

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Система позиціонування об'єктів в закритих
приміщеннях на основі технології Bluetooth Low Energy

(тема)

Виконав:

студент IV курсу, групи СПМ-22-1
Нарижний Т.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: Ст. викл. Сорокін А.Р.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.

кафедри _____

(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Нарижному Тарасу Васильовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система позиціонування об'єктів в закритих приміщеннях на основі технології Bluetooth Low Energy _____

затверджена наказом по університету від “ 6 ” Листопада 2023 р. № 1299 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 січня 2024 р. _____

3. Вхідні дані до роботи 1) Тема роботи; 2) Середовище розробки Android Studio; _____
3) Технологія Bluetooth Low Energy _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) Аналіз предметної області; _____

2) Вибір і обґрунтування обладнання; _____

3) Вибір і обґрунтування програмних засобів; _____

4) Побудова системи позиціонування _____

5) Аналіз розміщення маяків в приміщенні _____

6) Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 16 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблеми та огляд існуючих рішень	07.11.23-25.11.23	
2	Вибір технології розробки та інструментальних засобів	26.11.23-30.11.23	
3	Розробка алгоритмічного забезпечення	01.12.23-5.12.23	
4	Розробка програмних модулів	06.12.23-20.12.23	
5	Відлагодження програмних модулів	21.12.23-24.12.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	25.12.23-28.12.23	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	03.01.24-04.01.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	12.01.24-13.01.24	

Дата видачі завдання 6 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ст. викл. Сорокін А.Р.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 113с., 48 рис., 1 дод., 47 джерел.

ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОТОКОЛ, КОМП'ЮТЕР, ПЛАНШЕТ, МОДУЛЬ, ФУНКЦІЯ

За останні кілька років роль таких систем позиціонування як Система глобального позиціонування (GPS) та Глобальна Навігаційна Супутникова Система (ГНСС) у великих містах стрімко падає. Причиною цього є збільшення щільності, висоти і площі будівель. Стіни будівель є одними з ключових проблем у роботі цих систем позиціонування. Крім того, вищевказані системи не в змозі виконувати поставлені завдання в таких масштабних будівлях, як музеї, виставки та торговельні центри. У зв'язку з цим в останні роки, з'явилася нова глобальна проблема в області внутрішнього позиціонування - локалізація та подальша навігація рухомих об'єктів (пішоходів, транспортних засобів і роботів) в закритих приміщеннях, а також у середовищах, в яких системи супутникової навігації з якихось причин не являються ефективними.

Останнім часом багато технологій та методів було запропоновано для локалізації мобільних об'єктів всередині і зовні будинків. Тим не менше, кожен метод має свої недоліки. У цій роботі ми пропонуємо об'єднати декілька технологій, які забезпечують більш високі результати точності визначення поточного положення рухомого об'єкта. Щоб продемонструвати цей підхід був запропонований прототип системи на основі ОС Android з iBeacon і акселерометром. Експериментальні результати показують поліпшену точність позиціонування в порівнянні з кожною з технологій окремо.

У цій роботі вирішуються наступні завдання:

- Експериментальні дослідження RSS (потужність сигналу) для WiFi, Bluetooth і iBeacon;
- Розробка прототипу системи локалізації мобільних об'єктів на основі смартфонів і планшетів під управлінням ОС Android і iOS;
- Вибір методу для оптимального розташування датчиків в просторі.

ABSTRACT

Master's thesis: 113 pages, 48 figures, 1 appendices, 47 sources.

POSITIONING, TECHNOLOGY, PROTOCOL, COMPUTER, TABLET, MODULE, FUNCTION

Over the past few years, the role of such positioning systems as Global Positioning System (GPS) and Global Navigation Satellite System (GNSS) in the big cities is falling rapidly. The reason for this is the increasing density, height and area of the buildings. The walls of the buildings are among the key problems in the performance of these positioning systems. In addition, the above systems are failing with their tasks in such large-scale buildings as museums, exhibition and shopping centers etc. In this regard, in recent years, a new global challenge in the field of indoor positioning appeared - the localization and subsequent navigation of mobile objects (pedestrians, vehicles and robots) in enclosed areas, as well as the environment in which satellite navigation systems for some reasons are not efficient.

Many technologies and methods proposed for the localization of mobile objects both inside and outside buildings. Nevertheless, each method has its drawbacks. In this thesis we propose to combine several technologies that provide higher accuracy results of determining the current position of the mobile object. To demonstrate this approach was proposed a prototype system based on the Android OS with iBeacon and accelerometer. Experimental results shows the improved positioning accuracy compared with each technology separately.

In this work, the following problems are solved:

- Experimental studies of RSS (Received Signal Strength) for WiFi, Bluetooth and iBeacon;
- Development of a prototype system of localization of mobile objects on the

basis of smartphones and tablets under control of Android OS and iOS;

- Choosing of the method for optimal location of transmitters in space.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП	12
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛГОРИТМІВ	14
1.1 ОГЛЯД БЕЗДРОВОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОКАЛІЗАЦІЇ В ПРИМІЩЕННІ	15
1.1.1 Технології бездротового зв'язку на великі відстані.....	15
1.1.2 Бездротові технології середньої дальності	17
1.1.3 Бездротові технології на коротких відстанях.....	21
1.2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ЛОКАЛІЗАЦІЇ В ПРИМІЩЕННІ	33
1.2.1 Алгоритм локалізації.....	33
1.2.2 Оцінка відстані	36
1.2.3 Індикація рівня прийнятого сигналу (RSSI).....	37
1.2.4 Метод кута приходу (AOA).....	39
1.2.5 Метод часу прибуття (ToA).....	41
1.2.6 Метод різниці в часі прибуття (TDoA)	43
1.2.7 Методи оцінки місцезнаходження.....	45
1.3 МЕТОДИ РОЗМІЩЕННЯ МАЯЧКОВИХ ВУЗЛІВ	47
1.3.1 Розміщення вузлів-маяків з оптимальним розподілом	48
1.3.2 Обчислення оптимальних розподілів.....	49
1.3.3 К-покриття та область довільної форми.....	50
1.4 МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОСТОРУ	52
1.4.1 Представлення просторової моделі	52
1.4.2 Моделі на основі ячеек.....	54
2 АНАЛІЗ БЕЗДРОВОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ	61

2.1 Використання пасивної системи RFID	61
2.2 Технології на основі RSSI для локалізації в приміщенні	64
2.2.1 Дослідження поширення сигналу Wi-Fi	64
2.2.2 Дослідження поширення сигналу Bluetooth	72
2.2.3 Дослідження поширення сигналу iBeacon.....	74
2.2.4 Вибір технології та методу для процесу локалізації	80
3 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ МАЯКІВ IBEACON	82
3.1 Розміщення вузлів як задача покриття множини.....	82
3.2 Розміщення маякових вузлів у двовимірному полі	86
3.3 Розміщення вузла-маяка в тривимірному просторі	87
3.4 Висновки по розділу	89
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ.....	91
4.1 Розміщення вузлів IBEACON в тестовому середовищі	91
4.2 Просторова модель процесу локалізації.....	92
4.3 Розробка додатку для ANDROID.....	94
4.4 Комбінований метод локалізації мобільних об'єктів	97
4.5 Подальші плани розвитку системи позиціонування.....	99
ВИСНОВКИ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
ДОДАТОК А.....	105
Графічний матеріал кваліфікаційної роботи	105

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

RFID - Radio Frequency Identification (Радіочастотна ідентифікація)

IPS - Indoor Positioning System (Система Позиціонування в Приміщенні)

UWB - Ultra Wide Band (Ультраширокий діапазон)

GPS - Global Positioning System (Глобальна Система Позиціонування)

FM - Frequency Modulation (Частотна Модуляція)

VHF - Very High Frequency (Ультракоткі Хвилі)

GSM - Global System for Mobile communications (Глобальна Система
Мобільного зв'язку)

CDMA - Code Division Multiple Access (Множинний Доступ з кодовим
Розділенням Каналів)

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут Інженерів з
Електротехніки та Електроніки)

RSSI - Received Signal Strength Indicator (Індикація Рівня Прийнятого Сигналу)

VLC - Visible Light Communication (Комунікація Видимим Світлом)

AOA - Angle Of Arrival (Кут Прийому)

TOA - Time Of Arrival (Час Прийому)

TDOA - Time Difference Of Arrival (Різниця по Часу Прийому)

GDOP - Geometric Dilution Of Precision (Геометричне Погіршення Точності)

KNN - K-Nearest Neighbors (K-Найближчих Сусідів)

DBOD - Density-Based Outlier Detection (Виявлення Викидів на Основі
Щільності)

LLS - Linear Least Squares (Лінійні Найменші Квадрати)

AP - Access Point (Точка Доступу)

GVG - Generalized Voronoi Graph (Узагальнений Граф Вороного)

GNSS - Global Navigation Satellite System (Глобальна Навігаційна Супутникова
Система)

NFC - Near Field Communication (Комунікація Близнього Поля)

SSID - Service Set Identifier (Ідентифікатор Набору Послуг)

MAC - Media Access Control (Управління Доступом до Посередників)

UUID - Universally Unique Identifier (Універсальний Унікальний Ідентифікатор)

WLAN - Wireless Local Area Network (Бездротова Локальна Мережа)

ВСТУП

Навігація є, мабуть, однією з найдавніших проблем, з якими стикається людство. Згадуючи мій перший день в університеті, я пам'ятаю, на скільки складно було знайти розташування потрібної аудиторії, викладачів і корпуси університету. Насправді, зважаючи на нашу підвищену мобільність, навігація все ще залишається одним із завдань, які ми регулярно виконуємо. Деякі з них навіть потрібно виконувати щодня. Локалізація в приміщеннях знаходиться на етапі, коли її впровадження є досить важливим; щоразу переглядаються нові дослідження для підвищення точності, або шляхом покращення вимірювань сигналів за допомогою передових методів для усунення помилок. Бездротові технології локалізації в приміщеннях - це послуги, які можна використовувати для навігації в кімнаті, лікарні, університетах, великих торгових центрах або складних і незнайомих для користувачів місцях. Деякі з найбільших торгових центрів у світі можуть мати площу 2 000 000 квадратних метрів і понад 300 магазинів. Система внутрішньої картографії та навігації полегшує локалізацію місцезнаходження користувача і допомагає йому знайти найкращий шлях до потрібного магазину або розташованих поруч об'єктів, таких як вбиральня або станції для зміни підгузників.

Локалізація в приміщенні також може бути корисною для людей з вадами зору або навігаційної системи для роботів у приміщенні. Інформація про місцезнаходження може підказати їм, де вони знаходяться, і провести їх через будівлю. Ще одним дуже важливим сценарієм для локалізації в приміщенні є пожежа або інша надзвичайна ситуація. Пристрої або система з підтримкою внутрішньої локалізації можуть допомогти рятувальникам або мешканцям визначити своє місцезнаходження і знайти найкоротший шлях до виходу з будівлі. Ще одним дуже важливим сценарієм для внутрішньої локалізації є пожежа або інша надзвичайна ситуація. Пристрої або система з підтримкою локалізації в приміщенні можуть допомогти рятувальникам або мешканцям визначити своє місцезнаходження і знайти найкоротший шлях до виходу з будівлі, де густий темний дим блокує їх

поле зору.

Велике покриття і оптимальний розподіл вузлів маяків може гарантувати задовільну точність. Збільшення кількості вузлів може підвищити точність локалізації, але вартість багатьох маяків може бути дуже високою, тому виникає потреба в економічно ефективному методі з використанням меншої кількості вузлів для отримання необхідної точності локалізації.

Системи локалізації, які зараз впроваджуються, призначені для багатомільйонних кооперативів, які мають всі засоби для підвищення точності локалізації шляхом усунення витрат і використання якомога більшої кількості вузлів-маяків для забезпечення точності їх місцезнаходження. Багато невеликих організацій не можуть отримати такі системи, оскільки вони обмежені низьким бюджетом. Необхідність пошуку економічно ефективних засобів, які б задовольнили потреби всіх організацій, є життєво важливою, оскільки це не тільки дозволить впровадити економічно ефективний метод, але й заощадити значні кошти для кінцевих користувачів.

Внутрішня локалізація, як правило, вирішує всі ці питання на кшталт: «Де я?», «Де я можу знайти потрібну річ?», «Як туди потрапити?». Мегабудівлі будуються щодня, і для того, щоб знати, як дістатися до різних приміщень у будівлі, потрібно структурно знати всю будівлю, а це може зайняти багато часу.

Це дослідження зосереджується на тому, як створити ефективну та економічно вигідну систему локалізації на основі бездротових технологій, таких як RFID, Wi-Fi та Bluetooth Low Energy.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛГОРИТМІВ

Система внутрішнього позиціонування (СВП) - це рішення для визначення місцезнаходження об'єктів або людей всередині будівлі за допомогою радіохвиль, магнітних полів, акустичних сигналів або іншої сенсорної інформації, зібраної мобільними пристроями. Наразі не існує стандарту де-факто для проектування систем СВП. Тим не менш, на ринку є кілька комерційних систем. Замість того, щоб використовувати супутники, рішення СВП покладаються на різні технології, в тому числі:

- WLAN/Wi-Fi;
- Bluetooth;
- RFID (Radio Frequency IDentification);
- ZigBee;
- UWB (Ultra Wide Band).

Архітектура бездротової системи внутрішньої локалізації зазвичай складається з двох частин: станції-маяка, яка випромінює бездротовий сигнал, і користувацького пристрою, який приймає сигнал, або навпаки. Обчислення локалізації можуть бути резидентними в обох частинах. Систему глобального позиціонування GPS також можна віднести до бездротових технологій локалізації. Вона використовує бездротові сигнали для зв'язку між супутниками і GPS-пристроями. 24 супутники - це 24 радіомаякові станції. Пристрої GPS обчислюють своє місцезнаходження на основі отриманих сигналів від супутників. Однак, середовище в приміщенні значно відрізняється від зовнішнього середовища. На поширення бездротової хвилі можуть впливати відбиття, розсіювання та дифракція. На рівень сигналу може впливати багатопроменеве згасання або тіньове згасання. У приміщенні стіни, меблі або люди, що ходять, змінюють поширення бездротової хвилі і вносять дисперсію в бездротовий сигнал, який отримує користувач.

1.1 Огляд бездротових технологій локалізації в приміщенні

Бездротовий зв'язок - це термін, який використовується для опису телекомунікацій, в яких електромагнітні хвилі (а не якась форма дроту) переносять сигнал по частині або по всьому шляху зв'язку. Деякі пристрої моніторингу, такі як охоронні сигналізації, використовують акустичні хвилі на частотах, що перевищують діапазон людського слуху; їх також іноді класифікують як бездротові.

Бездротовий метод зв'язку використовує малопотужні радіохвилі для передачі даних між пристроями. Потужним джерелам передачі зазвичай потрібні державні ліцензії на мовлення на певній довжині хвилі. Ця платформа історично використовувалася для передачі голосу і перетворилася на велику індустрію, що забезпечує багато тисяч трансляцій по всьому світу. Зараз радіохвилі все частіше використовуються нерегульованими користувачами комп'ютерів.

Перші бездротові передавачі вийшли в ефір на початку 20-го століття, використовуючи радіотелеграфію (азбуку Морзе). Пізніше, коли модуляція дозволила передавати голоси і музику по бездротовому зв'язку, цей засіб почали називати "радіо". З появою телебачення, факсу, передачі даних та ефективного використання більшої частини спектру, термін "бездротовий" був відроджений.

Існує багато протоколів і стандартів бездротового зв'язку, призначених для різних застосувань. Бездротові технології, що використовуються для локалізації всередині приміщень, можна класифікувати за частотою, яку вони використовують. Оскільки частота бездротової технології впливає на її можливості, такі як покриття, проникнення через стіни та стійкість до перешкод. У цій роботі вони будуть поділені на 3 категорії: бездротові технології далекого радіусу дії, бездротові технології середнього радіусу дії, та технології ближнього радіусу дії.

1.1.1 Технології бездротового зв'язку на великі відстані

- FM (частотна модуляція) використовується в усьому світі для регіонального радіомовлення. У більшості регіонів використовується радіочастотний спектр від

87,5 до 108,0 МГц. Використовуючи VHF (very high frequency), яка набагато нижча, ніж у Wi-Fi та інших сучасних бездротових технологій, FM менше залежить від погодних умов або перешкод, таких як стіни.

Завдяки повсюдному поширенню FM, немає необхідності будувати додаткову інфраструктуру радіомаяків для локалізації в приміщенні. Крім того, FM-приймач коштує дешево і споживає менше енергії, а отже, довше працює від батареї.

Однак, FM-станція знаходиться дуже далеко, а FM має велику довжину хвилі (близько 3 м), що означає, що рівень сигналу FM-сигналу не сильно змінюється на короткій відстані. Тому FM краще працює на великих площах. Оскільки різні FM-станції використовують FDMA для спільного використання спектру, багатоканальні сигнали можуть бути використані для зменшення дисперсії або помилок, що вносяться одноканальним сигналом [1].

- GSM/CDMA використовується в стільниковому зв'язку. Частоти GSM/CDMA в різних регіонах відрізняються. Зазвичай вони знаходяться в діапазонах 850МГц, 900МГц, 1800МГц і 1900МГц. Мережа GSM/CDMA вже покрита в більшості будівель, отже, немає потреби в додатковій інфраструктурі або вона є меншою. На відміну від FM, GSM має відносно невелику відстань поширення в приміщенні. Однак, GSM/CDMA сильно запатентований, тому важко зробити модифікацію або розширення на основі GSM/CDMA, що обмежує майбутній розвиток цього стандарту. На Рисунку 1.1 показано ілюстрацію GSM/CDMA.

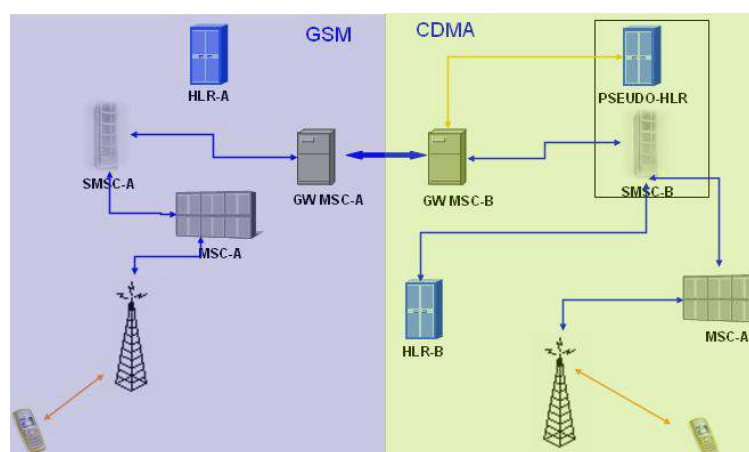


Рисунок 1.1 – Принцип роботи мереж GSM/CDMA

1.1.2 Бездротові технології середньої дальності

- WLAN, Wi-Fi та IEEE 802.11 означають одне й те саме: вони визначають промисловий стандарт бездротової передачі даних. Останній вираз є найбільш вживаним. Wi-Fi - одна з найпопулярніших технологій, пропонувананих для внутрішньої системи позиціонування. Wi-Fi - це мережева технологія, яка використовує радіохвилі в діапазонах 2,4 ГГц або 5 ГГц в якості середовища зв'язку. У більшості будівель, таких як супермаркети або офісні будівлі, вже розгорнуті точки доступу Wi-Fi, які забезпечують покриття всієї будівлі в якості точки доступу до мережі, як показано на Рисунку 1.2.

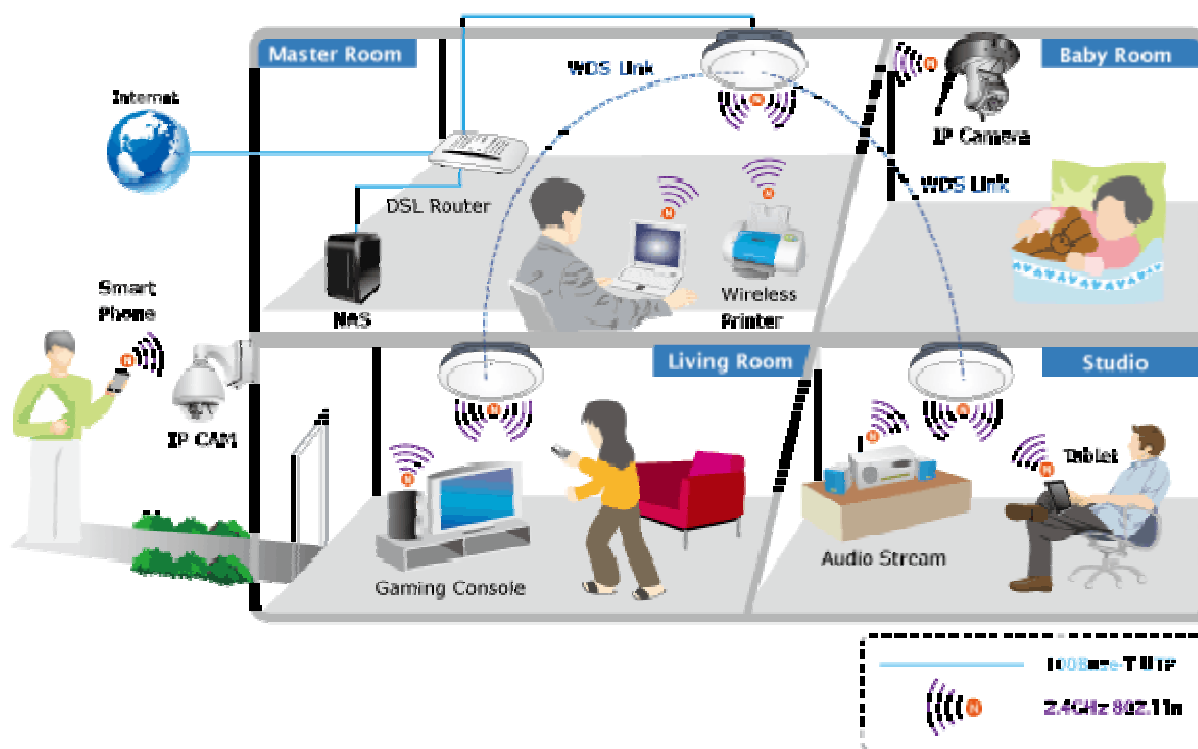


Рисунок 1.2 - Відображення Wi-Fi, що використовується в приміщенні

У більшості реалізацій проміжний вузол, який називається точкою доступу, діє як міст, що передає інформацію бездротовим способом між мобільними вузлами в межах своєї зони покриття. Точка доступу є псевдо стаціонарним терміналом, тобто вона зазвичай фіксується в певному місці, але може бути легко додана,

видалена або переміщена в залежності від потреб. Типова зона радіопокриття становить сотні метрів у радіусі. Оскільки розгорнуто багато мереж Wi-Fi, існує безперервне покриття, яке потенційно може охоплювати дуже велику територію. Якщо координати розташування точок доступу відомі апіорі, їх можна використовувати як точки відліку для мобільних вузлів для визначення власного місцезнаходження.

Це основна ідея систем позиціонування на основі Wi-Fi. Типова реалізація системи позиціонування Wi-Fi складається з двох частин. Перша частина, широко відома як «автономне позиціонування», полягає в складанні карти розташування всіх точок доступу Wi-Fi в зоні, що цікавить. Ця просторова інформація потім зберігається в централізованій базі даних. На другому етапі, відомому як онлайн позиціонування, відбувається власне процес позиціонування. Під час онлайн позиціонування мобільний вузол сканує найближчі точки доступу Wi-Fi. Потім здійснюється запит до еталонної бази даних для вилучення необхідної просторової інформації, і разом з відповідним алгоритмом позиціонування можна визначити місцезнаходження вузла відносно цих точок доступу Wi-Fi. Основним недоліком цієї технології є те, що вона потребує дорогої інфраструктури. Система позиціонування Wi-Fi на основі відбитків пальців доцільна лише для відносно невеликих територій через трудомісткий і дорогий процес мапування так званих «відбитків пальців RSS» на етапі позиціонування в автономному режимі. Іншим недоліком є те, що точність позиціонування залежить від деталізації відображеної просторової інформації. Дрібнозерниста просторова інформація дає відносно вищу точність. Однак, навіть в онлайн-режимі, системи на основі відбитків пальців можна вважати системами, що потребують багато часу та енергії. Через ці недоліки було вирішено ми не використовувати підхід до позиціонування Wi-Fi на основі відбитків пальців у цій роботі.

Вузол Wi-Fi можна також визначити за допомогою триангуляції його положення відносно щонайменше трьох точок доступу, місцезнаходження яких відоме. Для того, щоб триангуляція працювала, нам потрібно знати відстань між мобільним вузлом і кожною з цих точок доступу. Цю відстань можна оцінити за

значенням RSS, оскільки радіосигнал втрачає свою енергію як функцію пройденої відстані, що описується популярною моделлю втрат на шляху поширення радіосигналу. Триангуляція працює шляхом розв'язання набору рівнянь кола, де перетин усіх трьох (або більше) кіл позначає положення мобільного вузла [2]. Інший підхід до позиціонування визначає положення мобільного вузла в центрі всіх найближчих точок доступу, оскільки типова антена Wi-Fi є всеспрямованою; з використанням алгоритму позиціонування, відомого як центроїд. Алгоритм обчислює положення вузла шляхом усереднення положень усіх найближчих N точок доступу, почутих під час фази сканування. Він припускає, що значення RSS, отримані від усіх найближчих точок доступу, є однорідними, що не обов'язково відповідає дійсності [3]. У практичному сценарії значення RSS, отримані від деяких точок доступу, можуть бути сильнішими, ніж від інших. Сильне значення RSS означає, що точка доступу знаходиться в безпосередній близькості до мобільного вузла, тому її положення повинно бути більше зміщене в бік точок доступу з сильним значенням RSS, ніж зі слабким. На Рисунку 1.3 показана спеціальна спрямована Wi-Fi антена для визначення положення за допомогою кута прибуття. Однак, реалізація високої точності позиціонування Wi-Fi вимагає побудови величезної бази даних відбитків пальців [4].

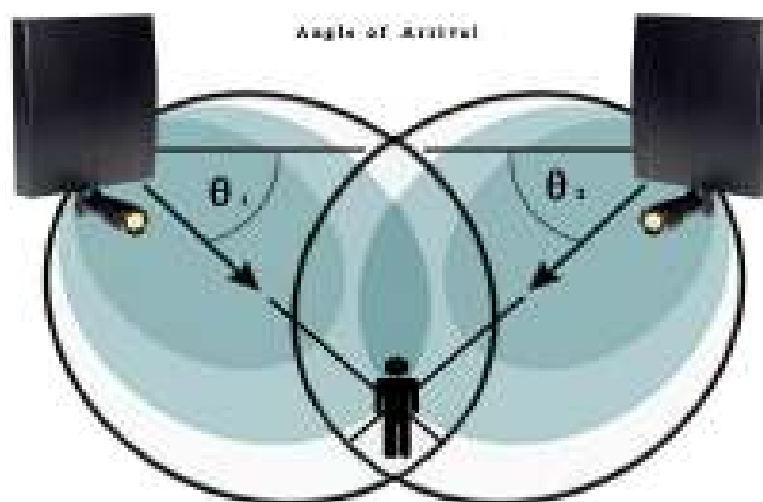


Рисунок 1.3 - Спеціальна спрямована антена Wi-Fi визначає положення за допомогою AoA

- Бездротова технологія ZigBee є провідним світовим стандартом для реалізації недорогих бездротових мереж малого радіусу дії з низькою швидкістю передачі даних і тривалим часом автономної роботи. Альянс ZigBee - це об'єднання компаній, які спільно працюють над створенням надійних, економічно ефективних, малопотужних, бездротових мережевих продуктів моніторингу та управління, заснованих на відкритому глобальному стандарті. Специфікаційні документи, випущені Альянсом ZigBee і Робочою групою IEEE 802.15 WPAN, є офіційними джерелами для реалізації бездротових мереж на основі ZigBee і IEEE 802.15.4. Однак ці об'ємні документи можуть бути непосильними для людей з обмеженим часом або технічною освітою, яка більше орієнтована на продукт. Тому існує потреба у всеосяжному ресурсі, який не тільки містить глибоку технічну інформацію, але й надає огляд основ бездротових мереж ZigBee на високому рівні [5].

ZigBee - це стандарт, який визначає набір комунікаційних протоколів для бездротових мереж малого радіусу дії з низькою швидкістю передачі даних [6]. Бездротові пристрої на базі ZigBee працюють у діапазонах 868 МГц, 915 МГц та 2,4 ГГц. Максимальна швидкість передачі даних - 250 тис. біт на секунду. ZigBee орієнтований в основному на додатки з живленням від батареї, де основними вимогами є низька швидкість передачі даних, низька вартість і тривалий час роботи від батареї. У багатьох додатках ZigBee загальний час роботи бездротового пристрою дуже обмежений; пристрій проводить більшу частину часу в режимі енергозбереження, також відомому як сплячий режим. Як результат, пристрої з підтримкою ZigBee здатні працювати протягом декількох років, перш ніж їхні батареї потребуватимуть заміни. Приклад пристрою ZigBee показаний на Рисунку 1.4. Через малий радіус дії та високу затримку бездротової технології 802.15.4, позиціонування ZigBee має певні обмеження щодо позиціонування в реальному часі при використанні RSSI.



Рисунок 1.4 - Пристрій ZigBee

1.1.3 Бездротові технології на коротких відстанях

- RFID - це бездротове використання електромагнітних полів для передачі даних з метою автоматичної ідентифікації та відстеження міток, прикріплених до об'єктів. Мітки містять інформацію, що зберігається в електронному вигляді. Деякі мітки живляться за рахунок електромагнітної індукції від магнітних полів, що виникають поблизу зчитувача. Деякі типи збирають енергію з опитувальних радіохвиль і діють як пасивний ретранслятор. RFID - ще одна важлива технологія, яка мала великий вплив на локалізацію в приміщенні, але, тим не менш, не є загальноприйнятною. Радіочастотна ідентифікація (RFID) - це засіб зберігання та отримання даних за допомогою електромагнітної передачі на радіочастотну інтегральну схему. RFID - це метод автоматичної ідентифікації. Система RFID складається з мітки, зчитувача та антени (Рисунок 1.5). Мітка - це транспондер, який може бути прикріплений або вбудований в продукт, тварину або людину з метою ідентифікації за допомогою радіохвиль. Зчитувач (тобто приймально-передавальний пристрій) здатний зчитувати інформацію, що зберігається на мітці, у безпосередній близькості від неї.

