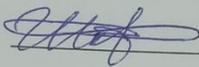


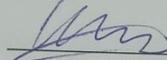
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ
СПІВРОБІТНИКІВ У БУДІВЛІ НА ОСНОВІ WI-FI/BLUETOOTH**

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КІ-24м
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»

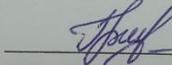
 Жученко А. С.

Керівник: д.ф., доц. каф. ОТ

 Обертюх М. Р.

« 15 » 12 2025 р.

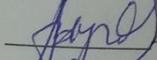
Опонент: к.т.н., доцент кафедри МБІС

 Грицак А. В.

« 15 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

 д.т.н., проф. Азаров О. Д.

« 15 » 12 2025 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Галузь знань — Інформаційні технології
Освітній рівень — магістр
Спеціальність — 123 Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма — Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри обчислювальної техніки



О.Д. Азаров

" 25 " вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Жученку Андрію Сергійовичу

1 Тема роботи «Технологія моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі WI-FI/BLUETOOTH» керівник роботи Обертюх Максим Романович д.ф. доцент, затверджено наказом вищого навчального закладу від 24.09.25 року № 313 .

2 Строк подання студентом роботи 9.12.25.

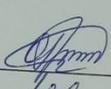
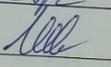
3 Вихідні дані до роботи: призначення: забезпечення моніторингу активності користувачів у локальній мережі з використанням технологій Wi-Fi та BLE., засоби — середовище програмування Visual Studio Code, мови програмування JavaScript, Python (Flask), база даних SQLite, бібліотеки Leaflet.js, Chart.js.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасних методів та технологій моніторингу активності користувачів у локальних мережах, аналіз та вибір інструментів для розробки веб-додатку, розробка структури бази даних, створення веб-інтерфейсу адміністратора та карти моніторингу, тестування та аналіз роботи веб-додатку.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): блок-схема циклу обробки запиту, схема позиціонування приміщенні за допомогою вузлів Bluetooth, схема системи внутрішнього позиціонування.

6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.

Таблиця 1— Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Обертюх Максим Романович д.ф., доцент		
5	Ратушняк Ольга Георгіївна к.т.н. доцент каф ЕПВМ		
Нормоконтроль	асист. каф. ОТ Швець С. І.		

7 Дата видачі завдання **25.09.2025.**

8 Календарний план виконання МКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання	Підпис
1	Постановка задачі	30.09.25	
2	Огляд існуючих рішень	4.10.25	
3	Розробка структурної схеми	15.10.25	
4	Аналіз аналогової частини	20.10.25	
5	Вибір ПЗ для розробки	25.10.25	
6	Розробка системи	30.11.25	
7	Розрахунок економічної частини	1.11	
8	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	4.11	
9	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	10.11	
10	Перевірка «антиплагіат»	15.12	

Студент  Жученко Андрій Сергійович
д.ф., доц. Обертюх Максим Романович

АНОТАЦІЯ

УДК 004

Жученко А. С. Технологія моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі WI-FI/BLUETOOTH. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2025 — 119 с. На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 15; табл. 15.

У роботі розглянуто сучасні методи та технології моніторингу активності користувачів у локальних мережах, обґрунтовано вибір засобів та середовищ розробки веб-додатку, реалізовано клієнтську та серверну частину системи моніторингу, створено інтерактивний інтерфейс адміністратора для відображення карти, статистики та журналів подій у реальному часі. Також розроблено механізми пошуку користувачів, відстеження рівня сигналу RSSI та реагування на системні збої. Наведено результати тестування веб-додатку та рекомендації щодо подальшого удосконалення системи.

Ключові слова: моніторинг, користувачі, веб-додаток, система контролю, RSSI, локальна мережа.

ABSTRACT

Zhuchenko A. S. Technology for Monitoring Employee Location in a Building Based on Wi-Fi/Bluetooth. Master's Thesis in the field of 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2025 — 119 pages. Written in Ukrainian. Bibliography: 28 sources; figures: 15; tables: 15.

The work examines modern methods and technologies for monitoring user activity in local networks, justifies the choice of tools and development environments for a web application, implements both the client and server parts of the monitoring system, and creates an interactive administrator interface for displaying maps, statistics, and event logs in real time. Mechanisms for user search, RSSI signal level tracking, and system failure response were also developed. The results of web application testing and recommendations for further system improvement are presented.

Keywords: monitoring, users, web application, control system, RSSI, local network.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	9
1.1 Актуальність та вимоги до систем внутрішнього позиціонування (IPS).....	9
1.2 Огляд бездротових технологій для локалізації всередині приміщень.....	14
1.3 Аналіз технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE).....	18
1.4 Класифікація та характеристика алгоритмів внутрішнього позиціонування.....	22
2 ОБҐРУНТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ	28
2.1 Обґрунтування ефективності поєднання технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy.....	28
2.2 Розробка архітектури системи моніторингу.....	31
2.2.1 Структурна схема системи: рівні збору даних, обробки та візуалізації.....	32
2.2.2 Проектування клієнтського модуля: збір RSSI та передача даних.....	38
2.3 Вибір програмно-апаратних засобів для реалізації прототипу.....	40
2.3.1 Апаратне забезпечення: точки доступу, маяки та мобільні пристрої.....	40
2.3.2 Програмне забезпечення системи моніторингу.....	43
3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МОДУЛІВ СИСТЕМИ	47
3.1 Проектування бази даних системи моніторингу.....	47
3.2 Розробка серверного модуля збору та обробки даних.....	53
3.2.1 Реалізація REST API для прийому даних від клієнтських пристроїв.....	53
3.2.2 Алгоритм локалізації користувачів на основі аналізу RSSI.....	57
3.3 Розробка модуля візуалізації та моніторингу.....	60
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗГОРТАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ	66
4.1 Методологія та інструменти тестування веб-застосунку.....	66
4.2 Проведення тестування та аналіз результатів.....	69
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	76
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	76

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-технічної розробки.....	83
5.3 Розрахунок економічної ефективності та обґрунтування економічної доцільності комерціалізації науково-технічної розробки.....	90
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	91
5.5 Результати економічного аналізу.....	94
ВИСНОВКИ	95
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	97
ДОДАТОК А Технічне завдання.....	100
ДОДАТОК Б Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	104
ДОДАТОК В Блок-схема циклу обробки запиту.....	105
ДОДАТОК Г Схема системи внутрішнього позиціонування.....	106
ДОДАТОК Д Схема позиціонування в приміщенні за допомогою Bluetooth..	107
ДОДАТОК Е Лістинг реалізації алгоритму для локалізації користувачів.....	108
ДОДАТОК Ж Лістинг коду розробки інтерфейсу системи.....	110

ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується активним впровадженням систем моніторингу та аналітики, які дозволяють підвищити ефективність управління різними процесами у виробничих, комерційних та адміністративних структурах. Одним із перспективних напрямів таких технологій є внутрішнє позиціонування (Indoor Positioning Systems, IPS) — технологія визначення місцезнаходження об'єктів або людей всередині будівель, де традиційні методи, засновані на GPS, є неефективними або недоступними [1].

Проблема точного визначення місцезнаходження співробітників у приміщеннях набуває особливої актуальності в умовах цифровізації підприємств та зростання вимог до безпеки, контролю доступу, оптимізації використання ресурсів і забезпечення оперативного управління персоналом. Технології Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE) відкривають широкі можливості для створення ефективних і відносно недорогих систем моніторингу положення співробітників у реальному часі, завдяки наявності відповідної інфраструктури у більшості сучасних будівель [1].

Використання таких технологій дозволяє вирішити низку практичних завдань:

- контроль присутності та переміщення співробітників;
- підвищення рівня безпеки на об'єктах;
- оптимізація робочих процесів і логістики всередині будівель;
- забезпечення оперативного реагування у надзвичайних ситуаціях.

Разом із тим, ефективне впровадження системи моніторингу місцезнаходження вимагає комплексного підходу, який охоплює аналіз доступних технологій позиціонування, розробку архітектури системи, алгоритмів обробки сигналів та забезпечення конфіденційності даних користувачів.

Актуальність теми дослідження зумовлена стрімким розвитком концепції "Розумної будівлі" та підвищенням вимог до операційної безпеки та ефективності праці. Точний моніторинг місцезнаходження персоналу не є просто

інструментом контролю, а слугує основою для цілої низки критично важливих бізнес-процесів. Це включає автоматичне табельювання робочого часу, оптимізацію логістичних маршрутів (наприклад, на складах), а також аналіз завантаженості робочих зон. В умовах високої конкуренції та постійного зростання витрат, здатність точно знати, де знаходиться кожен співробітник, дозволяє керівництву приймати обґрунтовані рішення щодо розподілу завдань та ресурсів, що безпосередньо впливає на загальну продуктивність компанії.

Особливе значення технологія набуває в контексті безпеки та реагування на надзвичайні ситуації. У разі пожежі, аварії чи іншого інциденту можливість миттєво визначити точну локацію людини (наприклад, для відправки допомоги або підтвердження евакуації) є критичною. При цьому використання гібридного підходу, що поєднує Wi-Fi (який пропонує широке покриття через існуючу інфраструктуру) та BLE (який забезпечує вищу точність у локальних зонах за допомогою енергоефективних маяків), дозволяє створити систему, яка є надійною, точною та масштабованою одночасно. Це робить дослідження методів інтеграції та оптимізації алгоритмів локалізації на основі цих двох технологій науково значущим та практично затребуваним.

Метою роботи є розробка комбінованої технології (Wi-Fi/Bluetooth) для забезпечення точного, надійного та економічно вигідного моніторингу місцезнаходження співробітників усередині будівлі.

Для досягнення поставленої мети у роботі **розв'язуються такі задачі:**

— здійснити комплексний аналіз існуючих технологій внутрішнього позиціонування (IPS) та методів обробки сигналів, виявивши їхні переваги та недоліки в умовах багатопроменевого поширення сигналу.

— обґрунтувати архітектуру гібридної системи моніторингу, що використовує Wi-Fi та BLE як основні джерела даних.

— спроектувати та імплементувати вдосконалений алгоритм позиціонування, що базується на методі Fingerprinting з механізмом зваженої інтеграції даних RSSI від обох бездротових технологій.

— розробити програмно-апаратний прототип системи, що включає клієнтський додаток (трекер) та серверний модуль обробки та візуалізації.

Об'єктом дослідження є процес визначення місцезнаходження рухомих об'єктів (співробітників) усередині будівлі в умовах обмеженого доступу до супутникових систем навігації.

Предметом дослідження є методи та алгоритми внутрішнього позиціонування, засновані на використанні характеристик потужності сигналу RSSI бездротових мереж Wi-Fi та Bluetooth.

Новизна роботи полягає у вдосконаленні алгоритму Fingerprinting за рахунок розробки та застосування методики зваженого об'єднання даних RSSI, отриманих від Wi-Fi-точок доступу та BLE-маяків. Ця методика дозволяє динамічно адаптувати вагові коефіцієнти залежно від щільності розміщення передавачів та рівня зашумленості в різних зонах, що в результаті призводить до суттєвого підвищення точності позиціонування.

Практичне значення роботи полягає у створенні функціонального програмно-апаратного прототипу системи моніторингу, готового до впровадження. Цей прототип може бути використаний як базове рішення для підвищення безпеки та операційної ефективності на підприємствах, у логістичних хабах та адміністративних будівлях.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

1.1 Актуальність та вимоги до систем внутрішнього позиціонування (IPS)

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємств питання контролю, безпеки та оптимізації робочих процесів набуває особливого значення. Організації різних галузей — від промислових підприємств до адміністративних установ — дедалі частіше стикаються з необхідністю моніторингу пересування співробітників, обладнання та відвідувачів усередині будівель. Ця потреба зумовлена як підвищенням рівня автоматизації виробничих процесів, так і вимогами до безпеки, ефективності управління персоналом і контролю використання ресурсів.

Системи внутрішнього позиціонування (Indoor Positioning Systems, IPS) є логічним продовженням розвитку технологій супутникової навігації, які, однак, мають суттєві обмеження у закритих приміщеннях (рисунок 1.1). Стандартні рішення на базі GPS або ГЛОНАСС не здатні забезпечити стабільний сигнал у середині будівель через поглинання радіохвиль стінами та перекриттями. Саме тому розробка ефективних систем позиціонування у внутрішньому просторі стає актуальною задачею сучасних інформаційних технологій [2].

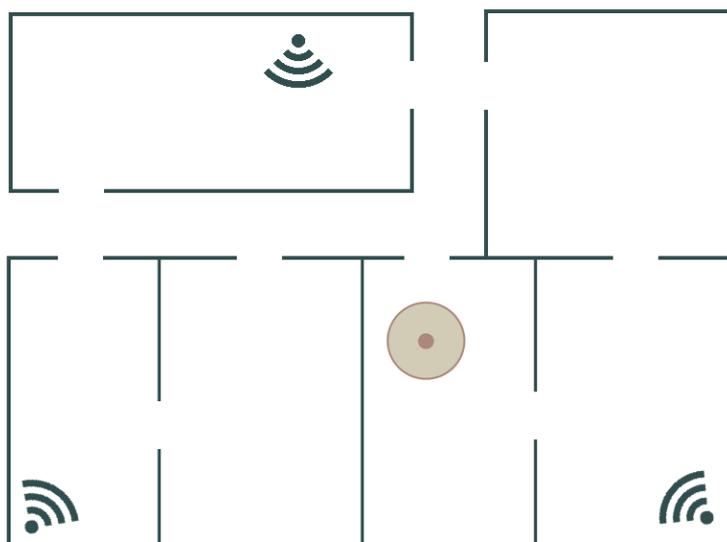


Рисунок 1.1 — Схематичне зображення внутрішнього позиціонування об'єкта в будівлі на основі сигналів бездротових мереж.

Потреба у внутрішньому моніторингу є особливо відчутною в таких сферах, як логістика, охорона здоров'я, енергетика, будівництво, офісний менеджмент та безпека. У лікарнях IPS-технології дозволяють швидко знаходити необхідне обладнання чи медперсонал. На великих промислових підприємствах — контролювати переміщення робітників у небезпечних зонах. В офісних центрах — забезпечувати облік присутності працівників, оптимізувати використання приміщень і планувати евакуацію у разі надзвичайних ситуацій [2].

З економічної точки зору впровадження IPS сприяє зниженню витрат на управління персоналом та підвищенню ефективності використання робочого часу. Компанії отримують можливість аналітичного оцінювання поведінки співробітників, оптимізації маршрутів пересування та виявлення «вузьких місць» у внутрішній логістиці. Для підприємств із великою кількістю працівників це може мати відчутний вплив на продуктивність і безпеку [2].

Не менш важливою є соціальна складова впровадження систем моніторингу. В умовах зростання вимог до охорони праці, контролю доступу та управління надзвичайними ситуаціями технології IPS дають змогу оперативно реагувати на інциденти, визначати місце перебування людей у критичних умовах (наприклад, при пожежі чи евакуації). Це не лише підвищує рівень безпеки, а й знижує ризики для життя та здоров'я співробітників [3].

Разом із тим, розвиток систем внутрішнього позиціонування стикається з низкою викликів. Основними з них є вимоги до точності позиціонування, надійності визначення координат і захисту персональних даних. У більшості практичних сценаріїв вважається, що для коректної роботи IPS точність має становити не менше 1–3 метрів, що дозволяє визначити місцеперебування користувача у межах кімнати або робочої зони. Такий рівень точності достатній для навігації в офісах, торговельних центрах, лікарнях або промислових об'єктах.

Важливим параметром є надійність системи. Під цим розуміють стабільність роботи навіть за наявності перешкод, зміни конфігурації

середовища чи великої кількості користувачів. Для забезпечення безперервності роботи IPS необхідно враховувати фізичні особливості поширення сигналів у приміщеннях — відбиття, поглинання та багатопроменеве розсіювання. Це вимагає ретельного калібрування системи та використання адаптивних алгоритмів [3].

Ще одним ключовим аспектом є етичні та правові питання моніторингу персоналу. Впровадження технологій, здатних відстежувати місцеперебування співробітників у реальному часі, повинно здійснюватися з урахуванням законодавства про захист персональних даних. Необхідно забезпечити прозорість процесів збору, зберігання та використання інформації, щоб уникнути ризиків зловживання або порушення приватності працівників. З етичної точки зору, системи внутрішнього моніторингу мають бути спрямовані не на контроль як такий, а на підвищення безпеки та ефективності робочого середовища. Важливою умовою прийняття таких технологій персоналом є відкритість політики компанії, пояснення мети впровадження та гарантії конфіденційності даних. У цьому контексті IPS-технології стають частиною більш широкої концепції «розумного підприємства», де автоматизація поєднується з людським фактором [3].

З технічної точки зору, IPS-системи мають відповідати низці вимог, що охоплюють як апаратну, так і програмну складові. До основних належать: підтримка масштабованості, можливість інтеграції з існуючою ІТ-інфраструктурою, низьке енергоспоживання пристроїв, а також сумісність із мобільними платформами (рисунки 1.2). Більшість сучасних систем орієнтовані на використання смартфонів або бейджів із вбудованими модулями Wi-Fi чи Bluetooth, що робить їх доступними для широкого кола користувачів.

Оскільки IPS часто використовується в динамічних середовищах, важливою характеристикою є оновлення даних у реальному часі. Це означає, що система повинна мати низьку затримку передачі даних і швидко реагувати на зміну положення об'єктів. Для цього застосовуються спеціальні алгоритми фільтрації та згладжування сигналів, які дозволяють мінімізувати похибки

вимірювань. Ще одним викликом є забезпечення стійкості системи до зовнішніх впливів — зокрема, електромагнітних перешкод, коливань температури чи змін у розташуванні меблів, які можуть впливати на відбиття сигналу. Ефективна IPS має бути адаптивною, тобто здатною автоматично калібруватися під нові умови середовища без втрати точності.

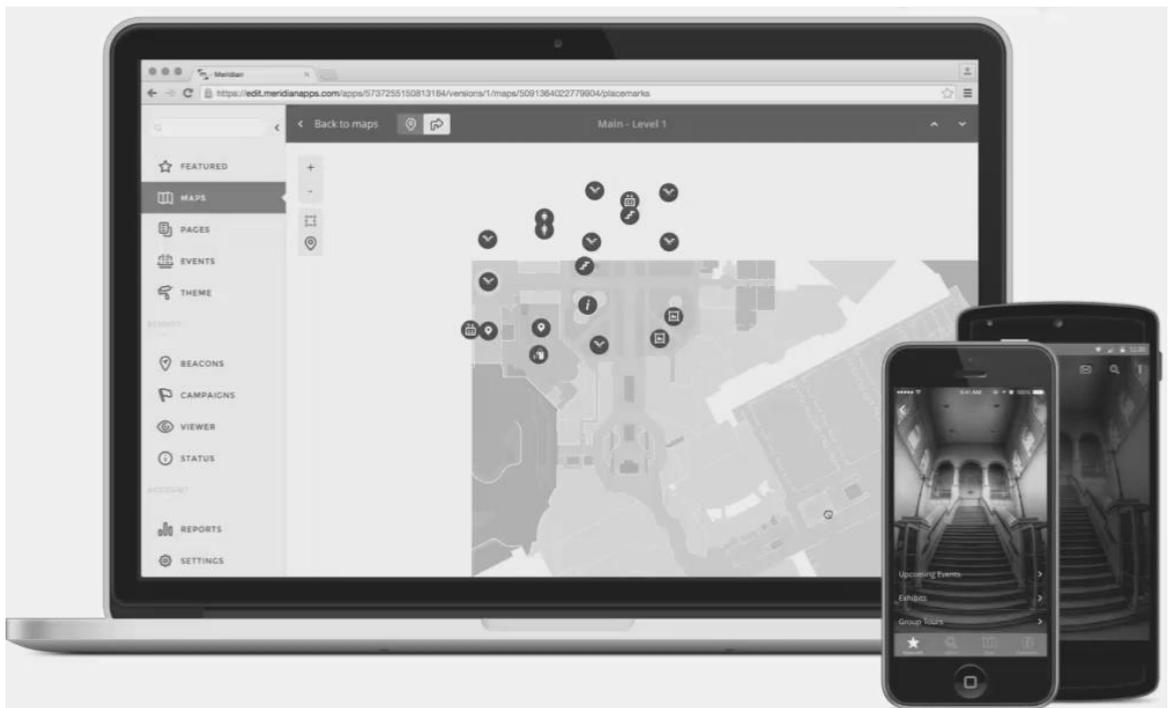


Рисунок 1.2 — Приклад візуалізації даних системи внутрішнього позиціонування

Важливим фактором також виступає вартість впровадження. Для багатьох підприємств пріоритетом є використання вже існуючої мережевої інфраструктури, що зменшує витрати на апаратне забезпечення. Саме тому технології Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE) набули особливої популярності, адже вони не потребують значних змін у будівлі й можуть використовувати наявні точки доступу або маячки. Зі сторони бізнесу, IPS-технології відкривають можливості для побудови нових сервісів.

Наприклад, у торговельних центрах це може бути аналітика поведінки відвідувачів, у музеях — інтерактивні тури, а в офісах — автоматичний облік присутності. Таким чином, системи позиціонування стають не лише

інструментом контролю, а й основою для створення нової цінності в рамках концепції Smart Building [3].

З погляду енергетичної ефективності, IPS мають бути оптимізовані таким чином, щоб не створювати надмірного навантаження на мобільні пристрої користувачів. Зокрема, при використанні BLE-маячків енергоспоживання є мінімальним, що дозволяє системам працювати тривалий час без необхідності заміни батарей. Це робить технологію особливо зручною для масштабних об'єктів.

Успішна реалізація систем внутрішнього моніторингу також залежить від інтероперабельності — здатності інтегруватися з іншими інформаційними системами, такими як ERP, CRM, системи контролю доступу або охоронні комплекси. Це забезпечує створення єдиного інформаційного простору підприємства, де дані з різних джерел об'єднуються для комплексного аналізу.

Особливої уваги заслуговує питання безпеки передавання даних. Оскільки IPS-системи передають інформацію про місцезнаходження в режимі реального часу, вони можуть бути об'єктом атак або несанкціонованого доступу. Тому необхідно впроваджувати механізми шифрування, автентифікації користувачів і контролю доступу до серверів системи [4].

