

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Віктор ГНАТЮК
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Тема: «Метод підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі».

Виконавець: _____ Владислав ПУЛЬНИЙ
(підпис)

Керівник: _____ Віталій КУРУШКІН
(підпис)

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Консультант розділу «Охорона праці» _____ Батир ХАЛМУРАДОВ
(підпис)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»
_____ Андріан ЯВНЮК
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Віктор ГНАТЮК

“ ” 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Пульного Владислава Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі»

затверджена наказом ректора від «28» вересня 2023 р. №1965/ст

2. Термін виконання роботи: з 02.10.2023 р. по 31.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: бездротова сенсорна мережа

4. Зміст пояснювальної записки: існуючі методи локалізації вузлів у бездротовій сенсорній мережі; розроблення методу підвищення точності локалізації сенсорних вузлів; метод підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: блок-діаграма локалізації невідомих вузлів БСМ в графічному середовищі LabVIEW, алгоритм вимірювального процесу, порівняння похибки локалізації невідомого вузла за координатою X, порівняння похибки локалізації невідомого вузла за координатою Y

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	02.10.2023- 04.10.2023	Виконано
2	Вступ	05.10.2023- 08.10.2023	Виконано
3	Існуючі методи локалізації вузлів у бездротовій сенсорній мережі	09.10.2023- 22.10.2023	Виконано
4	Розроблення методу підвищення точності локалізації сенсорних вузлів	23.10.2023- 05.11.2023	Виконано
5	Метод підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі	06.11.2023- 30.11.2023	Виконано
6	Охорона праці	01.12.2023- 06.12.2023	Виконано
7	Охорона навколишнього середовища	07.12.2023- 17.12.2023	Виконано
8	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	18.12.2023- 31.12.2023	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., професор Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколиш- нього середовища	к.б.н., доц. Андріан ЯВНЮК		

8. Дата видачі завдання: “29” вересня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис керівника)

Віталій КУРУШКІН
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випускника)

Владислав ПУЛЬНИЙ
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Метод підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі» містить 87 сторінок, 22 рисунки, 6 таблиць, 60 використаних джерел.

ЛОКАЛІЗАЦІЯ ВУЗЛІВ, БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, ТОЧНІСТЬ ЛОКАЛІЗАЦІЇ, СИГНАЛИ ТА СЕНСОРИ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ГЕОЛОКАЦІЯ, АЛГОРИТМИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ, МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ДАНІ, ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ПРИБУТТЯ СИГНАЛУ (ТОВА), РІЗНИЦЯ ЧАСУ ПРИБУТТЯ СИГНАЛУ (ТDOA), СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ (GPS), СИМУЛЯЦІЯ МЕРЕЖІ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРЯМОЇ ТА НЕ ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ (LOS/NLOS), ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методу підвищення точності локалізації вузлів у БСМ.

Об'єктом дослідження є методи та підходи, спрямовані на підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах, що включає в себе аналіз та вдосконалення алгоритмів, які дозволяють ефективно та точно визначати місцезнаходження бездротових вузлів в мережі.

Предметом дослідження є розробка та оптимізація методів, технік та алгоритмів, спрямованих на підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах, що охоплює вивчення принципів функціонування бездротових мереж, аналіз їхніх особливостей та складнощів, що виникають у процесі точного визначення місцезнаходження вузлів.

Наукова новизна дослідження методів підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах полягає в розробці та вдосконаленні нових підходів, які враховують комплексність проблеми та використовують сучасні методи аналізу даних та технології.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВУЗЛІВ У БЕЗДРОТОВІЙ СЕНСОР- НІЙ МЕРЕЖІ	14
1.1. Централізовані та розподілені методи	14
1.2. Схеми з використанням діапазону передавання (Range-base) і без використання діапазону передавання (Range-free)	16
1.3. Методи триангуляції, трилатерації та мультилатерації	17
1.4. Метод визначення кута приймання AoA (Angle of Arrival)	22
1.5. Метод вимірювання відстані за потужністю радіосигналу RSSI (Received Signal Strength Indication)	24
1.6. Метод вимірювання відстані за часом приходу сигналу ToA (Time of Arrival) ..	26
1.7. Метод вимірювання відстані за різницею в часі прибуття сигналу TDoA (Time Difference of Arrival)	27
1.8. Метод визначення приблизної точки триангуляції APIT (Approximate Point-in- Triangulation)	29
1.9. Метод центроїда	33
1.10. Метод багатовимірною шкалювання MDS-MAP (Multidimensional scaling-MAP)	34
1.11. Метод визначення відстані шляхом вимірювання кількості стрибків DV-Hop (Distance Vector-Hop)	36
1.12. Метод вимірювання відстані між сусідніми вузлами DV- Distance (Distance Vector- Distance)	38
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ СЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ	40
2.1. Метод DV-Hop (Distance Vector - Hop)	40
2.2. Підвищення точності розрахунку середнього розміру стрибка	44

2.3. Визначення місця розташування невідомих вузлів з використанням гіперболічного алгоритму	45
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВУЗЛІВ БЕЗДРОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ	47
3.1. Розробка програмного забезпечення	47
3.2. Експериментальне дослідження методів локалізації	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	57
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	69
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

WSN: Бездротова сенсорна мережа (Wireless Sensor Network).

IoT: Інтернет речей (Internet of Things).

GPS: Система глобального позиціонування (Global Positioning System).

RFID: Радіочастотна ідентифікація (Radio-Frequency Identification).

UWB: Ультраширокосмугові технології (Ultra-Wideband).

IMU: Інерціальна система вимірювань (Inertial Measurement Unit).

ML: Машинне навчання (Machine Learning).

AI: Штучний інтелект (Artificial Intelligence).

TOA: Врем'я прибуття сигналу (Time of Arrival).

TDOA: Різниця часу прибуття сигналу (Time Difference of Arrival).

RSSI: Індикатор рівня сигналу (Received Signal Strength Indicator).

LOS/NLOS: Пряма видимість/не пряма видимість (Line of Sight/Non-Line of Sight).

Fingerprinting: Відбиток (відбитковий метод) (Fingerprinting).

NLOS Identification: Ідентифікація не прямої видимості (NLOS Identification).

SDR: Програмно-керовані радіоприймачі (Software Defined Radio).

MSE: Середньоквадратична помилка (Mean Squared Error).

RMSE: Квадратний корінь середньоквадратичної помилки (Root Mean Square Error).

BLE: Bluetooth Low Energy.

CNN: Згорткова нейронна мережа (Convolutional Neural Network).

RNN: Рекурентна нейронна мережа (Recurrent Neural Network).

LSTM: Довга короткочасна пам'ять (Long Short-Term Memory).

KNN: Метод найближчих сусідів (K-Nearest Neighbors).

RF: Випадковий ліс (Random Forest).

SVM: Метод опорних векторів (Support Vector Machine).

ANN: Штучна нейронна мережа (Artificial Neural Network).

RSS: Знешумлений сигнал (Received Signal Strength).

LOS: Пряма видимість (Line of Sight).

NLOS: Непряма видимість (Non-Line of Sight).

CRLB: Нижня межа Крамера-Рао (Cramer-Rao Lower Bound).

PDR: Імовірність виявлення (Packet Detection Rate).

ВСТУП

Актуальність теми. З розвитком сенсорної техніки були введені малопотужні та недорогі бездротові датчики, а потім з'явилися бездротові сенсорні мережі (БСМ). БСМ можуть бути застосовані в багатьох галузях, як-от військова справа, торгівля, медицина, моніторинг довкілля, і стали новим напрямком досліджень у галузі комп'ютерних і комунікаційних технологій.

Локалізація вузлів у бездротових сенсорних мережах є важливим аспектом їх функціонування та застосування в різних галузях, таких як моніторинг навколишнього середовища, медичні дослідження, автоматизація промислових процесів та багато інших. Точність локалізації вузлів є ключовим фактором для досягнення високої ефективності та надійності цих мереж.

Звільнення від обмежень провідних з'єднань із використанням бездротових технологій відкриває безмежні можливості для розгортання сенсорних мереж у різних середовищах. Однак у таких мережах точність локалізації є важливим викликом, оскільки бездротові комунікаційні канали супроводжуються шумами, втратою сигналу та іншими спотвореннями, що ускладнюють процес визначення місцезнаходження вузлів.

У цьому контексті дослідження та розробка методів підвищення точності локалізації вузлів бездротових сенсорних мереж набувають великого значення. Інноваційні підходи, які базуються на поєднанні різних сенсорів та алгоритмів обробки даних, можуть значно покращити точність визначення геолокації та забезпечити надійність та ефективність роботи бездротових сенсорних мереж у реальних умовах.

Багато додатків БСМ ґрунтуються на самопозиціонуванні датчиків, як-от спостереження за полем бою, моніторинг довкілля, відстеження внутрішніх користувачів тощо, що залежать від знання місця розташування сенсорних вузлів. Через обмеження в розмірах, потужності та вартості сенсорних вузлів дослідження ефективних методів визначення місця розташування, що задовольняють базову вимогу точності для БСМ,

стикається з новими проблемами, а саме, з проблемою локалізації, тобто визначенням місця розташування вузлів у БСМ.

Для надання інформації про місцезнаходження кожного вузла було запропоновано безліч алгоритмів локалізації. Однак, запропоновані методи виявилися не стільки точними, як передбачалося [1-50].

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методу підвищення точності локалізації вузлів у БСМ.

Для досягнення поставленої мети необхідне виконання таких наукових завдань:

- дослідження наявних методів локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах;
- розроблення алгоритму для підвищення точності методу локалізації;
- розробка програмного забезпечення локалізації вузлів у БСМ;
- експериментальні дослідження методів локалізації.

Об'єктом дослідження є методи та підходи, спрямовані на підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах, що включає в себе аналіз та вдосконалення алгоритмів, які дозволяють ефективно та точно визначати місцезнаходження бездротових вузлів в мережі.

Предметом дослідження є розробка та оптимізація методів, технік та алгоритмів, спрямованих на підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах, що охоплює вивчення принципів функціонування бездротових мереж, аналіз їхніх особливостей та складнощів, що виникають у процесі точного визначення місцезнаходження вузлів.

Для дослідження та підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах використовуються різноманітні методи та підходи. Основні **методи дослідження включають**:

- **Математичне моделювання та аналіз алгоритмів.** Використання математичних моделей для опису роботи алгоритмів та їх аналізу є важливим етапом досліджень. Це включає розробку математичних рівнянь, теорії ймовірностей та статистичних методів для оцінки точності та надійності локалізації.

- **Експериментальні вимірювання.** Проведення реальних вимірювань у контрольованих умовах для збору емпіричних даних. Це може включати випробування пристроїв та систем у різних місцезнаходженнях та умовах для збору об'єктивних даних про точність локалізації.
- **Використання симуляцій.** Створення віртуальних моделей бездротових сенсорних мереж для тестування та аналізу алгоритмів локалізації. Це дозволяє оцінити ефективність та точність алгоритмів у різних умовах та сценаріях.
- **Інтеграція сенсорів та використання мультимодальних даних.** Об'єднання даних з різних сенсорів (акселерометри, гіроскопи, магнітні датчики) та використання мультимодальних даних для покращення точності локалізації.
- **Використання алгоритмів машинного навчання.** Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу та обробки даних, а також побудови моделей, які дозволяють враховувати різні фактори та умови для покращення точності.
- **Дослідження впливу факторів на точність.** Аналіз впливу різних факторів, таких як шум, затримки, густина мережі та інші, на точність локалізації та виявлення шляхів їхнього компенсування або мінімізації.

Комбінація цих методів дозволяє глибше розуміти та оптимізувати процес локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах з метою підвищення точності та надійності функціонування мережі.

Наукова новизна дослідження методів підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах полягає в розробці та вдосконаленні нових підходів, які враховують комплексність проблеми та використовують сучасні методи аналізу даних та технології:

- Оптимізація алгоритмів локалізації, що полягає у вдосконаленні існуючих алгоритмів та розробка нових, які враховують специфіку бездротових мереж, дозволяючи отримувати точніші результати локалізації при різних умовах.

- Урахування шумів та нестабільності каналу зв'язку, що включає розробку методів компенсації шумів та нестабільності сигналів у бездротових мережах для досягнення надійної та точної локалізації.

Отримані результати досліджень з підвищення точності локалізації вузлів у бездротових сенсорних мережах має значуще **практичне значення у багатьох сферах:**

- **Медичні додатки.** Удосконалення точності локалізації може бути важливим для медичних додатків, наприклад, для відстеження руху пацієнтів у лікарнях або для надання допомоги в екстрених ситуаціях.
- **Системи безпеки та відслідковування.** У галузі безпеки це може бути корисним для відстеження об'єктів або осіб у реальному часі, що може бути важливим для забезпечення безпеки об'єктів або відповіді на надзвичайні ситуації.
- **Системи транспорту та навігації.** Покращення точності локалізації у бездротових мережах може сприяти вдосконаленню навігаційних систем у транспорті, таких як автомобільні GPS-системи або системи моніторингу транспортних засобів.
- **Індустріальні застосування.** У промисловості це може бути корисним для моніторингу та оптимізації виробничих процесів та логістики.
- **Розумні будинки та міста.** У контексті "розумних" систем це може вплинути на автоматизацію та оптимізацію функцій розумних будинків та міст.
- **Екологічний моніторинг.** Застосування для точного моніторингу навколишнього середовища та вимірювання параметрів довкілля, що має важливе значення для екологічних досліджень.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВУЗЛІВ У БЕЗДРОТОВІЙ СЕНСО-РНІЙ МЕРЕЖІ

1.1. Централізовані та розподілені методи

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) складається із сотень невеликих пристроїв, званих датчиками, які обмежені з точки зору пам'яті, енергії та обчислювальної потужності. Ці датчики використовуються для визначення фізичних характеристик навколишнього світу, таких як температура, освітлення, забруднення тощо. БСМ використовуються для широкого спектра проблем, таких як моніторинг, допомога під час стихійних лих, відстеження стану пацієнтів, військові цілі та різні автоматизовані системи. Для цих завдань інформація про місцезнаходження абсолютно необхідна, оскільки без наявності інформації про положення сенсорних вузлів отримані від них дані не мають жодної цінності [1].

Локалізація датчиків може бути реалізована різними способами. Просте рішення полягає в тому, щоб забезпечити кожен вузол датчика приймачем GPS, який може точно надати вузлам датчика їхнє точне положення. Однак додавання GPS до всіх вузлів у бездротовій мережі недоцільно через високу вартість, високе енергоспоживання та обмеження середовища.

Самостійна локалізація - це альтернативне рішення GPS, у якому вузли датчиків можуть оцінювати своє становище з використанням різних протоколів виявлення місця розташування. Ці протоколи мають спільну характеристику. Більшість із них використовують кілька спеціальних вузлів, званих якорями, які, як передбачається, знають своє місце розташування (через ручне налаштування або приймачі GPS). Ці вузли якоря (також звані вузлами прив'язки, початковими значеннями, посиланнями або орієнтирами) надають інформацію про місцезнаходження у формі повідомлень звичайним вузлам, також відомим як сліпі вузли (також звані невідомими вузлами або

мішенями). Невідомі вузли можуть використовувати інформацію про положення кількох сусідніх якірних вузлів для оцінки своїх власних положень [1].

Найявні схеми визначення місця розташування вузлів класифікуються за низкою ознак. Класифікацію методів локалізації представлено на рисунку 1.1.

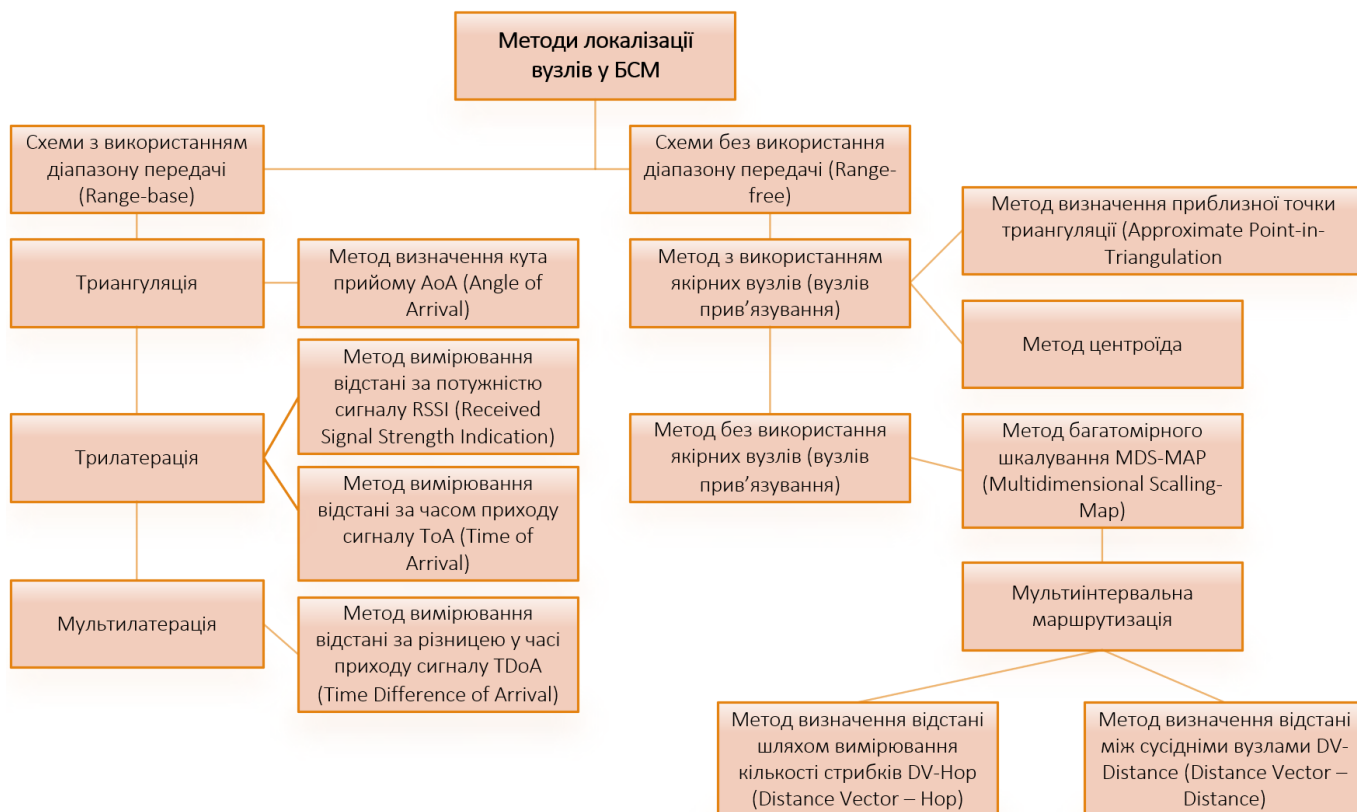


Рис. 1.1. Класифікація методів локалізації

У централізованому методі всі сенсорні вузли безпосередньо пов'язані з якірним вузлом або базовою станцією, місце розташування якої відоме. Сенсорні вузли відправляють керуюче повідомлення на базову станцію, де виконуються всі обчислення, визначають положення сенсорного вузла і передають назад на вузли.

Недоліком централізованого алгоритму є те, що він не підходить для сенсорних мереж великого масштабу. У той час як у розподілених методах кожен вузол оцінює своє власне місце розташування, використовуючи сусідню інформацію [2]. Він споживає менше енергії порівняно з централізованим методом, оскільки зв'язок здійснюється між вузлами між датчиками, але вимагає більше пам'яті порівняно з централізо-

ваним методом. Перевага розподіленої техніки полягає в тому, що вона найбільш підходить для сенсорних мереж великого масштабу, тому що всі обчислення розділені між сенсорними вузлами. У таблиці 1.1 подано результати порівняння централізованого та розподіленого методів [3].

Таблиця 1.1

Порівняння централізованого та розподіленого методу

№	Властивості	Централізований метод	Розподілений метод
1	Точність	В	С
2	Вартість зв'язку	В	Н
3	Вартість обчислень	В	С
4	Споживання енергії	В	В
5	Масштабованість	Н	В
6	Помилка поширення	Н	В
7	Надійність	Н	В
8	Затримка	С	Н
9	Пропускна здатність мережі	В	Н
Примітка - В - високий, С - середній, Н - низький			

1.2. Схеми з використанням діапазону передавання (Range-base) і без використання діапазону передавання (Range-free)

Згідно з класифікацією методів вимірювання відстані, методи локалізації можна розділити на дві основні категорії [4]:

- схеми з використанням діапазону передавання (Range-base);
- схеми без використання діапазону передачі (Range-free).

Схеми з використанням діапазону передачі ґрунтуються на використанні методів вимірювання відстані для оцінки місця розташування, а схеми без використання

діапазону передачі, навпаки, ігнорують використання методів вимірювання діапазону. Також існують гібридні системи, які поєднують у собі різні методи, засновані на інформації про зв'язність і (або) методах вимірювання відстані.

Схеми з використанням і без використання діапазону передачі можуть використовувати або не використовувати якірні вузли, тобто засновані на якірних вузлах (вузлах прив'язки) або вільні від вузлів якорів.