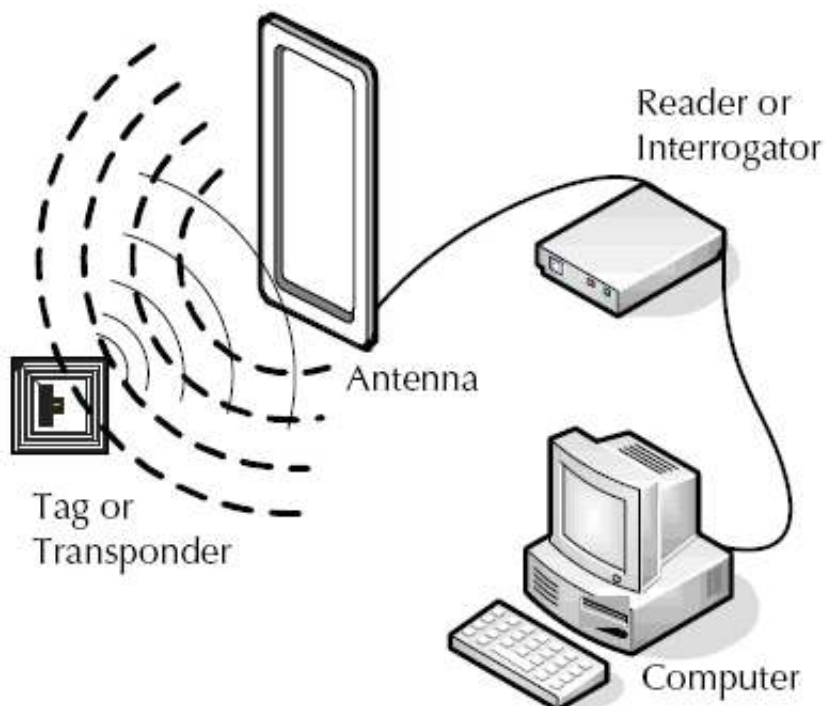


Рисунок 1.5 - Архітектура системи RFID

RFID-мітки містять антени, які дозволяють їм приймати радіочастотні запити від RFID-трансивера і відповідати на них. Існують різні типи міток: пасивні, активні та напівпасивні. Пасивні RFID-мітки не мають власного джерела живлення, а дальність зчитування менша, ніж у активних міток, тобто в діапазоні від кількох міліметрів до кількох метрів. Активні RFID-мітки, з іншого боку, повинні мати джерело живлення і можуть мати більший діапазон і більшу пам'ять, ніж пасивні мітки. Багато активних міток мають практичну дальність дії в десятки метрів і термін служби батареї до декількох років. Ще однією перевагою активних міток порівняно з пасивними є те, що вони мають більшу пам'ять і можливість зберігати додаткову інформацію (окрім ідентифікатора мітки), що надсилається трансивером [7]. Технологія RFID може бути використана не тільки для позиціонування в приміщенні, але також надає багато потенційних послуг для задоволення потреб користувачів.

Однією з головних переваг системи позиціонування на основі RFID є

використання легких і невеликих міток. Системи RFID можуть однозначно ідентифікувати обладнання та людей, за якими ведеться спостереження, однак, методи близького та абсолютного позиціонування потребують встановлення та обслуговування декількох компонентів інфраструктури в робочій зоні.

Прикладом системи позиціонування на основі RFID є система LANDMARC, яка базується на розгортанні групи активних зчитувачів RFID в інтелектуальному середовищі з частковим перекриттям зон покриття різних зчитувачів, що регулюється рівнями потужності, пов'язаними з кожним зчитувачем. Система Landmarc використовує набір еталонних міток RT (так званих орієнтирів) подібно до того, як RADAR використовує еталонні локації. Зчитувачі Landmarc отримують оновлення не тільки від мітки, що відстежується, але й від набору статичних опорних міток, місцезнаходження яких добре відоме. Фактичне розрахункове місцезнаходження обчислюється як зважена сума місцезнаходжень k -найближчих опорних міток. Експериментальні результати показують, що мінімальна похибка визначення місцезнаходження за допомогою цього методу становить близько 1-2 м.

- Надширокосмуговий зв'язок (UWB) - це радіотехнологія для передачі інформації в широкій смузі частот (>500 МГц), яка може використовуватися при дуже низькому рівні енергії для зв'язку на малих відстанях з високою пропускну здатністю, використовуючи велику частину радіочастотного спектру. Зокрема, більшість сучасних додатків використовують UWB для збору даних з датчиків цілі, точного визначення місцезнаходження і відстеження. Сигнали UWB мають коротку тривалість (менше 1 нс) порівняно з іншими технологіями і дають змогу виокремлювати з вихідного сигналу сигнали відгуку (спричинені перешкодами або стінами); ці властивості призводять до вищої точності. Використання технології UWB як допоміжної технології в системах позиціонування стало популярним способом підвищення загальної точності позиціонування [8]. UWB-сигнал легко проходить крізь стіни, обладнання та одяг. Однак металеві та рідкі матеріали спричиняють перешкоди сигналу UWB. Використання більшої кількості зчитувачів UWB і стратегічне розміщення зчитувачів UWB може подолати цей недолік. Короткоімпульсні форми сигналу дозволяють точно визначити TOF (Time of Arrival

– Час Прибуття Сигналу) імпульсної передачі від короткоімпульсного передавача до відповідного приймача.

Надширокосмуговий діапазон (UWB) раніше був відомий як "імпульсне радіо", але FCC і Сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-R) в даний час визначають UWB як передачу з антени, для якої ширина смуги випромінюваного сигналу перевищує менше з двох значень: 500 МГц або 20% від центральної частоти. Таким чином, імпульсні системи, де кожен переданий імпульс займає смугу частот UWB (або сукупність щонайменше 500 МГц вузькосмугової несучої; наприклад, ортогональне мультиплексування з частотним розділенням каналів (OFDM)), можуть отримати доступ до спектру UWB відповідно до правил. Частота повторення імпульсів може бути як низькою, так і дуже високою. Імпульсні UWB-радарі і системи візуалізації, як правило, використовують низьку частоту повторення, зазвичай в діапазоні від 1 до 100 мегаімпульсів на секунду. З іншого боку, системи зв'язку віддають перевагу високій частоті повторення (зазвичай в діапазоні від одного до двох гігаімпульсів на секунду), що дозволяє створювати системи зв'язку на короткі відстані зі швидкістю гігабіт на секунду. Кожен імпульс в імпульсній системі UWB займає всю смугу пропускання UWB (таким чином отримуючи переваги відносної стійкості до багатопроменевих завмирань, але не до міжсимвольних перешкод), на відміну від систем на основі несучої, які схильні до глибоких завмирань і міжсимвольних перешкод [9]. Надширокосмуговий діапазон має два основних типи застосування:

- застосування з використанням радарів, в яких сигнал проникає через сусідні поверхні, але відбивається від поверхонь, що знаходяться на більшій відстані, що дозволяє виявляти об'єкти за стінами або іншими покриттями;

- передача голосу і даних за допомогою цифрових імпульсів, що дозволяє дуже малопотужному і відносно дешевому сигналу передавати інформацію з дуже високою швидкістю в обмеженому діапазоні;

- інфрачервоне (ІЧ) світло - це електромагнітне випромінювання з довгими довжинами хвиль, ніж у видимого світла, що простягається від номінального червоного краю видимого спектра в 700 нанометрів (нм) до 1 мм. Цей діапазон

довжин хвиль відповідає діапазону частот приблизно від 430 ТГц до 300 ГГц. Більшість теплового випромінювання, що випускається об'єктами, які мають температуру, близьку до кімнатної, є інфрачервоним. Система позиціонування на основі ІЧ-випромінювання, яка контролює абсолютні оцінки положення, потребує зв'язку в межах прямої видимості (LoS) між передавачами та приймачами без перешкод від яскравих джерел світла [10]. Таким чином, орієнтація ІЧ-мітки на ІЧ-зчитувач може викликати проблеми, якщо, наприклад, сам об'єкт, що відслідковується, блокує лінію видимості від ІЧ-мітки до зчитувача. Що стосується ультразвукових систем позиціонування, то інфрачервоні системи мають вищу точність вимірювання (кілька міліметрів) порівняно з точністю, що досягається в ультразвукових системах (кілька сантиметрів). Інфрачервоне світло невидиме для людського ока за більшості умов, тому люди не можуть бачити встановлені маяки. [11] Спеціалізовані ІЧ-приймачі, розміщені по всьому об'єкту, виявляють маяки і визначають приблизне місцезнаходження об'єкта завдяки відомому розташуванню ІЧ-приймачів;

- інфрачервоні (ІЧ) системи позиціонування є найпоширенішими системами позиціонування, оскільки ІЧ-технологія доступна на борту різних дротових і бездротових пристроїв, таких як телевізор, принтер, мобільні телефони, КПК тощо. Система позиціонування на основі ІЧ-технології, яка пропонує абсолютні оцінки положення, потребує зв'язку між передавачами та приймачами в межах прямої видимості без перешкод від сильних джерел світла [12]. Таким чином, діапазон покриття одного пристрою інфраструктури обмежений в межах приміщення. У цьому розділі ми опишемо деякі ІПС на основі інфрачервоного випромінювання. Active Badge;

- система Active Badge - одна з перших систем позиціонування бейджів у приміщенні, розроблена в AT&T Cambridge у 1990-х роках, яка охоплює територію всередині будівлі і надає символічну інформацію про місцезнаходження кожного активного бейджа, наприклад, кімнату, в якій знаходиться активний бейдж. Система Active Badge використовує технологію розсіяного інфрачервоного випромінювання для визначення місцезнаходження [12]. Оцінюючи місцезнаходження активних

бейджів разом з особами, система Active Badge може визначати місцезнаходження осіб у зоні покриття. Активний бейдж передає унікальний в глобальному масштабі ІЧ-сигнал кожні 15 секунд. У кожному місці, наприклад, у приміщенні, встановлюється один або кілька датчиків, які виявляють ІЧ-сигнал, що надходить від активної бейджики. За допомогою інформації від цих датчиків, які з'єднані між собою дротами, можна визначити місцезнаходження активних бейджів і передати інформацію про місцезнаходження активних бейджів, що відслідковуються, на центральний сервер. На основі інформації про місцезнаходження можуть бути розроблені деякі додатки, що враховують місцезнаходження. Наприклад, в [12] запропоновано додаток для допомоги телефонному адміністратору, який відстежує місцезнаходження. Використовуючи вимірне місцезнаходження працівників у будівлі, програма виводить на ПК таблицю, яка містить імена цих працівників, їхнє місцезнаходження (номери кімнат) та найближчий телефон. Таким чином, використовуючи інформацію про місцезнаходження з додатку, користувач, телефонний адміністратор, може переадресувати телефонний дзвінок очікуваному працівнику. Хоча ціна активних бейджів і мережевих датчиків є низькою, кабелі, що з'єднують датчики, підвищують вартість системи Active Badge. Активні бейджі, які беруть люди, щоб визначити своє місцезнаходження, мають невелику вагу і прийнятний розмір.

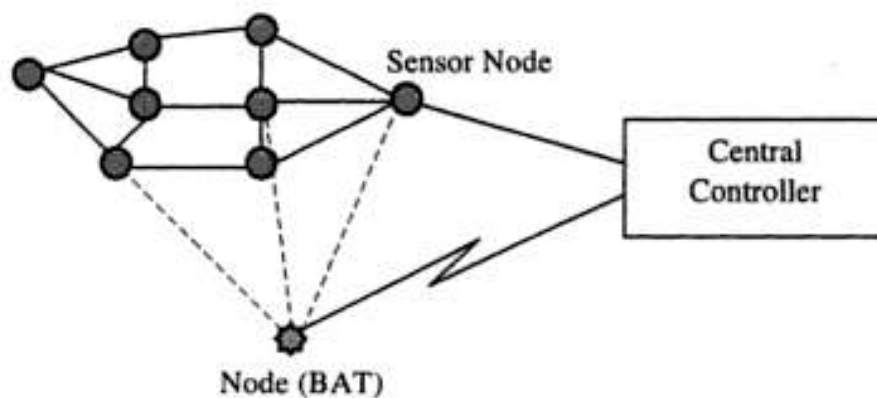


Рисунок 1.6 - Архітектура активного ВАТ метода

Реальним застосуванням Active BAT (Рисунок 1.6) може бути система локалізації Active BAT5, розроблена дослідниками з AT&T Cambridge, яка надає тривимірну інформацію про положення та орієнтацію міток, що відстежуються, і призначена для точної локалізації в приміщенні [13, 14]. Вона пропонує використання стельових маяків, з'єднаних з центральною станцією, розміщених таким чином, щоб максимізувати ймовірність прямої видимості маяків;

- зв'язок у видимому світлі (VLC) - це середовище передачі даних, яке використовує видиме світло в діапазоні від 400 до 800 ТГц (780-375 нм). VLC є підмножиною технологій оптичного бездротового зв'язку. Технологія використовує флуоресцентні лампи (звичайні лампи, а не спеціальні комунікаційні пристрої) для передачі сигналів зі швидкістю 10 Кбіт/с, або світлодіоди для швидкості до 500 Мбіт/с. Було продемонстровано передачу даних на низьких швидкостях 1 і 2 (0,6 і 1,2 милі). RONJA досягає повної швидкості Ethernet (10 Мбіт/с) на тій самій відстані завдяки більшій оптиці та потужнішим світлодіодам. Спеціально розроблені електронні пристрої, які зазвичай містять фотодіод, отримують сигнали від джерел світла, хоча в деяких випадках достатньо камери мобільного телефону або цифрового фотоапарата. Датчик зображення, що використовується в цих пристроях, фактично являє собою масив фотодіодів (пікселів), і в деяких випадках його використання може бути кращим, ніж використання одного фотодіода. Такий датчик може забезпечити або багатоканальний зв'язок (до 1 пікселя = 1 канал), або просторове сприйняття декількох джерел світла.

VLC можна використовувати як засіб зв'язку для повсюдних обчислень, локалізації в приміщенні, оскільки пристрої, що виробляють світло (такі як внутрішні/зовнішні лампи, телевізори, дорожні знаки, комерційні вітрини та автомобільні фари/задні ліхтарі) використовуються повсюдно. Використання видимого світла також є менш небезпечним для потужних застосувань, оскільки люди можуть сприймати його і діяти, щоб захистити свої очі від пошкодження. (зображено на Рисунку 1.7) Підходи на основі видимого світла показали певну перспективність для позиціонування в приміщенні, але останні системи пропонують орієнтири з приблизною семантичною локалізацією на рівні кімнати, залежать від

спеціального обладнання та методів рівня прийнятого сигналу (RSS), які важко відкалібрувати, або вимагають додатків до телефону і жестів користувача в циклі [13]. Ці обмеження ускладнюють розгортання систем позиціонування в приміщеннях за принципом "принеси свій пристрій", наприклад, в роздрібній торгівлі;

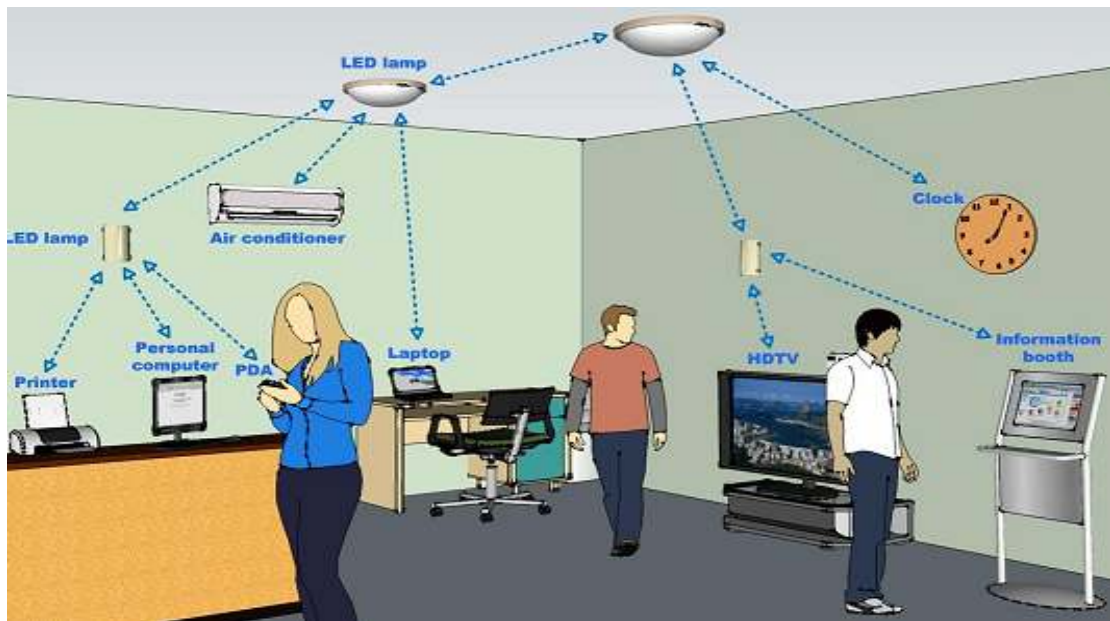


Рисунок 1.7 – Позиціонування за допомогою видимого світлового зв'язку у приміщенні

- Bluetooth. Сьогодні різні мобільні пристрої (більшість телефонів, персональних цифрових помічників тощо) оснащені радіоприймачами Bluetooth. Завдяки своєму широкому розповсюдженню, Bluetooth можна вважати дуже поширеним стандартом. Bluetooth - це стандарт бездротової технології для обміну даними на невеликих відстанях (з використанням короткохвильових радіохвиль UHF в діапазоні ISM від 2,4 до 2,485 ГГц) між стаціонарними та мобільними пристроями, а також для побудови персональних мереж (PAN). Винайдений телекомунікаційною компанією Ericsson у 1994 році, він спочатку був задуманий як бездротова альтернатива кабелям передачі даних RS-232. Він може з'єднати кілька пристроїв, долаючи проблеми синхронізації. Bluetooth управляється групою

Bluetooth Special Interest Group (SIG), яка налічує понад 25 000 компаній-членів у сфері телекомунікацій, обчислювальної техніки, мережевої взаємодії та побутової електроніки. IEEE стандартизував Bluetooth як IEEE 802.15.1, але більше не підтримує цей стандарт [5]. Bluetooth SIG контролює розробку специфікації, керує кваліфікаційною програмою та захищає торгові марки. Виробник повинен зробити так, щоб пристрій відповідав стандартам Bluetooth SIG, щоб продавати його як пристрій Bluetooth. На технологію поширюється мережа патентів, які ліцензуються на окремі кваліфіковані пристрої [15], для того, щоб два пристрої могли обмінюватися даними, необхідно встановити між ними зв'язок. У технології Bluetooth підтримуються два режими роботи пристроїв: Ведений або ведучий. Крім того, підключені пристрої потенційно можуть змінювати свої ролі з ведучого на ведений і навпаки за домовленістю. Радіус дії Bluetooth, Bluetooth був розроблений для використання в додатках малого радіусу дії, що зазвичай досягає декількох метрів. Ефективний діапазон, якого можна практично досягти, залежить від декількох факторів, наприклад, таких параметрів, як поширення, перешкоди, ослаблення, рецесія сигналу, характеристики антени, потужність передачі, згасання і перешкоди. Пристрої Bluetooth поділяються на три різні класи, які визначають їхню максимально допустиму вихідну потужність, що, в свою чергу, суттєво впливає на дальність дії. Різні класи, обмеження потужності та теоретичні діапазони наведені в Таблиці 1.1 [16].

Таблиця 1.1 - Діапазони та вихідна потужність різних класів Bluetooth

Клас	Максимальна дальність	Максимальна вихідна потужність передавача
Клас 1	100 m (300 ft)	100 mW (20 dBm).
Клас 2	10 m (33 ft)	2.5 mW (4 dBm).
Клас 3	1 m (3 ft)	1 mW (0 dBm).

Слід відмітити, що на цей діапазон потенційно може впливати навколишнє середовище, оскільки сигнали чутливі до перешкод при поширенні.

Bluetooth Low Energy. Пристрої Bluetooth Low Energy працюють у безліцензійному діапазоні 2,4 ГГц, а отже, мають такі ж характеристики поширення в приміщенні, як і приймачі Wi-Fi 2,4 ГГц. Режим маячків або реклами, дозволений стандартом BLE, дозволяє передавати дуже короткі небажані повідомлення з дуже гнучкою частотою оновлення. Ці повідомлення можуть бути використані, щоб дозволити пристрою виявити близькість до певного місця на основі потужності прийнятого сигналу (RSS). Таким чином, користувачеві можуть бути надані тригери, реклама, ваучери та інформація про місцезнаходження. Рекламні маяки BLE особливо привабливі для ритейлерів, оскільки обіцяють довгий термін служби батареї впродовж багатьох років, а отже, низькі вимоги до технічного обслуговування. Очікується, що тривалий час роботи від батареї вимагатиме низької потужності радіосигналу та/або низької частоти маячків. Хоча це не впливає на їх використання для виявлення наближення, це впливає на їх корисність для забезпечення позиціонування на основі відбитків пальців у всьому внутрішньому середовищі. [15].

«Відбитки пальців» наразі є найсучаснішою схемою позиціонування в приміщенні, яка легко доступна на стандартних смартфонах. Відбиток пальця відноситься до шаблону вимірювань рівня радіосигналу, записаного в певному місці в просторі, і складається з вектора ідентифікаційної інформації про сигнал (наприклад, стільникові Cell-ID або MAC-адреси Wi-Fi) і відповідного вектора значень потужності прийнятого сигналу (RSS). Зазвичай для отримання відбитків пальців використовують лише сигнали Wi-Fi, але також можна використовувати вимірювання стільникового зв'язку та дані магнітометра [15]. Сигнали Wi-Fi демонструють більший динамічний діапазон і анізотропію по всій будівлі, ніж RSS від зовнішніх, часто дуже віддалених джерел сигналу, таких як стільникова мережа. Дані магнітометра забезпечують високий динамічний діапазон у дуже тонкому масштабі, але можуть забезпечити лише один внесок у вектори відбитків, який буде домінувати над багатьма вимірюваннями Wi-Fi і стільникового зв'язку, доступними в типовому міському середовищі в приміщенні. Коли приймач рухається в складному сигнальному середовищі, такому як будівля, повна стін і об'єктів, RSS

будь-якого сигналу, що не знаходиться в зоні прямої видимості, може швидко змінюватися в тонкому просторовому масштабі (на рівні метра), оскільки цей сигнал проникає через різні середовища і взаємодіє з різними об'єктами, проходячи різними шляхами через будівлю. Дактилоскопія спирається на ці значення RSS, які швидко змінюються в просторовому масштабі, але дуже повільно в часі, так що приймач, який повертається до місця відбитків пальців в майбутньому, повинен записати ті ж самі вимірювання RSS, в межах шумів вимірювання. На Рисунку 1.8 показано зображення мікросхеми Bluetooth з низьким енергоспоживанням.

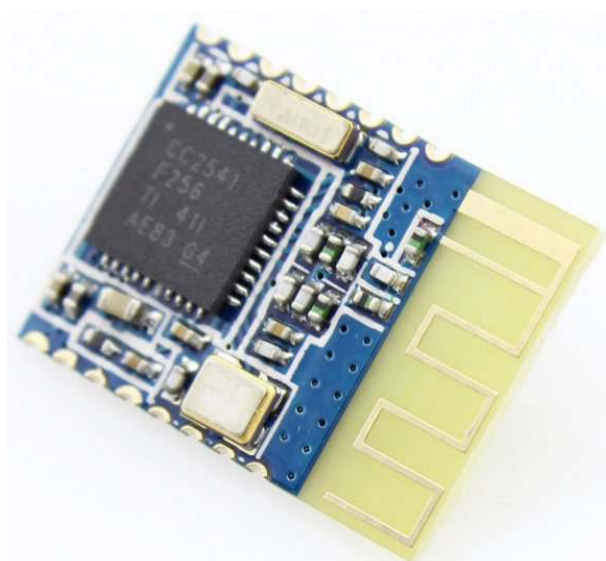


Рисунок 1.8 - Модуль Bluetooth з низьким енергоспоживанням

Підсумовуючи всі ці бездротові технології, що використовуються в літературі, ми можемо отримати Таблицю 1.2, яка наведена нижче. Різні технології мають різний діапазон передачі, різні потреби у спеціальній інфраструктурі та різне енергоспоживання. У наступному розділі будуть наведені математичні методи, що використовуються для локалізації в приміщенні. Одні й ті ж методи можуть використовуватися в декількох різних бездротових технологіях і мати різну продуктивність (точність і достовірність), що залежить від характеристик самої бездротової технології.

Таблиця 1.2 - Характеристики різних бездротових технологій, що використовуються для локалізації всередині приміщень

Бездротова технологія	Дальність	Виділена інфраструктура	Споживання енергії	Переваги	Недоліки
FM	100 км	Ні	низьке	Працює краще на великих площах	Сигнал змінюється не сильно на невеликій дистанції
GSM/CDMA	100 м – 10 км	Ні	невідомо	Не потребує інфраструктури	Запатентована
Wi-Fi	35 м	Ні	високе	Низька вартість	Дисперсія
ZigBee	30 - 60 м	Так	низьке	Працює за великих відстаней між пристроями	Потрібна спеціальна інфраструктура
Bluetooth	10 м	Так	низьке	Використовується для зв'язку на коротких відстанях	Діапазон покриття
UWB	5 м	Так	низьке	Нестійкий до багатопроменевих проблем	Діапазон покриття
RFID	1 м	Так	низьке	Працює у складних умовах	Діапазон покриття

1.2 Математичні методи для процесу локалізації в приміщенні

Існує багато способів визначення місцезнаходження користувача або, відповідно, мобільного пристрою в бездротовій мережі. Позиція може бути символічною (неформальною або абстрактною "станція знаходиться в центрі міста"), абсолютною або відносно якоїсь точки [17]. Деякі загальні методи є спільними для всіх різних мереж (інфрачервоні, Bluetooth, радіочастотні, мобільні або супутникові мережі). В основному ми маємо два основних типи методів позиціонування в приміщенні, які можуть бути методикою для знаходження оціночного позиціонування або оціночної відстані [4]. Точна точка в методах позиціонування може бути обчислена за допомогою основних принципів перетину різних ліній і правильного геометричного формулювання для оцінки місцезнаходження вузла. Існує декілька методів для визначення оціночних координат відстані між вузлами, таких як кут прибуття (AOA), час прибуття (TOA), різниця в часі прибуття (TDOA) та рівень прийнятого сигналу (RSS). Ці методи побудовані на геометричних принципах для обчислення місцезнаходження вузла за допомогою ліній і кутів. Триангуляція, мультилатерація і гіперболічний метод є прикладами цих принципів.

1.2.1 Алгоритм локалізації

Локалізація - це процес визначення положення всіх сенсорних вузлів у сенсорній мережі. Зв'язок між вимірним значенням і розташуванням вихідних даних обов'язково є фундаментальною і важливою мотивацією для локалізації [4]. Алгоритм локалізації показано на Рисунку 1.9.

Схема локалізації з визначенням відстані використовується для вимірювання відстані або кута між опорним вузлом і невідомим вузлом у фіксованій області, тоді як схема локалізації без визначення відстані використовується для вимірювання відстані або положення між невідомими вузлами. Схема локалізації з визначенням

відстані оцінює відстань між невідомим вузлом і опорним вузлом, а схема локалізації без визначення відстані оцінює місцезнаходження невідомого вузла без визначення відстані. Вона не має жодних попередніх знань про вузол. Схеми на основі дальності поділяються на два види оцінки відстані: RSSI, ToA, AoA, TDoA, в яких використовуються методи RSSI, ToA, AoA.

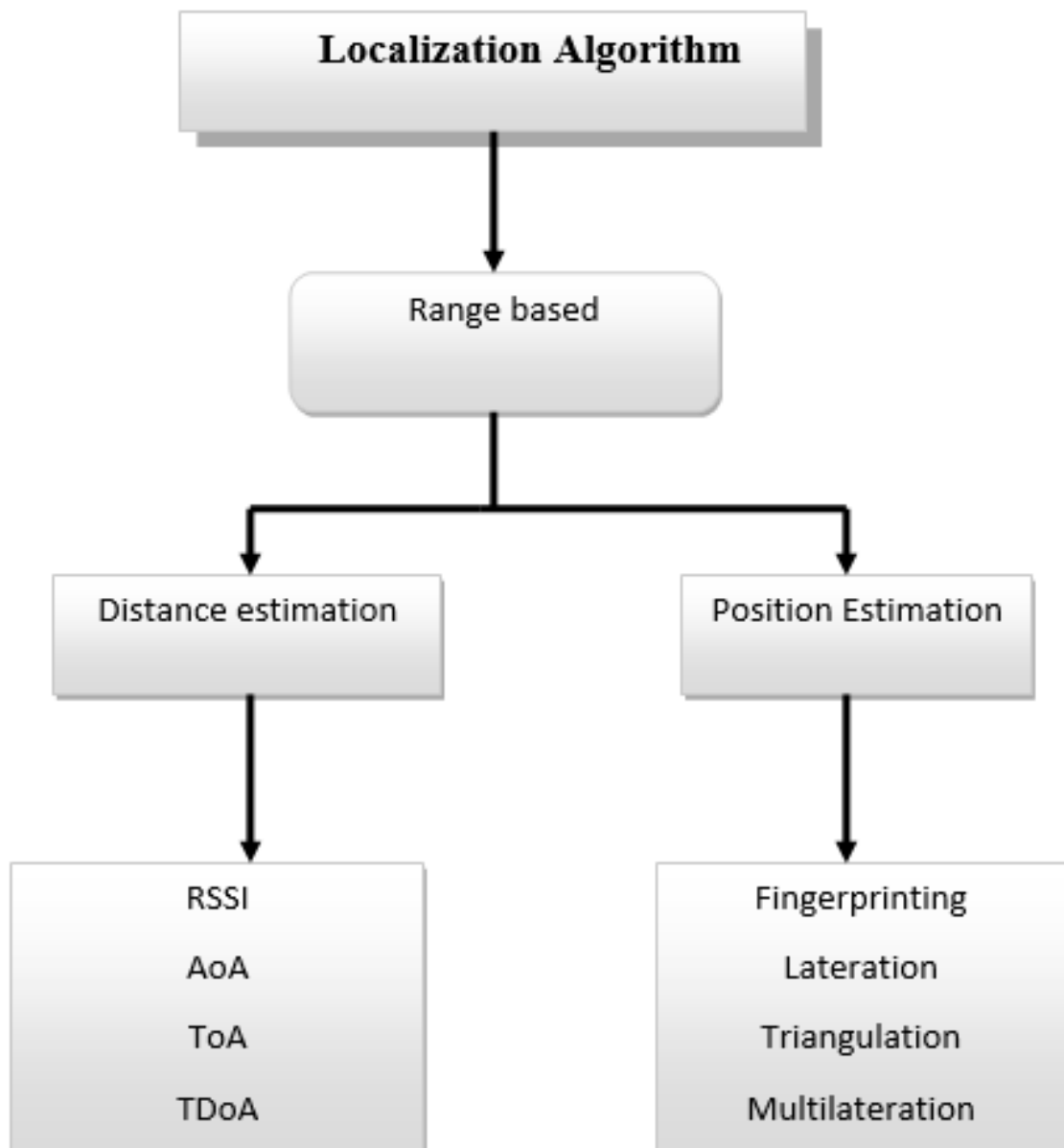


Рисунок 1.9 - Алгоритм локалізації

Тоді як для латерації оцінки положення використовуються методи

трилатерації та мультилатерації, а також дактилоскопічний метод [14], для бездіапазонної схеми використовується DV-Нор і метод зіставлення шаблонів, такий як дактилоскопія [18, 4]. Локалізація дуже важлива для багатьох додатків, що працюють в реальному часі. Різні методи локалізації на основі дальності є наступними. Точність позиціонування не є постійною по всій зоні покриття, а погана геометрія локалізованих вузлів відносно опорних вузлів може призвести до високого геометричного розмивання точності (GDOP). GDOP зазвичай використовується для опису точності локалізації. Узагальнена GDOP (GGDOP) є аналогічною мірою, яка використовується для порівняння продуктивності алгоритмів локалізації. Запропонований підхід відрізняється від традиційних рішень проблеми локалізації в бездротових мережах. Зазвичай для безпосередньої оцінки місцезнаходження вузла використовують розташування анкерів у зоні досяжності та оціночні відстані між вузлом, що локалізується, і цими анкерами. Натомість ми використовуємо багатокроковий процес. Застосовується підхід з інтелектуального аналізу даних, який називається виявлення викидів на основі щільності (DB OD), який використовує відстань до найближчих сусідів (KNN) для вибору найкращих (кандидатів) точок, і вони усереднюються, щоб отримати оцінене місцезнаходження нелокалізованого вузла. Лінійний метод найменших квадратів (LLS) та зважений лінійний метод найменших квадратів сингулярного розкладання (WLS-SVD алгоритми) є еталоном. Алгоритм WLS-SVD порівнюється з алгоритмом максимальної правдоподібності (ML), багатовимірним шкалюванням (MDS) та найкращим лінійним незміщеним оцінювачем на основі калібрування за методом найменших квадратів (BLUE-LSC). За даними WLS-SVD працює краще, ніж будь-який з цих трьох алгоритмів. Розмивання точності - це метрика, яка описує, наскільки добре геометрія якорного вузла підходить для локалізації. Вимірювання відстаней, які використовуються для обчислення координат вузлів, завжди містять деяку похибку. Ці вимірювання розподілу анкерів навколо нелокалізованого вузла можуть мати хороші або погані значення GDOP, як показано на Рисунку 1.10. Іншою версією GDOP є узагальнена геометрія точності розбавлення GGDOP. GGDOP залежить від геометрії якорів навколо нелокалізованого вузла і точності

вимірювань діапазону розташування вузлів з поганою та хорошою GDOP.

