

ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ СПІВРОБІТНИКІВ У БУДІВЛІ НА ОСНОВІ WI-FI/BLUETOOTH

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз сучасних технологій внутрішнього позиціонування, визначено вимоги до системи моніторингу для відстеження місцезнаходження співробітників у приміщенні на основі сигналів Wi-Fi та Bluetooth.

Ключові слова: внутрішнє позиціонування, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, моніторинг, веб-додаток, локалізація.

Abstract

An analysis of modern indoor positioning technologies was conducted, system requirements were defined for real-time employee location tracking based on Wi-Fi and Bluetooth signals was developed.

Keywords: indoor positioning, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, monitoring, web application, localization.

Вступ

Система моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі — це сучасний інструмент цифровізації підприємства, що дозволяє підвищити рівень безпеки, оперативності та ефективності внутрішніх процесів. Використання таких систем стає актуальним для компаній, де важливо контролювати доступ до приміщень, координувати роботу персоналу, своєчасно реагувати на інциденти або оптимізувати пересування співробітників. По суті, це технологічне рішення, яке забезпечує автоматизований збір і обробку даних про місцезнаходження людини за допомогою мережевих технологій.

Основою системи виступають Wi-Fi та Bluetooth — технології, що дозволяють відстежувати переміщення у режимі реального часу без необхідності встановлення дорогого обладнання. Такий підхід робить систему не лише ефективною, а й економічно вигідною, оскільки використовує наявну інфраструктуру підприємства. Програмна частина обробляє отримані сигнали, інтерпретує їх у координати та відображає на веб-інтерфейсі взаємодії.

Основна частина

Моніторинг місцезнаходження співробітників усередині будівлі — це важлива складова сучасних систем безпеки та управління підприємством. У межах цифровізації виробництва зростає потреба в інструментах, які дозволяють не лише фіксувати переміщення персоналу, але й аналізувати отримані дані для оптимізації процесів. Традиційні методи контролю, такі як ручні журнали або системи пропусків, вже не забезпечують потрібного рівня точності та оперативності.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку таких систем є використання Wi-Fi та Bluetooth. Обидві технології давно присутні у більшості підприємств та офісних приміщень, що робить їх доступним інструментом для реалізації системи позиціонування без значних фінансових витрат на додаткове обладнання.

Wi-Fi-позиціонування ґрунтується на вимірюванні сили сигналу (RSSI) від точок доступу, розташованих у будівлі. Кожен смартфон або носимий трекер постійно взаємодіє з Wi-Fi-інфраструктурою, що дозволяє системі аналізувати інтенсивність сигналів і визначати приблизні координати користувача. Точність залежить від кількості точок доступу, їх щільності та характеристик приміщення.

Bluetooth Low Energy (BLE), у свою чергу, забезпечує більш високу стабільність сигналу на коротких дистанціях. BLE-маяки (beacons) можуть передавати пакети сигналів, які приймаються смартфоном, а система на основі аналізу цих пакетів визначає місцезнаходження користувача з точністю до 1–3 метрів. Це робить BLE чудовим вибором для офісних та виробничих приміщень.

Поєднання Wi-Fi та Bluetooth дає змогу досягти значно кращого результату, ніж використання однієї технології. Wi-Fi охоплює більшу площу, а BLE компенсує нестачу точності у критичних зонах. Такий гібридний підхід дозволяє будувати масштабовані системи моніторингу, які можуть працювати у режимі реального часу.

Однією з ключових проблем внутрішнього позиціонування є значне шумове забруднення сигналу. Стінні перегородки, металеві конструкції, офісні меблі та навіть присутність людей впливають на RSSI. Тому алгоритми, що використовуються для позиціонування, повинні враховувати ці фактори та забезпечувати фільтрацію даних.

Одним з найбільш оптимальних рішень є алгоритм k-Nearest Neighbors (k-NN), який визначає місцезнаходження користувача шляхом пошуку найбільш схожих радіовідбитків (fingerprints), заздалегідь зібраних у базу. Такий підхід дозволяє компенсувати вплив шумів та забезпечує більш стабільні результати.

Для роботи системи необхідно створити карту відбитків — набір точок усередині будівлі, у яких попередньо зібрані значення RSSI від усіх доступних точок доступу та BLE-маяків. Під час реального використання система порівнює виміряні сигнали з цими даними та визначає найбільш схожі позиції.

