результатів у часі, узгодженість між кількома типами ознак або похибку моделі на сусідніх точках. Завдяки цьому можна відрізнити реальну проблемну ділянку від зони, для якої поки що недостатньо даних. В алгоритмі роботи це має бути окремий крок перед візуалізацією і перед формуванням остаточних рекомендацій.

Завершальним етапом є алгоритм зворотного керування. Після того як карта уточнена, аномалії знайдені, а довіра до результатів оцінена, система повинна вирішити, що робити далі. Якщо результат достатньо надійний, він відображається в інтерфейсі адміністратора разом з поясненням і рекомендаціями. Якщо ж результат має низьку впевненість або проблема не може бути однозначно локалізована, система повинна автоматично формувати нове завдання на вимірювання.

Узагальнений цикл роботи системи починається з ініціалізації та планування вимірювань. Далі активний зонд працює в пасивному або активному режимі, після чого система виконує просторову прив’язку, попередню обробку, уточнення радіокарти, інтелектуальний аналіз, виявлення аномалій, оцінювання довіри та формування рекомендацій. Завершується цикл відображенням результатів адміністратору або запуском повторного спостереження.

2.3 Інформаційне забезпечення системи

Інформаційне забезпечення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття повинно підтримувати повний цикл роботи системи, починаючи від приймання первинних вимірювань і завершуючи формуванням результатів для адміністратора мережі. Аналіз опрацьованих робіт показує, що сучасні рішення цього класу працюють не з одним видом даних, а з поєднанням кількох інформаційних потоків. До них належать значення характеристик Wi-Fi-сигналу, телеметрія мережевої інфраструктури, просторові дані про об’єкт, службові параметри вимірювальних сесій, результати інтелектуального аналізу та підсумкові повідомлення для користувача системи.

Основу вхідної інформації становлять дані, які надходять від активних зондів (рисунок 2.4).

В процесі роботи зонд формує записи про поточну контрольну точку, час вимірювання, видимі точки доступу, рівень сигналу, співвідношення сигналу до шуму, номер каналу, діапазон частот, а в активному режимі також затримку, пропускну здатність, втрату пакетів і показники стабільності сеансу. Такі дані є первинною основою для побудови просторової моделі покриття, оскільки саме вони дозволяють описати якість зв’язку в конкретній точці об’єкта.

Другий важливий потік вхідної інформації надходить від самої мережевої інфраструктури, тобто це дані від точок доступу, контролера WLAN або системи мережевого керування. До таких даних належать ідентифікатори точок доступу, відомості про підключених клієнтів, рівні навантаження, тривалість сеансів, статистика каналів, кількість повторних передавань, завантаженість радіоінтерфейсу та інші службові показники. В роботі [13] мережеві параметри та телеметричні показники використовуються для діагностики стану Wi-Fi-середовища в реальному часі, а в роботах [15, 16] дані бездротової інфраструктури розглядаються як важлива основа для побудови й уточнення просторової моделі мережевого середовища.

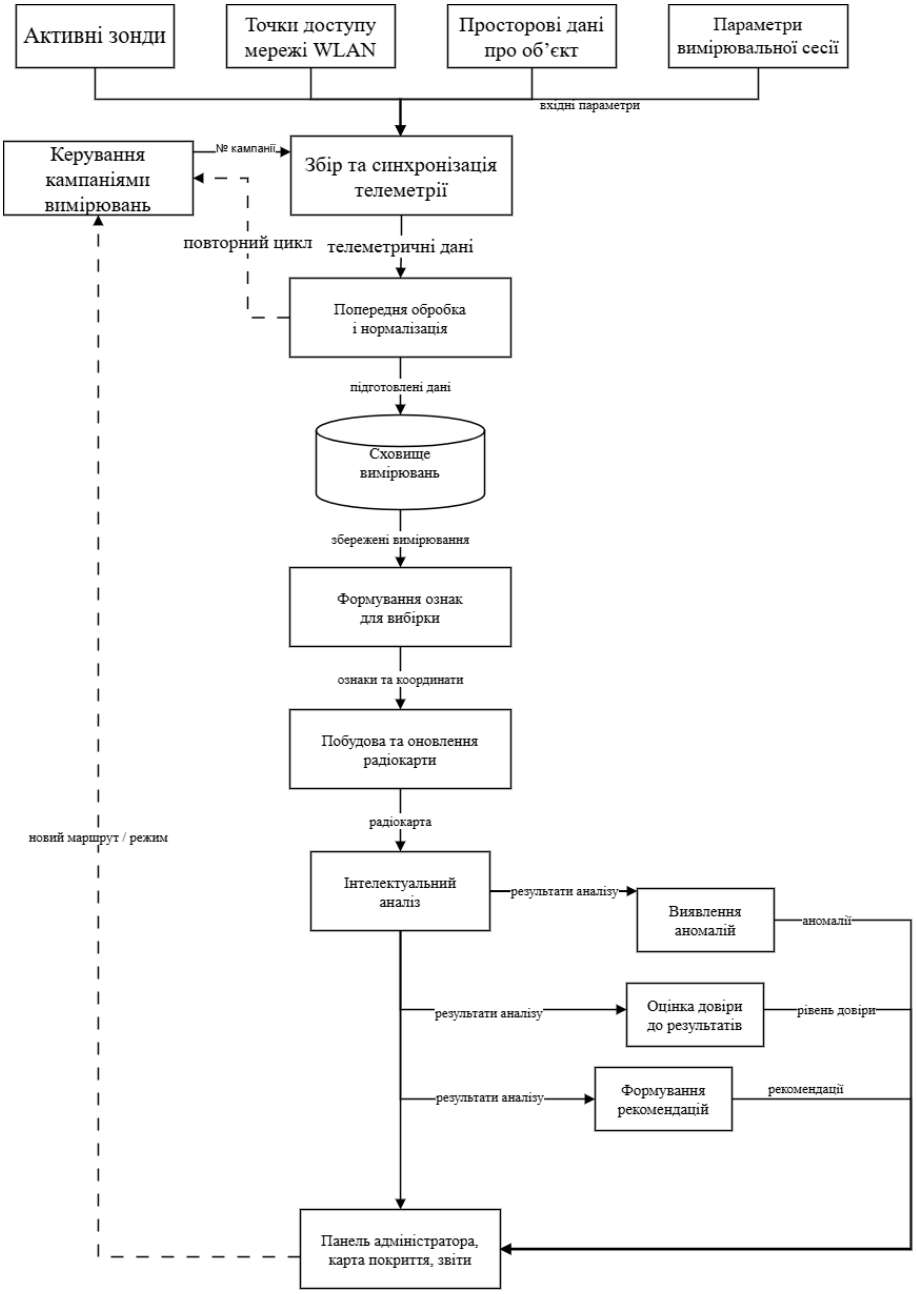


Рисунок 2.4 - Інформаційні потоки в системі моніторингу Wi-Fi-покриття

Це означає, що інформаційне забезпечення системи має підтримувати не тільки вимірювання від зондів, а і регулярне надходження телеметричних даних від мережевого обладнання.

Окрему групу вхідної інформації становлять просторові дані про сам об'єкт моніторингу. До них належать план приміщення, позначення поверхів, зон, кімнат, коридорів та контрольних точок, а також інформація про координати вимірювань. Саме ці дані дозволяють поєднати мережеві параметри з реальною геометрією середовища. Без такого поєднання зібрані записи мали б вигляд звичайного

журналу вимірювань і не давали б змоги будувати карту покриття або визначати проблемні ділянки. Для інтелектуальної системи важливо, що просторові дані повинні зберігатися у структурованому вигляді та бути придатними для повторного використання в різних кампаніях вимірювання.

Ще одним видом вхідної інформації є службові параметри самих вимірювальних сесій. До них належать ідентифікатор сеансу, тип режиму вимірювання, дані про конкретний активний зонд, часові межі обстеження, версія сценарію вимірювання, маршрут зонда і параметри запуску активного тестування. Така інформація потрібна для технічного ведення журналу та для правильної інтерпретації результатів. Якщо система в подальшому виявить відхилення або аномалію, вона повинна розуміти, за яких умов було отримано відповідний запис.

Після надходження даних система формує проміжну інформацію, яка використовується на наступних етапах обробки. До такої інформації належать очищені й нормалізовані записи, синхронізовані часові мітки, уніфіковані шкали значень, сформовані ознаки для моделей машинного навчання і структуровані набори даних для побудови радіокарти. На цьому етапі сирі вимірювання перетворюються на впорядковану інформаційну основу, придатну для подальшого аналізу.

До вихідної інформації системи насамперед належить карта Wi-Fi-покриття. Вона є одним з основних результатів роботи системи, оскільки відображає стан бездротового середовища у просторі. Така карта повинна містити не лише узагальнені значення рівня сигналу, а й інформацію про якість каналу, зони нестабільного зв’язку, ділянки з підвищеною затримкою, місця з недостатньою кількістю спостережень та оцінку довіри до сформованого результату. В сучасних підходах радіокарта виступає робочою моделлю середовища, яка постійно уточнюється і використовується для порівняння нових даних із попереднім станом.

Крім карти покриття система повинна формувати результати інтелектуального аналізу. До них належать оцінки якості покриття в окремих зонах, прогноз можливого погіршення зв’язку, виявлені аномалії, рівні довіри до результату та ознаки, на основі яких було зроблено відповідний висновок. Така

вихідна інформація є важливою для адміністратора, тому що дозволяє побачити проблему та визначити її характер.

Ще одним важливим видом вихідної інформації є рекомендації. Вони можуть мати форму повідомлення про повторне вимірювання, пропозиції уточнити маршрут активного зонда, поради перевірити конкретну точку доступу, рекомендації щодо зміни каналу, потужності або структури покриття в певній зоні.

Загалом вхідна інформація системи охоплює вимірювання активних зондів, телеметрію мережевої інфраструктури, просторові дані про об’єкт і службові параметри вимірювальних сесій.

Вихідна інформація включає карту покриття, результати аналізу, ознаки аномалій, оцінку довіри до результатів і рекомендації для адміністратора.

Така структура інформаційних потоків дозволяє реалізувати замкнений цикл моніторингу, в межах якого нові спостереження поступово уточнюють модель покриття і покращують якість подальших рішень.

Концептуальне інфологічне проектування передбачає, які саме сутності присутні в системі, які дані вони містять і як взаємодіють між собою.

Центральною сутністю в межах системи є вимірювальна сесія. Вона об’єднує конкретний період роботи системи, маршрут або сценарій обстеження, залучені активні зонди, об’єкт моніторингу і всі зібрані записи, тому що практично всі вимірювання, результати аналізу та рекомендації мають бути пов’язані з певною сесією.

Це дозволяє розділяти дані різних випадків спостереження та порівнювати їх між собою в часі.

Наступною сутністю є «активний зонд» (рисунок 2.5). Він повинен описувати сам пристрій та його роль в системі. Для зонда важливо зберігати ідентифікатор, тип пристрою, підтримувані режими вимірювання, параметри мережевого адаптера, ознаки позиціювання та належність до конкретної вимірювальної сесії. Один активний зонд може брати участь у багатьох сесіях, а одна сесія може використовувати кілька зондів. Отже, між сутностями «активний зонд» і «вимірювальна сесія» формується зв’язок типу «багато до багатьох».