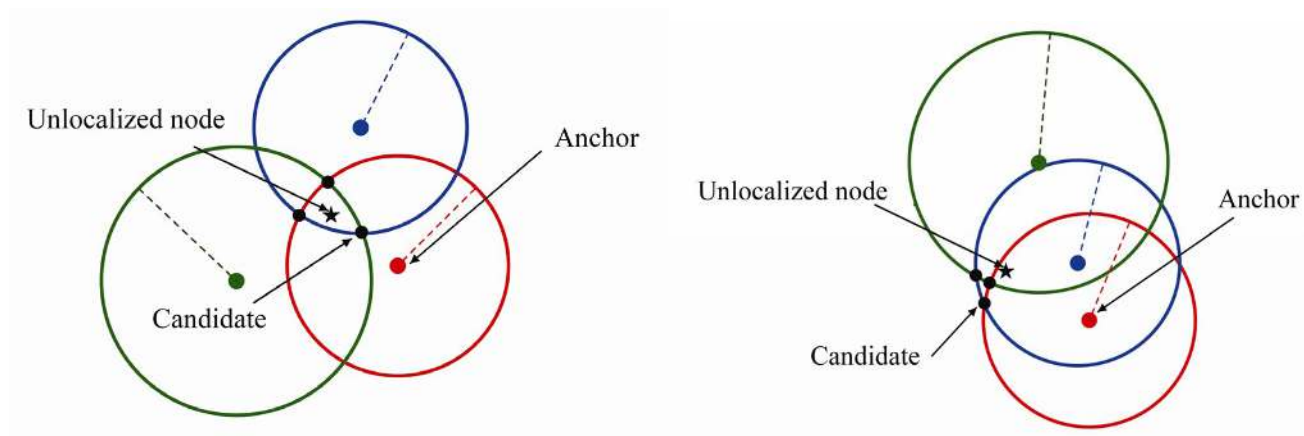


Рисунок 1.10 - Вузли з високим рівнем GDOP та вузли з низьким рівнем GDOP

1.2.2 Оцінка відстані

Оцінка відстані - це числовий опис того, наскільки далеко один від одного знаходяться об'єкти. Відстань може означати фізичну довжину або оцінку на основі інших критеріїв (наприклад, "через два кола"). У математиці функція відстані або метрика є узагальненням поняття фізичної відстані. Метрика - це функція, яка поводить відповідно до певного набору правил, і є конкретним способом опису того, що означає для елементів деякого простору бути "близько" або "далеко" один від одного. У більшості випадків "відстань від А до В" взаємозамінна з "відстанню між В і А" або з тим, як далеко ви можете дістатися до точки. Приклад оцінки відстані представлений на Рисунку 1.11.

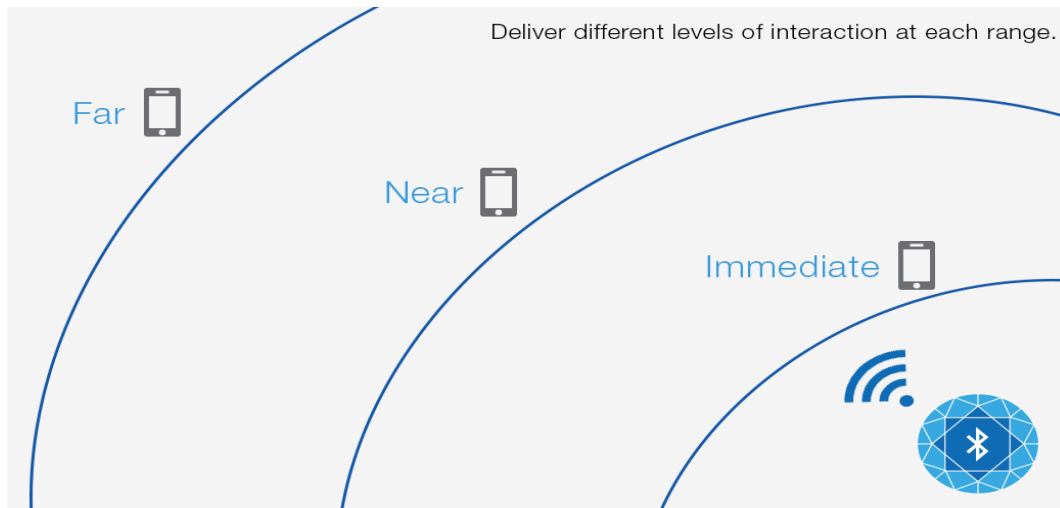


Рисунок 1.11 - Оцінка відстані до маяку iBeacon

1.2.3 Індикація рівня прийнятого сигналу (RSSI)

RSSI - це радіочастотний термін, який в основному використовується для вимірювання відстані між передавачем і приймачем. Це найпопулярніший метод для внутрішнього та зовнішнього середовища для підвищення точності. Він найкраще підходить для WSN завдяки низькій вартості, низькому енергоспоживанню, простому апаратному забезпеченню тощо. RSSI досягає високої точності на коротких відстанях.

Метод індикації рівня прийнятого сигналу використовує кілька точок доступу (AP) 802.11 WLAN одночасно для відстеження місцезнаходження пристрою. Для визначення місцезнаходження об'єкта або людини, що відстежується, використовується потужність сигналів, отриманих щонайменше від трьох точок доступу. Для підвищення точності більш складні методи RSSI використовують карту, яка називається радіочастотним відбитком, що базується на калібруванні потужності сигналів WLAN (Wi-Fi) в різних точках заздалегідь визначеної області. У системі RSSI відстань між міткою (об'єктом або людиною) і зчитувачем (точкою доступу) визначається шляхом перетворення значення потужності сигналу на зчитувачі (приймачі) у вимірювання відстані на основі відомої вихідної потужності сигналу на мітці (передавачі) і певної моделі втрат на шляху. Сервер визначення місцезнаходження, що використовує алгоритм для оцінки місцезнаходження мітки

на основі обчислених відстаней між міткою та кількома зчитувачами. Хоча визначення конкретної відстані між міткою та зчитувачем суттєво відрізняється від методу TOA, розрахунок місцезнаходження ґрунтується на схожих алгоритмах [19]. Метод індикації рівня прийнятого сигналу можна проілюструвати наступним чином, де мітка позначена як T, а зчитувачі R1, R2 і R3 - як R1, R2 і R3. Рівень сигналу для кожного зчитувача позначається як S1, S2 і S3 відповідно (рис. 1.12). Основною метою системи позиційної локації є визначення координат цільового вузла. Для визначення координат будь-якого невідомого цільового вузла в зоні дії бездротового зв'язку повинні існувати опорні вузли з відомою геометричною координатою, які можна нанести на карту з вимірами, зібраними для визначення координат цільового вузла.

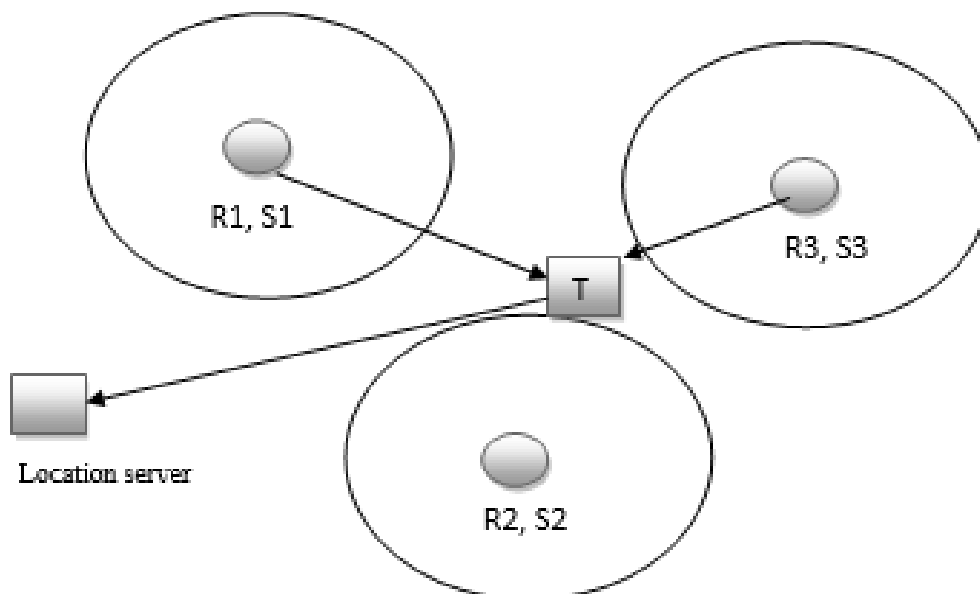


Рисунок 1.12 - Визначення положення мітки за допомогою RSSI

Висока точність може бути досягнута при використанні методу RSS в умовах малої дальності та LOS. Метод RSS може використовуватися в системах без необхідності встановлення нового обладнання як у вузлах мережі, так і в цільових вузлах (потрібен лише детектор потужності). Однак може виникнути потреба в модифікації або встановленні нового програмного забезпечення в системі. Це все

одно простіше і дешевше порівняно з іншими методами, які вимагають встановлення нового обладнання в різних вузлах системи. RSS має ще одну важливу перевагу, оскільки метод не вимагає синхронізації часу між вузлами системи, яка необхідна в методі TOA [14].

У методу RSS є декілька недоліків. По-перше, цей метод потребує щонайменше трьох опорних вузлів для визначення положення цільового вузла. По-друге, регулювання потужності, що використовується в цих системах, може серйозно впливати на точність вимірювань сигналів і призводить до некоректного обчислення місцеположення цільового вузла. По-третє, цей метод погано працює у випадку NLOS через ефекти багатопроменевої інтерференції. Багатопроменеві завади створюють складне і неточне зчитування рівня сигналу в приймачі, що призводить до неточного визначення місцезнаходження цільового вузла [19]. Для того, щоб бути ефективним, RSSI вимагає щільного розміщення точок доступу, що значно збільшує вартість системи. Однак ключова проблема, пов'язана з системами на основі RSSI, полягає в тому, що необхідно знайти адекватну базову модель втрат на шляху як для непрямой видимості, так і для нестационарних середовищ. Отже, на практиці оцінені відстані є дещо ненадійними. Див. обговорення конкретної реалізації методу RSSI. Крім того, системи, що використовують RSSI, можуть бути дискваліфіковані для застосування в системах безпеки, оскільки зловмисники можуть легко змінювати потужність прийнятих сигналів, посилюючи або послаблюючи сигнал, або іншими методами. Нарешті, питання перевантаження мережі WLAN в критично важливих цілях, в той час як RTLS обтяжує мережу додатковими завданнями, ще не вирішене.

1.2.4 Метод кута приходу (AOA)

AOA визначається як кут між напрямком поширення падаючої хвилі і деяким опорним напрямком, який називається орієнтацією. Орієнтація, визначена як фіксований напрямок, відносно якого вимірюється AOA, виражається в градусах за годинниковою стрілкою з півночі. Коли орієнтація дорівнює 0° або вказує на північ,

АОА є абсолютною, в іншому випадку - відносною. Одним з поширених підходів для отримання вимірювань АОА є використання антенної решітки на кожному вузлі датчика. Інші методи визначення кутів між вузлами обговорюються в [19, 20]. Ми припускаємо, що маяки не мають інформації про свою орієнтацію, а невідомі можуть визначити інформацію про АОА між сусідніми вузлами за допомогою одного з вищезгаданих методів. Кут прибуття визначається шляхом вимірювання кута між лінією, яка проходить від зчитувача до мітки, і лінією від зчитувача із задалегідь визначеним напрямком, наприклад, на північ. Цей метод можна проілюструвати наступним чином, де R1 - зчитувач, а T - мітка. [19].

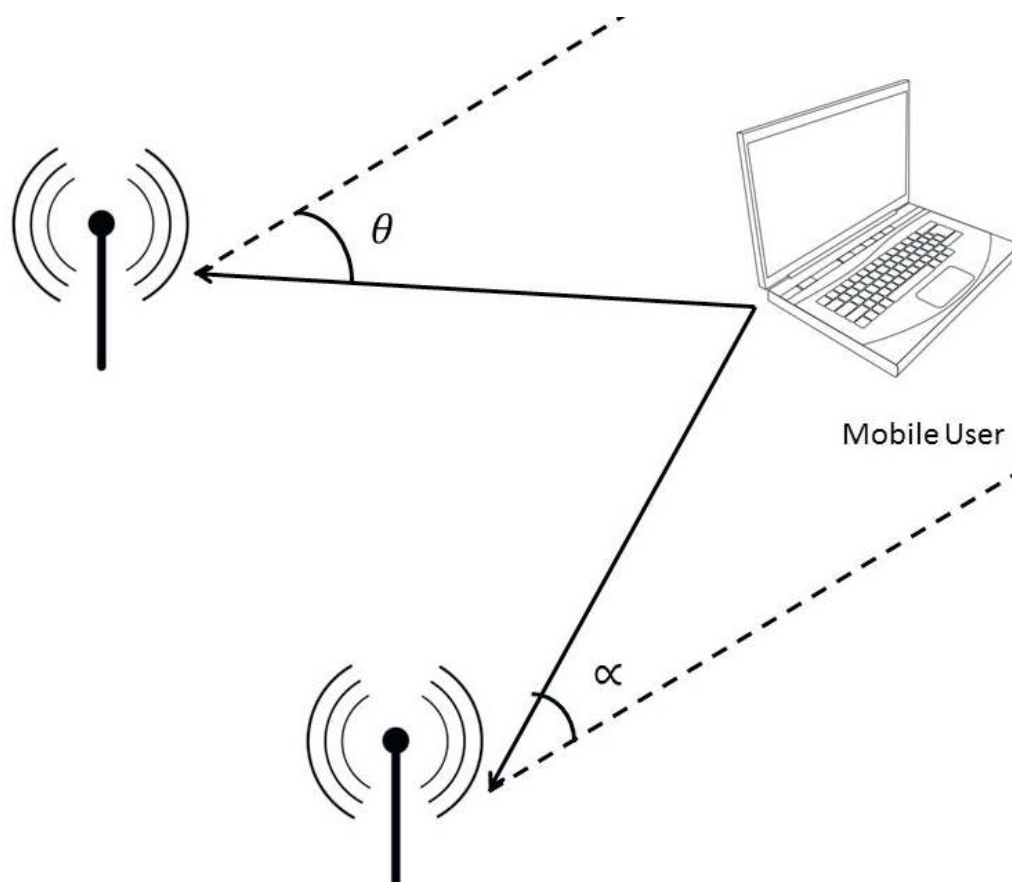


Рисунок 1.13 - Метод кута прильоту

Метод АОА має кілька переваг. На відміну від методів TOA і TDOA, немає необхідності в тактовій синхронізації між цільовим вузлом і приймально-

передавальними станціями. Крім того, потрібна менша кількість приймально-передавальних станцій для вимірювання місцезнаходження цільового вузла. Для вимірювання місцезнаходження цільового вузла достатньо двох станцій.

У методі АОА немає необхідності у співпраці з цільовим вузлом, і цільові вузли не беруть участь у вимірюваннях для оцінки положення. Завдяки використанню антени з високоспрямованою діаграмою спрямованості, антена може відкидати перешкоди, викликані напрямками, віддаленими від цільового вузла. Цифрова обробка сигналу може бути використана для підвищення точності визначення місцезнаходження і усунення небажаних перешкод, таких як багатопроменеві спотворення.

Використання методу АОА має певні недоліки. Зі збільшенням відстані між цільовим вузлом і приймально-передавальними станціями точність визначення місцезнаходження буде знижуватися через зміну характеристик поширення прийнятого сигналу. Для використання методу АОА в мережі необхідно використовувати спрямовані антени для визначення кута прибуття, а спрямовані антени призводять до додаткових витрат на бездротову систему. Для проведення вимірювань за допомогою цього методу часто потрібен складний набір від 4 до 12 антенних решіток, розташованих на горизонтальній лінії в декількох точках стільникового вузла. Точність цього методу зростає зі збільшенням кількості використовуваних антенних решіток. На додаток до вартості, результати вимірювання кутів є досить чутливими до багатопроменевого розповсюдження, яке часто зустрічається в будівельному середовищі. Тому він найкраще підходить для вимірювання прямої видимості між мітками та зчитувачами. Крім того, метод кута прибуття також чутливий до загроз безпеці [14], оскільки зловмисники можуть легко відбити або ретранслювати сигнал з іншого місця.

1.2.5 Метод часу прибуття (ТоА)

Час прибуття (Time of Arrival, або ТоА) - це метод, заснований на вимірюванні затримки поширення радіосигналу (на відміну від пакета даних) між передавачем

(міткою) і одним або декількома приймачами (зчитувачами). Затримка поширення, яку можна розрахувати як $t_i - t_0$, - це часовий проміжок між відправленням сигналу від станції-джерела (TX) до станції-приймача (RX); іншими словами, це час, необхідний для проходження сигналу від передавача до приймача, як показано на наступному рисунку. Помноживши час поширення $t_i - t_0$ на швидкість поширення сигналу, затримку поширення можна перетворити на відстань між передавачем (міткою) і приймачем (зчитувачем). Для визначення положення мітки у двовимірній площині необхідно мати щонайменше три приймачі (зчитувачі) для проведення вимірювань ToA. Для визначення положення мітки в тривимірному просторі потрібно щонайменше чотири зчитувачі для проведення вимірювань ToA. У 2D площині місцезнаходження мітки можна розглядати як перетин кіл, тоді як у 3D просторі місцезнаходження мітки можна розглядати як перетин сфер [19]. Метод часу прибуття для розрахунку 2D дальності можна проілюструвати наступним чином, де мітка позначена як T, а R1, R2 і R3 - зчитувачі. Сигнал передається в момент часу t_0 і приймається зчитувачами в моменти часу t_1 , t_2 і t_3 відповідно (Рисунок 1.14).

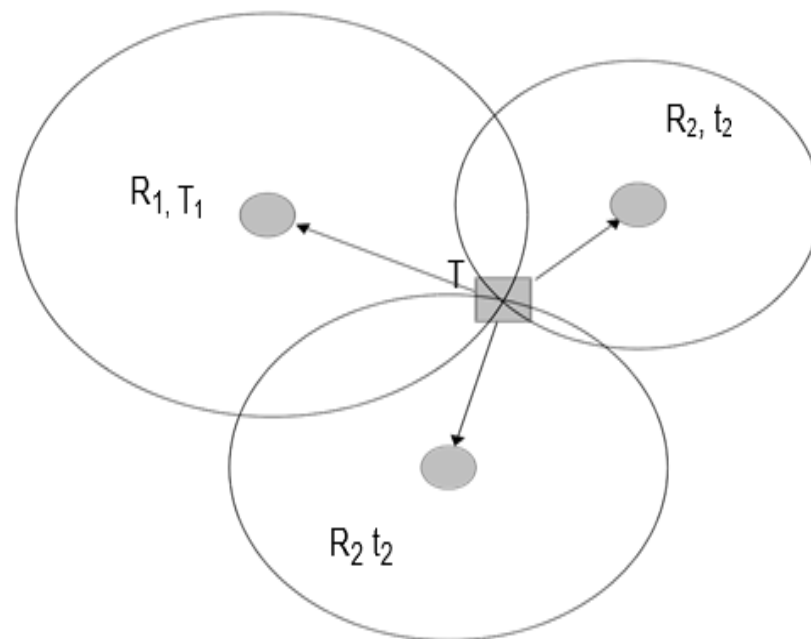


Рисунок 1.14 - Визначення положення мітки за допомогою ToA

За допомогою цих двох методів можна досягти високої точності у визначенні положення цільового вузла. Збільшення відстані між опорним і цільовим вузлами не впливає на точність обчислень, як в інших методах, таких як AOA і RSS. У цих двох методів є деякі недоліки, які слід враховувати. Слабка синхронізація часу є основним джерелом похибки в методі TOA. Інше джерело похибки пов'язане з багатопроменевим поширенням.

Щоб мати будь-яку розумну впевненість у вимірюванні часу $t_i - t_0$, годинники мітки і зчитувача повинні бути синхронізовані. Відстань між міткою та зчитувачем можна визначити цим методом, але це пов'язано зі значними витратами. Для досягнення точності до наносекундної шкали, що призводить до більш точного вимірювання відстані, необхідно розробити складну систему синхронізації годинників.

Необхідно розробити складну систему синхронізації годинника, яка вимагає великих витрат часу і зусиль. Крім того, потрібно щонайменше три зчитувачі як у 2D-площині, так і в 3D-просторі, що також збільшує вартість і складність системи [19].

1.2.6 Метод різниці в часі прибуття (TDoA)

У той час як метод ToA можна розглядати як перетин сфер з центральними точками у відомих місцях, метод часової різниці прибуття (TDoA) можна розглядати як перетин гіпербол (гіперболоїдів у 3D). Системи, які використовують метод TDoA, вимірюють різницю в часі передачі між сигналами, отриманими від кожного з передавачів до мітки. Тому TDoA також відомий як тривимірне гіперболічне позиціонування. У той час як ToA фіксує час, коли передавач (мітка) надсилає сигнал до зчитувача, TDoA вимагає, щоб приймачі (зчитувачі) фіксували, коли сигнали були отримані. Як і ToA, TDoA також вимагає, щоб кожен сигнал передавався синхронно, або одночасно, або з деякою відомою затримкою між передачами сигналів. Для TDoA потрібні три або чотири зчитувачі у відомих фіксованих позиціях. Кожен зі зчитувачів синхронно отримує сигнал від мітки і

фіксує час отримання сигналу. Ця інформація передається до механізму визначення місцезнаходження, який обчислює різницю в часі між отриманим сигналом та кожним зчитувачем. Ця різниця трансформується за допомогою алгоритму, щоб отримати приблизне місцезнаходження мітки. Математично, мітка знаходиться на перетині 3 гіпербол у 2D площині, тоді як у 3D просторі мітка знаходиться на перетині 3 гіперболоїдів. Розташування мітки в 3D площині $R_3 t_3$ можна проілюструвати наступним чином – як показано на Рисунку 1.15.

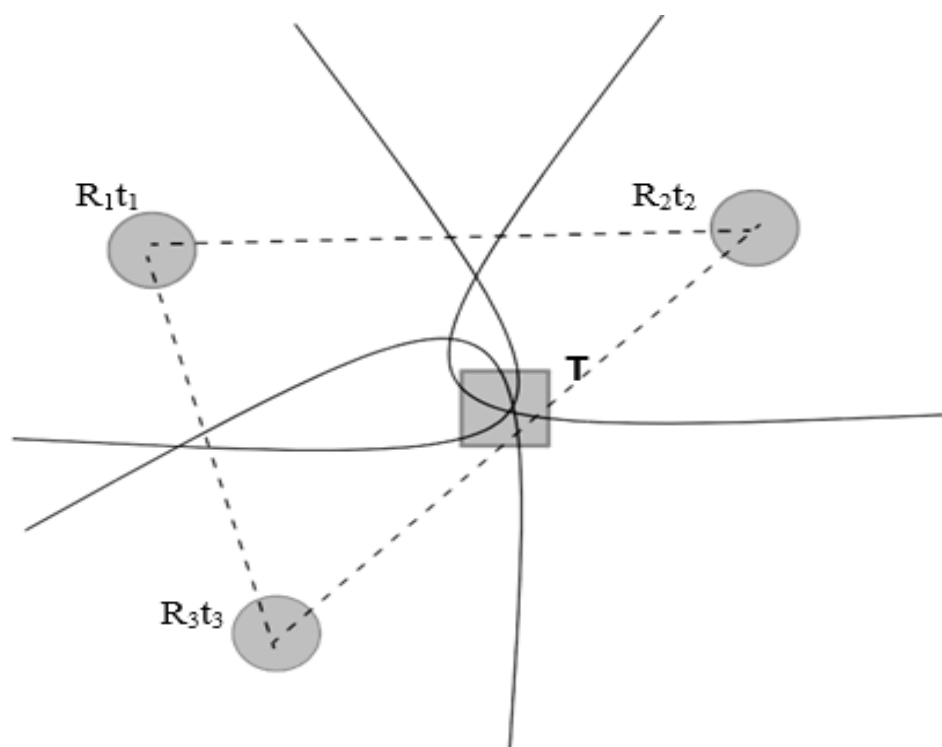


Рисунок 1.15 - Визначення положення мітки за допомогою TDOA

Метод TDOA використовує двостороннє пеленгування для обміну інформацією про час генерації сигналу від одного вузла до іншого. У цьому випадку синхронізація часу між вузлами не потрібна, і повторюючи процедуру двостороннього визначення координат, можна отримати хорошу точність вимірювань [14].

Метод TDOA використовує гіперболічний математичний принцип для оцінки положення приймального пристрою. Вузол приймача лежить на лініях двох пар

референцних станцій. Лінії мають постійні відстані між двома фокусами (опорними станціями) в гіперболі.

Проблеми, пов'язані з методом TDoA, подібні до проблем методу ToA. TDoA вимагає синхронізації годинників кожного зі зчитувачів. Точність механізму визначення місцезнаходження корелює з точністю годинників, що використовуються в зчитувачах (більш точні годинники забезпечують більшу точність, але й коштують дорожче для системи). Тому в більшості випадків годинники працюють асинхронно з відповідним впливом на точність визначення місцезнаходження. Крім того, на TDoA також впливає багатопроменеве поширення, шум і перешкоди, що призводить до неточних перетинів гіпербол. Пряма лінія об'єкта є кращою, наприклад, у відкритому просторі або у великих відкритих будівлях.

Метод на основі RSSI є більш придатним для оцінки положення завдяки своїй природі та низькій вартості, низькому енергоспоживанню. Інші методи вимагають апаратного забезпечення, а також є складними.

1.2.7 Методи оцінки місцезнаходження

Оцінка місцезнаходження в бездротових сенсорних мережах - це проблема оцінки місцезнаходження об'єкта на основі набору зашумлених вимірювань. Ці вимірювання отримуються розподіленим способом набором датчиків. Оцінка вузлових позицій важлива для ефективності маршрутизації та надання послуг на основі визначення місцезнаходження. Традиційні методи, засновані на точних вимірюваннях, часто є дорогими і енергоефективними. У цьому розділі обговорюються деякі основні методи для позиціонування в приміщенні:

- метод «Fingerprinting» створює радіомережу певної території на основі даних RSSI з декількох точок доступу і генерує розподіл ймовірностей значень RSSI для заданого (x,y) розташування. Потім значення RSSI в реальному часі порівнюються з відбитком пальця, щоб знайти найближчий збіг і згенерувати прогнозоване місцезнаходження (x,y) ;

- латерация складається з трьох неколінеарних якорів для точного вимірювання. При цьому позиція оцінюється за допомогою неколінеарних опорних вузлів, а місцезнаходження оцінюється за допомогою розрахункових значень;

- метод триангуляції базується на інформації про кути, а не відстані. Вона також називається ангуляцією. Він використовується для обчислення положення. Метою триангуляції є відображення RSSI як функції відстані. Для правильної реалізації цього методу потрібна крута лінійна характеристична крива. Функції, що описують ці криві, потім використовуються з реальними значеннями RSSI в якості вхідних даних для генерування прогнозу місцезнаходження (x,y) . Визначення положення вузла за допомогою триангуляції вимагає вимірювання кута прибуття сигналу, який називається "Кут прибуття";

- техніка мультилатерації використовується більш ніж для трьох якірних вузлів. Це простий метод визначення дальності, заснований на принципах геометрії. Вона забезпечує кращу продуктивність, ніж інші методи, і широко використовується для внутрішнього середовища. Мультилатерація [8] - це простий алгоритм децентралізованої локалізації, заснований на принципах геометрії. Як завжди, вузли, що відстежуються, збирають повідомлення маяків і оцінюють свою відстань до кожного маяка. Потім будь-який вузол, що заблукав, обчислює власне місцезнаходження шляхом перетину кіл з центрами на позиціях, зайнятих маяками, і радіусом, що дорівнює оціночній відстані між маяками і самим вузлом. В ідеалі точка перетину має бути єдиною точкою на поверхні, але через погіршення якості каналу і навколишнього середовища ця точка визначає область, де вузол може бути знайдений з великою ймовірністю. На практиці середовище може бути представлене сіткою зайнятості, квантуваною комірками скінченного розміру (кілька сантиметрів). Кожній комірці присвоюється вага, що дорівнює сумі квадратів відстані між коміркою і кожним колом. Вузол розміщується в центрі комірки з найменшою вагою. Мультилатерація трохи складніша за інші методи, але, принаймні в принципі, вона забезпечує кращу продуктивність, реалізуючи більш складну техніку локалізації.

