

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіотехнічний факультет та сектор
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.396.969.11

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
С.А. Мис (ініціали, прізвище)
С.А. Мис (підпис)

«14» грудня 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за спеціалізацією Радіотехнічна інформатика
Інформація
(код і назва спеціальності)

на тему: Алгоритми визначення RFID-міток для
основі RSS-вимірювань

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи РІ-81а
(шифр групи)
Григорук Дмитро Григорович (прізвище, ім'я, по батькові) [підпис] (підпис)

Науковий керівник асистент, к.т.н. Товкач І.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) [підпис] (підпис)

Консультант ох. праці к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) [підпис] (підпис)

Рецензент В.о. зав. кафедр РС К.Т.Н., доц. Шибко І.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) [підпис] (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент [підпис] (підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут)

Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра

Радіотехнічних систем зв'язу в м. Києві
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізація Радіотехнічні інформаційні системи
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.М.К. С.Я.К.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«10» вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Григорю Сергію Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Алгоритм визначення місцезнаходження RFID-міток на основі RSS-вимірювань

науковий керівник дисертації _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «12» 11 2019 р. № 3881-С

2. Строк подання студентом дисертації 14 грудня 2019р

3. Об'єкт дослідження Процес визначення місцезнаходження RFID-міток

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Метод визначення місцезнаходження RFID-міток

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Проаналізувати методи визначення місцезнаходження RFID-міток на основі RSS-вимірювань
2. Розробити алгоритм визначення місцезнаходження RFID-міток

та першесті сою ефектів з вірними методами

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу _____

Презентація на тему магістерської дисертації. Аналіз впливу
звичайних мікрохвильових RFID-міток на основі PSS-випробочої кімнати ІЗС

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

Результати використання в
магістерській дисертації" представлено на двох науково-
технічних конференціях

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 10 Вересня 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Отримано завдання на магістерську дисертацію	10.09.2019 - 11.09.2019	Виконано
2.	Тематична збірка літератури з теми дисертації	11.09.2019 - 29.09.2019	Виконано
3.	Тематична збірка з питань безпеки праці	29.09.2019 - 05.10.2019	Виконано
4.	Розробка алгоритму випробочої кімнати RFID	05.10.2019 - 05.11.2019	Виконано
5.	Дослідження впливу електромагнітних полів	05.11.2019 - 14.11.2019	Виконано
6.	Розробка розділу охорони праці	14.11.2019 - 20.11.2019	Виконано
7.	Розробка розділу висновків	20.11.2019 - 30.11.2019	Виконано
8.	Отримано дозвіл на захист	12.12.2019	

Студент

(підпис)

С.Т. Трушова
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

І.О. Товкач
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 83 сторінки, які включають в себе 6 розділів, 22 ілюстрації, 15 таблиць, 19 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: RFID-мітки, визначення місцеположення, фільтр Калмана, RSS-вимірювання.

Актуальність теми дослідження. Автоматизовані системи моніторингу відіграють важливу роль в житті людей. Їх використовують для визначення об'єктів та спостереження за ними в приміщеннях чи на певній території. Для розпізнавання предметів застосовують радіочастотну ідентифікацію з використанням RFID-міток та бездротової сенсорної мережі. Для визначення місцеположення RFID-міток використовують потужність прийнятого сигналу (RSS-вимірювання). Обчислення координат, на основі RSS-вимірювань, відбувається за допомогою методу найменших квадратів після отримання усіх даних від датчиків, при цьому точність визначення місцеположення предметів не досягає потенційної нижньої границі Рао-Крамара, а також це призводить до збільшення обчислювальних затрат.

Мета та завдання. Підвищення точності визначення місцеположення RFID-міток шляхом розробки алгоритму, який буде уточнювати координати міток по мірі надходження RSS-вимірювань від датчиків сенсорної мережі.

Об'єкт дослідження. Процес визначення місцеположення RFID-міток.

Предмет дослідження. Методи визначення місцеположення RFID-міток.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, лінійної і нелінійної фільтрації в дискретному часі, статистичної теорії прийняття рішень і статистичного моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів: Розроблено рекурентний алгоритм оцінювання місцеположення RFID-міток, в якому, на відміну від існуючих, враховується дисперсія помилок вимірювання потужності

датчиками мережі і реалізована послідовна обробка RSS-вимірювань від датчиків сенсорної мережі, що дозволяє уникнути обертання матриць великих розмірностей.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблений алгоритм на основі RSS-вимірювань дозволяє зменшити СКВ помилки визначення місцеположення RFID-мітки в порівнянні з відомими методами на 32-36%.

2. Конфігурація з восьми датчиків забезпечує найбільш рівномірний вид ізоліній кругового СКВ помилки визначення місцеположення в горизонтальній площині.

3. Розроблений алгоритм визначення місцеположення на основі RSS-вимірювання не вимагає значних обчислювальних затрат і може бути реалізований на сучасних мікропроцесорах в масштабі реального часу.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації та основні положення, отримані в роботі, представлялися на: міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні поля, сигнали та системи» (м. Київ, 2019; XII науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Радіоелектроніка в XXI столітті» (м. Київ, 2018);

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 2 тез доповідей.

ABSTRACT

The volume of the explanatory note of the master's thesis is 83 pages, which include 6 sections, 22 illustrations, 15 tables, 19 bibliographic names according to the list of sources of links.

Keywords: RFID tags, location, Kalman filtering, RSS measurements.

Relevance of the research topic. Automated monitoring systems play an important role in people's lives. They are used to identify objects and monitor them indoors or in a specific territory. RFID tags and wireless sensor networks are used for object recognition. The received signal strength (RSS measurement) is used to determine the location of unknown RFID tags. Coordinate calculation, based on RSS measurements, is performed using the least-squares method after all sensor data is obtained, with the precision of the object location accuracy not reaching the potential lower bound of Rao-Kramar, and this leads to an increase in computational waste.

Purpose and tasks. Improving the accuracy of RFID tag location by developing an algorithm for refining the RFID tag's location as RSS measurements are received from sensor network and reducing the computational cost of implementing this algorithm.

Object of research. The object is the process of determining the location of RFID tags.

Subject of research. The subject is RFID tag location methods.

Research methods. Methods of theory of probabilities, linear and nonlinear filtering in discrete time, statistical decision theory and statistical modeling on computers were used in the work.

Scientific novelty of the obtained results. An algorithm for estimating the location of the RFID tag is developed in which, unlike the existing ones, the dispersion of power measurement errors is taken into account by the network sensors and a consistent measurement processing is implemented, which avoids the rotation of large-dimensional matrices.

The practical significance of the results obtained.

1. The algorithm developed on the basis of RSS measurements allows to change the SLE of the error of determining the location of the RFID tag in comparison with the known methods by 32-36%.

2. The configuration of the eight sensors provides the most uniform appearance of the isolines of the steep SLE location in the horizontal plane.

3. The developed RSS location measurement algorithm does not require significant computational cost and can be implemented on modern real-time microprocessors.

Testing the results of the thesis. The dissertation materials and the main provisions received in the work were presented at: international scientific and technical conference "Radio engineering fields, signals and systems" (Kyiv, 2019; XII scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists "Radio electronics in the XXI century" (Kyiv, 2018);

Publications. According to the results of the dissertation, 2 abstracts were published.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації

на тему: Алгоритм визначення місцеположення RFID-міток на основі RSS-вимірювань

Київ — 2019 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА ЗАСОБИ ВИРІШЕННЯ	15
1.1 Аналіз RFID-міток та їх типів.....	15
1.1.1 Пасивні RFID-мітки.....	18
1.1.2 Напівпасивні RFID-мітки.....	21
1.1.3 Активні RFID-мітки.....	22
1.1.4 Імпульсні активні RFID-мітки	24
1.1.5 Активні RFID-мітки як транспондер	24
1.1.6 Активні RFID-мітки специфікації 802.11	25
1.2 Датчики	25
1.3 Висновки по розділу	28
2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ТА РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ	29
2.1 Методи визначення дальності	29
2.1.1 RSS (Received Signal Strength)	29
2.1.2 AoA (Angle of Arrival)	30
2.1.3 ToA (Time of Arrival)	32
2.1.4 TDoA (Time Difference of Arrival)	34
2.2 Методи розрахунку координат	36
2.2.1 МНК – метод найменших квадратів.	36
2.2.2 Формули Баєса	38
2.2.3 Фільтр Калмана	40

	10
2.3 Висновки до розділу	43
3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ RFID-МІТОК НА ОСНОВІ RSS-ВИМІРЮВАНЬ	45
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ RFID-МІТОК НА ОСНОВІ RSS-ВИМІРЮВАНЬ	52
4.1 Розробка алгоритму	52
4.2 Аналіз ефективності розробленого алгоритму	55
4.3 Аналіз можливостей практичної реалізації розробленого алгоритму	58
4.4 Висновки до розділу	60
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.	61
5.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.	62
5.2.1 Електробезпека.....	62
5.2.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин	64
5.2.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ЕОМ	64
5.2.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам.....	67
5.2.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.	68

	11
5.2.6 Виробничий шум.....	68
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	70
5.3.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації	70
5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.	71
5.3.3 Пожежна безпека.....	73
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	75
6.1 Опис ідеї проекту	75
6.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї	76
6.3 Технологічний аудит ідеї проекту.....	77
6.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	77
6.5 Визначення потенційних клієнтів	78
6.6 Аналіз ринкового середовища	79
6.7 Аналіз сильних та слабких сторін	79
6.8 Висновки до розділу	81
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
EOM	електронна обчислювальна машина
ISM	Industrial, scientific and medical
RTLS	Real Time Location System
AoA	Angle of Arrival
ToA	Time of Arrival
TDoA	Time Difference of Arrival
МНК	електронна обчислювальна машина
СКВ	середньоквадратичне відхилення
БСМ	бездротова сенсорна мережа
DSP	Digital Signal Processor

ВСТУП

Моніторинг та облік є невід'ємною частиною виробництва на підприємстві, в магазинах та складах. Завдяки цьому якість виробництва та продажу значно збільшується, так легше контролювати кількість товарів, а також аналізувати тренд і популярність товарів серед людей. Але самотужки це все зробити дуже важко, тому все йде до автоматизації процесу, щоб зменшити людський вплив та збільшити якість.

Завдяки автоматизованим системам моніторингу можливо застосовувати ці засоби в більшій кількості сфер: у лікарнях, бібліотеках, приміщеннях, поза межами приміщень. Немає більше потреби у великій кількості людей, яка буде за цим всім стежити, а потрібно одну людину, яка буде спостерігати за рухом об'єктів на певній території і приймати рішення в разі якихось незвичайних ситуаціях.

До таких систем постійно збільшуються вимоги як по точності, швидкості обробки даних, об'ємам оброблюваних даних так і по економічних показниках. Для охоплення цієї кількості характеристик на допомогу виступає RFID технологія, котра при вдалому виборі елементів задовольняє вимогам. При використанні великої кількості RFID-міток, зростають обчислювальні витрати, необхідні для точного визначення положення на певній території, зростають завади при отриманні сигналу від цих міток.

Для створення автоматизованої системи моніторингу використовують бездротову сенсорну мережу, яка має великий радіус дії, а також з розвитком технологій здатна відстежувати рухомі об'єкти. Щоб визначати місцеположення RFID-міток застосовують метод, який базується на отриманій потужності сигналу від міток (RSS-вимірювання). Такий підхід легко реалізувати практично. Але в чистому вигляді використання цього методу не дає достатньої точності визначення місцеположення RFID-міток.

Метою магістерської роботи є підвищення точності визначення місцеположення RFID-міток шляхом розробки рекурентного алгоритму, який буде уточнювати координати міток по мірі надходження RSS-вимірювань від датчиків бездротової сенсорної мережі.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА ЗАСОБИ ВИРІШЕННЯ

Автоматизовані системи моніторингу та обліку призначені для спрощення життя людей, вони виконують дуже важливу роль на підприємствах, складах, лікарнях. Основна їхня роль це визначення місцеположення об'єктів та їх відображення на екрані для спостереження за їх станом чи наявністю і все це необхідно робити в реальному часі, щоб затримка положення була мінімальною і можна було б легко відстежувати об'єкти. Тому є дуже важливим те, щоб такі системи могли працювати з великою кількістю об'єктів, які одночасно визначаються і відображаються.