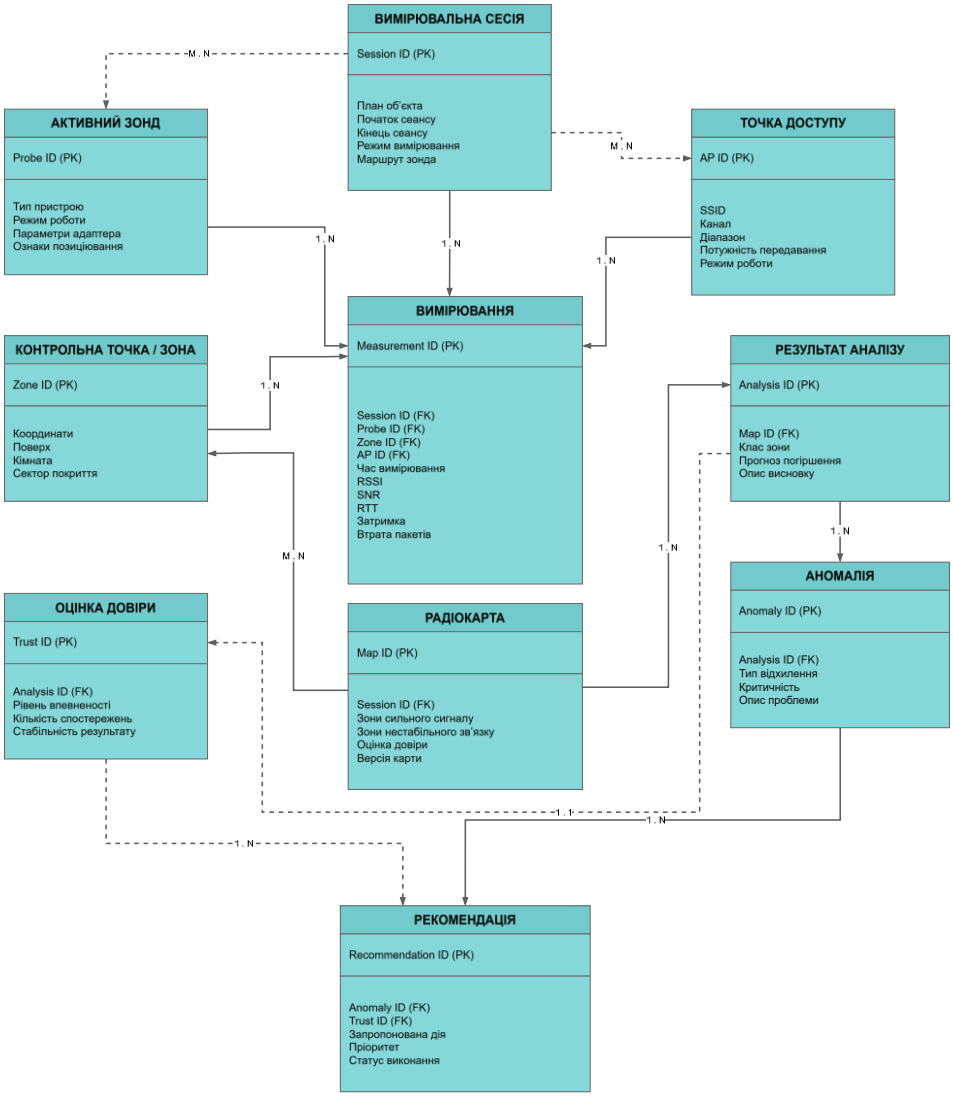


Рисунок 2.5 - Даталогічна модель системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Сутність «контрольна точка» або «просторова зона» відображає геометричну структуру об’єкта. Вона дозволяє прив’язати вимірювання до координат, поверхів, кімнат або секторів покриття. Для цієї сутності описуються координати і приналежність до певної частини будівлі. Також система може працювати з дискретними контрольними точками. В більш гнучкому варіанті вона може оперувати зонами покриття, для яких накопичуються результати багатьох спостережень.

Основною сутністю є «вимірювання». Це перший і головний об’єкт, який виникає в результаті роботи активного зонда або отримання телеметрії від мережевої інфраструктури. Кожне вимірювання повинно бути пов’язане з часом,

контрольною точкою, джерелом отримання даних, вимірювальною сесією та набором характеристик Wi-Fi-сигналу.

Окремо в концептуальній моделі потрібно виділити сутність «точка доступу». Вона є окремим інформаційним об’єктом, пов’язаним із багатьма вимірюваннями, зонами та результатами аналізу. Для точки доступу важливо фіксувати її ідентифікатор, мережеве ім’я, канал, діапазон, режим роботи, потужність передавання та інші характеристики, що можуть впливати на якість покриття. Завдяки цьому система зможе показувати проблемну зону і прив’язувати її до конкретного джерела сигналу.

Наступною сутністю є «радіокарта». Це узагальнена просторова модель покриття, яка формується на основі багатьох вимірювань і містить відомості про стан Wi-Fi-сигналу в різних ділянках об’єкта. Радіокарта пов’язана з вимірювальними сесіями, контрольними точками, точками доступу та аналітичними результатами.

Для відображення інтелектуальної складової системи до моделі введено сутність «результат аналізу». Вона описує висновок, який система сформувала на основі накопичених вимірювань.

Поряд із цим потрібна сутність «аномалія». Вона фіксує випадки, коли система виявила істотне відхилення від очікуваного стану. Аномалія пов’язується з конкретною зоною, точкою доступу або набором вимірювань і надалі може бути використана для запуску додаткових дій.

Ще однією сутністю є «рекомендація». Вона є продовженням аналізу й аномалії та містить запропоновану дію для адміністратора. Змістовно рекомендація пов’язана з аномалією або низьким рівнем довіри до результату.

Для завершеності концептуальної моделі потрібно мати сутність «оцінка довіри». Вона дозволяє відрізнити добре підтверджений висновок від такого, що базується на недостатній кількості даних. Оцінка довіри повинна бути пов’язана з результатом аналізу, аномалією або конкретною ділянкою радіокарти.

Отже, концептуальне інфологічне проєктування системи доцільно будувати навколо таких основних сутностей: вимірювальна сесія, активний зонд, контрольна

точка або просторова зона, вимірювання, точка доступу, радіокарта, результат аналізу, аномалія, рекомендація та оцінка довіри. Між цими сутностями існують зв’язки, які відображають логіку роботи системи. Вимірювальна сесія охоплює активні зонди і вимірювання. Вимірювання пов’язані з контрольними точками та точками доступу. На основі вимірювань формується радіокарта. На основі радіокарти та нових даних створюються результати аналізу. Якщо виявлено проблему, система фіксує аномалію, оцінює довіру до висновку та формує рекомендацію.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ WI-FI-ПОКРИТТЯ

3.1 Вибір програмних і апаратних засобів реалізації системи

Програмні й апаратні засоби для реалізації системи обиралися з врахуванням функцій, визначених у попередніх розділах роботи. Запропонована система (рисунок 3.1) має забезпечувати приймання телеметрії від активних зондів і мережевої інфраструктури, попередню обробку даних, побудову та поступове оновлення радіокарти, інтелектуальний аналіз, виявлення аномалій, оцінювання довіри до результатів і формування рекомендацій для адміністратора. Тому програмно-технологічна основа системи повинна поєднувати засоби мережевого моніторингу, обробки даних, веб-розробки та інструменти штучного інтелекту.

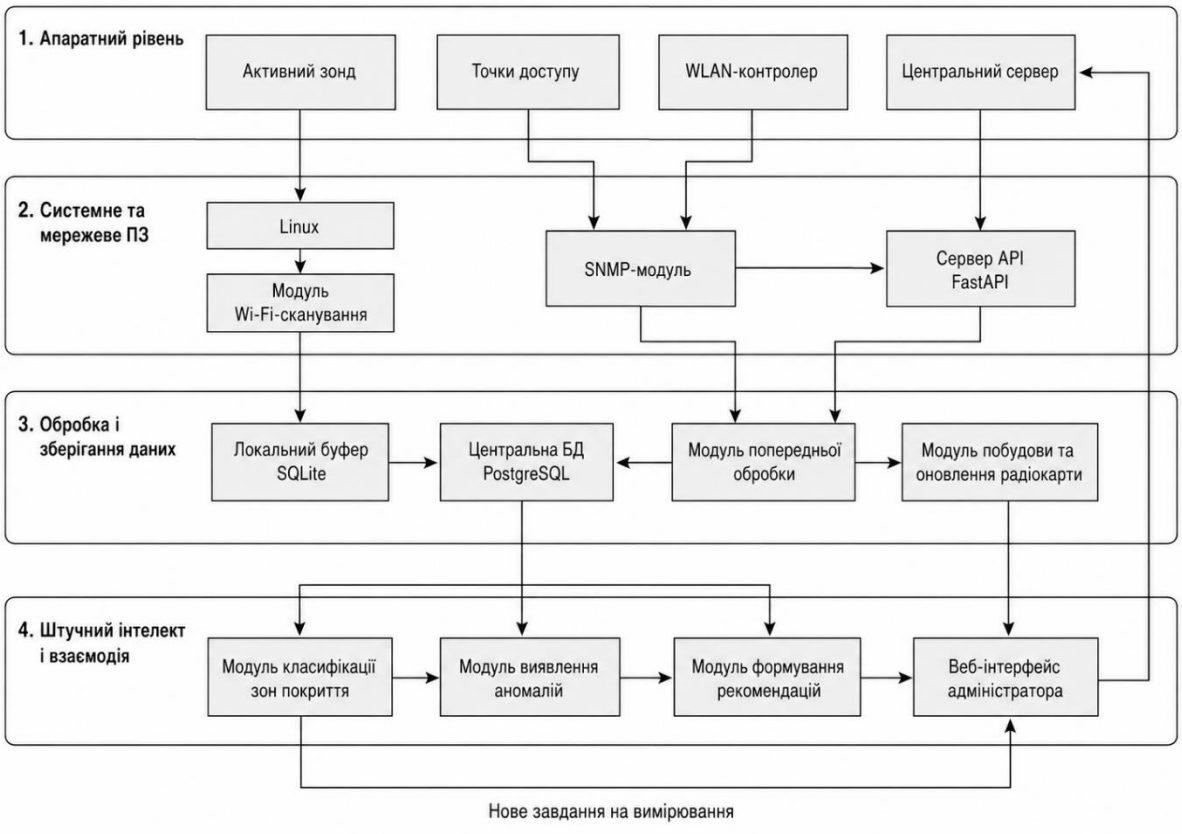


Рисунок 3.1 – Програмні й апаратні засоби реалізації інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Такий підхід відповідає логіці вже побудованої архітектури, в якій представлено рівень вимірювання, рівень збору телеметрії, просторове моделювання, інтелектуальний аналітичний рівень і рівень візуалізації та зворотного керування.

Python обрано як основну мову реалізації, так як вона зручна для серверної розробки, роботи з мережевими протоколами, обробки табличних даних і використання бібліотек машинного навчання. Крім того це дозволяє зберігати єдність технологічного стеку і спрощує подальший супровід системи.

FastAPI використано для побудови прикладного програмного інтерфейсу. Через нього активні зонди передають результати вимірювань, модуль телеметрії надсилає дані від мережевої інфраструктури, а веб-інтерфейс отримує доступ до карт покриття, аномалій, рекомендацій і журналів сесій.

Для накопичення й обробки даних використано PostgreSQL як центральну систему керування базою даних. Вона дає змогу зберігати вимірювальні сесії, контрольні точки, телеметричні записи, метадані про точки доступу, шари радіокарти, результати аналізу, аномалії та рекомендації. На активному зонді як локальне буферне сховище використано SQLite, тому що цей засіб не потребує окремого серверного налаштування і дозволяє тимчасово накопичувати вимірювання до моменту передавання на центральний вузол.

Попередня обробка даних і формування ознак виконуються за допомогою бібліотек pandas і NumPy. Вони дозволяють очищати телеметричні записи, уніфікувати шкали значень, працювати з часовими мітками, узагальнювати вимірювання за контрольними точками та формувати структури, які надалі використовуються в аналітичному модулі.

Базова реалізація інтелектуального аналітичного модуля побудована на основі scikit-learn. Ця бібліотека містить набір інструментів для побудови моделей класифікації та виявлення аномалій. Зокрема, для класифікації зон покриття можуть застосовуватися методи k-найближчих сусідів, дерева рішень, Random Forest або SVM. Для виявлення відхилень використано Isolation Forest або One-Class SVM. Завдяки цьому система відображає телеметрію та аналізує накопичені

дані, визначає тип зони покриття, виявляє нестандартні ситуації та формує пояснення для адміністратора.

Отримання телеметрії від мережевої інфраструктури реалізовано через SNMP-опитування. Це дозволяє зчитувати від точок доступу, контролера WLAN або мережевого сервера дані про стан обладнання, клієнтські підключення, завантаження каналів та інші службові показники.