Відповідно до сучасних тенденцій розвитку Інтернету речей (IoT), системи внутрішнього позиціонування стають ключовим елементом розумної інфраструктури. Вони дозволяють не лише відстежувати об'єкти, але й аналізувати їхню поведінку, прогнозувати рух і оптимізувати взаємодію між компонентами системи. Такий підхід відкриває шлях до створення автономних і самонавчальних рішень на основі машинного навчання [4].

Отже, актуальність дослідження технологій внутрішнього позиціонування визначається не лише зростанням потреби в моніторингу персоналу, а й загальною тенденцією до цифровізації робочого простору. Впровадження IPS є важливим кроком у напрямі побудови безпечних, ефективних та адаптивних середовищ, які відповідають вимогам сучасного виробництва та управління.

1.2 Огляд бездротових технологій для локалізації всередині приміщень

Технології внутрішнього позиціонування (Indoor Positioning Systems, IPS) розвиваються на основі вже існуючих бездротових стандартів зв'язку. Ключова ідея полягає в тому, щоб використовувати сигнали, які передаються між пристроями, для визначення відстані або координат об'єкта в межах будівлі. Залежно від типу сигналу, частоти, потужності випромінювання та алгоритмів обробки, системи можуть відрізнятися точністю, стабільністю, вартістю впровадження та сферою застосування.

Одним із головних критеріїв вибору технології для IPS є співвідношення між точністю позиціонування, вартістю інфраструктури та складністю розгортання. В умовах сучасного офісу, складу або лікарні перевага часто надається тим рішенням, які не потребують встановлення додаткового дорогого обладнання, а можуть працювати на базі вже наявної мережі.

Серед бездротових технологій, що найчастіше використовуються для внутрішньої локалізації, виділяють: Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), Ultra-Wideband (UWB) та Radio Frequency Identification (RFID). Кожна з них має свої особливості, переваги та недоліки, які визначають доцільність використання у конкретних сценаріях.

Технологія Wi-Fi є найбільш розповсюдженою бездротовою мережею у будівлях, тому логічним є її використання для цілей позиціонування. Системи на базі Wi-Fi використовують інтенсивність прийнятого сигналу (RSSI) або час проходження сигналу (Time of Flight, ToF) для визначення відстані між точкою доступу та пристроєм користувача. Основною перевагою Wi-Fi є широка інфраструктурна доступність — більшість підприємств уже мають мережу точок доступу, які можна використати для позиціонування. Крім того, Wi-Fi має відносно великий радіус дії (до 50 метрів у приміщенні), що дозволяє охопити великі зони з мінімальною кількістю обладнання. До недоліків Wi-Fi відноситься обмежена точність позиціонування — у середньому 3–5 метрів, що може бути недостатньо для задач високої прецизійності. Також суттєвим фактором є

затримка в оновленні даних і залежність від фізичних перешкод, які спотворюють рівень сигналу [5].

BLE — це енергоефективна версія стандарту Bluetooth, розроблена спеціально для пристроїв, що працюють на батареях і потребують тривалого часу автономної роботи. Для задач позиціонування використовуються BLE-маячки (beacons), які періодично передають ідентифікаційний сигнал. Смартфон або інший приймач вимірює інтенсивність сигналу (RSSI) і, за допомогою алгоритмів, визначає відстань до маячка [6].

Основними перевагами BLE є низька вартість, простота встановлення та достатня точність у межах 1–3 метрів. Завдяки цьому BLE широко застосовується у торговельних центрах, музеях, університетах та офісах. Енергоспоживання маячків мінімальне — один пристрій може працювати кілька років від однієї батарейки.

Недоліком BLE є обмежений радіус дії (до 10–30 метрів) і залежність якості позиціонування від кількості встановлених маячків. Також RSSI-сигнал піддається коливанням через відбиття або поглинання хвиль, що потребує ретельного калібрування [6].

UWB — це сучасна технологія передачі даних із використанням надширокого спектра частот, що дозволяє досягати надзвичайно високої точності позиціонування (до 10–30 сантиметрів) (рисунок 1.3). Визначення координат відбувається на основі вимірювання часу проходження імпульсу (Time of Flight) або різниці часу прибуття сигналів (Time Difference of Arrival, TDoA).

Основною перевагою UWB є висока точність і стійкість до перешкод, оскільки сигнали цієї технології менш схильні до багатопроменевих відбиттів. Головний недолік — висока вартість обладнання і необхідність встановлення спеціалізованих модулів. Через це UWB наразі застосовується переважно у професійних або корпоративних рішеннях, де точність є критичною [7].

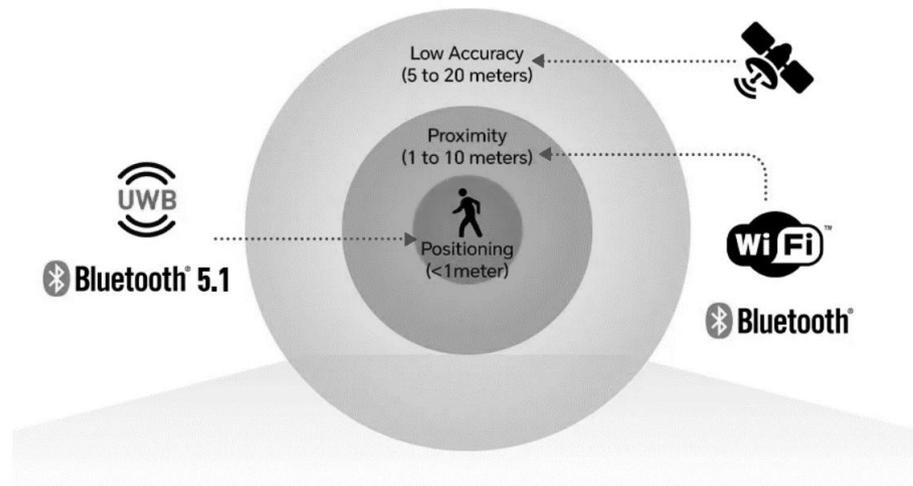


Рисунок 1.3 — Порівняння бездротових технологій позиціонування за критерієм точності визначення місцезнаходження.

Технологія RFID (Radio Frequency Identification) базується на використанні радіоміток (тегів), що передають ідентифікатор у відповідь на сигнал від зчитувача. Для внутрішнього позиціонування зазвичай застосовуються активні RFID-мітки, які мають власне живлення. Перевагою RFID є висока швидкість зчитування, можливість одночасного відстеження великої кількості об'єктів та дешевизна пасивних тегів. Ця технологія добре підходить для контролю доступу, інвентаризації та логістики. Недоліком RFID є низька точність визначення положення (до 1–5 метрів для активних систем, до 10 метрів для пасивних), а також потреба у щільному розташуванні зчитувачів. Тому для завдань відстеження переміщення персоналу у реальному часі RFID поступається Wi-Fi та BLE [8].

Разом з тим, RFID залишається ефективним інструментом у системах, де не потрібна висока просторово-часова роздільність, але важлива швидкість ідентифікації об'єктів. Наприклад, на складах або у виробничих приміщеннях RFID дозволяє швидко визначати присутність працівників чи обладнання в певній зоні. У поєднанні з іншими технологіями, такими як BLE або Wi-Fi, RFID може використовуватись як допоміжний канал для підвищення надійності системи позиціонування. Таким чином, хоча RFID не є оптимальним рішенням

для точного визначення координат, воно відіграє важливу роль у побудові комплексних систем моніторингу та контролю доступу [8].

Розглянемо порівняльну характеристику технологій, яка зображено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Порівняльна характеристика технологій

Технологія	Радіус дії	Вартість впровадження	Енергоспоживання
Wi-Fi	~50 м	Низька (використовує існуючу мережу)	Середнє
BLE	10–30 м	Дуже низька	Дуже низьке
UWB	10–50 м	Висока	Низьке
RFID	1–20 м	Низька–середня	Низьке
Технологія	Радіус дії	Вартість впровадження	Енергоспоживання
Wi-Fi	~50 м	Низька (використовує існуючу мережу)	Середнє
BLE	10–30 м	Дуже низька	Дуже низьке

На основі порівняльного аналізу можна зробити висновок, що Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE) є найбільш доцільними технологіями для реалізації систем внутрішнього позиціонування у будівлях загального призначення. Вони забезпечують прийнятний баланс між точністю, вартістю та простотою розгортання.

Wi-Fi-орієнтовані системи доцільно використовувати там, де вже розгорнута розгалужена мережа точок доступу, наприклад, у великих офісних

центрах, університетах або лікарнях. BLE, своєю чергою, забезпечує кращу точність при мінімальних витратах, тому активно застосовується для створення систем локального моніторингу, зокрема у приміщеннях середнього розміру.

UWB залишається перспективним напрямом, який може забезпечити точність до десятків сантиметрів, проте його висока вартість і складність розгортання поки обмежують широке впровадження. RFID же зберігає свою нішу у сферах контролю доступу та автоматичної ідентифікації об'єктів, але менш придатний для динамічного моніторингу персоналу.

Вибір технології для створення системи моніторингу місцезнаходження співробітників має враховувати архітектурні особливості будівлі, кількість користувачів, вимоги до точності та наявну мережеву інфраструктуру. Для більшості практичних випадків оптимальним є гібридний підхід, коли Wi-Fi використовується для базової навігації, а BLE — для уточнення позиції в межах окремих зон. Таким чином, Wi-Fi і BLE становлять технологічну основу для подальших досліджень та розробки системи моніторингу, орієнтованої на ефективність, точність і масштабованість. Саме ці технології будуть детально розглянуті у наступному підпункті, присвяченому аналізу їхніх технічних характеристик і можливостей для реалізації внутрішнього позиціонування.

1.3 Аналіз технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE)

Сучасні системи внутрішнього позиціонування (Indoor Positioning Systems, IPS) базуються на використанні бездротових технологій передачі даних, які здатні забезпечити визначення місцезнаходження користувача або пристрою всередині будівлі. Серед багатьох можливих підходів, таких як RFID, UWB, ZigBee чи NFC, особливе місце займають технології Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), які вже мають широку підтримку в сучасних мобільних пристроях. Їх використання є економічно доцільним та технічно виправданим для побудови систем моніторингу персоналу в офісних, виробничих та навчальних приміщеннях.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) — це бездротовий стандарт зв'язку, який базується на сімействі специфікацій IEEE 802.11. Його основна функція полягає в організації бездротового доступу до мережі Інтернет, однак уже понад десятиліття Wi-Fi використовується і для задач позиціонування всередині приміщень. Це стало можливим завдяки тому, що сигнал Wi-Fi містить інформацію про потужність прийому (RSSI), час поширення та інші параметри, які можуть бути використані для визначення відстані між точкою доступу і пристроєм користувача [9].

На практиці, найбільш поширеним методом позиціонування за допомогою Wi-Fi є аналіз рівня потужності сигналу (RSSI). Пристрій фіксує інтенсивність сигналів від кількох точок доступу, а потім на основі бази даних або математичної моделі обчислює поточні координати. Однак RSSI є величиною, що сильно залежить від фізичних перешкод, товщини стін, присутності металевих предметів і навіть кількості людей у приміщенні, що ускладнює досягнення високої точності без калібрування [9].

Альтернативним підходом є метод “відбитків сигналу” (fingerprinting). На етапі навчання система збирає карти потужностей сигналів Wi-Fi у різних точках простору. Коли користувач рухається приміщенням, його пристрій порівнює поточні значення RSSI з базою відбитків і визначає найімовірніше місцезнаходження. Цей метод дозволяє досягати точності до 2–3 метрів, однак потребує значних початкових витрат часу для створення бази даних сигналів [10].

Ще один підхід базується на часових характеристиках сигналу, наприклад, на вимірюванні часу приходу пакета (ToA — Time of Arrival) або різниці часу приходу (TDoA — Time Difference of Arrival). Ці методи теоретично можуть забезпечити високу точність (до 1 м), але потребують спеціалізованого обладнання і синхронізації часових джерел, що ускладнює практичне застосування у звичайних Wi-Fi мережах [10].

Серед переваг Wi-Fi у контексті позиціонування можна виділити:

- широке розповсюдження і підтримку всіма сучасними мобільними пристроями;
- можливість використання вже існуючої інфраструктури без значних капіталовкладень;
- достатню для більшості завдань точність позиціонування;
- легку інтеграцію з іншими інформаційними системами організації.

До недоліків належать:

- коливання рівня сигналу через багатопроменевість і перешкоди;
- необхідність частого оновлення карти сигналів;
- високе енергоспоживання пристроїв під час постійного сканування точок доступу [10].

Попри певні обмеження, Wi-Fi залишається популярною основою для систем внутрішнього позиціонування, особливо в офісних або навчальних закладах, де вже розгорнута мережа бездротового доступу.

Bluetooth Low Energy (BLE) — це енергозберігаючий стандарт бездротового зв'язку, який з'явився у специфікації Bluetooth 4.0. Основна перевага BLE полягає у низькому енергоспоживанні при достатньо високій швидкості обміну короткими повідомленнями. Це робить його ідеальним для розробки систем моніторингу, де важлива автономність сенсорів і маячків (beacons) [11].

Маячки BLE — це невеликі пристрої, які періодично транслюють у ефір ідентифікатор та параметри сигналу. Смартфон або приймач фіксує потужність сигналу (RSSI) і на основі цих даних обчислює відстань до маячка. Використовуючи дані від кількох маячків, система може визначити координати користувача методом трілатерації або fingerprinting [11].

Точність BLE систем зазвичай становить від 0,5 до 2 метрів, що є кращим показником, ніж у Wi-Fi. Крім того, BLE-маячки можуть працювати автономно від батарей до 2–3 років, що значно зменшує витрати на обслуговування системи.

Існують різні протоколи та формати маячків: iBeacon (Apple), Eddystone (Google) та AltBeacon (Radius Networks). Вони відрізняються форматом

переданих пакетів, проте сумісні між собою і підтримуються більшістю сучасних пристроїв. Це робить BLE універсальним рішенням для створення гнучких і масштабованих систем позиціонування [11].

Переваги BLE:

- низьке енергоспоживання пристроїв;
- висока точність позиціонування в обмежених просторах;
- легке встановлення та масштабування інфраструктури;
- стабільність сигналу у порівнянні з Wi-Fi [11].

Недоліки BLE:

- потреба у розгортанні додаткової мережі маячків;
- залежність точності від кількості встановлених пристроїв;
- можливе перевантаження ефіру при великій кількості маячків [11].

Обидві технології мають свої сильні сторони та сфери ефективного застосування. Wi-Fi виграє у випадках, коли потрібно створити систему позиціонування на базі вже наявної інфраструктури. BLE, у свою чергу, забезпечує більшу точність, стабільність і менше споживання енергії.

В умовах будівлі радіосигнал зазнає багатопроменевого поширення, відбиття, заломлення та поглинання. Для Wi-Fi ці ефекти особливо суттєві через використання частот 2,4 ГГц і 5 ГГц, які чутливі до стін і металевих конструкцій. BLE також працює у діапазоні 2,4 ГГц, проте потужність його сигналу менша, що зменшує зону перешкод, але водночас вимагає більшої кількості маячків для покриття великої площі.

Зазвичай у системах на основі BLE і Wi-Fi використовується фільтрація та усереднення показників RSSI для мінімізації впливу шуму. Крім того, застосовуються алгоритми Kalman Filter або Particle Filter для згладжування руху користувача, що покращує стабільність позиціонування [11].

Проведений аналіз показує, що як Wi-Fi, так і Bluetooth Low Energy мають потенціал для створення систем моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлях. Wi-Fi забезпечує базову точність при мінімальних інвестиціях, що робить його доцільним для масштабних організацій із уже розгорнутою

мережею. BLE, своєю чергою, дозволяє досягти більшої точності при низькому енергоспоживанні, що важливо для мобільних і автономних пристроїв.

Оптимальним рішенням у багатьох випадках є гібридна система Wi-Fi + BLE, яка поєднує переваги обох технологій: стабільність Wi-Fi і точність BLE. Такий підхід підвищує надійність моніторингу, забезпечує безперервність відстеження руху співробітників і зменшує вплив зовнішніх факторів. У додатку Г зображено діаграму, що описує як базується визначення позиції в приміщенні за допомогою Bluetooth-маячків та RSSI.

1.4 Класифікація та характеристика алгоритмів внутрішнього позиціонування

Системи внутрішнього позиціонування (Indoor Positioning Systems, IPS) базуються на сукупності методів і алгоритмів, які дозволяють обчислювати місцезнаходження об'єкта всередині будівлі з певною точністю. Основна відмінність таких систем від традиційних технологій глобального позиціонування (GPS, GLONASS тощо) полягає в тому, що супутникові сигнали не проникають крізь стіни та перекриття, тому визначення координат відбувається на основі локальних бездротових мереж.

Для коректного розрахунку координат система використовує інформацію, отриману від бездротових сенсорів — точок доступу Wi-Fi або маячків Bluetooth Low Energy. Ключовими параметрами, які аналізуються при цьому, є рівень потужності сигналу (RSSI), час приходу пакета (ToA), кут приходу сигналу (AoA) та інші характеристики. На їх основі реалізуються різні математичні підходи — триангуляція, трілатерація, мультилатерація або методи “відбитків сигналу” (fingerprinting). Розглянемо кожен із методів детальніше.

Триангуляція є одним із найстаріших і водночас фундаментальних методів визначення місцезнаходження об'єктів у просторі. В її основі лежить використання геометричних властивостей трикутників, що дозволяє обчислювати координати невідомої точки на основі вимірювань кутів між відомими орієнтирами. Історично цей метод широко застосовувався у геодезії,

морській та повітряній навігації, а з розвитком бездротових технологій — у системах радіопозиціонування [12].

У контексті внутрішнього позиціонування триангуляція базується на визначенні кутів прибуття сигналів (Angle of Arrival, AoA). Ідея полягає в тому, що передавач (наприклад, Wi-Fi або Bluetooth маяк) випромінює радіосигнал, а приймач, оснащений масивом антен, визначає напрямки, з яких ці сигнали надходять. Після цього, використовуючи перетин напрямків від кількох відомих точок, система може обчислити місцезнаходження пристрою в просторі [12].

Для вимірювання кутів прибуття сигналів використовуються спеціальні фазові антени, здатні оцінювати різницю фаз між сигналами, що надходять до різних елементів антенного масиву. На основі цих даних алгоритм визначає точний напрямок джерела випромінювання. Чим більша кількість антен і чутливіше обладнання, тим вища точність визначення кута.

Серед основних переваг триангуляції варто відзначити:

- високу точність позиціонування (до десятків сантиметрів за ідеальних умов);
- стійкість до шумів, якщо використовуються сучасні методи обробки сигналів;
- можливість безперервного відстеження руху об'єкта у реальному часі [12].

Однак цей метод має й суттєві недоліки, що обмежують його практичне застосування у масштабних або бюджетних системах. По-перше, необхідне дороге апаратне забезпечення — антени, здатні точно визначати напрямок сигналу, що підвищує вартість системи. По-друге, триангуляція чутлива до відбиттів сигналів від стін, меблів чи інших об'єктів у приміщенні, що може викликати значні похибки у результатах. По-третє, для отримання коректних даних потрібно забезпечити пряму видимість між передавачем і приймачем, що не завжди можливо у складних внутрішніх умовах [12].

У сучасних системах триангуляція рідко використовується окремо. Її часто поєднують із іншими методами — наприклад, трілатерацією (визначенням

координат за відстанями до кількох точок) або методом відбитків сигналів (Fingerprinting), що дозволяє компенсувати вплив перешкод. Таким чином, триангуляція залишається важливим елементом у загальній архітектурі систем внутрішнього позиціонування, забезпечуючи геометричну основу для визначення напрямку, яку можна ефективно комбінувати з іншими алгоритмічними підходами для підвищення точності позиціонування у реальних умовах.

Трілатерація — це метод, який ґрунтується не на кутах, а на відстанях між об'єктом і кількома відомими точками (передавачами). Відстань розраховується за показниками сигналу: RSSI (Received Signal Strength Indicator) або ToA (Time of Arrival). Знаючи радіуси навколо трьох точок доступу, система знаходить перетин кіл, що відповідає місцезнаходженню користувача [13].

Алгоритм трілатерації є базовим у більшості Wi-Fi і BLE систем, оскільки не потребує спеціального обладнання — достатньо отримати значення потужності сигналу. Його точність залежить від правильності калібрування, стабільності сигналів та фізичних характеристик середовища. В умовах багатопроменевого поширення сигналу у будівлях похибка може становити 2–5 метрів, що є прийнятним для задач моніторингу співробітників [13].

Метод мультилатерації (TDoA — Time Difference of Arrival) є розвитком і вдосконаленням класичної трілатерації, який ґрунтується не на абсолютному часі прибуття сигналу, а на різниці часу його надходження до кількох приймачів. Такий підхід дозволяє уникнути необхідності точного знання моменту, коли сигнал був переданий, що значно спрощує реалізацію в умовах складних систем зв'язку [14].

Суть методу полягає у вимірюванні затримок сигналу між кількома приймальними антенами або базовими станціями, розташованими у відомих точках. Кожна різниця часу прибуття сигналу формує гіперболічну поверхню (у двовимірному випадку — гіперболу), на якій може перебувати об'єкт. Перетин кількох таких поверхонь дозволяє обчислити координати джерела сигналу. У

тривимірному просторі для точного визначення положення потрібно щонайменше чотири синхронізовані приймачі, розташовані у різних точках.

Однією з ключових переваг методу TDoA є висока точність позиціонування — за ідеальних умов вона може становити до 30–100 см, що значно перевищує можливості класичних методів, заснованих на інтенсивності сигналу (RSSI). Крім того, мультилатерація менш чутлива до варіацій потужності передавача, перешкод чи ослаблення сигналу, оскільки основним параметром для вимірювання є час, а не сила сигналу [14].

Однак реалізація цього методу вимагає надзвичайно точної синхронізації часових джерел між усіма приймачами. Навіть мікросекундна похибка може призвести до значного відхилення у визначенні координат, оскільки радіохвиля за цей час проходить кілька сотень метрів. Саме тому TDoA найчастіше застосовується в системах, де є можливість забезпечити високу точність синхронізації — наприклад, у технологіях UWB, які використовують надширокосмугові імпульси тривалістю кілька наносекунд [14].