1.3 Методи розміщення маячкових вузлів

Для того, щоб локалізація прийняла маякові вузли в своїх інфраструктурах, методи розміщення цих маяків відіграють значну роль в точності. Було визначено, що розміщення радіомаяків залежить лише від двох факторів, пов'язаних з локалізацією: 1) покриття сигналу цілі і 2) розподіл вузлів радіомаяка.

Більш щільне покриття радіомаяків на певній ділянці часто призводить до надлишкових вимірювань, а точність локалізації можна підвищити, зменшивши випадкові помилки вимірювання. Методи на основі відбитків пальців і близькості зазвичай вимагають принаймні одного покриття для кожної точки в даній області, але для більшої точності слід забезпечити більше 2 покриттів. Для методів, що використовують триангуляцію та трилатерацію, вважається достатнім 3-кратне покриття або більше покриття для розгляду розв'язності системи рівнянь.

Що стосується питання розподілу, то для різних методів локалізації також потрібен специфічний розподіл вузлів-маяків. Деякі методи локалізації вважають кожну точку в межах заданої області однаково важливою. Таким чином, вузли-маяки повинні бути розміщені рівномірно. Певні методи, розподіл вузлів-маяків зі значенням геометричного розмивання точності (GDoP) [21] допоможуть підвищити точність локалізації. Для цих методів вузли-маяки повинні бути розміщені так, щоб значення GDoP було оптимальним. Враховуючи розміщення вузлів-маяків, вимога до локалізації може бути сформульована наступним чином:

$$\text{req}(A) = (k, d, r) \quad (1.1)$$

Де:

A - задана область;

r - радіус локалізації вузлів-маяків;

k - вимога покриття, значення якої вказує на те, скільки вузлів-маяків потрібно для покриття кожної точки в A;

d - вимога до розподілу, яка може бути рівномірною, оптимальною за ВВП, випадковою або ін.

Визначення в рівнянні (1) має важливе значення для розробників системи

локалізації, оскільки точність методу локалізації в заданих областях гарантується при знаходженні заданого значення $req(A)$ та знаходженні розміщення.

1.3.1 Розміщення вузлів-маяків з оптимальним розподілом

У цьому розділі розглядається економічно ефективний метод розміщення маяків, який задовольняє вимогу $req(A) = (k, d, r)$ з використанням якомога меншої кількості вузлів-маяків. Існує три кроки, які допомагають досягти оптимального розміщення з невеликою кількістю маячків:

- класична трикутна решітка, що застосовується для досягнення розміщення з 1 покриттям;
- розрахунок оптимального розподілу для методів локалізації;
- шаблон k-покриття перебирає набір точок вибірки і пристосовується до області довільної форми.

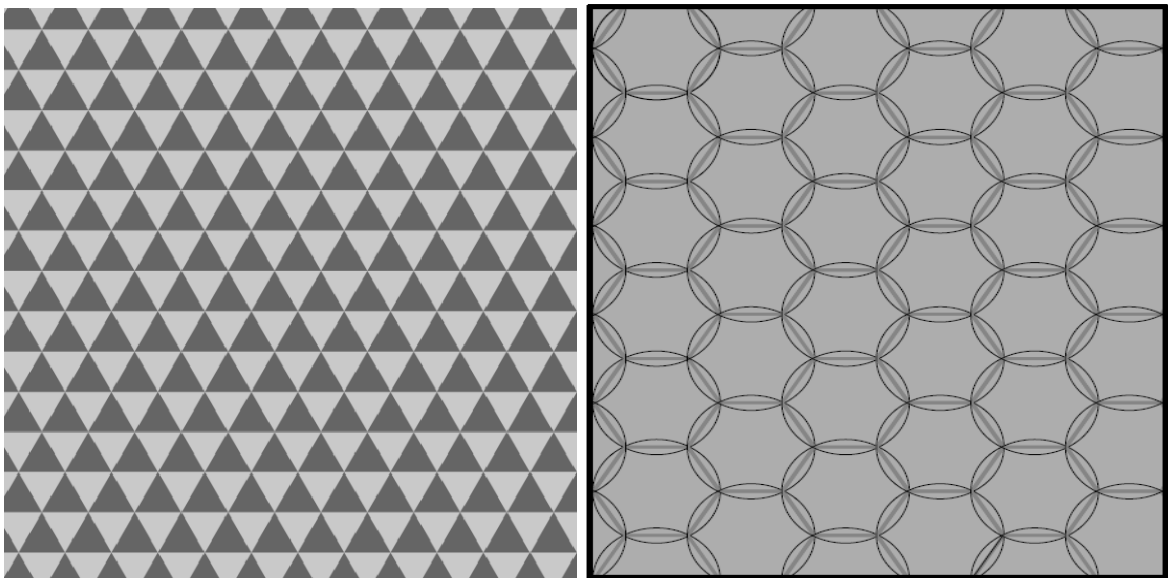


Рисунок 1.16 - Трикутна решітка - рівносторонні трикутники (ліворуч) та правильні шестикутні решітки (праворуч)

Шаблон трикутної решітки широко використовується для покриття площі, як

показано на Рисунку 1.16. Задавши довжину сторін цих трикутників як $\sqrt{3}r$ (де r - радіус локалізації) і розмістивши маякові вузли в центрі заштрихованих трикутників, можна легко досягти 1-покриття. Видно, що територія покрита колами радіусом r . У центрі кожного кола розміщено маяковий вузол. Застосовуючи шаблон трикутної решітки, будь-яка точка p в області покривається принаймні одним колом, тобто з покриттям сигналу принаймні одного вузла-маячка. Використовуючи тесселяцію Вороного [22], ми можемо розбити всю область на правильні гексагональні решітки. Кожна з цих гексагональних решіток охоплює всі точки, відстань до центру яких менше, ніж відстань до центру інших гексагональних решіток.

1.3.2 Обчислення оптимальних розподілів

Розглянемо вимоги до розміщення (k, d, r) . Після застосування шаблону трикутної решітки необхідно розмістити додаткові опорні вузли (або додаткові гексагональні решітки), щоб задовольнити вимогу k -покриття, якщо $k > 1$. Ці маякові вузли також повинні бути розміщені відповідно до вимог розподілу d одночасно. Однак, вимога розподілу d відрізняється для різних методів локалізації, середовищ розгортання та рішень щодо планування. Іншими словами, різні вимоги до розподілу d визначають різний оптимальний шаблон розміщення вузлів-маяків, наприклад, k -оптимальний шаблон представляє k -покриття з оптимальним розподілом. Для оцінки шаблону ми визначаємо оціночну функцію $f(d, P)$ для конкретної вимоги розподілу d , де множина P складається з k точок. Тут кращий шаблон має менше значення $f(d, P)$ і навпаки.

Далі пояснюється структура $f(d, P)$ для різних методів локалізації з різними вимогами до розподілу d . Для наочності розглядаються дві загальні вимоги:

- D1 з рівномірним;
- D2 з оптимальним ВВП.

Для оцінки $f(d, P)$ використовується гексагональна решітка $h1$.

Рівномірне розміщення. За умови k -покриття кожна точка гексагональної решітки $h1$

знаходиться в радіусі локалізації r принаймні k , розміщених на маячкових вузлах. Область решітки hl можна розглядати як покриття деякими підобластями, що перекриваються, з k -покриттям. Згідно з вимогами $d1$ з рівномірністю, підобласті k -покриття повинні бути гарантовано рівними за розміром, наскільки це можливо. Нехай $a(A)$ позначає розмір області A . Припустимо, що існує q таких підобластей, A_1, A_2, \dots, A_q , для множини вибраних точок $P = \{o_i, p_1, p_2, \dots, p_{k-1}\}$. Функцію $f(d, P)$ визначимо наступним чином:

$$f(d, P) = \sum_{i=1}^q (a(A_i) - E(a(A_1), a(A_2), \dots, a(A_q)))^2 \quad (1.2)$$

Де $E(a(A_1), a(A_2), \dots, a(A_q)) = (a(A_1) + a(A_2) + \dots + a(A_q))/q$. Для рівняння (2) приблизно однакові за розміром підобласті свідчать про добру закономірність, і $f(d, P)$ має мале значення. В іншому випадку, $f(d, P)$ має велике значення для поганої моделі, для якої підобласті відрізняються.

Геометричне розмивання точності оптимального розміщення. За умови, що $GDoP_{d2} =$ оптимальному $GDoP$, функція $f(d, P)$ повинна мати мале значення для гарного розподілу $GDoP$ [17] з вибраним набором точок P . Ми можемо визначити функцію $f(d, P)$ як:

$$f(d, P) = \int_{hl} GDoP(P) dP \quad (3)$$

Де $GDoP(P)$ позначає значення розподілу $GDoP$. Точкам з невизначеними значеннями $GDoP$ ми приписуємо нескінченність. Рівняння (3) обчислює інтеграл від $GDoP(P)$ за площею hl . Хороший розподіл ВВП має мале значення $GDoP(P)$, а отже, і мале значення $f(d, P)$.

1.3.3 К-покриття та область довільної форми

Після застосування шаблону трикутної решітки можна досягти 1-покриття для цільової області. Нехай множина $HL = \{hl_1, hl_2, \dots, hl_n\}$ позначає всі гексагональні решітки, розміщені за схемою трикутних решіток. Припустимо, що n маячкових вузлів розміщено у точках o_1, o_2, \dots, o_n , де o_i - центр i -ої гексагональної решітки.

Щоб знайти k -оптимальний шаблон, ми виконуємо вичерпний перебір точок вибірки. Спочатку ми випадковим чином вибираємо гексагональну решітку hli з центром в o_i з HL і відбираємо набір з m точок в цій решітці. Щоб задовольнити вимогу k -покриття, кожного разу ми вибираємо $k - 1$ точку, p_1, p_2, \dots, p_{k-1} , з набору m точок, і переводимо копію шаблону HL одночасно з переміщенням точки o_i . При переміщенні $k - 1$ копії точки o_i в кожен з цих $k - 1$ вибраних точок, $k - 1$ копій HL застосовуються до цільової області. Після цього процесу кожна точка цільової області покрита принаймні k гексагональними решітками. Потім ми розміщуємо маячкові вузли в центрах нових гексагональних решіток, що генеруються. Функція $f(d; P)$, $P = \{o_i, p_1, p_2, \dots, p_{k-1}\}$, може бути використана для оцінки схеми розміщення маячків. Перебравши всі $k-1$ комбінації точок з множини m точок, ми можемо знайти найкращу схему, яка мінімізує функцію $f(d; P)$, тобто схему k -покриття з оптимальним розподілом (k -оптимальну схему).

Після знаходження k -оптимального шаблону з оптимальним розподілом, ми повинні підігнати його до заданої області A . При ретельному підборі можна використати меншу кількість вузлів-маяків, щоб задовольнити вимогу розміщення $req(A) = (k, d, r)$. Для заданої області A , яка може мати довільну форму, застосовується метод пошуку, аналогічний описаному вище. Ми випадковим чином вибираємо гексагональну решітку hli з центром у точці o_i , а вибіркового набору з t точок p_1, p_2, \dots, p_t , переміщується в точку p_s , ми можемо знайти точку, яка відповідає шаблону в області A з найменшою кількістю маячкових вузлів з цих t точок. Після знаходження k -покриття з оптимальним розподілом, ми повинні підігнати його до заданої області A . При ретельному підборі можна використати меншу кількість опорних точок, щоб задовольнити вимогу розміщення $req(A) = (k; d; r)$. Для заданої області A , яка може мати довільну форму, застосовується метод пошуку, аналогічний описаному вище. Випадковим чином вибирається гексагональна решітка hli з центром у точці o_i та вибірка з t точок, p_1, p_2, \dots, p_t , у hli . Потім випадковим чином виберемо точку p_s у заданій області A і переведемо всю картину разом з переміщенням кожної з цих t точок. Підрахувавши кількість опорних точок, що з'являються при переміщенні кожної з цих t точок, p_1, p_2, \dots, p_t ,

на точку p_s , можна знайти точку, яка відповідає області A з найменшою кількістю опорних точок з цих t точок. Часова складність обчислення $f(d, P)$ та запису розміщення опорних точок становить $O(mk-1)$ та $O(t)$ відповідно. Це вичерпний пошук картини k -покриття з оптимальним розподілом. Для спеціальних вимог до розподілу d можна було б розробити кращі методи відповідно до просторових властивостей $f(d, P)$. Однак неможливо розробити такі методи для загального методу розміщення вузлів-маяків без знання просторових властивостей. Хоча як вичерпний пошук, пошук k -покриття з оптимальним розподілом має прийнятну часову складність $O(mk-1)$.

1.4 Моделювання внутрішнього простору

1.4.1 Представлення просторової моделі

Різні просторові моделі приміщень були запропоновані попередніми дослідниками [23-26]. Розглядаючи ці моделі, ми виявили, що їх можна відрізнити за способом представлення, тобто геометрією, топологією та семантикою. Існує небагато чистих геометричних, топологічних або семантичних моделей, але є гібридні моделі, що використовують різні рівні абстракції [27]. У цій роботі ми хочемо побудувати просторову модель, що поєднує геометричні, топологічні та семантичні особливості, тому нижче розглядаються підходи до представлення кожного типу особливостей.

Геометрія просторової моделі залежить від поділу внутрішнього простору. Внутрішній простір може бути розділений або реальними межами підпростору (стінами та дверима), або довільними межами, визначеними розробниками. Перший метод не розглядається в цій роботі, оскільки йому не вистачає можливості представляти просторові об'єкти низького рівня (наприклад, підпростір та об'єкти всередині приміщення) і він менш придатний для навігаційних сервісів [28]. Останній метод, також відомий як поділ на основі комірок, розбиває внутрішній простір на скінченну кількість областей. Ці області можуть бути правильної форми,

наприклад, квадратні сітки, або неправильної форми, наприклад, трикутники, трапеції та діаграми Вороного [28]. У наступному розділі порівнюються кілька загальноновживаних моделей на основі комірок, щоб визначити, яка з них є більш придатною для відстеження. Гранулярність поділу (розмір комірки) визначає рівень деталізації просторової моделі (наприклад, рівень кімнати, підкімнати, об'єкта). Згідно з дослідженням Domínguez, García та Feito [27], більшість представлених просторових моделей використовують точку, лінію та багатокутник для представлення внутрішнього простору та мають деталізацію на рівні приміщення.

Топологія внутрішнього простору може бути змодельована або як повністю 3D-простір, використовуючи, наприклад, комплекси комірок, або як пов'язаний набір 2D-шарів [26]. У цій тезі розглядається лише останній підхід, оскільки його легше реалізувати і він є достатнім для цілей відстеження. Слід розрізняти два типи топологічних відношень: зв'язність та суміжність. Два простори з'єднані лише тоді, коли між ними є двері або вікна, але вони є суміжними, якщо мають спільний об'єкт (наприклад, стіну). В огляді Domínguez, García та Feito [27] більшість представлених просторових моделей використовують граф зв'язків для представлення топології внутрішнього простору. Граф зв'язків може надавати інформацію про доступність між двома місцями, що є корисним для визначення місцезнаходження. Таким чином, наша просторова модель повинна мати представлення зв'язності.

Семантика просторової моделі описує основні просторові та структурні концепції внутрішнього середовища [25]. Семантику часто називають онтологією, коли вона використовується не тільки для представлення, але й для міркувань [26]. Ворбойс [26] вважає, що важливо розрізняти фіксовані структури, які підтримують внутрішній простір (наприклад, стіни, двері, вікна та підлога), та сутності, які зазвичай є рухомими (наприклад, меблі та обладнання). Більш детальні визначення онтології приміщень надають Гетц та Ципф [29], а також Цецос та Анагностопулос [25]. Гетц і Ципф класифікують внутрішній простір на кімнату, коридор, хол і вертикальний прохід, а також визначають перешкоди і точки інтересу для представлення внутрішніх сутностей. Цецос і Анагностопулос визначають три підкласи для внутрішнього простору: коридор, кімната і поверх, тоді як

вертикальний прохід віднесено до класу `path_element`. Вони також використовують поняття перешкоди та точки інтересу. Для цієї тези, на нашу думку, слід також розрізняти два семантичні типи: простір (наприклад, кімната, коридор, вертикальний прохід) та об'єкт (наприклад, перешкода та двері).

1.4.2 Моделі на основі ячейок

Існує кілька підходів до побудови мережевих моделей, таких як обмежена триангуляція Делоне, діаграма Вороного, поділ на основі опуклих багатокутників та трапецій. Ця модель має вершинно-реберне представлення, де вершини представляють нерегулярні клітинки, а ребра - зв'язки між ними. Переміщення від однієї вершини до іншої дозволяється лише тоді, коли між ними є ребро. Ребро вказує на відстань або час подорожі між вершинами. Крім того, вершина може містити семантичну інформацію про місцезнаходження, наприклад, вершина кімнати, вершина дверей, вершина перешкоди тощо. Нижче наведено чотири приклади мережевої моделі.

Мережева модель на основі функціональних клітин (наведена на Рисунку 1.17): Лоренц та ін. [30] ділять вільний простір будівлі на комірки, що не перетинаються. Велика кімната і довгий коридор розбиваються на кілька осередків через їхній розмір. Приміщення з кількома функціональними зонами також поділяється відповідно до їх функціональності, наприклад, зал очікування в аеропорту може мати зони очікування, місця для зустрічей, зони перед різними стійками та перевітками безпеки, паспортного контролю тощо. Всі вони служать різним цілям і повинні бути представлені різними комірками. Центри комірок виділяються як вершини мережевої моделі, а дві комірки з'єднуються ребрами. Модель також містить семантичну інформацію. Розрізняють вершини, витягнуті з клітин кімнати та коридору, двері, що з'єднують дві кімнати або кімнату і коридор, зображуються ребром. Їх модель створюється в основному для цілей пошуку шляхів [30].

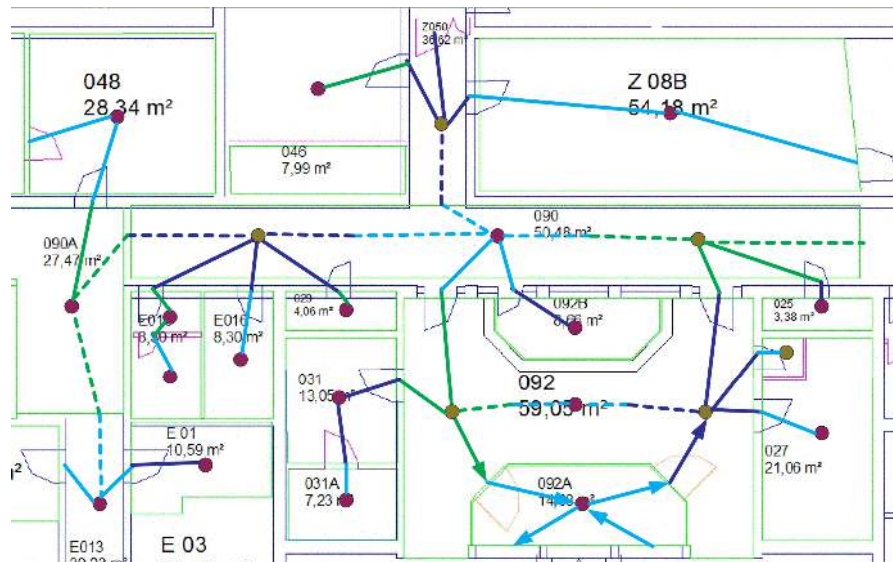


Рисунок 1.17 - Мережа на основі функціональних комірок

Мережева модель на основі узагальненого графа Вороного (GVG) (Рисунок 1.18): Wallgrün [31] виводить GVG з відповідної узагальненої діаграми Вороного (GVD). GVD - це відображення вільного простору на мережу кривих, що відображають зв'язність вільного простору. На Рисунку 1.18 показано просте двовимірне середовище і відповідну GVG (тонкі лінії), що складається з кривих, які перетинаються в точках зустрічі і закінчуються в кутах середовища. На рисунку 1.18 показано GVG, який є графом, що відповідає GVD на рисунку 1.18, з вершинами, що відповідають точкам зустрічі або кутам, і ребрами, що з'єднують вершини, з'єднані кривими Вороного. Ця модель добре відображає топологію середовища і підходить для планування шляхів і просторових міркувань [31].

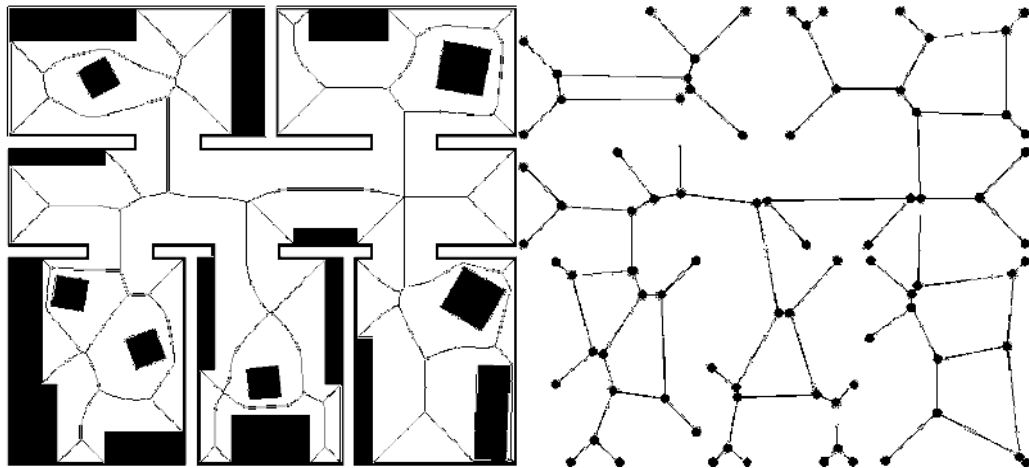


Рисунок 1.18 - Мережева модель на основі діаграми Вороного

Мережева модель на основі обмеженої триангуляції Делоне: ми будемо мережеву модель за допомогою обмеженої триангуляції Делоне (Рисунок 1.19). Оскільки початковий результат триангуляції складного простору має багато тонких клубків, ми об'єднуємо ці маленькі трикутники з сусіднім, який має найменшу площу. Центроїди трикутників виділяються як вершини простору, двері або перешкоди всередині простору також представляються вершиною. Для побудови зв'язності, вершини всередині простору з'єднуються зі своїми сусідами, а вершини в різних просторах з'єднуються через вершини дверей.

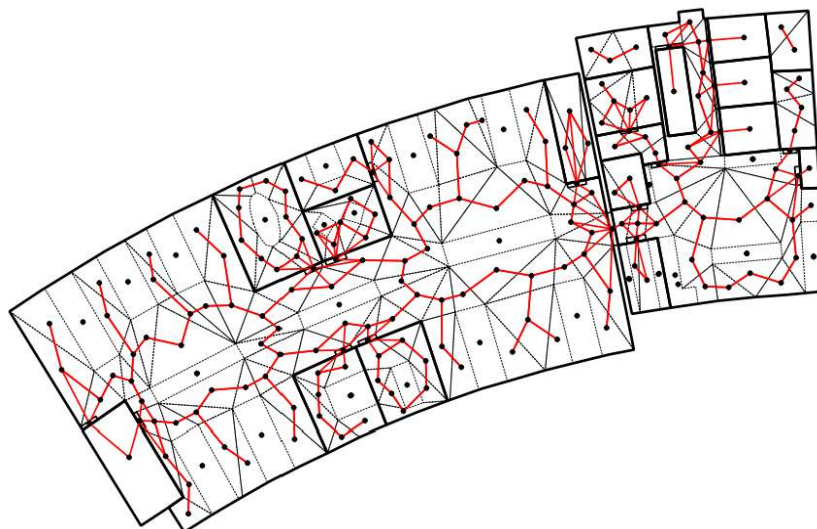


Рисунок 1.19 - Мережа на основі обмеженої триангуляції Делоне

Мережева модель на основі опуклого полігону: Ламарш та Доніян [32] виводять мережеву модель з опуклих багатокутників навколишнього середовища. Спочатку до паралельних стін і кутів споруд додаються додаткові сегменти обмежень, потім застосовується триангуляція Делоне під обмеженнями доданих сегментів і стін, і, нарешті, трикутники об'єднуються для створення опуклої комірки (рис. 1.20). Після обчислення розбиття опуклої комірки витягується граф, що містить топологічні зв'язки. Вершиною цього графа є опукла комірка, а ребро представляє вільний сегмент, що поділяється двома сусідніми комірками, довжина якого перевищує ширину гуманоїда (Рис. 1.20). Такий просторовий поділ точно відображає геометрію середовища, а виокремлення вузьких ділянок автоматично визначає найбільш обмежені частини цього середовища. Завдяки цій інформації доступність між сусідніми комірками можна відфільтрувати перед будь-яким обчисленням планування шляху, використовуючи ширину людини. Ця мережева модель також призначена для пошуку шляхів.

У цій роботі розглядається лише модель сітки з квадратними комірками, оскільки вона є найпростішою і найчастіше використовуваною формою. Сітьова модель розкладає простір на регулярні одиниці зі значенням (семантичні елементи), наприклад, шматок кімнати вважається одиницею сітки, і кожна одиниця сітки пов'язана з її сусідами [23]. Оскільки сіткова модель не абстрагується від простору, вона здатна точно і безперервно описувати місце розташування. Оглядаючи літературу, ми виявили, що для навігації пішоходів у приміщенні використовується менше сіткових моделей, проте подібна модель, яка називається сіткою зайнятості, широко використовується для навігації та відстеження мобільних роботів. Нижче ми спочатку представимо сіткову модель внутрішнього простору, а потім пояснимо, що таке сітка зайнятості [32].

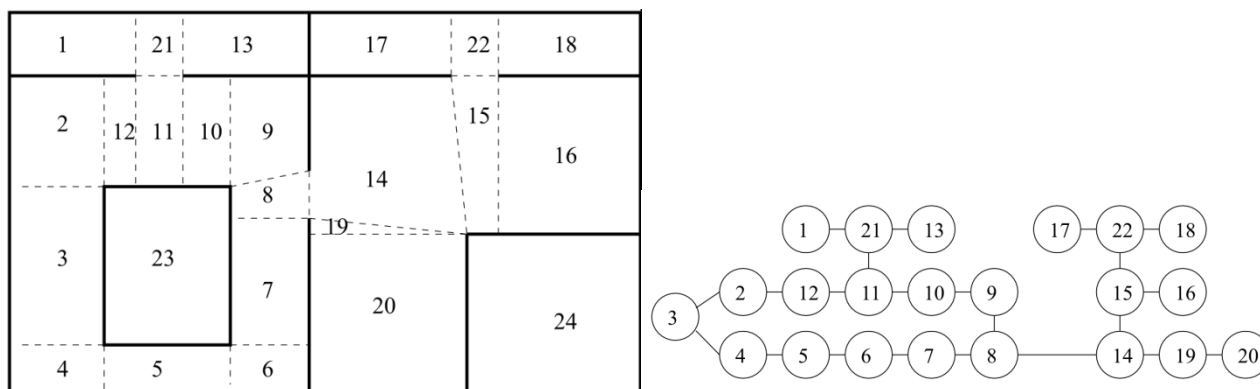


Рисунок 1.20 - Модель мережі на основі опуклого багатокутника

Лі, Клараунт та Рей [23] пропонують модель сіткового графа (Рисунок 1.21). Спочатку вони представляють внутрішній простір за допомогою комірок (різних елементів внутрішнього простору, таких як кімната, стіна тощо), а потім накладають сітковий графік на комірки, як показано на Рисунку 1.21. Кожна вершина сіткового графіка з'єднана з вісьмома своїми сусідами (окрім тих, що знаходяться на межі сіткової моделі) горизонтальними, вертикальними та діагональними ребрами. Нарешті, для того, щоб відобразити геометричну інформацію про клітинні одиниці в приміщенні, вершини і ребра сіткового графа позначені відповідно до їх приналежності до базових клітинних одиниць. Кожна вершина, яка міститься в одній і тільки одній комірці, має одне і тільки одне значення приналежності, тоді як значення приналежності ребра є багатозначним, коли це ребро перетинає кілька комірок (Рисунок 1.21). Топологічні зв'язки між клітинками можуть бути вилучені з ребер з декількома значеннями приналежності. Їхні дослідження також показують, що обсяг і деталізація є найбільш важливими параметрами для сіткової моделі. Масштаб сіткової моделі зазвичай встановлюється як масштаб внутрішнього середовища, а деталізація сіткової моделі повинна бути ретельно визначена відповідно до мети застосування [23].

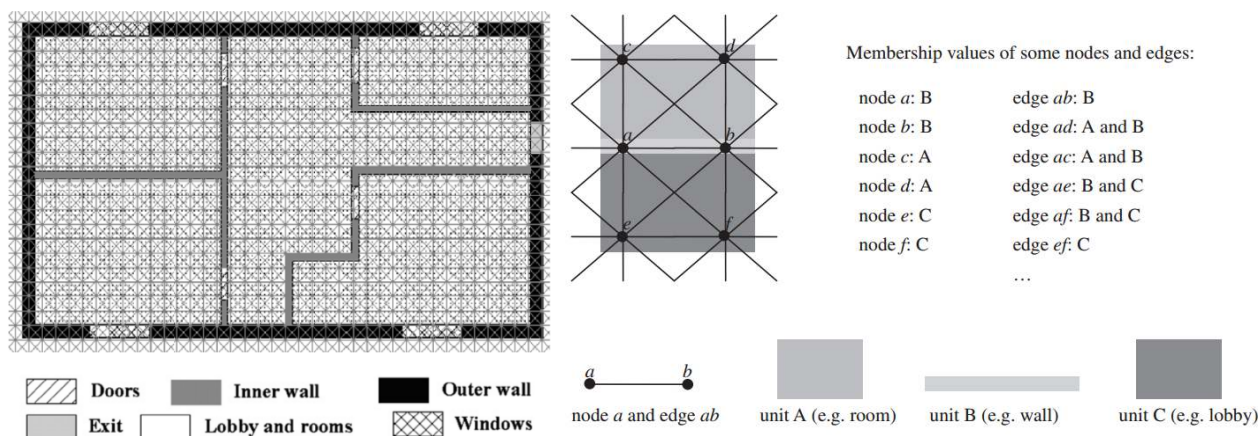


Рисунок 1.21 - Модель сіткового графіка

Сітка зайнятості - це регулярна матриця, що складається з однакових за розміром клітинок, кожна з яких може бути з'єднана з вісьмома сусідніми клітинками. Висока ймовірність присвоюється клітинкам в межах доступного простору, а низька - клітинкам, зайнятим перешкодами. Простота та метрична вбудованість є двома перевагами підходу сітки зайнятості [33]. Приклад сітки зайнятості зображено на Рисунку 1.22 [34].