Перспективним методом є використання мобільного якірного вузла замість статичного якірного вузла [5]. Мобільний вузол якір знає про своє місцезнаходження і переміщується в області датчика і періодично передає своє поточне положення, щоб згенерувати кількість віртуальних вузлів якорів. Невідомі сенсорні вузли оцінюють своє місце розташування шляхом вимірювання географічної інформації (наприклад, відстані до вузла або кута напрямку сигналу) віртуальних вузлів якорів.

Методи, засновані на використанні діапазону передачі, оцінюють місце розташування вузла датчика, використовуючи вимірювання відстані між об'єктами і кута напрямку сигналу. У цих вимірах використовувалися методи тріангуляції, трилатерації або мультилатерації. Хоча методи, засновані на використанні діапазону передавання, більш точні, але вимагають додаткового обладнання, тоді як алгоритми без використання діапазону передавання використовують інформацію про зв'язність для оцінювання місця розташування. Цей метод не дуже точний, але економічно ефективний, тому що не вимагає додаткового обладнання [6].

1.3. Методи тріангуляції, трилатерації та мультилатерації

Метод тріангуляції - це основне поняття в алгебраїчній топології. Наприклад, поверхня S , її можна розбити на множину частин, що задовольняють таким властивостям [7]:

- кожна деталь являє собою трикутник із вигнутими краями;
- усі трикутники попарно не перетинаються або перетинаються тільки на спільному ребрі.

Розбиття для S із зазначеними вище двома властивостями називається триангуляцією S . Очевидно, що будь-які два трикутники в триангуляції не перекриваються один з одним. Крім того, у даній триангуляції немає трикутника, який має вершину всередині ребра іншого трикутника в тій самій триангуляції.

Для геометричної схеми триангуляції потрібно щонайменше три якірні вузли [8]. Невідомий вузол, прикріплений до об'єкта, в якому буде виконуватися пошук позиції, вимірює кут сигналу якоря приходу з трьох якірних вузлів, як показано на малюнку 2. По-перше, невідомий вузол вимірює кут між якірним вузлом 1 і якірним вузлом 2. Він називається λ_{12} . Потім вимірюється кут між якірним вузлом 1 і якірним вузлом 3 і має назву λ_{13} .

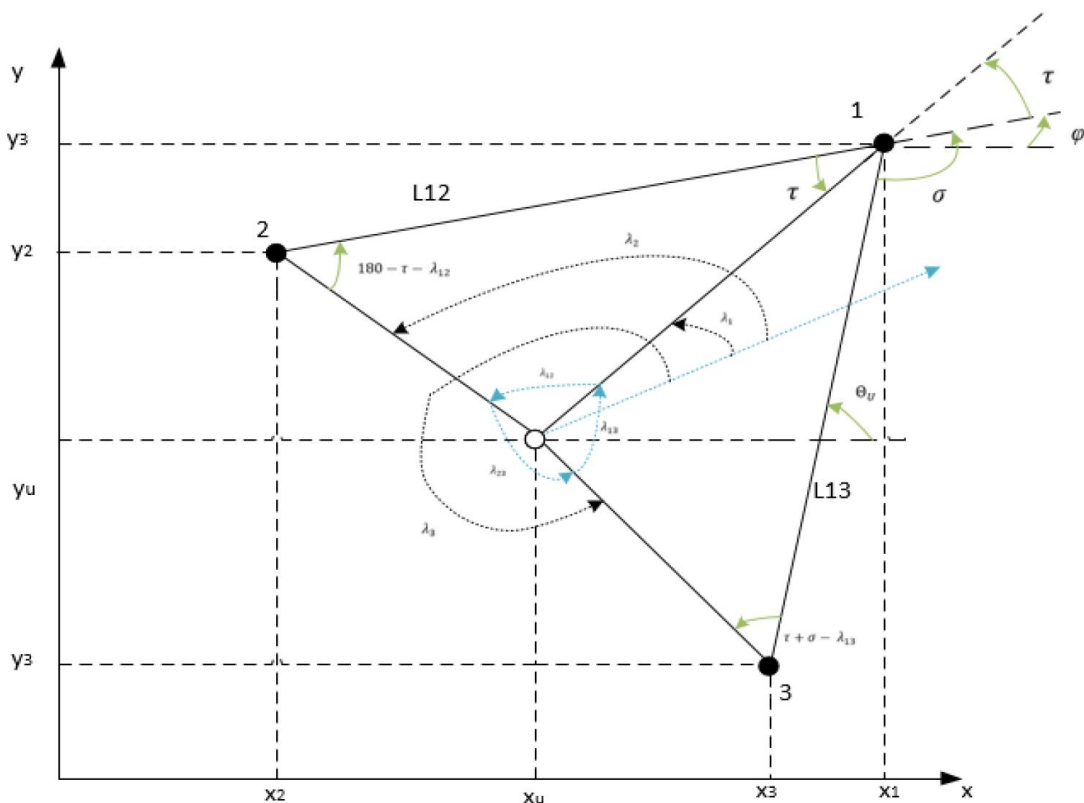


Рис. 1.2. Ілюстрація геометричної схеми триангуляції

Розрахунок передбачуваної позиції з використанням геометричної триангуляції описано нижче.

Припустимо, що є 3 якірні вузли з відомими координатами $\{(x_1, y_1); (x_2, y_2); (x_3, y_3)\}$. L_{12} і L_{13} є відстанню між якірними вузлом 1 до якірного вузла 2, а також між якірним вузлом 3 до якірного вузла 1. Значення може бути отримано за формулою (1.1) [9]:

$$\begin{aligned} L_{12} &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\ L_{13} &= \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

Значення L_1 - відстань між якірним вузлом 1 і невідомим вузлом. Відстань використовується для визначення передбачуваного положення невідомого вузла (x_u, y_u) . Кут відхилення орієнтації від горизонтальної осі позначено як θ_u .

Значення λ_1 , λ_2 і λ_3 є кутом від якірного вузла 1, 2 і 3 у напрямку орієнтації невідомого вузла, вимірної за допомогою невідомого вузла.

Кут прибуття між якірним вузлом 1 до якірного вузла 3 і від якірного вузла 1 до якірного вузла 2 обчислюються за формулами (1.2) і (1.3) відповідно [10]:

$$\lambda_{13} = 360^\circ + (4 - \lambda_3), \quad (1.2)$$

$$\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_1, \quad (1.3)$$

Значення φ - кут між позитивною віссю x і лінією якірного вузла 2, що проходить через якірний вузол 1. Кут отримують під час вимірювань.

Значення σ представляє λ_{13} собою кут, який утворено з перетину лінії від якірного вузла 3 і продовженням якірного вузла 2. Цей кут вимірюється від якірного вузла 1.

Допоміжне рівняння γ , яке вказане у формулі (1.4), є різницею між σ і λ_{13}

$$\gamma = \sigma - \lambda_1, \quad (1.4)$$

Значення p - це відношення до відстані L_{12} між якірним вузлом 1 і якірним вузлом 2, а L_{13} - до відстані L_1 між якірним вузлом 1 і якірним вузлом 3. Відношення може бути розраховане за формулою (1.5) [11]:

$$p = \frac{L_1^{13}}{L_1^{12}} = \frac{L_{13}/\sin(\lambda_3)}{L_{12}/\sin(\lambda_{12})} = \frac{L_1^{13} \cdot \sin(\lambda_{12})}{L_1^{12} \cdot \sin(\lambda_3)}, \quad (1.5)$$

Значення кута τ визначається за формулою (1.6):

$$\tau = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) - p \cdot \sin(\lambda)}{p \cdot \cos(\gamma) - \cos(\lambda_{12})} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_2) \cdot [L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) - L_{31} \cdot \sin(\gamma)]}{L_{31} \cdot \sin(\lambda_2) \cos(\gamma) - L_{12} \cdot \sin(\lambda_{13}) \cos(\lambda_{12})} \right], \quad (1.6)$$

Довжина відстані між якірним вузлом 1 до невідомого вузла L_1 розраховується за формулою (1.7):

$$L_1 = \frac{L_{12} \cdot \sin(\tau + \lambda_{12})}{\sin(\lambda_{12})}, \quad (1.7)$$

Перетворимо трикутник у перерізі 3 до горизонтальної осі, тоді отримаємо $x_1 - x_U$ і $y_1 - y_U$. Оціночне положення невідомого вузла може бути виражене за формулою (1.8):

$$\begin{aligned} \cos(90 - (\varphi + \tau)) &= \frac{(y_1 - y_U)}{L_1} \rightarrow y_U = y_1 - L_1 \cdot \sin(\varphi + \tau) \\ \sin(90 - (\varphi + \tau)) &= \frac{(x_1 - x_U)}{L_1} \rightarrow x_U = x_1 - L_1 \cdot \cos(\varphi + \tau), \end{aligned} \quad (1.8)$$

Крім того, кут орієнтації від невідомого вузла в напрямку горизонтальної осі Θ_U обчислюють із суми кутів у трикутнику, що утворений з якірного вузла 1, вузла 3 і невідомого вузла за формулою (1.9):

$$\Theta_U = (\varphi + \tau) - \lambda_1, \quad (1.9)$$

Метод трилатерації - це метод визначення місця розташування невідомого вузла в просторі з використанням декількох діапазонів (відстаней) між невідомим вузлом і кількома просторово рознесеними якірними вузлами.

Два похилі діапазони з двох відомих місць розташування можна використовувати для визначення місця розташування третьої точки в двовимірному просторі, що є часто застосовуваним методом.

У двовимірній геометрії відомо, що якщо точка лежить на двох колах, то центри кіл і два радіуси надають достатню інформацію, щоб звужити можливі місця розташування до двох рішень - одне з яких є бажаним результатом, а інше - неоднозначне рішення. У тривимірній геометрії, коли відомо, що точка лежить на поверхні трьох сфер, то центри трьох сфер разом з їхніми радіусами також дають достатню інформацію, щоб звужити можливі місця розташування до не більше ніж двох (якщо тільки центри не лежать на прямій лінії).

Найпростіший алгоритм використовує аналітичну геометрію та засновану на якірних. Таким чином, розглянемо центри кіл C_1 і C_2 на рисунку 3, які мають відомі координати (якірні вузли) і, таким чином, яких U відомо [12-14].

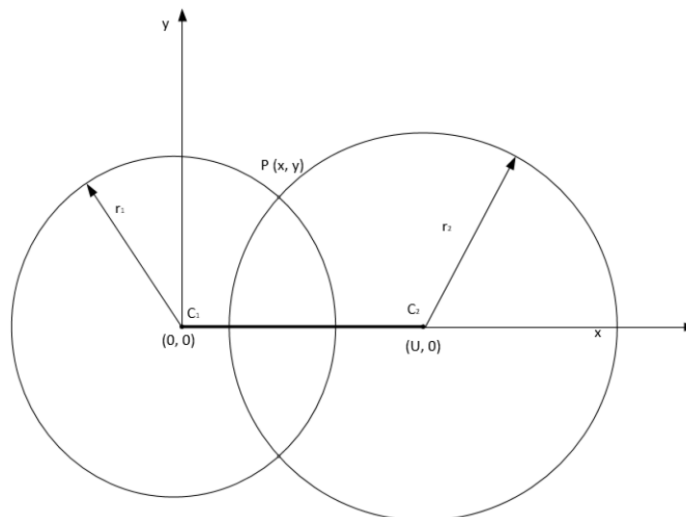


Рис. 1.3. Схема розташування якірних вузлів

Третя точка невідомий вузол p знаходиться в невідомій точці (x, y) , використовуючи теорему Піфагора за формулою (1.10) отримаємо [15]:

$$r_1^2 = x^2 + y^2$$

$$r_2^2 = (U - x^2) + y^2, \quad (1.10)$$

Таким чином, отримаємо координати невідомого вузла p за формулою (1.11):

$$x^2 = \frac{r_1^2 - r_2^2 + U^2}{2U}$$

$$y = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2}, \quad (1.11)$$

Метод мультилатерації - це метод навігації та спостереження, заснований на вимірюванні часу приходу сигналу (ToA) і хвиль (радіо, акустична, сейсмічна тощо), що мають відому швидкість поширення.

За принципом взаємності будь-який метод, який можна використовувати для навігації, також можна використовувати для спостереження, і навпаки. Для спостереження об'єкт, що цікавить, передають на кілька приймальних станцій, що мають синхронізований "годинник". Для навігації кілька синхронізованих станцій передають у приймач користувача, який може (але не може) визначати час передавання (ToT). Щоб знайти координати користувача у вимірах d , необхідно виміряти щонайменше $d + 1$. Майже $d = 2$ (наприклад, площина або поверхня землі) або $d = 3$ (наприклад, реальний світ) [16].

Цей метод використовується під час вимірювань відстані за різницею в часі прибуття сигналу TDoA (Time Difference of Arrival).

1.4. Метод визначення кута приймання AoA (Angle of Arrival)

Метод визначення кута прийому AoA (Angle of Arrival) - це метод визначення напрямку поширення радіочастотної хвилі. Традиційний підхід до вимірювання кутів полягає у використанні спрямованих антен, що обертаються навколо своєї осі подібно

до радіолокаційної станції. Інший метод полягає у визначенні напрямку поширення радіочастотної хвилі, що падає на антенну решітку. Цей підхід не може бути використаний у мережах, що складаються з малогабаритних датчиків, які мають тільки одне налаштування антени.

Вимірювання АоА можуть бути отримані з використанням таких двох методів:

- формування променя (формування діаграми спрямованості);
- фазова інтерферометрія.

Формування променя виходить за допомогою амплітудного відгуку приймальних антен. Промінь приймальної антени обертається електронним способом, що допомагає визначити напрямок передавача [17]. При цьому фазова інтерферометрія виходить при використанні фазової характеристики приймальних антен. Масив спрямованої антени необхідний для визначення напрямку передавача. Метод триангуляції може бути використаний для оцінки положення правильного вузла.

Щоб виконати локалізацію за допомогою методу АоА, необхідні два виміри кута приймання сигналу, як показано на рис. 1.4. Сигнал, що відправляється від вузла m , приймається якорем a_1 і якорем a_2 . Антена решітка a_1 може виявляти сигнал, позначений як α , тоді як a_2 може вимірювати АоА як β . Потім якорі надсилають у вузол m інформацію про кути α і β , а також їхні місця розташування (x_1, y_1) і (x_2, y_2) . З положень якорів m може розрахувати відстань між якорями, позначену як d .

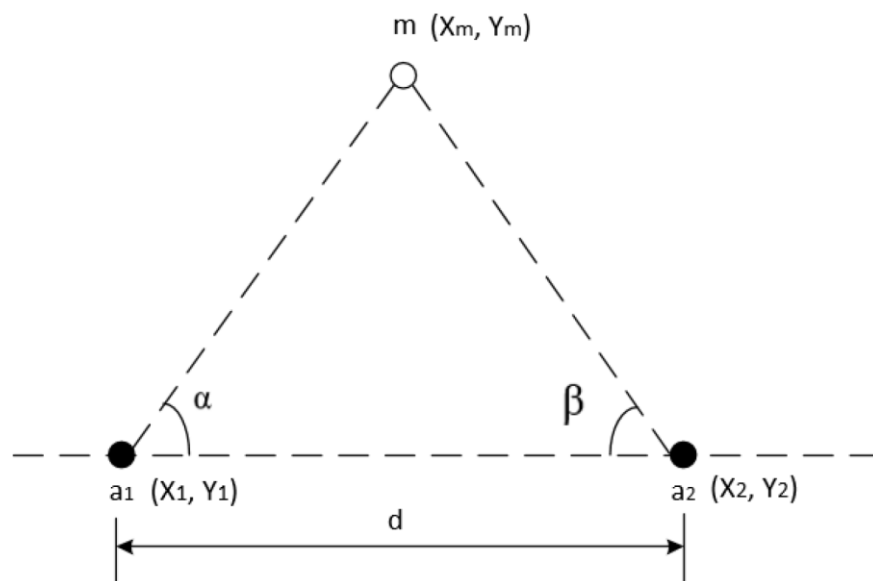


Рис. 1.4. Приклад локалізації

Нарешті, m оцінює своє положення (x_m, y_m) за допомогою підходу триангуляції, розв'язуючи таке рівняння. Для простоти припустимо, що a_1 і a_2 знаходяться на осі x , що означає, $y_1 = y_2$. Положення невідомого вузла оцінюють за формулою (1.12):

$$\begin{cases} x_m = x_m + \frac{d \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \\ y_m = \frac{d \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \end{cases}, \quad (1.12)$$

Це рівняння розв'язати просто. Однак локалізація на основі методу АоА має дві практичні проблеми.

По-перше, це використання антенної решітки для визначення кутів напрямку сигналу. Дані мають бути отримані з використанням антенних решіток, які дають змогу приймачу визначати напрямок передавача. Антенна решітка складається з декількох антен, рознесених на певну відстань. Тому недоцільно реалізовувати антенну решітку на крихітних сенсорних вузлах з огляду на обмеження на сенсорні вузли з погляду розміру, вартості та енергії.

По-друге, на точність вимірювань методом АоА впливає комбінація чинників, включно з багатопроменевим відбиттям і фоновим шумом. Багатопроменеве відбиття сигналу або деякий шум може з'являтися як сигнал, що прийшов із зовсім іншого вузла. Коли невідомий вузол отримує цей сигнал (шум), то метод АоА неправильно виявить необхідний йому вузол. Це має призвести до великої похибки під час оцінювання кутів приймання сигналів [18].

1.5. Метод вимірювання відстані за потужністю радіосигналу RSSI (Received Signal Strength Indication)

У методі, званому RSSI, використовуються всі звичайні вузли, оснащені радіоприймачем, і всі якірні вузли (радіосигнали) періодично передають свої місцеположення, які використовуються для оцінки відстані [18-19]. Наступна інформація необхідна для оцінки відстані від передавача до приймача:

- потужність переданого і прийнятого сигналу;
- модель втрат під час передавання сигналу.

Сила прийнятого сигналу між двома вузлами датчика може бути розрахована за такою формулою (1.13):

$$P_R^{ij}(t) = P_T^i - 10\eta \log(d_{ij}) + X_{ij}(t), \quad (1.13)$$

де $P_R^{ij}(t)$ - потужність прийнятого сигналу між вузлами i і j у момент часу t .

Значення P_T^i - потужність, що передається, і зазвичай вона постійна і відома приймачу, η - це константи загасання (наприклад, 2 або 4), d_{ij} - відстань між передавачем і приймачем, а $X_{ij}(t)$ - коефіцієнт невизначеності через затінення і багатопроменеве поширення.

Зазвичай η отримують з емпіричних даних. Значення η становить близько 2 у середовищі вільного простору, але це значення збільшується, якщо середовище є складнішим (стіни, великі металеві об'єкти тощо). У середовищах із багатьма перешкодами, таких як офісні приміщення, приблизне значення η становить від 3 до 6. Після отримання цієї відстані положення вузлів датчиків можуть бути оцінені за допомогою трилатерації. Значення RSSI залежить не тільки від відстані, а й від навколишнього середовища, орієнтації антени, руху передавача, приймача та джерела живлення. Це означає, що інформація RSSI може бути непередбачуваною, тому що відбиття і ослаблення, викликані об'єктами в навколишньому середовищі, можуть мати набагато більший вплив на RSSI, ніж відстань. Тому важко отримати точну відстань методом RSSI без моделювання середовища [20].

Серед методів вимірювання на основі діапазону метод RSSI є найпоширенішим, найдешевшим і найпростішим, оскільки не потрібне додаткове обладнання (наприклад, інфрачервоного або ультразвукового датчика). Однак розширення методу 3D-локалізації на основі RSSI може призвести до більш високої обчислювальної складності витрат і точності визначення місця розташування.

Крім того, в реальному середовищі RSSI дуже чутливий до шуму і перешкод, особливо для внутрішнього середовища. При цьому слід враховувати похибки вимірюваних значень, які можуть бути отримані через багатопрореневе поширення, ефекти загасання і відбиття. З іншого боку, схема на основі RSSI вимагає більшої кількості даних порівняно з іншими методами для досягнення більш високої точності. Однак під час збирання великого обсягу даних відбулося збільшення трафіку та енергоспоживання датчиків, що призведе до скорочення терміну служби сенсорних мереж.

1.6. Метод вимірювання відстані за часом приходу сигналу ToA (Time of Arrival)

Іншим методом оцінки відстані є метод ToA, у якому відстань оцінюється на основі часу, який сигнал витрачає на переміщення від передавача до приймача. Оскільки швидкість поширення радіосигналу відома як у вільному просторі, так і в повітрі, вона дає пряму оцінку відстані між передавачем і приймачем після оцінки часу проходження [21]. Коли розглядаються системи ToA, єдиним важливим параметром, який має бути правильно оцінений у середовищі багатопрореневого поширення, є шлях. Інші багатопрореневі компоненти не важливі для цілей локалізації. За формулою (1.14) обчислюється відстань між вузлами:

$$d = V \cdot t, \quad (1.14)$$

де V - швидкість передачі, t - час передачі сигналу.