Для вирішення цієї проблеми, пов'язаної з недостатньою точністю визначення місцеположення та досить невеликою кількістю оброблюваних даних використовують технологію радіочастотної ідентифікації(RFID), яка на сьогоднішній день дуже популярна і широко розвивається.

RFID — технологія призначена для ідентифікації об'єктів шляхом обміну даними радіочастотним каналом. За допомогою цієї технології дані передаються в режимі реального часу, що забезпечує постійний контроль за об'єктами. Така система дуже проста в реалізації і має багато хороших якостей, таких як: дешевизна системи, ефективність використання. Для створення системи моніторингу з використанням RFID-технології необхідно: RFID-мітки, зчитувач або декілька, антени, сервер або пристрій для збереження та обміну даних, а також користувацький інтерфейс, для зрозумілого використання у побуті. Але основними елементами є RFID-мітки та зчитувачі.

1.1 Аналіз RFID-міток та їх типів

RFID-мітка — це передавальний пристрій, який містить антену, інформацію про себе, а також може мати батарею живлення та внутрішню пам'ять для запису/читання даних.

Індустрія RFID-міток засвідчила феноменальне зростання після оголошення кількох ключових мандатів на RFID великими вітчизняними роздрібними торговцями, міністерством оборони США та європейськими роздрібними торговцями, такими як Metro AG та Tesco. Найвідомішим з них було повідомлення від WalMart в червні 2003 року про те, що їх топ-100 постачальників вимагатимуть включити RFID-мітки на рівні складів для відправлень, що надходять до торгового центру або магазину WalMart. Незабаром після цього, з не менш важливим повідомленням Міністерства оборони, було детально описано майбутні вимоги щодо використання RFID від усіх 40 000 постачальників DoD. Ці та інші подібні повідомлення від відомих компаній, таких як Target Corporation, Best Buy, Circuit City, Sears, Albertsons та Kroger, катапультиували раніше непомічену галузь RFID до небувалої популярності в очах Уолл-стріт, преси.

Більшість вироблених сьогодні RFID-міток - це пасивні RFID-мітки, що складаються, в основному, з мікросхеми та антени. Їх називають пасивними мітками, тому що вони активно працюють тоді, коли знаходяться в полі радіочастотного пасивного зчитувача RFID-міток або опитувача.

Інший тип поширених RFID-міток на сьогоднішній день на ринку відомий як активні RFID-мітки, які зазвичай містять батарею, яка безпосередньо забезпечує радіочастотний зв'язок. Це вбудоване джерело живлення дозволяє активній RFID-мітці передавати інформацію, яка міститься всередині з великим діапазоном, або постійно передаючи цю інформацію до зчитувача RFID-міток, або передавати лише тоді, коли це буде потрібно. Активні мітки зазвичай мають більший розмір і можуть містити значно більше інформації (через більшу кількість пам'яті), ніж пасивні мітки. У табл. 1.1 наводиться порівняння активних та пасивних радіоміток.

Таблиця 1.1 — Порівняння активних та пасивних радіоміток

	Пасивні	Активні
Джерело живлення	Живлення надходить від зчитувача	Внутрішнє
Батарея	Немає	Є
Доступність потужності мітки	Лише за наявності зчитувача	Продовж тривалий час
Вимоги до потужності зчитувача	Дуже високі	Дуже низькі
Потуність сигналу мітки	Дуже низька	Висока
Дальність дії	Короткий, або дуже короткий(менш ніж 10м)	Велика(більш ніж 100 м)
Можливість зчитування	Можливо зчитувати дані протягом тривалого часу	Зчитування даних відбувається тільки тоді, коли зчитувач знаходиться поруч
Обсяг даних	Великий об'єм даних близько 128 кб	Дуже малий об'єм даних(128 байт)

У межах цих основних категорій RFID-міток можна знайти такі підкатегорії, як напівпасивні, транспондерні активні та радіомагнітні RFID-мітки.

1.1.1 Пасивні RFID-мітки

Пасивні RFID-мітки, як правило, не мають вбудованого джерела живлення. Натомість, пасивна RFID-мітка отримує всю свою енергію від енергетичного поля, що надходить від зчитувача або опитувача RFID. У типовому пасивному дизайні RFID-міток, мітка не має джерела живлення і не може передавати інформацію, якщо вона не знаходиться в межах прийняттого діапазону зчитувача RFID.

Опитувачі бувають у багатьох формах, два поширені приклади - це кишенькові пристрої, а інші - великі стаціонарні моделі, здатні одночасно читати багато RFID-міток, коли вони проходять через точку проходження.

Пасивні RFID-мітки, зображені на рис. 1.1 складаються з обмотки та мікросхеми, що включає в себе базову схему модуляції, антену та енергонезалежну пам'ять.

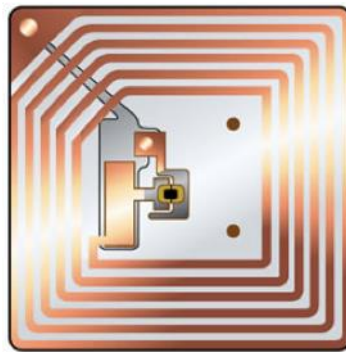


Рисунок 1.1 — Пасивна RFID-мітка

Пасивні RFID-мітки можуть відрізнятися тим, як вони передають дані читачам RFID та тим, як вони отримують живлення від індуктивного чи електромагнітного поля зчитувачів RFID. Зараз це виконується двома основними методами:

1) Модуляція навантаження та індуктивне з'єднання зображена на рис. 1.2 — у цьому підході зчитувач RFID забезпечує магнітне поле змінного

струму короткого діапазону, яке використовує пасивна RFID-мітка як для живлення, так і як засобу зв'язку.

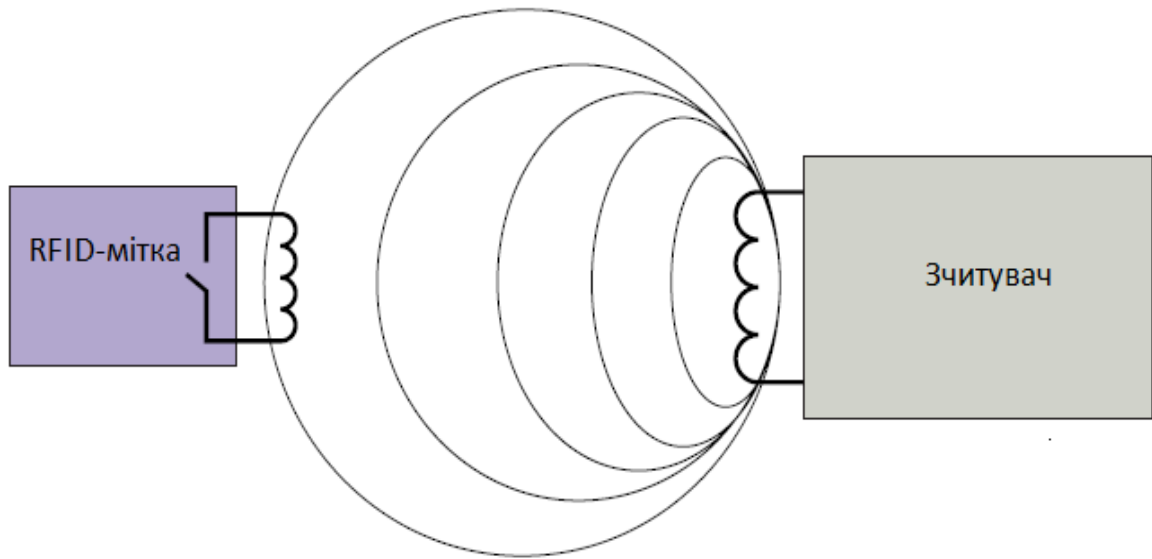


Рисунок 1.2 — Модуляція навантаження

Через індукційне з'єднання це поле індуктує напругу в котушці антени RFID-мітки. Мітка передає свою інформацію в зчитувач RFID, скориставшись тим, що щоразу, коли антена RFID-мітки використовує енергію з магнітного поля зчитувачів RFID, зчитувач RFID може виявляти падіння напруги в її антені. Мітка може передавати зчитувачу бінарну інформацію, включаючи та вимикаючи резистор навантаження для виконання модуляції навантаження. RFID-зчитувач виявляє це як амплітудну модуляцію напруги сигналу на антені зчитувача. Модуляція навантаження та індуктивне з'єднання можна знайти серед пасивних RFID-міток, що працюють на частотах 125-135 кГц і 13,56 МГц.

2) Модуляція зворотного розсіювання та електромагнітний зв'язок - у цьому підході, зображено на рис 1.3, RFID-зчитувач забезпечує електромагнітне поле середнього діапазону, яке використовує пасивна RFID-мітка як для живлення, так і як засобу зв'язку.

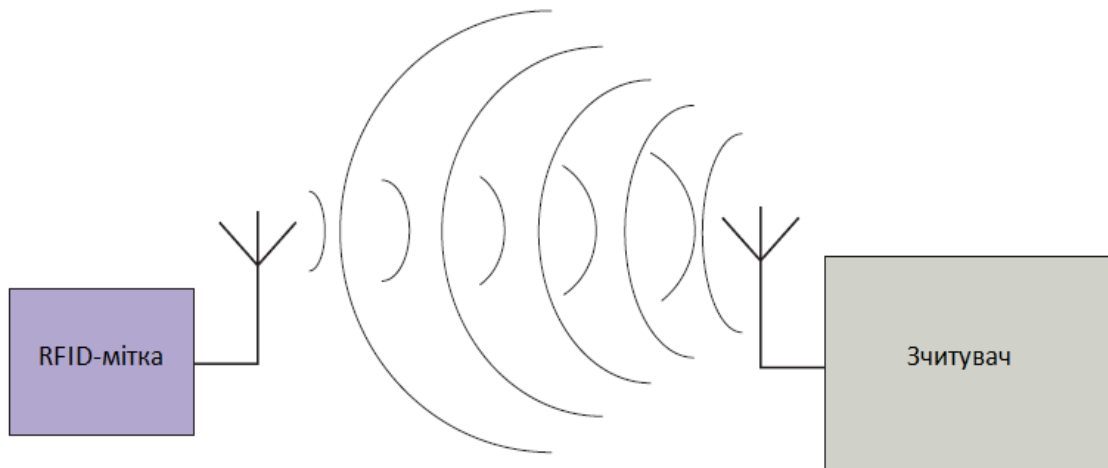


Рисунок 1.3 — Модуляція зворотного розсіювання

За допомогою електромагнітного зв'язку пасивна RFID-мітка також використовує енергію з електромагнітного поля зчитувача RFID для живлення мітки. Однак енергія, що міститься у вхідному електромагнітному полі, частково відбивається назад до RFID-зчитувача антеною пасивної мітки. Точні характеристики цього відображення залежать від навантаження, підключеного до антени. RFID-мітка варіює розмір навантаження, яке розміщується паралельно антені, щоб застосувати амплітудну модуляцію до відбитих електромагнітних хвиль, тим самим дозволяючи їй передавати корисну інформацію назад на зчитувач RFID за допомогою модуляції зворотного розсіювання. Модуляція зворотного розсіювання та електромагнітний зв'язок зазвичай забезпечують більший діапазон, ніж індуктивно пов'язані мітки, і їх можна знайти найчастіше серед пасивних RFID-міток, що працюють на частотах 868 МГц і вище.