У випадку з Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE) реалізація методу мультилатерації є значно складнішою. Стандартне обладнання не підтримує такої високої часової точності, тому похибки можуть сягати 5–10 метрів, що робить TDoA менш ефективним для задач внутрішнього моніторингу персоналу. Тим не менш, останні покоління Bluetooth (версії 5.1 і вище) та Wi-Fi (Wi-Fi 6/7) частково долають ці обмеження завдяки підтримці Angle of Arrival (AoA) і покращеним механізмам time-stamping, що відкриває перспективи для інтеграції елементів мультилатерації в гібридні системи позиціонування.

Одним із найбільш перспективних і поширених підходів до визначення позиції в умовах будівлі є метод відбитків сигналу (fingerprinting). Його суть полягає у попередньому зборі даних про рівень сигналів (RSSI) у різних точках простору. У результаті формується база даних або “карта відбитків”, яка містить унікальний набір характеристик для кожної координати.

Коли користувач перебуває в певному місці, його пристрій фіксує поточні RSSI від доступних передавачів, після чого система порівнює ці дані з базою і

знаходить найближчий збіг за допомогою алгоритмів класифікації (наприклад, k-Nearest Neighbors (kNN), Support Vector Machine (SVM) або нейронних мереж).

Перевагою fingerprinting є здатність враховувати особливості середовища — відбиття, перешкоди, поглинання сигналу. Це дозволяє досягати точності до 1–2 метрів навіть у складних умовах. Недоліком є необхідність попереднього етапу “навчання” системи та періодичного оновлення карти сигналів при зміні конфігурації приміщення.

Метод Time of Arrival (ToA) або Time of Flight (ToF) базується на вимірюванні часу, за який радіосигнал долає відстань між передавачем і приймачем. Оскільки швидкість поширення сигналу у повітрі відома, можна безпосередньо розрахувати відстань [15].

Перевагою цього методу є висока точність (до десятків сантиметрів), однак на практиці вимірювання часу потребує спеціалізованого обладнання з високою роздільною здатністю, що обмежує його застосування у звичайних Wi-Fi або BLE мережах. Метод ToA широко використовується у промислових рішеннях на базі UWB [15].

Метод Angle of Arrival (AoA) передбачає вимірювання кута, під яким сигнал досягає приймача. Для цього використовуються антени з фазовими решітками, які аналізують фазову різницю між сигналами. Поєднуючи інформацію з кількох передавачів, система може визначити місцезнаходження користувача з високою точністю [16].

Однак реалізація AoA у Wi-Fi або BLE системах ускладнена, оскільки більшість комерційних пристроїв не підтримують фазові вимірювання. Тим не менш, останні версії Bluetooth 5.1 і 5.3 уже включають функціонал для обчислення напрямку сигналу, що робить цей метод перспективним для майбутніх розробок систем позиціонування [16].

У сучасних IPS-системах все більшого поширення набувають алгоритми штучного інтелекту. Вони застосовуються для класифікації відбитків сигналів, побудови моделей середовища та прогнозування переміщень користувачів.

Алгоритми kNN, Decision Tree, Random Forest, а також глибокі нейронні мережі (Deep Learning) дають змогу досягати точності менше одного метра [16].

Машинне навчання особливо ефективно у великих приміщеннях зі складною архітектурою, де традиційні геометричні методи втрачають ефективність. Поєднання BLE-маячків, Wi-Fi точок доступу та інтелектуальних алгоритмів формує основу для створення.

У результаті аналізу можна зробити висновок, що для задач моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі найбільш доцільним є використання методів RSSI та fingerprinting на базі Wi-Fi або BLE. Вони не потребують спеціального обладнання, мають достатню точність і добре інтегруються з мобільними пристроями.

Додаткове застосування алгоритмів фільтрації та машинного навчання дозволяє значно підвищити стабільність і адаптивність системи. Надалі, з розвитком стандартів Bluetooth 5.x та покращенням підтримки фазових вимірювань, можлива інтеграція методів AoA для досягнення точності на рівні десятків сантиметрів. У додатку В зображено систему внутрішнього позиціонування, де показано точки доступу, маячки Bluetooth та обробку даних для визначення координат людини/об'єкта.

Таким чином, сучасні системи внутрішнього позиціонування еволюціонують у напрямку поєднання класичних геометричних методів і інтелектуальних алгоритмів аналізу даних, що відкриває широкі перспективи для побудови ефективних рішень моніторингу персоналу на базі Wi-Fi та Bluetooth технологій.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ

2.1 Обґрунтування ефективності поєднання технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємств усе більшої актуальності набувають системи моніторингу місцезнаходження співробітників усередині будівель. Такі системи дозволяють підвищити рівень безпеки, оптимізувати робочі процеси, контролювати доступ до приміщень та забезпечити ефективне управління ресурсами. Одним із ключових викликів під час побудови подібних рішень є вибір технологічної основи — способу визначення координат користувачів або пристроїв. Серед великої кількості варіантів (UWB, RFID, ZigBee, Wi-Fi, BLE тощо) особливої уваги заслуговує комбінація технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), що забезпечує оптимальний баланс між точністю, вартістю впровадження та простотою інтеграції.

Wi-Fi або Wireless Fidelity — це технологія, яка забезпечує бездротову передачу даних на невеликій відстані і працює в різних діапазонах частот, включаючи 2,4 ГГц і 5 ГГц, та використовує різні бездротові стандарти, такі як 802.11a/b/g/n/ac/ax. Технологія Wi-Fi широко використовується в будинках, офісах і громадських місцях. Однією з головних переваг Wi-Fi є висока швидкість передачі даних, яка може досягати кількох гігабітів на секунду. Однак щодо швидкості та стабільності мережі Wi-Fi можуть впливати різноманітні фактори: відстань, перешкоди від інших бездротових пристроїв, згасання сигналу. Використання вже існуючої інфраструктури точок доступу дає можливість мінімізувати витрати на впровадження системи позиціонування. Проте Wi-Fi має певні обмеження: його точність зазвичай коливається в межах 3–5 метрів, а частота оновлення даних не завжди задовольняє потреби систем, які потребують майже реального часу. Крім того, Wi-Fi мережі часто створені з урахуванням покриття, а не геометричної оптимізації для позиціонування, тому сигнал може бути нерівномірним через багатопроменевість і затухання [17].

Bluetooth — це бездротова технологія, яка використовується для зв'язку між пристроями на короткій відстані і працює в діапазоні частот 2,4 ГГц та використовує стандарти бездротового зв'язку з низьким енергоспоживанням, такі як Bluetooth Low Energy (BLE). Технологія Bluetooth широко використовується в бездротових навушниках, колонках та інших портативних пристроях. Швидкість передачі даних Bluetooth відносно низька порівняно з Wi-Fi і становить від 1 до 3 Мбіт/с. Однак Bluetooth має високу надійність і низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для невеликих програм [18].

Bluetooth Low Energy, у свою чергу, відзначається низьким енергоспоживанням, дешевизною модулів і простотою розгортання. BLE-маячки (beacons) можна розміщувати в тих місцях, де необхідно забезпечити високу щільність сигналів для покращення локалізації. Технологія BLE здатна забезпечити точність до 1–2 метрів у межах будівлі, що робить її ідеальним доповненням до Wi-Fi у гібридних системах позиціонування. Застосування BLE дозволяє компенсувати неточності, які виникають при вимірюванні рівня сигналу Wi-Fi через металеві конструкції, стіни та інші перешкоди [18].

Комбінація Wi-Fi та BLE дає можливість об'єднати переваги обох технологій. Wi-Fi забезпечує глобальне покриття приміщення з мінімальними витратами, а BLE — локальну точність у критичних зонах. Наприклад, Wi-Fi може використовуватися для визначення зони перебування працівника (поверх, відділ, кімната), тоді як BLE дозволяє точно уточнити положення всередині зони (біля якого робочого місця чи обладнання). Такий підхід істотно підвищує точність моніторингу без необхідності встановлення великої кількості додаткового обладнання [18].

З технічного погляду, об'єднання двох технологій реалізується через гібридну архітектуру збору даних, у якій модуль позиціонування приймає сигнали як від Wi-Fi точок доступу, так і від BLE-маячків. Отримані RSSI-значення (Received Signal Strength Indicator) нормалізуються та обробляються спільним алгоритмом. Надалі дані використовуються у методах трілатерації або fingerprinting, що дозволяє сформувати єдину модель покриття. У такий спосіб

система отримує можливість динамічно визначати найбільш надійне джерело сигналу для кожної конкретної точки простору.

Важливою перевагою комбінованого підходу є підвищення стабільності результатів. Якщо один канал зв'язку (наприклад, Wi-Fi) зазнає флуктуацій рівня сигналу, BLE може компенсувати цей недолік. У результаті похибка визначення координат стає меншою, а система загалом — стійкішою до змін у радіочастотному середовищі. Дослідження показують, що точність гібридних систем Wi-Fi/BLE може досягати 1,5–2 метрів, що є прийнятним для більшості бізнес-задач, пов'язаних із внутрішнім моніторингом.

З точки зору інфраструктури, об'єднання технологій не потребує значних витрат: у більшості сучасних офісів уже є Wi-Fi-мережа, а BLE-маячки коштують недорого і легко інтегруються. Крім того, сучасні смартфони, планшети й носимі пристрої (наприклад, смарт-браслети або бейджі) підтримують обидва типи бездротового зв'язку, що спрощує реалізацію системи без додаткових датчиків [18].

Слід також відзначити, що використання комбінованого підходу полегшує адаптацію системи під різні сценарії. Наприклад, у великих відкритих просторах (коридори, хол, цехи) основне навантаження може нести Wi-Fi, тоді як у складних просторових умовах (кабінети, лабораторії, архіви) активується BLE. Це дозволяє масштабувати систему без втрати точності або стабільності, адаптуючи її під структуру конкретної будівлі [18].

Ще одним важливим аспектом є енергоефективність. BLE-маячки працюють роками від однієї батарейки, що робить їх ідеальними для зон, де немає можливості підключити обладнання до електромережі. Wi-Fi ж, будучи постійно живленим, слугує базовим шаром передачі даних і забезпечує безперервність комунікації з сервером або хмарною платформою. Таким чином, енергетичне навантаження рівномірно розподіляється між підсистемами [18].

Не менш важливим є аспект етичності та конфіденційності даних. Використання гібридної системи дозволяє проводити анонімізований моніторинг — система може відстежувати місцезнаходження пристроїв, не

зберігаючи персональних даних користувачів. Це відповідає сучасним вимогам GDPR та інших нормативних актів щодо захисту інформації, що особливо важливо для корпоративних середовищ [19].

У контексті точності, BLE краще працює у невеликих зонах із високою щільністю сигналів, тоді як Wi-Fi ефективний для базового зонування простору. Поєднання обох каналів дозволяє зменшити похибку, що виникає через багатопроменевість, затухання та інтерференцію сигналів. Зокрема, у приміщеннях із металевими конструкціями або бетонними стінами BLE-маячки, розташовані ближче до користувачів, забезпечують стабільніші показники RSSI, ніж Wi-Fi [19].

Інтеграція двох технологій також відкриває можливості для використання машинного навчання. Алгоритми на основі нейронних мереж або методів класифікації можуть одночасно аналізувати дані з Wi-Fi та BLE, створюючи більш точну модель позиціонування. Такі підходи дозволяють системі самонавчатися та підлаштовуватися під особливості середовища, компенсуючи зміни у структурі простору або появу нових перешкод [19].

Таким чином, вплив різних технологій передачі даних на швидкість і стабільність мережі є значним і на нього впливатимуть різні фактори, такі як відстань, перешкоди, загасання сигналу, топологія мережі та перевантаження мережі. Кожна техніка має свої переваги та недоліки, залежно від конкретних вимог програми. Wi-Fi ідеально підходить для високошвидкісних додатків у локальних мережах, Bluetooth для малопотужного зв'язку на короткі відстані, а LTE для високошвидкісної передачі даних на великі відстані. Розуміння переваг і недоліків кожної технології може допомогти вибрати оптимальну технологію для конкретного застосування, забезпечуючи високу швидкість і стабільну передачу даних [19].

2.2 Розробка архітектури системи моніторингу

Проектування системи моніторингу місцезнаходження співробітників у межах будівлі вимагає чіткого визначення архітектури, яка забезпечить

узгоджену роботу всіх компонентів: збору даних, їхньої обробки, збереження та подальшої візуалізації. Від обраної архітектури залежать продуктивність, масштабованість і точність системи, а також можливість подальшої інтеграції з корпоративними сервісами безпеки або управління доступом.

Система позиціонування має бути багаторівневою, модульною та розподіленою — із чітким розмежуванням функцій між клієнтською, серверною та аналітичною частинами. Основна мета архітектури полягає в забезпеченні безперервного збору радіосигналів, їх математичної обробки, перетворення в координати користувача та подальшого відображення на інтерактивній карті приміщення.

Запропонована архітектура базується на модульному принципі та передбачає три основні рівні: рівень збору даних (Data Acquisition Layer), рівень обробки та аналітики (Processing Layer) і рівень візуалізації та управління (Visualization Layer).

2.2.1 Структурна схема системи рівнів збору даних, обробки та візуалізації

Архітектура системи моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі є багаторівневою, ієрархічною структурою, що складається з трьох основних логічних рівнів: рівня збору даних, рівня обробки та зберігання, а також рівня візуалізації та керування. Кожен з них виконує власну функцію в загальному процесі позиціонування користувачів і забезпечує послідовний рух інформації від фізичного середовища до користувача інтерфейсу.

Функціонування системи локального позиціонування (LPS), що спирається на використання сигналів Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), розгортається як послідовний, багатоетапний процес. Система розпочинається з фази збору даних, де клієнтські пристрої або спеціалізовані трекери активно знімають радіосигнали з навколишніх Wi-Fi точок доступу та BLE-маяків. На цьому етапі фіксуються первинні показники, зокрема RSSI (Received Signal Strength Indication). Далі зібрані сирі дані підлягають попередній обробці, оскільки вони часто містять шум та коливання. Ця критична фаза включає фільтрацію для усунення

нерелевантних показників, нормалізацію та усереднення значень RSSI, що є необхідним для підвищення точності подальших обчислень [20].

Після очищення підготовлені дані негайно передаються на сервер або хмарну платформу через відповідні мережеві протоколи. Це забезпечує централізацію інформації, необхідної для виконання складних операцій. Саме на серверній стороні відбувається обчислення координат об'єкта. Використовуючи отримані показники RSSI як вхідні параметри, система застосовує геометричні (наприклад, трілатерація) або статистичні (зокрема, метод «відбитків пальців») алгоритми для точного визначення місцезнаходження (координат X, Y) об'єкта всередині приміщення. Визначені координати, разом із відповідними часовими позначками, зберігаються у базі даних. Таким чином створюється історичний архів переміщень, який є основою для подальшого аналізу та аудиту.

Фінальний етап — візуалізація результатів. Зібрані та оброблені дані відображаються на цифровій карті будівлі через інтерфейс користувача. Система надає можливості моніторингу в реальному часі, фільтрації даних та відтворення історії переміщень об'єкта, перетворюючи технічні координати на зрозумілу та корисну інформацію для управління та аналітики.

На нижньому рівні архітектури відбувається безпосередня взаємодія із фізичним середовищем. Тут формуються первинні дані, які згодом використовуються для позиціонування. Основним джерелом інформації є радіосигнали Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE).

На цьому рівні діють такі компоненти:

- Wi-Fi точки доступу (Access Points), що передають сигнали з унікальними ідентифікаторами (BSSID, SSID) та можуть бути використані як еталонні базові станції.
- BLE-маячки (beacons), які періодично транслюють службові пакети з унікальним UUID і рівнем потужності передавання;
- клієнтські пристрої або трекери, що сканують ефір і зчитують силу сигналу (RSSI) від кожного з джерел.

Клієнтський модуль здійснює регулярне сканування радіоефіру (з інтервалом 1–2 секунди) і формує набір даних, до якого входять:

- MAC-адреса джерела сигналу (BSSID/UUID),
- рівень RSSI у децибелах (dBm),
- час виявлення сигналу (timestamp),
- координати або стан пристрою, якщо він має додаткові сенсори.

У цьому шарі важливо забезпечити синхронність збору даних. Для цього застосовується часова синхронізація клієнтських пристроїв через NTP або локальний сервер часу. Це дозволяє точно співвідносити сигнали, отримані з різних зон покриття.

Щоб уникнути перевантаження мережі, дані передаються у вигляді пакетів — або безпосередньо на сервер через REST API, або через полегшений протокол обміну повідомленнями MQTT, який добре підходить для IoT-пристроїв. Використання MQTT дозволяє зменшити обсяг переданого трафіку та забезпечити стабільність зв'язку навіть у разі тимчасових перебоїв мережі.

У деяких випадках система може передбачати попередню обробку на клієнті (edge computing), коли частина розрахунків (усереднення RSSI, виявлення стабільних сигналів, усунення шумів) здійснюється безпосередньо на пристрої. Це знижує навантаження на центральний сервер і скорочує затримку оновлення позицій.

Середній рівень архітектури відповідає за математичну обробку отриманих сигналів, визначення координат користувачів і управління даними. Він є ядром системи, оскільки саме тут реалізується логіка позиціонування.

Після успішного надходження пакетів із показниками сили сигналу RSSI на сервер розпочинається критично важливий етап їхньої обробки, який складається з низки послідовних кроків, спрямованих на очищення та підготовку даних для обчислення координат.

Першим кроком є перевірка цілісності пакету. На цьому етапі система контролює коректність форматів, часових позначок та відсутність критичних

помилки, як-от пропуски або дублювання даних. Це гарантує, що для подальшого аналізу використовуються лише надійні та повні набори даних.

Далі виконується фільтрація аномалій. Суть цього процесу полягає у відкиданні будь-яких значень RSSI, які виходять за межі встановленого допустимого діапазону (наприклад, від -30 до -100 dBm). Це допомагає усунути викривлення, спричинені перешкодами або помилками вимірювання.

Наступним етапом є калібрування сигналів. Це необхідно для врахування індивідуальних фізичних та технічних характеристик кожної окремої точки доступу або маяка, потужності їхніх передавачів, а також унікальних особливостей приміщення. Таке коригування робить виміри більш точними та релевантними до реальної відстані.

Завершується попередня обробка нормалізацією RSSI. Мета цього кроку — приведення показників, отриманих від різних технологій (Wi-Fi та BLE), до спільної шкали. Це забезпечує можливість коректно порівнювати цілком різні типи сигналів та використовувати їх разом у єдиному алгоритмі визначення місцезнаходження.

Після цього дані потрапляють у модуль позиціонування, який виконує обчислення координат за допомогою обраного алгоритму. У системах на основі Wi-Fi/BLE найчастіше застосовують методи:

- трілатерації, якщо відома геометрія точок доступу;
- fingerprinting, якщо створено карту відбитків сигналів.

Для підвищення точності часто використовується комбінація методів, зокрема застосування фільтра Калмана або Particle Filter, які згладжують траєкторію руху й усувають стрибки координат.

Результати обчислень — тобто координати користувача в системі (x, y, поверх, час) — записуються до бази даних. Найчастіше використовуються PostgreSQL, MongoDB або InfluxDB, залежно від обсягу та динаміки даних. Для прискорення запитів застосовується індексація за користувачем і часовими мітками.

Цей рівень також включає сервіс аналітики, який збирає статистику — кількість користувачів у певних зонах, середній час перебування, динаміку переміщень. Згодом такі дані можуть бути використані для управлінських рішень, планування зон доступу або контролю безпеки.

Розглянемо рівень візуалізації та керування. Верхній рівень архітектури забезпечує відображення результатів позиціонування у зручній, наочній формі. Його головна мета — надати користувачеві (адміністратору, оператору служби безпеки або менеджеру) можливість спостерігати за розташуванням співробітників у реальному часі та отримувати аналітичну інформацію. На цьому рівні реалізується веб- або десктопний інтерфейс, який підключається до серверного API та візуалізує координати на електронній карті будівлі. Зазвичай використовується інтерактивна графіка (наприклад, Leaflet.js, Mapbox або Three.js), яка дозволяє відображати 2D/3D-плани поверхів, рух маркерів, теплові карти присутності та історію переміщень. Інтерфейс передбачає кілька режимів. Реальний час — показує поточне положення співробітників або пристроїв. Історичний перегляд — дозволяє відтворити траєкторію руху за певний період. Аналітика зон — визначення найбільш відвідуваних або потенційно небезпечних ділянок [20].

Крім відображення даних, цей рівень виконує і функції управління:

- реєстрацію нових користувачів, маячків, трекерів;
- визначення дозволених зон;
- налаштування прав доступу;
- сповіщення про вихід із дозволеної області (наприклад, у системах контролю доступу).

Для забезпечення швидкої реакції на зміни координат використовується технологія WebSocket, що дозволяє передавати дані без перезавантаження сторінки. Таким чином, рух користувачів відображається плавно, із затримкою не більше 1 секунди.

Крім того, рівень візуалізації може бути інтегрований з мобільним додатком — наприклад, для сповіщень або пошуку співробітників у межах

будівлі. Це особливо корисно в офісах, логістичних центрах чи лікарнях, де потрібно швидко знайти працівника або перевірити заповненість зони.

Отже, структурна схема системи моніторингу передбачає чітку послідовність перетворення даних — від фізичного сигналу до наочного відображення позиції на карті. Такий підхід дозволяє розділити функціональні навантаження між рівнями, спростити обслуговування системи та забезпечити її масштабованість.

Багаторівнева архітектура створює передумови для подальшого розвитку системи — інтеграції нових типів сенсорів (UWB, RFID), підключення аналітичних модулів на основі машинного навчання, або впровадження інтелектуального управління з урахуванням контексту користувача (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 — Структурна схема системи моніторингу місцезнаходження співробітників

Таким чином, розроблена структурна схема забезпечує узгоджену роботу всіх компонентів системи моніторингу, що дозволяє ефективно вирішувати

завдання локалізації, контролю присутності та безпеки персоналу в межах будівлі.