Після розрахунку відстані використовується метод мультилатерації для визначення місця розташування сенсорного вузла.

Для отримання точних даних за методом ToA потрібна ідеальна синхронізація між годинниками передавача і приймача. Синхронізація годинника може бути досягнута регулярним обміном даними між передавачем і приймачем або додатковим якорем для корекції зміщення годинника. Хоча 3 якорі необхідні для отримання позиції, 4-й якорь буде необхідний для тимчасової корекції. Цей метод легко застосовується для

GPS, у якому 4-й якір використовується для компенсації зміщення годинника приймача.

Недоліком цього методу є необхідність у синхронізації кожного вузла в мережі. Також сильний вплив на частоту передавання сигналу чинять різні навколишні фактори, що призводить до значної похибки.

1.7. Метод вимірювання відстані за різницею в часі прибуття сигналу TDoA (Time Difference of Arrival)

Метод TDoA можна розділити на дві категорії: багатовузлова TDoA;

- мультисигнальна TDoA.

У багатовузловому методі кілька вузлів якорів відправляють сигнали для оцінювання відстані з використанням методу вимірювання, що застосовується в алгоритмі ToA. Звичайний вузол вимірює час приходу сигналів якоря від трьох вузлів якорів. Якщо ці три вузли якоря синхронізовані і посилають сигнали одночасно, то між парою вузлів якорів утворюється гіпербола [22]. Потім місце розташування невідомого вузла визначається за допомогою перетину двох гіпербол, як показано на рисунку 1.5.

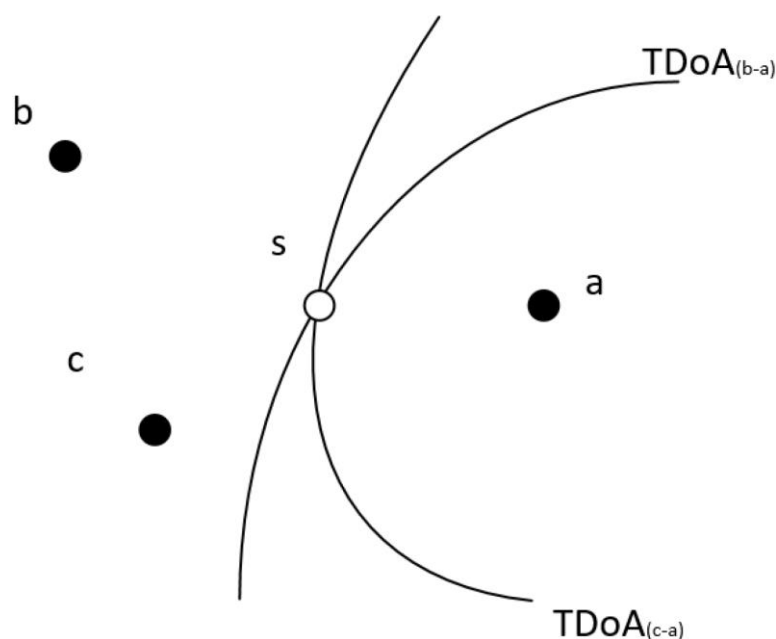


Рис. 1.5. Багатовузловий метод TDoA

Відповідні гіперболічні рівняння, описані за формулою (1.15):

$$\begin{aligned}\sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} &= c \cdot (t_A - t_B) \\ \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} &= c \cdot (t_1 - t_C) \\ \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} - \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} &= c \cdot (t_B - t_C),\end{aligned}\quad (1.15)$$

де c - швидкість поширення сигналу, і t_1 , t_2 і t_3 - час прибуття. Недоліками багатовузлового методу є [23]:

- сильна чутливість до навколишнього середовища;
- високі вимоги до швидкості передавання сигналів;
- високоточна синхронізація за часом.

Попри недоліки метод придатний для використання в мережах із великою кількістю вузлів.

У мультисигнальному методі кожен вузол оснащений динаміком і мікрофоном [24]. Передавач посиляє сигнали двох типів, тобто радіочастотні та ультразвукові сигнали, а приймач оцінює відстань на основі різниці в часі прибуття двох сигналів. Тоді відстань між двома вузлами датчика можна розрахувати за формулою (1.16):

$$d_{AB} = (S_{rf} - S_{us}) \cdot (t_{us} - t_{delay} - t_{rf}), \quad (1.16)$$

де S_{rf} - швидкість радіочастотного сигналу, а S_{us} - швидкість ультразвукового сигналу. Радіочастотний сигнал поширюється значно швидше, ніж ультразвуковий сигнал, як показано на малюнку 1.6.

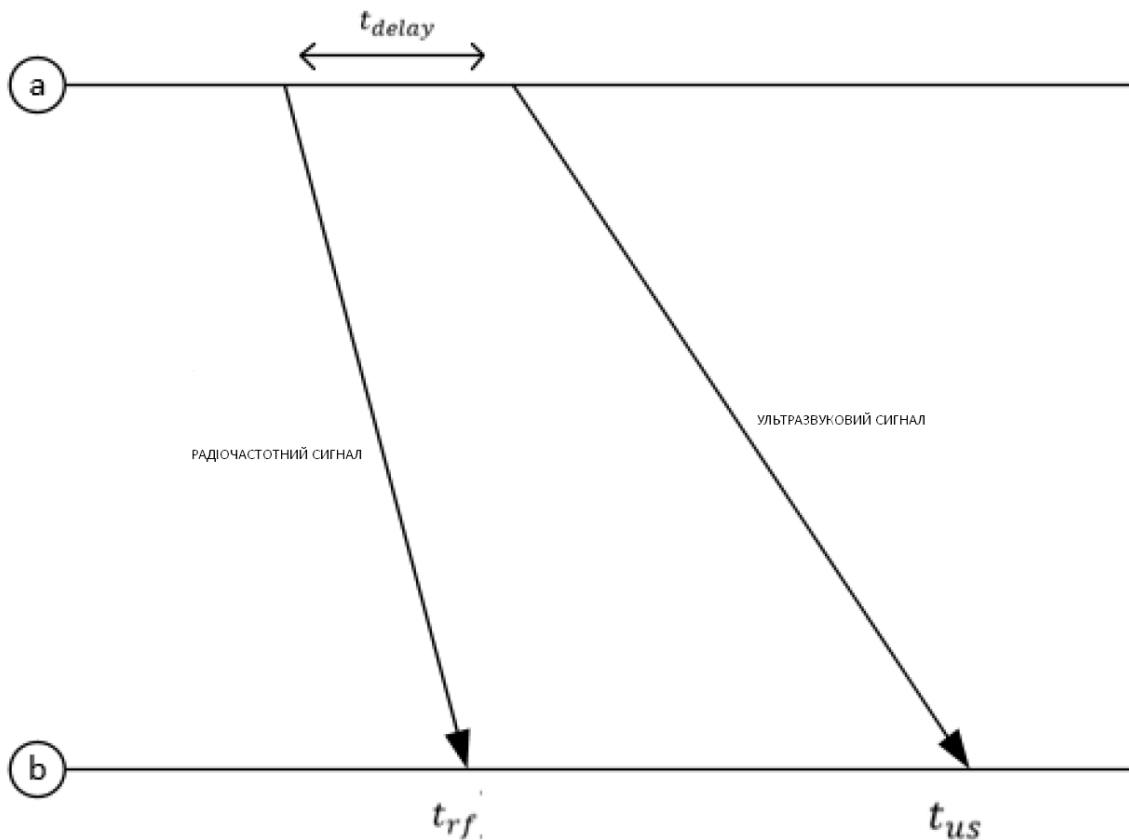


Рис. 1.6. Мультисигнальний метод TDoA

Мультисигнальний метод точний в умовах прямої видимості. Однак він найкраще працює в областях, вільних від луни, і коли динаміки та мікрофони відкалібровані. Недоліком мультисигнального методу TDoA є те, що він вимагає додаткового обладнання, вбудованого у вузли, зокрема динамік і мікрофон. Системи працюють найкраще, коли вони правильно відкалібровані, оскільки динаміки та мікрофони ніколи не мають ідентичних характеристик передавання та приймання. Крім того, швидкість звуку в повітрі змінюється залежно від температури та вологості повітря.

Зрештою, багато алгоритмів локалізації використовують різницю в часі дальності прибуття просто тому, що вона більш точна, ніж методи на основі радіозв'язку.

1.8. Метод визначення приблизної точки триангуляції APIT (Approximate Point-in-Triangulation)

Алгоритм APIT складається з трьох етапів [25]:

- обмін сигналами маяками;

- визначення положення невідомої точка (всередині або поза трикутником);
- розрахунок положення.

Припустимо, що в мережі всього 5 вузлів якорів, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 і a_5 . Як показано на рисунку 1.7, суцільні кружки є якорями, а порожні кружки - невідомими вузлами. Відповідний невідомий вузол позначено як n_x .

Основний принцип методу АРІТ: припустимо, що нормальний вузол n_x знає про положення вузлів якорів, а потім n_x може утворювати трикутники, використовуючи будь-які три вузли якоря, як показано на рисунку 1.7. Якщо n_x може визначити, чи перебуває він усередині або зовні цих трикутників, то там, де перебуває n_x , буде перекриття трикутників (n_x усередині), як показано на рисунку 1.8.

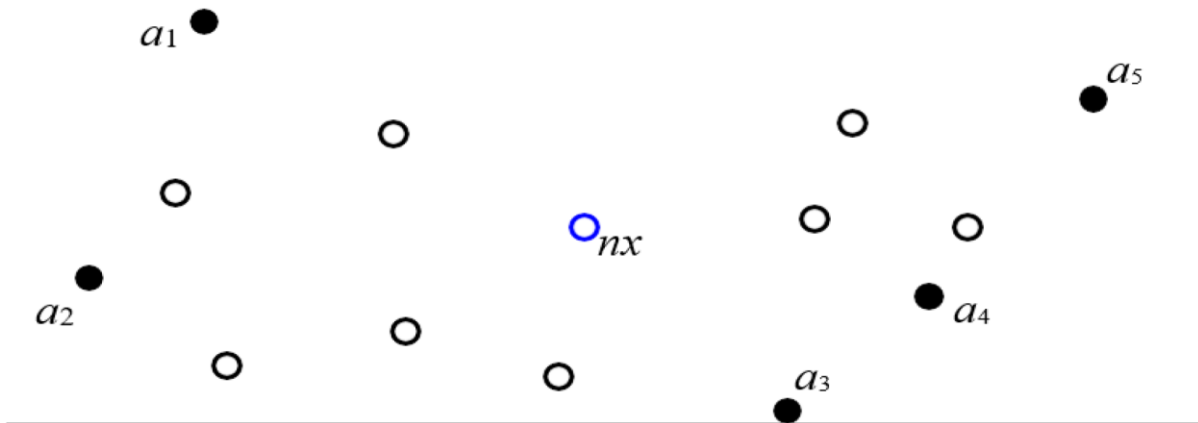


Рис. 1.7. Схема локалізації

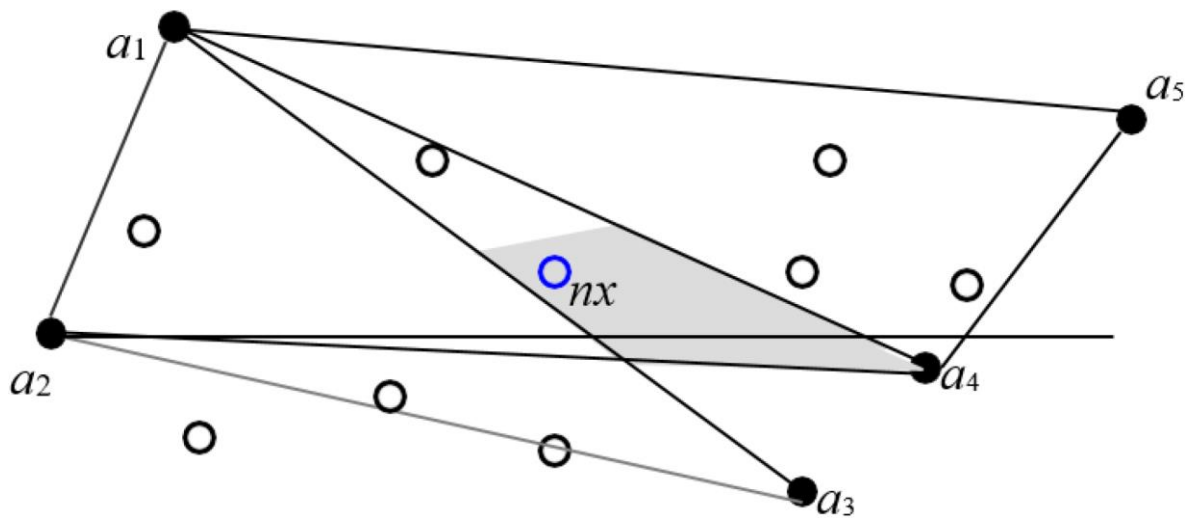


Рис. 1.8. Схема локалізації

Обмін сигналами якорями. Вузли якоря періодично передають сигнали якоря (що містять їхні позиції) своїм сусіднім вузлам. У цьому алгоритмі необхідно, щоб кожен якір був оснащений потужним приймачем, щоб його сигнал міг бути прийнятий усіма звичайними вузлами в мережі. Отримуючи сигнал від якірного вузла a_i , кожен невідомий вузол виявляє і записує значення прийнятого сигналу, а також положення a_i . Інформацію використовують для оцінки того, чи перебуває вузол усередині трикутника, утвореного трьома якорями.

Визначення положення невідомої точки (всередині або поза трикутником). Виконується для визначення того, чи знаходиться невідомий вузол n_x всередині трикутника, утвореного трьома якорями [26].

Тест можна виконати, перемістивши n_x уздовж будь-якого напрямку, як показано на рисунку 1.9. На рис. 1.9 (а) n_x переміщується у всіх можливих напрямках і порівнює свою відстань з якорями з відстанню до переміщення. Зробивши крихітний крок у кожному напрямку, n_x виявляє, що його відстань до трьох якорів ніколи не збільшується і не зменшується одночасно. Наприклад, коли n_x трохи переміститься до a_1 , його відстань до a_1 зменшується, але відстані до a_2 та a_4 збільшуються. Таким чином, n_x знаходиться всередині трикутника $a_1 a_2 a_4$. І навпаки, n_x буде оцінювати положення поза трикутником, якщо існує такий напрямок, що, коли n_x переміщується, його відстані до трьох вершин трикутника збільшуються або зменшуються одночасно. Наприклад, на рисунку 9 (б), коли n_x переміщується, його відстані до трьох якорів зменшуються одночасно. Отже, n_x перебуває поза трикутником $a_1 a_2 a_4$.

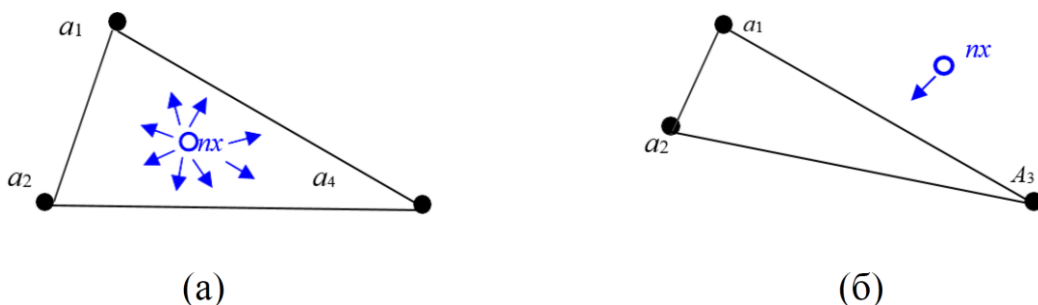


Рис. 1.9. Положення невідомого вузла (а) всередині трикутника, (б) зовні трикутника

З точки зору реалізації цей тест має дві проблеми. По-перше, неможливо перевірити всі напрямки, тому що навколо вузла n_x є нескінченні напрямки. По-друге, тест вимагає, щоб невідомі вузли могли рухатися, проте в деяких випадках невідомі вузли можуть бути зафіксовані [27].

Отже, замість цього тесту краще використовувати алгоритм АРІТ. Алгоритм АРІТ передбачає, що невідомі вузли є статичними. Наприклад, як показано на рисунку 1.10, n_x має три сусідні невідомі вузли t , u і v . Як і n_x , ці три вузли також отримали сигнали, відправлені з вузлів якорів, і записали відповідні значення. Вузол n_x може спілкуватися зі своїми сусідами t , u і v та отримувати їхні значення.

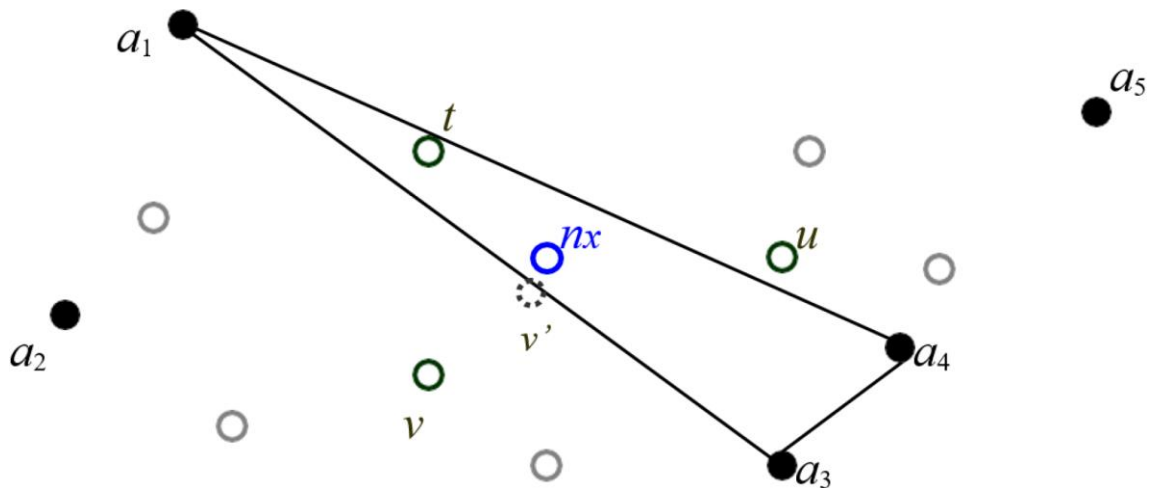


Рис. 1.10. Алгоритм АРІТ

Розглянемо трикутник $a_1 a_3 a_4$. Серед трьох вузлів (t , u і v) n_x перевіряє, чи існує один вузол, що далі від a_1 , a_3 і a_4 одночасно. Вузол n_x порівнює отримані значення з a_1 зі значенням у вузла t отриманими з a_1 . Зазвичай (це означає, що, якщо значення відносно стабільні та не схильні до впливу навколишнього середовища), t ближче до a_1 , ніж вузол n_x . У такий самий спосіб можна перевірити, що t знаходиться далі за a_3 та a_4 , ніж n_x .

Що стосується u , алгоритм той самий, що й у випадку з вузлом t . Якби у вузла n_x було тільки два сусідні вузли t і u , то за допомогою цього алгоритму n_x міг би визначити, що він знаходиться всередині $a_1 a_3 a_4$. Однак насправді n_x має третього сусіда v . На жаль, порівняно з n_x , v знаходиться далі від a_1 , a_3 та a_4 . Таким чином, вузол n_x ,

нарешті, вважатиме себе поза трикутником, хоча насправді він знаходиться всередині трикутника. Ця помилка спричинена великими переходами в алгоритмі АРІТ. Як показано на рисунку 10, якби v було v' , то n_x міг би опинитися всередині трикутника.

Розрахунок положення. Перекриття утворено трикутниками, усередині яких знаходиться невідомий вузол n_x . Центр цього перекриття обчислюється як позиція n_x .

Цей метод незначною мірою схильний до впливу чинників довкілля і потребує низького апаратного забезпечення, що є широко поширеним позиційним механізмом для БСМ. Однак на точність локалізації в методі АРІТ залежить від місця розташування вузла, тобто чи знаходиться він в області трикутника чи ні. Однак основним недоліком алгоритму АРІТ є те, що потрібно більше вузлів прив'язки, ніж середня кількість вузлів прив'язки, що використовуються під час локалізації. Також алгоритм АРІТ не робить жодних припущень про кореляцію між абсолютною відстанню і силою радіосигналу; отже, ми розглядаємо його як повністю вільний від діапазону алгоритм [27-28].

1.9. Метод центроїда

У цьому методі вузли якоря періодично передають пакет даних сусіднім вузлам якорями. Цей пакет містить ідентифікаційний номер та інформацію про місцезнаходження. Коли ця кількість пакетів перевищує певне порогове значення, тоді звичайний вузол може визначити своє власне місцезнаходження як перетин багатокутника, який містить ці якірні вузли [29].

Метод центроїдної локалізації - це найбазовіша схема, яка використовує якірні вузли, що містять інформацію про місцезнаходження (для оцінки положення вузла). Після отримання про якірні вузли невідомий вузол використовує формулу (1.17) центроїда для обчислення свого місця розташування:

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right), \quad (1.17)$$

де n - число якірних вузлів прив'язки a_i , $i(x_i, y_i)$ - їхні координати, а (\bar{x}, \bar{y}) - оціночна координата невідомого вузла. Після цього невідомий вузол стає вузлом прив'язки і передає дані.