Пасивні RFID-мітки дешевше виготовити, ніж активні RFID-мітки, і вимагають майже нульового обслуговування. Ці риси тривалої експлуатації та низької вартості одноразового використання роблять пасивні RFID-мітки привабливими для роздрібної торгівлі та виробників. Через свою залежність від енергетичних полів зовнішнього зчитувача та низького відбитого енергоспоживання пасивні RFID-мітки мають значно менший діапазон

зчитування (від декількох дюймів для міток, що використовують модуляцію навантаження, до кількох метрів для тих, хто використовує модуляцію зворотного розсіювання), а також нижчу надійність читання порівняно з активними RFID-мітками.

1.1.2 Напівпасивні RFID-мітки

Напівпасивні RFID-мітки долають два ключових недоліки чистого пасивного дизайну RFID-міток:

- 1) Відсутність безперервного джерела живлення для вбудованих схем моніторингу, телеметрії та датчиків
- 2) Короткий діапазон

Напівпасивні мітки відрізняються від пасивних міток тим, що вони використовують бортовий акумулятор для живлення, для зв'язку та допоміжних схем підтримки, таких як моніторинг температури та ударів. Цікаво відзначити, що хоча вони використовують бортове джерело живлення, напівпасивні RFID-мітки не використовують його для прямого генерування радіочастотної електромагнітної енергії. Швидше за все, ці RFID-мітки зазвичай використовують модуляцію зворотного розсіювання та відбивають електромагнітну енергію з зчитувача RFID для генерування сигналу-відповіді, подібних до стандартних пасивних RFID-міток. Бортовий акумулятор використовується тільки для забезпечення живлення модуляції зворотного розсіювання.

Напівпасивні RFID-мітки, що працюють в діапазоні ISM, можуть мати діапазон до 30 метрів з бортовими літєвими батареями, що тримають заряд кілька років. Діапазон значно покращений у порівнянні зі звичайними пасивними RFID-мітками, насамперед завдяки використанню оптимізованої для зворотного розсіювання антени в напівпасивній конструкції. На відміну від звичайної пасивної RFID-мітки, модульованої зворотним розсіюванням, антена, що міститься в напівпасивній мітці, присвячена модуляції зворотного розсіювання і не покладається на неї для забезпечення живлення для роботи

міток. Отже, цю антену можна оптимізувати, щоб максимально ефективно використовувати техніку зворотного розсіювання та забезпечити набагато кращі показники.

Існує декілька різновидів напівпасивних RFID-міток, із вбудованою NVRAM і без неї, годинниками в режимі реального часу та різними типами датчиків середовища. Напівпасивні RFID-мітки також підтримують інтерфейси для підключення індикаторів, ударних датчиків тощо.

1.1.3 Активні RFID-мітки

Активні RFID-мітки, як правило, використовуються для відстеження в реальному часі в системах із замкнутим циклом. Відносно більша вартість об'єктів, відстежуваних за допомогою активних RFID-міток (порівняно з тими, що зазвичай відстежуються з пасивним RFID). Медичне обладнання, електронне випробувальне обладнання, комп'ютерна техніка, контейнери для повторного використання та матеріали, що перебувають у складанні — це чудові приклади застосувань для технології активних RFID-міток. Активні RFID-мітки, зображені на рис. 1.4, можуть забезпечувати відстеження з точки зору присутності або в режимі реального часу.



Рисунок 1.4 — Активні RFID-мітки

Активні RFID-мітки є фізично більшими і зазвичай дорожчі, ніж пасивні RFID-мітки. Більшість систем RTLS засновані на використанні технології активних RFID-міток.

Активні RFID-мітки можуть містити 512 Кб оперативної пам'яті (або більше), що робить їх ідеальними для доступу до телеметричних систем. Це дозволяє активній RFID-мітці зберігати інформацію з пристроїв для передачі на зчитувач RFID. Цей великий об'єм пам'яті також робить активну RFID-мітку кращим для пасивного RFID в ситуаціях, коли RFID-мітка не може бути просто використана як номерний знак для негайного пошуку в хост-базі даних. Хорошим прикладом цього може бути військова установка, де база даних хостів може бути або не завжди доступна. Зберігаючи критичні дані безпосередньо у самій RFID-мітці, ця інформація може бути використана незалежно від наявності хост-системи.

Активні RFID-мітки можна знайти на частотах, включаючи 303, 315, 418, 433, 868, 915 та 2400 МГц, з діапазонами зчитування від 40 до 200 метрів. Відмінною особливістю технології активних RFID-міток є дуже високі показники зчитування через їх більш високу вихідну потужність передавача, оптимізовану антену та надійне джерело живлення. Вартість активних RFID-міток може суттєво відрізнятись залежно від обсягу пам'яті, необхідного ресурсу акумулятора та від того, чи включає в себе RFID-мітка функції з додатковою вартістю, такі як бортові датчики температури, виявлення руху або інтерфейси телеметрії. На довговічність корпусу RFID-міток також впливає ціна, оскільки більш довговічні або спеціалізовані корпуси мають більшу вартість. Як і у більшості електронних компонентів подібного характеру, можна очікувати зниження цін на активні RFID-мітки, оскільки технологічний прогрес, ефективність виробництва впливають на зниження цін на ринках.

Активні RFID-мітки можна розділити на ті, що працюють як транспондери, і ті, що працюють як маячки. Особливий інтерес представляють активні RFID-мітки, які працюють у неліцензованих смугах ISM та дотримуються протоколів IEEE 802.11. Ці спеціальні мітки відомі як активні RFID-мітки 802.11 (Wi-Fi).

1.1.4 Імпульсні активні RFID-мітки

Імпульсні активні RFID-мітки використовуються в багатьох системах RTLS і є первинним для використання, коли точне місце розташування об'єкту потрібно відстежувати в будь-якому місці та в будь-який час без необхідності попередньо встановлених опитувачів RFID-міток для запуску передачі даних з RFID-міток. За допомогою активної RFID-мітки, що містить маячок, коротке повідомлення корисного сигналу, випромінюється за попередньо запрограмованими інтервалами з унікальним ідентифікатором RFID-мітки. Цей інтервал запрограмований у RFID-мітку власником або користувачем RFID-мітки і може бути встановлений залежно від ступеня критичності, пов'язаної з оновленнями розташування RFID-мітки. Наприклад, інтервал руху може бути встановлений на кожні десять секунд або два рази на день, при цьому ціна, що сплачується за більш часті роботи, є скороченням часу роботи акумулятора разом із збільшенням радіочастотного зв'язку в мережі.

1.1.5 Активні RFID-мітки як транспондер

Транспондерні RFID-мітки містять власне джерело живлення, яке вмикається інтегральною схемою RFID-міток, яка активується від спеціалізованого типу зчитувача, відомого як збуджувач RFID-міток. На відміну від напівпасивних міток, які можуть передавати відповіді лише в енергетичному полі опитувача, активна мітка-транспондер використовує свою вбудовану батарею, щоб безпосередньо живити передачу відповідей з RFID-міток.

Ці RFID-мітки зазвичай монтуються на лобовому склі або іншій безперешкодній ділянці транспортного засобу. Під час наближення до платформи, що містить збудник RFID-міток, електромагнітне поле збуджувача активує передавач RFID. Активна мітка-транспондер відповідає, передаючи свій унікальний ідентифікатор до зчитувача, поки об'єкт залишається в межах діапазону

Ця методика забезпечує виявлення мітки та зберігає активний час роботи батареї мітки. Зазвичай тривалість маячка встановлюється заздалегідь запрограмованим внутрішнім таймером. Після закінчення інтервалу передачі активна мітка-транспондер повертається до призупиненого режиму, якщо знову не активується збудником.

1.1.6 Активні RFID-мітки специфікації 802.11

Активні мітки специфікації 802.11 (Wi-Fi) призначені для роботи в неліцензованих діапазонах ISM 2.4–2.4835 ГГц або 5.8–5.825 ГГц . Ці мітки демонструють особливості активних RFID-міток, як обговорювалося раніше, але також відповідають застосованим стандартам та протоколам IEEE 802.11. RFID-мітки Wi-Fi можуть легко обмінюватись даними безпосередньо зі стандартною інфраструктурою Wi-Fi без будь-яких спеціальних модифікацій апаратного чи вбудованого програмного забезпечення та можуть співіснувати поряд з клієнтами Wi-Fi, такими як ноутбуки, бездротові телефони VoIP тощо.

Незважаючи на те, що активи, оснащені клієнтськими радіоприймачами 802.11 Wi-Fi, можна відстежувати вдома без необхідності додавання міток, інші активи, у яких відсутня внутрішня радіостанція клієнта 802.11, можуть відслідковуватися через фізично прикріплений 802.11 активну RFID-мітку.

1.2 Датчики

На сьогоднішній день розроблено ряд датчиків для зчитування RFID-міток як пасивних так і активних. Зчитувачі є як стаціонарні так і ручні. Ручні здатні працювати на малих дистанціях безпосередньо контактуючи з RFID-мітками. Стаціонарні дозволяють опитувати RFID-мітки на великих дистанціях, що є дуже зручним і не потребує додаткового спорядження для зчитування багатьох RFID-міток.

Будь-який RFID-зчитувач має мікропроцесор, який формує основний радіочастотний сигнал в певному діапазоні частот зі встановленим рівнем

амплітуди. Після того як сформована радіохвиля, сигнал передається антеною в зовнішнє середовище і в залежності від типу антени розповсюджується з певною діаграмою направленості й опромінює RFID-мітки з певною модуляцією. Після того як датчик прийняв зворотній сигнал від RFID-мітки, він обробляє його в мікропроцесорі і перетворює в зрозумілий сигнал.

Основними характеристиками датчиків є точнісні характеристики синхронізації між датчиками і вимірювання часу приходу сигналу, точність визначення потужності прийнятого сигналу, швидкість обробки даних мікропроцесором.

Прикладом датчиків для зчитування пасивних RFID-міток є Impinj R420 (рис. 1.5) компанії Speedway [1]. Він підтримує високу швидкість читання незалежно від радіочастотного шуму чи перешкод, оскільки для читання піків використовуються вбудовані функції автоматизації. Працює на частотах 865–921 МГц, що відповідає сучасним стандартам RFID-міток. Даний датчик може обробляти 1100 RFID-міток за секунду. З використанням розширювача можливе підключення до 32 антен, в базовій комплектації підтримується 4 антени. Максимальна чутливість отриманої потужності становить -84 дБм.



Рисунок 1.5 — Високочастотний сенсор Impinj R420

Більшість активних RFID-міток використовують для передачі даних Wi-Fi IEEE 802.11 [2]. Інформація передається у вигляді послідовності фреймів (рис. 1.6).

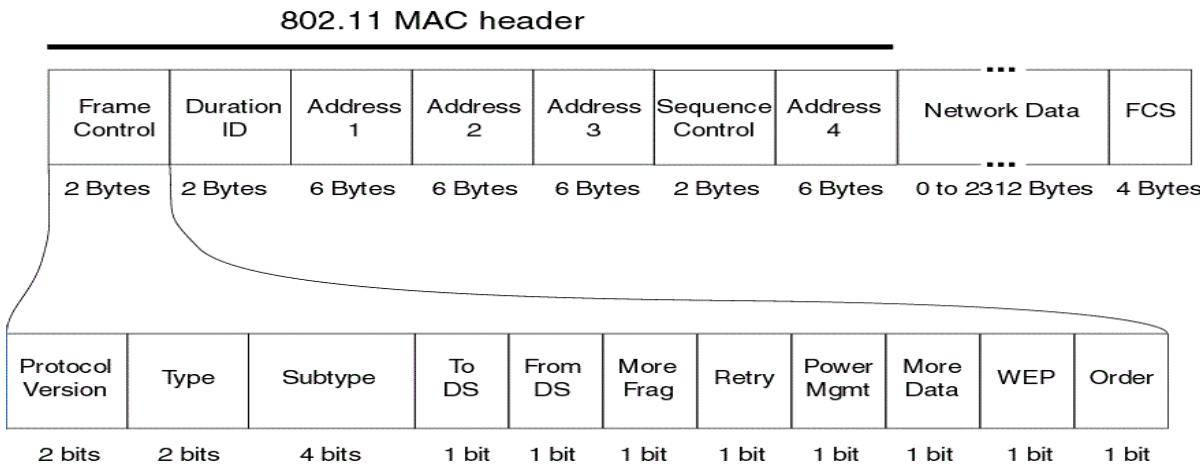


Рисунок 1.6 — Фрейми MAC адреси

Фрейми містять MAC-адреси джерела (Address 2) і одержувача (Address 1), номер фрейма (Sequence Control) в послідовності, тіло фрейма і перевірючу послідовність фрейму для корекції помилок. Це дозволяє розрізнити між собою як мітки, так і окремі випромінені ними фрейми.