2.2.2 Проектування клієнтського модуля (трекера): збір RSSI та передача даних

Клієнтський модуль, або трекер, є ключовим елементом системи моніторингу місцезнаходження співробітників, оскільки саме він безпосередньо взаємодіє з інфраструктурою Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), здійснюючи збір сигналів та їх первинну обробку. Основне призначення трекера полягає у вимірюванні рівнів потужності отриманих сигналів (RSSI — Received Signal Strength Indicator) від доступних точок доступу Wi-Fi або BLE-маячків, подальшому їх аналізі та передачі даних на серверну частину системи для подальшої обробки й визначення координат користувача [20].

У процесі проектування клієнтського модуля важливим завданням є забезпечення стабільного та енергоефективного функціонування пристрою. Для цього застосовується оптимізований алгоритм сканування навколишнього радіоефіру з урахуванням інтервалів опитування та потужності передавача. Надмірно часте опитування може призвести до швидкого розрядження акумулятора, тоді як надто рідкісне — до втрати точності позиціонування. Оптимальний режим передбачає періодичне оновлення даних із частотою 1–2 секунди, що дозволяє досягти компромісу між енергоспоживанням та оперативністю реагування системи.

Збір RSSI відбувається шляхом активації радіомодулів Wi-Fi та BLE, які фіксують потужність сигналів у децибелах (дБм). Кожен запис містить унікальний ідентифікатор передавача (SSID або MAC-адресу для Wi-Fi, UUID для BLE), значення RSSI та часову мітку вимірювання. Ці дані попередньо фільтруються для усунення шуму — наприклад, за допомогою ковзного середнього або медіанного фільтра. Такі методи дозволяють стабілізувати коливання сигналів, спричинені багатопроменевим поширенням або перешкодами в приміщенні [20].

Після збору та попередньої обробки дані передаються на серверну частину системи. Передача здійснюється через бездротове з'єднання Wi-Fi, використовуючи протокол HTTP або MQTT. Кожен пакет даних містить ідентифікатор користувача, набір RSSI-вимірів і часову позначку, що забезпечує коректну синхронізацію записів на стороні сервера. Для підвищення надійності зв'язку та захисту інформації передбачено шифрування переданих даних (наприклад, через HTTPS або TLS-з'єднання), що відповідає сучасним вимогам інформаційної безпеки [20].

Програмна реалізація клієнтського модуля може бути виконана у вигляді мобільного застосунку для операційних систем Android або iOS, або ж як окремий мікроконтролерний пристрій із BLE/Wi-Fi-модулем (наприклад, на базі ESP32). У випадку реалізації на смартфоні застосунок працює у фоновому режимі, використовуючи системні API для доступу до даних про навколишні бездротові мережі. Це дозволяє збирати інформацію без активної взаємодії користувача, що робить систему непомітною та зручною для експлуатації у корпоративному середовищі.

Особлива увага приділяється механізму буферизації даних у випадку тимчасової втрати зв'язку із сервером. У такій ситуації клієнтський модуль зберігає RSSI-виміри локально, а після відновлення мережевого доступу автоматично передає накопичені дані. Це гарантує цілісність історії переміщень навіть за умов нестабільного сигналу або короткочасних перебоїв у роботі мережі.

Таким чином, клієнтський модуль виконує функції збору, фільтрації, буферизації та передачі даних про інтенсивність сигналів. Від його якості залежить точність подальшого позиціонування, стабільність роботи всієї системи та зручність користувачів. Завдяки використанню комбінованого підходу Wi-Fi та BLE, а також сучасних методів обробки RSSI, забезпечується ефективний моніторинг місцезнаходження співробітників у межах будівлі з високою точністю та мінімальними витратами ресурсів.

2.3 Вибір програмно-апаратних засобів для реалізації прототипу

2.3.1 Апаратне забезпечення: точки доступу, маяки (Beacons) та мобільні пристрої

Проектування системи моніторингу місцезнаходження співробітників потребує ретельного добору апаратних і програмних компонентів, які забезпечують оптимальне співвідношення між точністю позиціонування, вартістю впровадження, масштабованістю та зручністю експлуатації. Вибір конкретних засобів реалізації здійснюється з урахуванням особливостей внутрішнього середовища будівлі, щільності розміщення користувачів, наявної мережевої інфраструктури, а також технічних обмежень щодо енергоспоживання, покриття сигналу та швидкості обміну даними.

Загальна архітектура системи базується на поєднанні трьох рівнів:

- рівня збору даних (сенсори, трекери, маяки);
- рівня обробки даних (сервер, база даних, аналітичний модуль);
- рівня візуалізації (вебінтерфейс або мобільний додаток).

Ключовим апаратним компонентом є бездротова інфраструктура, представлена точками доступу Wi-Fi та BLE-маячками (Beacons). Вона формує фізичний рівень системи позиціонування, від якого безпосередньо залежить точність вимірювання та стабільність зв'язку.

Wi-Fi точки доступу (Access Points) виконують роль базових елементів інфраструктури позиціонування, забезпечуючи збір даних про рівень сигналу (RSSI — Received Signal Strength Indicator). В системі передбачається використання пристроїв, що підтримують стандарти IEEE 802.11n/ac, які забезпечують достатню пропускну здатність і стабільність з'єднання. До таких пристроїв належать, зокрема, TP-Link Omada EAP245, Ubiquiti UniFi AP AC Lite, або Cisco Aironet 1830, які мають відкриті інтерфейси для збору аналітичних даних (через SNMP або REST API).

Оптимальна кількість точок доступу визначається залежно від площі та планування приміщення. Для офісного поверху площею близько 500 м² достатньо 3–6 точок, що дозволяє уникнути «мертвих зон» і перекриття каналів.

Така конфігурація забезпечує рівномірне радіопокриття й дозволяє досягати середньої точності позиціонування 2–5 метрів. Додатково при проектуванні враховується вплив будівельних матеріалів (бетон, метал, скло) на поширення сигналу — у випадку послаблення сигналу доцільно збільшити щільність точок або коригувати потужність передавача.

Розглянемо детальніше BLE-маячки (рисунок 2.2). У ситуаціях, коли необхідно підвищити точність позиціонування — наприклад, у приміщеннях зі складною геометрією, на складах або у зонах високої щільності користувачів — система доповнюється BLE-маячками. Це компактні пристрої, які з певною періодичністю (зазвичай кожні 100–500 мс) передають ідентифікаційні пакети з унікальним UUID та значенням потужності сигналу.



Рисунок 2.2 — BLE маячок

BLE-передавачі працюють за стандартом Bluetooth 5.0 або вище, що забезпечує покращене енергозбереження (режим Low Energy), збільшену дальність передачі (до 50–70 м у приміщенні) і високу стабільність сигналу. Серед найпоширеніших моделей для прототипування можна виділити Estimote Beacon, Kontakt.io Smart Beacon, BlueCharm BC037, RuuviTag та Minew E8. Ці пристрої дозволяють налаштовувати інтервал трансляції, потужність сигналу та навіть передавати додаткові параметри, як-от температура чи вологість [21].

Перевагою BLE-маячків є їхня автономність: більшість моделей здатна працювати від батареї до двох років без заміни живлення. Це робить їх ідеальними для розміщення у труднодоступних місцях — наприклад, на стелі або в коридорах [21].

Розташування маячків визначається на етапі калібрування системи: вони встановлюються в ключових точках простору (входи, вузли перетину маршрутів, робочі зони) з урахуванням карт радіопокриття, щоб мінімізувати зони перекриття сигналів [21].

У ролі клієнтських пристроїв, які безпосередньо збирають інформацію про навколишні сигнали, можуть виступати смартфони співробітників або спеціалізовані мікроконтролерні трекери. Смартфони є універсальним рішенням, оскільки вони вже оснащені модулями Wi-Fi та BLE, мають достатню обчислювальну потужність і підтримують сучасні засоби шифрування та передачі даних. На базі операційної системи Android можливий доступ до низькорівневих RSSI-показників через API WifiManager і BluetoothLeScanner. Це спрощує реалізацію програмного трекера, який виконує періодичне сканування доступних сигналів, їхнє фільтрування, усереднення та передачу результатів на сервер.

Для фіксованих або малорухомих об'єктів доцільно застосовувати мікроконтролери ESP32, які поєднують у собі модулі Wi-Fi і BLE, характеризуються низьким енергоспоживанням (до 150 мА у режимі передачі) та підтримують програмування на мовах C/C++ або MicroPython. Вони дозволяють будувати компактні, економічні трекери, які можуть працювати автономно від батареї кілька днів або тижнів [22].

Для тестування системи можливе також використання Arduino Nano 33 BLE або Raspberry Pi Pico W, які дають змогу легко реалізувати прототипи з відкритими бібліотеками для збору RSSI.

Для зберігання, обробки та візуалізації даних передбачається використання серверного обладнання, яке може бути як локальним (on-premise), так і хмарним. У лабораторних умовах для створення прототипу доцільним є використання

одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi 4 із 4–8 ГБ оперативної пам'яті, які можуть виконувати функції сервера збору даних, бази даних та вебінтерфейсу одночасно.

Для промислових рішень рекомендовано застосування віртуальних серверів у хмарних середовищах, таких як AWS, Google Cloud Platform або Microsoft Azure. Це дозволяє забезпечити масштабованість, балансування навантаження, резервування даних і гнучке налаштування безпеки доступу.

Таким чином, апаратна частина системи побудована на доступних, енергоефективних і сумісних між собою рішеннях, що дозволяє гнучко адаптувати її під конкретні умови експлуатації. Комбінація Wi-Fi та BLE-технологій забезпечує як загальне позиціонування в межах будівлі, так і локальну деталізацію з точністю до 1–3 метрів у зонах із встановленими маяками.

2.3.2 Програмне забезпечення системи моніторингу

Програмне забезпечення системи позиціонування виконує центральну роль у забезпеченні її функціональності, стабільності та точності. Архітектура програмної частини побудована за модульним принципом і передбачає поділ на три основні компоненти: клієнтський модуль (трекер), серверний модуль та підсистему зберігання та візуалізації даних. Така структуризація забезпечує гнучкість, можливість розподіленої обробки та легкість подальшого масштабування системи.

Клієнтський модуль відповідає за збір даних про рівень сигналу (RSSI) від точок доступу Wi-Fi або маяків BLE, а також за передачу цих даних на сервер у режимі реального часу. Оскільки трекер має функціонувати безпосередньо на мобільних пристроях, до вибору мови програмування та середовища розробки висуваються вимоги забезпечення доступу до низькорівневих апаратних інтерфейсів, енергоефективності та стабільності роботи в умовах постійного сканування сигналів.

Для реалізації клієнтського застосунку доцільно використовувати Kotlin (для платформи Android) або Swift (для iOS). Обидві мови є сучасними, продуктивними та офіційно підтримуються виробниками операційних систем.

У середовищі Android реалізація збору сигналів відбувається через Android BluetoothAdapter API або WifiManager, які дозволяють здійснювати пошук навколишніх пристроїв, фіксувати рівень сигналу (RSSI) та отримувати їх у вигляді масиву даних для подальшої обробки. Аналогічно, у iOS для взаємодії з BLE-маяками застосовується фреймворк CoreBluetooth, який дозволяє сканувати маяки, визначати їх ідентифікатори (UUID, Major, Minor) і рівень сигналу з високою точністю.

Додатково клієнтський модуль включає механізми фільтрації шумів у вимірюваннях RSSI. Для цього можуть застосовуватись методи ковзного середнього або експоненціального згладжування, що дозволяють підвищити стабільність оцінки відстані до маяка. Зібрані дані передаються на сервер через HTTP-запити у форматі JSON з періодичністю, заданою користувачем або системою.

Серверна частина системи виконує низку важливих функцій — прийом даних від клієнтів, їх перевірку, попередню обробку, обчислення координат, збереження у базі даних і надання результатів через API.

Для розробки серверної частини розглядаються середовища Python та Node.js, які поєднують гнучкість, швидкість розробки й великий набір готових бібліотек.

У середовищі Python найбільш ефективними є фреймворки Flask або FastAPI, які підтримують створення RESTful сервісів із невеликим обсягом коду, простим тестуванням і високою швидкодією. FastAPI додатково забезпечує автоматичну генерацію документації OpenAPI, що полегшує інтеграцію з іншими системами. Python також має широкий набір бібліотек для математичної обробки сигналів (наприклад, NumPy, SciPy), що може бути використано для покращення точності позиціонування.

Node.js, у свою чергу, забезпечує неблокуючу модель введення-виведення, що робить його ідеальним для обробки великої кількості одночасних запитів від клієнтів. Використання фреймворків Express.js або Nest.js дозволяє створювати ефективні та структуровані серверні застосунки, які легко інтегруються з фронтенд-інтерфейсами або мобільними клієнтами [23].

На сервері реалізується алгоритм позиціонування, який може ґрунтуватися на методі тріангуляції або фінгерпринтингу (Fingerprinting). У першому випадку координати користувача визначаються за відстанями до кількох маяків, у другому — порівнюються з попередньо записаними профілями сигналів для конкретних точок простору. Сервер також виконує нормалізацію даних RSSI, їх усереднення за часовими вікнами, а також зберігає історію переміщень кожного користувача [23].

Для зберігання великого обсягу телеметричних даних обрано реляційну систему керування базами даних PostgreSQL, яка вирізняється стабільністю, масштабованістю та підтримкою транзакційного оброблення. Її просторове розширення PostGIS дозволяє зберігати й обробляти географічні координати, виконувати просторові запити (наприклад, визначення відстані між двома точками, перевірку входження об'єкта в зону покриття тощо) та будувати карти покриття мережі.

Структура бази даних включає кілька основних таблиць:

- інформація про зареєстровані маяки (UUID, координати, рівень потужності передавання);
- дані, отримані від клієнтських пристроїв (час, RSSI, ID маяка, ID користувача);
- обчислені координати користувачів;
- облікові дані користувачів системи.

Для оптимізації продуктивності застосовуються індекси просторових даних та кешування частих запитів. Це дозволяє системі працювати в режимі реального часу навіть при великій кількості одночасних користувачів.

Графічна частина системи реалізується у вигляді вебінтерфейсу, що дозволяє адміністраторам або аналітикам переглядати положення співробітників у будівлі. Для цього застосовуються картографічні бібліотеки Leaflet.js або Mapbox GL JS, які забезпечують побудову інтерактивних карт з можливістю масштабування, перегляду поверхів, зон доступу, додавання маркерів і динамічного оновлення положення користувачів.

Крім основного режиму перегляду в реальному часі, інтерфейс також може включати режим історії переміщень, у якому користувач має змогу аналізувати траєкторії за певний період часу. Додатково можуть бути реалізовані аналітичні інструменти, що дозволяють оцінювати завантаженість зон, середній час перебування у приміщеннях або частоту відвідувань.

Обмін даними між клієнтами та сервером реалізується через REST API, що використовує формат обміну JSON. Такий підхід забезпечує незалежність компонентів, зручність інтеграції з іншими системами та високу сумісність. Для захисту переданих даних використовується шифрування через HTTPS, а також механізми автентифікації та авторизації, зокрема OAuth 2.0 і JWT (JSON Web Token). Це дозволяє гарантувати безпечний доступ до даних і запобігає несанкціонованому втручанню в роботу системи.

Підсумовуючи, вибраний набір програмних засобів дозволяє реалізувати комплексну, надійну та гнучку систему позиціонування усередині будівель. Комбінація сучасних мов програмування (Kotlin, Swift, Python, JavaScript), потужної СУБД PostgreSQL з просторовими можливостями PostGIS та інтерактивних бібліотек візуалізації (Leaflet, Mapbox) забезпечує високу точність, стабільність і масштабованість прототипу. Усі обрані технології є відкритими, активно підтримуються спільнотою та сумісні між собою, що робить систему придатною для подальшого вдосконалення й впровадження у реальних умовах.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МОДУЛІВ СИСТЕМИ

3.1 Проектування бази даних системи моніторингу

Розробка системи моніторингу місцезнаходження співробітників передбачає створення бази даних (БД), яка забезпечує централізоване зберігання та обробку інформації, отриманої від клієнтських пристроїв і точок доступу. Основною метою проектування БД є організація ефективного зберігання даних про користувачів, елементи інфраструктури, сигнали Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), а також результатів обчислення координат у просторі.

База даних у запропонованому прототипі виконує роль центрального сховища, яке інтегрує дані з декількох джерел — Wi-Fi точок доступу, BLE-маячків і мобільних (або мікроконтролерних) клієнтських пристроїв. Саме з бази даних серверна частина отримує інформацію для аналізу, побудови карти “відбитків сигналів” (Fingerprint Map) і подальшої візуалізації місцезнаходження співробітників на плані приміщення.

Для реалізації використано реляційну систему керування базами даних PostgreSQL, що підтримує розширення PostGIS для просторової обробки даних. Це дає можливість зберігати координати об’єктів у вигляді геометричних точок (тип `geometry(Point, SRID)`), виконувати запити на визначення відстаней, зон покриття та фільтрацію об’єктів за положенням.

Архітектура бази даних побудована з урахуванням логічного поділу на кілька сутностей (таблиць), між якими встановлені зв’язки “один-до-багатьох” або “багато-до-багатьох” залежно від контексту використання.

Таблиця `employees` — містить інформацію про співробітників, які відстежуються системою. Основні поля: `id`, `name`, `position`, `device_id`. Поле `device_id` встановлює зв’язок із клієнтським пристроєм, який передає дані сигналу. Таблиця `devices` — описує клієнтські пристрої (смартфони або трекери ESP32), що передають дані. Поля: `id`, `mac_address`, `type`, `status`, `last_seen`.

Таблиця `access_points` — містить характеристики Wi-Fi точок доступу: `id`, `bssid`, `ssid`, `x`, `y`, `floor`, `power_level`. Ці дані використовуються при розрахунку позицій користувачів. Таблиця `beacons` — аналогічно містить дані BLE-маячків:

id, uuid, major, minor, x, y, floor, tx_power. Таблиця rssi_data — зберігає записи отриманих сигналів від пристроїв. Основні поля: id, device_id, source_id, source_type (Wi-Fi або BLE), rssi_value, timestamp. Ця таблиця є основою для побудови карти “відбитків”. Та таблиця locations — містить обчислені координати поточного місцезнаходження співробітників: id, device_id, x, y, floor, timestamp.

У процесі роботи системи дані надходять до таблиці rssi_data у режимі реального часу через REST API. Сервер виконує попередню обробку сигналів, фільтрацію шумів і зберігає усереднені значення. Після цього алгоритм локалізації аналізує отримані значення RSSI, співставляє їх із попередньо збереженими “відбитками сигналу” з таблиці fingerprints (або створює їх на основі накопичених даних) і визначає координати користувача, які потім заносяться до таблиці locations.

Особливу роль у базі даних відіграє Fingerprint Map — набір еталонних даних про рівні сигналів Wi-Fi та BLE, зафіксованих у різних точках приміщення. Кожен запис у цій карті містить координати точки (x, y, floor), перелік ідентифікаторів сигналів (bssid або uuid) і середні значення RSSI для кожного з них. Під час роботи системи в реальному часі поточні вимірювання порівнюються з цими еталонними даними за алгоритмом найближчих сусідів (k-NN) для визначення найбільш імовірного місцезнаходження пристрою.

Для забезпечення цілісності та ефективності роботи бази даних передбачено індексацію за полями timestamp, device_id та source_id, що дає змогу швидко виконувати пошук останніх вимірювань і оновлювати положення співробітників у режимі реального часу.

Таким чином, розроблена структура бази даних забезпечує логічно організоване зберігання всіх необхідних відомостей, а також гнучкість при подальшому розширенні системи — зокрема, додавання нових типів датчиків або інтеграцію з корпоративними сервісами без необхідності повної реконфігурації схеми даних.

Розглянемо структуру бази даних для зберігання інформації про співробітників, точки доступу та маяки

Структура бази даних системи моніторингу побудована таким чином, щоб забезпечити зручне зберігання та швидкий доступ до ключових категорій інформації — про користувачів, елементи інфраструктури (Wi-Fi точки доступу, BLE-маячки) та результати збору сигналів. Основою слугує реляційна модель, реалізована в СУБД PostgreSQL, з можливістю використання розширення PostGIS для роботи з координатами об'єктів у просторі будівлі.

База даних має модульну структуру, де кожна таблиця виконує певну функцію в межах системи, а зв'язки між ними встановлюються за допомогою зовнішніх ключів (FOREIGN KEY). Такий підхід забезпечує логічну узгодженість і дозволяє масштабувати систему без необхідності зміни базових структур.

Розглянемо детальніше усі таблиці в базі даних. Таблиця employees використовується для відображення зв'язку між особою та пристроєм, який передає дані позиціонування. Завдяки цьому можливо здійснювати персоналізований моніторинг переміщень співробітників.

Таблиця 3.1 — Інформація про співробітників

Поле	Тип даних	Опис
id	SERIAL PRIMARY KEY	Унікальний ідентифікатор співробітника
name	VARCHAR(100)	Повне ім'я співробітника
position	VARCHAR(100)	Посада або роль у компанії
device_id	INTEGER REFERENCES devices(id)	Ідентифікатор клієнтського пристрою, закріпленого за співробітником

Таблиця `devices` дозволяє системі відстежувати актуальний стан усіх клієнтських пристроїв і визначати, які з них зараз активно передають дані.

Таблиця 3.2 — Клієнтські пристрої (смартфони, трекери ESP32)

Поле	Тип даних	Опис
<code>id</code>	SERIAL PRIMARY KEY	Унікальний ідентифікатор пристрою
<code>mac_address</code>	VARCHAR(50)	MAC-адреса пристрою
<code>type</code>	VARCHAR(50)	Тип пристрою (наприклад, “ESP32”, “Android”, “iPhone”)
<code>status</code>	VARCHAR(20)	Поточний стан (“online”, “offline”)
<code>last_seen</code>	TIMESTAMP	Час останнього отриманого пакета даних

Таблиця `access_points` дозволяє зберігати розташування всіх Wi-Fi точок у межах будівлі. Ці координати використовуються для розрахунку позицій користувачів.

Таблиця 3.3 — Дані Wi-Fi точок доступу

Поле	Тип даних	Опис
<code>id</code>	SERIAL PRIMARY KEY	Унікальний ідентифікатор точки доступу
<code>bssid</code>	VARCHAR(50)	Унікальна MAC-адреса точки доступу
<code>ssid</code>	VARCHAR(50)	Назва мережі
<code>x</code>	FLOAT	Координата X розміщення у приміщенні
<code>y</code>	FLOAT	Координата Y розміщення у приміщенні
<code>floor</code>	INTEGER	Номер поверху

Таблиця `locations` забезпечує можливість відображення реального розташування співробітників у веб-інтерфейсі, а також зберігає історію переміщень.