Веб-інтерфейс реалізовано з застосуванням HTML, CSS і JavaScript та фреймворку React, що дозволяє побудувати інтерактивне середовище, в якому адміністратор може переглядати карту покриття, запускати нові вимірювальні сесії, аналізувати аномалії, порівнювати результати різних сеансів і працювати з рекомендаціями.

Апаратна основа системи включає три групи засобів. Перша група — це активні зонди. Для них використано ноутбук та одноплатний комп’ютер типу Raspberry Pi з бездротовим адаптером, який підтримує Wi-Fi-сканування, пасивне спостереження і активні мережеві перевірки. Друга група — це мережева інфраструктура, до якої входять точки доступу, контролер WLAN. Третя група — це центральний сервер, на якому розміщуються база даних, серверна частина системи, аналітичний модуль і веб-інтерфейс.

3.2 Реалізація ключових модулів програмного прототипу

Одним із ключових елементів системи є програмний модуль активного зонда (рисунок 3.2), який забезпечує первинний збір вимірювань у контрольних точках приміщення. Цей модуль побудовано як окремий програмний агент, який працює за сценарієм вимірювальної сесії. На початку роботи він отримує параметри маршруту, список контрольних точок, режим вимірювання та інтервали передавання даних. Після цього послідовно запускається цикл проходження контрольних точок, у межах якого формуються записи про поточний стан бездротового середовища.

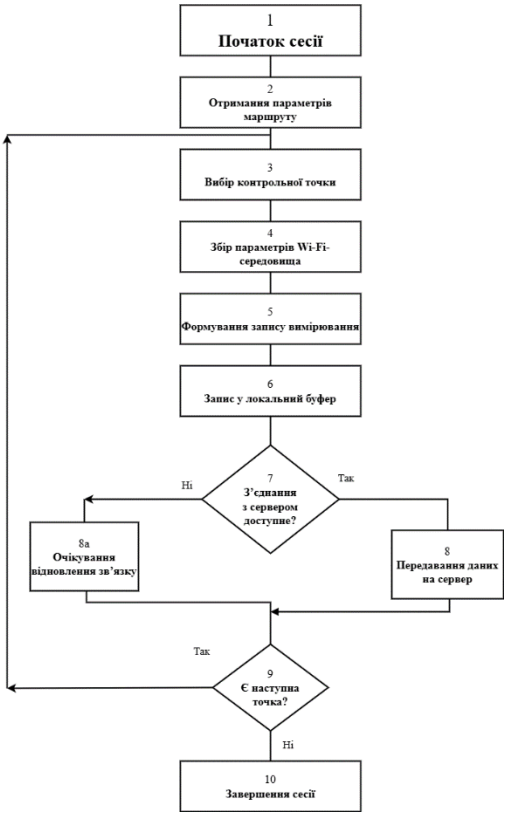


Рисунок 3.2 – Послідовність роботи програмного модуля активного зонда

В кожній контрольній точці (рисунок 3.3) модуль виконує збір основних параметрів Wi-Fi-середовища до яких належать рівень сигналу, співвідношення сигналу до шуму, номер каналу, ідентифікатор точки доступу, часові мітки та координати точки вимірювання. Щоб уникнути втрати даних, в модулі активного зонда передбачено локальний буфер.

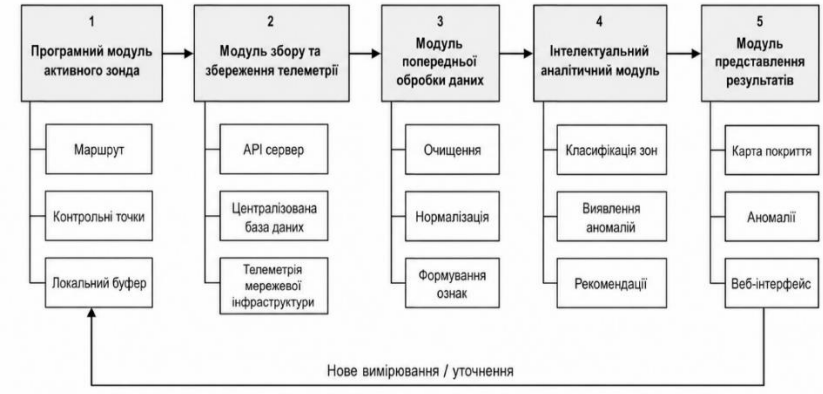


Рисунок 3.3 – Структура реалізованих модулів системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Наступним елементом реалізації є програмний модуль збору та збереження телеметрії. Його призначення полягає в прийманні даних від активного зонда та мережевої інфраструктури, перевірці їхньої коректності та збереженні в централізованій базі даних. На програмному рівні цей модуль взаємодіє з прикладним програмним інтерфейсом серверної частини та забезпечує перехід від сирих вимірювальних записів до впорядкованої інформаційної структури.

Після надходження нового пакета даних система перевіряє, чи заповнені обов'язкові поля, чи існує відповідна вимірювальна сесія, а також чи не дублюється запис, який уже був доданий раніше. В разі успішної перевірки вимірювання зберігається разом з контекстною інформацією з часом, номером сесії, координатами точки та ідентифікатором джерела (рисунок 3.4).

point_id	x	y	ap_id	rssi	snr	latency_ms	packet_loss_pct	bandwidth_mbps
P01	10.0	10.0	AP-2	-51.88	36.18	8.36	1.36	81.28
P01	10.0	10.0	AP-2	-51.59	33.77	9.57	0.99	137.28
P01	10.0	10.0	AP-2	-57.06	33.48	8.36	0.57	111.53
P01	10.0	10.0	AP-2	-56.42	32.08	8.1	0.11	94.49
P02	20.0	10.0	AP-3	-63.24	21.94	40.98	6.46	75.58
P02	20.0	10.0	AP-3	-70.93	26.29	35.71	2.59	39.95
P02	20.0	10.0	AP-3	-67.63	19.63	28.3	4.16	41.27
P02	20.0	10.0	AP-3	-71.07	17.66	37.42	3.09	78.88
P03	30.0	10.0	AP-1	-88.56	12.82	123.66	16.33	9.46
P03	30.0	10.0	AP-1	-75.79	8.48	110.46	14.72	19.77
P03	30.0	10.0	AP-1	-83.79	9.04	83.66	19.15	25.81
P03	30.0	10.0	AP-1	-86.31	14.42	106.64	15.74	9.05

Рисунок 3.4 – Збереження телеметричних даних у базі даних прототипу

На рисунку 3.5 показано приклад телеметричних записів, які зберігаються в базі даних прототипу після надходження від активного зонда. Кожний запис містить ідентифікатор контрольної точки, координати, точку доступу та основні параметри Wi-Fi-середовища, що надалі використовуються для аналізу покриття.

Якщо запис має неповну структуру або містить явні помилки, він не переходить до аналітичного етапу, а позначається як некоректний. Крім того цей модуль обробляє телеметричні дані, що надходять від мережевої інфраструктури. Це можуть бути відомості про стан точки доступу, навантаження на канал, наявність клієнтських підключень або службові параметри. Після збереження в базі даних така інформація об'єднується з вимірюваннями активного зонда і формує єдине середовище даних для подальшого аналізу.

Після накопичення телеметрії запускається модуль попередньої обробки. Він готує вимірювальні записи для подальшого використання в інтелектуальному аналітичному модулі. На цьому етапі усуваються пропуски, перевіряється повнота даних, уніфікуються шкали вимірювань та формуються ознаки, які використовуватимуться для класифікації зон покриття і виявлення аномалій.

На початковому кроці модуль виконує очищення телеметричних записів. Якщо деякі значення відсутні, мають некоректний тип або виходять за межі допустимих діапазонів, вони або вилучаються, або позначаються як ненадійні. Після цього проводиться нормалізація основних параметрів рівня сигналу, затримки, втрати пакетів та співвідношення сигналу до шуму (рисунок 3.5).

point_id	avg_rssi	avg_snr	avg_latency_ms	avg_packet_loss_pct	avg_bandwidth_mbps
P01	-54.24	33.88	8.6	0.76	106.14
P02	-68.22	21.38	35.6	4.08	58.92
P03	-83.61	11.19	106.1	16.48	16.02
P04	-49.68	36.41	13.71	0.62	104.43
P05	-53.63	34.82	15.03	0.56	122.8
P06	-67.98	23.88	33.65	4.48	74.28
P07	-80.98	12.46	101.77	13.65	25.79
P08	-52.13	32.22	13.28	0.79	105.14

Рисунок 3.5 – Приклад підготовленого набору ознак для аналізу зон покриття

Далі виконується агрегування вимірювань за контрольними точками. Якщо в межах однієї точки зібрано кілька спостережень, система обчислює узагальнені характеристики. В результаті формується компактніший набір ознак, який краще відображає стан конкретної ділянки покриття, ніж окремі сирі записи.

Центральним елементом реалізованої системи є програмний інтелектуальний аналітичний модуль (рисунок 3.6).

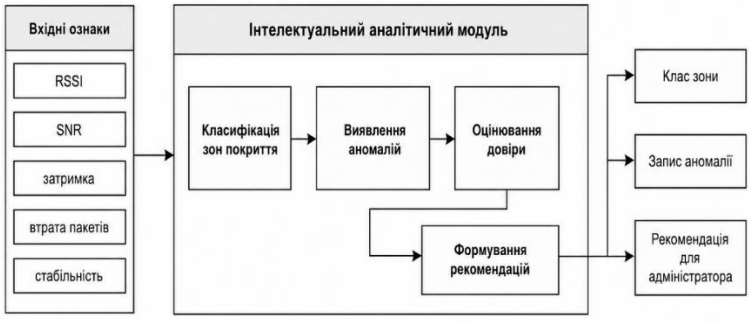
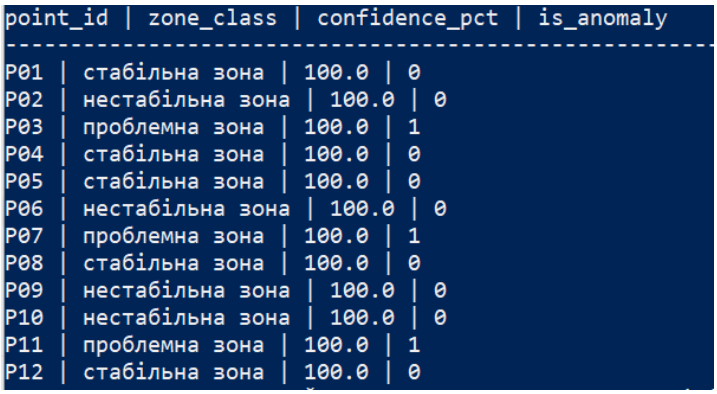


Рисунок 3.6 – Структура інтелектуального модуля системи

Цей модуль перетворює накопичені вимірювання на зрозумілі для адміністратора результати. Він забезпечує використання методів штучного інтелекту для моніторингу Wi-Fi-покриття (рисунок 3.7).