1.3 Висновки по розділу

1. Системи моніторингу та обліку переходять в сторону автоматизації і зменшення впливу людського фактору для покращення їх ефективності. Тому є актуальним, що такі системи повинні забезпечувати максимальну точність та швидкість роботи

2. Для створення систем моніторингу використовують технологію радіочастотної ідентифікації, яка дозволяє визначати об'єкти за допомогою радіочастотного випромінювання.

3. Тип RFID-міток потрібно обирати відносно поставлених задач та умов середовища в якому вони будуть використовуватись. Для нашого завдання найкраще підходять пасивні RFID-мітки високочастотного діапазону, тому що вони мають найбільшу дальність дії (до 10м) та є недорогими. Більш дорогим рішенням є використання активних RFID-міток, тому що вони виконані в захисному корпусі з портативним джерелом живлення та більшим об'ємом пам'яті, але вони здатні діяти на великих відстанях (до 200м). Тому буде доцільним виконати перевірку алгоритму на обох типах RFID-міток.

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ТА РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ

За останні роки було розроблено ряд методів для визначення дальності від датчиків до невідомих RFID-міток, а також розроблено різні методи для оцінки. У цьому розділі йде аналіз наявних методів, а також методів, які можливо застосувати для розрахунку координат міток.

2.1 Методи визначення дальності

2.1.1 RSS (*Received Signal Strength*)

Відстань до об'єкта оцінюється за потужністю (рівню) сигналу. Знання вихідної потужності передавача, втрати кабелю та посилення антени, а також відповідна модель втрат тракту дозволяє визначити відстань між двома станціями.

Нижче наводиться приклад загальної втрати потужності сигналу, яка використовується для поширення в приміщенні:

$$P_i = P_0 - 10 \cdot a \cdot \lg\left(\frac{R_i}{R_0}\right) + v_i \quad (2.1)$$

де P_i — виміряна i -м датчиком потужність сигналу RFID-мітки, яка знаходиться на відстані $R_i, i = \overline{1, n}$;

P_0 — потужність сигналу на відомій відстані R_0 ;

a — коефіцієнт загасання у вільному просторі (приблизно дорівнює 2);

v_i — помилка виміряної потужності сигналу.

Визначення відстані між датчиком та RFID-міткою дозволяє побудувати кругову область навколо розташування датчиків. Вважається, що місце розташування RFID-мітки знаходиться десь на цій круговій області. Покази з інших датчиків можуть використовуватися для виконання тристоронньої RSS або багатосторонньої RSS для подальшого уточнення місця розташування.

На сьогоднішній використання RSS-методу, характеризується економічною перевагою, не вимагаючи спеціалізованого обладнання. Це робить методи визначення місцеположення на основі сили прийнятого сигналу дуже привабливими з точки зору економічної вигоди. Однак відомим недоліком чистої RSS-латерації є те, що аномалії поширення, спричинені анізотропними умовами в навколишньому середовищі, можуть значно погіршити точність. Це тому, що насправді розповсюдження в будь-якій зоні далеко не ідеальна кругова картина, заснована на ідеальній моделі втрати потужності на шляху. Рівень сигналу значно відрізняється через багатосаровість, перешкоди, оклюзію та загасання. Це, як правило, не враховується під час проектування систем, що використовують теоретичні моделі в RSS-форматі в їх найчистішому вигляді.

2.1.2 AoA (*Angle of Arrival*)

Техніка кута прийому (AoA), яку іноді називають напрямком прибуття (DoA), локалізує RFID-мітку, визначаючи кут падіння, під яким сигнали надходять на приймальний датчик. Геометричні співвідношення потім можуть бути використані для оцінки місця розташування від перетину двох ліній пеленгу, утворених радіальною лінією, до кожного приймаючого датчика, як показано на рис 2.1.

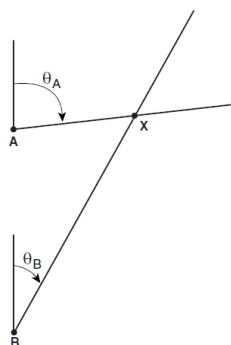


Рисунок 2.1 — Метод АОА

У двовимірній площині потрібно щонайменше два приймальних датчика для визначення місця розташування, з підвищеною точністю щонайменше від трьох або більше приймальних датчиків (триангуляція).

У своєму найчистішому вигляді (тобто там, де чітко помітно лінію між RFID-міткою X та приймаючими датчиками A і B), механічно-рухливі направлені антени, розгорнуті на приймальних датчиках, регулюються до точки найбільшої сили сигналу. Позиціонування направлених антен можна безпосередньо використовувати для визначення пеленгу і вимірювання кутів падіння θ_A і θ_B .

У практичних комерційних та військових реалізаціях AoA використовуються багатоелементні антенні масиви для вибірки приймаючого сигналу, що виключає потребу у складніших механічно-рухливих антенних системах. Електронне перемикання може здійснюватися між масивами або частинами кожного масиву, а математичні обчислення, якими керується обчислювальна система, використовуються для визначення кутів падіння. Ця методика фактично включає обчислення TDoA між елементами масиву шляхом вимірювання різниці в отриманій фазі на кожному елементі. У правильно побудованому масиві є невеликий, але помітний час прибуття та різниця у фазі у кожному елементі. Іноді згадується як "зворотне формування променя", ця методика включає, безпосередньо, вимірювання часу надходження сигналу на кожен елемент. Це стає можливим через те, що при формуванні променя сигнал від кожного елемента затримується у часі (зміщення фази), щоб «керувати» підсиленням антенного масиву.

Добре відомою реалізацією AoA є система VOR (VHF Omnidirectional Range), яка використовується для навігації літаків від 108,1 до 117,95 МГц. Машини VOR по всій країні передають кілька "радіалів" УКХ, кожен радіал випромінюється під різним кутом падіння. Приймач VOR в літальному апараті може визначати радіал, на якому розташований літак, коли він наближається до маяка VOR, а отже, і його кут падіння відносно маяка. Використовуючи як мінімум два маяка VOR, навігатор літальних апаратів може використовувати бортове обладнання AoA для проведення кутів (або

триангуляції з використанням трьох маяків VOR) та визначення положення літака.

Методи AoA також застосовуються в стільниковій галузі в ранній період розвитку надання послуг відстеження місцезнаходження користувачів мобільних телефонів. Це в першу чергу покликано відповідати правилам, що вимагають, щоб системи стільникових повідомлень повідомляли місцезнаходження користувача, який здійснює екстрений виклик. Кілька станцій обчислюють AoA сигналу стільникового користувача та використовують цю інформацію для виконання триангуляції. Ця інформація передається комутаторним процесорам, які обчислюють місцезнаходження користувача та перетворюють дані AoA у координати широти та довготи, що, в свою чергу, надається диспетчерам надзвичайних ситуацій. Загальним недоліком AoA є його чутливість до багатопроменевої інтерференції. Як було сказано раніше, AoA добре працює в ситуаціях з прямою видимістю, але страждає при відбитті сигналу від навколишніх предметів. На жаль, у густозаселених міських районах AoA стає ледве придатним для використання, оскільки приціл до двох або більше базових станцій рідко присутній. Це також робить AoA непрактичним для використання у більшості приміщень.

2.1.3 ToA (Time of Arrival)

Вимір часу проходження сигналу від об'єкту до базової станції, при якому відстань до об'єкта розраховується виходячи з різниці часу відправки сигналу і його отримання. При цьому даний спосіб вимагає суворої синхронізації часу як у відправника так і в одержувача, чого досягти досить складно.

Системи визначення часу прибуття сигнал (ToA) засновані на точному вимірюванні часу приходу сигналу, що передається з мітки на кілька приймаючих датчиків. Оскільки сигнали рухаються з відомою швидкістю (приблизно швидкість світла), відстань між RFID-міткою та кожним

приймаючим датчиком може бути визначена із минулого часу поширення сигналу, що проходить між ними. Техніка ToA вимагає дуже точного визначення часу аж до наносекунд і повинна гарантувати, що всі датчики ому, а також RFID-мітки будуть точно синхронізовані з точним джерелом часу. Зі знань як швидкості поширення, так і виміряного часу, можна обчислити відстань між RFID-міткою та приймальною станцією.

З відстаней можна сформувати уявне кругове зображення навколо приймального датчика і в межах цього кола розташування RFID-мітки буде дуже ймовірним. Інформація ToA від двох датчиків визначає положення радіомітки до двох однаково ймовірних точок. Для тристоронньої ToA використовуються три датчики, щоб визначати місце розташування радіомітки з підвищеною точністю. Рис. 2.2. ілюструє концепцію тристороннього визначення ToA.

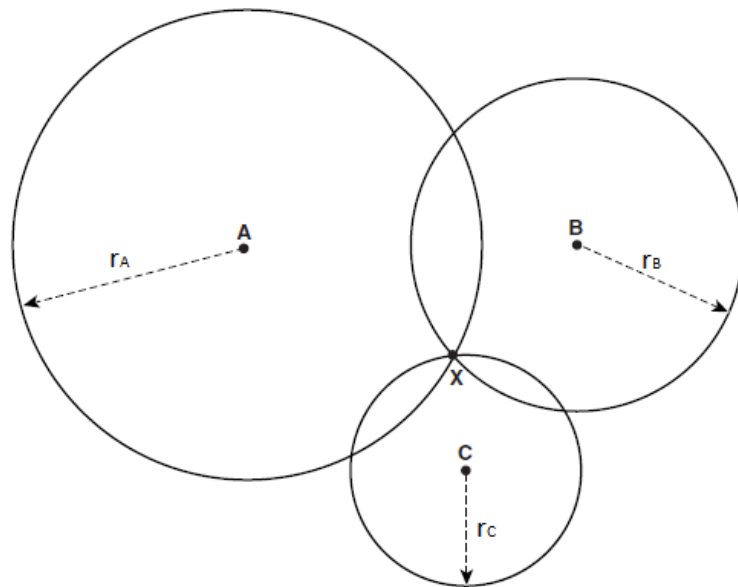


Рисунок 2.2 — Метод ToA

Час, необхідний для передачі зі станції X до датчиків A, B і C, точно вимірюється як t_A , t_B і t_C . Враховуючи відому швидкість поширення, відстань RFID-мітки від кожного з цих трьох датчиків прийому може бути обчислена відповідно як r_A , r_B і r_C . Кожне обчислене значення відстані використовується для побудови кругової ділянки навколо відповідного приймального датчика. RFID-мітка в точці X розташована на перетині цих

кіл. Перетин трьох кругових ділянок визначає місце розташування RFID-мітки X. У деяких випадках може бути більше одного можливого рішення для визначення розташування RFID-мітки X, навіть коли використовується три датчика для виконання тристороннього визначення. У цих випадках використовуються чотири або більше приймальних датчиків, щоб здійснити багатостороннє ToA.

Метод ToA здатний визначати місце-розташування об'єктів як в двовимірній, так і в тривимірній площині. 3D-роздільну здатність можна виконати, побудувавши сферичні моделі замість колових. Недоліком підходу ToA є вимога точної синхронізації часу всіх станцій, особливо RFID-мітки. Враховуючи високі швидкості передачі, дуже невеликі розбіжності в синхронізації можуть призвести до дуже великих помилок у точності визначення координат. Насправді помилка вимірювання часу, яка становить лише 100 наносекунд, може призвести до помилки визначення локалізації в 30 метрів. Рішення щодо позиціонування на основі ToA, як правило, мало застосовуються в середовищах, де може існувати велика кількість багатошаровості, перешкод або шуму.