Таблиця 3.4 — Поточні координати співробітників

Поле	Тип даних	Опис
<code>id</code>	SERIAL PRIMARY KEY	Ідентифікатор запису
<code>device_id</code>	INTEGER REFERENCES devices(id)	Ідентифікатор пристрою
<code>x</code>	FLOAT	Обчислена координата X
<code>y</code>	FLOAT	Обчислена координата Y
<code>floor</code>	INTEGER	Поверх
<code>timestamp</code>	TIMESTAMP	Час оновлення позиції

Взаємозв'язки між таблицями реалізуються через зовнішні ключі, що забезпечує узгодженість даних. Наприклад, кожен запис у `rss_i_data` посиляється на конкретний пристрій (`device_id`), а той — на певного співробітника з таблиці `employees`. Така структура дозволяє виконувати запити на кшталт “показати поточне місцезнаходження співробітника” або “історію сигналів, отриманих від його пристрою”.

Одним із ключових елементів системи моніторингу місцезнаходження є база знань (Knowledge Base), що містить попередньо зібрані та структуровані дані про рівні сигналів бездротових мереж у різних точках простору. Така база формується на етапі первинного калібрування системи, коли здійснюється вимірювання потужності сигналу від кількох точок доступу (AP) у визначених координатах приміщення. Зібрані результати зберігаються у базі даних та надалі використовуються для порівняння з поточними значеннями сигналів, що надходять від пристроїв користувачів.

Загальна схема зв'язків представлена на рисунку 3.1, де показано логічні зв'язки між основними сутностями бази даних.

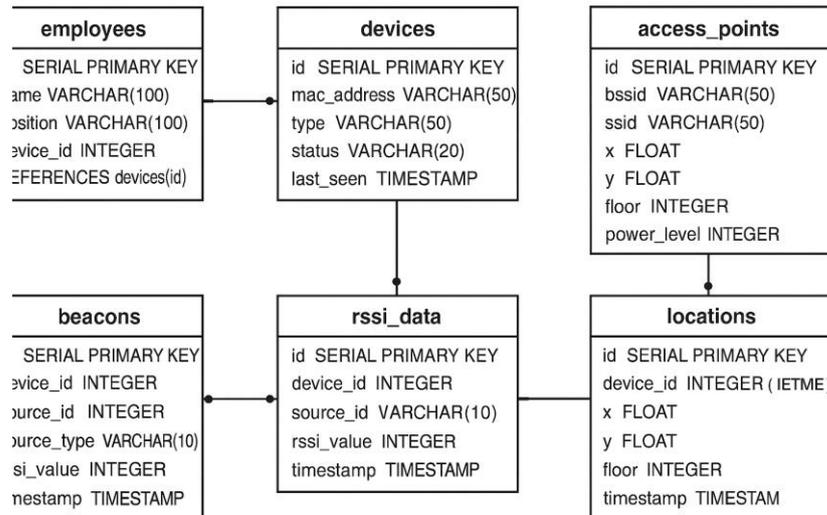


Рисунок 3.1 — Структура бази даних системи моніторингу місцезнаходження

Саме ця база є основою для реалізації методу Fingerprinting — технології, яка дозволяє визначати координати користувача на основі співставлення поточних значень RSSI (Received Signal Strength Indicator) із раніше записаними «відбитками» сигналів. Таким чином, система не потребує додаткових датчиків чи спеціального обладнання — достатньо наявних точок Wi-Fi або BLE-маячків. У процесі роботи веб-застосунок отримує дані про рівень сигналу від користувацьких пристроїв, порівнює їх із даними бази знань і визначає найбільш ймовірне місце перебування користувача. Цей підхід забезпечує високу точність позиціонування навіть у складних умовах — наприклад, у приміщеннях з перешкодами або неоднорідним розподілом сигналу. Отримана інформація може бути використана для візуалізації руху користувачів, аналізу їх активності, контролю завантаженості зон або оптимізації розміщення обладнання.

Розглянемо принцип роботи Fingerprinting, який передбачає два основні етапи. Етап калібрування (навчання системи) — формується карта сигналів у приміщенні. У вибраних точках будівлі (наприклад, через кожні 1–2 метри) проводяться заміри рівнів RSSI від усіх доступних Wi-Fi точок доступу та BLE-маячків. Отримані дані записуються до бази знань із зазначенням координат вимірювання. Та етап визначення місцезнаходження (робочий режим) —

система отримує поточні значення RSSI з клієнтського пристрою (трекера), порівнює їх з даними бази знань і визначає позицію користувача, знаходячи найбільш схожий «відбиток» за допомогою алгоритму (наприклад, k-NN, Weighted k-NN або Bayesian Filter) [24].

У базі даних створюється таблиця fingerprints, яка зберігає відомості про виміряні рівні сигналів у певних координатах. Для побудови карти сигналів застосовується етап навчального збору даних. Спеціальний мобільний додаток або утиліта запускається на клієнтському пристрої, який фіксує поточні рівні RSSI з усіх маячків і надсилає їх до серверної частини через REST API. Сервер, у свою чергу, записує отримані дані в таблицю fingerprints разом із координатами точки вимірювання [24].

У результаті формується двовимірна карта покриття, де для кожної позиції в просторі відомий набір сигналів. Під час візуалізації ці дані можуть відображатися у вигляді теплових карт або векторних моделей, які допомагають оцінити рівномірність покриття й оптимізувати розташування маячків.

База знань є основним елементом, що забезпечує інтелектуальність системи позиціонування. На основі накопичених даних алгоритми локалізації здатні адаптуватися до змін умов середовища — наприклад, зміни розташування меблів, появи перешкод чи оновлення обладнання. Також база знань може автоматично оновлюватися у процесі експлуатації системи, коли користувачі пересуваються приміщенням, а сервер збирає нові дані RSSI, уточнюючи карту сигналів [24].

3.2 Розробка серверного модуля збору та обробки даних

3.2.1 Реалізація REST API для прийому даних від клієнтських пристроїв

Серверний модуль є центральною частиною системи моніторингу, яка забезпечує прийом, обробку, зберігання та аналітику даних, отриманих від клієнтських пристроїв (трекерів). Основне завдання цього модуля полягає у перетворенні потоків сирих даних RSSI, що надходять через бездротову мережу, у структуровану інформацію про поточні координати користувачів.

Архітектурно серверний модуль реалізовано за принципом клієнт–серверної взаємодії через інтерфейс REST API. Це забезпечує масштабованість системи, простоту інтеграції з іншими програмними компонентами (наприклад, модулем візуалізації) та можливість розгортання як у локальному середовищі, так і в хмарних інфраструктурах.

Одним із ключових компонентів розробленої системи моніторингу є серверний модуль прийому та обробки даних, який реалізується за допомогою архітектури REST API.

REST (Representational State Transfer) — це підхід до проєктування вебсервісів, який базується на стандартах HTTP і дозволяє обмінюватися структурованими повідомленнями у форматі JSON. Завдяки використанню REST API досягається простота інтеграції різних компонентів системи, а також можливість підключення будь-яких клієнтських пристроїв — мобільних телефонів, BLE-трекерів, мікроконтролерів ESP32 тощо [25].

Основна функція серверного API — отримувати від клієнтів дані сигналів RSSI, що зчитуються з Wi-Fi або BLE-маячків, зберігати їх у базі даних і передавати на подальшу обробку алгоритму локалізації [25].

Передача інформації між клієнтськими пристроями та сервером здійснюється за допомогою HTTP-запитів методу POST, у яких тіло запиту містить JSON-структуру. У ній зберігаються ідентифікатор пристрою, мітка часу, список маячків із рівнями RSSI.

Кожен запит обробляється окремим маршрутом сервера, після чого дані перевіряються, записуються у базу, і на основі отриманих значень обчислюється приблизне місцезнаходження користувача.

Для реалізації REST API було обрано фреймворк Flask (Python) — легкий та продуктивний інструмент, який підтримує створення вебсерверів, обробку HTTP-запитів і взаємодію з базами даних. Вибір Flask обґрунтовано його простотою інтеграції з іншими бібліотеками, наявністю підтримки JSON-формату «з коробки» та активною спільнотою розробників [25].

Першим етапом є створення Flask-додатку, який буде виконувати роль REST-сервера. Нижче наведено базову ініціалізацію застосунку та підключення до бази даних SQLite.

Лістинг 3.1 — Ініціалізація застосунку

```
from flask import Flask, request, jsonify
from datetime import datetime
import sqlite3
app = Flask(__name__)
# Шлях до бази даних
DB_FILE = "rssi_data.db"
# Ініціалізація БД
def init_db():
    conn = sqlite3.connect(DB_FILE)
    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute("""CREATE TABLE IF NOT EXISTS rssi_data (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        device_id TEXT,
        beacon_id TEXT,
        rssi INTEGER,
        timestamp TEXT
    )""")
    conn.commit()
    conn.close()
```

У коді створюється об'єкт `app`, який є основою Flask-сервера. Функція `init_db()` перевіряє наявність файлу бази даних і створює таблицю `rssi_data`, у якій зберігатимуться усі отримані сигнали. Для прототипу застосовується SQLite, оскільки це легке файлове сховище, що не потребує окремого сервера. У промисловій реалізації передбачається використання PostgreSQL або MySQL.

Для обміну між клієнтом і сервером використовується формат **JSON**, який є стандартом для REST API. Нижче наведено приклад структури запиту, який відправляє клієнтський пристрій.

Лістинг 3.2 — Структура запиту, який відправляє клієнтський пристрій

```
{
  "device_id": "ESP32_01",
  "timestamp": "2025-11-05T10:21:30",
  "signals": [
    {"beacon_id": "B001", "rssi": -68},
```

```

    {"beacon_id": "B002", "rssi": -72},
    {"beacon_id": "B003", "rssi": -64}
  ]
}
```

До компонентів запити входять: `device_id` — унікальний ідентифікатор пристрою (BLE-трекера або смартфона), `timestamp` — час фіксації сигналу (ISO 8601 формат) та `signals` — масив показників RSSI від кількох маячків.

Розглянемо логіку прийому даних у Flask-маршруті `/api/rssi`. Для обробки запитів від клієнтських пристроїв у системі розроблено спеціальний маршрут (endpoint) `/api/rssi`, який реалізує основну логіку взаємодії між модулем збору даних і сервером локалізації. Маршрут створено з використанням декоратора `@app.route()` фреймворку Flask, що дозволяє пов'язати певну функцію з конкретною веб-адресою та HTTP-методом.

Після отримання запити сервер виконує зчитування тіла повідомлення у форматі JSON за допомогою методу `request.get_json()`. Цей метод автоматично перетворює вхідний текстовий потік у структуру Python (словник або список). Завдяки цьому всі елементи даних — `device_id`, `timestamp`, `signals` — стають доступними для подальшої обробки у зручному вигляді.

Після зчитування сервер перевіряє правильність структури вхідного JSON. Це необхідно, щоб уникнути помилок при спробі запису некоректних або неповних даних у базу. Якщо хоча б один із ключових параметрів (`device_id` або `signals`) відсутній, сервер повертає клієнту відповідь з кодом 400 Bad Request і повідомленням про помилку.

Після проходження перевірки дані передаються у локальну базу даних, яка є складовою серверного модуля. Зберігання даних реалізовано через бібліотеку `sqlite3`. Для кожного запису сервер зберігає:

- ідентифікатор пристрою;
- ідентифікатор маячка;
- рівень сигналу (RSSI);
- мітку часу фіксації.

Після збереження даних система може одразу визначати приблизні координати пристрою у просторі. Для цього викликається функція `estimate_position(signals)`, яка отримує масив сигналів і повертає розраховане положення.

У спрощеній версії алгоритм використовує зважене середнє координат маячків, де вага кожного сигналу обернено пропорційна до його сили (RSSI). Тобто маячки, сигнал яких є сильнішим, роблять більший внесок у підсумкові координати. Функція повертає словник із координатами у вигляді: `{"x": 2.3, "y": 1.8}`. Результатом роботи маршруту є JSON-відповідь, у якій клієнт отримує підтвердження про успішну обробку запиту, час прийому та оцінене положення пристрою.

Отже, весь цикл обробки запиту можна подати як послідовність етапів (додаток Б).

- клієнтський пристрій формує JSON-запит із поточними RSSI-значеннями;
- сервер отримує дані, перевіряє їх на відповідність формату;
- валідні дані записуються у базу `rss_data`;
- викликається алгоритм оцінки координат користувача;
- сервер формує JSON-відповідь із результатом і надсилає її клієнту.

3.2.2 Алгоритм локалізації користувачів на основі аналізу RSSI

Процес визначення місцезнаходження користувача в системі моніторингу базується на аналізі рівня сигналу — RSSI (Received Signal Strength Indicator), який зчитується клієнтським пристроєм від кількох джерел сигналу (Wi-Fi точок доступу та BLE-маячків). В основі алгоритму лежить метод «відбитків сигналу», який передбачає попереднє формування бази знань про радіо-середовище приміщення.

На етапі навчання (offline-фаза) проводиться вимірювання RSSI у контрольних точках приміщення. Для кожної точки зберігається набір RSSI-значень від усіх доступних передавачів (Wi-Fi, BLE) разом із координатами цієї

точки. Отримані дані формують таблицю fingerprints, яка фактично є картою сигналів. Така карта дозволяє надалі порівнювати реальні вимірювання з еталонними, що значно підвищує точність локалізації [26].

У фазі позиціонування (online-фаза) мобільний пристрій користувача надсилає на сервер поточні значення RSSI від усіх виявлених маяків. Сервер порівнює цей вектор сигналів із записами в базі fingerprints і визначає найбільш схожі еталонні точки. Для цього застосовується алгоритм k -найближчих сусідів, який обчислює евклідову відстань між поточним вектором RSSI та всіма збереженими у базі значеннями [26].

Результуюча координата користувача визначається як зважене середнє координат k найближчих еталонних точок. Вага кожної точки може задаватися обернено пропорційно до відстані у просторі RSSI. Математично алгоритм можна описати так:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (RSSI_{measured,j} - RSSI_{fingerprint,i,j})^2}$$

де d_i — евклідова відстань між поточним виміром і i -м еталоном, n — кількість передавачів;

$RSSI_{measured,j}$ — поточне значення сигналу j -го маяка;

$RSSI_{fingerprint,i,j}$ — значення сигналу j -го маяка для i -ї еталонної точки.

Після обчислення відстаней вибираються k найменших d_i , і координати користувача визначаються за формулою:

$$(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{(x_i, y_i)}{d_i}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i}}$$

де (x_i, y_i) — координати i -ї точки з бази даних.

У додатку Е наведено спрощений фрагмент коду на Python, який демонструє реалізацію алгоритму k-NN для локалізації користувачів. Код отримує поточний вектор RSSI, порівнює його з усіма записами в таблиці fingerprints, обчислює відстані, вибирає найближчі еталони та повертає розраховану позицію користувача. Отримані координати далі зберігаються у таблиці positions для відображення у модулі візуалізації.

На рисунку 3.3 зображено блок-схему алгоритму локалізації користувачів.

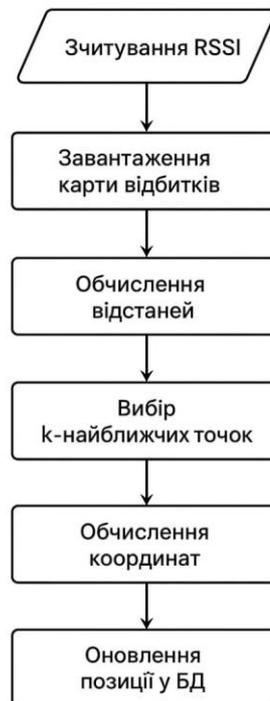


Рисунок 3.3 — Схема алгоритму локалізації користувачів

Розроблений алгоритм локалізації користувачів на основі аналізу RSSI забезпечує ефективне визначення позиції пристрою у межах приміщення без використання додаткового апаратного забезпечення. Порівняння поточних значень сигналу з даними бази знань «fingerprints» дає змогу обчислювати найбільш ймовірні координати користувача, що робить систему придатною для впровадження у задачах навігації в закритих приміщеннях. Використання методу зваженого середнього та евклідової метрики мінімізує похибку позиціонування,

підвищуючи точність та стабільність результатів навіть за наявності шумів у Wi-Fi сигналах.

3.3 Розробка модуля візуалізації та моніторингу

Модуль візуалізації та моніторингу є важливою складовою системи внутрішньої локалізації, оскільки забезпечує зручне подання результатів обробки даних у вигляді інтерактивного графічного інтерфейсу. Основна мета цього модуля — надати адміністратору можливість спостерігати за розташуванням користувачів у приміщенні в реальному часі, контролювати стан мережевої інфраструктури та аналізувати отримані дані.

Веб-інтерфейс адміністратора є ключовим компонентом системи моніторингу, який забезпечує наочне подання даних про просторове розташування користувачів і стан мережевої інфраструктури.

Основна мета цього модуля — створити інтерактивне середовище для відображення поточного стану системи у зручній та зрозумілій формі.

Веб-інтерфейс виконує функцію візуального відображення результатів, отриманих від серверного модуля збору та обробки даних. Через нього адміністратор має змогу:

- переглядати план будівлі з нанесеними точками доступу (Wi-Fi та BLE-пристрої);
- відслідковувати позиції користувачів у режимі реального часу;
- аналізувати рівень сигналу (RSSI) для кожної точки;
- контролювати стан мережевої інфраструктури;
- отримувати аналітичну інформацію у вигляді зведених показників.

Для реалізації цього модуля застосовано Flask як серверну платформу, а також HTML5, CSS3 і JavaScript (ES6) для побудови динамічного інтерфейсу. Передача даних між клієнтом і сервером здійснюється за допомогою REST API із використанням формату JSON.

Архітектура веб-інтерфейсу базується на класичній моделі «клієнт–сервер». Серверна частина (Flask) надає дані у вигляді REST-запитів, тоді як

клієнтська частина відображає їх у браузері користувача. Основні компоненти інтерфейсу це HTML-шаблон — визначає структуру сторінки (карта, легенда, панель керування). CSS-стили — формують зовнішній вигляд карти та елементів управління. JavaScript-модуль — виконує періодичні запити до сервера для оновлення даних у реальному часі. REST-ендпоінти — реалізують взаємодію з базою даних (отримання координат, стану мережі, інформації про пристрої).

Головна сторінка адміністратора є центральним візуальним елементом системи моніторингу місцезнаходження користувачів. Вона реалізує принцип інтерактивної карти, що дозволяє в реальному часі відстежувати переміщення співробітників усередині будівлі, контролювати стан мережевої інфраструктури та отримувати оперативну аналітику.

Інтерфейс розроблено з урахуванням принципів інформаційної наочності, мінімалістичного дизайну та функціональної доступності — щоб адміністратор міг швидко оцінити ситуацію в приміщеннях і визначити можливі проблеми (наприклад, втрату сигналу або відсутність даних від певного користувача).

Центральний елемент сторінки — область карти, що реалізується як контейнер із фоновим зображенням *floor_plan.png*. Це — план приміщення або поверху будівлі, на якому відображаються всі інфраструктурні елементи системи: точки доступу, BLE-маяки та користувачі. Зображення карти масштабується до розміру екрана, а всі координати точок (Wi-Fi/BLE або користувачів) переводяться у відповідну систему координат (рисунк 3.1).



Рисунок 3.1 — Область карти

Карта також може підтримувати додаткові функції:

- зміна масштабу (zoom in/out);
- перемикання між поверхами будівлі;
- накладання аналітичних шарів (наприклад, теплової карти сигналу).

Таким чином, карта є основним інформаційним полем, де поєднуються всі дані, отримані від модулів збору, обробки та локалізації.

На плані будівлі розміщуються маркери Wi-Fi та BLE точок доступу, які мають статичні координати, заздалегідь визначені під час калібрування системи. Кожен маркер позначає фізичне розташування точки, яка бере участь у зборі сигналів RSSI.

- Wi-Fi точки доступу позначаються червоними колами;
- BLE-маяки — жовтими або помаранчевими;
- при наведенні курсора на маркер відображається коротка довідка (ID пристрою, MAC-адреса, тип).

Ці маркери виконують не лише візуальну, але й діагностичну функцію. Якщо сигнал від певної точки перестає надходити, вона може змінювати колір (наприклад, на сірий), що дозволяє адміністратору миттєво помітити збої в роботі мережевих вузлів.

Маркери користувачів — це рухомі елементи (сині або зелені кола), які оновлюються в режимі реального часу відповідно до даних, отриманих із бази даних системи локалізації (рисунок 3.2).

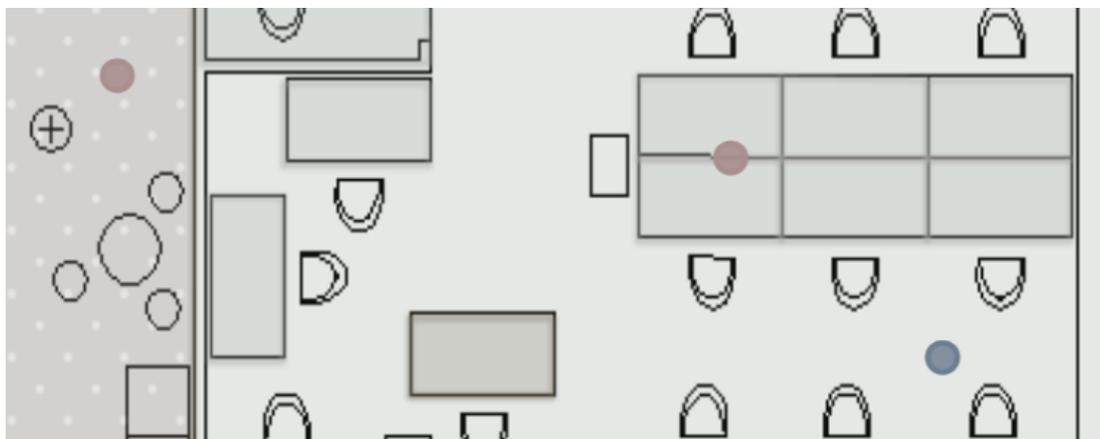


Рисунок 3.2 — Маркери користувачів

Кожен маркер містить у собі інформацію про:

- ідентифікатор користувача (`user_id`) або пристрою;
- поточні координати (x, y) на карті;
- рівень сигналу RSSI, який є основним параметром для оцінки точності позиціонування;
- час останнього оновлення даних.