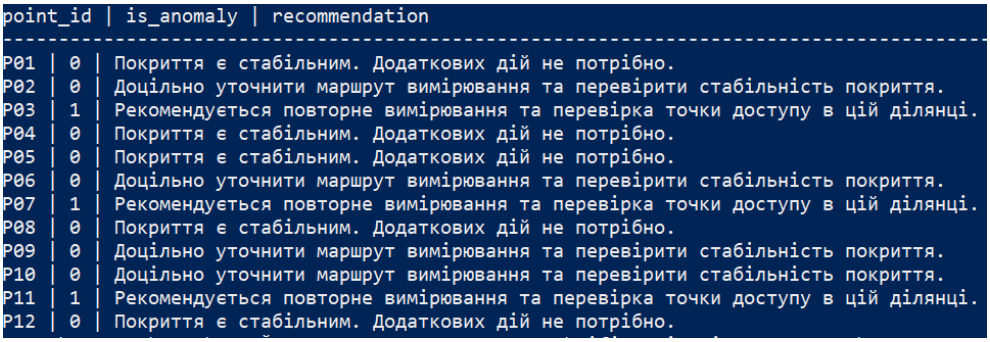


point_id	zone_class	confidence_pct	is_anomaly
P01	стабільна зона	100.0	0
P02	нестабільна зона	100.0	0
P03	проблемна зона	100.0	1
P04	стабільна зона	100.0	0
P05	стабільна зона	100.0	0
P06	нестабільна зона	100.0	0
P07	проблемна зона	100.0	1
P08	стабільна зона	100.0	0
P09	нестабільна зона	100.0	0
P10	нестабільна зона	100.0	0
P11	проблемна зона	100.0	1
P12	стабільна зона	100.0	0

Рисунок 3.7 – Приклад результатів класифікації зон покриття

В першій частині модуля реалізовано класифікацію зон покриття. На вхід подаються сформовані ознаки, які характеризують рівень сигналу, стабільність зв’язку, затримку, втрату пакетів і загальну якість бездротового середовища. На основі цих даних модель відносить контрольну точку або просторову зону до одного з класів [32], наприклад стабільна зона, нестабільна зона або проблемна зона.

Друга частина модуля відповідає за виявлення аномалій, тобто перевіряється, чи не відбулося нетипове погіршення показників, чи не з’явилися різкі зміни затримки, чи не виникла нестабільність у ділянках, де раніше покриття було якісним. Якщо такі відхилення виявляються, система формує запис аномалії і передає його до наступного етапу аналізу (рисунок 3.8).



point_id	is_anomaly	recommendation
P01	0	Покриття є стабільним. Додаткових дій не потрібно.
P02	0	Доцільно уточнити маршрут вимірювання та перевірити стабільність покриття.
P03	1	Рекомендується повторне вимірювання та перевірка точки доступу в цій ділянці.
P04	0	Покриття є стабільним. Додаткових дій не потрібно.
P05	0	Покриття є стабільним. Додаткових дій не потрібно.
P06	0	Доцільно уточнити маршрут вимірювання та перевірити стабільність покриття.
P07	1	Рекомендується повторне вимірювання та перевірка точки доступу в цій ділянці.
P08	0	Покриття є стабільним. Додаткових дій не потрібно.
P09	0	Доцільно уточнити маршрут вимірювання та перевірити стабільність покриття.
P10	0	Доцільно уточнити маршрут вимірювання та перевірити стабільність покриття.
P11	1	Рекомендується повторне вимірювання та перевірка точки доступу в цій ділянці.
P12	0	Покриття є стабільним. Додаткових дій не потрібно.

Рисунок 3.8 – Виявлення аномалій та сформовані рекомендацій

Третій блок інтелектуального аналітичного модуля відповідає за формування рекомендацій. Після класифікації зони та виявлення аномалії система пропонує адміністратору можливий сценарій реагування. Це може бути повторне вимірювання, уточнення контрольної точки, перевірка конкретної точки доступу, перевірка навантаження або зміна параметрів спостереження.

Завершальним елементом реалізації є програмний модуль представлення результатів. Його завданням є передавання результатів вимірювальних сесій, класифікації зон, виявлених аномалій та рекомендацій до користувацького інтерфейсу і цей модуль орієнтований на взаємодію з адміністратором.

Після завершення аналітичного етапу модуль формує набір структурованих результатів, які можуть бути показані у веб-інтерфейсі. До них належать карта покриття, список контрольних точок із визначеним класом зони, перелік аномалій і текстові рекомендації. Якщо користувач відкриває конкретну вимірювальну сесію, модуль надає відповідний набір даних для її перегляду. Якщо обирається режим порівняння сесій, система формує узагальнені результати для двох або більше наборів спостережень.

3.3 Розробка веб-інтерфейсу адміністратора системи

Користувацький інтерфейс (рисунок 3.9) реалізовано у вигляді веб-панелі для адміністратора мережі.

Основні функції інтерфейсу — відображення результатів моніторингу, запуск вимірювальних сесій і перегляд підсумків інтелектуального аналізу. Інтерфейс дозволяє працювати з системою через браузер без встановлення окремого клієнтського програмного забезпечення.

На головному екрані користувач отримує узагальнену інформацію про поточний стан системи. Тут відображаються активна вимірювальна сесія, список контрольних точок, зібрані значення телеметрії, карта покриття, а також результати аналітичного модуля.

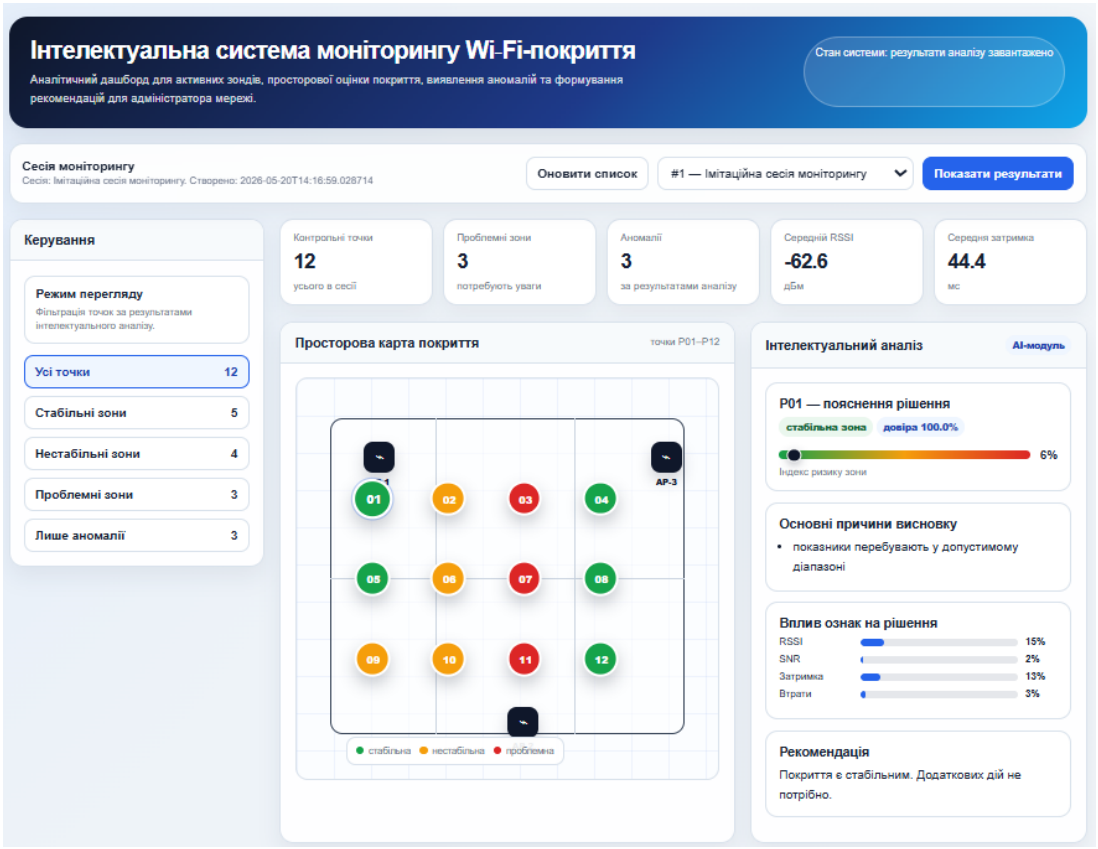
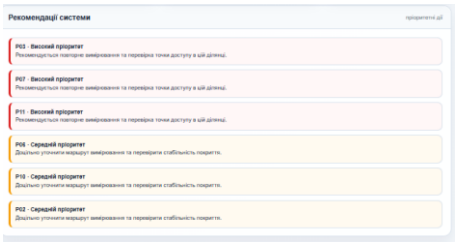


Рисунок 3.9 – Головна сторінка веб-інтерфейсу системи моніторингу Wi-Fi-покриття

Окремо подаються виявлені аномалії, класифікація зон покриття та сформовані рекомендації (рисунок 3.10).



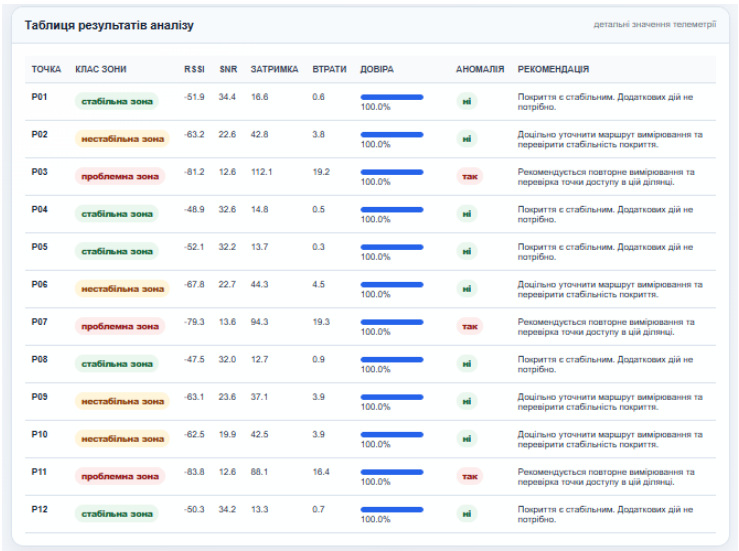


Рисунок 3.10 – Відображення результатів інтелектуального аналізу у веб-інтерфейсі

Отже, адміністратор отримує окремі числові показники та узагальнену картину стану мережі.

Важливою частиною інтерфейсу є засоби керування вимірювальними сесіями. Користувач може ініціювати нову сесію, переглядати раніше збережені результати та порівнювати кілька наборів спостережень. Якщо система працює в режимі повторного вимірювання, в інтерфейсі відображається відповідне повідомлення разом із вказівкою проблемної ділянки. Такий підхід дозволяє пов’язати модуль збору телеметрії, інтелектуальний аналіз і підсумкове представлення результатів у межах єдиного робочого середовища.

Під час проектування інтерфейсу враховано потребу перевірки некоректних дій користувача. Якщо не вибрано сесію, не задано маршрут або відсутні необхідні вхідні параметри, система виводить зрозуміле повідомлення і не допускає виконання помилкової операції. Інформаційні повідомлення використовуються лише в тих випадках, коли вони дійсно потрібні для пояснення поточного стану системи.

3.4 Тестування функціональності програмного прототипу

Після реалізації основних модулів виконано функціональне тестування системи. Його метою була перевірка коректності роботи програмного прототипу на всіх основних етапах, починаючи від формування вимірювальної сесії та завершуючи відображенням результатів у веб-інтерфейсі. Відповідно до методичних рекомендацій, у цьому підрозділі доцільно подати опис процедур тестування та їх результатів.

На першому етапі перевірялась робота модуля активного зонда. Під час тестування оцінювалось, чи коректно зчитуються параметри маршруту, чи формуються записи вимірювань у контрольних точках та чи працює механізм локального буферування. Результати показали, що модуль правильно створює структуровані записи з параметрами Wi-Fi-середовища та передає їх до серверної

частини системи. Якщо з’єднання було відсутнє, дані зберігалися локально для подальшого передавання.

Таблиця 3.1 – Результати тестування функціональності системи

№	Перевірка	Очікуваний результат	Фактичний результат
1	Створення вимірювальної сесії	Створюється нова сесія з унікальним ідентифікатором	Сесію створено успішно
2	Формування записів вимірювань активним зондом	Для кожної контрольної точки формуються телеметричні записи	Записи сформовано коректно
3	Передавання вимірювань на сервер	Дані передаються через API без помилок	Передавання виконано успішно
4	Збереження телеметрії в базі даних	Отримані записи додаються до таблиці measurements	Дані збережено в базі даних
5	Попередня обробка даних	Виконується очищення, нормалізація та агрегування ознак	Обробка виконана коректно
6	Класифікація зон покриття	Для кожної точки визначається клас зони	Класи зон визначено успішно
7	Виявлення аномалій	Проблемні або нетипові точки позначаються як аномальні	Аномалії виявлено коректно
8	Формування рекомендацій	Для проблемних точок формуються рекомендації	Рекомендації сформовано успішно
9	Відображення результатів у веб-інтерфейсі	У браузері відображаються картки зон, таблиця аналізу та рекомендації	Результати відображаються коректно

На другому етапі тестувався модуль збору та збереження телеметрії. Перевірялась коректність приймання даних від активного зонда, перевірка обов’язкових полів, запис у централізовану базу даних та обробка помилкових або неповних записів.