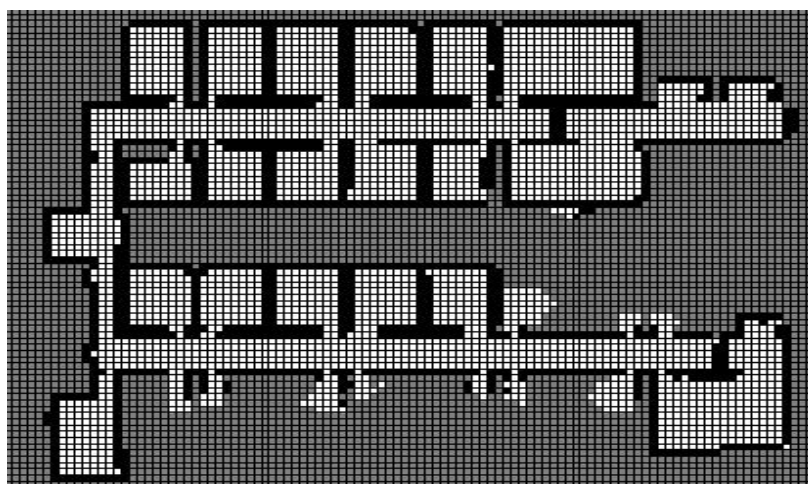


Рисунок 1.22 - Сітка заповнюваності

Проаналізувавши всі ці моделі, було виявлено, що мережева модель добре відображає топологію середовища і часто використовується для планування

маршрутів. Однак ця модель вважається менш точною, оскільки в ній відсутні геометричні деталі об'єктів та місць всередині приміщення. Для цієї дипломної роботи обрано сіткову модель з наступних причин:

- сіткова модель здатна описати точне місцезнаходження. Сіткова модель зазвичай має невеликий розмір комірки (менше 1 метра), тому за допомогою цієї моделі можна охопити практично будь-які місця в приміщенні;

- сіткова модель має високу гнучкість щодо деталізації. Відповідно до складності внутрішнього середовища, може бути необхідна різна деталізація декомпозиції. Для простого середовища з невеликою кількістю перешкод можлива груба декомпозиція, однак для складного середовища з великою кількістю підпросторів і перешкод необхідна тонка декомпозиція, щоб представити всі деталі середовища. За допомогою сіткової моделі дуже легко налаштувати деталізацію, оскільки її комірки мають однаковий розмір і можуть масштабуватися між собою. Але гранулярність комірок мережевої моделі не є рівномірною, і за допомогою цього методу складніше отримати точну декомпозицію;

- сіткова модель підходить для обчислень. Сіткову модель можна також розглядати як матрицю, що дозволяє проводити багато матричних обчислень;

- сіткову модель легко реалізувати та підтримувати.

2 АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ

Наразі не існує чітко визначеної системи локалізації в приміщенні, як це відбувається на вулиці (системи GPS або GNSS). Однак, існує ряд методів позиціонування об'єктів, що використовують обладнання, основне завдання якого часто принципово відрізняється від задачі позиціонування рухомих об'єктів. У роботах зарубіжних дослідників у цій галузі найбільш поширені методи позиціонування з використанням таких пристроїв і технологій, як RFID, Wi-Fi, Bluetooth і QR-коди, а також компас і акселерометр. За допомогою акселерометра можна реалізувати крокомір. Компас можна використовувати для коригування напрямку руху. За рівнем взаємодії між системою локалізації та об'єктом позиціонування (наприклад, пішоходами або деякими інтелектуальними мобільними об'єктами), перераховані вище пристрої і методи можна розділити на дві групи - активні і пасивні.

Пасивний рівень взаємодії - це рівень, при якому об'єкт позиціонування повинен зробити кілька дій в безпосередній близькості від пристрою. До методів локалізації рухомих об'єктів з пасивним рівнем взаємодії відносяться пасивні RFID-мітки, QR-коди, а також поєднання акселерометра і компаса.

Активний рівень взаємодії - це рівень, на якому від об'єкта локалізації не потрібно виконувати ніяких дій. Всі розрахунки і обробка даних, що надходять, здійснюються у фоновому режимі, непомітно для об'єкта. Такий рівень взаємодії може бути досягнутий при використанні таких технологій як Wi-Fi, Bluetooth або iBeacon.

2.1 Використання пасивної системи RFID

Радіочастотна ідентифікація (RFID) - це технологія ідентифікації об'єктів, що швидко розвивається. Оцінка положення об'єкта за допомогою RFID базується на

електромагнітному зв'язку між зчитувачем і RFID-міткою. Крім того, вона набуває все більшого поширення. Прикладом цього є той факт, що багато новітніх мобільних пристроїв мають адаптери ближнього радіозв'язку (NFC), основані на технології RFID. Технологія NFC - це технологія бездротового зв'язку з невеликим радіусом дії, високою частотою і низькою пропускнуою здатністю між двома пристроями з підтримкою NFC. Зв'язок між пристроями NFC відбувається на високій частоті 13,56 МГц [35]. Таким чином, зв'язок відбувається між двома пристроями, що знаходяться поруч - зчитувачем та NFC-міткою. Структура NFC-мітки показана на рисунку 2.1.

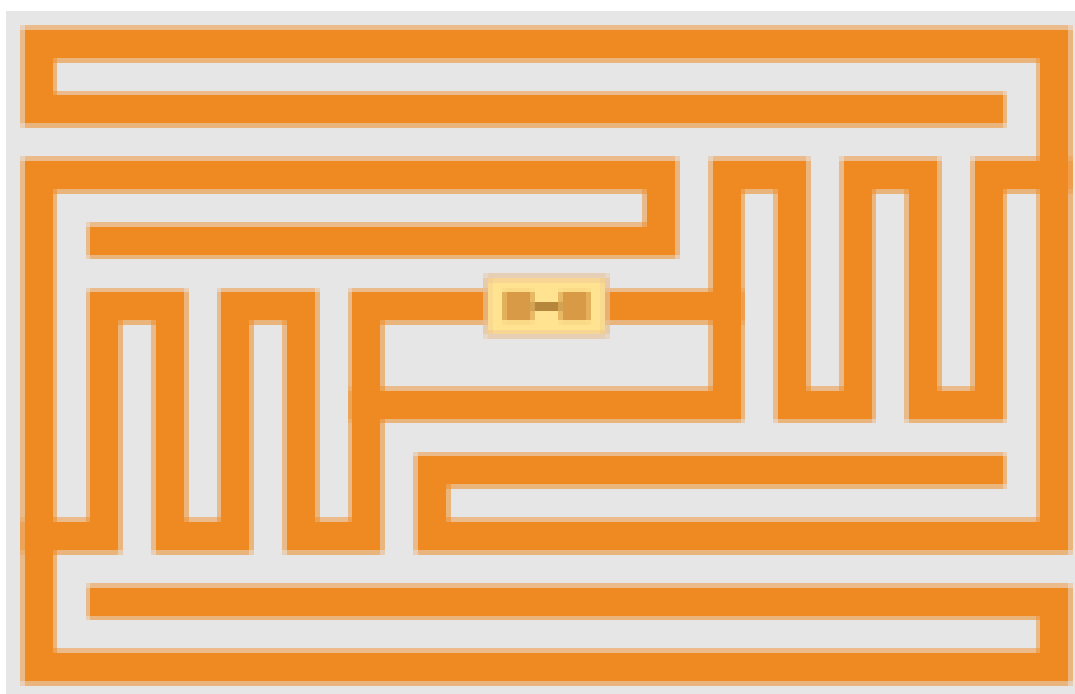


Рисунок 2.1 - Структура RFID-мітки

Існує багато зарубіжних дослідників, які працюють над системами локалізації на основі пасивної RFID-мітки. Одну з них можна знайти в [36]. Ця система дозволяє відстежувати автономні об'єкти за допомогою пасивної технології RFID. Завдяки цій системі різні оператори мають можливість відстежувати мобільні об'єкти під час їхньої діяльності. Концепцію такої системи можна побачити на Рисунку 2.2.

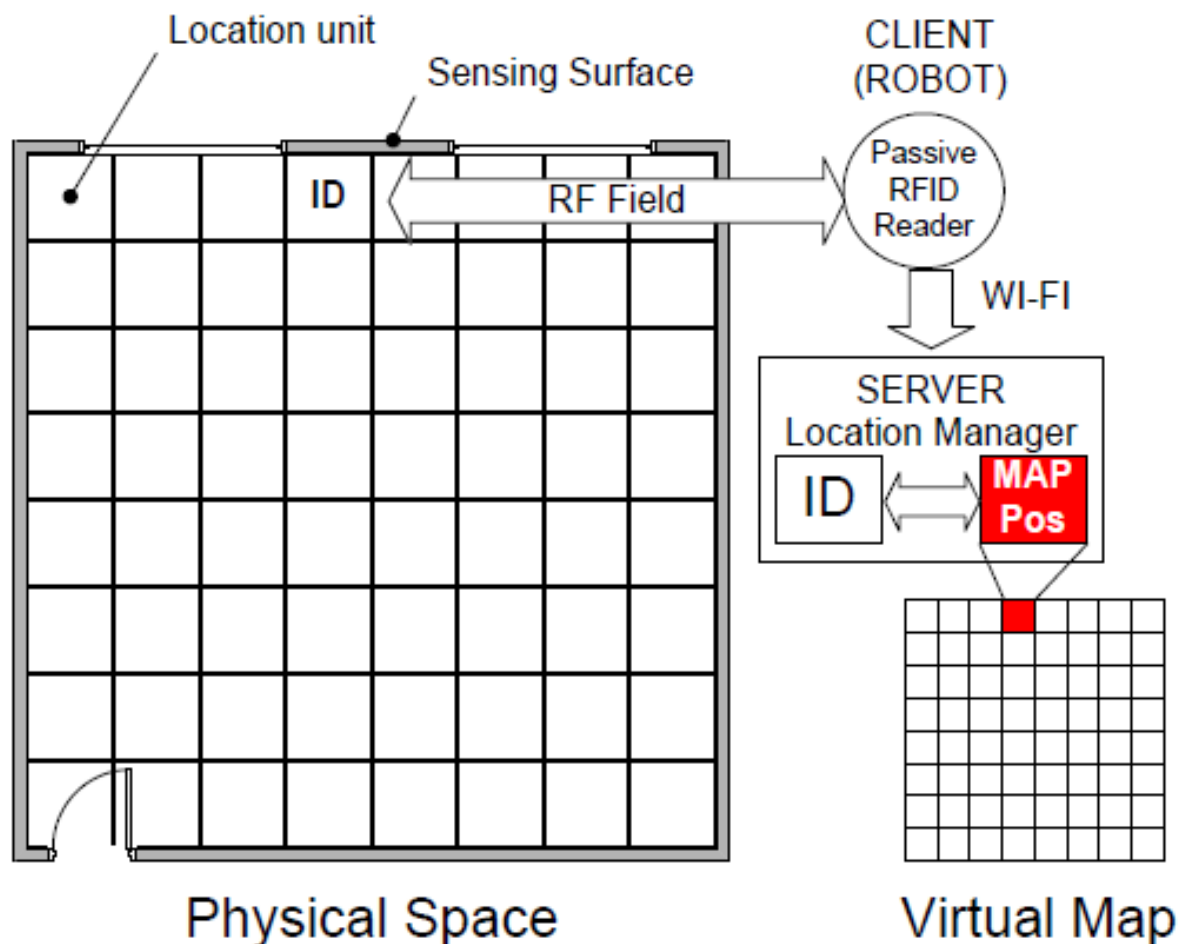


Рисунок 2.2 - Схематичне зображення системи позиціонування на основі RFID

Процес локалізації, заснований на використанні системи RFID, працює бездоганно, а точність дорівнює 100%. Але ця перевага, з іншого боку, є і недоліком. Користувач такого методу повинен завжди знаходити NFC-мітку, щоб відсканувати її та визначити своє місцезнаходження. Також був реалізований метод локалізації з використанням пасивної RFID-мітки на базі набору Lego Mindstorms NXT та платформи Arduino. Реалізація цього методу показана на Рисунку 2.3. Під час роботи такої реалізації робот визначав своє місцезнаходження, скануючи кожен RFID-мітку на своєму шляху, і в залежності від ідентифікатора мітки розпізнавав своє поточне положення в навколишньому середовищі.



Рисунок 2.3 – Позиціонування робота в приміщенні за допомогою RFID

2.2 Технології на основі RSSI для локалізації в приміщенні

2.2.1 Дослідження поширення сигналу Wi-Fi

Для перевірки можливості отримання будь-якої закономірності від загасання сигналу при його поширенні було проведено декілька експериментів в різних середовищах. Для того, щоб зробити цей процес більш автоматизованим, було розроблено відповідний додаток. Цей додаток було розроблено для пристроїв на платформі Android. Основною метою цього додатку була автоматизована реєстрація інформації про рівень вхідного радіосигналу від необхідної точки доступу.

Процес збору даних з необхідної точки доступу відбувався наступним чином:

- дано Wi-Fi роутер D-Link DIR-300. Даний роутер був розміщений на передбачуваному початку траси;
- з іншого боку знаходився планшет Samsung із встановленим додатком для збору інформації про рівень прийнятого сигналу;
- починаючи з безпосередньої близькості до роутера, користувач повинен був реєструвати дані на кожному з лічильників, поступово віддаляючись від роутера;
- на кожному з вхідних лічильників користувач зібрав 10 вимірювань рівня

сигналу, отриманого від роутера;

- вимірювання припинялися, коли сигнал від роутера зникав і не було ніякої можливості отримати будь-яку інформацію про рівень сигналу, отриманого від цього роутера.

Для того, щоб мати повне уявлення про затухання поширення Wi-Fi-сигналу, експерименти було розширено чотирма особливостями. Ці особливості були пов'язані з наявністю перешкоди та наявністю зв'язку з цим маршрутизатором. Отже, ці особливості були реалізовані наступним чином:

- перший збір даних здійснювався за умови наявності прямої видимості між маршрутизатором і планшетом та наявності встановленого з'єднання з маршрутизатором;

- другий збір даних здійснюється при наявності прямої видимості між роутером і планшетом і відсутності встановленого з'єднання з роутером;

- третій збір даних проводився за відсутності прямої видимості між роутером і планшетом (єдиною перешкодою між роутером і планшетом була людина) і наявності встановленого з'єднання з роутером;

- четвертий збір даних проводився за відсутності прямої видимості між роутером і планшетом (єдиною перешкодою між роутером і планшетом була людина) і відсутності встановленого з'єднання з роутером.

Після завершення збору даних було створено чотири таблиці. Кількість стовпців дорівнювала максимальній відстані між роутером і планшетом. Кількість рядків дорівнювала кількості вимірювань на кожному з вимірювачів і постійно дорівнювала 10. Також було знайдено середнє значення рівня прийнятого сигналу на кожному метрі для того, щоб зробити висновки про поширення Wi-Fi сигналу в різних умовах навколишнього середовища.

Додаток для Android складався з трьох активностей. Першою дією було головне меню, де користувач мав обрати режим роботи. Режимів роботи було 5. Чотири з них були пов'язані з вимірюванням рівня прийнятого сигналу за 4-ма ознаками, які були описані раніше. Останній режим дозволяв користувачеві знайти середнє значення рівня прийнятого сигналу з 10 вимірювань, які були зроблені на

кожному метрі на виході з роутера. Скріншот головного меню можна побачити на Рисунку 2.4.

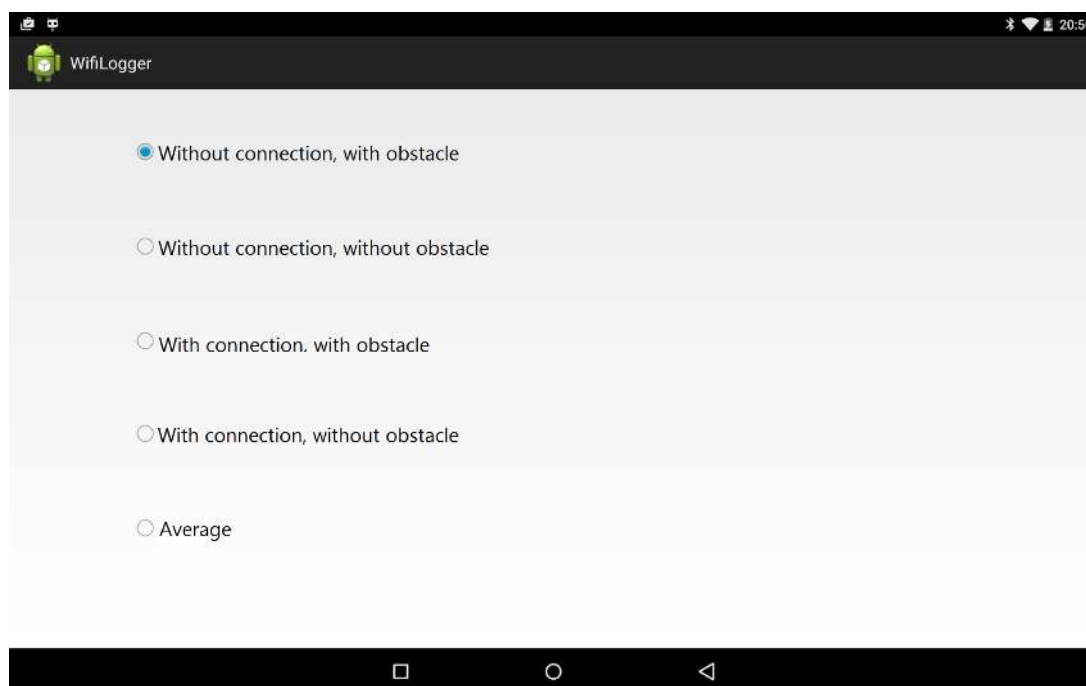


Рисунок 2.4 - Скріншот головного меню додатку

Після того, як користувач вибрав один з чотирьох режимів збору даних про рівень прийнятого сигналу, на екрані планшета з'являється нова активність. Щоб почати реєстрацію, користувач повинен натиснути кнопку . Після цього додаток починає прослуховувати середовище для пошуку необхідного Wi-Fi роутера. Знайти потрібний роутер можна або за MAC-адресою роутера, або за його SSID, який зазвичай називають ім'ям точки доступу Wi-Fi. Як тільки програма отримує сигнал від відповідного маршрутизатора, вона починає записувати рівень отриманого сигналу в текстовий документ. Запис закінчується після того, як буде зроблено 10 вимірювань. Після цього користувач повинен перейти в наступне місце, яке повинно бути розташоване в 1 метрі від поточного місцезнаходження користувача. Після зміни місця розташування користувача вимірювання можна продовжити. У цьому випадку користувач повинен знову натиснути кнопку , щоб почати запис даних. Скріншот цієї дії можна побачити на Рисунку 2.5.

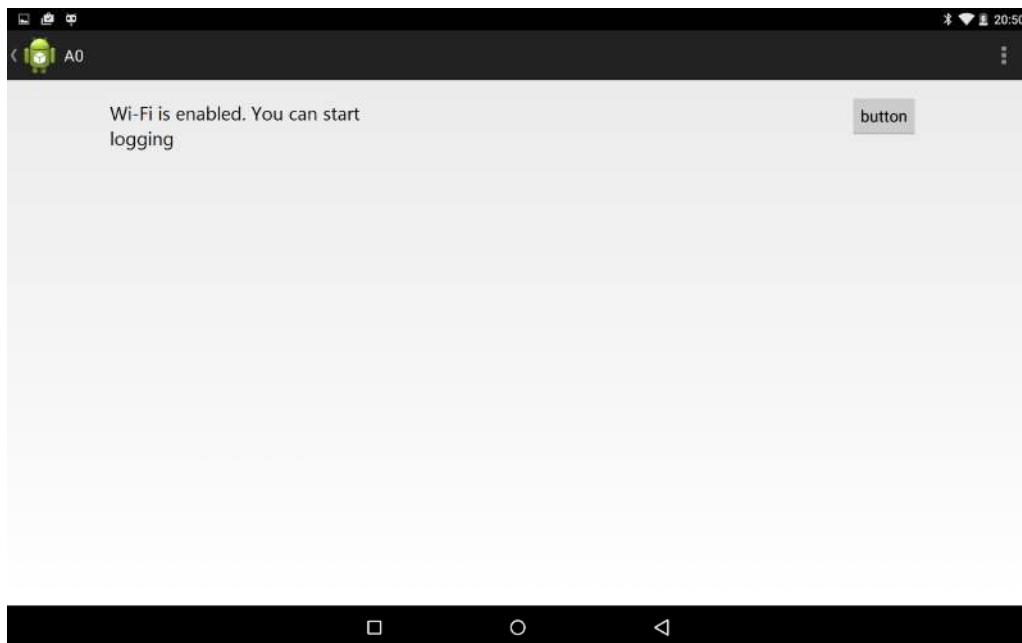


Рисунок 2.5 - Скріншот меню реєстрації додатку

Після того, як користувач натиснув кнопку, з'являється спливаюче повідомлення. Завдяки цьому повідомленню користувач знає, що було розпочато реєстрацію. Скріншот цього повідомлення показано на Рисунку 2.6.

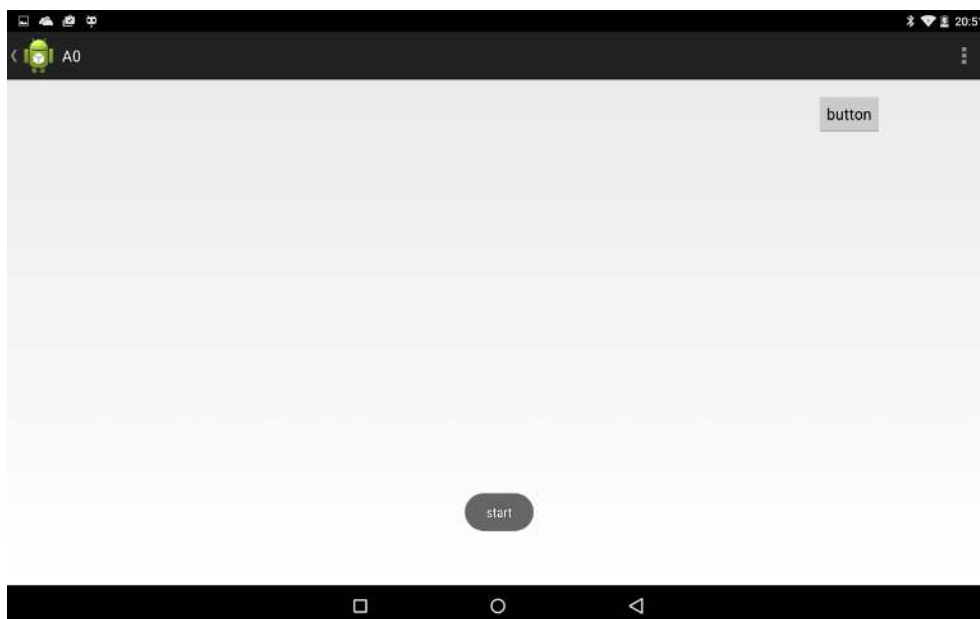


Рисунок 2.6 - Скріншот повідомлення "start"

Після запуску логування з'являються повідомлення про процес логування. Ці повідомлення складаються з SSID точки доступу Wi-Fi, рівень прийнятого сигналу якої програма в даний момент реєструє, MAC-адреси цієї точки доступу, поточної ітерації (1-10) і значення рівня прийнятого сигналу в дБм. Скріншот цього повідомлення показано на Рисунку 2.7.

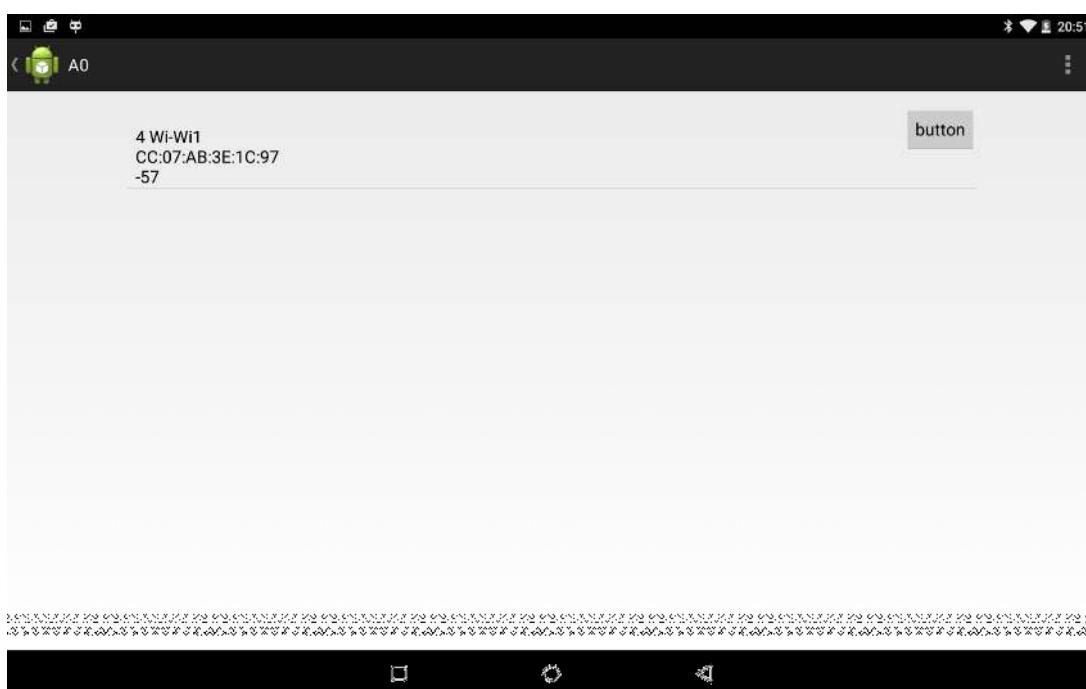


Рисунок 2.7 - Скріншот процесу реєстрації

Такі вимірювання проводилися у двох місцях. Перше місце було обрано як місце, де поширення сигналу Wi-Fi може бути найбільш регулярним. Це місце знаходилося за містом, на полі, де не було жодного стороннього електронного обладнання, людей та інших речей, які можуть впливати на поширення сигналу. Другим місцем стала третя черга корпусу "Z" Харківського національного інституту радіоелектроніки. Це місце було обрано через наявність великої кількості сторонніх електронних пристроїв і стін, які можуть впливати на загасання і поширення сигналу Wi-Fi.

Як було описано раніше, перші вимірювання були проведені за містом, у

відкритому середовищі. Після того, як ці дані були зібрані, і були розраховані середні значення рівня прийнятого сигналу, можна побудувати графік, який ілюструє поширення сигналу Wi-Fi у відкритому середовищі. Цей графік, залежність рівня сигналу від відстані, показаний на Рисунку 2.8.

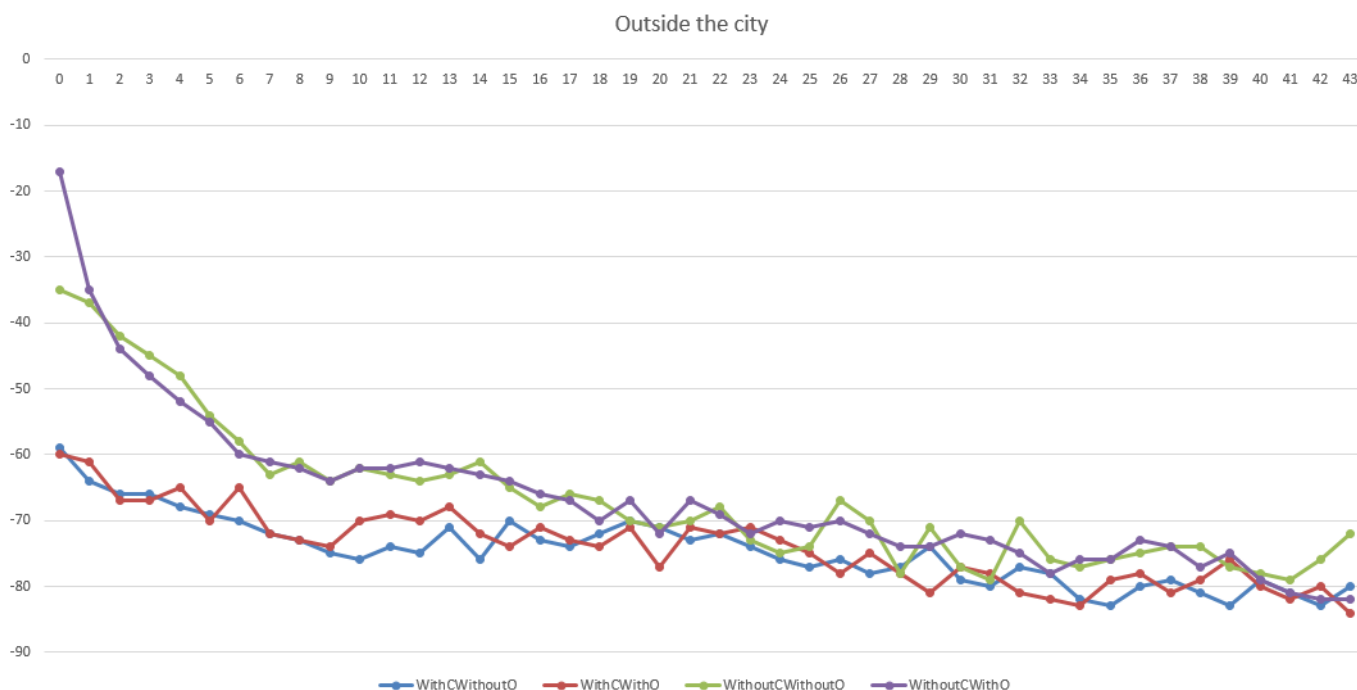


Рисунок 2.8 - Залежність рівня сигналу від відстані (за межами міста)

Як видно з рисунку 4.5, поширення сигналу Wi-Fi, на яке не впливають будь-які перешкоди, є досить стабільним, а загасання сигналу є рівномірним та лінійним, що дозволяє реалізувати процес локалізації в приміщенні з використанням технології Wi-Fi.

Як було описано раніше, другий етап вимірювань був проведений в третьому корпусі "Z" Харківського національного інституту радіоелектроніки. Вимірювання проводилися протягом двох днів, щоб отримати дані про поширення сигналу Wi-Fi не тільки по відстані, але і по часу. Після того, як ці дані були зібрані, і були розраховані середні значення потужності прийнятого сигналу, можна побудувати графік, який ілюструє поширення сигналу Wi-Fi в третій черзі "Z" корпусу Харківського національного інституту радіоелектроніки. Цей графік, залежність

рівня сигналу від відстані, наведено на Рисунку 2.9.