Цей метод локалізації дуже нескладний, економічний і простий у реалізації. Однак на точність локалізації впливає щільність розміщення вузлів прив'язки та розгортання вузлів. Крім того, цей алгоритм поширюється тільки на вузли для двовимірних мереж, тому було запропоновано новий алгоритм локалізації центроїда для тривимірних БСМ, що ґрунтується на теоремі центроїда про координатний тетраедр.

1.10. Метод багатовимірного шкалювання MDS-MAP (Multidimensional scaling-MAP)

Існує централізований алгоритм без діапазону передачі, званий MDS-MAP. Який заснований на багатовимірному шкалюванні, він оцінює положення невідомого вузла залежно від базової інформації вузлів у діапазоні зв'язку.

Схема MDS-MAP здатна формувати карти, що представляють відносне положення вузлів датчиків за відсутності якірних вузлів [30]. Коли відомі положення достатньої кількості якірних вузлів (3 якірних вузли для двовимірної локалізації та 4 якорі для тривимірної), то оцінюються абсолютні координати всіх вузлів на карті.

Метод MDS-MAP генерує найточнішу інформацію про місцезнаходження серед методів, вільних від радіуса дії. Однак він має такі недоліки: висока часова складність алгоритму, більша пропускна спроможність і обчислення потрібні для оцінки місця розташування за наявності великої кількості датчиків.

Метод MDS-MAP складається з наступних трьох кроків:

1) обчислити найкоротшу відстань між усіма парами вузлів, яка використовується для побудови матриці відстаней за формулою (1.18):

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (1.18)$$

2) застосувати класичну MDS до матриці відстаней, щоб знайти передбачуване положення вузла:

- отримати відстань між усіма парами вузлів, щоб побудувати матрицю відстаней для MDS. Використовувати алгоритм найкоротшого шляху, щоб отримати всі відстані та заповнити матрицю відстаней;
- обчислити матрицю квадратів відстаней близькості за формулою (1.19), а саме D2

$$\begin{bmatrix} 0 & d_{12}^2 & \dots & \dots & d_{1n}^2 \\ d_{1n}^2 & 0 & d_{1n}^2 & \dots & d_{1n}^2 \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ d_{1n}^2 & d_{1n}^2 & d_{1n}^2 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.19)$$

- застосувати подвійне центрування до матриці D2 . У MDS матриця наближення P, тобто D2 зміщена в центр. Центрування встановлює центр ваги конфігурації точок на початку координат.

Подвійне центрування здійснюється шляхом множення обох боків центрувальної матриці, як показано у формулі (1.20):

$$J = I \cdot \frac{1}{n} \cdot \mathbf{1}^T, \quad (1.20)$$

де I - матриця ідентичності розміру n×n, n-число вузлів, а 1-вектор одиниць.

Подвійне центрування матриці квадратів відстаней приводить до формули (1.21):

$$B_{dc} = JD^2J, \quad (1.21)$$

- обчислити сингулярний розклад (SVD) подвійної центрованої матриці B. Виконати SVD на B за формулою (1.22):

$$B = QAQ^2, \quad (1.22)$$

де $A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ - діагональна матриця з відповідними власними числами, а Q - матриця складена з координат власних векторів.

- модифікувати вихід SVD матриці B відповідно до розмірів. Щоб отримати розв'язок меншої розмірності, ми повинні зберегти перші m найбільших власних значень і власних векторів. Це найкраще наближення низького рангу в сенсі найменших квадратів.

Наприклад, для двовимірної мережі розглянемо перші 2 найбільші власні значення та власні вектори, щоб побудувати найкраще двовимірне наближення.

Модифікований B_{dc} тепер стає b і обчислюється за формулою (1.23) [31]:

$$B = Q_1 A_1 Q_1^2, \quad (1.23)$$

- отримати координати з матриці B .

Координатну матрицю можна оцінити з B , використовуючи Q_1 і A_1 , як показано в наступній формулі (1.24):

$$X = Q_1 A_1^{1/2}, \quad (1.24)$$

1.11. Метод визначення відстані шляхом вимірювання кількості стрибків Dv-Hop (Distance Vector-Hop)

У методі DV-Hop необхідно визначити місце розташування невідомих вузлів за допомогою вимірювань зв'язності. Усі вузли якоря транслюють свої місця розташування в мережу, і кожен невідомий вузол обчислює найкоротший шлях стрибків від вузлів якорів [32]. Його основна ідея полягає в тому, що відстань між невідомими вузлами і якірними вузлами виражається добутком середньої відстані стрибка та їхньої кількості.

Реалізація алгоритму складається з трьох етапів. На першому етапі кожен вузол якоря передає сигнал якір, який буде передано всій мережі, що містить розташування вузла якоря з числом стрибків. Кожен приймаючий вузол підтримує мінімальне значення числа стрибків. Якорі з більш високими значеннями кількості переходів до конкретного якоря визначаються як непотрібна інформація та ігноруються. Завдяки цьому процесу всі вузли в мережі отримують мінімальну кількість переходів для кожного вузла якоря.

На другому етапі, щойно вузол якір отримує значення кількості стрибків для інших якорів, він оцінює середній розмір одного стрибка, який потім передається по всій мережі. Після отримання розміру стрибка невідомі вузли множать розмір стрибка на значення кількості стрибків, щоб отримати приблизну фізичну відстань від якоря. Середній розмір одного стрибка оцінюється вузлом якорем i за такою формулою (1.25) [34]:

$$L_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{i,j}}, \quad (1.25)$$

де (x_i, y_i) і (x_j, y_j) - координати якірних вузлів i і j відповідно, і $h_{i,j}$ - кількість стрибків між вузлами прив'язки i і j .

Кожен вузол якір передає свій розмір стрибка в мережу. Невідомі вузли отримують інформацію про розмір стрибка. Тим часом, вони передають розмір стрибка своїм сусіднім вузлам. Ця схема гарантує, що більшість вузлів отримує розмір стрибка від вузла якоря, який має найменшу кількість переходів між ними.

На останньому етапі, коли невідомі вузли отримують інформацію про три або більше відстаней від якірних вузлів, для розрахунку їхнього місця розташування використовують метод тристоронніх вимірювань або метод максимальної правдоподібності.

Схема локалізації DV-Hop вирізняється простотою реалізації і тим, що вона не залежить від похибки вимірювання відстані. Але з іншого боку, ця схема буде використовуватися тільки для ізотропних мереж, тобто коли властивості графа однакові в усіх напрямках. Крім того, ця схема має малу точність локалізації [35].

1.12. Метод вимірювання відстані між сусідніми вузлами DV- Distance (Distance Vector- Distance)

Метод DV-Distance аналогічний методу DV-Hop, але різниця в тому, що він розраховує відстань між сусідніми вузлами, а не кількість переходів. Метод DV-Distance забезпечує інформацію про місцезнаходження точніше, ніж DV-Hop. Крім того, метод DV-Distance також підходить для анізотропних мереж, оскільки зміна розміру стрибків між різними вузлами не впливає на фактичні виміряні відстані між вузлами, як у випадку з методом поширення DV-Hop.

Метод DV-Distance добре працює в ізотропній мережі, тому він може певною мірою підвищити точність позиціонування. Але, зі збільшенням похибки діапазону, похибка локалізації також різко зростає.

Порівняння методів локалізації. У таблиці 1.2 наведено зведену характеристику всіх вищеописаних методів локалізації.

Мета цієї роботи полягає в підвищенні точності визначення місця розташування невідомих вузлів у БСМ. Виділимо з таблиці 1.2 перспективні методи, що мають невисоку точність, а саме [36]:

- метод RSSI;
- метод АПІТ;
- метод центроїда;
- метод DV-Hop;
- метод DV-Distance.

У методі RSSI низьке споживання енергії та низька вартість обладнання. Якщо підвищити точність локалізації, споживання енергії та вартість зросте. У цьому разі вибір цього методу буде неефективним, оскільки він вимагає додаткових витрат.

Метод APIT так само, як і метод RSSI, не підходить для подальшої роботи. Метод центроїда має погані характеристики, як-от низька щільність розміщення вузлів і високий рівень споживання енергії, що може вплинути на похибку локалізації.

Методи DV-Hop і DV-Distance мають однакові параметри, різниця між ними лише в тому, що метод DV-Distance точніше оцінює місце розташування невідомих вузлів.

Отже, з аналізу властивостей методів можна дійти висновку, що придатним для модернізації з метою підвищення точності є метод DV-Hop.

Таблиця 1.2

Порівняння методів

№	Властивості	Метод AoA	Метод RSSI	Метод ToA	Метод TDoA	Метод APIT	Метод центроїда	Метод MDS - MAP	Метод DV-Hop	Метод DV-Distance
1	Точність	В	С	В	В	С	Н	В	С	С
2	Вартість передачі сигналу	Н	С	Н	Н	Н	-	В	С	С
3	Вартість обчислення	Н	Н	Н	Н	Н	Н	В	С	С
4	Споживання енергії	В	Н	В	В	С	В	В	В	В
5	Вартість обладнання	В	Н	В	В	Н	Н	Н	Н	Н
6	Шумові характеристики	Х	П	Х	Х	-	-	П	-	-
7	Щільність вузлів	Н	Н	Н	Н	В	Н	Н	В	В
8	Мобільність вузлів	Ні	Ні	-	Ні	Ні	-	Ні	Так	Так
Примітка - В - високий, С - середній, Н - низький, Х - хороший, П - поганий, - - немає даних										

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ СЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ

2.1. Метод DV-Hop (Distance Vector - Hop)

Локалізацію вузлів за методом DV-Hop можна розділити на чотири етапи, які описано таким чином [37]:

1) Розрахунок мінімальної кількості стрибків між невідомими вузлами та кожним якірним вузлом.

Кожен якір передає пакет даних, який складається з чотирьох частин. Ідентифікатор вузла якоря представлений як ID_i , координати описуються як (x_i, y_i) , а інформація про кількість стрибків визначається як h_i . Початкове значення h_i дорівнює 0. Кожен вузол записує інформацію в таблицю, показану в таблиці

3. Коли вузол отримує повідомлення, що містить мінімальну кількість стрибків, яка відповідає якорю, він перевіряє свою збережену мінімальну кількість стрибків для цього якоря. Якщо кількість нових стрибків менша за кількість стрибків у вихідній таблиці, отриманий вузол оновлює таблицю новим значенням. В іншому випадку вузол ігноруватиме інформацію. Завдяки цьому процесу ми отримуємо мінімальну кількість стрибків для кожного якоря.

Таблиця 2.1

Форма подання пакета даних

ID	Координати	Мінімальний розмір стрибка
ID_1	(x_1, y_1)	h_1
ID_2	(x_2, y_2)	h_2
:	:	:
ID_n	(x_n, y_n)	h_n

2) Розрахунок середнього розміру стрибка кожного вузла якоря.

Кожен вузол якоря обчислює середній розмір стрибка за формулою (1.25) відповідно до інформації про стрибки та інформації про положення інших вузлів якорів.

3) Розрахунок відстані невідомих вузлів до кожного вузла якоря.

Вузли якоря передають розрахований середній розмір стрибка L_i у мережу з обмеженим часом використання. Невідомі вузли отримують тільки перше повідомлення, що надійшло, і значення з L_i , а потім передають повідомлення своїм сусідам.

Ця схема гарантує, що більшість вузлів отримують середній розмір стрибка від найближчого вузла якоря. Потім невідомі вузли обчислюють відстань до кожного вузла якоря відповідно до записаних стрибків. Відстань d_i обчислюється за формулою (2.1) [38]:

$$d_i = L_i \cdot h_{i,j}, \quad (2.1)$$

4) Розрахунок місця розташування за допомогою методу максимальної правдоподібності.

Невідомі вузли самі розраховують положення в мережі за допомогою методу максимальної правдоподібності відповідно до відстані до кожного якорного вузла, яка записана на третьому етапі.

Наприклад, координати якорних вузлів 1, 2, 3... m мають вигляд (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) ... (x_m, y_m) , як показано на рис. 2.1. Відстань від невідомих вузлів $N=\{n_1, n_2, \dots, n_u\}$ до них становить $d_1, d_2, d_3 \dots d_u$ відповідно. Нехай (x, y) - місце розташування невідомого вузла N. Існує формула (2.2) для знаходження координат вузла S:

$$\begin{aligned} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_2^2 \quad , \\ &\vdots \\ (x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 &= d_u^2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

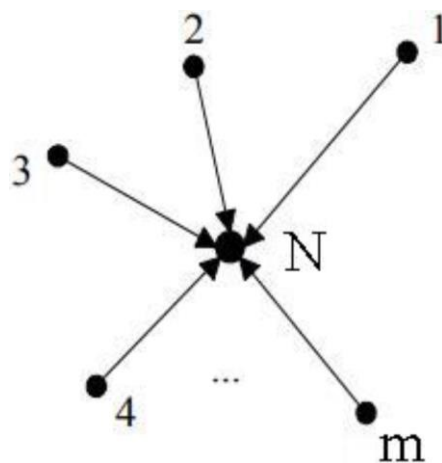


Рис. 2.1. Розташування вузлів якорів і невідомого вузла

Формула (2.3) може бути отримана всіма рівняннями, крім останнього у формулі (2.2) [39]:

$$x_1^2 - x_m^2 - 2 \cdot (x_1 - x_m) \cdot x + y_1^2 - y_m^2 - 2 \cdot (y_1 - y_m) \cdot y = d_1^2 - d_u^2$$

⋮

$$x_{m-1}^2 - x_m^2 - 2 \cdot (x_{m-1} - x_m) \cdot x + y_{m-1}^2 - y_m^2 - 2 \cdot (y_{m-1} - y_m) \cdot y = d_{u-1}^2 - d_u^2, \quad (2.3)$$

Формула (2.3) може бути змінена таким чином:

$$AZ = b, \quad (2.4)$$

Розрахунок A, b і Z показано у формулах (2.5), (2.6) і (2.7):

$$A = 2 \cdot \begin{bmatrix} (x_1 - x_m) & (y_1 - y_m) \\ (x_2 - x_m) & (y_2 - y_m) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{m-1} - x_m) & (y_{m-1} - y_m) \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_m^2 + y_1^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_m^2 + y_2^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 - x_m^2 + y_{m-1}^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_{m-1}^2 \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

$$Z = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

Координати вузла N можна отримати, використовуючи стандартну оцінку мінімальної середньоквадратичної похибки. Координати можна позначити як показано у формулі (2.8) [40]:

$$\bar{Z} = (A^T A)^{-1} A^T b, \quad (2.8)$$

Метод DV-Нор - це метод локалізації, заснований на схемі без використання діапазону передачі (Range-free). Вузли не потребують оснащення будь-яким додатковим апаратним забезпеченням. Цей метод має серйозну перевагу, а саме простоту реалізації. Вузли якоря обчислюють середню відстань стрибка, щойно вузол отримав інформацію про місцезнаходження від двох інших вузлів якорів, без використання більшої кількості вузлів якорів. Однак точність методу безпосередньо залежить від кількості вузлів якорів: чим менше якорів використовується, тим вища відносна похибка локалізації. Крім того, невідомі вузли використовують середній розмір стрибка, розрахований вузлами якорями, як заміну дійсного розміру, що призводить до того, що відстань має певну похибку, і, таким чином, виводить обчислені координати деяких вузлів з області видимості. Таким чином, **критичною проблемою DV-Нор є низька точність оцінки середнього розміру стрибка**, що визначає відносну похибку локалізації. Запропонований у цій роботі спосіб спрямований на розв'язання цієї проблеми та підвищення точності визначення місця розташування без збільшення апаратної вартості сенсорного вузла [41].

2.2. Підвищення точності розрахунку середнього розміру стрибка

Підвищення точності локалізації в цьому методі відбуватиметься за рахунок модернізації кроків 2 і 3. Перевага цього методу полягає в тому, що середній розмір стрибка буде обчислено шляхом ділення на загальну кількість вузлів якорів, і координати невідомого вузла розраховують за рахунок найближчого вузла якоря, а не загальної кількості.

Для підвищення точності локалізації вузлів необхідно внести зміни в кроки 2 і 3.

Для початку усереднюємо всі розміри стрибків різних вузлів якорів, використовуючи формулу (2.9):

$$\bar{L}_l = \frac{\sum h_i}{n}, \quad (2.9)$$

де n - кількість вузлів якорів.

Після отримання середнього розміру стрибка, очевидно, що можна також оцінити відстань між двома якірними вузлами i і j ($i \neq j$), позначеними як $d_i^{i,j}$ за формулою (2.10):

$$d_i^{i,j} = h_{i,j} \cdot \bar{L}_l, \quad (2.10)$$

З іншого боку, дійсною є відстань $d_d^{i,j}$ між якірними вузлами i і j може бути визначено за формулою (2.11):

$$d_d^{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (2.11)$$

де (x_i, y_i) і (x_j, y_j) - координати вузлів прив'язки i і j , а $h_{i,j}$ - кількість стрибків між ними.

Виходячи з формул (2.10) і (2.11), різниця між оціненою і фактичною відстанню, що позначається $\Delta d^{i,j}$, виражається за формулою (2.12):

$$\Delta d^{i,j} = |d_i^{i,j} - d_d^{i,j}|, \quad (2.12)$$

що відповідає похибці оцінки.

Середня похибка стрибка обчислюється за формулою (2.13):

$$\overline{h_{i,j}} = \frac{\Delta d^{i,j}}{h_{i,j}}, \quad (2.13)$$

Вузол якір i приймає значення похибки $\overline{h_{i,j}}$ вузла якоря j як поправку на середню відстань стрибка, де j позначає індекс вузла якоря, повідомлення якого з інформацією про місцезнаходження досягає першого.

А потім вузол i передає виправлену середню відстань стрибка й ідентифікатор вузла в мережу з обмеженим часом використання. Невідомий вузол також приймає похибку стрибка, отриману спочатку як змінне значення, і обчислює змінене середнє значення розміру стрибка.

2.3. Визначення місця розташування невідомих вузлів з використанням гіперболічного алгоритму

Ми використовуємо гіперболічний алгоритм визначення місця розташування, щоб оцінити положення невідомих вузлів, що підвищує точність оцінки місця розташування. Гіперболічний алгоритм заснований на різниці відстаней між вузлом якорем і невідомим вузлом.

Перевагою алгоритму є досить висока точність, за відповідних параметрів середовища. Недоліком алгоритму є необхідність ретельної побудови моделі розповсюдження сигналу якоря в кожному конкретному середовищі, для кожного окремого невідомого вузла, що в кінцевому підсумку не гарантує високої точності, внаслідок виникнення в приміщенні таких ефектів як загасання та відбиття сигналу якоря, моде-

лювання яких є вельми проблемним завданням. Передбачається, що (x_i, y_i) - це координати якірного вузла i , а (x_n, y_n) - координати невідомого вузла N . Розрахункова відстань d_{is} між ними становить і розраховується за формулою (2.14) [42]:

$$d_{is}^2 = (x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2, \quad (2.14)$$

Якщо $E_i = x_i^2 + y_i^2$ та $K_s = x_n^2 + y_n^2$ формула (2.15) набуває вигляду:

$$d_{is}^2 - E_i = -2x_i x_n - 2y_i y_n + n, \quad (2.15)$$

Рівняння (2.7) у матричній формі має вигляд, де:

$$Z' = [x_n', y_n', K_s]^T, \quad (2.16)$$

$$A = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_m & -2y_m & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.17)$$

$$b = \begin{bmatrix} d_{1n}^2 - E_1 \\ d_{2n}^2 - E_2 \\ \vdots \\ d_{mn}^2 - E_m \end{bmatrix}, \quad (2.18)$$

Згідно з формулою (2.8), Z може бути отримано з використанням методу найменших квадратів.

Отже, координати невідомого вузла s мають вигляд:

$$\begin{aligned} x_n' &= Z(1) \\ y_n' &= Z(2), \end{aligned} \quad (2.19)$$

РОЗДІЛ 3

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВУЗЛІВ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Розробка програмного забезпечення

Для моделювання методів локалізації вузлів було обрано середовище графічного програмування LabVIEW. Це середовище використовує інтуїтивно зрозумілу мову графічного програмування «G», що дає змогу проводити складні математичні операції та імітувати математичні моделі.

Для проведення експериментальних досліджень було побудовано модель БСМ. Ця модель містить 38 вузлів, з яких 28 невідомих вузлів і 10 якірних. Якірні вузли $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{10}\}$ на рисунку 3.1 являють собою чорні точки, а $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{28}\}$ білі. Для простоти розв'язання було використано умовні одиниці як одиниці вимірювань довжини.

Далі в графічному середовищі LabVIEW було розроблено програму для моделювання локалізації невідомих вузлів БСМ, що наведена на рис. 3.2. Інтерфейс програми показано на малюнках 3.3. і 3.4.