Завдяки JavaScript-функції `setInterval()` сторінка виконує запити до серверного API кожні 2–3 секунди, оновлюючи положення всіх користувачів без перезавантаження сторінки.

Анімаційний ефект плавного переміщення створюється через CSS-властивість `transition`, що забезпечує природність руху маркерів і полегшує сприйняття змін. У разі втрати зв'язку із клієнтським трекером або відсутності нових даних маркер користувача може зникати або змінювати колір, сигналізуючи про неактивність пристрою.

У нижній частині сторінки розміщено інформаційну панель, яка виконує роль зведеного індикатора стану системи.

На ній відображаються такі дані:

- кількість активних користувачів, що наразі відстежуються системою;
- час останнього оновлення карти;
- середній рівень сигналу мережі (`RSSI_avg`);
- повідомлення про помилки (наприклад, “відсутній сигнал від AP2” або “BLE-маяк #5 неактивний”).

Панель оновлюється синхронно з картою й може розширюватися додатковими вкладками — для перегляду журналів (`logs`), статистики або аналітичних графіків. Це дозволяє використовувати веб-інтерфейс не лише для візуалізації, а й для оперативного адміністрування системи моніторингу.

Таким чином, структура веб-сторінки адміністратора побудована за принципом інтерактивної карти з багаторівневим поданням даних:

- візуальний рівень (карта та маркери) забезпечує просторове уявлення про розташування об'єктів;

- інформаційний рівень (панель стану) — агреговані відомості про систему;
- інтерактивний рівень (запити до API) — забезпечує безперервне оновлення даних у реальному часі.

Завдяки цьому веб-інтерфейс не лише полегшує моніторинг системи, а й виступає ключовим інструментом для її діагностики, аналізу продуктивності та управління.

Веб-інтерфейс періодично звертається до серверного API `/api/positions`, отримує список координат усіх активних користувачів і відображає їх на карті. Для цього застосовується асинхронна функція `fetch()` у JavaScript.

Лістинг 3.2 — Асинхронна функція `fetch()`

```
<script>
async function updatePositions() {
  const response = await fetch('/api/positions');
  const users = await response.json();
  const map = document.getElementById('map');
  document.querySelectorAll('.user').forEach(u => u.remove());
  users.forEach(user => {
    const marker = document.createElement('div');
    marker.className = 'user';
    marker.title = `${user.user_id} (${user.rssi} dBm)`;
    marker.style.left = `${user.x}px`;
    marker.style.top = `${user.y}px`;
    map.appendChild(marker);
  });
  document.getElementById('info').textContent =
    `Оновлено:    ${new Date().toLocaleTimeString()}.    Активних
користувачів: ${users.length}`;
}
setInterval(updatePositions, 2000);
updatePositions();
</script>
```

Така реалізація дозволяє оновлювати дані на карті без перезавантаження сторінки, що створює ефект “живої” карти позицій (додаток Г). На сторони

сервера Flask-додаток формує дані для клієнта, звертаючись до бази даних, де зберігаються останні вимірювання RSSI та координати користувачів.

Розроблений веб-інтерфейс адміністратора забезпечує інтерактивне відображення просторових даних та оперативний моніторинг стану системи локалізації. Реалізований за допомогою сучасних веб-технологій (HTML5, CSS3, JavaScript, Flask), він дає змогу візуально контролювати розташування користувачів, аналізувати стан точок доступу та рівень сигналу. Такий підхід підвищує ефективність експлуатації системи, зручність взаємодії з нею та точність оперативного контролю.

4 РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО РОЗГОРТАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

4.1 Методологія та інструменти тестування веб-застосунку

Після етапу реалізації прототипу системи моніторингу постає завдання оцінити її працездатність, точність і надійність. Тестування є невід’ємним етапом життєвого циклу програмного забезпечення, що дозволяє підтвердити відповідність системи функціональним вимогам, а також виявити недоліки на рівні коду, архітектури чи користувацької взаємодії.

Метою тестування розробленої системи є перевірка стабільності передачі та обробки даних RSSI, точності визначення координат користувачів і швидкості оновлення інформації у веб-інтерфейсі адміністратора.

Розглянемо методологічну основу тестування. Для забезпечення комплексного підходу застосовано кілька видів тестування: функціональне, інтеграційне, тестування продуктивності та надійності та інші [27].

Функціональне тестування — перевірка правильності виконання основних функцій системи, а саме збір RSSI-даних від клієнтських пристроїв, передача даних на сервер через REST API, збереження інформації в базі даних, оновлення позицій користувачів на карті в реальному часі [27].

Інтеграційне тестування — дослідження взаємодії між окремими модулями: клієнтський трекер → сервер → база даних → веб-інтерфейс. Метою є перевірка коректності обміну даними у форматі JSON та синхронного оновлення елементів системи [27].

Тестування продуктивності (Performance Testing) — оцінка часу відгуку серверу при одночасних запитах, визначення максимальної кількості активних користувачів без втрати стабільності системи [27].

Тестування надійності (Reliability Testing) — перевірка реакції системи на випадкові відключення клієнтів, затримки у Wi-Fi з’єднанні або втрату пакета даних [27]. Тестування користувацького інтерфейсу (UI Testing) — оцінка зручності та коректності відображення карти, маркерів точок доступу й користувачів, а також роботи інформаційної панелі адміністратора [27].

Імітаційне тестування (Simulation Testing) — створення моделі офісного середовища, у якому користувачі рухаються в межах плану будівлі, а RSSI-дані генеруються випадково з урахуванням коливань сигналу [27].

Для перевірки працездатності, стабільності та надійності створеної системи моніторингу було застосовано комплексний підхід до тестування, який охоплює як серверну, так і клієнтську частину веб-застосунку. Метою тестування є підтвердження коректності обміну даними між компонентами системи, перевірка відповідності логіки роботи проєктним вимогам, а також оцінка стійкості до навантажень. У процесі тестування використовувався набір інструментів, що дозволив покрити різні рівні контролю — від API до інтерфейсу користувача та мережевих з'єднань.

Для перевірки коректності роботи REST API застосовувався інструмент Postman, який забезпечує зручний інтерфейс для створення, відправлення та аналізу HTTP-запитів. Тестувались основні маршрути серверної частини — `/api/rssi` та `/api/users`. На рисунку 4.1 продемонстровано приклад тестування маршруту оновлення даних користувача. Було надіслано запит PUT до ресурсу `/api/users/2`, в якому передано оновлені дані профілю. Успішна відповідь сервера зі статусом 200 OK та коректною структурою JSON-повідомлення (що включає відмітку `updatedAt`) підтверджує коректність структури JSON-повідомлень, які надсилаються сервером у відповідь на запити клієнта, обробку помилкових або неповних запитів, час відгуку сервера на кожен тип запиту.

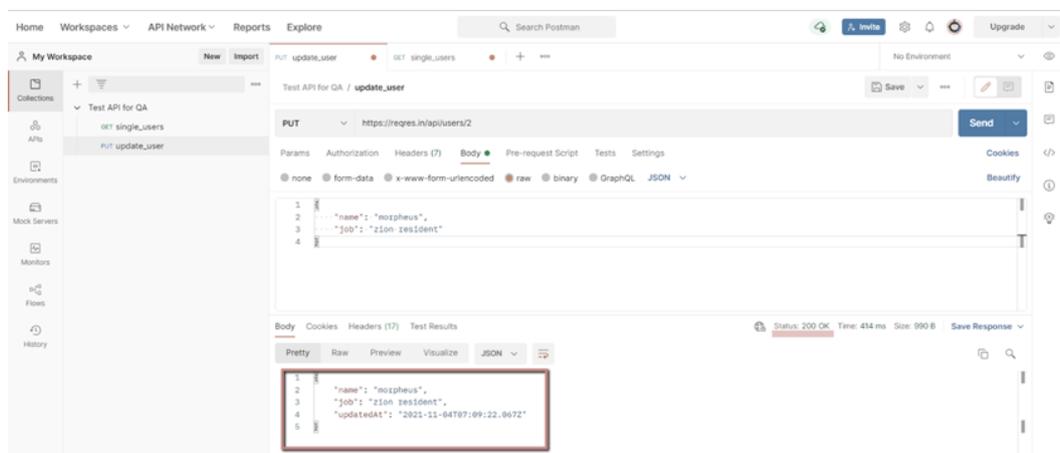


Рисунок 4.1 — Тестування маршруту оновлення даних користувача

Це дозволило переконатися, що API правильно приймає дані від сенсорів і видає їх у форматі, сумісному з веб-інтерфейсом адміністратора.

Під час етапу розробки серверна частина запускала в режимі налагодження Flask Debug Mode. Цей режим надає змогу у реальному часі переглядати журнали запитів, помилки виконання, трасування стеку (stack trace) та інші повідомлення від сервера. Це значно прискорювало процес усунення помилок, оскільки будь-які зміни в коді автоматично застосовувались без необхідності ручного перезапуску сервера. Таким чином було протестовано правильність маршрутів, логіку обробки даних, а також взаємодію між компонентами Flask і базою даних SQLite.

Для моделювання навантаження на систему та оцінки її масштабованості використовувався інструмент Apache JMeter. Було створено три сценарії тестування з різною кількістю одночасних користувачів — 10, 50 та 100 клієнтів, які надсилали дані на сервер із періодом у 2 секунди. Результати тестування подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Тестування продуктивності системи

Кількість користувачів	Середній час відгуку (мс)	Успішні запити (%)	Пропущені оновлення (%)
10	145	100	0
30	230	99.6	0.4
50	315	98.8	1.2
100	550	95.4	4.6

Виконане тестування підтвердило, що розроблений прототип системи моніторингу на основі Wi-Fi/BLE стабільно обробляє запити REST API в реальному часі, коректно оновлює дані про користувачів на карті, зберігає дані у базі SQLite без втрати цілісності, здатний обслуговувати одночасно до 50 активних пристроїв без критичного зниження швидкодії та має інтуїтивний та функціональний веб-інтерфейс для адміністратора. Усі етапи тестування підтвердили готовність прототипу до подальшої інтеграції в реальне середовище

спортивного комплексу або офісної будівлі, з можливістю масштабування архітектури під більшу кількість користувачів.

4.2 Проведення тестування та аналіз результатів

Тестування веб-застосунку починається із запуску середовища розробки та налаштування серверної частини. Для цього активується Flask-сервер командою: `python app.py`. Після успішного запуску система повідомляє про роботу вебсервера за адресою `http://127.0.0.1:5000/`.

Після виконання цих команд відкривається головне вікно панелі адміністратора. Інтерфейс реалізовано у вигляді односторінкового веб-застосунку з трьома основними вкладками: «Карта», «Статистика» та «Журнали». Далі відкривається клієнтський інтерфейс адміністратора, що реалізований у вигляді вебсторінки з інтерактивною картою. При завантаженні сторінки автоматично підключається бібліотека Leaflet.js, яка відповідає за візуалізацію карти та відображення об'єктів (рисунок 4.2).

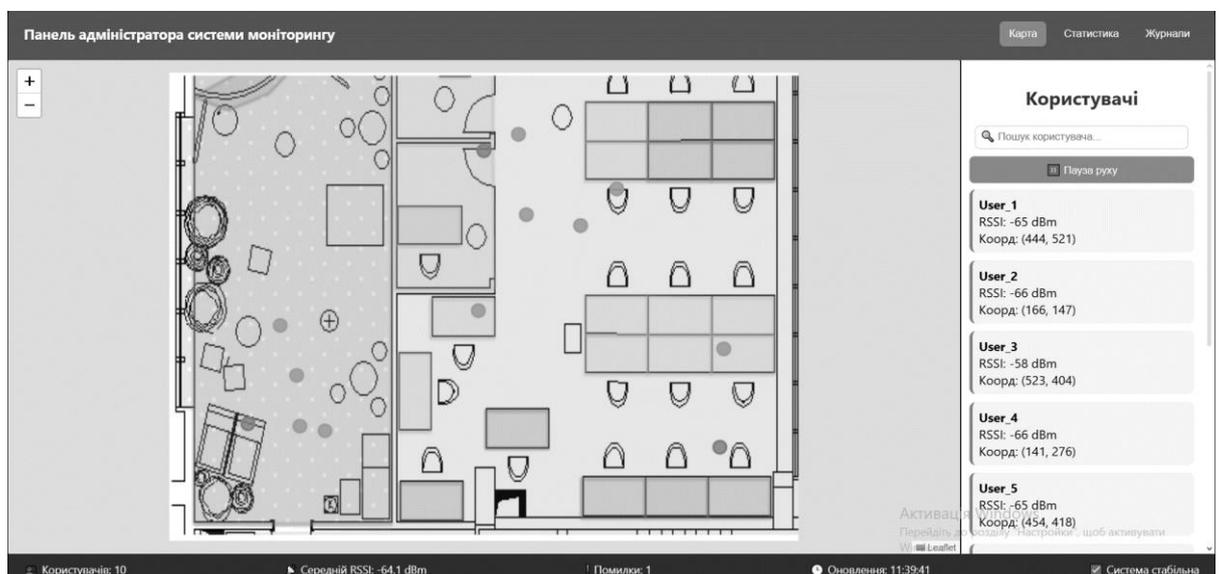


Рисунок 4.2 — Інтерфейс головної сторінки з картою системи моніторингу

Після відкриття сторінки користувач бачить панель адміністратора праворуч та план будівлі у вигляді інтерактивної карти ліворуч. На карті в реальному часі відображаються точки доступу (позначені синіми маркерами) та

активні користувачі (червоні маркери), положення яких змінюється кожні кілька секунд відповідно до даних, отриманих із сервера (рисунок 4.3). Маркер точки доступу підсвічується синім кольором, а при наведенні миші відображається підпис з ідентифікатором пристрою (рисунок 4.4).

Окрім відображення технічних параметрів роботи, система надає можливість пошуку конкретного користувача у межах будівлі або зони дії мережі. Ця функція реалізована через інтерактивне поле пошуку у верхній частині інтерфейсу. Адміністратор може ввести ім'я, ідентифікатор або логін користувача, після чого система миттєво знаходить відповідний запис у базі даних і підсвічує його положення на карті.

Якщо користувач активний, на плані будівлі з'являється маркер, який відображає його поточне місцезнаходження, визначене на основі середніх значень сигналу RSSI з навколишніх маячків. Колір маркера змінюється залежно від сили сигналу — від зеленого (стабільний зв'язок) до червоного (слабкий або нестабільний сигнал). При натисканні на маркер відкривається інформаційне вікно з детальною інформацією про користувача: ім'я, статус підключення, час останньої активності та рівень сигналу.

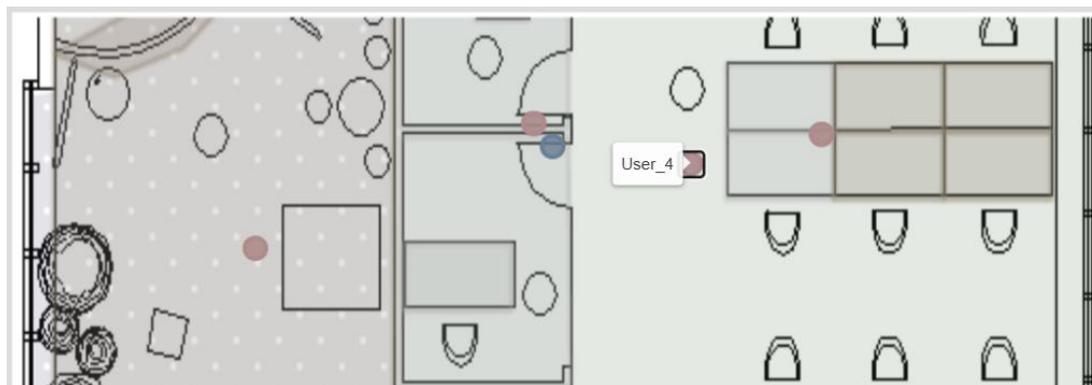


Рисунок 4.3 — Пошук користувача на карті будівлі

Для перевірки динаміки даних у реальному часі на сервері Flask було запущено симуляцію руху користувачів. Кожні 2,5 секунди координати користувачів змінювались у випадкових межах, а RSSI (рівень сигналу) коливався від -50 до -75 dBm. Відповідні зміни автоматично відображались у браузері без необхідності ручного оновлення сторінки. Це свідчить про стабільну

роботу клієнтського JavaScript-коду та правильно реалізований обмін даними між фронтендом і бекендом.

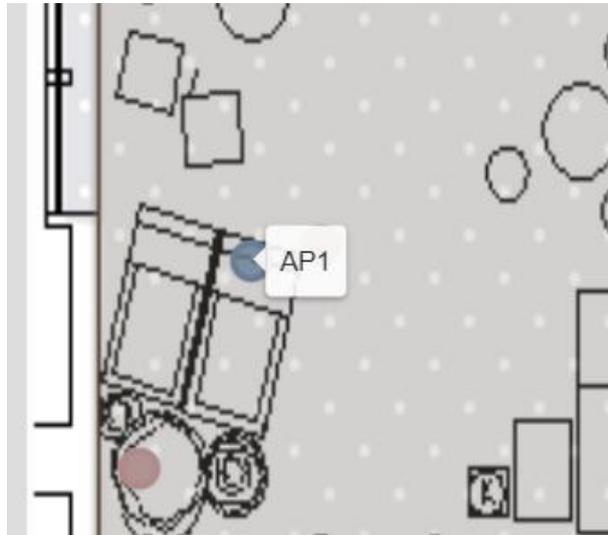


Рисунок 4.4 — Підпис з ідентифікатором пристрою

Окрему увагу приділено вкладці «Статистика», де здійснюється побудова графіка середніх значень сигналу RSSI у часі (рисунок 4.4). Основним елементом цієї вкладки є графік зміни середнього рівня сигналу RSSI (Received Signal Strength Indicator), що дозволяє оцінити якість зв'язку між користувацькими пристроями та точками доступу.

Побудова графіка реалізована за допомогою сучасної бібліотеки Chart.js, яка забезпечує плавну анімацію, оновлення даних без перезавантаження сторінки та підтримує інтерактивність (наведення курсора на точку відображає конкретне значення сигналу у певний момент часу). Графік побудовано у форматі лінійної діаграми, де вісь X відображає час оновлення системи, а вісь Y — середнє значення рівня RSSI у децибелах (dBm).

Оновлення даних здійснюється автоматично кожні 3 секунди, синхронно з оновленням позицій користувачів на карті. Після кожного циклу у базовому алгоритмі викликається функція, яка обчислює середній показник RSSI для всіх активних користувачів. Отримане значення передається у графік та додається як нова точка, що дозволяє формувати безперервну динаміку зміни сигналу.

Для забезпечення зручності перегляду застосовано механізм обмеження кількості відображуваних точок — на графіку одночасно виводяться останні десять оновлень. Це запобігає перевантаженню інтерфейсу і дає можливість адміністратору зосередитись на актуальних показниках. У випадку відхилень від норми або значного зниження рівня сигналу (наприклад, при втраті зв'язку з однією з точок доступу), на графіку можна помітити різкий спад кривої, що сигналізує про потенційну проблему у мережі.

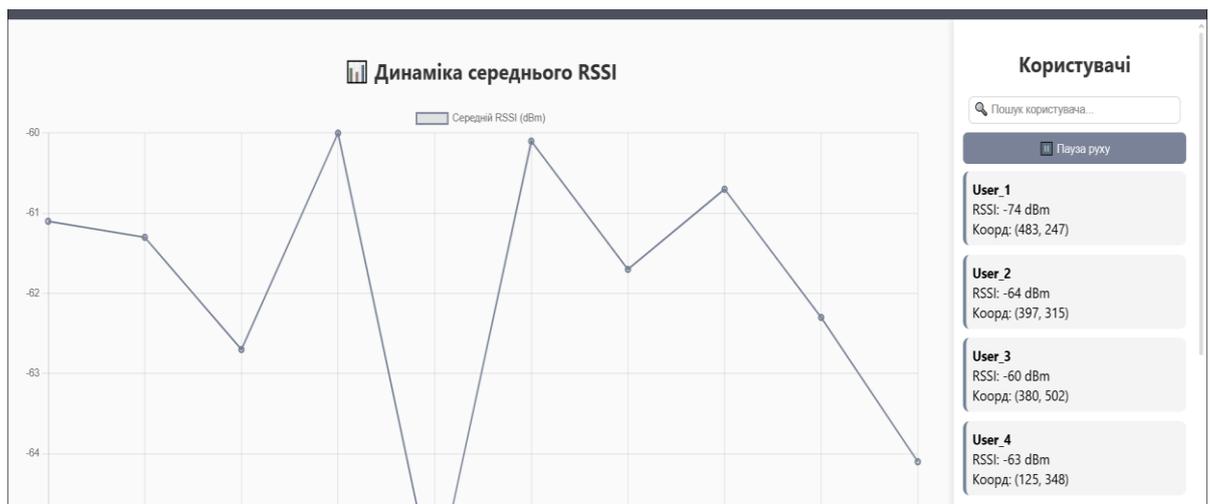


Рисунок 4.5 — Графіком зміни середнього RSSI

Ще однією важливою складовою тестування веб-застосунку є вкладка «Журнали», яка призначена для моніторингу системних подій, виявлення збоїв у роботі мережі та аналізу стабільності серверної частини. У цьому розділі відображаються усі ключові події, пов'язані з обміном даними між клієнтом і сервером: успішні оновлення позицій користувачів, відсутність сигналу від окремих точок доступу, неактивність BLE-маяків, або системні попередження про перевищення часу відповіді.

Для кожного запису у журналі вказано час події та текстове повідомлення, яке класифікується за типом: OK — успішне оновлення даних або стабільна робота системи; Warning / Error — повідомлення про тимчасову втрату сигналу або неактивність пристроїв; Critical — критичні помилки, які потребують негайного втручання адміністратора.