Окремо перевірялась робота модуля попередньої обробки даних. В ході тестування оцінювались очищення телеметричних записів, нормалізація показників і формування ознак для аналітичного модуля.

Окрему увагу під час тестування приділено інтелектуальному аналітичному модулю. Перевірялось, чи коректно система виконує класифікацію зон покриття, чи виявляє нетипові зміни параметрів та чи формує зрозумілі рекомендації для адміністратора. Для цього використовувались тестові набори вимірювань, в яких частина записів відповідала нормальному стану мережі, а частина містила ознаки погіршення покриття або нестабільності зв’язку. За результатами перевірки

система правильно відносила контрольні точки до відповідних класів, виявляла проблемні ділянки та формувала рекомендації щодо повторного вимірювання або перевірки точки доступу (рисунок 3.11).

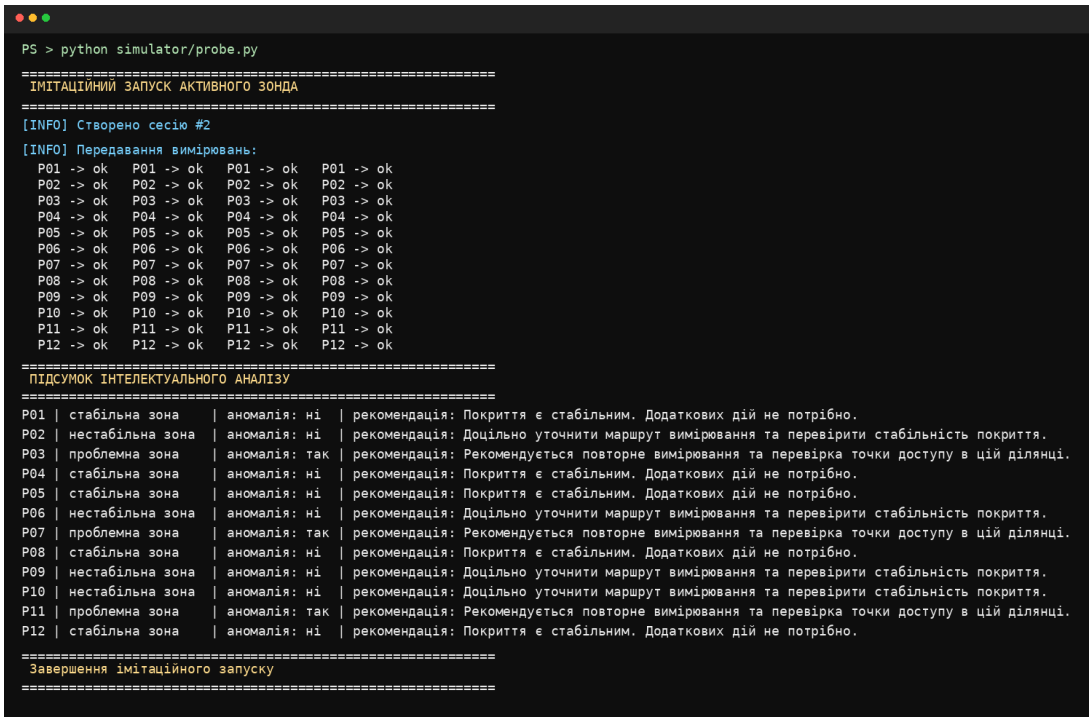


Рисунок 3.11 – Приклад результату тестового запуску програмного прототипу

За результатами тестування встановлено, що веб-інтерфейс коректно відображає карту покриття, контрольні точки, класифікацію зон, перелік аномалій і сформовані рекомендації. Також було перевірено реакцію системи на некоректні дії користувача, зокрема спробу відкрити неіснуючу сесію або виконати дію без потрібних вхідних даних.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі вирішено науково-практичне завдання розробки інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, яка забезпечує збір, накопичення, обробку та інтелектуальний аналіз телеметричних даних бездротового середовища з подальшим формуванням рекомендацій для адміністратора мережі. За результатами виконаної роботи сформульовано такі висновки:

1. Проведено аналіз предметної області моніторингу Wi-Fi-покриття та встановлено, що сучасні підходи до оцінювання стану бездротового середовища поєднують просторово прив’язані вимірювання, телеметрію мережевої інфраструктури, побудову та уточнення радіокарт, виявлення аномалій і застосування методів машинного навчання.

2. Проаналізовано сучасні методи та системи моніторингу Wi-Fi-покриття, на підставі чого обґрунтовано доцільність створення власної інтелектуальної системи з активними зондами, орієнтованої на гнучке накопичення вимірювань, аналіз зон покриття та підтримку прийняття рішень.

3. Сформульовано постановку задачі розроблення інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття.

4. Розроблено архітектуру інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття, яка включає рівень вимірювання, рівень комунікації та збору телеметрії, рівень накопичення і попередньої обробки даних, інтелектуальний аналітичний рівень, а також рівень візуалізації та зворотного керування.

5. Розроблено алгоритми функціонування системи та активних зондів, які охоплюють ініціалізацію системи, планування вимірювань, роботу зонда в пасивному та активному режимах, просторову прив’язку даних, попередню обробку, побудову або уточнення радіокарти, класифікацію зон покриття, виявлення аномалій, оцінювання довіри до результатів і формування рекомендацій.

6. Спроектовано інформаційне забезпечення системи, визначено вхідні та вихідні інформаційні потоки, а також побудовано інфологічну модель, що описує

взаємозв’язки між вимірювальними сесіями, активними зондами, контрольними точками, телеметричними записами, точками доступу, радіокартою, результатами аналізу, аномаліями, рекомендаціями та оцінками довіри.

7. Виконано вибір програмних і апаратних засобів реалізації системи. Для програмної реалізації обрано Python, FastAPI, SQLite, PostgreSQL, pandas, NumPy, scikit-learn, SNMP, а також веб-засоби на основі HTML, CSS, JavaScript і React. Апаратну основу системи становлять активні зонди, мережева інфраструктура та центральний сервер обробки.

8. Реалізовано ключові модулі програмного прототипу, модуль активного зонда, модуль збору та збереження телеметрії, модуль попередньої обробки даних, інтелектуальний аналітичний модуль та веб-інтерфейс адміністратора.

9. Проведено тестування функціональності програмного прототипу, яке підтвердило коректність створення вимірювальних сесій, формування та передавання телеметричних записів, збереження даних в базі, попередньої обробки, класифікації зон покриття, виявлення аномалій, формування рекомендацій і відображення результатів у веб-інтерфейсі.

Практична цінність одержаних результатів полягає у створенні програмного модуля інтелектуальної системи моніторингу Wi-Fi-покриття, який може бути використаний як основа для побудови прикладних рішень у навчальних корпусах, офісних приміщеннях, адміністративних будівлях та інших об’єктах, де важливо своєчасно виявляти проблемні ділянки бездротового покриття, аналізувати телеметрію мережі та формувати рекомендації щодо покращення якості сервісу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні набору вимірюваних параметрів, використанні складніших моделей штучного інтелекту для аналізу багатомодальних даних Wi-Fi-середовища, підвищенні адаптивності механізмів оновлення радіокарти, а також у переході від програмного прототипу до повноцінної програмно-апаратної системи з реальними активними зондами та ширшою інтеграцією з мережевою інфраструктурою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fan Y.-H. Formal estimation of wireless network services for signal strength and electromagnetic wave association in an International Green University. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 21876. DOI: 10.1038/s41598-024-71681-z.

2. IEEE Std 802.11be-2024. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications. Amendment: Extremely High Throughput. New York : IEEE, 2024.

3. IEEE Std 802.11bf-2025. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications. Amendment: Enhancements for wireless LAN sensing. New York : IEEE, 2025.

4. IEEE Std 802.11-2024. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications. New York : IEEE, 2024.

5. IEEE Std 802.11bk-2025. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications. Amendment: 320 MHz positioning. New York : IEEE, 2025.

6. NetSpot WiFi Site Survey Software [Електронний ресурс]. URL: https://www.netspotapp.com/ (дата звернення: 14.03.2026).

7. WiFi Site Survey and Heatmap Software [Електронний ресурс]. URL: https://www.netspotapp.com/wifi-site-survey/ (дата звернення: 14.03.2026).

8. Wireless Assurance with Cisco Catalyst Center [Електронний ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/m/en_au/products/cloud-systems-management/dna-center/use-case-wireless-assurance.html (дата звернення: 14.03.2026).

9. Overview of Juniper Mist Wi-Fi Assurance [Електронний ресурс]. URL: https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/mist/mist-wireless/topics/topic-map/wireless-network-overview.html (дата звернення: 14.03.2026).

10. AI Insights [Електронний ресурс]. URL: https://arubanetworking.hpe.com/techdocs/central/2.5.7/content/nms/trblshooting-guide/tsg-ai-insights.htm (дата звернення: 14.03.2026).

11. Azghadi S. A. R., Mih A. N., Kawnine A., Wachowicz M., Palma F., Cao H. An Adaptive Indoor Localization Approach Using WiFi RSSI Fingerprinting with SLAM-Enabled Robotic Platform and Deep Neural Networks. arXiv. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2407.09242.

12. Gaona Juárez R., García-Barrientos A., Acosta-Elias J., Stevens-Navarro E., Galván C. G., Palavicini A., Monroy Cruz E. Design and Implementation of an Indoor Localization System Based on RSSI in IEEE 802.11ax. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 5. Art. 2620. DOI: 10.3390/app15052620.

13. O'Brien W., Dooley A., Penica M., McGrath S., O'Connell E. Data-Driven, Real-Time Diagnostics of 5G and Wi-Fi Networks Using Mobile Robotics. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2025. Vol. 14, No. 6. Art. 110. DOI: 10.3390/jsan14060110.

14. Chia Z. Y., Goh P. Y., Ong L. Y., Tan S. C. The Challenge of Dynamic Environments in Regard to RSSI-Based Indoor Wi-Fi Positioning: A Systematic Review. Future Internet. 2025. Vol. 17, No. 12. Art. 540. DOI: 10.3390/fi17120540.

15. Neupane I., Shahrestani S., Ruan C. Wi-Fi RSS Fingerprinting-Based Indoor Localization in Large Multi-Floor Buildings. *Electronics.* 2025. Vol. 15, No. 1. Art. 183. DOI: 10.3390/electronics15010183.

16. Kosek-Szott K., Szott S., Ciezobka W., Wojnar M., Rusek K., Segev J. Indoor Positioning with Wi-Fi Location: A Survey of IEEE 802.11mc/az/bk Fine Timing

Measurement Research. Computer Communications. 2025. DOI: 10.1016/j.comcom.2025.108400.

17. Feng X., Nguyen K. A., Luo Z. Robust Indoor Positioning with Hybrid WiFi RTT-RSS Signals. Sensors. 2026. Vol. 26, No. 1. Art. 284. DOI: 10.3390/s26010284.

18. Leifsdotter E., Jelica F. Network-assisted positioning in confined spaces: A comparative study using Wi-Fi and BLE : thesis. Halmstad, 2024.

19. Raja K. J. WiFi RTT-based pedestrian navigation and positioning in indoor environments : doctoral thesis. London, 2025.

20. Zholamanov B., Saymbetov A., Nurgaliyev M., Bolatbek A., Dosymbetova G., Kuttybay N. та ін. RSSI Fingerprint-Based Indoor Localization Solutions Using Machine Learning Algorithms: A Comprehensive Review. *Smart Cities*. 2025. Vol. 8, No. 5. Art. 153. DOI: 10.3390/smartcities8050153.