На лицьовій панелі програми, представлений на малюнку 3.1, присутні такі елементи управління:

- координати якірних вузлів $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$;
- кількість стрибків між якірними вузлами $h_{i,j}$;
- кількість стрибків між невідомими вузлами та якірними;
- кількість якірних вузлів.

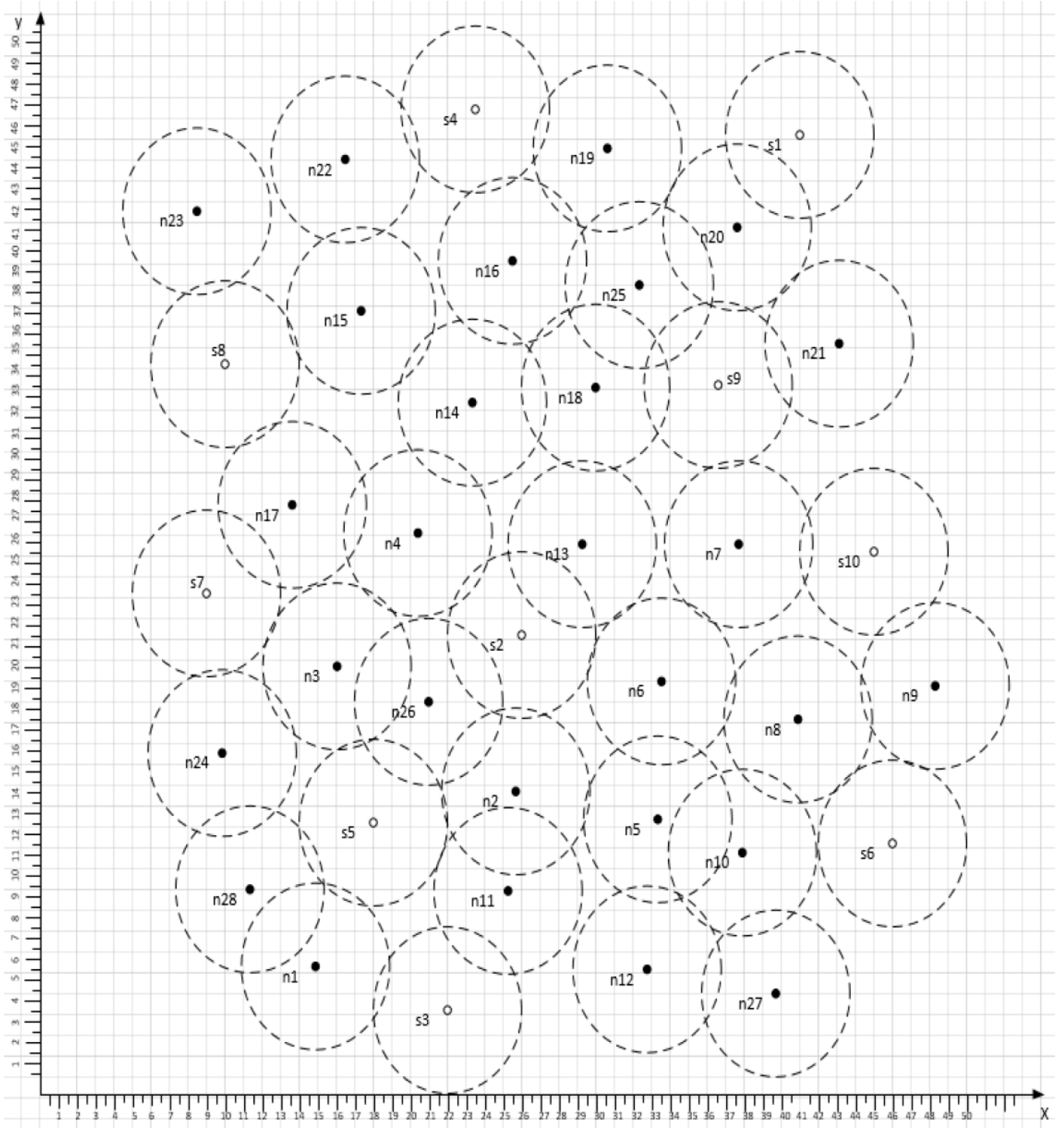


Рис. 3.1. Схема розташування вузлів у БСМ

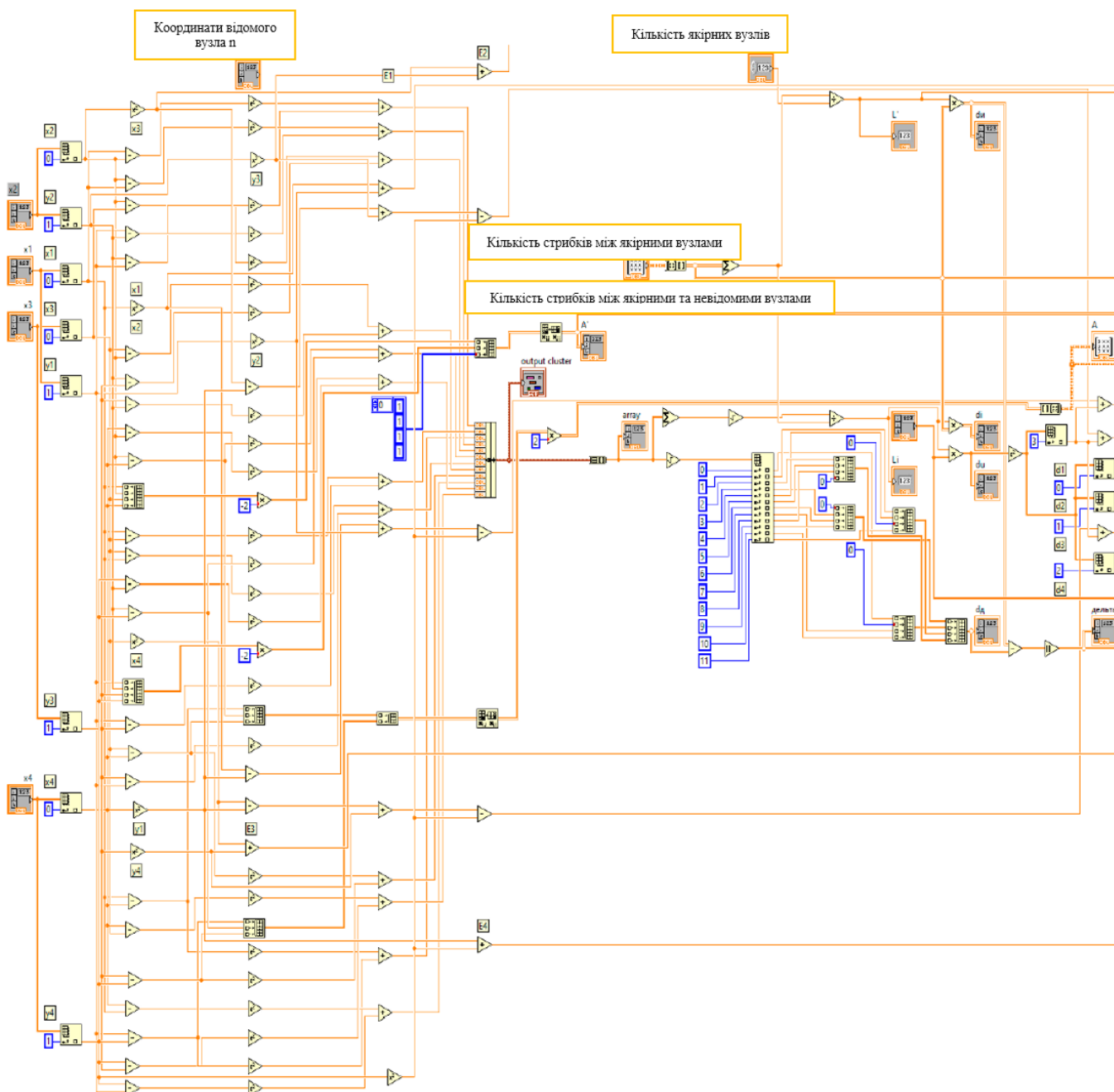


Рис. 3.2. Блок-діаграма локалізації невідомих вузлів БСМ в графічному середовищі LabVIEW

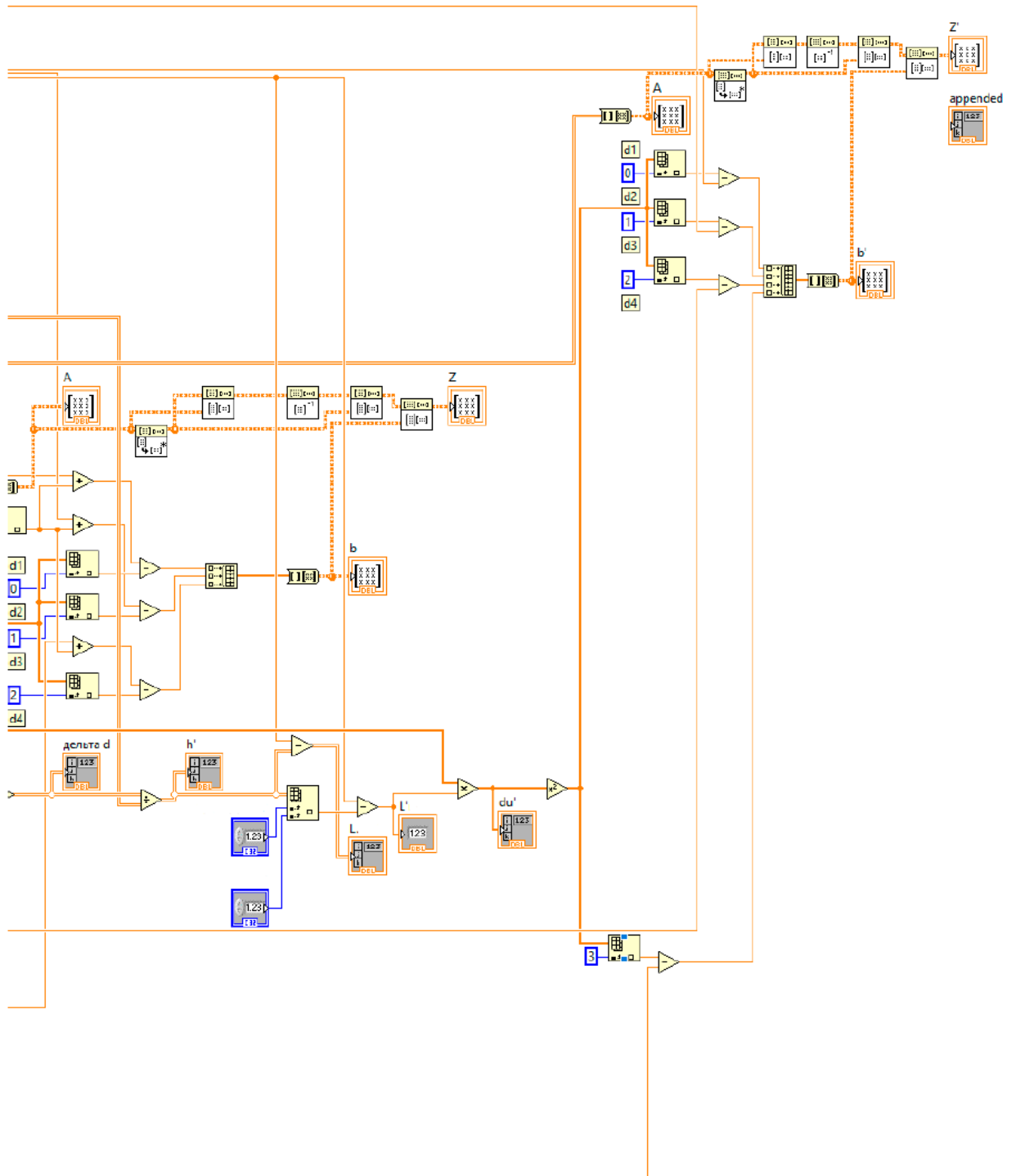


Рис. 3.2. Блок-діаграма локалізації невідомих вузлів БСМ в графічному середовищі LabVIEW (продовження)

Процес визначення місця розташування сенсорних вузлів складається з 4 етапів, алгоритм представлений на малюнку 3.3.

1. Розрахунок середнього розміру стрибка L_i і відстані до кожного вузла якоря d_i

2. Обчислення координат невідомого вузла за алгоритмом DV-Нор

3. Розрахунок за покращеним алгоритмом DV-Нор

4. Обчислення координат невідомого вузла за покращеним алгоритмом DV-Нор

Рис. 3.3. Алгоритм вимірювального процесу

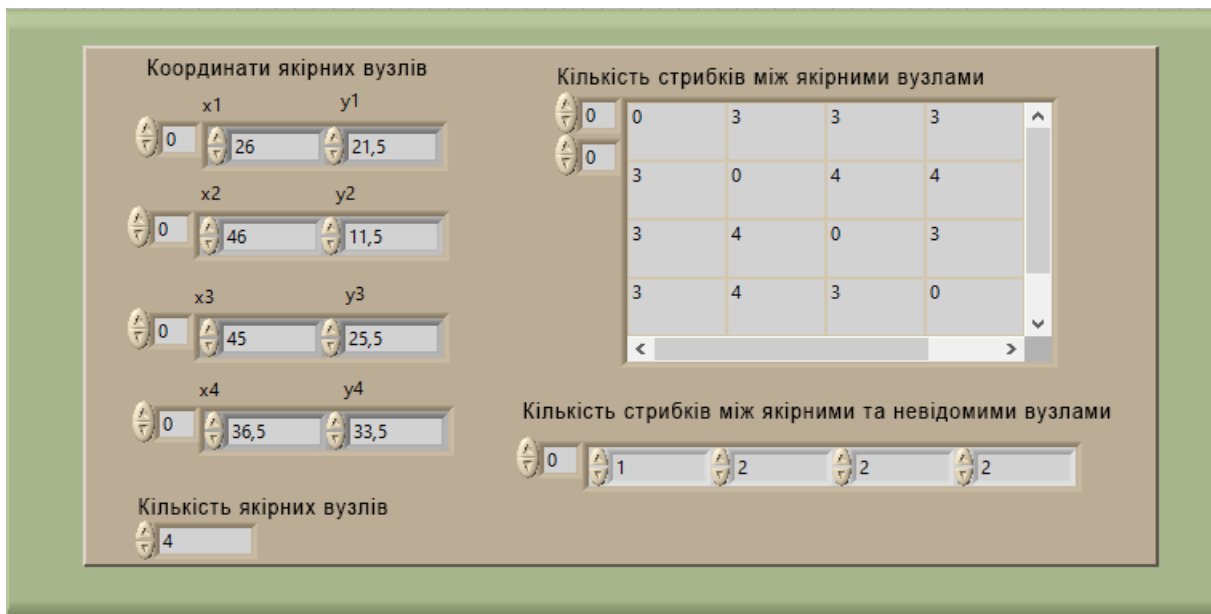


Рис. 3.4. Лицьова панель програми (елементи керування)

Лицьова панель, представлена на рисунку 14, містить індикатори з такою інформацією:

- середній розмір стрибка L_i ;
- відстані між вузлами d_i ;
- виміряне середнє значення розміру стрибка $\bar{L}_{змін}$;
- обчислені координати невідомого вузла.

На рис. 3.5 показано приклад розрахованих значень координат для невідомого вузла n_6 .

Для першого методу значення розміру стрибка становить $L_i = 1,5938$, для другого $\bar{L}_{\text{змін}} = 5,31507$, тому що найближчим якірним вузлом до невідомого вузла n_6 є вузол s_2 . Отримані значення застосовують для знаходження відстані стрибка між якірним і невідомими вузлами d_u .

У результаті координати невідомого вузла в першому випадку дорівнюють $(36,8821; 21,3968)$, а для другого $(34,686; 19,4883)$. Різниця між реальними координатами і розрахованими для першого випадку становить 3,39 за координатою x , для другого 1,19. Різниця між реальними координатами і розрахованими для першого випадку становить 2,38 за координатою y , для другого 0,49.

Аналізуючи отримані дані для вузла n_6 , можна зробити висновок, що покращений метод підвищує точність локалізації.

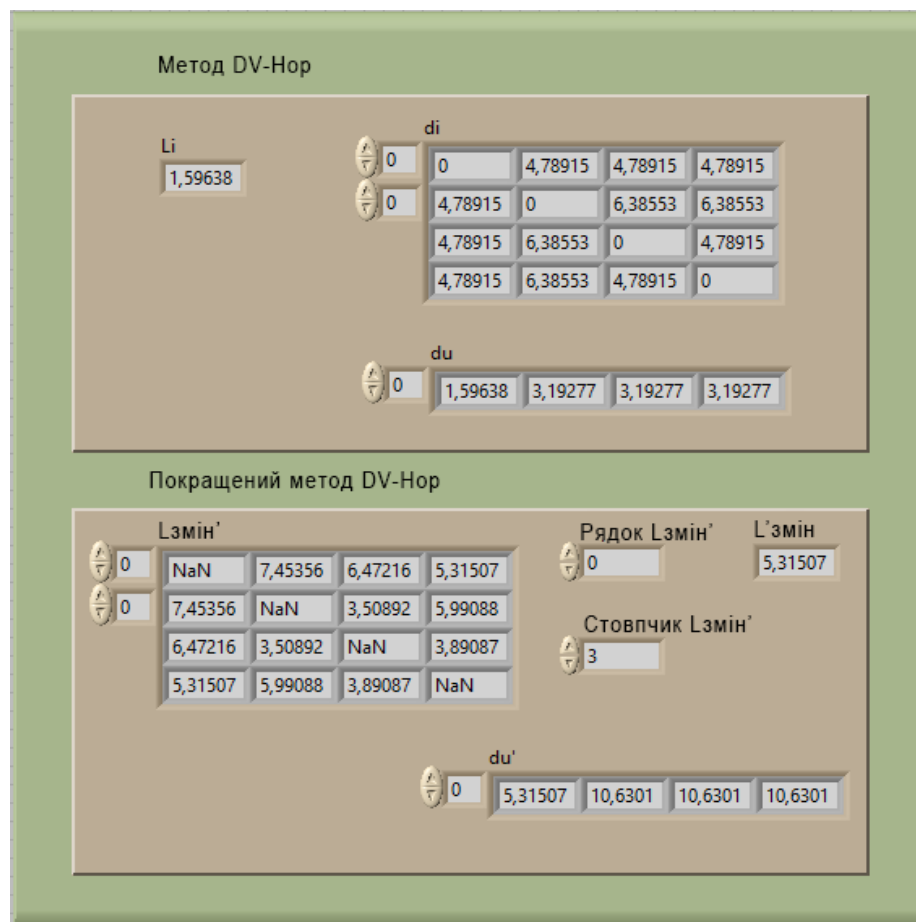


Рис. 3.5. Лицьова панель програми (індикатори)



Рис. 3.6. Розраховані координати невідомого вузла n_6

3.2. Експериментальне дослідження методів локалізації

Для порівняння точності локалізації двох методів, проводилися експериментальні дослідження з такими параметрами:

- БСМ складалася з 38 вузлів, де 28 невідомих вузлів N , а 10 якірних вузлів S ;
- радіус дії вузлів $R = 4$;
- кількість невідомих вузлів m .

Точність локалізації методів оцінюється за похибкою локалізації, формула (46):

$$\varepsilon = \frac{\sum_{k=1}^m |x_n - x_{n'}|}{m \cdot R}, \quad (3.1)$$

де x_n - координати невідомого вузла n відповідно до рис. 3.1, $x_{n'}$ - розраховані координати невідомого вузла.

Координати невідомих вузлів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Координати вузлів N

Номер невідомого вузла	Реальні координати невідомого вузла	Координати, отримані за допомогою методу DV-Нор	Координати, отримані за допомогою покращеного методу DV-Нор
n ₁	15,00; 5,50	16,31; 9,98	15,65; 6,51
n ₂	26,00; 21,50	17,27; 15,82	28,19; 21,00
n ₃	16,00; 20,00	17,00; 14,09	14,96; 18,09
n ₄	20,50; 26,50	17,55; 14,77	20,54; 26,34
n ₅	33,50; 12,50	33,85; 16,33	30,45; 15,21
n ₆	33,50; 19,00	36,89; 21,38	34,69; 19,49
n ₇	37,50; 26,00	37,22; 20,42	37,20; 25,90
n ₈	41,00; 17,50	36,93; 20,99	36,20; 17,38
n ₉	48,50; 19,00	38,02; 15,23	46,62; 16,11
n ₁₀	38,00; 11,00	33,04; 7,09	37,02; 7,58
n ₁₁	34,00; 4,00	28,89; 9,05	30,34; 9,06
n ₁₂	33,00; 5,50	32,57; 14,28	33,04; 10,89
n ₁₃	29,50; 26,00	23,24; 25,08	29,16; 21,24
n ₁₄	23,50; 32,50	21,07; 33,26	22,25; 32,93
n ₁₅	17,50; 37,00	20,72; 32,46	20,56; 33,23
n ₁₆	25,50; 39,50	22,52; 33,85	20,01; 34,64
n ₁₇	13,50; 27,50	16,76; 26,07	15,94; 29,72
n ₁₈	30,00; 33,50	23,52; 34,88	27,52; 34,28
n ₁₉	30,50; 45,00	25,41; 37,00	30,71; 44,00
n ₂₀	37,50; 41,00	33,88; 34,38	35,25; 41,78
n ₂₁	43,00; 35,50	49,34; 28,67	40,67; 35,62
n ₂₂	16,50; 44,50	20,15; 34,04	18,69; 45,92
n ₂₃	8,50; 42,00	11,26; 33,05	7,86; 33,85
n ₂₄	10,00; 16,00	18,74; 26,42	6,41; 18,34
n ₂₅	32,50; 38,50	30,50; 34,61	30,04; 34,34
n ₂₆	21,00; 18,00	17,56; 13,86	20,34; 16,78
n ₂₇	39,50; 4,50	35,38; 14,49	37,73; 13,74
n ₂₈	11,50; 9,50	16,32; 15,36	12,68; 10,37

Побудуємо схему розташування знайдених координат невідомих вузлів.