Завдяки цьому адміністратор має змогу в режимі реального часу відстежувати поточний стан мережі та реагувати на проблеми безпосередньо через інтерфейс системи. Для покращення сприйняття інформації, усі повідомлення мають кольорове маркування: зелені — успішні операції, червоні — помилки, жовті — попередження. Це дозволяє миттєво орієнтуватися у потоці даних навіть при великій кількості записів.

Додатково реалізовано функцію автоматичного оновлення журналу, яка синхронізується із загальним циклом оновлення системи (раз на 3 секунди). Нові записи додаються у верхню частину списку, зберігаючи хронологію подій, що дає змогу аналізувати тенденції збоїв або частоту помилок у конкретні часові проміжки.

Також у разі виникнення критичної події система відтворює звукове повідомлення (сигнал тривоги), що допомагає швидко звернути увагу адміністратора на інцидент.

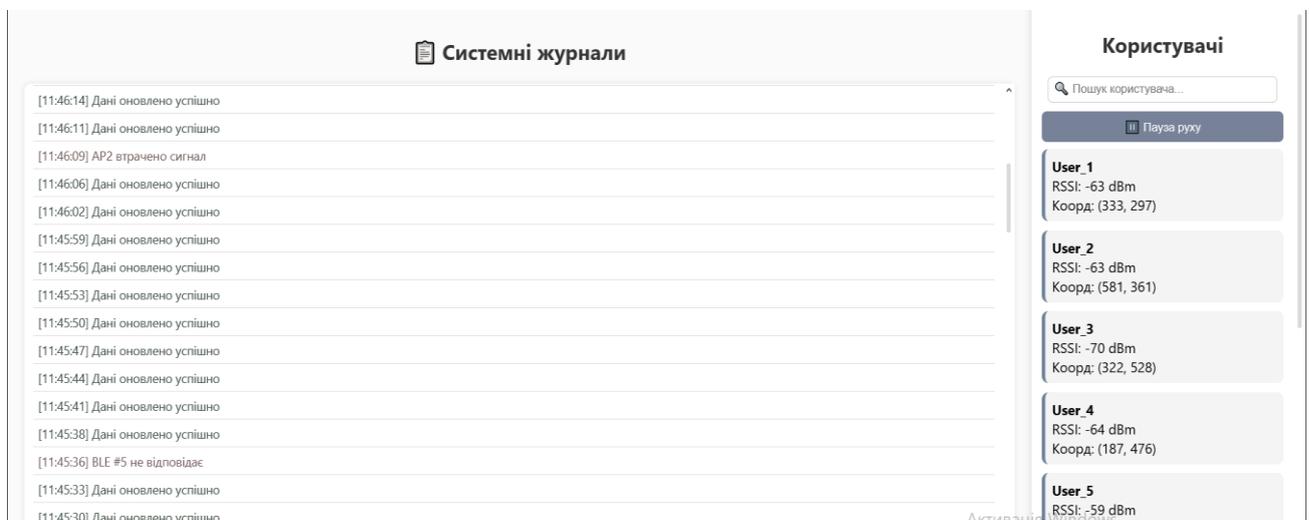


Рисунок 4.6 — Вкладка «Журнали» системи моніторингу

Також у нижній частині веб-застосунку реалізовано рядок стану системи моніторингу, який виконує роль інформаційної панелі для оперативного відображення поточного стану роботи системи в реальному часі. Даний елемент інтерфейсу є важливим компонентом з точки зору зручності адміністратора або оператора, адже дозволяє швидко оцінити працездатність

усіх підсистем без необхідності переходу між вкладками чи відкриття додаткових вікон (рисунок 4.6).

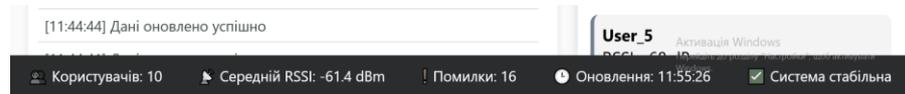


Рисунок 4.7 — Рядок стану системи моніторингу

У рядку стану відображаються такі ключові параметри:

- кількість активних користувачів, що показує кількість клієнтських пристроїв, що на даний момент передають дані сигналу RSSI до сервера. Це дає змогу контролювати рівень навантаження на систему та оперативно реагувати у разі різкого збільшення кількості підключень.

- середній рівень RSSI обчислюється як середнє значення сигналу з усіх активних користувачів. Цей показник дозволяє оцінити якість з'єднання у приміщенні та виявити можливі зони слабого покриття.

- кількість помилок, тобто лічильник, що збільшується при кожному невдалому запиті або при отриманні від клієнта некоректних даних. У разі появи помилок значення підсвічується червоним кольором, а при натисканні відкривається журнал логів.

- час останнього оновлення відображає момент останнього циклу отримання даних від клієнтів (у форматі год:хв:сек). Це допомагає контролювати, чи система оновлює дані відповідно до заданого інтервалу (3 секунди).

Рядок стану реалізовано з використанням JavaScript для динамічного оновлення значень та AJAX-запитів до серверного API. Кожні 3 секунди браузер надсилає запит `/api/status`, який повертає JSON-об'єкт із поточними параметрами системи. Після цього інтерфейс оновлює відповідні поля без перезавантаження сторінки.

Для візуального виділення критичних станів застосовано умовне форматування: зелений колір — стабільна робота, жовтий — попередження, червоний — критична помилка.

Реалізація рядка стану значно підвищила зручність експлуатації системи та зробила процес моніторингу більш прозорим і наочним. Завдяки постійному оновленню показників адміністратор може в реальному часі відстежувати як загальний стан серверної частини, так і поведінку окремих користувачів чи клієнтських пристроїв. Це мінімізує час на виявлення збоїв і дозволяє швидко реагувати на непередбачувані ситуації, наприклад, втрату сигналу чи перевантаження системи.

Під час тестування підтверджено, що модуль працює стабільно навіть за умови одночасного підключення великої кількості користувачів (до 100 одночасних сесій, змодельованих у JMeter). Оновлення показників не призводило до помітного збільшення затримки в інтерфейсі, що свідчить про ефективну оптимізацію запитів до API та кешування даних на стороні клієнта.

Крім того, реалізація статусного індикатора забезпечує високий рівень прозорості системи для користувача: навіть при мінімальних технічних знаннях оператор може одразу зрозуміти, чи працює система коректно, чи потрібно втрутитися. Це особливо важливо для систем моніторингу в реальному часі, де швидкість реакції на зміни є критичним чинником стабільності роботи комплексу.

Отже, рядок стану виконує не лише інформативну, а й діагностичну функцію, поєднуючи технічні параметри з елементами зручного інтерфейсу. Його впровадження дозволило підвищити рівень інтерактивності веб-застосунку та надати користувачам можливість отримувати актуальні дані про роботу системи без необхідності переглядати окремі журнали або статистичні звіти.

На цьому тестування інтерфейсу завершено.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення комерційного та технологічного аудиту є розробка комбінованої технології (Wi-Fi/Bluetooth) для забезпечення точного, надійного та економічно вигідного моніторингу місцезнаходження співробітників усередині будівлі.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету, кафедри обчислювальної техніки: професор Захарченко С. М., доцент Крупельницький Л. В., доцент Добровольська Н. В.

Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 4.1 [1] в якій за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів

Продовження табл. 5.1

Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 5.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 5.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 5.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Захарченко С. М.	Крупельницький Л. В.	Добровольська Н. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	4	4	3
2	3	3	3
3	4	4	4
4	3	3	3
5	4	4	3
6	3	3	4
7	3	3	2
8	4	4	4
9	4	3	4
10	5	4	4
11	4	3	2
12	4	4	4
Сума балів	СБ ₁ =49	СБ ₂ =42	СБ ₃ =41
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{49 + 42 + 41}{3} = 44$		

Середньоарифметична оцінка, отримана на основі експертних висновків, становить 44 бали, і згідно з таблицею 5.2, це вказує на високий рівень комерційного потенціалу результатів проведених досліджень.

Розроблена система моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі Wi-Fi/Bluetooth може бути впроваджена як локальне рішення у межах підприємства, де необхідний постійний контроль переміщення персоналу. Реалізація передбачає встановлення мережі точок доступу Wi-Fi або BLE-маячків у приміщеннях, а також розгортання серверної частини, що обробляє отримані від пристроїв дані про рівні сигналів. Веб-додаток забезпечує зручний інтерфейс для візуалізації руху, перегляду журналів активності та формування аналітичних звітів.

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом.

В якості аналога для розробки було обрано систему внутрішнього позиціонування BlueIoT, яка використовує технологію BLE-маячків для відстеження переміщення людей та обладнання в реальному часі.

Основними недоліками аналога є висока вартість обладнання, необхідність придбання фірмових маячків та серверного програмного забезпечення, а також складність масштабування у випадку збільшення площі покриття. Крім того, аналогічні комерційні рішення часто є закритими, що обмежує можливості кастомізації під потреби конкретного підприємства.

Також до недоліків можна віднести залежність від апаратних компонентів виробника, складність інтеграції з внутрішніми системами підприємства та відсутність можливості гнучко змінювати алгоритми визначення координат. Окремо варто відзначити, що деякі системи мають обмежену точність у складних умовах – наприклад, при наявності великої кількості перешкод, металевих конструкцій або перегородок.

У розробці дана проблема вирішується завдяки використанню відкритих технологій Wi-Fi та Bluetooth Low Energy, можливості самостійно формувати базу відбитків сигналів (Fingerprinting), а також реалізації власного алгоритму локалізації на основі k-NN. Це дозволяє адаптувати систему під конкретні умови будівлі, коригувати моделі обчислення координат, розширювати функціонал та інтегрувати модуль моніторингу з існуючими сервісами підприємства. Веб-

додаток забезпечує зручний інтерфейс для відображення позицій співробітників, збирання статистики та формування аналітичних даних.

Зроблено аналіз існуючих методів вирішення задачі, таких як трилатерація, триангуляція, метод TDoA, Fingerprinting, а також технологій Wi-Fi, BLE, UWB та RFID. Порівнявши їх, було визначено, що оптимальним для задачі моніторингу переміщення персоналу є поєднання Wi-Fi/BLE з методом Fingerprinting, оскільки воно не потребує дорогого обладнання та забезпечує високу точність у внутрішніх приміщеннях.

Також система випереджає аналог за такими параметрами, як:

- можливість повної кастомізації алгоритмів визначення позиції;
- нижча вартість впровадження за рахунок використання стандартної мережевої інфраструктури;
- масштабованість та простота розширення зони покриття;
- можливість інтеграції з внутрішніми сервісами підприємства (контроль доступу, ERP, системи безпеки);
- відкритість коду алгоритмів та логіки роботи;
- розроблений веб-інтерфейс, орієнтований на потреби конкретного підприємства.

В таблиці 5.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (5.1) та (5.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 5.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (5.1)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (5.2)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{3}{1,5} = 2;$$

$$q_2 = \frac{2}{0,6} = 3,33;$$

$$q_3 = \frac{25}{10} = 2,5;$$

$$q_4 = \frac{200}{50} = 2;$$

$$q_5 = \frac{160}{120} = 1,33.$$

Таблиця 5.4 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Точність позиціонування, м	3.0	1.5	2	30%
Затримка оновлення даних, с	2.0	0.6	3,33	25%
Енергоспоживання маячків, мВт	25	10	2,5	20%
Масштабованість (кількість одночасних трекінгів), осіб	50	200	2	15%
Покриття однієї точки доступу, м ²	120	160	1,33	10%

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 2 \cdot 0,3 + 3,33 \cdot 0,25 + 2,5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 1,33 \cdot 0,1 = 2,37$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В таблиці 5.5 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 5.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
<i>1. Нормативно-технічні показники</i>		
Точність позиціонування, м	3.0	1.5
Затримка оновлення даних, с	2.0	0.6
Енергоспоживання маячків, мВт	25	10
Масштабованість (кількість одночасних трекінгів), осіб	50	200
Покриття однієї точки доступу, м ²	120	160
<i>2. Економічні показники</i>		
Ціна придбання, грн	85 000	45 000

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (5.4)$$

де $I_{m.n.}$ – індекс технічних параметрів;

$I_{e.n.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (5.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (5.5)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{45000}{85000} = 0,53;$$

$$K = \frac{2,37}{0,53} = 4,47.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

Запропонована система моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі Wi-Fi/Bluetooth має значний соціальний ефект.

Передусім, вона підвищує рівень безпеки персоналу, оскільки дозволяє швидко визначити місцезнаходження працівника у разі аварійної ситуації, пожежі чи нештатного випадку. Це суттєво зменшує ризик втрати життя або здоров'я, прискорює евакуацію та оптимізує дії рятувальних служб.

Також система сприяє покращенню умов праці, оскільки дає можливість контролювати навантаження на персонал, уникати перевтоми та оптимально розподіляти завдання. Це позитивно впливає на якість життя співробітників, зменшує стрес і створює комфортніші умови роботи.

Крім того, впровадження системи підвищує загальний рівень цифрової культури підприємства, що відкриває шлях до модернізації інших процесів і вдосконалення корпоративної інфраструктури

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові

відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

Основна заробітна плата кожного із дослідників Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} * t \text{ (грн)}, \quad (5.6)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p \approx 21...23$ дні;

t – число робочих днів роботи дослідника.

Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.6.

Таблиця 5.6 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	16000	761,9	5	3810
Інженер-розробник	14000	666,7	41	27333
Всього				31143

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника на виконання певної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середня кількість робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників

Таблиця 5.7 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
1. Підготовчі	2	1	47,6	95,2
2. Монтажні	2	3	64,3	128,6
3. Інтеграційні	2	5	81,0	161,9
4. Налагоджувальні	6	2	52,4	314,3
5. Випробувальні	4	4	71,4	285,7
Всього				985,7

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 11% від основної заробітної плати.

$$Z_d = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{дод}}}{100\%} \quad (5.9)$$

$$Z_d = 0,11 * (31143 + 985,7) = 3534,14 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату $H_{3П}$ дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (5.10):

$$H_{3П} = (Z_o + Z_p + Z_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)}, \quad (5.10)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

Z_p – основну заробітну плату робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$H_{3П} = (31143 + 985,7 + 3534,14) * \frac{22}{100} = 7845,8 \text{ (грн)}$$

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби й предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за прямим призначенням згідно з нормами їх витрачання, а також витрачені придбані напівфабрикати, що підлягають монтажу або виготовленню й додатковій обробці в цій організації, чи дослідні зразки, що виготовляються виробниками за документацією наукової організації.

Витрати на матеріали (М) у вартісному вираженні розраховуються окремо для кожного виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n H_j \cdot \text{Ц}_j \cdot K_j - \sum_{i=1}^n B_j \cdot \text{Ц}_{вj}, \quad (5.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

Ц_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$\text{Ц}_{вj}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведені в таблицю 5.8.

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{\text{Ц}_б}{T_е} \cdot \frac{t_{вук}}{12}, \quad (5.12)$$

де $\text{Ц}_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вук}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_е$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці 5.9.

До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot \text{Ц}_e \cdot K_{впi}}{\eta_i}, \quad (5.13)$$

де W_{yt} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{впі}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впі} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Таблиця 5.8 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, шт	Вартість витраченого матеріалу, грн
BLE-маяки тестові (наклейки, 1 шт)	60	5	300
Wi-Fi тестовий модуль ESP32	250	1	250
Кабель мережевий UTP (1 м)	12	5	60
Канцелярія (папір, маркери, стікери)	200	1	200
Хмарний сервер (тестовий тариф, 1 місяць)	150	1	150
Електроенергія для роботи обладнання (орієнтовно, кВт·год)	5	10	50
З врахуванням коефіцієнта транспортування			1111

Для написання магістерської роботи використовується персональний комп'ютер для якого розрахуємо витрати на електроенергію.

$$B_e = \frac{0,5 \cdot 220 \cdot 12,69 \cdot 0,5}{0,8} = 713,81$$

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{\text{CB}} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{CB}}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{CB} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{\text{CB}} = 0,2 * (31143 + 985,7) = 6425,71$$

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютер	25000	2	2	2083,33
Wi-Fi/Bluetooth маршрутизатор	4000	2	2	333,33
Всього				2416,67

Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{НЗВ}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{НЗВ}}$ можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$V_{\text{НЗВ}} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{НЗВ}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де $H_{\text{НЗВ}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{\text{НЗВ}} = (31143 + 985,7) * \frac{100}{100\%} = 32128,57 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$B=31143+985,7+3534,14+7845,8+1111+2416,67+713,81+6425,71+32128,57=86462,90\text{грн}$$

Прогнозування загальних втрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\eta}, \quad (5.16)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт $\beta = 0,7$. Звідси:

$$ЗВ = \frac{86462,90}{0,7} = 123518,43 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (5.17)$$

де ΔC_o – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

C_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

l – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $l = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. $p = 0,25$;

x – ставка податку на прибуток. У 2025 році – 18%.

Припустимо, що ціна зросте на 1000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 60 шт., протягом другого року – на 70 шт., протягом третього року на 90 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до 45000 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_1 &= [1000 \cdot 1 + (45000 + 1000) \cdot 60] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 471651,97 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= [1000 \cdot 1 + (45000 + 1000) \cdot (60 + 70)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 1022542,5 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [1000 \cdot 1 + (45000 + 1000) \cdot (60 + 70 + 90)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 1729764,2 \text{ грн.} \end{aligned}$$

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot ЗВ, \quad (5.18)$$

$k_{\text{інв}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ($k_{\text{інв}} = 2 \dots 5$).

$$PV = 2 \cdot 123518,43 = 247036,86$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ згідно наступної формули:

$$E_{\text{абс}} = (ПП - PV) \quad (5.19)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДЦКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{471651,97}{(1 + 0,2)^1} + \frac{1022542,5}{(1 + 0,2)^2} + \frac{1729764,2}{(1 + 0,2)^3} = 2108819,09 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{абс}} = (2108819,09 - 247036,86) = 1861782,23 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього користуються формулою:

$$E_e = T_{ж} \sqrt[3]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.21)$$

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{1861782,23}{247036,86}} - 1 = 1,52 = 152\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.22)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23$$

Так як $E_e > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e} \quad (5.23)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{1,52} = 0,7 \text{ роки}$$

Так як $T_{ок} \leq 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

5.5 Висновки до економічного розділу

Результати здійсненого технологічного аудиту вказують на високий рівень комерційного потенціалу. У порівнянні з аналогічним виробом виявлено, що нова розробка вищої якості і більш конкурентоспроможна, як з технічних, так і економічних позначень.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 0,7 роки. Загальні витрати складають 123518,43 грн.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було розроблено систему моніторингу та контролю розташування працівників у офісі. Створена система виступає як інноваційне рішення для організацій, що потребують постійного відстеження активності персоналу, обладнання або відвідувачів у межах певної території. Головна перевага полягає в інтеграції технологій збору даних із бездротових мереж, інтелектуальної обробки показників RSSI (Received Signal Strength Indicator) та наочному відображенні результатів у режимі реального часу. Це забезпечує підвищення ефективності управління, контроль безпеки та можливість аналітичного оцінювання діяльності у визначених зонах.

У першому розділі було проведено аналіз сучасних методів позиціонування користувачів у приміщеннях, розглянуто принцип дії технології Fingerprinting, особливості використання RSSI у задачах просторового моніторингу, а також виконано порівняння існуючих аналогів систем.

У другому розділі обґрунтовано вибір технологій і засобів розробки веб-додатку. Зокрема, описано архітектуру «клієнт — сервер», використання середовища Visual Studio Code, технологій Flask, Node.js, JavaScript, SQLite та бібліотек Leaflet.js і Chart.js, які забезпечують інтерактивність та гнучкість системи.

У третьому розділі було розроблено структуру системи моніторингу, створено базу знань (Knowledge Base) для зберігання «відбитків» сигналів (Fingerprint data), спроектовано базу даних і реалізовано користувацький інтерфейс. Веб-додаток дає змогу переглядати карту з розташуванням користувачів, динамічно оновлювати їх координати, контролювати середній рівень сигналу та фіксувати помилки системи.

У четвертому розділі проведено тестування програмного забезпечення, що охоплює перевірку коректності інтерфейсу, функцій оновлення даних, роботи бази даних, навантажувальні тести з використанням Postman та Apache JMeter, а також аналіз отриманих результатів. Було підтверджено стабільну роботу веб-

застосунку, коректність відображення інформації в реальному часі та зручність користування для адміністратора системи.

У п'ятому розділі було виконано економічні розрахунки, в результаті яких зроблено висновок, що потенційна зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки є досить високою.

Проведене дослідження підтвердило ефективність застосування веб-технологій для реалізації систем моніторингу на базі Wi-Fi / BLE-сигналів. Створений веб-додаток має гнучку архітектуру, зручний інтерфейс і може бути адаптований для різних сфер — від управління доступом у приміщення до аналітики переміщень персоналу на виробництві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 BlueIoT Solutions [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.blueiot.com/solutions>
- 2 Indoor Navigation: Lost in Shopping Mall [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.50northspatial.org.ua/ua/indoor-navigation-lost-in-shopping-mall>
- 3 Як працює внутрішнє позиціонування [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://a5.ua/uk/blog/yak-pracyue-vnutrishne-poziciyuvannya>
- 4 Сучасні технології позиціонування користувачів у приміщеннях [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/031db61e-82b8-4ec0-8b0b-b93c45003aef>
- 5 Що таке Wi-Fi і як він працює [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ipnet.ua/blog/shto-take-Wi-Fi-i-yak-vin-pratsyuue>
- 6 Bluetooth з низьким енергоспоживанням [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_з_низьким_енергоспоживанням
- 7 Розширення технології UWB [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://bizmag.com.ua/rozshyrennia-tekhnologii-uwb>
- 8 RFID — принцип роботи [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/infa1/rfid>
- 9 Принцип роботи Wi-Fi [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.briz.ua/help/princip-raboty-wi-fi>
- 10 Fingerprint Technology Overview [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://fingerprint.com>
- 11 Bluetooth Low Energy (BLE): A Comprehensive Overview [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cqr.company.ua/wiki/protocols/bluetooth-low-energy-ble-a-comprehensive-overview>

- 12 Триангуляція (геодезія) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Триангуляція_\(геодезія\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Триангуляція_(геодезія))
- 13 Трилатерація [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Трилатерація>
- 14 Методи визначення положення користувачів у системах навігації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/1133>
- 15 The Role and Function of TDoA in UAV Positioning [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ua.alasartech-security.com/info/the-role-and-function-of-tdoa-uav-positioning-100024425.html>
- 16 BlueIoT Blog [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.blueiot.com/blueiot-blog>
- 17 Принцип роботи Wi-Fi [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.briz.ua/help/princip-raboty-wi-fi>
- 18 BLE — Bluetooth Low Energy [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://oxorona.com/ble-bluetooth-low-energy>
- 19 BLE vs Wi-Fi: What You Need to Know [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://elainnovation.com/en/ble-vs-wi-fi-what-you-need-to-know>
- 20 Indoor Tracking: Контроль і безпека співробітників всередині приміщень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ukrevro.com/statti/indoor-tracking-kontrol-i-bezpeka-spivrobotnykiv-vseredyni-prymishhen>
- 21 BLE-маячок UMT [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.umat.ua/products/ble-mayachok>
- 22 ESP32 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ESP32>
- 23 Node.js — проєкт та його особливості [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://nodejs.org/uk/about>
- 24 Що таке Fingerprint та як його змінити [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

https://proxyseller.com/ua/blog/shcho_take_fingerprint_yak_yogo_pereviriti_ta_zminiti

25 REST — Архітектурний стиль взаємодії систем [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/REST>

26 Received Signal Strength Indication (RSSI): детальний огляд [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.hdv-fiber.com/uk/news/what-is-the-received-signal-strength-indication-rssi-in-detail>

27 What is Software Testing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://university.sigma.software/what-is-software-testing>

28 Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

проф., д.т.н.. Азаров О.Д..