Наступним елементом є серверна частина, яка відповідає за прийом сигналів, виконання алгоритму позиціонування та передачу координат у веб-інтерфейс. Важливим завданням є оптимізація обчислень, оскільки місцезнаходження повинно оновлюватися кожні кілька секунд для забезпечення реального часу. База даних відіграє центральну роль, оскільки містить “радіокарту” будівлі, журнали переміщень, інформацію про користувачів, точки доступу та BLE-маяки. Важливо забезпечити її швидкодію та мінімізувати затримки при виконанні запитів.

Користувацький інтерфейс (веб-додаток) є однією з найважливіших складових системи. Він дозволяє адміністраторам переглядати карту приміщення, бачити місцезнаходження кожного співробітника у реальному часі, фільтрувати дані, переглядати історію переміщень та формувати аналітичні звіти. Використання інтерактивної карти забезпечує зручність сприйняття інформації. Адміністратор може швидко знайти потрібного співробітника, відстежити його маршрут або визначити, чи перебуває він у зоні з обмеженим доступом. Це суттєво зменшує навантаження на службу безпеки. Окремим компонентом є система сповіщень. Вона повідомляє про потенційні проблеми, такі як втрата сигналу від маяка, вихід співробітника за дозволену зону або несправність точки доступу. Це дозволяє своєчасно реагувати на непередбачувані ситуації.

Аналітичний модуль формує статистичні дані: середню тривалість перебування у зонах, завантаженість приміщень, пікові періоди активності та інші показники, що можуть бути корисними для оптимізації робочих процесів. Наприклад, підприємство може визначити, чи раціонально використовується робочий простір.

Реалізація системи на базі веб-додатку дозволяє отримати кросплатформність та зручність доступу. Користувачам не потрібно встановлювати спеціальне програмне забезпечення — достатньо мати браузер. Це значно спрощує впровадження на підприємстві.

Ще однією перевагою веб-підходу є можливість централізованого оновлення інтерфейсу та обробки даних. Адміністратор може вносити зміни без потреби оновлювати клієнтські пристрої — система автоматично підхоплює нові налаштування.

Під час проєктування системи необхідно враховувати питання безпеки. Важливо забезпечити захист персональних даних співробітників, шифрування трафіку та обмеження доступу до аналітичної інформації. Це особливо актуально у великих компаніях із складною організаційною структурою. Важливо також передбачити можливість масштабування. З розвитком підприємства може збільшитися кількість точок доступу, маяків або самих користувачів. Тому архітектура повинна бути гнучкою, щоб розширення не вимагало повного перепроектування системи.

Практична реалізація довела, що поєднання Wi-Fi та BLE у системі внутрішнього позиціонування дозволяє досягти високої точності при відносно низькій вартості впровадження.

Система демонструє стабільну роботу навіть у приміщеннях зі значними перешкодами, якщо використані коректні алгоритми фільтрації та обробки даних.

Висновки

У ході виконання роботи було досліджено та проаналізовано сучасні підходи до внутрішнього позиціонування користувачів у будівлях, включно з технологіями Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), RFID, UWB та іншими рішеннями. Порівняльний аналіз показав, що саме поєднання Wi-Fi та BLE є технічно доцільним і економічно обґрунтованим для задач моніторингу переміщення співробітників у приміщенні, оскільки дозволяє використовувати вже наявну інфраструктуру та забезпечує прийнятний баланс між точністю, вартістю та складністю розгортання системи. На основі результатів аналізу було сформовано концепцію системи моніторингу місцезнаходження співробітників у будівлі, яка включає серверну частину, базу даних з картою “відбитків” сигналів (Fingerprinting) та веб-інтерфейс адміністратора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Indoor Positioning Technologies — Overview and Comparison [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pozyx.io/blog/indoor-positioning-technologies>
2. Wi-Fi Location-Based Services Design Guide – Cisco Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/200527>
3. Bluetooth Low Energy (BLE) Positioning: How It Works [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/key-attributes/low-energy/>
4. Indoor Positioning Systems Explained: Wi-Fi, BLE, UWB and More [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.infsoft.com/technology/indoor-positioning>
5. Zafari F., Gkelias A., Leung K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1709.01015>
6. Fingerprinting Wi-Fi Technologies for Indoor Localization [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iotbyhvm.ooo/wifi-fingerprinting-indoor-positioning/>
7. Real-Time Location Systems (RTLS): Principles and Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rfidjournal.com/rtls-real-time-location-systems>

Жученко Андрій Сергійович - студент групи 1KI-24м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Обертюх Максим Романович** — доктор філософії, старший викладач обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: maxx331@protonmail.com

Zhuchenko Andrii Serhiiovych – student of group 1KI-24m, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Scientific supervisor: Maksym Romanovych Obertiukh — PhD, Senior Lecturer of Computer Engineering at Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maxx331@protonmail.com