21. Martín-Frechina S., Dura E., Miralles I., Torres-Sospedra J. From Fingerprinting to Advanced Machine Learning: A Systematic Review of Wi-Fi and BLE-Based Indoor Positioning Systems. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 22. Art. 6946. DOI: 10.3390/s25226946.

22. Attar H., Ismail W. S., Hafez M., Bahaa S., Deif M. A., Khosravi M., Youssry H. Machine Learning in Indoor Localization Prediction Using Received Signal Strength Indicator and Wi-Fi Network. *International Journal of Intelligent Networks*. 2025. DOI: 10.1016/j.ijin.2025.10.001.

23. Chiu K. H., Yin H., Zhuo W., Lee C.-H., Chan S.-H. G. Graph-based Fingerprint Update Using Unlabelled WiFi Signals. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2025. Vol. 9, No. 1. Art. 3. DOI: 10.1145/3712277.

24. Hernando-Cánovas L., Martínez-Sala A. S., Sánchez-Aarnoutse J. C., Alcaraz J. J. A Machine Learning Approach for Estimating Person Counts Using Anonymous WiFi Data in a University Library. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 22. Art. 7065. DOI: 10.3390/s25227065.

25. Bhatia N. S., Obraczka K. Transforming Decoder-Only Transformers for Accurate WiFi-Telemetry Based Indoor Localization. arXiv. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2505.15835.

26. Bondarchuk A., Korshun N., Dibrivnyi O., Spivak S. AI-Powered Wi-Fi Access Controllers: A New Approach to Wireless Network Design. Information and Telecommunication Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 27–35.

27. Qiu K. Improving the planning and deployment of wireless networks via the application of deep learning : PhD thesis. Cambridge, 2025. DOI: 10.17863/CAM.119209.

28. Grypas O. Investigation of Learning Robustness Techniques in WiFi Sensing Deep Learning Models : thesis. Delft, 2025.

29. Liu W. Secure and resilient localisation in cyber-physical systems : doctoral thesis. Stockholm, 2025.

30. Данайканич Ростислав Васильович, Інтелектуальна система моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами, VII Міжнародна наукова конференція «Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки», м. Чернігів, Україна, С.313-316.

31. Zhu Y., Cheng Y. Research on Fingerprint Map Construction and Real-Time Update Method Based on Indoor Landmark Points. Sensors. 2025. Vol. 25, No. 17. Art. 5473. DOI: 10.3390/s25175473.

32. Xiao L., Ghafoorpoor Yazdi P., Thiede S. A zone-based Wi-Fi fingerprinting indoor positioning system for factory noise mapping. Journal of Intelligent Manufacturing. 2025. DOI: 10.1007/s10845-025-02660-y.

33. Liu X., Meng X., Duan H., Hu Z., Wang M. A Survey on Secure WiFi Sensing Technology: Attacks and Defenses. Sensors. 2025. Vol. 25, No. 6. Art. 1913. DOI: 10.3390/s25061913.

34. Xia H., Andrews M., Conti A., Lawrence V., Win M. Z., Yao Y.-D. Wireless Localization Using Deep Learning: A Survey. AI Engineering. 2026. Vol. 2, No. 1. Art. 1. DOI: 10.53941/aieng.2026.100001.

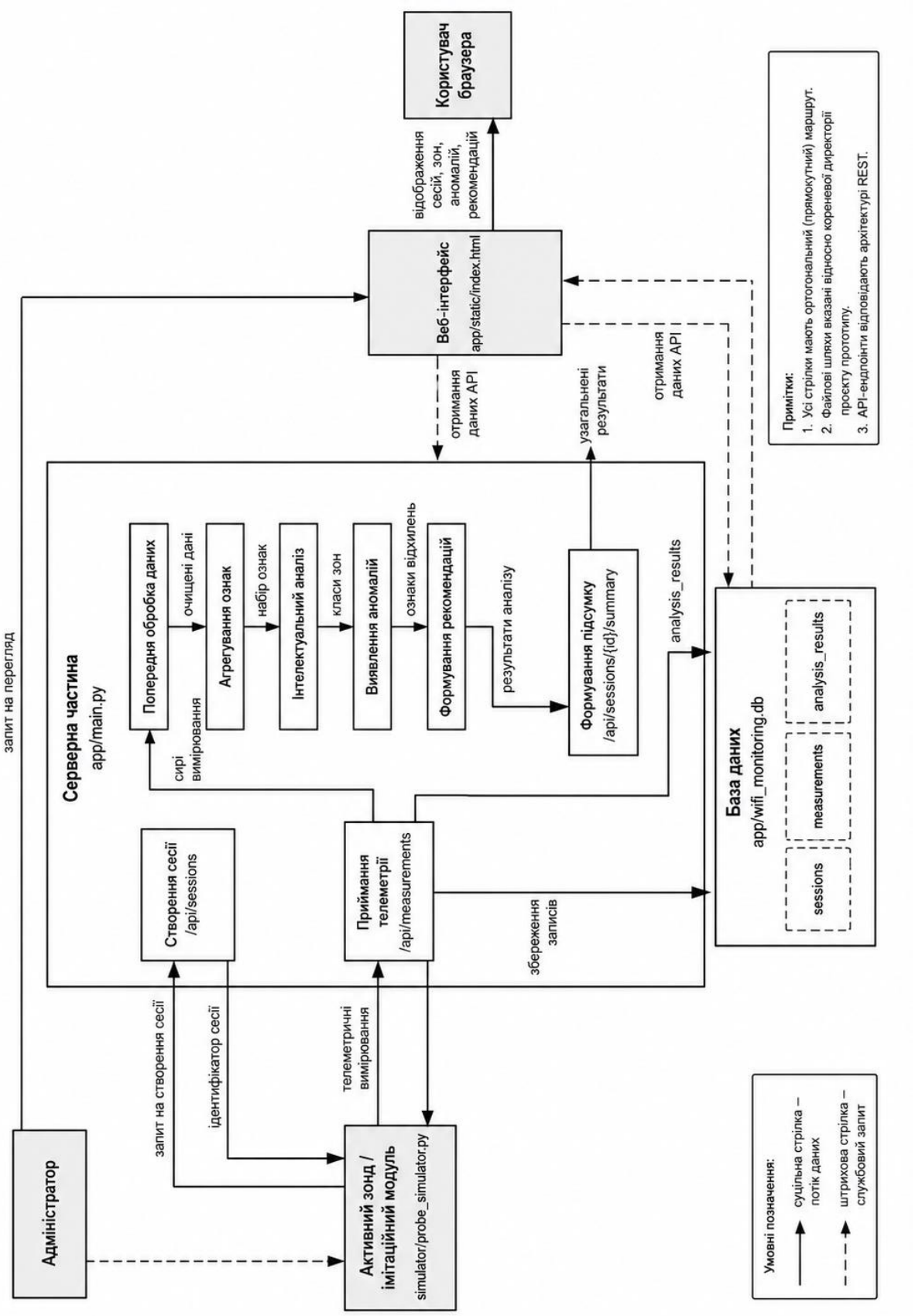
35. Комар М.П., Саченко А.О., Васильків Н.М., Гладій Г.М., Коваль В.С., Ліп’яніна-Гончаренко Х.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної

роботи з освітньо-професійної програми «Комп’ютерні науки» спеціальності 122 «Комп’ютерні науки» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 52 с.

36. Островерхов В. М., Біловус Л. І., Возьний К. З., Луцишин О. О., Монастирський Г. Л., Надвиничний С. А., Питель С. В., Шандрук С. К. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 83 с.

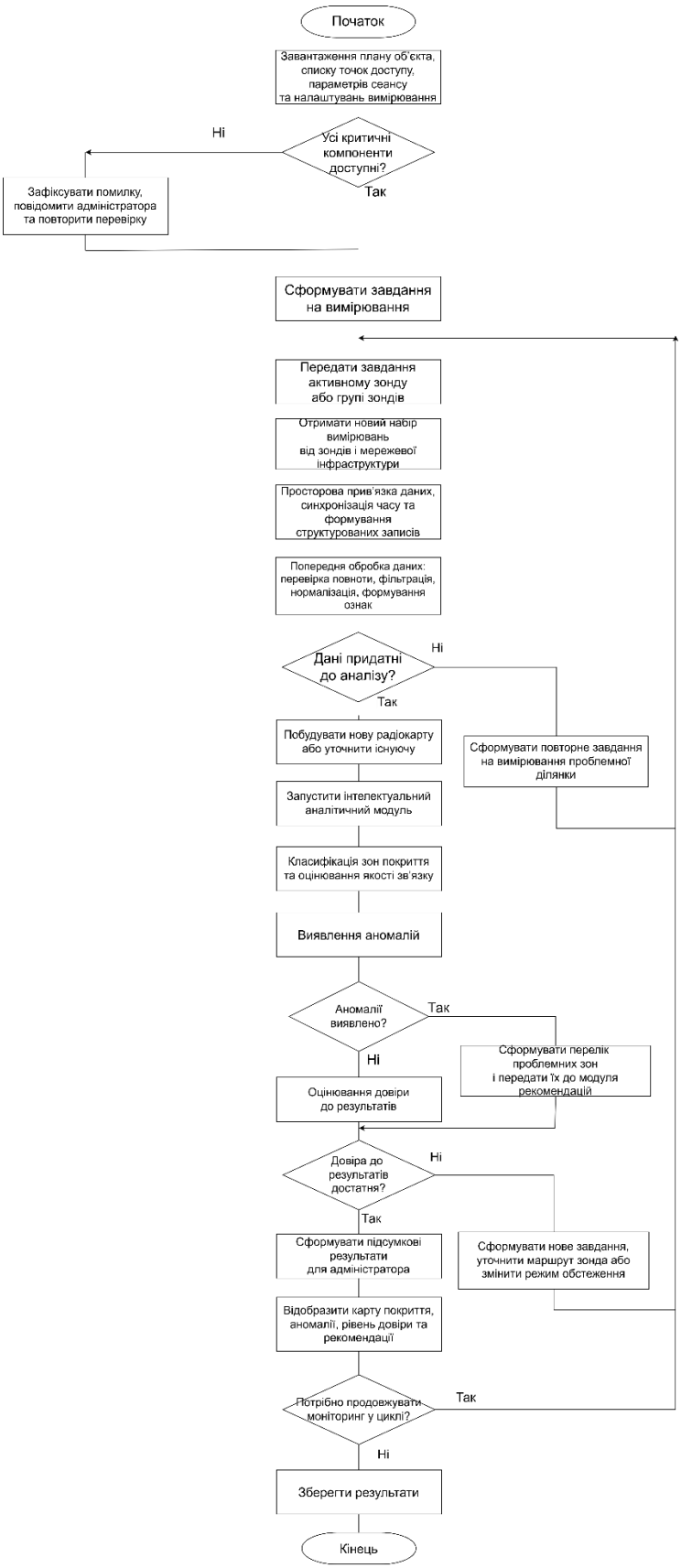
Додаток А

Функціональна схема прототипу інтелектуальної системи моніторингу WI-FI



Додаток Б

Загальний алгоритм роботи модуля інтелектуальної системи моніторингу WI-FI покриття



Додаток В

Фрагменти програмної реалізації інтелектуальної системи моніторингу WI-FI покриття