Схему розташування невідомих вузлів N подано в додатку В. Розрахунки похибки локалізації подано в таблиці 3.2.

Похибка локалізації

Кількість невідомих вузлів	Похибка локалізації координати X метод DV-Нор	Похибка локалізації координати Y метод DV-Нор	Похибка локалізації координати X покращений метод DV-Нор	Похибка локалізації координати Y покращений метод DV-Нор
4	0,59	0,12	1,18	0,10
8	0,31	0,16	0,46	0,04
12	0,65	0,24	0,18	0,12
16	0,62	0,24	0,30	0,12
20	0,64	0,22	0,42	0,06
24	0,31	0,23	0,51	0,09
28	0,31	0,23	0,27	0,05

Далі було отримано графіки порівняння похибки локалізації для координат X і Y , рисунок 3.7 і 3.8 відповідно. Видно, що зі збільшенням кількості вузлів похибка зростає незначно.

Якщо подивитися на результати загалом, то видно, що похибка в новому методі мало залежить від числа невідомих вузлів, залишаючись приблизно на одному рівні, хіба що для малого числа вузлів видно стрибок.

Аналізуючи отримані графіки, можна зробити висновок, що представлений метод значно підвищує точність визначення місця розташування порівняно з оригінальним методом DV-Нор.

Удосконалений метод DV-Нор у середньому в 2 рази точніший за оригінальний метод DV-Нор.

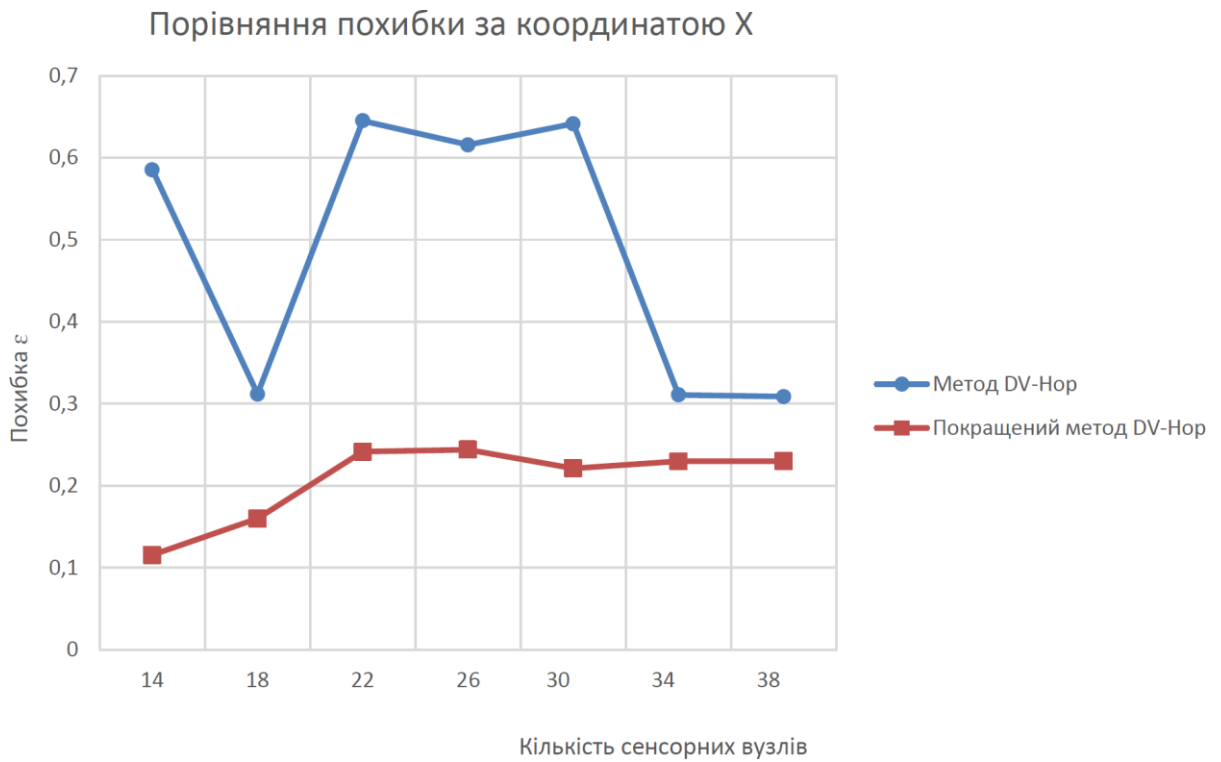


Рис. 3.7. Порівняння похибки локалізації невідомого вузла за координатою X

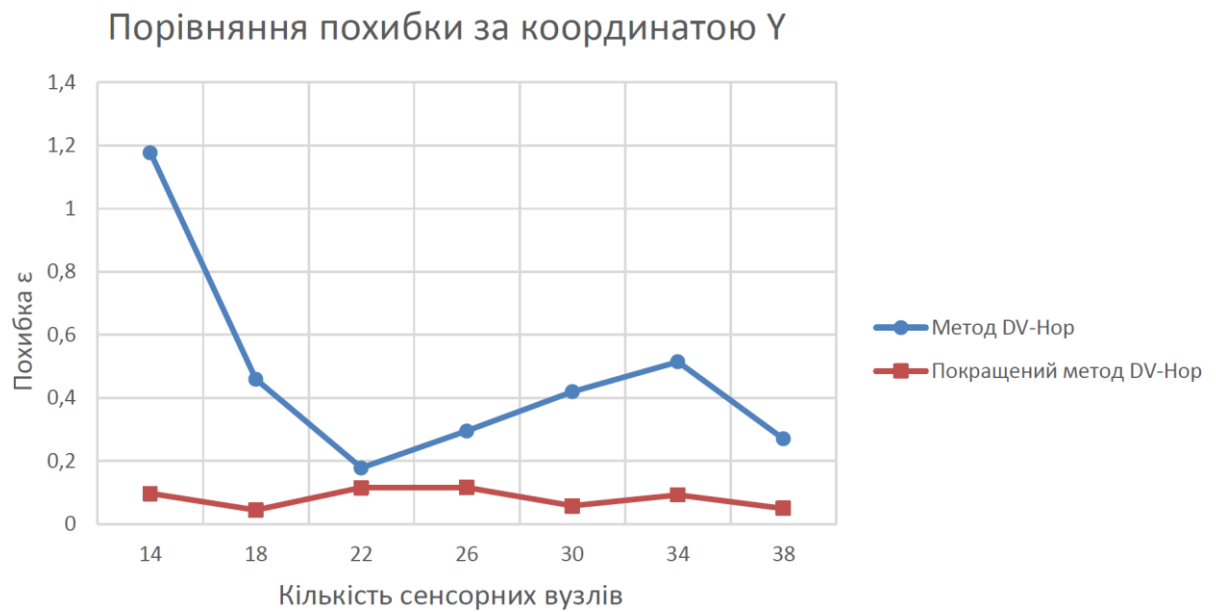


Рис. 3.8. Порівняння похибки локалізації невідомого вузла за координатою Y

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз умов праці на робочому місці

Організація робочого місця. Інженер-електроник зазвичай проводить свою роботу в спеціальних виробничих приміщеннях, але час від часу проводить на вулиці біля самих радіомаяків, якщо це потрібно. Розташування та дизайн робочого місця повинні відповідати психологічним, фізіологічним і антропометричним вимогам відповідно до ДСТУ 12.2.032-78. Налаштування робочого місця повинно відповідати стандартам, технічним умовам і методичним вказівкам з безпеки праці [51].

Основними елементами робочого місця є радіомаяк; робочий телефон; стіл для телефону та робочих паперів; крісло (стілець) для сидіння; і диван для відпочинку, який використовується протягом усього робочого дня.

Стелі та стіни повинні бути теплоізолюваними та не затримувати пил; полі мають бути теплими, еластичними, рівними та неслизькими. Штучне освітлення компенсує брак природного освітлення в робочих місцях. Для працівників є санітарно- побутові приміщення.

Розміри робочої кімнати, яка використовується для обслуговування маркерного радіомаяка, є такими: ширина - 6 метрів, довжина - 8 метрів, висота - 3,5 метрів, площа - 48 квадратних метрів і загальний об'єм - 168 кубічних метрів. Відповідно до нормативів площа та об'єм приміщення на одного співробітника становлять відповідно 6 кв. м і 21 куб. м. За результатами аналізу можна зробити висновок, що робоче місце відповідає стандартам.

Мікроклімат виробничих приміщень. На робочому місці інженера-електроніка посадкового комплексу ГОСТ 12.1.005-95 найкращі метеорологічні умови включають температуру повітря 18–23 °С, відносну вологість повітря 40–60% і швидкість руху повітря 0,2– 0,7 м/с. У зимовий період було зафіксовано такі метеорологічні параметри: температура 23 градуси Цельсія, відносна вологість 44% і швидкість повітря

0,2 м/с. Ці параметри відповідають вимогам цього приміщення для холодного періоду року.

4.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих факторів у робочій зоні

Виробничі фактори, які є небезпечними та шкідливими, можуть впливати на людську роботу. Ступінь небезпеки кожного технологічного процесу та його кількість можуть бути використані для визначення його безпеки. Ступінь безпеки окремих технологічних процесів визначає безпеку праці на виробництві.

Державний стандарт ДСТУ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори» призначений для класифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів. «класифікація», оскільки деякі небезпечні та шкідливі виробничі фактори можуть вплинути на працівників під час експлуатації та ремонту БОСП [52].

Фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні виробничі фактори є небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Відповідно до ДСТУ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори», Під час роботи з радіомаяком можуть виникнути такі небезпечні та шкідливі фактори, як електричний струм, електромагнітне випромінювання, недостатнє освітлення робочої зони, незадовільні мікрокліматичні характеристики приміщення та монотонність роботи [53].

4.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників на робочому місці

Електромагнітне випромінювання. Згідно з ДСТУ 12.1.002-84 ССБТ, Електромагнітні поля промислової частоти Допустимі рівні напруженості та вимоги до контролю на робочих місцях» визначають, скільки часу людина проводить у небезпечній зоні. Допускається присутність працівників на робочому місці протягом восьми годин

при напруженості електричного поля (E), що не перевищує 5 кВ/м. Коли напруженість електричного поля становить 5–20 кВ/м, дозволений час перебування в робочій зоні за годину складатиме:

$$T=50/E-2$$

Екранування пристрою є основним засобом колективного захисту від струмів промислової частоти. Екранування може бути роздільним або загальним. У загальному екрануванні високочастотну установку закривають металевим ковпаком. Вікна, розташовані в стінках кожуха, дозволяють керувати установкою. Кожух стикаються з заземленням установки для безпеки. Ізоляція високочастотної установки в окреме приміщення з дистанційним керуванням є другим типом захисту.

Крім того, конструкційні екрануючі пристрої можуть представляти собою козирки, навіси або перегородки, виготовлені з металевих канатів, прутів або сіток. Мобільні екрани можна прикрасити знімними козирками, наметами або щитами. Екрани виготовляють з листового металу, товщина якого не перевищує 0,5 мм. На додаток до стаціонарних і переносних екранів застосовують окремі екрануючі комплекти. Вони розроблені таким чином, щоб захистити їх від дії електричного поля, напруженість якого не перевищує 60 кВ/м. Спецодяг, спецвзуття, засоби захисту голови, рук і обличчя входять до складу спеціальних екранів. Комплекти складаються з контактних дротів, які використовуються для створення єдиної електричної мережі та ефективного заземлення — як правило, через взуття.

Перевірка технічного стану екрануючих комплектів проводиться періодично. Результати перевірки записуються в спеціальному журналі. Можна проводити польові топографо-геодезичні роботи поблизу ліній електропередачі. Напруженість магнітного поля та електричного поля до 25 А/м та 15 кВ/м (іноді на висоті 1,5-2,0 м від землі) спостерігається в електромагнітних полях повітряних ліній електропередачі високої та надвисокої напруги. При проведенні робіт поблизу ліній електропередачі напругою 400 кВ і вище необхідно обмежити час перебування в небезпечній зоні або

застосовувати індивідуальні засоби захисту, щоб зменшити негативний вплив на здоров'я.

Електробезпека. Для захисту від випадкового дотику зі струмоведучими частинами використовують наступні засоби [54]: застосування запобіжників у ланцюзі електроживлення; використання малих напруг; електричним розділенням мережі (комутація вузлів в логарифмуючому пристрої здійснюється за допомогою роз'ємних з'єднань; попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки; ізоляція струмоведучих частин з використанням екранованих корпусів; максимально безпечне розташування струмоведучих частин; захисні огороження, що виконані з прогумованого брезенту; правильним компонуванням, монтажем пристроїв та елементів, які забезпечують безпеку, а також зручність при експлуатації та проведенні перевірочних робіт, виключають витік струмів, перехід напруги з одних елементів на інші елементи конструкції, що у нормальному стані не знаходяться під напругою, чи знаходяться під іншим потенціалом, пробою ізоляції, короткі замикання та їх наслідки; маркуванням, забарвленням монтажних елементів та дротів, за допомогою яких виключаються помилки при налаштуванні та регулюванні, а ще також випадкове подання іншої напруги; дотримання умов безпеки при установці і заміні високовольтних електровакуумних приладів; правильним вибором дротів, їх жгутуванням і трасуванням; надійним контактним з'єднанням з урахуванням перепаду кліматичних параметрів.

Відповідно до ДСТУ 12.1.030-81, щоб запобігти поразці електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою через ушкодження ізоляції, застосовуються наступні методи: контроль ізоляції; електричний поділ мережі; ізоляція неструмоведучих частин; і захисна металізація.

ДСТУ 12.1.030-81 «Електробезпека» регулює питання електробезпеки. Безпечні заземлення занурення Крім того, ДСТУ 12.1.019-79 «Електробезпека». Загальні вимоги та класифікація видів захисту.

Електробезпека на робочому місці досягається застосуванням безпечних видів праці та наявністю пристроїв, які заземляють електрообладнання. Відповідно до ДСТУ 12.1.019-79 «Електробезпека» захист радіоелектронного обладнання, у цьому конкретному випадку пристрою, від небезпечного впливу електричного струму під

час експлуатації та ремонту. Наступні заходи [53, 54] забезпечують загальні вимоги і номенклатуру видів захисту: застосування захисного заземлення; розробка та оптимальний вибір елементної бази; правильне компонування, монтаж і з'єднання пристроїв і елементів; і надійне контактне з'єднання.

ДСТУ 54-71004-85 регулює безпечні види праці. Вони досягаються шляхом оптимального розташування контрольно-вимірювальної апаратури та енергетичних комунікацій відповідно до умов нормативно-технічної документації на апаратуру, а також забезпечення комфорту та безпеки під час роботи. Обслуговування та ремонт радіобладнання виконується за допомогою справних, перевірених інструментів і приладів. Електробезпека досягається заземленням металевих компонентів обладнання та контрольно-вимірювальної апаратури відповідно до ДСТУ 12.1.038-82. У цьому випадку активний опір не повинен перевищувати 4 Ом.

Електростатична небезпека полягає в тому, що елемент РЕО може раптово вийти з ладу, і його характеристики можуть змінитися під впливом електростатичного поля. Необхідно використовувати провідні матеріали для робочих столів, панелей, покриття, взуття та одягу працівників, щоб усунути джерела статичного заряду. Відносна вологість повітря повинна бути на найвищому дозволеному рівні відповідно до ДСТУ 12.4.124-83, щоб зменшити електризацію та підвищити провідність діелектричних поверхонь.

Армування пакувальних матеріалів провідною сіткою та екранування їх від електромагнітних полів є ефективними методами розсіювання електростатичного заряду.

Для забезпечення безпеки робіт з джерелами електромагнітних хвиль на робочих місцях проводиться систематичний контроль реальних значень нормованих параметрів. Це контролюється як на робочих місцях, так і в місцях, де можуть знаходитися люди. Якщо умови на робочому місці не відповідають стандартам, застосовуються такі заходи захисту: екранування робочого місця чи джерела випромінювання.

- Збільшити відстань між робочим місцем і джерело випромінювання.
- Оптиміальне розміщення обладнання на робочому місці.
- Використання попереджувальних заходів захисту.

- Зменшення випромінювання в джерелі за допомогою спеціальних поглиначів енергії.
- Використання функцій дистанційного керування та автоматичного керування.

У більшості випадків робочі місця знаходяться в діапазоні мінімальної інтенсивності електромагнітного поля. Засоби індивідуального захисту є кінцевою ланкою ланцюга інженерних засобів захисту. Рекомендується використовувати спеціальні окуляри для захисту очей від НВЧ-випромінювань. Ці окуляри мають тонкий шар металу, наприклад діоксиду олова або золота, щоб захистити скло. Захисний одяг виготовляється зі спеціальної металізованої тканини та використовується як комбінезони, халати, куртки з капюшонами та захисні окуляри вмонтовані в них. Зменшення опромінення на 20–30 децибел (дБ) можна досягти за допомогою використання спеціальних тканин у захисному одязі. Захисні окуляри зменшують інтенсивність випромінювання на 20-25 дБ. З метою запобігання професійним захворюванням працівники повинні проходити профілактичні та регулярні медичні огляди. Вкрай важливо, щоб жінки, які перебувають у періоді вагітності та годування груддю, отримували додаткові можливості працевлаштування. Люди, які не досягли 18-річного віку, не можуть працювати з генераторами радіочастот. Людям, які стикаються з джерелами НВЧ- та УВЧ-випромінювань, надається більше переваг, таких як скорочений робочий день і більше відпусток.

Виробниче освітлення. Раціональне освітлення на робочому місці також є одним із елементів, які визначають сприятливі умови праці. Оскільки освітлення в виробничих приміщеннях добре розраховане та підібране, очі працівників можуть довго розрізняти предмети та знаряддя праці. Погане освітлення на заводі може призвести до погіршення якості продукції. На працівника впливає багато факторів, включаючи його емоційний стан, працездатність, мотивацію, продуктивність і безпеку праці. Відчуття зору створюються електромагнітними хвилями світла. «Поле зору» — це місце, куди дивиться людина, коли її очі та голова нерухомі.

На гостроту зору, контрастну чутливість, тривалість ясного бачення та здатність бачити на далекій і близькій відстані впливають рівні освітлення на робочому

місці. Для працівників без дефектів зору освітлення 50–70 лк забезпечує нормальну гостроту зору, тобто здатність розрізняти дрібні предмети. Освіченість має становити 600–1000 лк, щоб очі могли найкраще розрізняти ці предмети.

Фізіологічні дослідження показали, що час ясного бачення працівників зменшувався на 72% при освітленості 50 лк через три години роботи порівняно з вихідною величиною; при освітленості 75 лк він зменшувався на 55, при освітленості 100 лк — на 26, а при освітленості 200 лк — на 15%. У приміщенні є бічне природне освітлення (вікно висота 2 м, ширина 1,9 м) і загальне штучне освітлення (чотири світильники на стелі). Таким чином, вид виробничого освітлення суміщений.

4.4. Розробка заходів з охорони праці. Електробезпека

Відповідно до ДСТУ 12.1.030-81 «Безпека електроенергетики». У пристроях із напругою до 1000 В опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Для трифазної електричної мережі з глухозаземленою нейтраллю та напругою 220В і частотою 50Гц необхідно провести розрахунок повторного заземлення нульового проводу [52].

Заземлення нульового проводу на певній відстані від джерела живлення називається повторним заземленням нульового проводу. Воно дозволяє знизити напругу нульового проводу та корпусів зануленого устаткування щодо землі як у нормальному режимі, так і при обриві нульового проводу між приймачем і джерелом живлення. Розрахуємо заземлення.

Для розрахунку заземлення скористаємося наступними даними:

- Питомий опір ґрунту $r_0 = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (чорнозем)
- Коефіцієнт, який враховує кліматичну зону 2 для заземлення $K_{n1} = 1,5$ (для стрижневих вертикальних електродів) і $K_{n2} = 5,9$ (для горизонтально протягнутої магістралі);
- Опір пристрою, який заземлюється $R_{дон.} = 4 \text{ Ом}$;
- Тип заземлення – труба довжиною $l = 3 \text{ м}$, діаметром $d = 0,05 \text{ м}$, товщиною стінок 3,5 мм, яка знаходиться на глибині 0,8 м;

- Тип магістралі, яка заземлюється – смугова з товщиною стінок $b = 0,04$ м, глибиною закладення $h = 0,8$ м;
- З урахуванням плану розміщення об'єкта, що заземлюється, визначимо вид вертикальних заземлювачів – “у ряд” відстань між якими $CI = 6$ м.