2.1.4 TDoA (Time Difference of Arrival)

Метод визначення різниці часу прибуття сигналу (TDoA) використовує відносні вимірювання часу на кожному приймальному датчику замість абсолютних вимірювань часу. Через це TDoA не потребує узгодження отриманих міток часу з точним джерелом часу в точці передачі для визначення радіомітки. TDoA зазвичай реалізується за допомогою математичного процесу, відомого як гіперболічна латерація. У цьому підході потрібні щонайменше три синхронізовані датчики. Четвертий приймальний датчик і третя гіпербола можуть бути додані як доповнення для виконання гіперболічної багатолатерації TDoA. Це може знадобитися для вирішення випадків, коли може бути більше одного рішення при використанні гіперболічної трilaterації TDoA.

Сучасні дизайнери систем TDoA отримали методи подолання місцевого годинникового осцилятора, які покликані уникнути суворої вимоги до точної синхронізації приймачів TDoA. Наприклад, джерело часу калібрування може періодично використовуватися для обчислення коригування часу від опорного генератора. Ці налаштування годинника потім можуть бути використані для виправлення зсувів опорного часу в інших місцях системи. У випадку приймачів TDoA, які також здатні передавати пакети, інший інноваційний підхід передбачає періодичний обмін пакетами "синхронізацію" між приймачами. У такому підході компенсації часу між кожним приймачем та "опорним приймачем" можна кількісно оцінити, при цьому отримане коригування часу застосовується відповідно.

Системи аеропорту - це добре відомий приклад систем TDoA, що застосовуються сьогодні. У світі мобільної телефонії TDoA також називають «Покращеною спостережуваною різницею у часі (E-OTD)» і пропонує точну зовнішню обробку при застосуванні близько 60 метрів у сільській місцевості та 200 метрів у міських районах з великими частотними втратами.

З точки зору як переваг, так і недоліків і ToA, і TDoA мають декілька подібностей. Вони виявились дуже підходящими для великих та дуже масштабних систем зовнішнього позиціонування. Крім того, хороші результати були отримані від систем ToA і TDoA у напіввідкритих середовищах, таких як амфітеатри та стадіони, а також у зовнішніх умовах, таких як прокат автомобілів та нових автомобільних ділянок або в'їздів. У приміщенні системи TDoA демонструють свої найкращі показники у великих будівлях та відносно відкритих будівлях із низьким рівнем загальної непрохідності та високими стелями.

Однак у багатьох випадках і для систем ToA, і для TDoA зазвичай потрібна спеціалізована інфраструктура, встановлена поряд із необхідною для нормального щоденного обміну даними. У деяких випадках це маскується загальними зовнішніми корпусами, призначеними для розміщення як окремого приймача TDoA, так і точки доступу.

У тісних, обмежених закритих приміщеннях в ToA і в TDoA традиційно страждає продуктивність, особливо в ситуаціях, коли мобільна станція, ймовірно, буде оточена об'єктами, які сприяють багатокутному радіочастотному розсіюванню та відбиттю. Цікаво, що вплив, що виникає в таких умовах, погіршується при вузькосмуговій реалізації TDoA порівняно з більш широкими діапазонними реалізаціями.

Із запропонованих методів найбільшого поширення для визначення координат радіо міток знаходить RSS метод [3-7].

2.2 Методи розрахунку координат

Розглянуті методи в розділі (1.3) дозволяють знайти дальність до цілі, але для точного спостереження нам необхідно знати координати RFID-мітки, щоб мітки коректно відображались на екрані. Для цього нам необхідно розраховувати положення RFID-мітки з достатньо великою швидкістю, щоб змогти відстежити зміну позиції об'єкта. Використовують наступні методи

2.2.1 МНК – метод найменших квадратів.

Математичний порядок пошуку кривої, що найкраще підходить до заданої сукупності точок, мінімізуючи суму квадратів зміщення точок від кривої. Сума квадратів зміщення використовується замість абсолютних значень зміщення, оскільки це дозволяє розглядати зміщення як суцільну диференційовану величину. Однак, оскільки використовуються квадрати зсувів, відступні точки можуть мати непропорційний вплив на придатність, властивість, яка може бути або не бути бажаною, залежно від проблеми.

Техніка лінійних найменших квадратів є найпростішою та найчастіше застосовуваною формою лінійної регресії та забезпечує вирішення проблеми пошуку найкращої прямої лінії, що відповідає фігурі, через набір точок. Насправді, якщо відомо, що функціональна залежність між двома величинами знаходяться в межах адитивних чи мультиплікативних констант, звичайна практика перетворювати дані таким чином, що результуюча лінія є

прямою. З цієї причини стандартні форми для експоненціальних, логарифмічних законів часто обчислюються явно. Формули для встановлення лінійних найменших квадратів незалежно були отримані Гауссом та Легендром.

Для нелінійних найменших квадратів, що підходять до ряду невідомих параметрів, лінійні розміри найменших квадратів можуть застосовуватися ітераційно до лінеаризованої форми функції до досягнення конвергенції. Однак часто також можливо лінеаризувати нелінійну функцію на самому початку і все ж використовувати лінійні методи визначення параметрів придатності, не вдаючись до ітераційних процедур. Такий підхід зазвичай порушує неявне припущення, що розподіл помилок є нормальним, але часто все-таки дає прийнятні результати, використовуючи звичайні рівняння, псевдоінверсію. Залежно від обраного типу підхідних та вихідних параметрів, нелінійна придатність може мати хороші або погані властивості конвергенції. Якщо для точок вказані невизначеності (у найзагальнішому випадку еліпси помилок), точки можна зважувати по-різному, щоб надати високоякісним точкам більше ваги.

Основною інформацією для розрахунку координат об'єктів являються: оцінка різниці відстаней R_i , а також їх координати x_1, y_1, z_1 . В якості початкового для оцінки прямокутних координат візьмемо співвідношення:

$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = (R_i + r)^2$$

де r_i — відстань між ціллю і приймачем;

$i = \overline{1, (n-1)}$, n — загальне число приймачів;

x, y, z — координати, які підлягають оцінюванню;

x_i, y_i, z_i — координати винесених приймачів

r — дальність цілі відносно початку координат;

R_i — різниця відстаней по незалежним базам;

В результаті не складних перетворень створюється система рівнянь, яку можна записати у матричному вигляді:

$$A \cdot \omega = 0.5 \cdot b$$

де A — матриця розміру $(n-1) \times l$, l — кількість досліджуваних величин

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & R_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & R_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n-1} & y_{n-1} & z_{n-1} & R_{n-1} \end{pmatrix};$$

ω — вектор $l \times 1$,

$$\omega = \|x \quad y \quad z \quad r\|;$$

b — вектор $(n-1) \times 1$,

$$b = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - R_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 - R_2^2 \\ \dots \\ x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2 + z_{n-1}^2 - R_{n-1}^2 \end{pmatrix}$$

Для вирішення цього рівняння доцільно знаходити за допомогою основного рівняння МНК:

$$\omega = 0.5(A^T A)^{-1} A^T b$$

2.2.2 Формули Баєса

Місцеположення RFID-міток можна передбачати за допомогою статистичних методів, один з них це формула Баєса, яка свідчить, що можна описати ймовірність певної події, яка нас цікавить, звертаючи увагу на умови, які могли б бути пов'язані з цією подією. Завдяки знанням про обставини, які впливають на визначення місцеположення RFID-міток, можна використати їх для прогнозування можливого розташування міток. Формула Баєса базується на формулі умовної ймовірності:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B | A) = P(B) \cdot P(A | B) \quad (2.2)$$

де, A — місцеположення RFID-мітки визначене за даними датчика A ;
 B — місцеположення RFID-мітки визначене за даними датчика B ;
 $P(A), P(B)$ — ймовірність правильного визначення місцеположення;
 $P(A|B)$ — подія A відбувається за ймовірністю виникнення події B

Тобто ймовірність того, що місцеположення RFID-мітки визначені за даними датчиків A та B одночасно правдиві, тоді якщо ймовірність правильного визначення за допомогою датчика A помножена на ймовірність того, що подія B відбувається за ймовірністю виникання A . З рівняння (2.2) ми можемо отримати:

$$P(B|A) = \frac{P(B) \cdot P(A|B)}{P(A)} \quad (2.3)$$

Припустимо, що подія B є простором ймовірності, який складається з незалежних подій, тоді $P(A)$ можна розширити за повною формулою ймовірності:

$$P(A) = P(A|B_1) \cdot P(B_1) + P(A|B_2) \cdot P(B_2) + \dots + P(A|B_n) \cdot P(B_n) \quad (2.3)$$

За допомогою рівняння (2.3) можна записати формулу Байеса:

$$P(B_i|A) = \frac{P(B_i) \cdot P(A|B_i)}{P(A|B_1) \cdot P(B_1) + P(A|B_2) \cdot P(B_2) + \dots + P(A|B_n) \cdot P(B_n)} \quad (2.4)$$

$P(B_i|A)$ відноситься до постеріорної ймовірності, але $P(A|B_n) \cdot P(B_n)$ відноситься до попередньої ймовірності, а $P(B_i)$ - до базової ймовірності. Формула Байеса також може бути виражена як:

$$P(B_i|A) = \frac{P(A|B_i) \cdot P(B_i)}{\sum_{i=1}^n P(B_i) \cdot P(A|B_i)} \quad (2.5)$$

Зазвичай $P(A|B_i)$ не дорівнює $P(B_i|A)$. Однак вони мають певні стосунки, де закон Байеса є твердженням цих відносин. Закон Байеса - це співвідношення умовної ймовірності та граничної ймовірності випадкових подій A і B

Підсумовуючи, параметри оцінюються як випадкова величина, яка є специфічною формою розподілу, а розподіл щільності ймовірності $W(x|\theta)$ передається як постеріорна ймовірність. Спочатку отримують розподіл щільності ймовірності, а потім отримують значення оцінки параметра за допомогою математичних очікувань. Конкретні етапи байєсівської оцінки використовуються для визначення і уточнення місцеположення RFID-міток.

2.2.3 Фільтр Калмана

В даний час для вирішення завдання по визначенню місцеположення можна застосувати дискретну форму Калманівської фільтрації [8,9].

Дискретна модель руху цілі описується рівнянням

$$u(k) = F(k, k-1)u(k-1) + G(k)\omega(k) \quad (2.6)$$

де $u(k)$ – вектор стану, який містить параметри руху цілі;

$u(k-1)$ – вектор стану в попередній момент часу;

$\omega(k)$ – шум збудження моделі;

$F(k, k-1)$ – матриця переходу;

$G(k)$ – відома матриця.

Рівняння, яке описує процес визначення місцеположення цілі, має вигляд

$$u_{\text{И}}(k) = H(k)u(k) + v(k), \quad (2.7)$$

де $u_{\text{И}}(k)$ — вектор спостереження, який містить параметри цілі, які вимірюються;

$v(k)$ — вектор помилки вимірювання параметрів цілі;

$H(k)$ — матриця спостереження.

За рівняннями (2.6), (2.7), синтезовано дискретний фільтр Калмана, який описується виразами [10,11]

$$u^*(k) = F(k, k-1)\hat{u}(k-1); \quad (2.8)$$

$$\hat{u}(k) = u^*(k) + K(k)(u_{\text{И}}(k) - H(k)u^*(k)), \quad (2.9)$$

де $u^*(k)$, $\hat{u}(k)$ — вектори прогнозу і оцінки параметрів цілі в момент часу k
 $K(k)$ — коефіцієнт підсилення фільтра Калмана, який визначається шляхом рішення рекурентних рівнянь:

$$P^*(k) = F(k, k-1)\hat{P}(k-1)F^T(k, k-1) + G(k)Q(k)G^T(k); \quad (2.10)$$

$$K(k) = P^*(k)H^T(k)(H(k)P^*(k)H^T(k) + R(k))^{-1}; \quad (2.11)$$

$$\hat{P}(k) = P^*(k) - K(k)H(k)P^*(k), \quad (2.12)$$

де $P^*(k)$ — кореляційна матриця помилки прогнозу $\Delta u^*(k) = u^*(k) - u(k)$;
 $\hat{P}(k)$ — кореляційна матриця помилки оцінки $\Delta \hat{u}(k) = \hat{u}(k) - u(k)$.