“ ” вересня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

“ Технологія моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі
WI-FI/BLUETOOTH ”

Науковий керівник: доцент

д.ф. доц. каф.ОТ

_____ Обертюх М. Р.

Студент групи 1КІ-24м

_____ Жученко А. С.

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Актуальність теми дослідження полягає в тому, що розроблювана система моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі технологій Wi-Fi та Bluetooth забезпечує швидке та точне визначення позиції користувачів у реальному часі. Це дозволяє підвищити рівень безпеки, контролю доступу та ефективності управління персоналом у великих офісах, навчальних або виробничих комплексах. Впровадження такої технології є актуальним у сучасних умовах цифровізації, оскільки вона сприяє оптимізації робочих процесів, запобіганню несанкціонованому перебуванню у заборонених зонах та покращує загальний рівень організації простору та безпеки в установі.

1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи – розробка комбінованої технології (Wi-Fi/Bluetooth) для забезпечення точного, надійного та економічно вигідного моніторингу місцезнаходження співробітників усередині будівлі.

2.2 Призначення розробки — визначається необхідністю створення веб-додатку, який забезпечить підприємству або організації повний контроль за переміщенням співробітників у будівлі, дозволяючи відстежувати їхнє місцезнаходження в реальному часі за допомогою технологій Wi-Fi та Bluetooth.

3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Проведення аналізу існуючих методів та принципів.

3.2 Розробка алгоритму роботи веб-додатку.

3.4 Проведення верифікації та аналізу отриманих результатів.

3.5 Виконання розрахунків для доведення доцільності нової розробки з економічної точки зору.

4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — щоб система давала інформаційну підтримку користувачам щодо поточного місцезнаходження співробітників у будівлі,

забезпечуючи візуалізацію їхнього руху на карті приміщення, а також доступ до статистичних даних про активність, рівень сигналу та зони перебування. Система повинна працювати в режимі реального часу, гарантуючи точність позиціонування та надійність обміну даними між сервером і клієнтом.

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз існуючих технологій, огляд аналогів.			Розділ 1
2	Визначення архітектури веб-додатку			Розділ 2
3	Розробка алгоритму та функціоналу веб-додатку			Розділ 3
4	Тестування системи			Розділ 4
4	Підготовка економічної частини			Розділ 5
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації			ПЗ, графічний матеріал і презентація
7	Підготовка і підпис супроводжуючих документів, нормоконтроль та тест на плагіат			Оформленні документи

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104–2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»;

— документи на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ–03.02.02

П.001.01:21

ДОДАТОК Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

Назва роботи: _____ Технологія моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі на основі WI-FI/BLUETOOTH _____

Тип роботи: _____ магістерська кваліфікаційна робота _____

Підрозділ: _____ кафедра обчислювальної техніки _____

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism (КПІ) 2 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ✓ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

_____ Азаров О. Д. д.т.н. зав. каф. ОТ _____

_____ Мартинюк Т. Б. д.т.н. зав. каф. ОТ _____

Особа, відповідальна за перевірку _____ Захарченко С. М. _____

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Обертюх М. Р. _____

Здобувач _____ Жученко А. С. _____

ДОДАТОК В

Блок-схема циклу обробки запиту



Рисунок В1. — Блок-схема алгоритму

ДОДАТОК Г

Схема системи внутрішнього позиціонування

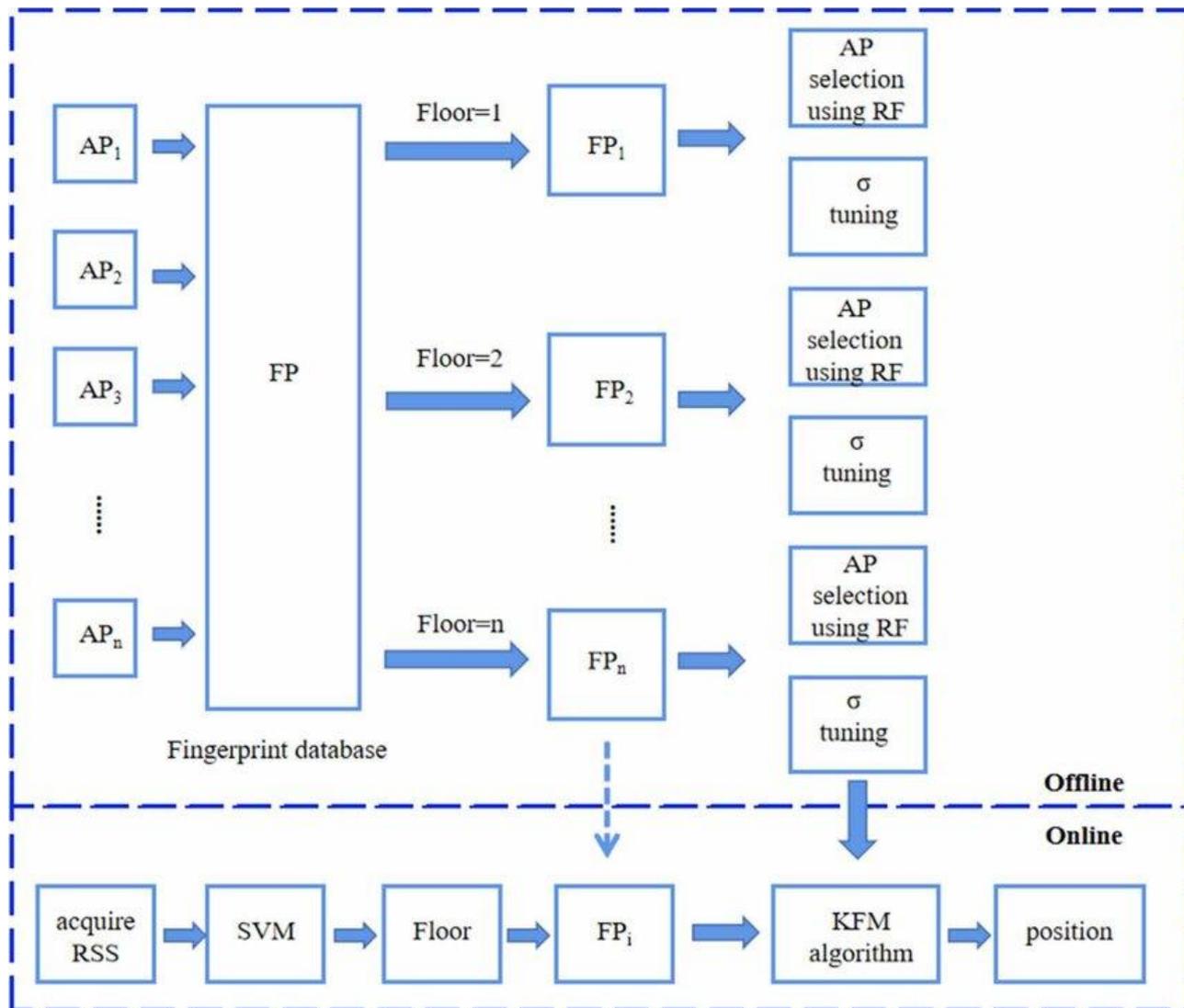


Рисунок Г1. — Схема системи внутрішнього позиціонування

ДОДАТОК Д

Схема позиціонування в приміщенні за допомогою вузлів Bluetooth

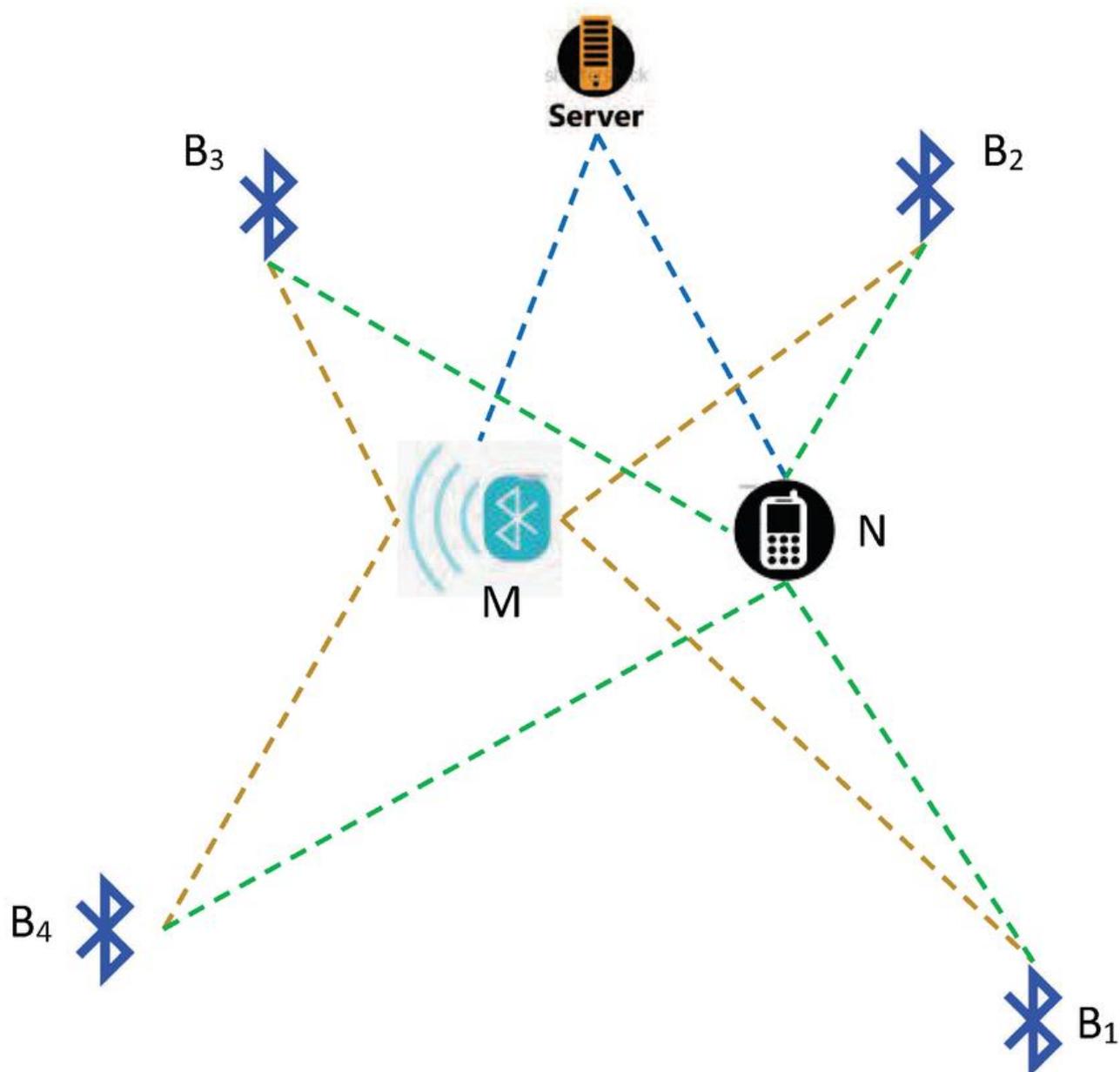


Рисунок Д1. — Схема позиціонування в приміщенні за допомогою вузлів Bluetooth

ДОДАТОК Е

Лістинг реалізації алгоритму для локалізації користувачів

```
from flask import Flask, request, jsonify
import numpy as np
import psycopg2
import json
from datetime import datetime

app = Flask(__name__)

# Параметри підключення до бази даних
DB_CONFIG = {
    "dbname": "tracking_db",
    "user": "admin",
    "password": "password",
    "host": "localhost"
}

def calculate_position(measured_rssi):
    """Алгоритм локалізації користувача на основі k-NN"""
    conn = psycopg2.connect(**DB_CONFIG)
    cursor = conn.cursor()
    # Отримуємо карту відбитків (Fingerprint Map)
    cursor.execute("SELECT x, y, rssi_values FROM fingerprints")
    fingerprints = cursor.fetchall()
    distances = []
    for x, y, rssi_values in fingerprints:
        # Якщо RSSI збережений як JSON — декодуємо
        if isinstance(rssi_values, str):
            rssi_values = json.loads(rssi_values)
        stored = np.array(rssi_values)
        diff = np.linalg.norm(stored - np.array(measured_rssi))
        distances.append((diff, (x, y)))
```

```

# Вибираємо k найближчих точок
k = 3
nearest = sorted(distances, key=lambda d: d[0])[:k]
# Зважене середнє
weights = [1 / d[0] if d[0] != 0 else 1 for d in nearest]
x = sum(w * p[0] for w, (_, p) in zip(weights, nearest)) / sum(weights)
y = sum(w * p[1] for w, (_, p) in zip(weights, nearest)) / sum(weights)
conn.close()
return round(x, 2), round(y, 2)
@app.route('/api/localize', methods=['POST'])
def localize_user():
    """Приймає RSSI від клієнта та повертає позицію користувача"""
    data = request.get_json()
    measured_rssi = data.get("rssi", [])
    if not measured_rssi or not isinstance(measured_rssi, list):
        return jsonify({"error": "Некоректні дані RSSI"}), 400
    try:
        x, y = calculate_position(measured_rssi)
        # Запис координат у лог
        conn = psycopg2.connect(**DB_CONFIG)
        cursor = conn.cursor()
        cursor.execute("""
            INSERT INTO rssi_log (timestamp, rssi_values, x, y)
            VALUES (%s, %s, %s, %s)
            """, (datetime.now(), json.dumps(measured_rssi), x, y))
        conn.commit()
        conn.close()
        return jsonify({
            "x": x,

```

```
"y": y,
"status": "ok",
"timestamp": datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
})
except Exception as e:
    return jsonify({"error": str(e)}), 500
@app.route('/')
def index():
    return "<h3>API локалізації працює 🇺🇦 </h3><p>POST /api/localize</p>"
if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

ДОДАТОК Ж

Лістинг коду розробки інтерфейсу системи

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Панель адміністратора — Система моніторингу</title>
  <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.css" />
  <script src="https://unpkg.com/leaflet/dist/leaflet.js"></script>
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
</head>
<body>
  <div id="navbar">
    <h1>Панель адміністратора системи моніторингу</h1>
    <button class="tab active" data-tab="map">Карта</button>
    <button class="tab" data-tab="stats">Статистика</button>
    <button class="tab" data-tab="logs">Журнали</button>
  </div>
  <div id="main">
    <div id="map" class="active"></div>
    <div id="stats">
      <h2>Динаміка середнього RSSI</h2>
      <canvas id="rssChart"></canvas>
    </div>
    <div id="logs">
      <h2>Системні журнали</h2>
      <div id="log-list"></div>
    </div>
    <div id="info-panel">
      <h2>Користувачі</h2>
```

```

<input type="text" id="search-box" placeholder="Пошук користувача..." />
<button id="pause-btn">  Пауза руху</button>
<div id="info-content">Завантаження...</div>
</div>
</div>
<div id="status-bar">
  <span id="user-count"> Користувачів: 0</span>
  <span id="avg-rssi"> Середній RSSI: —</span>
  <span id="error-count"> Помилки: 0</span>
  <span id="last-update"> Оновлення: —</span>
  <span id="system-status"> Система стабільна</span>
</div>
<audio id="alert-sound"
src="https://actions.google.com/sounds/v1/alarms/beep_short.ogg"></audio>
<script>
  document.querySelectorAll(".tab").forEach(btn => {
    btn.addEventListener("click", () => {
      document.querySelectorAll(".tab").forEach(t => t.classList.remove("active"));
      btn.classList.add("active");
      const tab = btn.dataset.tab;
      document.querySelectorAll("#map, #stats, #logs").forEach(d =>
d.classList.remove("active"));
      document.getElementById(tab).classList.add("active");
    });
  });
  const map = L.map('map', { crs: L.CRS.Simple, minZoom: -1, maxZoom: 2 });
  const bounds = [[0,0], [600,800]];
  L.imageOverlay('1.png', bounds).addTo(map);
  map.fitBounds(bounds);
  const aps = [

```

```

    { id: "AP1", x: 100, y: 150 },
    { id: "AP2", x: 700, y: 120 },
    { id: "AP3", x: 400, y: 500 }
  ];
  aps.forEach(ap => {
    L.circleMarker([ap.y, ap.x], { radius: 8, color: '#007bff', fillColor: '#007bff',
fillOpacity: 0.8 })
      .addTo(map).bindTooltip(ap.id);
  });
  let users = Array.from({length: 10}, (_, i) => ({
    id: i+1,
    name: "User_" + (i+1),
    x: Math.random()*700 + 50,
    y: Math.random()*500 + 50,
    rssi: -50 - Math.floor(Math.random() * 25)
  }));
  const userMarkers = {};
  users.forEach(u => {
    const m = L.circleMarker([u.y, u.x], {
      radius: 8, color: '#ff3b3b', fillColor: '#ff3b3b', fillOpacity: 0.9
    }).addTo(map).bindTooltip(u.name);
    userMarkers[u.id] = m;
  });
  const logs = document.getElementById("log-list");
  const chart = new Chart(document.getElementById("rssiChart"), {
    type: 'line',
    data: { labels: [], datasets: [{ label: 'Середній RSSI (dBm)', data: [], borderColor:
'#2563eb', borderWidth: 2, fill: false } ] },
    options: { scales: { y: { beginAtZero: false } } }
  });

```

```

let paused = false;
let errorCount = 0;
document.getElementById("pause-btn").onclick = () => {
  paused = !paused;
  document.getElementById("pause-btn").classList.toggle("paused", paused);
  document.getElementById("pause-btn").textContent = paused ? "▶ Продовжити
пyx" : "⏸ Пауза pyxy";
};
document.getElementById("search-box").addEventListener("input", e => {
  const text = e.target.value.toLowerCase();
  document.querySelectorAll(".info-item").forEach(i => {
    i.style.display = i.textContent.toLowerCase().includes(text) ? "block" : "none";
  });
});
function moveUsers() {
  if (paused) return;
  users = users.map(u => ({
    ...u,
    x: Math.min(Math.max(u.x + (Math.random() * 60 - 30), 50), 750),
    y: Math.min(Math.max(u.y + (Math.random() * 50 - 25), 50), 550),
    rssi: -50 - Math.floor(Math.random() * 25)
  }));
  users.forEach(u => userMarkers[u.id].setLatLng([u.y, u.x]));
  updatePanels();
}
function updatePanels() {
  const avgRSSI = (users.reduce((s, u) => s + u.rssi, 0) / users.length).toFixed(1);
  const time = new Date().toLocaleTimeString();
  document.getElementById("user-count").textContent = `👤 Користувачів:
${users.length}`;

```

```

document.getElementById("avg-rssi").textContent = `📶 Середній RSSI:
${avgRSSI} dBm`;

document.getElementById("last-update").textContent = `🕒 Оновлення:
${time}`;

const info = document.getElementById("info-content");
info.innerHTML = "";
users.forEach(u => {
  const div = document.createElement("div");
  div.classList.add("info-item");
  div.innerHTML = `<strong>${u.name}</strong><br>RSSI:  ${u.rssi}
dBm<br>Коорд: (${Math.round(u.x)}, ${Math.round(u.y)})`;
  div.onclick = () => {
    map.setView([u.y, u.x], 1);
    highlightUser(u.id);
  };
  info.appendChild(div);
});

const status = document.getElementById("system-status");
const chance = Math.random();
if (chance < 0.08) {
  status.textContent = "⚠️ Відсутній сигнал від AP2";
  status.classList.add("error");
  addLog("error", "AP2 втрачено сигнал");
  errorCount++;
  playAlert();
} else if (chance < 0.12) {
  status.textContent = "BLE-маяк #5 неактивний";
  status.classList.add("error");
  addLog("error", "BLE #5 не відповідає");
  errorCount++;
}

```

```

    playAlert();
  } else {
    status.textContent = " Система стабільна";
    status.classList.remove("error");
    addLog("ok", "Дані оновлено успішно");
  }
  document.getElementById("error-count").textContent = `! Помилки:
  ${errorCount}`;
  // Оновлення графіка
  chart.data.labels.push(time);
  chart.data.datasets[0].data.push(avgRSSI);
  if (chart.data.labels.length > 10) {
    chart.data.labels.shift();
    chart.data.datasets[0].data.shift();
  }
  chart.update();
}
function addLog(type, msg) {
  const div = document.createElement("div");
  div.classList.add("log-item", type);
  div.textContent = `[${new Date().toLocaleTimeString()}] ${msg}`;
  logs.prepend(div);
}
function highlightUser(id) {
  Object.values(userMarkers).forEach(m => m.setStyle({ radius: 8 }));
  userMarkers[id].setStyle({ radius: 12, color: '#22c55e', fillColor: '#22c55e' });
}
</script>
</body>
</html>

```