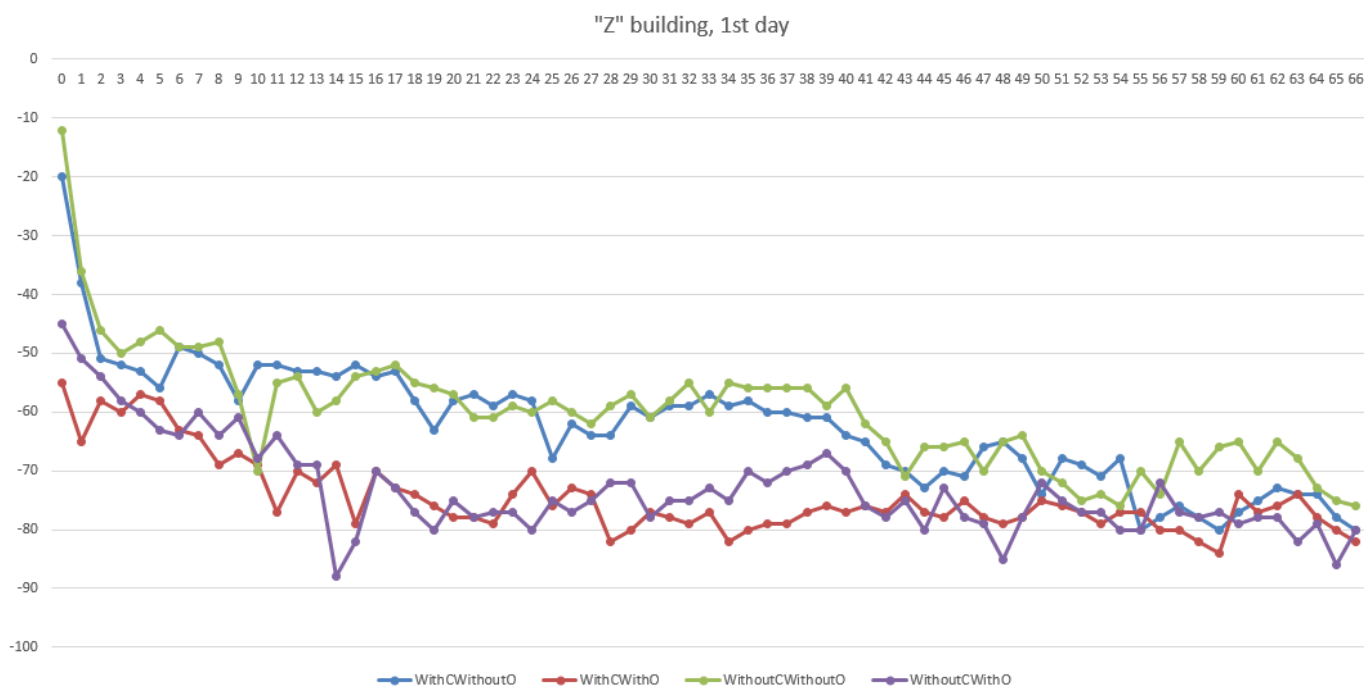


Рисунок 2.9 - Залежність рівня сигналу від відстані (в приміщенні, 1-й день)

Як видно з рисунку 4.6, на поширення сигналу Wi-Fi в третьому поверсі корпусу "Z" Харківського національного інституту радіоелектроніки впливають такі перешкоди, як стіни та сторонні електронні пристрої, які є в цьому корпусі. Ослаблення сигналу є дуже нестабільним і зовсім не лінійним для реалізації процесу локалізації в приміщенні з використанням технології Wi-Fi. Щоб переконатися, що така ситуація не є винятком і поширення та згасання сигналу Wi-Fi в приміщенні є дуже нестабільним, вимірювання були повторені наступного дня. Всі обставини, що залежали від користувача, були такими ж, як і попереднього дня. Після того, як ці дані були зібрані, і були розраховані середні значення рівня прийнятого сигналу, можна побудувати графік, який ілюструє поширення сигналу Wi-Fi в третій черзі "Z" корпусу Харківського національного інституту радіоелектроніки. Цей графік, залежність рівня сигналу від відстані, показано на Рисунку 2.10.

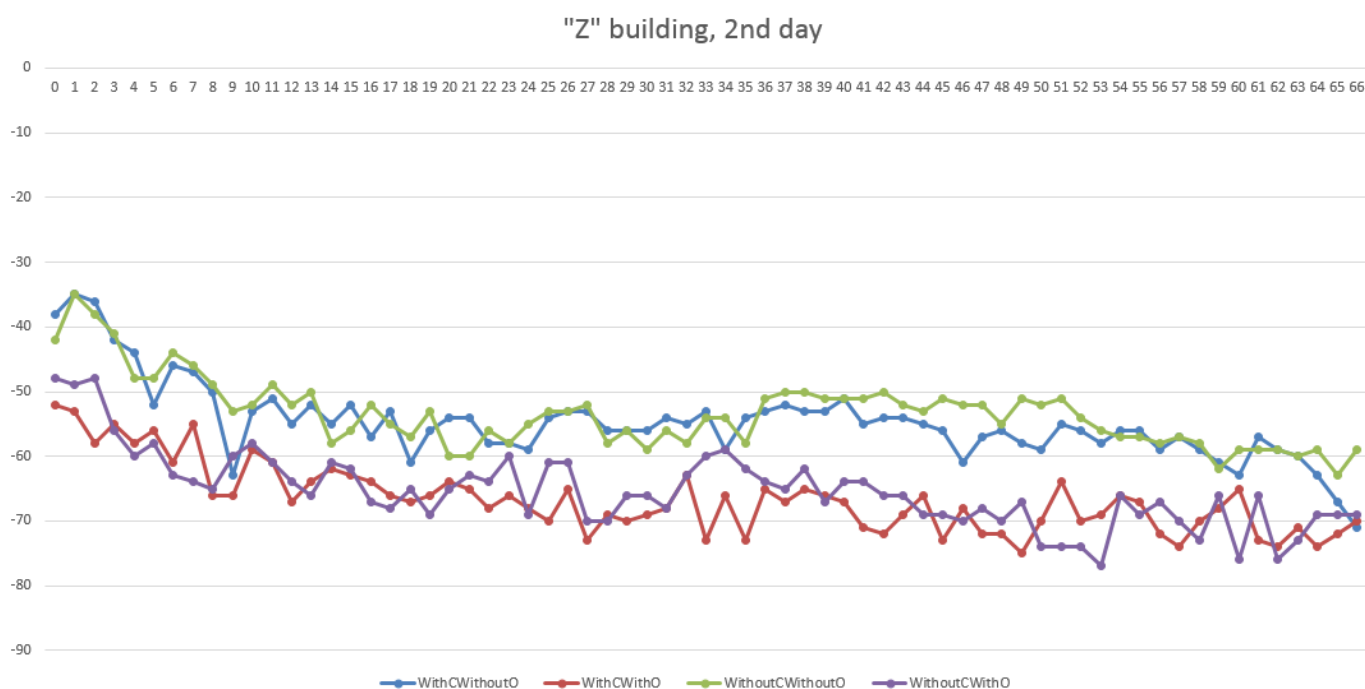


Рисунок 2.10 - Залежність рівня сигналу від відстані (в приміщенні, 2-й день)

Як видно з рисунку 2.10, на поширення сигналу Wi-Fi в третьому корпусі "Z" Харківського національного інституту радіоелектроніки все ще впливають такі перешкоди, як стіни та сторонні електронні пристрої, які є в цьому корпусі. Затухання сигналу є дуже нестабільним і зовсім не лінійним для реалізації процесу локалізації в приміщенні з використанням технології Wi-Fi.

Експерименти, які були проведені за межами міста і в приміщенні, в третьому корпусі "Z" Харківського національного інституту радіоелектроніки, показали, що вивести якусь закономірність з рівня сигналу, що приймається Wi-Fi, практично неможливо. Це означає, що використання такого методу локалізації як дактилоскопіювання з використанням технології Wi-Fi є марним. Однак, технологія Wi-Fi може бути використана з маячковим методом локалізації в приміщенні. Це означає, що в навколишньому середовищі повинно бути більше точок доступу Wi-Fi, і та точка доступу, рівень сигналу від якої буде найкращим, буде вважатися найближчою. Відповідно до цього можна оцінити положення об'єкта в зоні поширення сигналу Wi-Fi. Як видно з графіків, цей діапазон зазвичай дорівнює 70-80 метрів. Отже, точність такого методу буде дорівнювати 60 метрам. Така точність

буде марною для будь-яких мобільних об'єктів, включаючи людей та мобільних роботів.

2.2.2 Дослідження поширення сигналу Bluetooth

Bluetooth використовує радіохвилі з частотами від 2,402 ГГц до 2,480 ГГц, що знаходиться в межах частотного діапазону 2,4 ГГц ISM, частотного діапазону, який за міжнародною угодою зарезервованій для промислових, наукових і медичних приладів. Специфікація Bluetooth була розроблена в 1994 році і зараз знаходиться під управлінням Bluetooth Special Interest Group (SIG). У [37] Гу описав власний алгоритм локалізації, який не потребує ні точок доступу, ні детального обстеження місцевості. Він дослідив характеристики Bluetooth за допомогою систематичного експериментального дослідження.

Bluetooth-мітки - це невеликі передавачі. Для визначення місцезнаходження Bluetooth-міток можна використовувати MAC-адресу мітки. Система локалізації з використанням цієї технології може базуватися на принципі звірки MAC-адреси найближчого передавача з базою даних доступних адрес, а потім відображати поточне місцезнаходження об'єкта на пристрої. Визначення найближчого передавача може бути реалізовано за допомогою таких параметрів, як RSS (рівень прийнятого сигналу) [38]. Відповідно до цього, припустимо, що кількість передавачів $N \geq 2$ і їх положення визначається за формулою (3).

$$p \rightarrow k = (x_k, y_k)^T, k \in 1..N \quad (1.3)$$

Периметр розташування об'єкта можна отримати за формулою (6):

$$r_i^2 - r_j^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - (x - x_j)^2 - (y - y_j)^2 \quad (6)$$

Визначення місцезнаходження об'єкта представлено у формулі (1.4):

$$N \cdot m \rightarrow = C \quad (1.4)$$

Для перетворення вимірювань рівня сигналу у відстань між передавачем і приймачем використовується формула (1.5):

$$s(x \rightarrow) = c(d(x \rightarrow)) - a \quad (1.5)$$

Для перевірки ефективності цього методу було проведено кілька експериментів. В якості Bluetooth-передавача використовувалася цеглинка Lego Mindstorms NXT. База даних містила MAC-адресу передавача та відповідне місцезнаходження курсору на карті оточення. Експерименти показали, що якщо період сканування середовища на наявність Bluetooth-пристроїв встановити в 3,5 секунди, а відстань між передавачами дорівнює 3 метрам, то процес локалізації відбувається стабільно, а точність відображуваного положення об'єкта становить 95%. Єдиним недоліком цього методу є час сканування середовища. В середньому для подолання відстані між передавачами людині потрібно відносно небагато часу. Зменшення відстані між передавачами призводить до зниження точності. Це робить систему не найкращою для процесу локалізації. До таких же висновків прийшли Анастасі та Банделлоні в роботі [39]. Згідно з їхніми дослідженнями, якщо головний пристрій витрачає 3,84 с на виявлення пристрою, а підлеглі запрограмовані на реєстрацію в піконеті, то в середньому 95% підлеглих буде виявлено. Також,

Слід також зазначити, що метод "дактилоскопії" не може бути використаний спільно з Bluetooth-передавачами. Це підтверджується вимірюванням рівня прийнятого сигналу, виконаним в корпусі "Z" Харківського національного університету радіоелектроніки. На рисунку 2 показано залежність потужності прийнятого сигналу від відстані до передавача, де синя крива позначає потужність сигналу за відсутності прямої видимості між приймачем і передавачем, а червона - за її наявності.

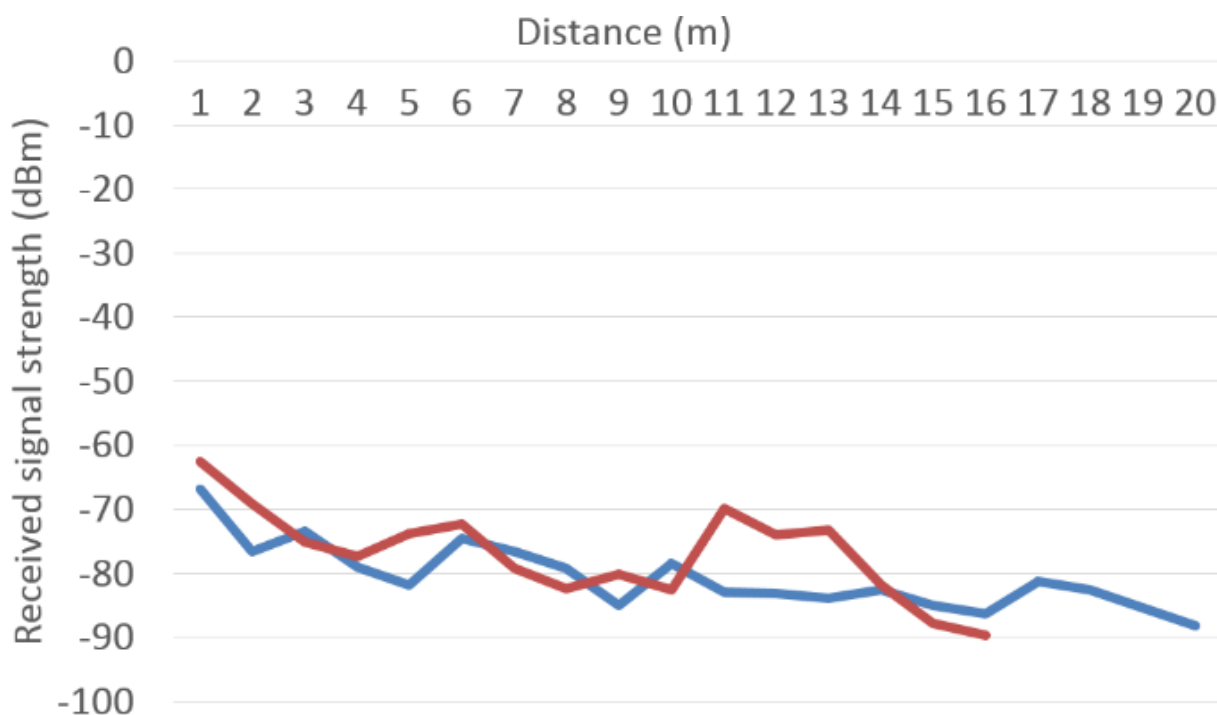


Рисунок 2.11 - Залежність рівня прийнятого сигналу від відстані

З Рисунок 2.11 видно, що відстань поширення сигналу від радіопередавачів залежить від наявності прямої видимості. При наявності прямої видимості між пристроями загасання сигналу є більш стабільним.

2.2.3 Дослідження поширення сигналу iBeacon

Маяк iBeacon - це навмисно помітний пристрій, призначений для привернення уваги до певного місця. iBeacon - це нова технологія, описана Apple Inc. як "новий клас малопотужних, недорогих передавачів, які можуть сповіщати про свою присутність пристрої iOS 7 або 8, що знаходяться поблизу. Технологія дозволяє смартфону або іншому пристрою виконувати дії, коли він знаходиться в безпосередній близькості від iBeacon. Одним із застосувань є система позиціонування в приміщенні, яка допомагає смартфонам визначати своє приблизне місцезнаходження або контекст. За допомогою iBeacon програмне забезпечення смартфона може приблизно визначити своє відносне розташування до iBeacon в магазині. iBeacon може допомогти телефону показувати сповіщення про товари, що

продаються поблизу, а також уможливити оплату в точці продажу (POS), де покупцям не потрібно виймати гаманці або картки для здійснення платежів. Технологія iBeacon працює з використанням технології Bluetooth Low Energy (BLE), також відомої як Bluetooth Smart. iBeacon використовує низькоенергетичне зондування Bluetooth для передачі універсального унікального ідентифікатора, який перехоплюється сумісною програмою або операційною системою. Ідентифікатор можна знайти в Інтернеті, щоб визначити фізичне місцезнаходження пристрою або запустити дію на пристрої, наприклад, реєстрацію в соціальних мережах або пуш-сповіщення. З того часу різні виробники створили апаратне забезпечення [40]. iBeacons, які бувають різних форм-факторів, включаючи невеликі пристрої розміром з монету, флешки та загальні USB-ключі з підтримкою Bluetooth 4.0 (Малюнок 2.12).

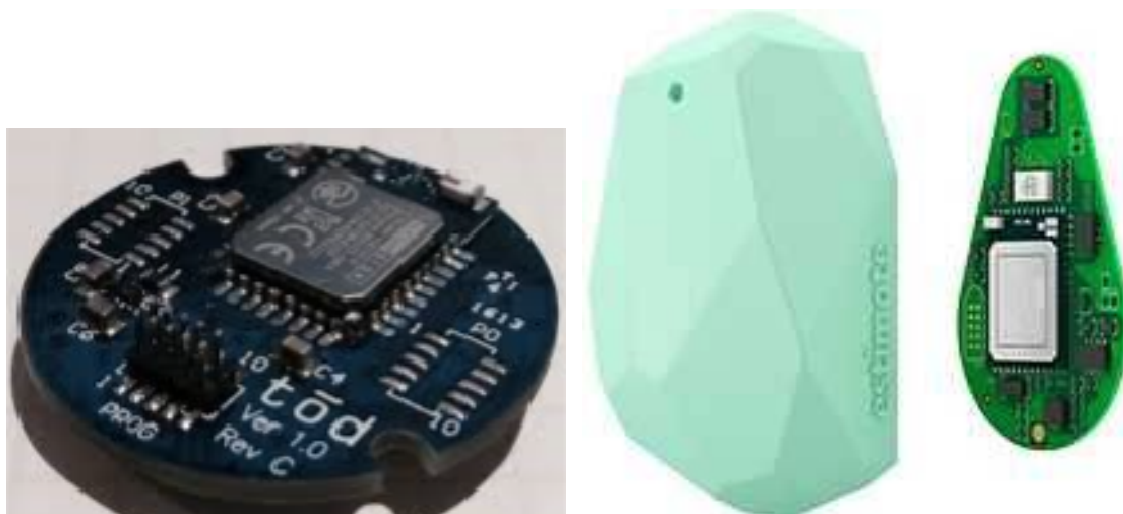


Рисунок 2.12 - Апаратне забезпечення iBeacon (ліворуч) та Estimote iBeacon (праворуч)

Ми використовуємо смартфон, який підтримує Bluetooth з низьким енергоспоживанням, що означає індикацію рівня отриманого сигналу. Маяк передає сигнал до найближчого доступного маяка, потім смартфон приймає сигнал і показує рівень сигналу в децибелах (дБм). Смартфон ідентифікує маяк за допомогою універсального унікального ідентифікатора (UUID). Децибели (дБм) мають діапазон

від 0 до -100. Чим ближче це значення до 0 (нуля), тим сильніше сигнал. За допомогою цього експерименту ми можемо визначити відстань до об'єкта або маяка, для чого ми теоретично зробили 10 різних вимірювань, щоб перевірити наявність помилок, оскільки поширення RSSI не є постійним в залежності від навколишнього середовища та фізичних факторів.

Для збору даних RSS ми використовували деякі пристрої, такі як iPhone та андроїд-телефон з підтримкою BLE, який також може бути маяком. Ми проводили наші експерименти на другому поверсі блоку Z в університеті. Це 3-поверхова будівля, яка використовується викладачами та студентами факультету комп'ютерних наук та інженерії. На поверсі будівлі ми розмістили маячки iPhone для покриття бездротових точок доступу, фізичне розташування яких було відоме, але дальність передачі цих маячків була невідома. Перевірте діапазон передачі, використовуючи рівень сигналу на різних відстанях, щоб побачити, як рівень сигналу слабшає. Було зроблено десять різних зчитувань на одному і тому ж місці, щоб наблизитися до бажаного результату. На кожній відстані дальність передачі фіксувалася до тих пір, поки маяк не переставав передавати сигнал агенту, який є приймачем, як ви можете бачити в Таблицях 2.1, 2.2 і 2.3 відповідно. По суті, було проведено два різних експерименти:

- експериментальне вимірювання від маяка до мобільного телефону, з перешкодами і без перешкод (табл. 2.3 і 2.4);
- експериментальне вимірювання з двох телефонів, які використовувалися як маяки з перешкодами і без перешкод (табл. 2.1 і 2.2).

Різні фактори, які впливають на RSS у приміщенні, - це присутність/відсутність користувача, його/її орієнтація, час доби, тип і матеріал будівлі, відстань до передавача і марка бездротової карти. Ці фактори розглядаються тому, що вони, безумовно, впливають на RSS бездротової локальної мережі, як показано в цій главі (Таблиці 2.1, 2.2 і 2.3). Ці фактори аж ніяк не є вичерпними. Іншими можливими факторами є орієнтація, спрямованість і тип антени, але вони тут не розглядаються. Було проведено низку експериментів з варіюванням цих різних факторів, а результати проаналізовано для визначення статистичних

властивостей RSS.

Таблиця 2.1 - Значення RSS (у дБм) при використанні Bluetooth версії 2 без перешкод

		Iteration										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D i s t a n c e	1	-62	-64	-64	-66	-68	-68	-67	-68	-68	-74	-66.9
	2	-93	-72	-71	-73	-73	-70	-86	-71	-81	-77	-76.7
	3	-73	-72	-73	-71	-81	-73	-75	-70	-72	-74	-73.4
	4	-77	-80	-75	-81	-76	-79	-79	-80	-78	-85	-79
	5	-76	-80	-84	-79	-92	-78	-83	-78	-82	-87	-81.9
	6	-74	-78	-76	-76	-73	-70	-73	-76	-75	-75	-74.6
	7	-74	-79	-75	-81	-72	-76	-75	-80	-80	-75	-76.7
	8	-74	-87	-84	-78	-78	-82	-78	-76	-79	-77	-79.3
	9	-86	-88	-85	-84	-84	-82	-91	-86	-87	-78	-85.1
	10	-82	-78	-80	-75	-78	-76	-78	-75	-83	-79	-78.4
	11	-86	-89	-77	-83	-78	-76	-77	-94	-82	-88	-83
	12	-85	-80	-82	-81	-79	-79	-90	-82	-90	-84	-83.2
	13	-83	-79	-81	-95	-81	-95	-79	-84	-80	-82	-83.9
	14	-83	-85	-80	-80	-84	-79	-88	-80	-82	-85	-82.6
	15	-83	-95	-90	-83	-78	-92	-82	-83	-81	-83	-85
	16	-89	-86	-87	-82	-92	-86	-78	-94	-82	-87	-86.3
	17	-82	-84	-80	-85	-79	-79	-80	-78	-80	-85	-81.2
	18	-82	-83	-81	-82	-82	-86	-84	-82	-84	-80	-82.6
	19	-84	-86	-85	-85	-81	-79	-94	-83	-86	-90	-85.3
	20	-84	-83	-89	-90	-87	-92	-89	-91	-87	-89	-88.1

Таблиця 2.2 - Значення RSS (в дБм) при використанні Bluetooth версії 2 з перешкодами

		Iteration										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D i s t a n c e	1	-71	-63	-61	-60	-61	-56	-59	-65	-66	-64	-62.6
	2	-70	-68	-74	-76	-60	-60	-74	-68	-73	-68	-69.1
	3	-68	-77	-77	-77	-79	-81	-74	-76	-73	-70	-75.2
	4	-90	-83	-78	-65	-77	-72	-80	-72	-80	-77	-77.4
	5	-75	-71	-85	-74	-72	-75	-74	-71	-66	-75	-73.8
	6	-74	-69	-76	-73	-73	-73	-68	-68	-74	-75	-72.3
	7	-80	-77	-76	-84	-79	-81	-81	-78	-80	-77	-79.3
	8	-71	-80	-84	-77	-83	-90	-98	-77	-86	-78	-82.4
	9	-77	-80	-83	-81	-79	-82	-82	-82	-79	-76	-80.1
	10	-83	-95	-75	-77	-82	-83	-81	-84	-86	-80	-82.6
	11	-69	-75	-76	-71	-72	-67	-66	-67	-69	-67	-69.9
	12	-72	-78	-71	-73	-70	-70	-73	-83	-79	-71	-74
	13	-69	-68	-78	-72	-73	-70	-78	-74	-71	-79	-73.2
	14	-81	-74	-85	-82	-84	-85	-85	-79	-80	-83	-81.8
	15	-92	-85	-85	-82	-94	-86	-90	-87	-88	-89	-87.8
	16	-88	-90	-91	-89	-86	-90	-88	-91	-90	-93	-89.6

Таблиця 2.3 - Значення RSS (в дБм) при використанні iBESON з перешкодами

		Iteration										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D i s t a n c e	1	-88	-86	-79	-80	-82	-81	-89	-82	-83	-88	-83.8
	2	-89	-94	-91	-91	-93	-93	-92	-93	-94	-93	-92.3
	3	-91	-94	-93	-92	-93	-93	-94	-94	-94	-94	-93.3
	4	-96	-92	-94	-93	-93	-93	-95	-92	-91	-90	-92.9
	5	-92	-90	-98	-92	-97	-94	-94	-88	-92	-96	-93.3
	6	-92	-91	-93	-90	-92	-94	-88	-88	-91	-90	-90.9
	7	-94	-94	-95	-92	-90	-93	-97	-91	-94	-91	-93.1
	8	-94	-86	-87	-93	-90	-92	-93	-94	-94	-90	-91.3
	9	-89	-90	-92	-92	-88	-93	-92	-94	-89	-90	-90.9
	10	-91	-92	-91	-91	-90	-92	-90	-92	-94	-94	-91.7
	11	-93	-94	-93	-92	-95	-93	-93	-94	-92	-95	-93.4

Таблиця 2.4 - Значення RSS (у дБм) для маяка без перешкод

		Iteration										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D i s t a n c e	1	-42	-42	-42	-41	-42	-42	-42	-42	-41	-42	-41.8
	2	-72	-74	-74	-70	-72	-74	-73	-73	-74	-73	-72.9
	3	-81	-79	-80	-81	-82	-80	-77	-78	-80	-79	-79.7
	4	-81	-86	-82	-83	-84	-82	-80	-81	-80	-79	-81.8
	5	-86	-88	-90	-85	-90	-86	-89	-85	-86	-86	-87.1
	6	-86	-86	-80	-77	-76	-76	-80	-78	-79	-78	-79.6
	7	-84	-92	-84	-82	-82	-83	-82	-83	-83	-84	-83.9
	8	-91	-84	-84	-90	-86	-83	-78	-81	-83	-83	-84.3
	9	-87	-86	-87	-87	-86	-85	-88	-88	-85	-84	-86.3
	10	-80	-90	-83	-84	-86	-84	-88	-89	-86	-88	-85.8
	11	-86	-93	-93	-90	-90	-91	-92	-93	-88	-89	-90.5
	12	-88	-86	-95	-90	-95	-90	-89	-90	-88	-93	-90.4
	13	-98	-94	-92	-92	-94	-94	-93	-88	-87	-86	-91.8
	14	-90	-92	-92	-92	-94	-92	-94	-92	-95	-90	-92.3
	15	-92	-91	-93	-94	-95	-94	-93	-94	-94	-91	-93.1
	16	-90	-88	-92	-93	-95	-91	-92	-94	-93	-91	-91.9
	17	-90	-93	-93	-93	-93	-91	-93	-94	-94	-92	-92.6
	18	-93	-90	-91	-91	-93	-90	-91	-95	-90	-90	-91.4
	19	-96	-93	-92	-92	-94	-94	-92	-94	-94	-94	-93.5
	20	-90	-86	-93	-94	-93	-94	-94	-93	-96	-96	-92.9
	21	-86	-92	-91	-92	-90	-90	-92	-89	-91	-90	-90.3
	22	-91	-92	-90	-93	-94	-92	-92	-94	-92	-90	-92
	23	-92	-92	-90	-90	-90	-92	-92	-91	-91	-91	-91.1
	24	-93	-92	-96	-92	-96	-91	-90	-93	-90	-92	-92.5
	25	-90	-88	-90	-91	-91	-90	-94	-90	-95	-96	-91.5
	26	-93	-93	-92	-89	-92	-98	-90	-90	-96	-95	-92.8
	27	-93	-93	-94	-92	-94	-92	-93	-96	-95	-94	-93.6
	28	-94	-92	-95	-94	-93	-95	-96	-94	-92	-45	-89

Таблиця 2.5 - Середнє значення RSS для всіх випадків вимірювання

BTWoutO	BTWithO	IBWoutO	IBWithO
-66.9	-62.6	-41.8	-83.8
-76.7	-69.1	-72.9	-92.3
-73.4	-75.2	-79.7	-93.3
-79	-77.4	-81.8	-92.9
-81.9	-73.8	-87.1	-93.3
-74.6	-72.3	-79.6	-90.9
-76.7	-79.3	-83.9	-93.1
-79.3	-82.4	-84.3	-91.3
-85.1	-80.1	-86.3	-90.9
-78.4	-82.6	-85.8	-91.7
-83	-69.9	-90.5	-93.4
-83.2	-74	-90.4	
-83.9	-73.2	-91.8	
-82.6	-81.8	-92.3	
-85	-87.8	-93.1	
-86.3	-89.6	-91.9	
-81.2		-92.6	
-82.6		-91.4	
-85.3		-93.5	
-88.1		-92.9	
		-90.3	
		-92	
		-91.1	
		-92.5	
		-91.5	
		-92.8	
		-93.6	
		-89	

Як видно з рисунку 2.13, ми вивчаємо довгострокове поширення сигналу і обговорюємо його вплив на системи локалізації в приміщенні. Ми випадковим чином обираємо опорні точки, і в кожній з них вимірюємо 10 значень RSS протягом трьох тижнів, використовуючи один і той самий телефон. У таблицях 2.1 - 2.5 наведено частину результатів вимірювань для чотирьох опорних точок.