Початкова умова має вигляд $\hat{u}(0) = \bar{x}(0)$, $\hat{P}(0) = \bar{P}(0)$.

Структурна схема фільтра Калмана показана на рис. 2.3.

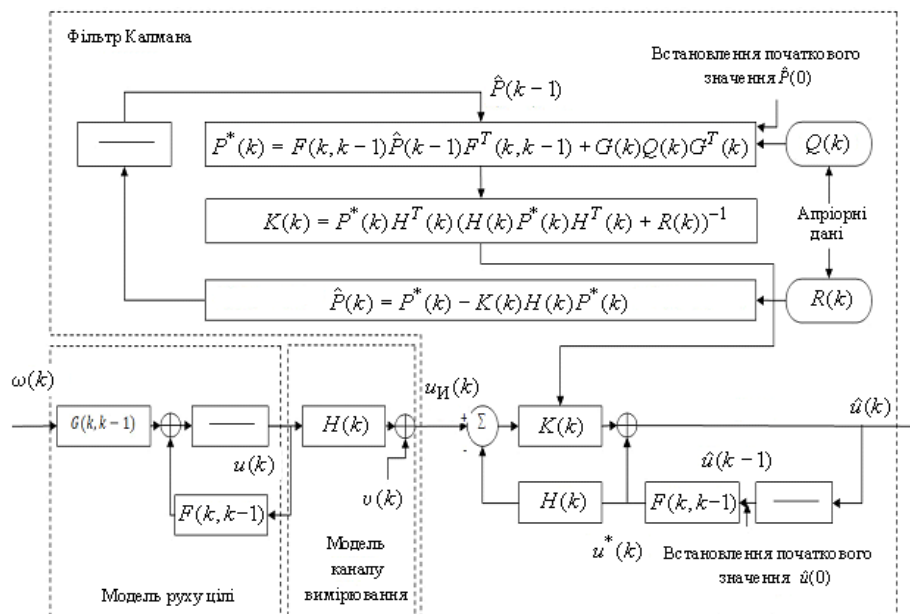


Рисунок 2.3 — Структурна схема фільтра Калмана

Білий гаусівський шум $\omega(k)$, необхідний для формування вектору стану системи $u(k)$, що представляється як випадковий процес, потрібно пропустити через фільтр, який є лінійним із параметрами, які залежать від

часу. Шум збудження $G(k)$ та перехідна матриця системи $F(k, k-1)$ є визначальними для параметрів необхідних для фільтрування шумів. Формування вектору $u_{\text{И}}(k)$, що називається вимірювальним, відбувається перетворенням вектору $u(k)$ й накладанням шуму $v(k)$.

Початкові значення $\hat{u}(0)$ і $\hat{P}(0)$, задаються для того, щоб фільтр почав свою роботу. Ці дані отримуються на основі повністю відомої інформації. Також потрібно ввести кореляційні матриці шумів збудження $Q(k)$ і матриці шумів $R(k)$, що виникають під час вимірювання. Після заданих початкових значень, нові виміри $u_{\text{И}}(k)$ дозволяють рекурентно обчислювати й оцінювати вектор $\hat{u}(k)$. Для розрахунку вектору стану не має потреби зберігати усі минулі вимірювання $\{u_{\text{И}}(1), u_{\text{И}}(2), \dots, u_{\text{И}}(k-1)\}$, що видно з рівняння (2.9), тому що повна інформація уже є в попередній оцінці вектору стану $\hat{u}(k-1)$

Фільтр Калмана характеризується коефіцієнтом підсилення системи $K(k)$ і залежить від точності оцінок, визначених на поточному кроці, та рівня шумів вимірювань. Визначення цього коефіцієнту $K(k)$ відбувається рекурентно на кожному кроці k , що показано в рівняннях (2.10)...(2.12). Матриці помилок прогнозу $P^*(k)$ і оцінки $\hat{P}(k)$ визначаються для точності характеристики алгоритму фільтрації. Ефективна смуга пропускання фільтра Калмана може змінюватись, тому що цей фільтр можна представити у вигляді лінійної системи, що слідує за будь-якими змінами вектору стану. Коректуюча поправка $K(k)(u_{\text{И}}(k) - H(k)u^*(k))$, яка сумується з оцінкою екстраполяції $u^*(k)$ необхідна для оцінки вектору стану на поточному кроці k . Прогнозування параметрів відбувається множенням результату оцінки фільтрації за минулий етап на матрицю переходу системи $F(k, k-1)$. Поправка для екстраполяції характеризується коефіцієнтом підсилення фільтра $K(k)$, що називається вагою даної системи і додається до вимірів, які отримано на даному етапі оцінки.

Оптимальну вагу поправки $K(k) \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$ можна отримати за відсутності будь-яких шумів $\omega(k)$ або якщо ці шуми наближені до нуля і це означає, що система розімкнена. При такому коефіцієнті підсилення фільтр Калмана починає видавати оцінку прогнозування без надходження нових даних.

Основними перевагами фільтра Калмана є [12] :

1. Фільтр рекурентний, що дозволяє виконувати оцінку поточного вектору стану на основі минулих вимірів.
2. Оцінка $\hat{u}(k)$ є лінійною за спостереженням.
3. Коефіцієнт підсилення $K(k)$ можна визначати наперед, прогнозувати його значення, завдяки тому, що помилки фільтрації не залежать від спостережень $u_M(k)$.
4. Мінімізація середньо-квадратичних відхилень помилки фільтрації при перехідних процесах.

Фільтру Калмана притаманний суттєвий недолік, який виникає при перевищенні дисперсії або математичного очікування фактичних помилок оцінювання, дисперсії помилок оцінювання, розрахованих фільтром і називається цей недолік розбіжністю [13]. Основними причинами є: неточність поставлення моделі спостереження, лінеаризація рівнянь, різні спрощення, що дозволяють описати математично задачу. Розбіжність можуть викликати також помилки округлення, обумовлені цифровою реалізацією алгоритмів оцінювання.

2.3 Висновки до розділу

1. У відомих методів визначення місцеположення RFID-міток на основі RSS-вимірювань не враховується міра відхилення середніх значень помилок вимірів потужності. При зростанні числа датчиків зростає дисперсія помилок і виникає інтерес, розробити алгоритм, який зможе враховувати ці зміни і

буде рекурентно уточнювати місцеположення RFID-міток після послідовного отримання RSS-вимірювань від усіх датчиків мережі

2. Математичний апарат фільтрації Калмана є рекурентним і його можна з легкістю реалізувати на ЕОМ та використати для розробки алгоритму визначення місцезнаходження RFID-міток. Але алгоритм може бути розроблено за наявності повної інформації про параметри мітки

3. Актуальною науковою задачею є розробка алгоритму, який буде уточнювати координати RFID-міток на основі RSS-вимірювань під час надходження нових вимірювань.

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ RFID-МІТОК НА ОСНОВІ RSS-ВИМІРЮВАНЬ

Системи пасивної радіолокації характеризуються сімейством ізоліній СКВ вимірювання дальності σ_r RFID-міток, побудованих в координатах x, y [14].

Діаграма групи ізоліній для випадку СКВ помилки вимірювання різниці відстаней $\sigma_{\Delta m}$, побудовані для чотирьох моделей сенсорної мережі, які містять різну кількість датчиків та містять однакову кількість RFID-міток розташованих у вигляді сітки з кроком 1м в межах кімнати розміром 10x10м.

Змодельовані лінії обмежують певну ділянку в якій помилка не перевищує якоесь значення. За допомогою цієї характеристики можна визначити на яких ділянках помилки зростають повільніше або швидше.

Перша модель показана на рис. 3.1. Сенсорна мережа складається з трьох датчиків розташованих в таких позиціях: $D_0 (-10;10)$, $D_1 (10;10)$, $D_2 (0; -10)$. Це мінімально необхідна кількість датчиків для визначення місцеположення RFID-міток та й взагалі для пасивної радіолокації.

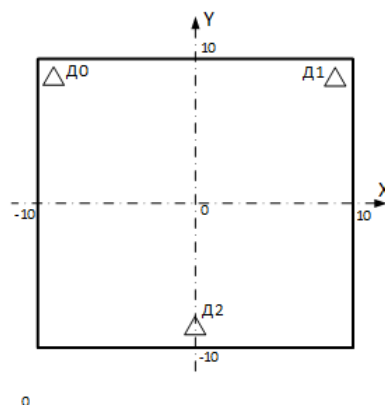


Рисунок 3.1 — Конфігурація сенсорної мережі з 3 датчиків

Для RSS-вимірювань рис. 3.2, СКВ помилки зростають найбільш повільно, в центрі кімнати, а біля датчиків помилка найбільша. СКВ помилки

визначення місцеположення RFID-міток знаходиться в межах значення $1.184 \leq \sigma_r \leq 2.187$ м. Для такої кімнати це дуже велика помилка, можна побачити тенденцію, що точність більша у верхній частині рисунку, це пов'язано з визначенням відстаней на основі RSS-вимірювань.

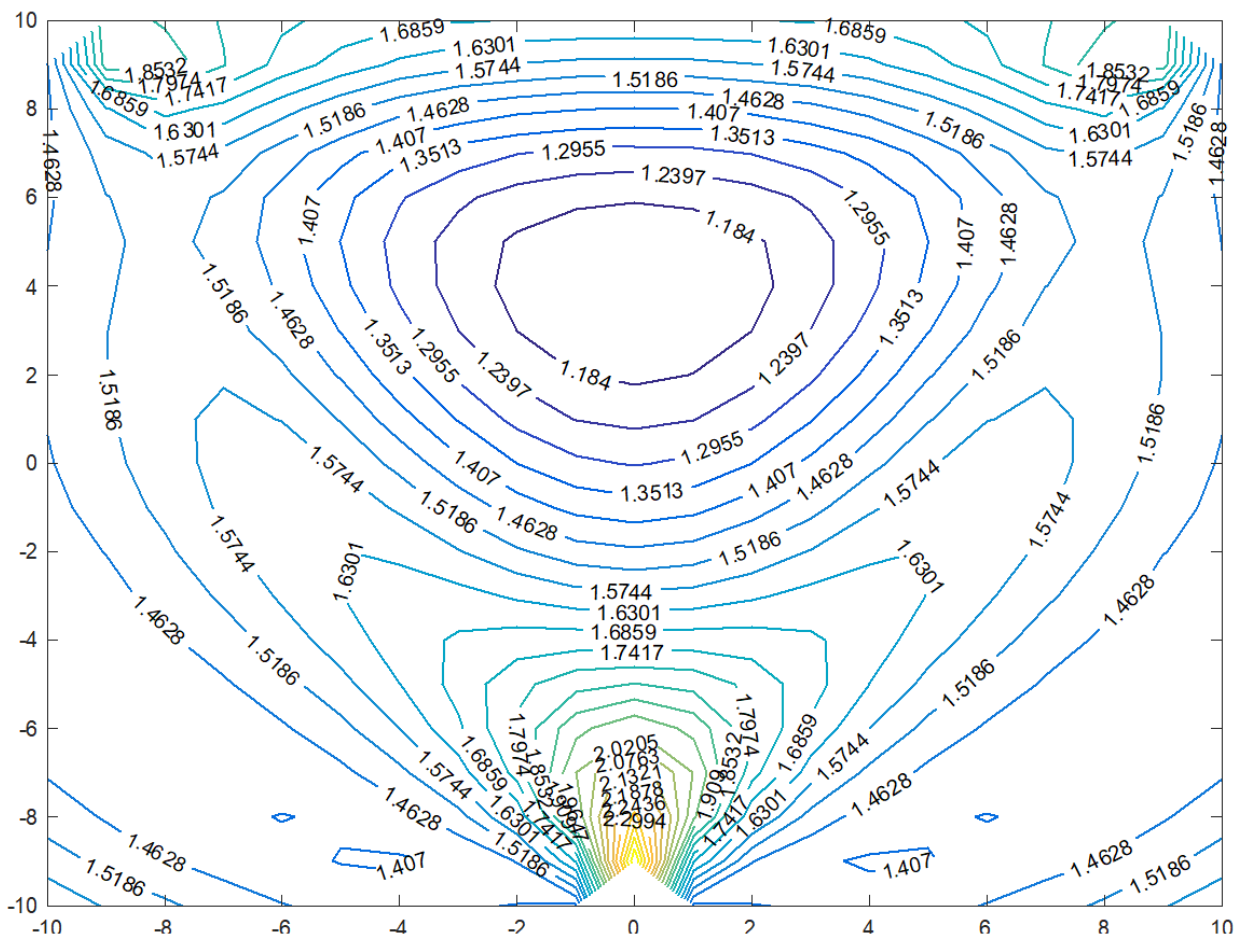


Рисунок 3.2 — RSS-вимірювання

Друга конфігурація сенсорної мережі показана на рис. 3.3. Сенсорна мережа складається з чотирьох датчиків розміщених по кутам кімнати: D_0 (-10;10), D_1 (10;10), D_2 (10;-10), D_3 (-10;-10)