1) Значення питомого опору ґрунту з урахуванням кліматичної зони розраховується по формулі:

$$r_{расч1} = r_0 * K_{n1}$$

$$r_{расч2} = r_0 * K_{n2}$$

$$r_{расч1} = 20 * 1,5 = 30 (Ом / м)$$

$$r_{расч2} = 20 * 5,9 = 118 (Ом / м)$$

2) Опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача:

$$R_T = \frac{r_{расч}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$$

де $t = \frac{1}{2} L + h$

$$R_T = \frac{30}{2 * 3,14 * 3} \left(\ln \frac{2 * 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 * 2,3 + 3}{4 * 2,3 - 3} \right) = 10,36 (Ом)$$

3) Умовна кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_1 = \frac{R_T}{R_{дон}}$$

$$n_1 = \frac{10,36}{4} = 2,59$$

приймаємо $n_1 = 3$

4) У залежності від умовної кількості заземлювачів n_1 , відношення $CI/l = 2$ та від розміщення вертикальних заземлювачів – у ряд, знаходимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta_{em} = 0,75$$

5) Знайдемо дійсну уточнену кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{n_1}{\eta_{em}}$$

$$n = \frac{3}{0,75} = 4$$

6) Розрахуємо довжину магістралі, яка з'єднує заземлювачі:

$$L_m = 1,05 * C1 * n$$

$$L_m = 1,05 * 6 * 4 = 25,2(м)$$

7) Тепер визначимо опір розтікання струму магістралі, що заземлює, розтягнутого горизонтального круглого заземлювача.

$$R_m = \frac{r_{расч2}}{2\pi l} \ln \frac{2L^2}{b * h}$$

$$R_m = \frac{118}{2 * 3,14 * 3} \ln \frac{25,2^2}{0,05 * 0,8} = 60,58(Ом)$$

8) Знайдемо коефіцієнт використання $\eta_{ем}$ магістралі, що заземлює, (з'єднуючої смуги), яка враховує взаємне екранування магістралі, що заземлює, а також вертикальних заземлювачів.

При $C1/l = 2$ і кількості вертикальних заземлювачів $n = 4$:

$$\eta_{ем} = 0,89$$

9) Розрахуємо опір розтікання всього пристрою, що заземлюється:

$$R_3 = \frac{R_m R_T}{R_T \eta_{эм} + R_m n \eta_{эм}}$$

$$R_3 = \frac{60,58 * 10,36}{10,36 * 0,89 + 60,58 * 4 * 0,75} = 3,29(Ом)$$

Отримане значення не перевищує гранично припустимого значення $3,29 < 4$ (Ом)

4.5. Пожежна безпека при експлуатації радіомаяків

Згідно з НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні» та ОНТП 24-86 «Визначення категорії приміщень і будівель по вибухопожежній та пожежній небезпеці», робоче місце інженера-електронщика радіолокаційного комплексу відноситься до категорії «Д». Вибір цієї категорії має на увазі використання негорючих

матеріалів у холодному стані відповідно до характеристик речовин і матеріалів, які знаходяться в приміщенні. Крім того, категорія не включає приміщення, в яких горючі рідини знаходяться в системах змащування, охолодження чи гідроприводу обладнання, а також кабельні електропроводки до обладнання та окремі меблі на місцях.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 «Безпека пожеж». Загальні вимоги до пожежної безпеки устаткування включають організаційно-технічні заходи, систему протипожежного захисту та систему попередження пожежі [53].

Попередження пожежі досягається таким чином: попередження джерел загоряння в робочому середовищі; попередження пожежі в самому середовищі.

Попередження пожеж можна досягти шляхом максимального використання вогнебезпечних і непальних речовин, ізоляції вогнища, застосування пристроїв захисту виробничого устаткування та пальних матеріалів від пошкоджень і аварій.

Попередження виникнення джерел загоряння в пальному середовищі досягається за допомогою таких заходів: використання приладів, при експлуатації яких не може виникнути джерел загоряння; використання швидкодіючих методів захисту в конструкціях, щоб запобігти потенційним джерелам загоряння; усунення умов, які сприяють тепловому та хімічному самозайманню матеріалів і пристроїв; і дотримання правил пожежної безпеки.

Протипожежний захист досягається за допомогою заходів пожежегасіння та відповідних видів пожежної техніки, таких як нанесення вогнетривких фарб на поверхню, використання методів захисту як для груп, так і для окремих людей, а також використання систем протипожежного захисту, які запобігають задимленню та зниження температури. Організаційно-технічні заходи включають створення та використання засобів масової агітації; розробку стандартів і правил пожежної безпеки; паспортизацію речовин, матеріалів, пристроїв, технічних процесів; організацію пожежної охорони відповідного типу, кількості персоналу та технічного обладнання.

У приміщенні для обслуговування та ремонту радіомаяка встановлено автоматичну систему електричної пожежної сигналізації, яка включає димові датчики (FAP-0420), розташовані симетрично на стелі, як показано на рис. 4.1. Крім того, відповідно

до Правил пожежної безпеки в Україні в приміщенні є два вуглекислотні вогнегасники (ВВК-2).



Рис. 4.1. Адресний оптичний димовий сповіщувач.

На території має бути розроблено схему евакуації, а також план приміщення з позначеними на ньому екстреними виходами, згідно з СНиП 2.09.02-85. На схемі також мають відображатися відстані в метрах між виходами, але вони не повинні перевищувати 75 метрів. У належних місцях вивішуються плакати з наочною інформацією про використання засобів пожежогасіння, номери телефонів служби пожежогасіння, прізвище керівника служби пожежної безпеки, план евакуації та інші деталі. На рис. 4.2. показані шляхи евакуації при пожежі.

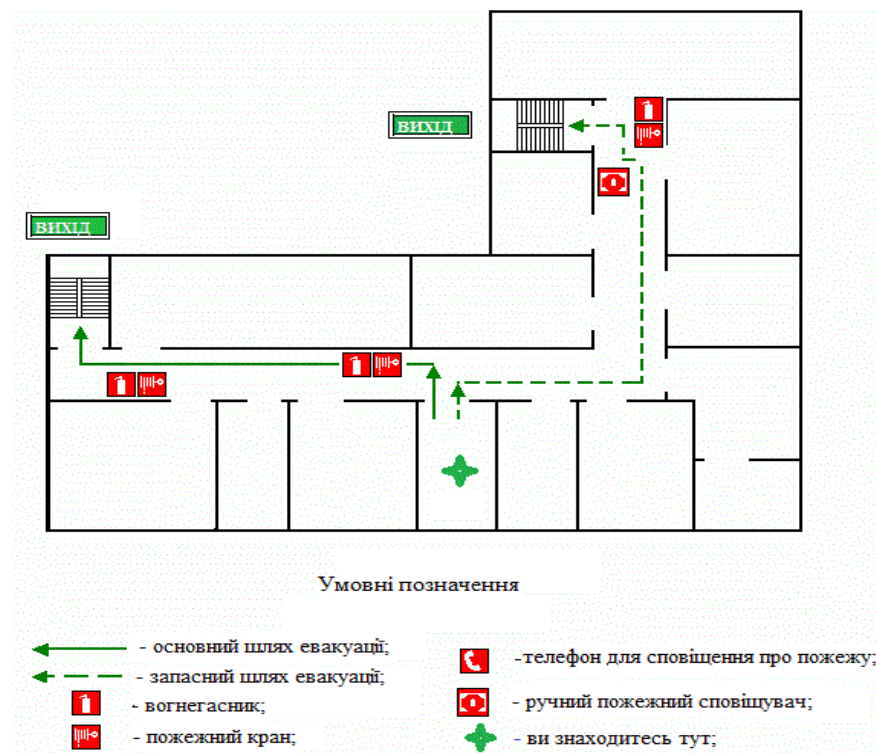


Рис 4.2. План евакуації з робочого приміщення

Основна дорога евакуації становить 17 м. Виходячи з робочого приміщення, потрібно повернути ліворуч, пройти до кінця коридору, повернути праворуч і пройти по східцях до дверей, на яких написано «ВИХІД». Це основний шлях евакуації. При необхідності використовувати запасний шлях евакуації, який становить 21 метр, необхідно вийти з робочого приміщення, повернути праворуч, повернути ліворуч до кінця коридору, біля пожежного крану, повернути ліворуч, далі по східцях до дверей, де написано «ВИХІД».

Крім того, слід зазначити, що оскільки наше робоче місце розташоване на першому поверсі, ми можемо евакуюватися через вікно в цій кімнаті.

Висновки. Мною було проведено аналіз заходів безпеки, які застосовуються під час роботи з генераторами радіації (РМГ), які генерують електричне та електромагнітне випромінювання. Крім того, було розглянуто заходи безпеки та умов праці, необхідні для роботи інженером-електронщиком. зроблені кроки для забезпечення нормальних умов праці та підвищення безпеки працівників. Крім того, були розглянуті способи покращити пожежну безпеку.

У цей час, коли роботодавці намагаються отримати максимальний прибуток якнайшвидше та з мінімальним вкладенням коштів, і враховуючи останній дефіцит робочих місць, вони не завжди звертають уваги на охорону праці. Щоб зменшити кількість нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, необхідно поступово вдосконалювати наше законодавство в області охорони праці.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Нормативна база з захисту навколишнього середовища

Гази, рідини та тверді залишки є основними видами відходів, що викидаються в атмосферу в результаті діяльності людей. Багато цих відходів є шкідливими для всіх живих істот, включаючи людей. Коли кількість цих речовин збільшується, природне середовище не встигає засвоювати, переробляти та нейтралізувати їх. Таким чином, вони накопичуються в повітрі, воді, рослинах і тваринах. Хімічне забруднення біосфери — це назва цього явища.

Крім цього, забруднення навколишнього середовища може бути викликане різними фізичними факторами, пов'язаними з техногенним середовищем, до яких належать насамперед електромагнітне, теплове, акустичне (шумове) та радіоактивне забруднення [54].

Люди знають про небезпеки, які загрожують навколишньому середовищу, але багато з нас вважають це неприємним, але неминучим наслідком цивілізації, і вважають, що ми ще можемо впоратися з усіма проблемами, які виникли. Однак останні десятиліття показали, що потрібно негайно починати діяти. Це означає, що необхідні економічно ефективні технології та машини, методи інженерно-екологічної профілактики та швидке планування природоохоронних заходів.

У розділі VII Декларації про державний суверенітет України зазначено, що Україна має право заборонити будівництво або зупинити функціонування будь-яких підприємств, установ, закладів або об'єктів, які створюють загрозу екології. Екологічна безпеку українців і генофонд країни є головними проблемами.

Основними цілями економічної самостійності в Законі України про економічну самостійність є забезпечення безпеки та створення здорових і безпечних умов життя та праці.

У Законі про підприємства в Україні зазначено, що всі підприємства зобов'язані своєчасно виконувати заходи, спрямовані на збереження навколишнього середовища. Підприємства несуть відповідальність за раціональне використання та відновлення природних ресурсів, дотримання правил і стандартів охорони природи.

Нарешті, Закон України про охорону навколишнього середовища визначає основні принципи охорони навколишнього середовища, включаючи: пріоритетність вимог екологічної безпеки; обов'язкове дотримання екологічних стандартів, нормативів і лімітів використання природних ресурсів; гарантування екологічно безпечного середовища для життя та здоров'я людини; і екологізація матеріального виробництва на основі комплексного вирішення проблем охорони навколишнього середовища.

Вплив людини на природу складний і може мати значні довгострокові наслідки, такі як зміна клімату, зниження загальної біологічної продуктивності та зниження фотосинтезу. Крім того, важливо пам'ятати, що здатність природи до самоочищення та самовідновлення має межі. Цивільна авіація також спричиняє забруднення навколишнього середовища. Шкідливі речовини забруднюють атмосферне повітря та створюють шум. Підприємства ЦА споживають багато нафтопродуктів, води, електроенергії та інших природних ресурсів, і вони можуть створювати загрозу для повітря, води та ґрунту. аеропорти, оснащені потужним радіотехнічним обладнанням, яке створює електромагнітні поля.

Державна система природоохоронних стандартів має клас «17». Вперше стандарт було розроблено в 1976 році (ДСТУ 17.00.01-76). ГОСТ 17.0.01, що стосується охорони навколишнього середовища та природи. Завдяки тому, що ця проблема стала одним із головних викликів людства, було розроблено більше 35 стандартів охорони навколишнього середовища. В Україні існує законодавство щодо захисту навколишнього середовища, включаючи постанову Верховної Ради України від 5 березня 1998 року «Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» та указ Президента України від 26 листопада 1998 року «Про нейтралізацію погроз, зумовлених погіршенням екологічного та технічного стану в країні» [55].

5.2. Забруднення атмосферного повітря

Перелік джерел забруднення повітря. Такі джерела поділяються на стаціонарні та нестаціонарні. До перших належать джерела, які викидають забруднюючі речовини (ЗР) у повітря у формі газів, пари, пилу та аерозолів. Ці джерела мають постійні точки або площини викиду. Такими є котельні, склади палива та мастила, ангари, майстерні, бази спецавтотранспорту, привокзальні площі та інші. Нестационарними джерелами є літаки з працюючими двигунами, спеціальний транспорт, який пересувається територією аеропорту, та різні пересувні агрегати, які використовують паливо під час свого функціонування.

На генеральному плані аеропорту можна позначити стаціонарні джерела викидів точкою з певними координатами. Після цього оцінюються річні викиди шкідливих речовин у повітря з кожного джерела. Використовуються критерії відбору за рівнем шкідливості та обсягом викидів, оскільки кількість найменувань шкідливих речовин може сягати десятків. Таким чином, список містить речовини, які є найбільш шкідливими та викидають найбільше. У великому аеропорту цивільної авіації цей список може включати до двадцяти п'яти шкідливих інгредієнтів, які контролюються та нормуються.

Розрахунки проводяться за допомогою спеціальних методів. Наприклад, щоб визначити викиди у повітря від котельні, потрібно знати такі дані, як тип палива, температура його горіння на різних режимах спалювання, загальна кількість палива, витрачена протягом року та умови відведення газів, такі як висота димаря. Для того, щоб визначити кількість шкідливих газів, які викидаються в повітря аеропорту за добу та рік, необхідно розрахувати середню кількість транспортних засобів, які прибувають до аеропорту, а потім середній час перебування кожного транспортного засобу на площі з двигуном. Незважаючи на те, що ці джерела забруднення повітря є окремими, координати викидів можна знайти в центрі площі [56].

Розрахунок викидів основних джерел забруднення повітря в аеропортах — літаків і спецавтотранспорту — є найскладнішою задачею. Ці джерела відповідають за до 70% викидів забруднювачів атмосфери в аеропорту.

Управління параметрами метеорології Необхідно систематизувати основні метеопараметри району аеропорту для більш детального аналізу та прогнозування переміщення атмосферних забруднень. Ці дані можна отримати з спостережень міської гідрометеостанції протягом багатьох років або зі статистики авіаційної метеослужби.

Хоча газові забруднення в основному впливають на склад повітря аеропорту, вони також можуть переноситися вітром на великі відстані від джерела викиду. ЗР також можуть зазнавати значних хімічних змін, підіймаючись угору. Складні хімічні реакції можуть або створити ще шкідливіші речовини, або зменшити концентрацію шкідливих газів у повітрі до безпечної.

Швидкість і напрямок вітру, температура та вологість повітря, кількість сонячного випромінювання, температурна стратифікація повітря (зміна температури з висотою над поверхнею землі) та інші параметри є основними метеопараметрами для розрахунку атмосферних забруднень. Для визначення річного забруднення зведені метеопараметри повинні включати їхні середньомісячні показники.

Обробка стандартних даних Довідник гранично-допустимих концентрацій (ГДК) використовується для ідентифікації кожної шкідливої речовини, що викидається в повітря. Для робочих зон і виробничих приміщень це буде ГДК робочої зони, а для житлових районів — ГДК житлових районів.

результати аналізу забруднення повітря За допомогою комп'ютерного програмного забезпечення можна обробити зібрані дані та отримати загальну картину забруднення повітря на території та навколо підприємства. Для цього необхідно внести в програму інформацію про кожне джерело викидів, включаючи кількість шкідливих речовин, місця викиду та значення метеорологічних параметрів. Комп'ютер показує результати розрахунків у вигляді так званих полів розсіювання для кожної шкідливої речовини, яка наноситься на генеральний план аеропорту. Залежно від кількості шкідливих речовин, які були включені до програми, були створені відповідні поля розсіювання. У цих полях концентрації кожної речовини зображено ізолініями стосовно ГДК.

Аналіз полів розсіювання дає уявлення про забруднення повітря підприємствами, викиди та шляхи поширення забруднень в атмосферу. Це дозволяє зосередитися

на зменшенні їх. Зменшення забруднення атмосфери може відбуватися різними способами. Наприклад, інженерно-технічні заходи, такі як внесення змін до існуючих технологічних процесів, заміна обладнання на більш екологічно безпечне, покращення умов горіння палива у двигунах та інші. Іноді просто організаційні дії є достатніми. Однак у деяких випадках вирішення забруднення повітря вимагає комплексного підходу. Встановлення граничнодопустимих викидів (ГДВ) у повітря шкідливих речовин для кожного агрегату (двигуна, машини, обладнання тощо) щороку є реальним заходом для зменшення забруднення. Забороняється використовувати технології, які не задовольняють ці вимоги.

На якість атмосферного повітря в аеропорту та його околицях можуть впливати інші виробничі об'єкти, такі як заводи та теплові станції. Таким чином, міграція газів і викиди діяльності аеропорту складають загальне забруднення повітря. Під час створення екологічного паспорта та планування природоохоронних заходів це слід враховувати.

Крім того, необхідний періодичний інструментальний контроль забруднення повітря, який може здійснюватися уповноваженими організаціями, наприклад, міськими або районними санітарно-епідеміологічними станціями, щоб визначити помилки в розрахунках і внести корективи.

5.3. Вплив радіомаяка на людину

ГРМ має негативний вплив на навколишнє середовище. Впливають на це виробничий шум, електромагнітне, іонізуюче та теплове випромінювання. Сьогодні електромагнітне випромінювання є найнебезпечнішим фактором під час роботи ГРМ. Це дуже погано впливає на здоров'я людини. Генератори високочастотних і низькочастотних коливань (ВЧ і НВЧ) є першоджерелами електромагнітних коливань у радіотехнічних пристроях.

ЕМП природного походження (природний фон) постійно впливають на біосферу під час еволюції. Ці ЕМП включають електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, особливо ті, які створюється Сонцем.

Телевізійні та радіотрансляційні станції, установки радіолокації та радіонавігації, високовольні лінії електропередач, промислові установки високочастотного нагрівання, пристрої для мобільних і стільникових телефонів, трансформатори, антени та інші є джерелами штучного походження ЕМП. ЕМП можуть бути джерелами будь-яких елементів електричного кола, через які проходить високочастотний струм. У результаті ЕМП змінюється з тою ж частотою, що й струм.

Організм людини не є єдиним об'єктом, який страждає від впливу штучних електромагнітних полів. Параметри, які вони мають, значно перевищують природні параметри ЕМП.

Енергія, яка поширюється в просторі у формі електромагнітних хвиль, є ознакою електромагнітного поля. Характеристики електромагнітних хвиль включають довжину хвилі λ , м; частоту коливання f , Гц; і радіохвильну швидкість c , яка приблизно дорівнює швидкості світла $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Наступна залежність пов'язує ці параметри один з одним:

Залежно від частоти коливань (довжини хвилі) радіочастотні електромагнітні випромінювання поділяються на низку діапазонів [57].

ЕМП можуть мати несприятливі біологічні та функціональні наслідки для організму людини. Передчасна втомлюваність, часті болі голови, поганий сон, проблеми з центральною нервовою системою (ЦНС) і серцево-судинні проблеми є прикладами функцій. Зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання та деякі тропічні явища спостерігаються при регулярному опроміненні ЕМП. Сучасні дослідження показують, що радіочастотне випромінювання, впливаючи на центральну нервову систему (ЦНС), є значним фактором стресу.

Теплова та нетеплова дії демонструють біологічні несприятливі ефекти впливу ЕМП. На даний момент єдиним чинником, який можна вважати достатньо вивченим, є теплова дія електромагнітної помпи (ЕМП), яка призводить до підвищення температури тіла та місцевого нагрівання органів і тканин організму в результаті перетворення електромагнітної енергії в теплову. Особливо небезпечно це нагрівання для ор-

ганів, які мають погану терморегуляцію, таких як головний мозок, око, нирки, шлунок, кишківник і сім'яники. Наприклад, катаракта, або поступова втрата зору, може виникнути через випромінювання сантиметрового діапазону.