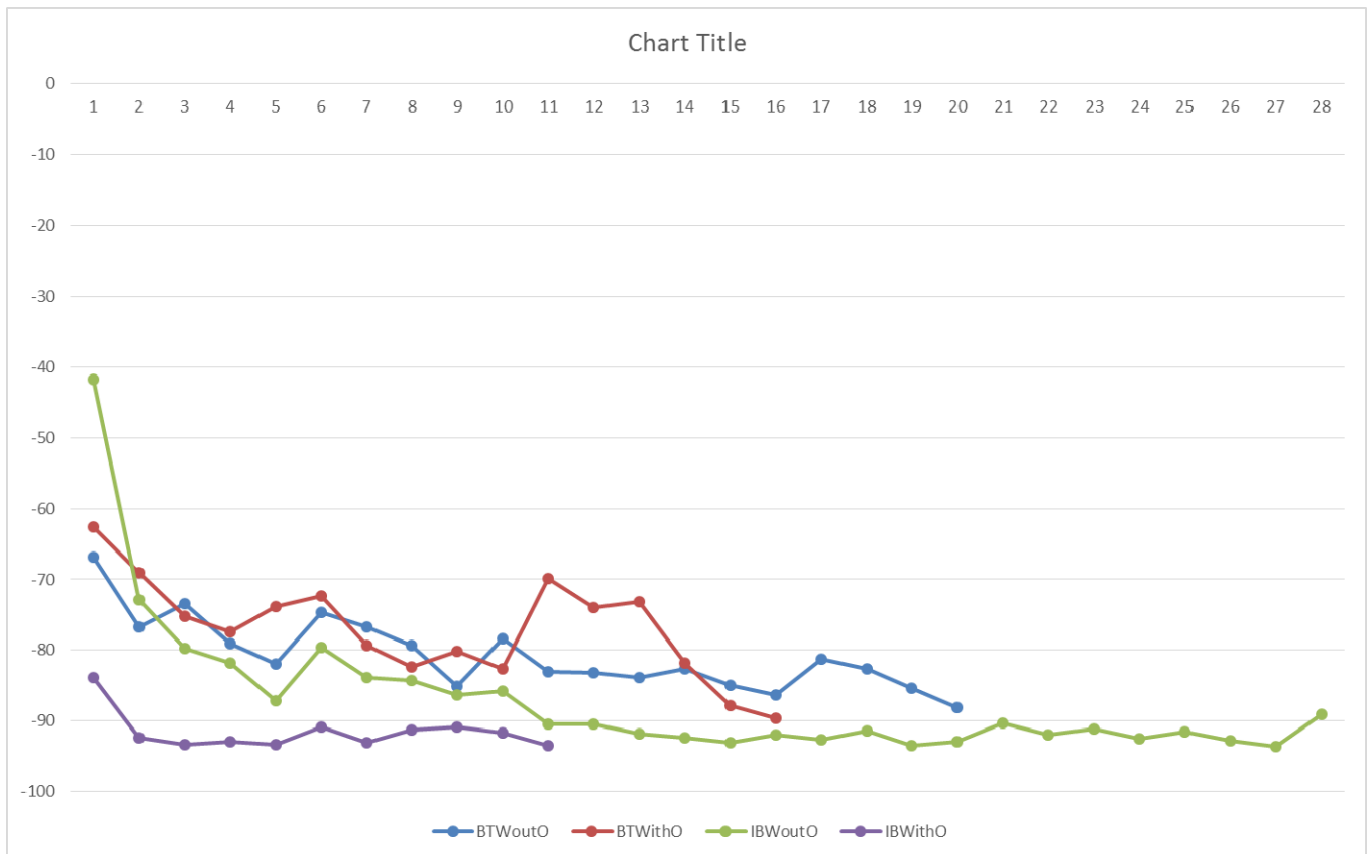


Рисунок 2.13 - Графічне зображення значення RSS (в дБм)

Ми маємо наступні спостереження. Значення RSS деяких маяків у певній позиції часто змінюється. Наприклад, для маяка без перешкод (зелена лінія) значення RSS в певній позиції виглядає стабільним більшу частину часу, але час від часу має різкі зміни. Жодне значення RSS не було на 100% стабільним через деякі можливі причини, такі як час доби, матеріал будівлі, відстань до передавача та тип бездротової карти. Ці фактори розглядаються тому, що вони, безумовно, впливають на RSS бездротової мережі разом з іншими можливими факторами, як показано на рисунку 2.13.

2.2.4 Вибір технології та методу для процесу локалізації

У цій главі ми надали огляд і провели серію тестів різних методів і технологій для побудови високоточної системи локалізації і відстеження пішоходів і різних

мобільних об'єктів, таких як транспортні засоби і роботи, в приміщенні. В результаті цих тестів була обрана технологія iBeacon. Як згадувалося раніше, ця система вимагає пристроїв, які називаються iBeacons, виготовлених на основі Bluetooth Low Energy. Такі пристрої легко монтуються і, відповідно до версії Bluetooth, звичайної батарейки буде достатньо для їх живлення протягом декількох років. Таким чином, автономність таких пристроїв надзвичайно висока. Крім того, додаток, який реалізує таку систему, є крос-платформним, що означає, що люди, які використовують смартфони та планшети різних виробників, можуть легко встановити та використовувати такий додаток на своїх пристроях. Нарешті, існує велика перспектива вдосконалення такої системи з різними функціями сповіщення та покращенням точності та кількості маячків.

3 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ МАЯКІВ ІВЕАСОН

В аспекті задачі покриття, що розглядається, ми маємо справу з множиною дискретних точок простору. Ці точки можуть бути окремими точками простору, що представляють сенсорне поле, або використовуватися для моделювання деяких фізичних цілей в сенсорному полі. Для того, щоб покрити ці точки, сенсорні вузли можуть бути детерміновано розміщені або випадково розгорнуті в сенсорному полі. При випадковому розгортанні мережі існує ймовірність того, що деякі вузли не зможуть покрити навіть одну цільову точку. З іншого боку, якщо сенсорне поле є легкодоступним і розмір мережі не надто великий, детерміноване розміщення вузлів полягає в тому, що вузли розміщуються тільки в потрібному місці так, щоб кожен сенсорний вузол міг покрити принаймні одну цільову область. Мета детермінованого розміщення вузлів може бути підсумована до відповіді на наступне питання.

Де є оптимальні місця (серед доступних місць) для розміщення сенсорних вузлів, щоб мінімізувати кількість вузлів і вартість, а також задовольнити вимоги до точкового покриття? Задача розміщення найменшої кількості сенсорних вузлів для покриття всіх цільових точок є різновидом канонічної задачі про покриття множини.

3.1 Розміщення вузлів як задача покриття множини

Вважається, що розташування цілей, які потрібно покрити, відоме до початку розміщення, а доступні місця для розміщення вузлів (так звані майданчики) обмежені. Задача розміщення найменшої кількості сенсорів для покриття всіх дискретних цілей може бути прирівняна до канонічної задачі покриття множини [41]. Нехай X позначає скінченну множину цілей з відомими місцями розташування. Вузол сенсора може бути розміщений тільки в одному з доступних місць і може покрити принаймні одну ціль, якщо він розміщений в цьому місці. Крім того, всі цілі можуть бути покриті, якщо всі ці доступні місця зайняті сенсорами. Через F

позначимо сім'ю підмножин множини X , а через $S \in F$ - її елемент. Кардинальність F - це кількість доступних місць для розміщення сенсорів. Кожен елемент F відповідає множині цілей, які можна покрити, якщо розмістити датчик в одній точці. Ми говоримо, що S покриває деякі цілі. Задача покриття множини полягає в тому, щоб знайти підмножину $C \subseteq F$ мінімального розміру, елементи якої покривають всі цілі з X , тобто:

$$X = \bigcup_{S \in C} S. \quad (3.1)$$

Можна стверджувати, що будь-яка C , яка задовольняє (14), покриває X , або що C є множиною-покриттям X . Розмір C визначається кількістю множин, які вона містить, а не кількістю окремих елементів у цих множинах.

На Рисунку 3.1 показано, що дев'ять майданчиків (чорні квадрати) доступні для розміщення вузлів-маяків, а 15 цілей (червоні зірки) мають бути покриті. Як видно з рисунку, задача оптимального розміщення вузлів може бути просто перетворена до задачі про покриття множин: серед дев'яти доступних ділянок вибрати мінімальну кількість ділянок для розміщення вузлів-маяків так, щоб а; цілей були покриті. Версія розв'язку задачі про покриття множини (чи може підмножина F з заданим розміром k покрити X) є NP-повною задачею. Наступний класичний жадібний алгоритм (адаптований з [41]) може бути використаний для розв'язання задачі покриття множин за поліномом часу в $|X|$ та $|F|$. Жадібний алгоритм працює, вибираючи на кожному кроці множину S , яка покриває найбільшу кількість елементів, що залишилися непокритими:

GREEDY-SET-COVER(x, f)

1. $U \leftarrow X$.
2. $C \leftarrow \emptyset$
3. поки $U \neq \emptyset$
4. вибрати $S \in F$, яке максимізує $|S \cap U|$.
5. $U \leftarrow U - S$
6. $C \leftarrow C \cup \{S\}$
7. повернути C

Множина U містить на кожному етапі множину мішеней, що залишилися непокритими. Множина S містить покриття, яке будується. Рядок 4 - крок прийняття жадібного рішення. Підмножина S вибирається, якщо вона покриває якомога більше непокритих цілей (з довільним розривом зв'язків). Після того, як S вибрано, її елементи (вже покриті цілі) видаляються з U , а S поміщається в C . Коли алгоритм завершується, множина C містить підмножину F , яка покриває X . Кількість ітерацій циклу на кроках 3-6 обмежена зверху $\min(|X|, |F|)$, а тіло циклу може бути реалізовано для виконання за час $O(|X||F|)$. Таким чином, алгоритм GREEDY-SET-COVER можна реалізувати за час $O(|X||F| \min(|X|, |F|))$. Крім того, він створює покриття множини, розмір якого не набагато більший за оптимальне покриття. Позначимо K -те гармонічне число $H(K) = \sum_{k=1}^K \frac{1}{k}$ і визначимо $H(0) = 0$. Наступна теорема надає коефіцієнт апроксимації жадібного алгоритму.

Теорема 5 [8] Жадібне покриття породжує покриття з коефіцієнтом наближення $H(\max\{|S| : S \in F\})$ до оптимального покриття.

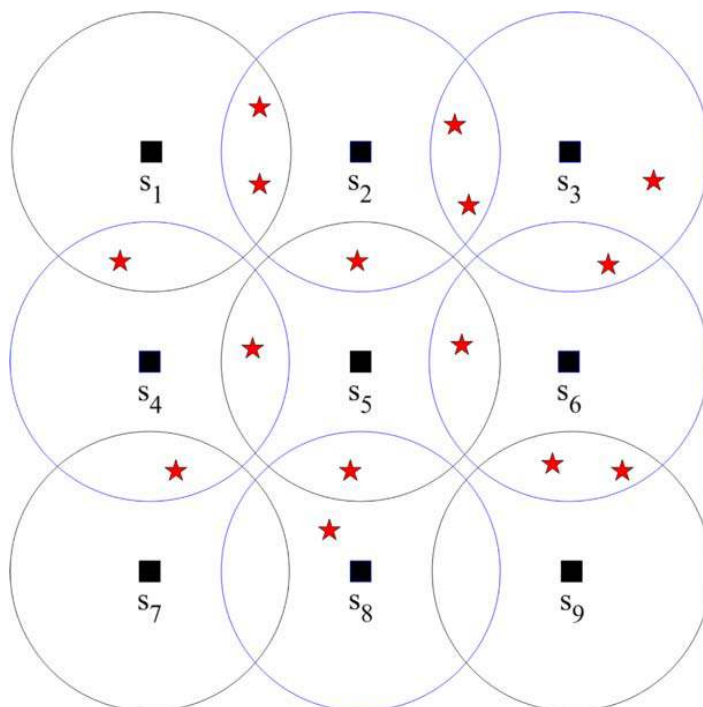


Рисунок 5.1 - Приклад задачі покриття множини

Є 15 цілей (зірок), які потрібно покрити. Тільки дев'ять вузлів-маяків можуть

бути розміщені на доступних майданчиках (квадратах). Жадібний алгоритм створює покриття розміру 5, вибираючи послідовно множини s_2, s_6, s_4, s_8 та s_3 .

Доведення Через C^* позначимо оптимальне покриття, а через C - покриття, яке повертає алгоритм. Потрібно довести, що:

$$|C| \leq |C^*| H(\max\{|S| : S \in F\}) \quad (3.2)$$

Кожній підмножині, обраній алгоритмом, присвоюється вартість 1, і ця вартість розподіляється між цілями, які покриваються вперше. Нехай S_i позначає i -ту підмножину, обрану GREEDY-SET-COVER; алгоритм несе вартість 1, коли додає S_i до C . Вартість вибору S_i рівномірно розподіляється між елементами, які вперше потрапляють до S_i . Нехай s_x позначає вартість, призначену елементу $x \in X$. Кожному елементу призначається вартість тільки один раз, коли він покривається вперше.

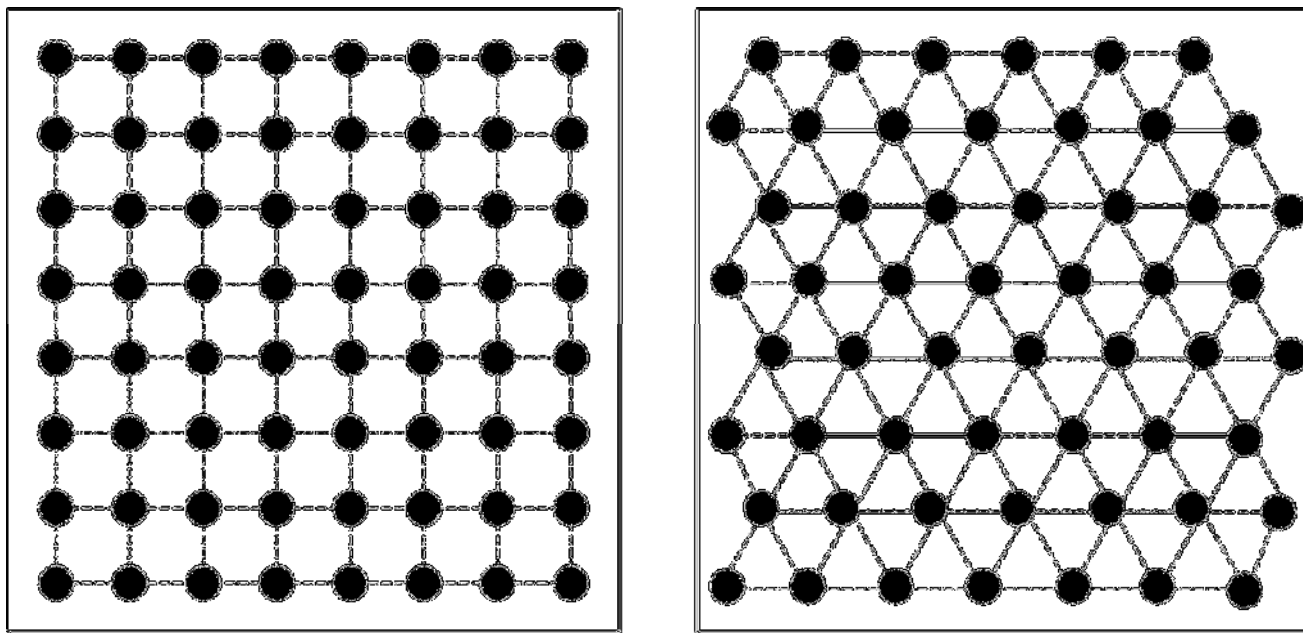


Рисунок 3.2 - Ілюстрація розміщення та покриття сітки

Вузли можуть бути розміщені тільки у вершинах сітки, і всі вершини сітки повинні бути покриті розміщеними вузлами. Таким чином, об'єднавши (12) і (13), отримаємо:

$$\begin{aligned}
|C| &\leq \sum_{S \in C^*} \sum_{x \in S} c_x & (3.3) \\
&\leq \sum_{S \in C^*} H(|S|) \\
&\leq |C^*| H(\max\{|S| : S \in \mathcal{F}\}).
\end{aligned}$$

На цьому доказ завершено. Проблему покриття точок можна пов'язати з проблемою покриття площі за допомогою сіткового підходу: Якщо всі вершини (або так звані точки сітки) чітко визначеної сітки, вбудованої в сенсорне поле, покриті, то вважається, що все сенсорне поле повністю покрите. На рисунку 5.2 показано два приклади сітки, де вузли датчиків повинні бути розміщені в цих точках сітки, і всі точки сітки повинні бути покриті. Точка сітки покривається вузлом датчика, розташованим у цій точці сітки. Деякі правильні багатокутники можуть бути використані для покриття всього сенсорного поля, і сенсорне поле буде повністю покрите, якщо датчики розміщені у вершинах цих правильних багатокутників. Дійсно, оптимальна тесселяція з використанням правильних трикутників з довжиною сторони, що дорівнює 0 і досягає мінімальної щільності датчиків для повного покриття площі, де R_s - радіус чутливого диска датчика. Проблема розміщення є тривіальною, якщо датчик у точці сітки може покривати лише цю точку сітки.

У такому випадку кожна точка сітки повинна бути зайнята датчиком. З іншого боку, для заданої сітки, де вузол датчика, розташований у цій точці сітки, може також покривати кілька сусідніх точок сітки, задача розміщення найменшої кількості датчиків тільки в точках сітки так, щоб всі точки сітки були покриті, все ще є NP-повною задачею [42]. Як буде обговорено в наступному розділі, задача розміщення вузлів може бути змодельована як оптимізаційна задача.

3.2 Розміщення маякових вузлів у двовимірному полі

При детермінованому розміщенні вузлів базовий шаблон розміщення, що складається лише з декількох вузлів, може повторюватися для покриття всього

сенсорного поля плиткою. Регулярне розміщення багатокутників у двох вимірах (або багатогранників у трьох вимірах) також називається тесселяцією. Шаблон розміщення може бути багатокутником, а вузли датчиків розміщуються у вершинах багатокутника. Якщо багатокутник повністю покритий датчиками у його вершинах, то 2D-площина може бути повністю покрита тесселяцією з таких багатокутників. Наприклад, на рисунку 3.3 показано три канонічні тесселяції правильними трикутниками, правильними квадратами та правильними шестикутниками.

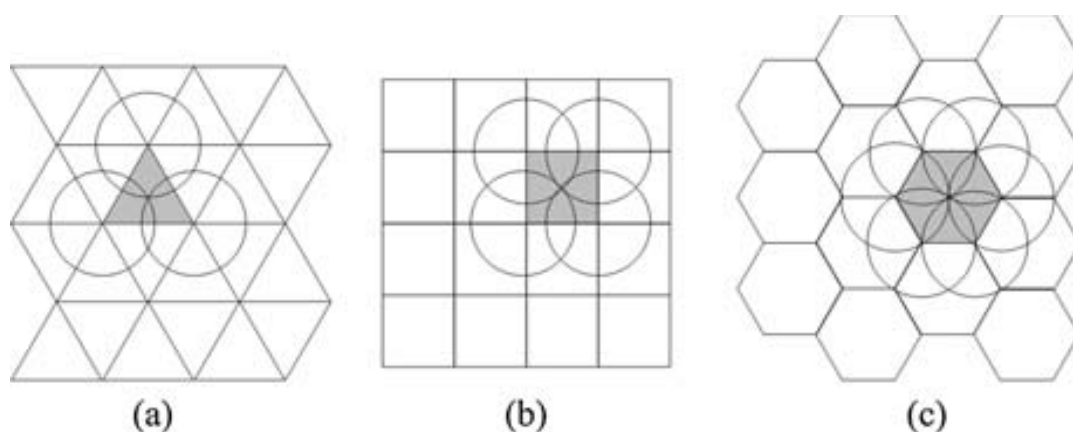


Рисунок 3.3 - Тесселяція з використанням (а) правильних трикутників, (б) правильних квадратів та (с) правильних шестикутників

3.3 Розміщення вузла-маяка в тривимірному просторі

Більшість бездротових наземних мереж засновані на двовимірному (2D) сценарії, коли всі вузли мережі вважаються розташованими на площині. Таке двовимірне припущення може бути виправданим, якщо розмір (тобто довжина і ширина) мережі набагато більший, ніж різниця в третьому вимірі (тобто висота) розташування вузлів. Двовимірне припущення не може бути застосоване в мережах, де різниця висот розташування вузлів порівнянна з розміром мережі. Останнім часом багато тривимірних (3D) спеціальних та сенсорних мереж привертають велику увагу дослідників [43]. Наприклад, у підводній сенсорній мережі для

моніторингу товщі океану вузли розміщені на буях, які закріплені на різних глибинах води.

3D модель покриття датчика часто моделюється як сфера з радіусом R_s . Кожна точка всередині сфери покривається цим датчиком. У 3D-детермінованому розгортанні датчиків критична щільність датчиків відповідає використанню мінімальної кількості сфер для заповнення тривимірного простору таким чином, щоб кожна точка знаходилася в межах зони дії принаймні одного датчика. Допускається перекриття сфер. Насправді, якщо потрібне повне покриття тривимірного простору, перекриття сфер неминуче. Проблема покриття у 3D-мережах набагато складніша, ніж у 2D-мережах.

Тесселяція шляхом повторення базової схеми розміщення є корисним підходом для отримання уявлення про те, як оптимально розмістити датчики. У 2D тесселяція застосовується до полігонів, а в 3D - до багатогранників. Багатогранник тесселяції (також званий багатогранником, що заповнює простір) заповнює об'єм без будь-яких перекриттів або проміжків. Завдання полягає в тому, щоб знайти багатогранник, що заповнює простір, який вписаний в сферу зондування і найкращим чином наближається до об'єму сфери. Більш загальним формулюванням задачі оптимального заповнення простору є гіпотеза Кельвіна.

Гіпотеза Кельвіна еквівалентна знаходженню багатогранника, що заповнює простір, з найбільшим ізопериметричним коефіцієнтом. Нехай V і S позначають об'єм і площу поверхні многогранника відповідно. Ізопериметричний коефіцієнт многогранника визначається як $36\pi V^2 S^3$.

Сфера має найвищий ізопериметричний коефіцієнт 1, а 14-гранний усічений октаедр Кельвіна має ізопериметричний коефіцієнт 0.753367. Для того, щоб знайти багатогранник, що заповнює простір, Алам і Хаас [44] запропонували нову метрику, названу об'ємним коефіцієнтом, для опису того, як багатогранник, що заповнює простір, вписаний у сферу, апроксимує сферу. Многогранник, що заповнює простір, вписаний у сферу, якщо його центр збігається з центром сфери, а максимальна відстань від його центру до будь-якої вершини дорівнює радіусу сфери. Формально об'ємний коефіцієнт визначається як відношення об'єму многогранника V до об'єму

його кола радіуса R_s , тобто $V \geq 3\pi R_s^3$. Відомо, що серед усіх многогранників справедливі наступні твердження. При заданому об'ємі сфера має найменшу площу поверхні. При заданій площі поверхні сфера має найбільший об'єм. Алам і Хаас [44] припускають, що багатогранник, який заповнює простір, з мінімальним відношенням площі поверхні до об'єму найкраще апроксимує сферу. Вони також порівнюють об'ємний коефіцієнт для кількох поширених многогранників. На рисунку 3.4 зображені такі багатогранники: (а) куб, (б) шестикутна призма, (в) ромбічний додекаедр і (г) усічений октаедр. Нехай R_s позначає радіус чутливої сфери. Для вищезгаданих чотирьох многогранників, вписаних у сенсорну сферу, довжина ребра, об'єм та об'ємний коефіцієнт обчислюються.

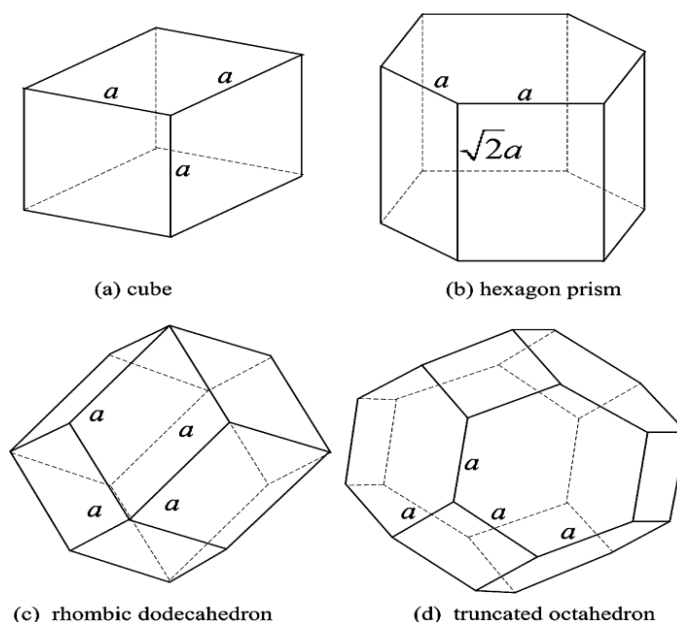


Рисунок 3.4 - Чотири багатогранники, що заповнюють простір: (а) куб, (б) гексагональна призма, (с) ромбічний додекаедр та (д) усічений октаедр

3.4 Висновки по розділу

Ми обговорили розміщення вузлів для повного 1-покриття. Якщо потрібне повне k -покриття (тобто кожна точка простору покривається принаймні k сенсорами), простий підхід полягає у розміщенні k сенсорів в одному місці. Інший,

також простий підхід, полягає в тому, щоб розмістити k шарів тесселяцій, де кожен шар тесселяції забезпечує повне 1-покриття. Останній метод розміщення може бути більш бажаним, оскільки датчики в різних місцях навряд чи вийдуть з ладу одночасно (наприклад, через зміни в навколишньому середовищі). Таким чином, бажано розміщувати датчики не надто близько один до одного - мінімальна відстань між ними - для кращого покриття. Кім та ін. [45, 46] пропонують схему розміщення з трьох шарів регулярних триангуляцій, щоб задовольнити вимогу мінімального розділення. У тривимірних схемах розміщення, розглянутих у попередньому підрозділі, різні ступені зв'язності мережі можуть бути отримані шляхом встановлення різних діапазонів діапазонів зв'язку.

З іншого боку, для фіксованого діапазону зв'язку і діапазону зондування нам потрібно налаштувати схему розміщення так, щоб задовольнити як покриття простору, так і підключення до мережі. На основі кубічної решітки Бай та ін. [47] розробляють оптимальні схеми розміщення для досягнення k -зв'язності ($k \leq 4$) та 1-покриття для різних значень відношення дальності зв'язку до дальності зондування.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

4.1 Розміщення вузлів iBeacon в тестовому середовищі

Експеримент проводився в корпусі Z Університету радіоелектроніки. Основна увага при реалізації була зосереджена на третьому поверсі, як показано на рисунку 4.1

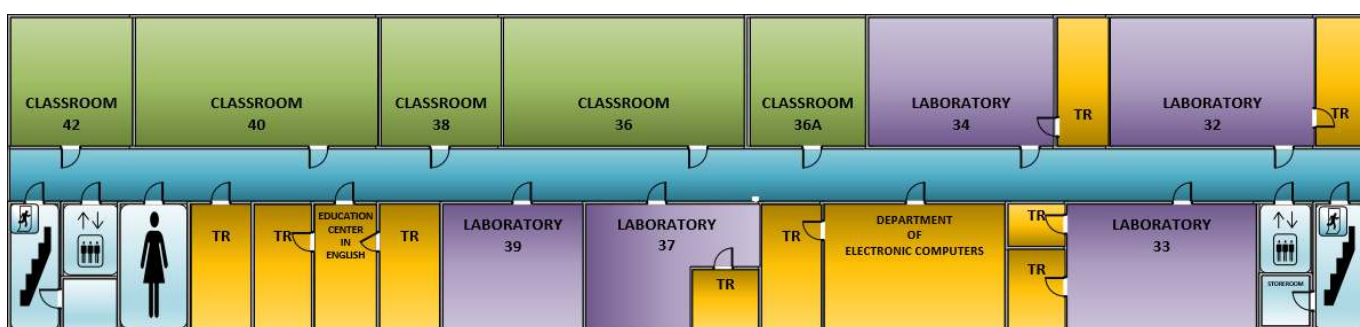


Рисунок 4.1 - План поверху корпусу З

Основна увага при реалізації була зосереджена на підвищенні точності при розгляді найкращого рішення для розміщення вузлів-маяків, яке є одночасно ефективним і дешевим. Реалізація виконана таким чином, що використовується найменша кількість вузлів-маяків для максимальної ефективності.

Вибір реалізації базувався на результатах, отриманих Акомолафе Хенріхом, студентом групи комп'ютерної інженерії CSN-11-1, де вимірювання проводились в Z-блоці як для класичного, так і для Bluetooth low energy. Для Bluetooth low energy використовувався iBeacon для проведення тестування для блоку з перешкодами і без них. Для класичного Bluetooth вимірювання проводилися за допомогою андроїд-пристрою Samsung Tab 4. Також було проведено два окремих вимірювання з перешкодами і без них.

Беручи до уваги результати всіх вимірювань, можна зробити висновок, що

BLE є найбільш придатним для реалізації.

Третій рівень корпусу 3 має приблизно 60 метрів у довжину і 2,5 метра в діаметрі. Під час наших розрахунків, щоб підвищити точність локалізації, ми повинні були врахувати два ключові моменти:

- діапазон вузлів маяків, які будуть використовуватися;
- ступінь покриття.

Більшість доступних на ринку вузлів-маяків пропонують до 30 метрів для BLE з точністю близько двох метрів. План експерименту становить приблизно 60 метрів, враховуючи, що дальність BLE вузлів, які ми використовували, становить до 30 метрів, було вирішено розмістити 4 маяки на відстані 15 метрів один від одного, оскільки це дозволить підвищити точність локалізації. На рисунку 4.2 показана концепція.

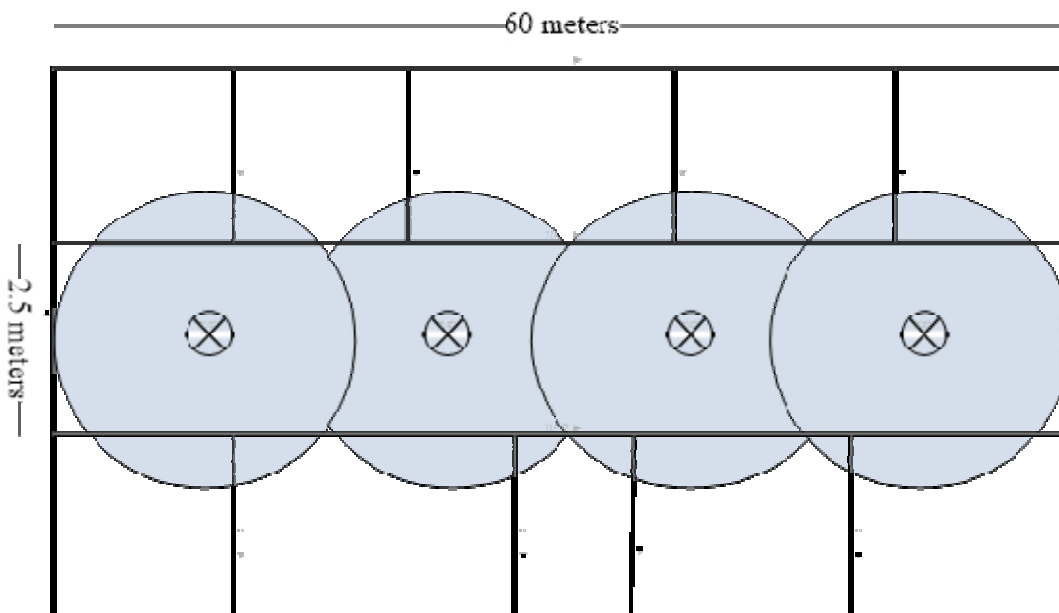


Рисунок 4.2 - Можливі позиції розміщення вузлів-маяків

4.2 Просторова модель процесу локалізації

Як було зазначено в попередньому розділі, для цієї роботи обрано сіткову

модель. Геометрія є основою сіткової моделі. Щоб зробити модель точною, розмір комірки сітки повинен бути невеликим (зазвичай від 10 см до 1 м).

Карта середовища складається з трьох шарів - сітки з розмірами, що дорівнюють розмірам середовища, опису перешкод (стін, столів, стільців тощо) та карти, яка буде відображатися на екрані приймаючого пристрою. Карта-сітка складається з першого та другого шарів. Карта сітки блоку Z показана на рисунку 4.3. Чорні поля у верхній і нижній частині екрану позначають перешкоди і місця, які користувачеві не потрібно використовувати для розпізнавання свого поточного місцезнаходження. Ці поля також використовуються для зменшення кількості місць на карті і, таким чином, зменшення вимог до ресурсів пристрою.