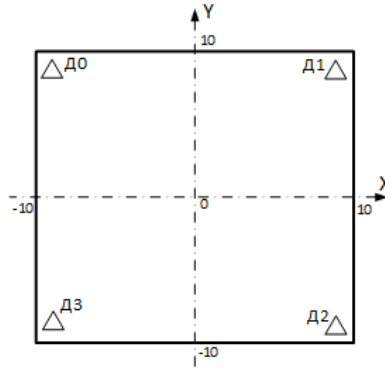


Рисунок 3.3 — Конфігурація сенсорної мережі з 4-ох датчиків

Для RSS-вимірювань рис. 3.4, СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток знаходиться в межах $0.97 \leq \sigma_r \leq 1.3$ м.

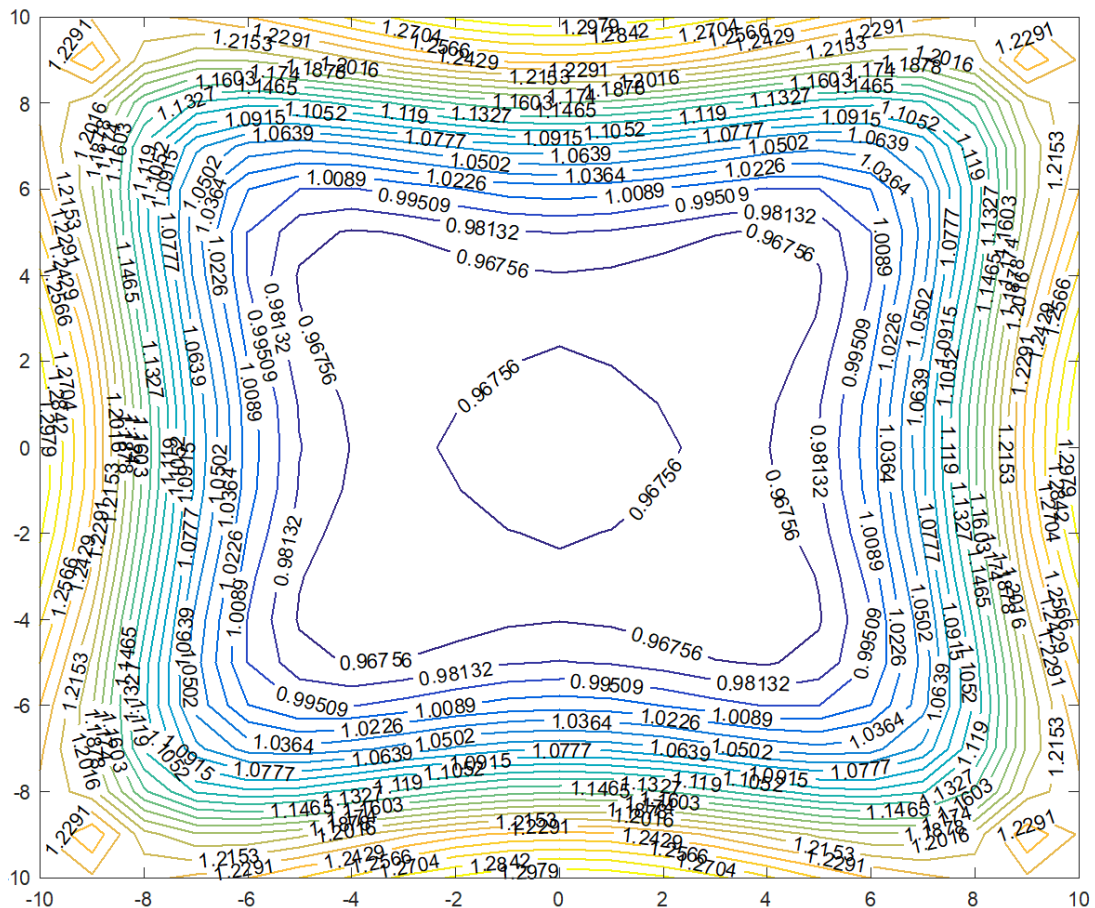


Рисунок 3.4 — RSS- вимірювання

Порівняно із трьома датчиками дана конфігурація має більш рівномірний розподіл СКВ помилки вимірювань, спостерігається вища точність в центрі кімнати з більшою площею, а по краям кімнати найменша

точність. Така кількість датчиків все ще не задовольняє поставленим вимогам.

Третя модель досліджуваної мережі показана на рис. 3.5. Така мережа складається з восьми датчиків з координатами: Д0 (-10;10), Д1 (0;10), Д2 (10;10), Д3 (10;0), Д4 (10;-10), Д5 (0;-10), Д6 (-10;-10), Д7 (-10;0).

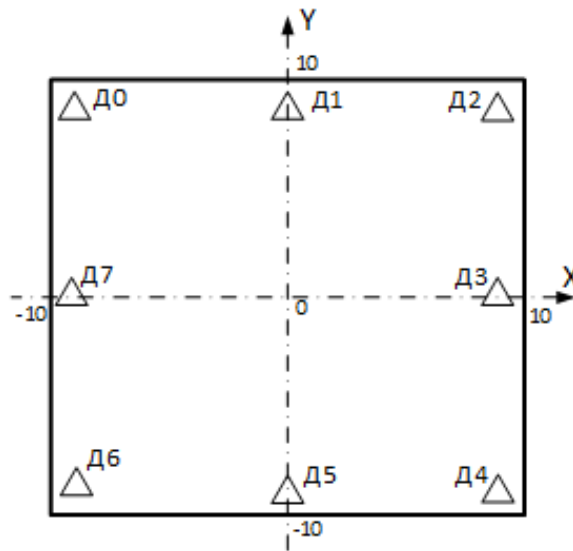


Рисунок 3.5 — Конфігурація сенсорної мережі з 8-ми датчиків

Для RSS-вимірювань рис. 3.6, СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток знаходиться в межах $0.46 \leq \sigma_r \leq 0.66$ м. Дана конфігурація має рівномірний розподіл СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток, площа рівномірних значень набагато більша порівняно з чотирма датчиками, але по краям кімнати помилка не сильно відрізняється від помилки, яка в центрі кімнати. З'явилися зони в яких точність на 10-12 см більша ніж в центрі кімнати.

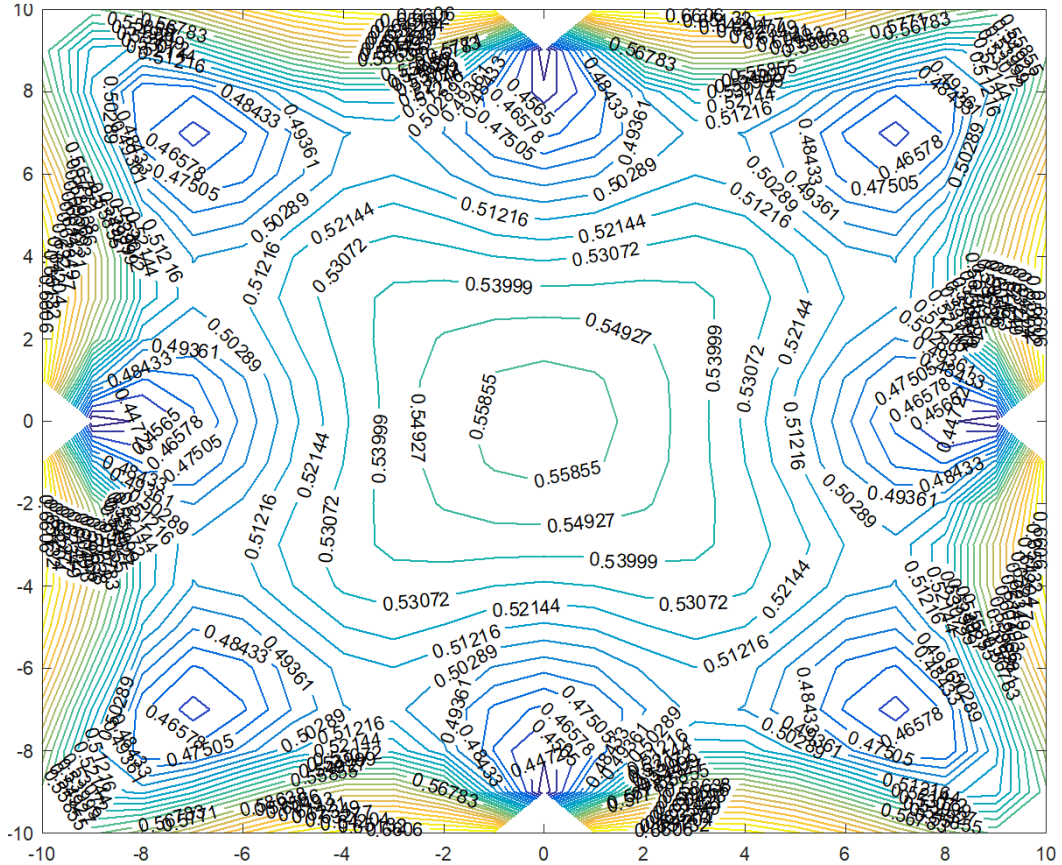


Рисунок 3.6 — RSS- вимірювання

Остання досліджувана модель показана на рис. 3.7. Мережа включає дванадцять датчиків з координатами: Д0 (-10;10), Д1 (-3;10), Д2 (3;10), Д3 (10;10), Д4 (10;3), Д5 (10;-3), Д6 (10;-10), Д7 (3;-10), Д8 (-3;-10), Д9 (-10;-10), Д10 (-10;-3), Д11 (-10;3).

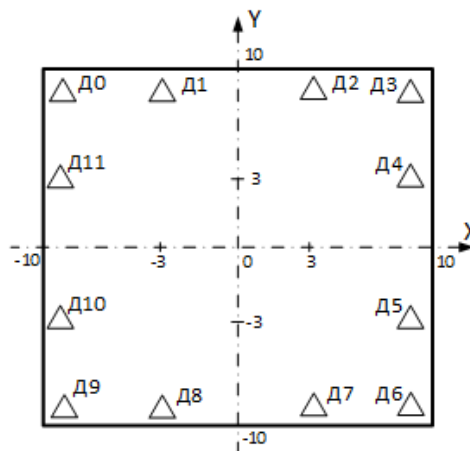


Рисунок 3.7 — Конфігурація сенсорної мережі з 12-ти датчиків

Для RSS-вимірювань рис. 3.8, СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток знаходиться в межах $0.42 \leq \sigma_r \leq 0.60$ м. Дана конфігурація має схожий розподіл СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток, як для восьми датчиків тільки по центру кімнати сформувався острівок на якому СКВ помилки більша ніж на його краях, також є зони в яких СКВ помилки найменша.