Сукупність магнітного та електричного полів створює змінні електромагнітні хвилі, які поширюються в просторі. Напруженість є основним параметром, який визначає як електричні, так і магнітні поля. Напруженість магнітного поля вказується на А/м, тоді як напруженість електричного поля вказується на В/м. Простір навколо джерела ЕМП умовно поділяють на дальню зону (зону випромінювання) і ближню зону (зону індукції). Для оцінки ЕМП у цих зонах застосовуються різні методи. Простір навколо джерела ЕМП має радіус приблизно $1/6$ довжини хвилі. У цій області ще не сформована електромагнітна хвиля, тому інтенсивність електромагнітної хвилі оцінюється окремо за напругою магнітного та електричного складових полів. У цій області електромагнітна хвиля має переважно несприятливу дію ЕМП. У ближній зоні зазвичай є робочі місця з джерелами електромагнітних випромінювань частот НЧ, СЧ, ВЧ і ДВЧ. Джерела електромагнітних випромінювань з довжиною хвилі менше 1 м (УВЧ, НВЧ і НЗВЧ) майже завжди знаходяться в дальній зоні, де вже виникла електромагнітна хвиля. У цій області ЕМП визначається за кількістю енергії (потужності), що переноситься хвилею у напрямку свого поширення. Поверхнева щільність потоку енергії (Вт/м^2) використовується для вимірювання кількості цієї енергії.

Допустимі значення ЕМП вимірюються на робочих місцях і в місцях, де можуть перебувати працівники. Контроль необхідно проводити регулярно, але не рідше одного разу на рік, а також під час введення в експлуатацію нових або оновлених установок з джерелами електроенергії (ЕМП), ремонту та переналаштування.

5.4. Захист від електромагнітних випромінювань

На робочих місцях є засоби та процедури захисту від ЕМ випромінювань радіочастотного діапазону. Вони поділяються на колективні та індивідуальні. Останні є організаційними, технічними та лікувально-профілактичними.

Організаційні заходи колективного захисту включають наступне [58]: розміщення об'єктів, які випромінюють ЕМП, таким чином, щоб зменшити ймовірність опромінення людей; «захист часом» — це обмеження кількості часу, необхідного для персоналу, щоб працювати в зоні дії ЕМП; «захист відстанню» — це віддалення робочих місць від джерел ЕМП на максимально можливу відстань; і «захист кількістю» — Екранування джерел випромінювання ЕМП, екранування робочих місць, дистанційне керування установками з джерелами ЕМП і застосування попереджувальної сигналізації є технічними засобами колективного захисту.

Лікувально-профілактичні заходи колективного захисту включають попередній і періодичний медогляд; надання додаткової оплачуваної відпустки та скорочення тривалості робочої зміни; і допуск до роботи з джерелами ЕМП осіб віком від 18 років і без протипоказань за станом здоров'я.

Засоби захисту від ЕМ випромінювань включають халати, комбінезони, захисні окуляри та інші. Халати та комбінезони виготовляються з спеціальної радіотехнічної тканини, яка складається з тонких металевих ниток. Радиозахисні окуляри ОРЗ-5 (ЗП5-90), на скло яких нанесено тонку прозору плівку напівпровідникового олова, використовують для захисту очей.

Можна захистити приміщення від зовнішніх ЕМП, оклеюючи стіни металізованими шпалерами та встановлюючи металеві сітки на вікнах. Крім того, були визначені граничнодопустимі параметри населення ЕМП [59].

Таблиця 5.1

Гранично допустимі для населення параметри ЕМП

Під діапазон частоти	Частота	Довжина хвилі	ГДР
Низькі частоти (НЧ)	30—300 кГц	10—1 км	25 В/м
Середні частоти (СЧ)	0,3—3 МГц	1—0,1 км	15 В/м
Високі частоти (ВЧ)	3—30 МГц	100—10 м	10 В/м
Дуже високі частоти (ДВЧ)	30—300 МГц	10—1 м	3 мВ/м
Ультрависокі частоти (УВЧ)	300—300 МГц	1—0,1 м	10 мкВт/см ²
Надзвичайно високі частоти (НВЧ)	3-300 ГГц	0,1-0,01 м	10 мкВт/см ²

Санітарний нагляд здійснюється таким чином: 1. Для потужного джерела енергії можна створити санітарну зону навколо випромінювача, яка може включати зони обмеженого користування та зони суворого режиму. Зона суворого режиму огорожується, людям там заборонено перебувати. У зоні обмеженого користування можна розмістити автостоянки, гаражі, склади, майстерні та інші місця, де людина може перебувати не більше 8 годин на добу. В цій зоні не можна будувати житло.

2:Зміна робочого кута нахилу антени, збільшення висоти підняття антени та перенесення РТО на інше місце є прикладами інженерно-технічних та організаційних заходів, які проводяться на радіотехнічному об'єкті.

3:Інженерно-технічні заходи поза РТО не змінюють технічні та експлуатаційні характеристики РТО. Їх метою є зменшення чи припинення опромінювання населення на окремих ділянках прилеглої території. Такі заходи потрібні під час вибору місця для побудови РТО, оскільки рівні ЕМП збільшуються через модернізацію обладнання та те, що житлові забудови розташовані близько до технічної території РТО.

Такі заходи включають встановлення захисних екранів, використання радіозахисних матеріалів, використання штучного чи природного захисту та містобудівні та планувальні рішення для зниження опромінювання.

Місцеві умови, можливість зміни параметрів РТО, доцільність і економічні витрати визначають, які заходи захисту навколишнього середовища ЕМВ застосовувати. Заходи колективного захисту мають більшу перевагу, оскільки вони мають більше можливостей і легко контролюються, створюючи допустимі електромагнітні умови на великій території [60].

Висновки. Проблема взаємодії між людським суспільством і природою стає особливо важливою в умовах науково-технічної революції, що розвивається в останньому сторіччі.

Авіація несе значну частку збитків для навколишнього середовища. Збитки, пов'язані з радіоелектронним устаткуванням, включають підвищення впливу ЕМП на навколишнє середовище, споживання електроенергії та різні матеріали, необхідні для створення конструкції пристрою.

З кожним роком зростає занепокоєння щодо охорони навколишнього середовища, головним чином через різке зростання шкідливих викидів, спричинених транспортом і промисловістю, які завдають значного збитку екосистемі. Деякі зміни, які відбуваються в навколишньому середовищі, очевидні для всіх. Це забруднення повітряного басейну, морських акваторій і прісноводних водойм, порушення ґрунтового покриву, лісових ресурсів, зменшення чисельності та навіть повне зникнення деяких видів рослин і тварин.

Зараз питання електромагнітної безпеки та захисту навколишнього середовища від впливу ЕМВ є надзвичайно важливими в усьому світі. Наразі кожна галузь зацікавлена у вирішенні проблеми електромагнітного забруднення довкілля. Таким чином, необхідно залучати висококваліфікованих фахівців з різних сфер.

Багато факторів впливають на захист від ЕМВ, включаючи кількість передавачів, потужність, ступінь екранування та розташування окремих блоків усередині та за межами приміщення. Ми розглянули кілька з них і визначили безпечну відстань, яку люди можуть мати від випромінювача.

ВИСНОВКИ

Дослідження та аналіз методів підвищення точності локалізації вузлів бездротової сенсорної мережі свідчать про значущий прогрес у цьому напрямку. Оптимізація точності локалізації вузлів є важливим завданням у розвитку бездротових сенсорних мереж, оскільки це сприяє поліпшенню якості збору та обробки даних, а також впливає на ефективність функціонування мережі в цілому.

У ході досліджень було виявлено, що використання комбінованих методів, які базуються на використанні різних видів сенсорів та алгоритмів обробки даних, дозволяє досягти високої точності локалізації вузлів. Зокрема, використання інтеграції даних з акселерометрів, гіроскопів, магнітних датчиків та Wi-Fi модулів сприяє покращенню результатів локалізації. Також важливим фактором є використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу та обробки даних. Це дозволяє побудувати моделі, які здатні враховувати різні умови та особливості середовища, що дозволяє досягти більш точної локалізації.

Незважаючи на досягнуті успіхи, важливо зазначити, що існують певні виклики у покращенні точності локалізації, такі як енергоефективність, стійкість до перешкод та забезпечення конфіденційності даних. У подальших дослідженнях рекомендується акцентувати увагу на вирішенні цих проблем, щоб забезпечити ефективність та надійність бездротових сенсорних мереж у реальних умовах використання.

Під час виконання кваліфікаційної роботи:

- досліджено різні методи локалізації вузлів у бездротовій сенсорній мережі;
- запропоновано метод підвищення точності локалізації вузлів у бездротовій сенсорній мережі на базі методу DV-Nop;
- розроблено програмне забезпечення для проведення обчислювальних експериментів і перевірки працездатності розробленого методу;
- проведено експериментальні дослідження та порівняльний аналіз методу DV-Nop і розробленого методу;
 - доведено працездатність запропонованого в роботі методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Bochem and H. Zhang, "Robustness Enhanced Sensor Assisted Monte Carlo Localization for Wireless Sensor Networks and the Internet of Things," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 33408-33420.
2. R. Jiang, Q. Wu and Y. Xu, "A Node Localization Algorithm in WSNs Based on Iterative Estimation," 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), Chongqing, China, 2018, pp. 650-654.
3. Y. Cao, Y. Zhao and F. Dai, "Node Localization in Wireless Sensor Networks Based on Quantum Annealing Algorithm and Edge Computing," 2019 International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), Atlanta, GA, USA, 2019, pp. 564-568.
4. S. Sivasakthiselvan and V. Nagarajan, "Localization Techniques of Wireless Sensor Networks: A Review," 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, 2020, pp. 1643-1648.
5. S. Yu, X. Su and J. Zeng, "Cooperative Localization with Velocity-Assisted for Mobile Wireless Sensor Networks," 2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), Bangkok, Thailand, 2018, pp. 131-136.
6. F. Han and X. Liu, "Anchor-Pairs Conditional Decision-Based Node Localization for Anisotropic Wireless Sensor Networks," 2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Chongqing, China, 2019, pp. 84-88.
7. H. Li, D. Yu, Y. Hu and H. Yu, "Grey Model Prediction Based Monte Carlo Localization Boxed Algorithm for Wireless Sensor Network," 2019 IEEE 5th

- International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2019, pp. 619-623.
8. W. T. EL-Gzzar, H. B. Nafea and F. W. Zaki, "Application of Wireless Sensor Networks Localization in Near Ground Radio Propagation Channel," 2020 37th National Radio Science Conference (NRSC), Cairo, Egypt, 2020, pp. 145-154.
 9. P. Mohammadzadeh, S. M. Fard, G. Azarnia and M. A. Tinati, "Location Estimation of Sensor nodes in 3-d Wireless Sensor Networks Based on Multidimensional Support Vector Regression," 2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Yazd, Iran, 2019, pp. 1725-1729.
 10. G. Chen and P. Xu, "Wireless sensor network node localization research based on improved wolves algorithm," 2020 19th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES), Xuzhou, China, 2020, pp. 182-185.
 11. X. Liu and X. You, "Node Localization Algorithm Based on Improved DV-Hop Wireless Sensor Network," 2021 5th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI), Tianjin, China, 2021, pp. 1-5.
 12. Y. Jin, L. Zhou, L. Zhang, Z. Hu and J. Han, "A Novel Range-Free Node Localization Method for Wireless Sensor Networks," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 11, no. 4, pp. 688-692.
 13. R. Mehannaoui and K. N. Mouss, "A Study with Simulation of Range Free Localization Techniques in Wireless Sensors Networks," 2019 International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE), Algiers, Algeria, 2019, pp. 1-4.
 14. C. Chen and Z. Chen, "Node Location In Distributed Wireless Sensor Networks Based on Weighted Least Square Estimation," 2019 6th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), Harbin, China, 2020, pp. 175-182.
 15. M. Balouch, A. Abro, J. A. Baloch, R. Noor and K. Manzoor, "ISDV-Hop Localization Algorithm with Increased Node Density In Wireless Sensor

- Networks," 2018 8th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), Beijing, China, 2018, pp. 140-145.
16. S. K. Gottapu and V. Appalaraju, "Cognitive radio wireless sensor network localization in an open field," 2018 Conference on Signal Processing And Communication Engineering Systems (SPACES), Vijayawada, India, 2018, pp. 45-48.
 17. K. V., "Enhancing Localization Accuracy in Wireless Sensor Networks using Range-free methods and RSS Measurements," 2018 International Conference on Recent Trends in Advance Computing (ICRTAC), Chennai, India, 2018, pp. 136-142.
 18. X. Shi, J. Su, Z. Ye, F. Chen, P. Zhang and F. Lang, "A Wireless Sensor Network Node Location Method Based on Salp Swarm Algorithm," 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Metz, France, 2019, pp. 357-361.
 19. E. George and S. Kirthiga, "Analysis of anisotropic wireless sensor network's range-free localization techniques based on salps swarm algorithm," 2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 2022, pp. 589-594.
 20. S. J. Bhat and K. V. Santhosh, "Fault Tolerant Localization Based on K-means Clustering in Wireless Sensor Networks," 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), Bangalore, India, 2020, pp. 1-5.
 21. Y. -J. Chang, C. -H. Ou and K. -F. Ssu, "A cluster analysis-based localization scheme for wireless sensor networks using mobile anchor nodes with directional antennas," 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), Chiba, Japan, 2018, pp. 1156-1158.
 22. M. Sandeli, M. A. Bouanaka and I. Kitouni, "An Efficient Localization Approach in Wireless Sensor Networks Using Chicken Swarm Optimization," 2021

- International Conference on Information Systems and Advanced Technologies (ICISAT), Tebessa, Algeria, 2021, pp. 1-6.
23. Y. Wang, J. Hang, C. Li, J. You, S. Chen and L. Cheng, "A Mobile Localization Method for Wireless Sensor Network in Mixed LOS/NLOS Environments," 2018 8th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), Beijing, China, 2018, pp. 87-90.
 24. X. Ma, N. Yu, T. Zhou, R. Feng and Y. Wu, "Graph Theory Based Localization of Wireless Sensor Networks for Radio Irregularity Cases," 2020 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD), Xi'an, China, 2020, pp. 51-56.
 25. T. K. Mishra, S. Kumar and A. K. Dass, "An Enhanced Path Planning Model for Anchor-Free Localization in Wireless Sensor Networks," 2018 International Conference on Information Technology (ICIT), Bhubaneswar, India, 2018, pp. 204-209.
 26. S. Shalini and R. Roja, "An Anchor Based Technique for Network Localization in Underground Optical Wireless Sensor Network (UOWSN)," 2020 7th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS), Chennai, India, 2020, pp. 1-5.
 27. R. Samanta, C. Kumari, N. Deb, S. Bose, A. Cortesi and N. Chaki, "Node localization for indoor tracking using artificial neural network," 2018 Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), Barcelona, Spain, 2018, pp. 229-233.
 28. Z. Zhao and L. Zhang, "An efficient localization algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks," 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, China, 2019, pp. 677-681.
 29. S. H. Sackey, J. Chen, A. J. Henry and X. Zhang, "A Clustering Approach Based on Genetic Algorithm for Wireless Sensor Network Localization," 2019 15th

- International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS), Macao, China, 2019, pp. 54-58.
30. Z. Fan, H. Chu, F. Wang and J. Lu, "A New Non-Line-of-Sight Localization Algorithm for Wireless Sensor Network," 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2020, pp. 858-862.
 31. R. S and P. J. Jayarin, "Improved Localization Algorithm Using Hybrid Firefly Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network," 2022 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSSES), Chennai, India, 2022, pp. 1-5.
 32. A. Altarazi, N. Al-Madi and F. Awad, "Geometric-Based Localization for Wireless Sensor Networks," 2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), Irbid, Jordan, 2020, pp. 108-112.
 33. X. Wan, L. Shen, Z. Chen and H. Xu, "An Efficient Virtual Nodes-based APIT Localization Algorithm with Low Computational Cost," 2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP), Shanghai, China, 2018, pp. 1-4.
 34. Y. Zhang and Y. Ding, "Performance Comparison of Localization Algorithm Based on the N-hop Anchors for Wireless Sensor Networks," 2019 8th International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE), Zhengzhou, China, 2019, pp. 1-3.
 35. R. Goyat, M. K. Rai and G. Kumar, "Recent Advances in DV-hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," 2019 3rd International Conference on Data Science and Business Analytics (ICDSBA), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 415-422.
 36. H. Li and D. Yu, "An Improved DV-Hop Localization Algorithm Based on Error Vector Modification for Wireless Sensor Network," 2019 IEEE International Conferences on Ubiquitous Computing & Communications (IUCC) and Data Science and Computational Intelligence (DSCI) and Smart Computing, Networking and Services (SmartCNS), Shenyang, China, 2019, pp. 500-505.

37. R. Su, X. Pang, Z. Gong, C. Li, X. Tao and F. Jiang, "A Mobile Node Assisted Localization System for Wireless Sensor Networks," 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Harbin City, China, 2021, pp. 1716-1720.
38. W. Ji, X. Liu and E. Zou, "Range-free Localization Based on Adaptive Anchor Selection for Wireless Sensor Networks," 2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Changchun, China, 2019, pp. 775-779.
39. N. A. Azmi, S. Samsul, Y. Yamada, M. F. Mohd Yakub, M. I. Mohd Ismail and R. A. Dziauddin, "A Survey of Localization using RSSI and TDoA Techniques in Wireless Sensor Network: System Architecture," 2018 2nd International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN), Kuching, Malaysia, 2018, pp. 131-136.
40. Y. Lin, H. Tao, Y. Tu and T. Liu, "A Node Self-Localization Algorithm With a Mobile Anchor Node in Underwater Acoustic Sensor Networks," in IEEE Access, vol. 7, pp. 43773-43780, 2019.
41. T. M. Bani Yaseen and F. H. Awad, "Intelligent WSN Localization using Multi-Linear Regression and a Mobile Anchor Node," 2022 13th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), Irbid, Jordan, 2022, pp. 209-213.
42. V. Dharmadhikari, N. Pusalkar and P. Ghare, "Path Loss Exponent Estimation for Wireless Sensor Node Positioning: Practical Approach," 2018 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), Indore, India, 2018, pp. 1-4.
43. H. Liouane, S. Messous, O. Cheikhrouhou, M. Baz and H. Hamam, "Regularized Least Square Multi-Hops Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," in IEEE Access, vol. 9, pp. 136406-136418.
44. L. Zhang, H. Yang, Y. Yu and F. Peng, "A Three-Dimensional Node Security Localization Method for WSN Based on Improved RSSI-LSSVR Algorithm," 2018

- 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Changsha, China, 2018, pp. 182-186.
45. T. Mankong, M. M. Maw and S. Promwong, "5.8 GHz Wireless Localization Based Weighted Algorithm for Home Network Applications," 2020 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), Chiang Mai, Thailand, 2020, pp. 1-4.
 46. S. Salari, I. -M. Kim and F. Chan, "Distributed Cooperative Localization for Mobile Wireless Sensor Networks," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 7, no. 1, pp. 18-21.
 47. L. Peng, C. Guifen and G. Ruijuan, "Research on wireless sensor network location based on Improve Pigeon-inspired optimization," 2019 IEEE/CIC International Conference on Communications Workshops in China (ICCC Workshops), Changchun, China, 2019, pp. 228-232.
 48. Y. Jing, H. Tao and Y. Lin, "Research on Localization Algorithm of Wireless Sensor Networks Based on IoT," 2019 11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), Xi'an, China, 2019, pp. 1-5.
 49. T. Ahmad, X. J. Li and B. -C. Seet, "3D Localization Using Social Network Analysis for Wireless Sensor Networks," 2018 IEEE 3rd International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS), Singapore, 2018, pp. 88-92.
 50. K. Sabale, S. Sapre and S. Mini, "Obstacle Handling Mechanism for Mobile Anchor Assisted Localization in Wireless Sensor Networks," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 19, pp. 21999-22010.
 51. ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».
 52. НПАОП 0.00-1.29-97 «Правила захисту від статичної електрики».
 53. ДСТУ 12.1.005-88 «ССБП. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».
 54. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом».

55. ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги».
56. НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні»
57. Прогнозування екологічних ризиків з використанням аналізу ієрархів та теорії нечітких множин: міжнародна науково-практична конференція «І-й всеукраїнський з'їзд екологів»: Тези доповідей. Україна, м. Вінниця, 4-7 жовтня 2016. – 2016. – С.25.
58. Клап Я. А., Яремкевич О. С., Червцова В. Г., Заярнюк Н. Л., Новіков В. П., Дослідження впливу електромагнітних, постійних магнітних та акустичних полів на організм людини // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2016 – № 812. – С. 365–372.
59. Сучасний стан досліджень впливу електромагнітних випромінювань на організм людини [Електронний ресурс]/[А. П. Чорний, В. В. Никифоров, Д. І. Родькін, В. Ю. Ноженко] // Інженерні та освітні технології в електротехнічних та комп'ютерних системах: щоквартальний науково-практичний журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013.
60. Боротьба з шумом на виробництві: Довідник / Під ред. О. Я. Юдіна. – К: Машинобудування, 2015. – 297 с.