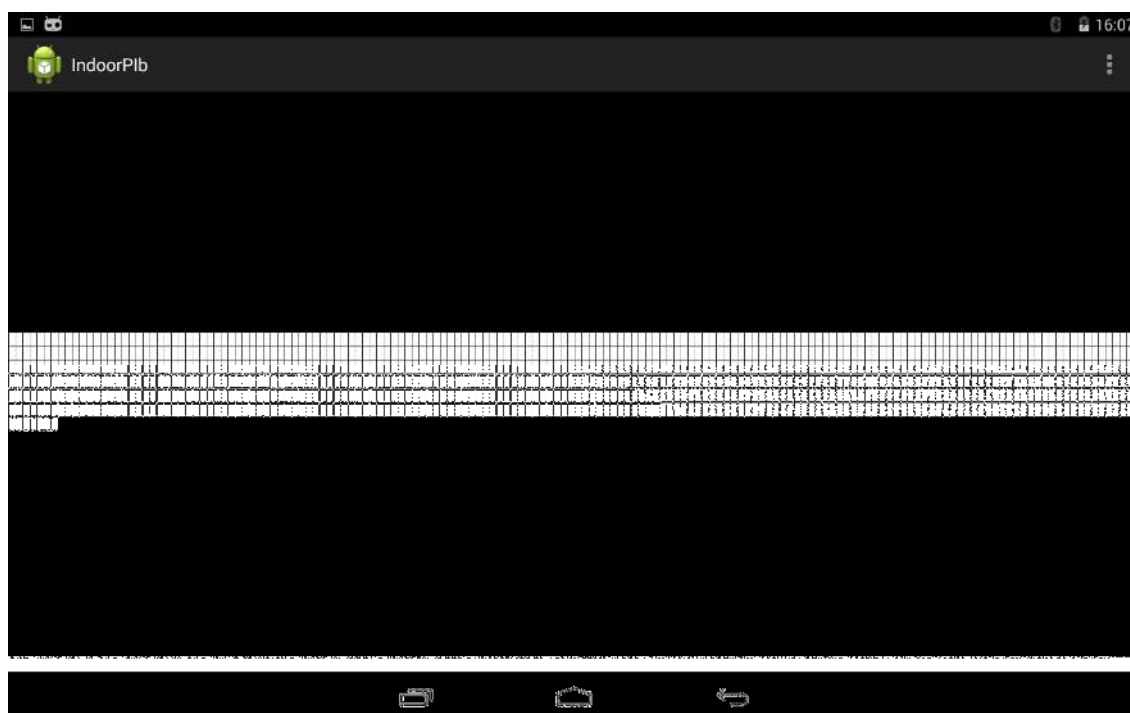


Рисунок 4.3 - Карта сітки корпусу 3

Комбінація всіх трьох шарів показана на рисунку 4.4. Для того, щоб зробити карту більш читабельною для людини, перший з шарів було приховано, але він використовувався для розрахунку найкоротшого маршруту між поточним

положенням користувача та бажаними точками, які користувач хоче відвідати.

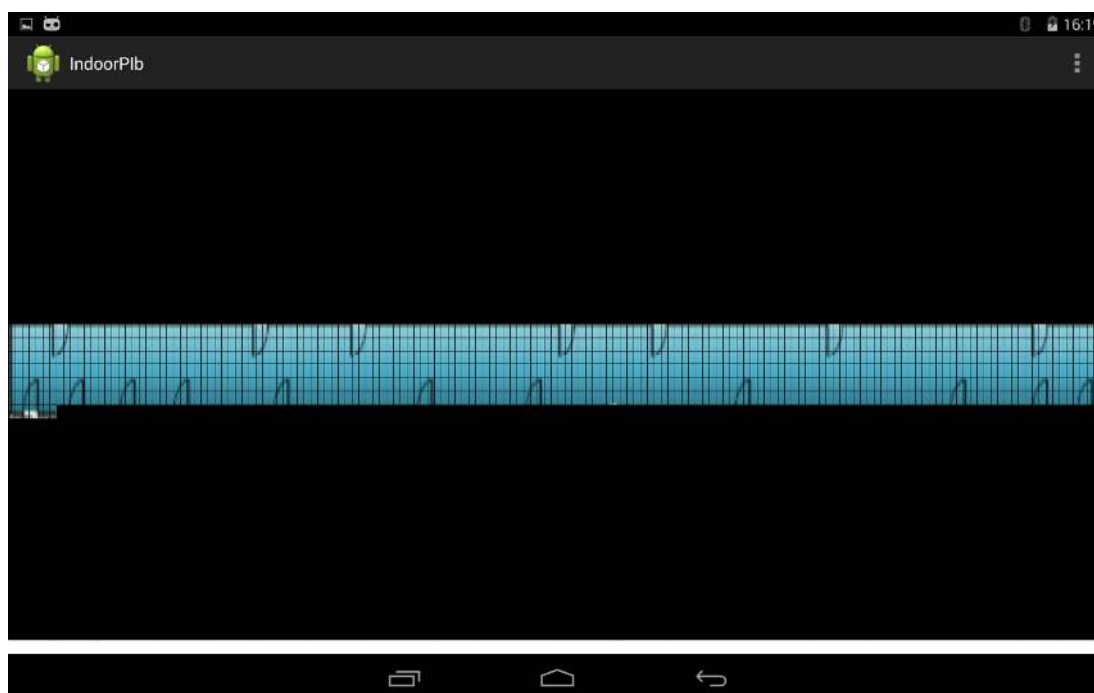


Рисунок 4.4 - Всі шари, показані на екрані приймаючого пристрою

4.3 Розробка додатку для Android

Метод внутрішньої локалізації мобільних об'єктів використовує технологію iBeacon. Система локалізації з використанням таких пристроїв працює бездоганно. Ця система складається з iBeacons, які розміщуються в навколишньому середовищі (не більше одного iBeacon на один квадратний метр) і смарт-пристроїв (смартфон, планшет і т.д.), які приймають і обробляють інформацію від маячків. Дані, які смарт-пристрої обробляють під час процесу локалізації, складаються з UUID, значення Major і Minor та рівня сигналу, отриманого від маяка. Ці три значення використовуються для ідентифікації iBeacon серед інших маяків у навколишньому середовищі. Рівень сигналу використовується для пошуку найближчого маяка - маяк з найкращим сигналом вважається найближчим. Зазвичай це так і є, особливо в середовищі, де немає великого скупчення людей. Як тільки цей процес завершився - смарт-пристрої показують поточне положення об'єкта на карті. Такий додаток було

реалізовано для пристроїв на базі iOS та Android. Скріншот додатку для iOS пристроїв показано на рисунку 4.5.

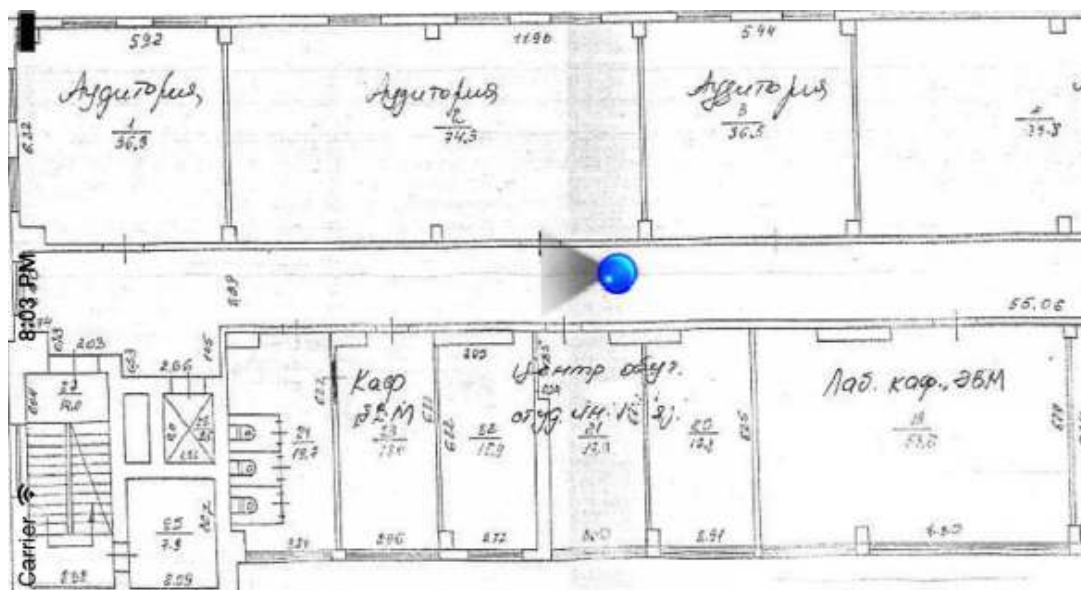


Рисунок 4.5 - Додаток внутрішньої локалізації для iOS

Як зазначалося раніше, карта для Android складається з трьох шарів, два з яких є невидимими для користувача. Крім того, додаток для Android складається з двох активностей - перша активність є стартовою, де користувач може вибрати карту для процесу локалізації, а інша активність представляє карту оточення з позначкою, що відображає поточне положення користувача. Скріншот першої дії показано на рисунку 4.6.

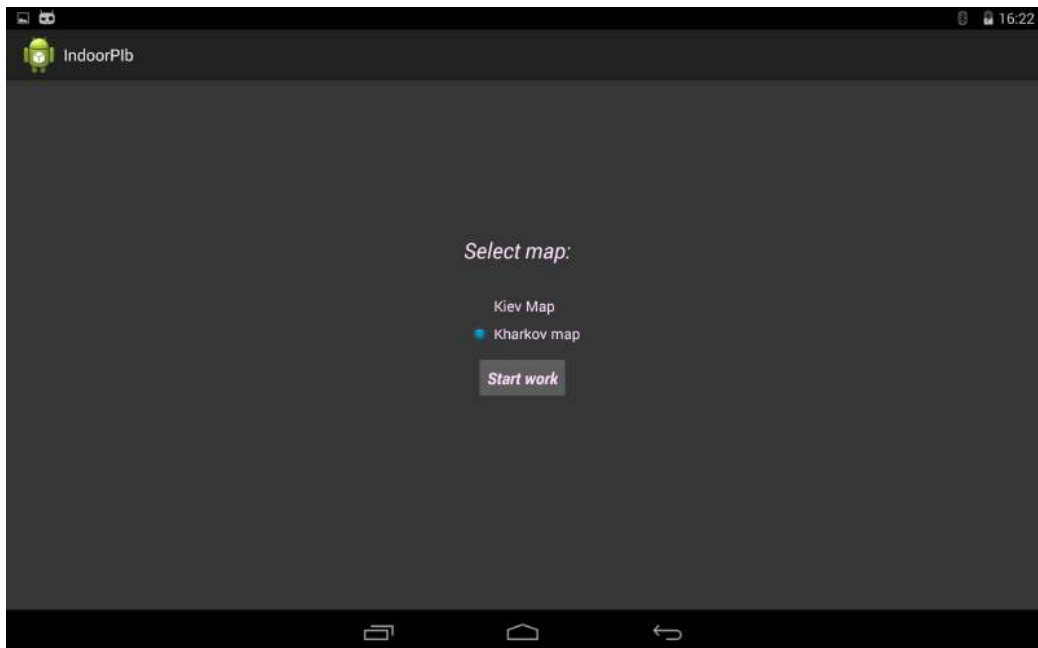


Рисунок 4.6 - Знімок екрана першої активності

Мітка поточного місцезнаходження користувача змінює своє положення, як тільки сигнал від іншого iBeacon стає сильнішим, ніж від поточного iBeacon. Скріншот мапи з міткою поточного місцезнаходження користувача показано на рисунку 4.7.

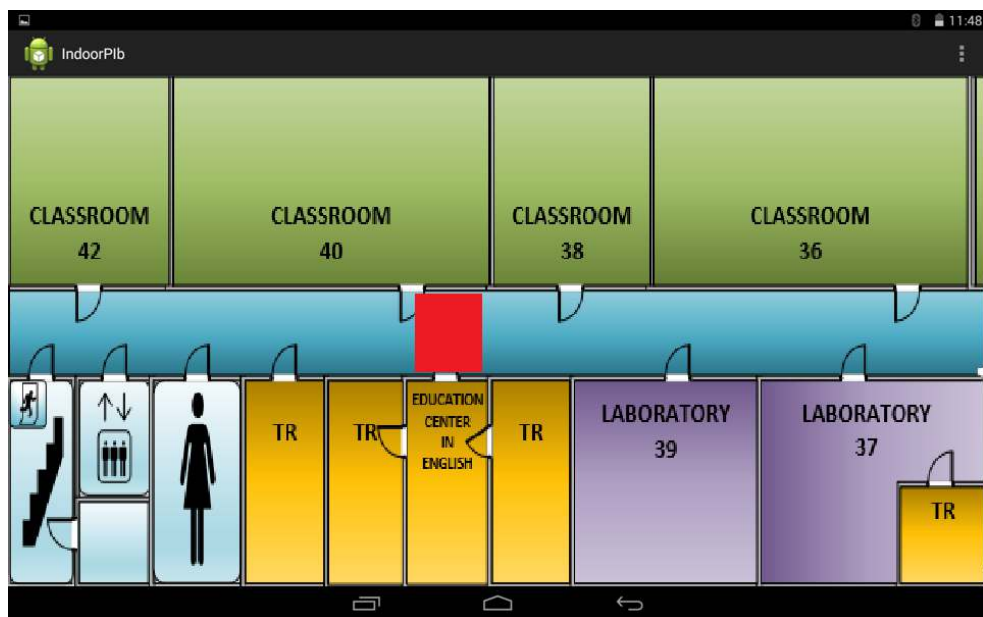


Рисунок 4.7 - Мапа з позначкою поточного місцезнаходження користувача

Такий метод локалізації мобільних об'єктів працює стабільно, але зі збільшенням відстані між iBeacon та приймальним пристроєм точність локалізації знижується. Тому було запропоновано комбінований метод локалізації мобільних об'єктів. Цей метод буде описано в наступному розділі.

4.4 Комбінований метод локалізації мобільних об'єктів

Одним з найпопулярніших датчиків є акселерометр. Процес локалізації мобільних об'єктів за допомогою акселерометра виглядає наступним чином. Однією з реалізацій сервісів, що використовують цей датчик, є крокомір. Цей сервіс визначає кроки користувача, а також може обчислювати пройдену ним відстань. Як наслідок, для процесу локалізації системі потрібно вказати лише стартову позицію користувача. Однак слід зазначити, що цей метод не враховує напрямку руху користувача. Цей недолік можна вирішити за допомогою використання датчика магнітометра та реалізації пов'язаного з ним сервісу - компаса. На жаль, правильність роботи практично всіх магнітометрів, а також технології Wi-Fi надзвичайно сильно схильна до спотворень від наявності зовнішніх радіохвиль, а також стороннього електронного обладнання. Тести з використанням компаса показують, що за відсутності будь-яких перешкод за межами міста цей датчик показує відносно стабільну роботу, тоді як в середовищі з наявністю великої кількості електронного обладнання компас показує вкрай неточні показання.

Комбінований метод локалізації мобільних об'єктів передбачає поєднання функціоналу технології iBeacon та акселерометра. Цей метод полягає в наступному. Перш за все, в безпосередній близькості від передавача iBeacon (в межах 1 метра) відбувається визначення поточного місцезнаходження об'єкта. Цей процес відбувається за допомогою такого параметра, як рівень прийнятого сигналу. Припустимо граничне значення цього параметра, при якому можна стверджувати, що об'єкт знаходиться в безпосередній близькості від передавача - не більше -40 dBm. За цієї умови система повинна відображати положення об'єкта в радіусі 1 метра від передавача. Потім, коли об'єкт починає рухатися, система запускає два

паралельні процеси. Перший процес полягає у вимірюванні рівня сигналу, отриманого від усіх передавачів у полі зору, другий - у запуску роботи крокоміра. Для тієї частини шляху об'єкта, на якій рівень сигналу від передавачів перевищує -40 дБм, система повинна відображати поточне місцезнаходження об'єкта на основі показань крокоміра. Середня довжина кроку людини дорівнює 70 см. Відповідно, при кожному кроці положення об'єкта буде зміщуватися на 70 см. Однак, за такої умови залишається питання напрямку руху об'єкта. Вирішенням цієї проблеми є сканування всіх навколишніх передавачів. Передавач, рівень сигналу від якого зменшився більше, ніж від інших, приймається за опорний, тобто той, до якого рухається об'єкт. В результаті можна реалізувати компас з відносними сторонами світу. Ілюстрація цього методу показана на рисунку 4.8.

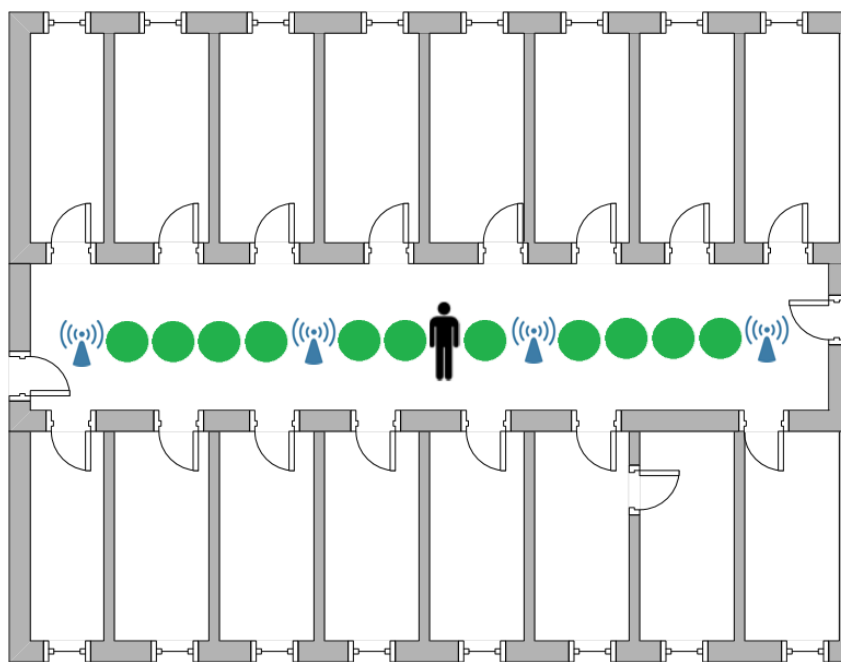


Рисунок 4.8 - Комбінований метод локалізації мобільних об'єктів

На рисунку 4.8 зеленими колами позначені фази локалізації об'єктів за допомогою крокоміра, піктограмами показано розташування передавача, що коригує положення об'єкта за допомогою iBeacons.

4.5 Подальші плани розвитку системи позиціонування

Після того, як було визначено та впроваджено метод та технологію процесу локалізації в приміщенні, виникла необхідність відстеження інших локалізованих об'єктів, що знаходяться в тому ж середовищі в цей час. Наша пропозиція ґрунтується на добровільному обміні інформацією про поточне положення кожного об'єкта в середовищі. Відповідно до цього кожен об'єкт отримує свою поточну позицію за допомогою методу внутрішньої локалізації на основі технології iBeacon, а потім надсилає останній отриманий ідентифікатор маяка на сервер. Після цього сервер надсилає цей ідентифікатор тим клієнтам, які хочуть відстежувати поточну позицію першого. Після цього на екрані смарт-пристрою клієнта відображається поточна позиція відстежуваного об'єкта. Таким чином, система локалізації та відстеження мобільних об'єктів буде складатися з чотирьох частин: iBeacons, які рекламують свої дані в навколишньому середовищі, об'єкт зі смарт-пристроєм, який буде приймати і обробляти ці дані, а потім визначати поточну позицію об'єкта і відправляти ці дані на сервер, сам сервер, і ще один об'єкт, який буде відстежувати поточну позицію першого об'єкта. Схема такої архітектури показана на рисунку 4.9.

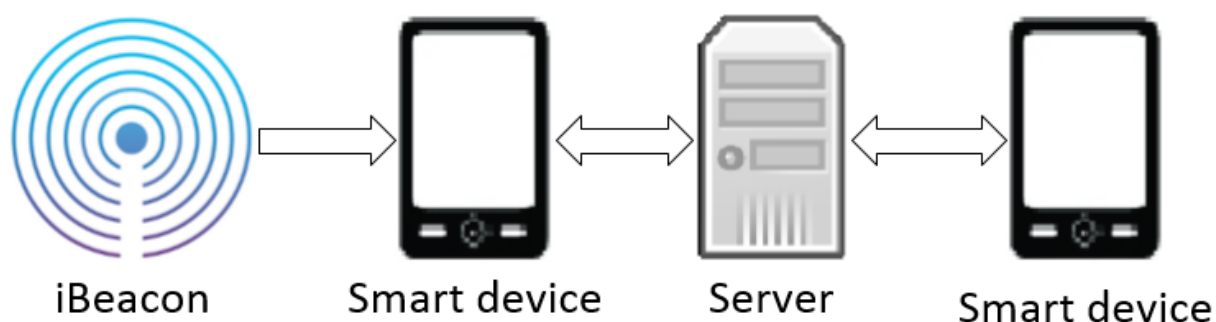


Рисунок 4.9 - Схема системи

ВИСНОВКИ

Проблема внутрішньої локалізації є надзвичайно актуальною та важливою в наш час. Це сфера, в якій найбільші світові компанії, виробники та науковці наполегливо працюють протягом останніх років. В даній магістерській роботі ми надали огляд та провели серію тестів різних методів та технологій для побудови високоточної системи локалізації та відстеження пішоходів та різних мобільних об'єктів, таких як транспортні засоби та роботи, в приміщенні. Також був запропонований підхід поєднання декількох бездротових технологій на базі сучасних смартфонів та планшетів для локалізації мобільних об'єктів. В результаті проведених тестів було обрано технологію iBeacon. Як вже згадувалося раніше, для цієї системи потрібні пристрої, які називаються iBeacon, що виготовляються на базі Bluetooth Low Energy. Такі пристрої легко монтуються і, відповідно до версії Bluetooth, звичайної батарейки буде достатньо для їх живлення протягом декількох років. Таким чином, автономність таких пристроїв надзвичайно висока. Крім того, додаток, який реалізує таку систему, є крос-платформним, що означає, що люди, які використовують смартфони та планшети різних виробників, можуть легко встановити та використовувати такий додаток на своїх пристроях. Нарешті, існує велика перспектива вдосконалення такої системи з різними функціями сповіщення та покращенням точності та кількості маячків. У подальших дослідженнях доцільно доповнити систему локалізації іншими датчиками, які є частиною сучасних смартфонів та планшетів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. Поплетєєв, В. Османі та О. Майора «Дослідження локалізації в приміщенні за допомогою навколишніх FM-радіостанцій», с. 171-179.
2. Ф. Алсехлі, Р. Мохд, З. Севак та Т. Арслан «Покращення точності позиціонування в приміщенні за допомогою алгоритму передачі Wi-Fi», с. 20
3. К. Кемарунгши "Проектування систем позиціонування в приміщеннях на основі методу визначення місцезнаходження за відбитками пальців", с. 23
4. А. Бучман, С. Лунг «Метод локалізації в приміщенні на основі рівня прийнятого сигналу з точністю до рівня приміщення», Coginfocom 4-а міжнародна конференція з когнітивних інфокомунікацій, IEEE, 2-5 грудня 2013 р., с. 103-108.
5. С. Фарахані "Дослідження бездротових мереж Zigbee та прийомопередавачів в контексті налаштування вимірювання UWB", с. 20
6. К. Альмузайні, А. Гулівер «Локалізація на основі діапазону в бездротових мережах з використанням виявлення викидів на основі щільності», с. 34
7. А. Кавалліні «Біблія iBeacons 1.0», с. 19
8. Г. Дзанка, Ф. Дзордзі, А. Дзанелла, М. Дзордзі "Експериментальне порівняння алгоритмів локалізації на основі RSSI для бездротових сенсорних мереж всередині приміщень", с. 12
9. Ультраширокий діапазон – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://en.wikipedia.org/wiki/ultra-wideband>
10. Р. Касас, Д. Куартіельєс, А. Марко, Х. Грасія, Ж. Фальк «Приховані проблеми при розгортанні системи визначення місцезнаходження в приміщенні», IEEE pervasive computing, с. 62-69
11. Д. Джонс «Порівняння бездротових технологій позиціонування в приміщенні» - с. 84
12. Р. Стейтс, Е. Паппас "Точність і повторюваність системи вимірювання руху optotrak 3020", Медична інженерія і технологія, т. 30, 2006, с. 1-16

13. Р. Маутц «Застосування *venia legendi* в позиціонуванні та інженерній геодезії», с. 20
14. М. Айяд, Г. Халельн «Техніки локалізації положення в бездротових мережах», с. 60-62
15. Bluetooth – [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://en.wikipedia.org/wiki/bluetooth>
16. Й. Джи, С. Біаз, С. Пандей, П. Агравал «Динамічна система побудови та локалізації карти сигналів у приміщенні», матеріали 4ї Міжнародної конференції по мобільних системах, с. 25
17. Д. Хайтауер та Г. Борріелло. "Системи локалізації для повсюдних обчислень", комп'ютерний журнал ІЕЕ, 34(8), с.57-66
18. Л. Поманте, К. Рінальдї, М. Сантіч та С. Тенніна, "Аналіз продуктивності легкого алгоритму локалізації на основі RSSI для бездротових сенсорних мереж", с. 24
19. Д. Нікулеску та Б. Нат, "Спеціальна система позиціонування (aps) з використанням AoA", ІЕЕЕ infocom, с. 34
20. А. Насіпурі та К. Лі, «Схема визначення місцезнаходження на основі спрямованості для бездротових сенсорних мереж», Перший міжнародний семінар АСМ з бездротових сенсорних мереж та додатків, Атланта, с. 45
21. І. Шарп, К. Ю, І. Гуо «Аналіз GDOP для проектування систем позиціонування», ІЕЕЕ Transaction on Vehicular Technology, т.58, сс. 3371-3382
22. Ф. Ауренхаммер «Діаграми Вороного - огляд фундаментальної геометричної структури даних», АСМ Computing Surveys, сс. 345-405
23. З. Лі, С. Клараунт, «Модель на основі сіткових графів для аналізу двовимірних внутрішніх просторів», Екологія та міські системи, т. 34, № 6, с. 532-540
24. Е.-Р. Стоффель, Б. Лоренц, «До семантичної просторової моделі для пішохідної навігації в приміщенні», Досягнення в концептуальному моделюванні - основи та застосування, с. 328-337
25. В. Цецос, К. Анагностопулос, «Семантично збагачена навігація для

внутрішнього середовища», Міжнародний журнал веб- та грід-сервісів, с. 453-478

26. М. Ворбойс, «Моделювання внутрішнього простору», Матеріали 3-го міжнародного семінару ACM SIGSPATIAL з просторової обізнаності в приміщенні, с. 1-6

27. Б. Домінгес, А. Гарсія, «Семантичне та топологічне представлення будівлі в приміщенні», Міжнародне товариство фотограмметрії та дистанційного зондування, с. 54

28. І. Афйоні, С. Рей, «Просторові моделі для контекстно-орієнтованих систем внутрішньої навігації» Журнал «Journal of Spatial Information Science», №. 4, сс. 85-123

29. М. Гетц, А. Зіпф, «Розширення openstreetmap на внутрішнє середовище», Матеріали з управління міськими та регіональними даними, с. 47-58

30. Б. Лоренц, Х. Й. Ольбах «Гібридна просторова модель для представлення внутрішнього середовища», Бездротові географічні інформаційні системи, с. 102-112

31. Д. Волгран "Ієрархічне представлення графів маршрутів на основі вороної для планування, просторових міркувань та комунікації", 4-й Міжнародний семінар з когнітивної робототехніки, с. 64-69

32. Ф. Ламарш, С. Донікян «Натовп віртуальних людей», Форум з комп'ютерної графіки, т. 23, с. 509-518

33. Г. Франц, Х. Маллот «Графові моделі простору в архітектурі та когнітивних науках - порівняльний аналіз», Матеріали 17-ї Міжнародної конференції з системних досліджень, с. 30-38

34. Д. Рьонінг, Д. Рієккі, Т. Сеппанен, «Річний звіт за 2008 рік групи інтелектуальних систем», с. 10

35 В. Коскун, К. Ок і Б. Озденізчі "Зв'язок ближнього поля", Чичестер, GBWSX: John Wiley & Sons Ltd, 2012

36 Р. Тесорієро, Я. А. Галлуд, М. Д. Лозано та В. М. Р. Пенічет, "Відстеження автономних об'єктів за допомогою технології RFID", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 55(2), pp.650-655, травень 2009 р.

37 Ю. Гу, Л. Куан, Ф. Рен і Я. Лі "Швидка локалізація розумних портативних пристроїв в приміщенні за допомогою Bluetooth", 10-а Міжнародна конференція з мобільних спеціальних і сенсорних мереж, 2014, с. 1-9

38 S. Feldmann, K. Kuamaku, A. Zapater, and Z. Lue "An Indoor Bluetooth-based Positioning System: Концепція, реалізація та експериментальна оцінка", Міжнародна конференція з бездротових мереж, 2003, с. 109-113

39 Г. Анастасі та Р. Банделлоні "Експерименти з внутрішньою службою позиціонування на основі Bluetooth", 23-тя Міжнародна конференція з розподілених обчислювальних систем, 2003 р., с. 480-483

40 en.wikipedia.org/wiki/location_estimation_in_sensor_networks

41 Т.Н. Cormen, С.Е. Leiserson, Rivest "Introduction to Algorithms"

42 W.C. Ке, В.Н. Liu, М.Ј. Tsai "Побудова бездротової сенсорної мережі для повного покриття критичних мереж шляхом розгортання мінімальної кількості датчиків у точках сітки є NP-повною", IEEE Transactions on Computers 56(5), 710-715 (2007)

43 І.Ф. Акийлдиз, Д. Помпілі, Т. Мелоді "Підводні акустичні сенсорні мережі", Наукові проблеми. Спеціальні мережі (Elsevier) 3(2), с. 257-279

44 J.E. Kim, M.K. Yoon "Розміщення датчиків для 3-покриття з мінімальними вимогами до розділення", The 4th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), с. 266-281

45 J.E. Kim, J. Nan "Оптимальне 3-покриття з мінімальними вимогами до розділення для повсюдних обчислювальних середовищ", Мобільні мережі та додатки (Springer) (2009).doi:10.1007/s11036-008-0122-9

46 Х. Бай, К. Чжан, "Тривимірні бездротові сенсорні мережі з низьким рівнем зв'язку та повним покриттям", 10-й Міжнародний симпозіум з мобільних спеціальних мереж та обчислень (MobiHoc), с. 145-154 (2009)

47 П. Холл "Вступ до теорії процесів покриття", Wiley, NY, 1988