Лістинг В.1 – Ініціалізація серверної частини та створення структури бази даних

```
from fastapi import FastAPI, HTTPException
from fastapi.responses import FileResponse
from fastapi.staticfiles import StaticFiles
from pydantic import BaseModel
import sqlite3
from pathlib import Path
from datetime import datetime

app = FastAPI(title="Wi-Fi Monitoring Prototype")

BASE_DIR = Path(__file__).resolve().parent
DB_PATH = BASE_DIR / "wifi_monitoring.db"
STATIC_DIR = BASE_DIR / "static"

app.mount("/static",
StaticFiles(directory=STATIC_DIR), name="static")


def get_connection():
  conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
  conn.row_factory = sqlite3.Row
  return conn


def init_db():
  conn = get_connection()
  cur = conn.cursor()

  cur.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS sessions (
      id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
      created_at TEXT NOT NULL,
      description TEXT
    )
  """)

  cur.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS measurements (
      id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
      session_id INTEGER NOT NULL,
      point_id TEXT NOT NULL,
      x REAL NOT NULL,
      y REAL NOT NULL,
      ap_id TEXT NOT NULL,
      rssi REAL NOT NULL,
      snr REAL NOT NULL,
      latency_ms REAL NOT NULL,
      packet_loss_pct REAL NOT NULL,
      bandwidth_mbps REAL NOT NULL,
      created_at TEXT NOT NULL,
      FOREIGN KEY(session_id) REFERENCES
sessions(id)
    )
  """)

  cur.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS analysis_results (
      id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
      session_id INTEGER NOT NULL,
      point_id TEXT NOT NULL,
      zone_class TEXT NOT NULL,
      confidence REAL NOT NULL,
      is_anomaly INTEGER NOT NULL,
      recommendation TEXT NOT NULL,
      FOREIGN KEY(session_id) REFERENCES
sessions(id)
    )
  """)

  conn.commit()
  conn.close()


@app.on_event("startup")
def startup():
  init_db()


@app.get("/")
def index():
  return FileResponse(STATIC_DIR / "index.html")
```

Лістинг В.2 – Опис структур даних і реалізація API для створення сесії та приймання вимірювань

```
class SessionCreate(BaseModel):
  description: str | None = None


class MeasurementIn(BaseModel):
  session_id: int
  point_id: str
  x: float
  y: float
  ap_id: str
  rssi: float
```

```
    snr: float
    latency_ms: float
    packet_loss_pct: float
    bandwidth_mbps: float


@app.post("/api/sessions")
def create_session(payload: SessionCreate):
    conn = get_connection()
    cur = conn.cursor()
    cur.execute(
        "INSERT INTO sessions(created_at, description)
VALUES(?, ?)",

(datetime.now().isoformat(timespec="seconds"),
payload.description)
    )
    conn.commit()
    session_id = cur.lastrowid
    conn.close()
    return {"session_id": session_id}


@app.post("/api/measurements")
def add_measurement(payload: MeasurementIn):
    conn = get_connection()
    cur = conn.cursor()

    cur.execute("SELECT id FROM sessions WHERE id
= ?", (payload.session_id,))
    if cur.fetchone() is None:
        conn.close()
        raise HTTPException(status_code=404,
detail="Сесію не знайдено")

    cur.execute("""
        INSERT INTO measurements(
            session_id, point_id, x, y, ap_id, rssi, snr,
            latency_ms, packet_loss_pct,
bandwidth_mbps, created_at
        ) VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)
    """, (
        payload.session_id,
        payload.point_id,
        payload.x,
        payload.y,
        payload.ap_id,
        payload.rssi,
        payload.snr,
        payload.latency_ms,
        payload.packet_loss_pct,
        payload.bandwidth_mbps,

datetime.now().isoformat(timespec="seconds")
    ))

    conn.commit()
    conn.close()
    return {"status": "ok"}
```

Лістинг В.3 – Реалізація інтелектуального аналізу та формування підсумку сесії

```
def classify_zone(avg_rssi: float, avg_latency: float,
avg_loss: float) -> str:
    if avg_rssi >= -60 and avg_latency < 20 and
avg_loss < 2:
        return "стабільна зона"
    if avg_rssi < -75 or avg_latency > 80 or avg_loss >
10:
        return "проблемна зона"
    return "нестабільна зона"


def build_recommendation(zone_class: str) -> str:
    if zone_class == "стабільна зона":
        return "Покриття є стабільним. Додаткових
дій не потрібно."
    if zone_class == "проблемна зона":
        return "Рекомендується повторне
вимірювання та перевірка точки доступу в цій
ділянці."
    return "Доцільно уточнити маршрут
вимірювання та перевірити стабільність
покриття."


@app.post("/api/sessions/{session_id}/summary")
def analyze_session(session_id: int):
    conn = get_connection()
    cur = conn.cursor()

    cur.execute("DELETE FROM analysis_results
WHERE session_id = ?", (session_id,))

    cur.execute("""
        SELECT point_id,
               AVG(rssi) AS avg_rssi,
               AVG(snr) AS avg_snr,
               AVG(latency_ms) AS avg_latency,
               AVG(packet_loss_pct) AS avg_loss,
               AVG(bandwidth_mbps) AS avg_bw
        FROM measurements
        WHERE session_id = ?
        GROUP BY point_id
        ORDER BY point_id
    """, (session_id,))
    rows = cur.fetchall()
```

```
    results = []
    for row in rows:
        zone_class = classify_zone(
            row["avg_rssi"],
            row["avg_latency"],
            row["avg_loss"]
        )
        is_anomaly = 1 if zone_class == "проблемна
зона" else 0
        confidence = 1.0
        recommendation =
build_recommendation(zone_class)

        cur.execute("""
            INSERT INTO analysis_results(
                session_id,
                point_id,
                zone_class,
                confidence,
                is_anomaly,
                recommendation
            )
            VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?)
        """, (
            session_id,
            row["point_id"],
            zone_class,
            confidence,
            is_anomaly,
            recommendation
        ))

        results.append({
            "point_id": row["point_id"],
            "zone_class": zone_class,
            "confidence_pct": round(confidence * 100,
2),
            "is_anomaly": bool(is_anomaly),
            "recommendation": recommendation
        })

    conn.commit()
    conn.close()
    return {"session_id": session_id, "results":
results}


@app.get("/api/sessions")
def get_sessions():
    conn = get_connection()
    cur = conn.cursor()
    cur.execute(
        "SELECT id, created_at, description FROM
sessions ORDER BY id DESC"
    )
    rows = [dict(row) for row in cur.fetchall()]
    conn.close()
    return rows


@app.get("/api/sessions/{session_id}/results")
def get_results(session_id: int):
    conn = get_connection()
    cur = conn.cursor()
    cur.execute("""
        SELECT point_id, zone_class, confidence,
is_anomaly, recommendation
        FROM analysis_results
        WHERE session_id = ?
        ORDER BY point_id
    """, (session_id,))
    rows = [dict(row) for row in cur.fetchall()]
    conn.close()
    return rows
```

Лістинг В.4 – Формування сесії та створення набору контрольних точок

```
import random
import requests

BASE_URL = "http://127.0.0.1:8000"

POINTS = [
    ("P01", 10.0, 10.0, "stable"),
    ("P02", 20.0, 10.0, "unstable"),
    ("P03", 30.0, 10.0, "problem"),
    ("P04", 40.0, 10.0, "stable"),
    ("P05", 50.0, 10.0, "stable"),
    ("P06", 60.0, 10.0, "unstable"),
    ("P07", 70.0, 10.0, "problem"),
    ("P08", 80.0, 10.0, "stable"),
    ("P09", 90.0, 10.0, "unstable"),
    ("P10", 100.0, 10.0, "unstable"),
    ("P11", 110.0, 10.0, "problem"),
    ("P12", 120.0, 10.0, "stable"),
]


def create_session():
    response = requests.post(
        f"{BASE_URL}/api/sessions",
        json={"description": "Імітаційний запуск
активного зонда"}
    )
    response.raise_for_status()
    return response.json()["session_id"]
```

Лістинг В.6 – Передавання вимірювань на сервер і виведення результатів аналізу

```
def send_measurement(session_id, measurement):
    payload = {"session_id": session_id,
**measurement}
    response =
requests.post(f"{BASE_URL}/api/measurements",
json=payload)
    response.raise_for_status()


def main():
    session_id = create_session()
    print(f"Створено сесію #{session_id}")

    for point_id, x, y, mode in POINTS:
        for _ in range(4):
            measurement =
generate_measurement(point_id, x, y, mode)
            send_measurement(session_id,
measurement)
            print(f"Передано вимірювання для
{point_id}: ok")

    response =
requests.post(f"{BASE_URL}/api/sessions/{session_
id}/summary")
    response.raise_for_status()
    summary = response.json()

    print("\nПідсумок аналізу:")
    for item in summary["results"]:
        print(
            f'{item["point_id"]}: {item["zone_class"]}, '
            f'аномалія={item["is_anomaly"]}, '
            f'рекомендація={item["recommendation"]}'
        )


if __name__ == "__main__":
    main()
```

Лістинг В.7 – Структура головної сторінки веб-інтерфейсу

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Інтелектуальна система моніторингу Wi-
Fi-покриття</title>
    <style>
        body {
            font-family: Arial, sans-serif;
            margin: 24px;
            background: #f7f7f7;
            color: #222;
        }
        h1, h2 {
            margin-bottom: 12px;
        }
        .panel {
            background: #fff;
            border: 1px solid #ccc;
            padding: 16px;
            margin-bottom: 18px;
        }
        button {
            padding: 8px 14px;
            margin-right: 8px;
            cursor: pointer;
        }
        select {
            padding: 8px;
            min-width: 220px;
        }
        table {
            border-collapse: collapse;
            width: 100%;
            margin-top: 12px;
        }
        th, td {
            border: 1px solid #bbb;
            padding: 8px;
            text-align: left;
        }
        th {
            background: #ececec;
        }
    </style>
</head>
<body>
    <h1>Інтелектуальна система моніторингу Wi-
Fi-покриття</h1>

    <div class="panel">
        <h2>Сесії моніторингу</h2>
        <button onclick="loadSessions()">Оновити
список сесій</button>
        <select id="sessionSelect"></select>
        <button onclick="showResults()">Показати
результати</button>
    </div>

    <div class="panel">
        <h2>Узагальнені результати</h2>
        <div id="summaryBlock">Результати ще не
завантажено.</div>
```

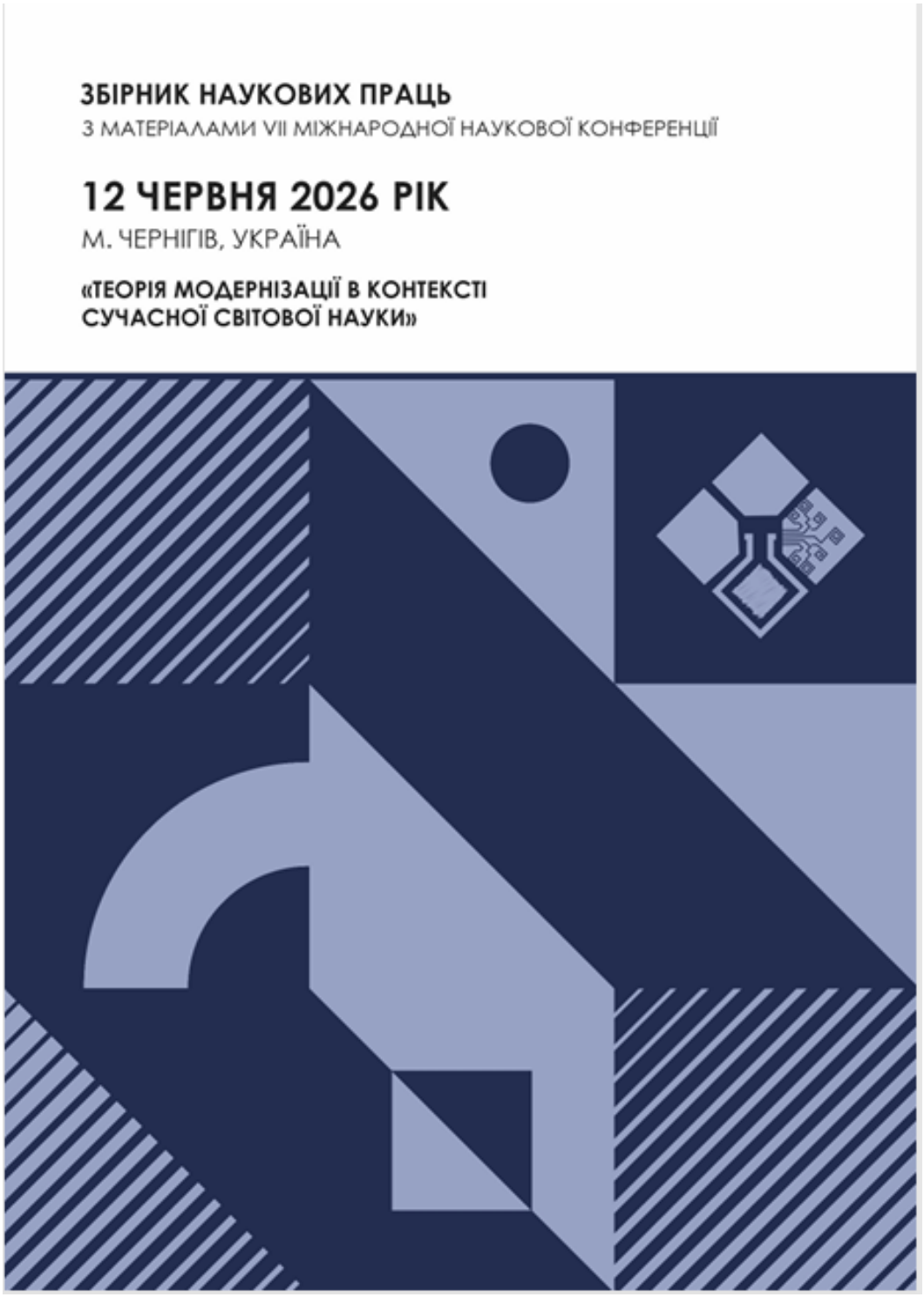
```
  </div>

  <script src="/static/app.js"></script>
</body>
</html>
```

Лістинг В.8 – Завантаження списку сесій і відображення результатів

```
async function loadSessions() {
  const response = await fetch("/api/sessions");
  const sessions = await response.json();

  const select =
document.getElementById("sessionSelect");
  select.innerHTML = "";

  sessions.forEach(session => {
    const option =
document.createElement("option");
    option.value = session.id;
    option.textContent = `Сесія ${session.id} |
${session.created_at}`;
    select.appendChild(option);
  });
}

async function showResults() {
  const sessionId =
document.getElementById("sessionSelect").value;
  if (!sessionId) return;

  const response = await
fetch(`/api/sessions/${sessionId}/results`);
  const results = await response.json();

  let html = `
    <table>
      <thead>
        <tr>
          <th>Точка</th>
          <th>Клас зони</th>
          <th>Довіра</th>
          <th>Аномалія</th>
          <th>Рекомендація</th>
        </tr>
      </thead>
      <tbody>
  `;

  results.forEach(item => {
    html += `
      <tr>
        <td>${item.point_id}</td>
        <td>${item.zone_class}</td>
        <td>${(item.confidence *
100).toFixed(2)}%</td>
        <td>${item.is_anomaly ? "так" : "ні"}</td>
        <td>${item.recommendation}</td>
      </tr>
    `;
  });

  html += "</tbody></table>";

document.getElementById("summaryBlock").inner
HTML = html;
}

window.onload = loadSessions;
```

Додаток Г

Апробація отриманих результатів



ЗБІРНИК НАУКОВИХ
ПРАЦЬ З МАТЕРІАЛАМИ
VII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ТЕОРІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ СВІТОВОЇ НАУКИ

12 червня 2026 рік
м. Чернігів, Україна

Вінниця, Україна
«UKRLOGOS Group»
2026

УДК 082:001
Т 33

Організація, від імені якої випущено видання:
ГО «Міжнародний центр наукових досліджень»
Номер запису організації в Єдиному реєстрі громадських об'єднань: 1499141.

Голова оргкомітету: Сотник С.Г.

Верстка: Білоус Т.В.
Дизайн: Бондаренко І.В.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Інституту науково-технічної інтеграції та співпраці. Протокол № 22 від 11.06.2026 року.

*Конференцію зареєстровано Державною науковою установою у сфері управління Міністерства освіти і науки «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації» в базі даних науково-технічних заходів України на поточний рік та бюлетені «План проведення наукових, науково-технічних заходів в Україні» (**Посвідчення № 174 від 26.01.2026**).*

*Збірник наукових праць з матеріалами конференції видано офіційно суб'єктом видавничої справи зі **Свідоцтвом ДК № 7860 від 22.06.2023**.*

Т 33 **Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки**: збірник наукових праць з матеріалами VII Міжнародної наукової конференції, м. Чернігів, 12 червня, 2026 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп, 2026. — 484 с.

ISBN 978-617-8582-52-4
DOI 10.62731/mcnd-12.06.2026

Викладено матеріали учасників VII Міжнародної наукової конференції «Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки», яка відбулася 12 червня 2026 року у місті Чернігів.

УДК 082:001

ISBN 978-617-8582-52-4

СЕКЦІЯ XIV.
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ WI-FI-ПОКРИТТЯ З АКТИВНИМИ ЗОНДАМИ

Данайканич Ростислав Васильович
Бакалавр спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Західноукраїнський національний університет, Україна

Науковий керівник: Осолінський Олександр Романович
ORCID ID: 0000-0002-0136-395X
канд.техн.наук, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет, Україна

Вступ

Wi-Fi-мережі є важливою складовою інформаційної інфраструктури навчальних закладів, офісів, адміністративних приміщень і розумних будівель. Від якості бездротового покриття залежить доступ користувачів до електронних ресурсів, хмарних сервісів, систем дистанційного навчання та засобів відеозв'язку. Тому стабільність Wi-Fi-покриття розглядається не тільки, як технічний параметр, а як умова нормальної роботи цифрового середовища.

Практична складність цієї задачі полягає в динамічності радіосередовища. На рівень сигналу та фактичну якість з'єднання впливають планування приміщення, матеріали стін, кількість користувачів, взаємні перешкоди між точками доступу, завантаження каналів і зміна розташування обладнання. Класичне одноразове обстеження покриття не завжди дає змогу своєчасно побачити такі зміни [1, 2].

Перспективним підходом є використання активних зондів, які виконують вимірювання в контрольних точках об'єкта. Зонд дає змогу оцінювати наявність сигналу, затримку, втрату пакетів, пропускну здатність і стабільність сеансу.

Архітектура інтелектуальної системи

Запропонована система побудована за модульним принципом (рисунок 1). Вона покриває рівень вимірювання, рівень збору телеметрії, рівень зберігання та попередньої обробки даних, інтелектуальний аналітичний модуль і веб-інтерфейс адміністратора. Такий поділ дозволяє незалежно розвивати окремі компоненти системи.

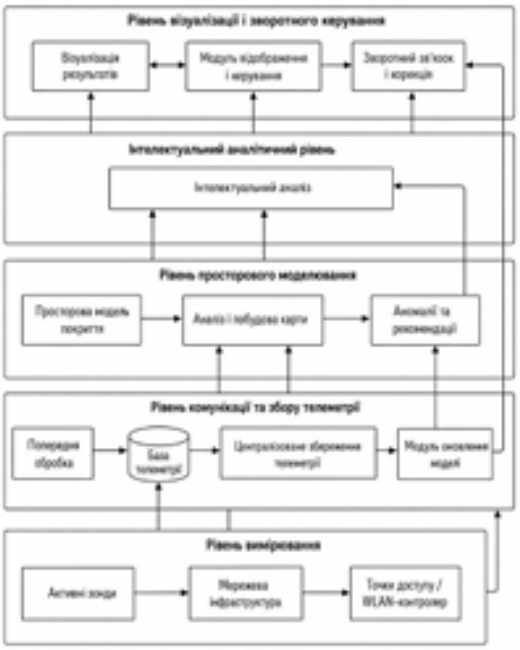


Рис. 1. **Архітектура інтелектуальної системи моніторингу**

Рівень вимірювання формують активні зонди, точки доступу та IoT вузли. Зонд працює у двох режимах. Пасивний - сканує бездротове середовище, фіксує видимі точки доступу, рівень сигналу, шум, номер каналу та діапазон частот. В активному режимі зонд підключається до цільової мережі і виконує перевірку реальної якості зв'язку [3].

Рівень збору телеметрії приймає дані від активного зонда та мережевої інфраструктури. Для цього розроблено прикладний програмний інтерфейс, через який передаються записи вимірювань. Якщо зв'язок з сервером тимчасово недоступний, зонд зберігає дані в локальному буфері й передає їх після відновлення з'єднання.

На рівні зберігання та обробки дані перевіряються, очищаються і приводяться до єдиної структури, пов'язується з часом, координатою, сесією моніторингу, ідентифікатором точки доступу та набором параметрів Wi-Fi-середовища.

Інтелектуальний аналіз і програмна реалізація

Інтелектуальний модуль виконує класифікацію зон покриття, виявлення аномалій і формування рекомендацій. Для класифікації

використовуються ознаки, сформовані на основі рівня сигналу, співвідношення сигналу до шуму, затримки, втрати пакетів і пропускної здатності. За результатом аналізу контрольна точка або зона може бути віднесена до стабільної, нестабільної або проблемної. Це дозволяє адміністратору працювати не з великою кількістю окремих числових значень, а з узагальненою оцінкою стану покриття.

Виявлення аномалій потрібне для пошуку нетипових змін у мережі. Аномалією може бути різке падіння рівня сигналу, збільшення затримки, поява втрат пакетів в зоні. Після виявлення проблеми система формує рекомендацію повторити вимірювання, перевірити конкретну точку доступу, уточнити маршрут активного зонда, переглянути канал або параметри покриття [4, 5].

Програмний прототип реалізовано з використанням Python, FastAPI (рисунок 2). Для централізованого зберігання даних використано PostgreSQL, а для локального буферування на зонді - SQLite. Попередня обробка даних виконується засобами pandas і NumPy, моделі класифікації та виявлення реалізовані на основі scikit-learn. Веб-інтерфейс адміністратора створено з використанням HTML, CSS, JavaScript і React.

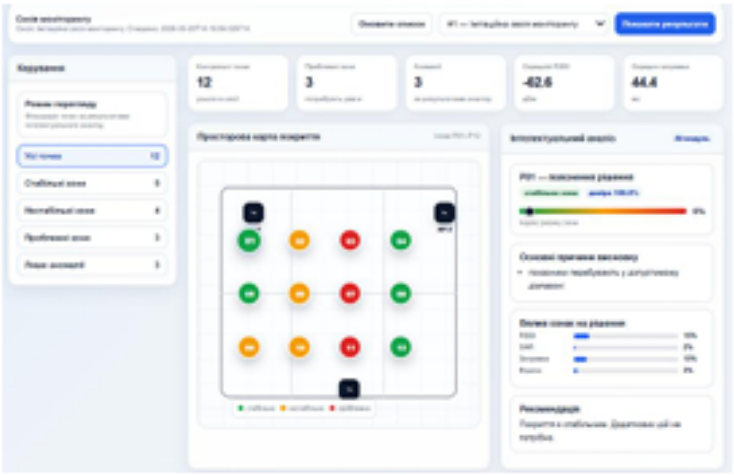


Рис. 2. **Головна сторінка веб-інтерфейсу системи моніторингу Wi-Fi-покриття**

Висновки. Запропоновано інтелектуальну систему моніторингу Wi-Fi-покриття з активними зондами. Її особливістю є поєднання просторово прив'язаних вимірювань, телеметрії мережевої

інфраструктури, попередньої обробки даних, інтелектуального аналізу, виявлення аномалій і формування рекомендацій для адміністратора.

Список використаних джерел:

1. Fan Y.-H. Formal estimation of wireless network services for signal strength and electromagnetic wave association in an International Green University // Scientific Reports. - 2024. - Vol. 14. - Art. 21876.
2. NetSpot WiFi Site Survey Software [Електронний ресурс]. URL: https://www.netspotapp.com/ (дата звернення: 14.03.2026).
3. Wireless Assurance with Cisco Catalyst Center [Електронний ресурс]. URL: https://www.cisco.com/ (дата звернення: 14.03.2026).
4. Overview of Juniper Mist Wi-Fi Assurance [Електронний ресурс]. URL: https://www.juniper.net/ (дата звернення: 14.03.2026).
5. Zholamanov B., Saymbetov A., Nurgaliyev M. et al. RSSI Fingerprint-Based Indoor Localization Solutions Using Machine Learning Algorithms: A Comprehensive Review // Smart Cities. - 2025. - Vol. 8, No. 5. - Art. 153.