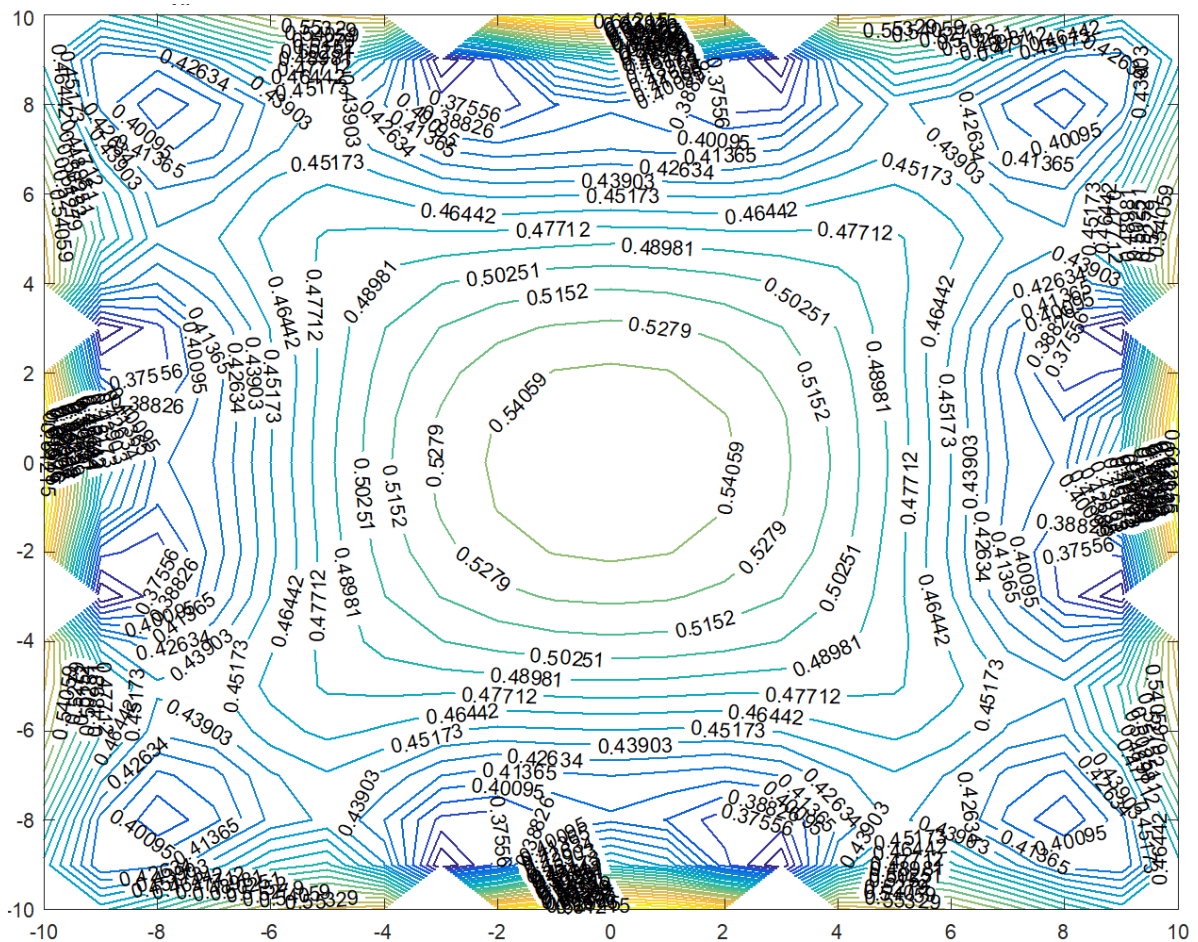


Рисунок 3.8 — RSS- вимірювання

На рис. 3.9 зображено залежність СКВ помилки визначення місцеположення і кількості датчиків, базується на даних по центру кімнати.

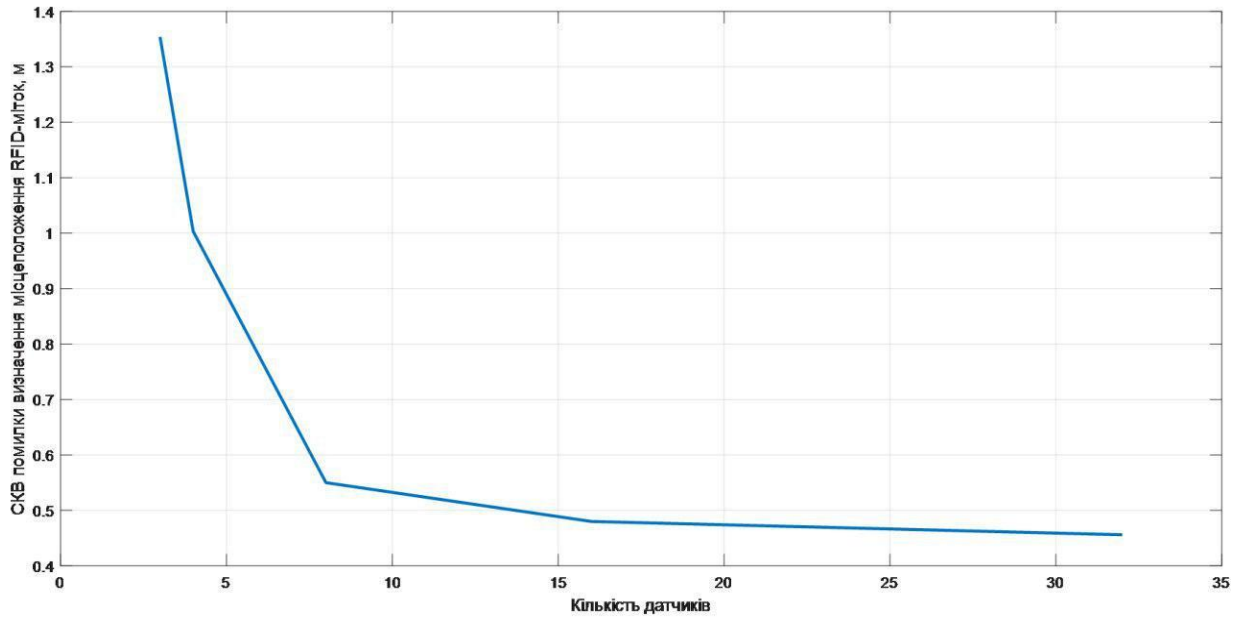


Рисунок 3.9 — Залежність зміни СКВ помилки від кількості датчиків

З цього рисунку видно, що збільшення кількості датчиків не дає суттєвого зменшення СКВ помилки визначення місцеположення. Конфігурація з восьми датчиків для даних умов має найбільш рівномірний розподіл СКВ помилки визначення місцеположення.

Висновок до розділу:

1. З усіх конфігурацій, розглянутих вище, найкращою є топологія БСМ, яка складається з восьми датчиків. Така конфігурація забезпечує високу точність порівняно із меншою кількістю датчиків, а також буде економічно вигідною, тому що зі збільшенням датчиків зростатиме вартість системи.

2. Також моделювання показало, що при використанні більшої кількості датчиків великого виграшу у зменшенні СКВ помилки оцінки визначення місцеположення не дає.

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ RFID-МІТОК НА ОСНОВІ RSS-ВИМІРЮВАНЬ

У попередніх розділах було проаналізовано методи визначення відстані від датчиків до RFID-міток і методи обчислення координат міток, а також було проведено аналіз необхідної кількості датчиків для ефективного визначення місцеположення RFID-міток. На основі цього буде розроблено алгоритм, який зможе підвищити точність визначення координат міток при послідовному отриманні RSS-вимірювань від датчиків мережі. Це можливо за допомогою використання математичного апарату калманівської фільтрації.

4.1 Розробка алгоритму

RFID-мітки є не рухомими тому їх параметри руху є незмінними і для оцінки використовуються тільки поточні координати x^l, y^l . Тому, поточний вектор стану такий же як і на попередньому етапі оцінки, має вигляд

$$u^l = u^{l-1}, \quad (4.1)$$

де $u^l = (x^l, y^l)^T$ – вектор стану.

Вимірювання датчиками потужності отриманого сигналу від RFID-міток описується рівнянням спостереження, з урахуванням (4.1) можна представити у виді

$$p^l = h^l(u^l) + v^l, \quad (4.2)$$

де $h^l(u^l)$ – нелінійна функція, яка описується виразом

$$h^l(u^l) = p_0 - 10 \cdot a \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{(x^l - x_s)^2 + (y^l - y_s)^2}}{r_0} \right); \quad (4.3)$$

v^l – помилка вимірювання потужності сигналу, яка є гаусівською з дисперсією σ_p^2 .

Рівняння спостереження (3.3) є нелінійним. Для створення алгоритму оцінки поточного вектору стану u^l використаємо дискретний фільтр Калмана. Виконуючи лінеаризацію рівняння (3.3) щодо оцінених значень вектору стану, можна показати, що алгоритм визначення місцеположення міток описується рівняннями [15]

$$K^l = \hat{P}^{l-1} \cdot \frac{\partial h^{lT}(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l} \left[\frac{\partial h^l(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l} \hat{P}^{l-1} \frac{\partial h^{lT}(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l} + \sigma_p^2 \right]^{-1}; \quad (4.4)$$

$$\hat{u}^l = \hat{u}^{l-1} + K^{l-1} [p^l - h^l(\hat{u}^{l-1})]; \quad (4.5)$$

$$\hat{P}^l = \hat{P}^{l-1} - K^l \frac{\partial h^l(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l} \hat{P}^{l-1}, \quad (4.6)$$

де \hat{u}^l – оцінка вектору стану u^l на l -му кроці;

\hat{P}^l – кореляційна матриця помилки оцінки вектору стану u^l на l -му кроці;

K^l – коефіцієнт підсилення фільтра;

$$\frac{\partial h^l(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l} = \frac{-10 \cdot a}{\ln(10)} \cdot \left[\frac{\hat{x}^{l-1} - x_s}{(\hat{x}^{l-1} - x_s)^2 + (\hat{y}^{l-1} - y_s)^2}; \frac{\hat{y}^{l-1} - y_s}{(\hat{x}^{l-1} - x_s)^2 + (\hat{y}^{l-1} - y_s)^2} \right]$$

Для того, щоб фільтр почав правильно працювати необхідно встановити початкові значення \hat{u}^0 та \hat{P}^0 . Початкові положення RFID-міток \hat{x}^0, \hat{y}^0 розраховуються за допомогою методу найменших квадратів при мінімально необхідній кількості вимірів потужності від датчиків, яка дорівнює трьом[16]. Описується наступним рівнянням:

$$\omega = 0.5(A^T A)^{-1} A^T b, \quad (4.7)$$

де $\omega^T = (\hat{x}^0, \hat{y}^0, \hat{z}^0, \hat{r}^0)$ – вектор, що включає оцінки координат RFID-міток;

$$A = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & -0.5 \\ x_2 & y_2 & -0.5 \\ x_3 & y_3 & -0.5 \end{vmatrix}; \quad b = \begin{vmatrix} x_1 + y_1 - 10^{\frac{p_0 - p^1}{5 \cdot a}} \\ x_2 + y_2 - 10^{\frac{p_0 - p^2}{5 \cdot a}} \\ x_3 + y_3 - 10^{\frac{p_0 - p^3}{5 \cdot a}} \end{vmatrix}.$$

Кореляційна матриця помилки оцінки вектору ω визначається [15] за допомогою виразу

$$\Omega = \left(\left(\bar{A}^0 \right)^T H^{-1} \bar{A}^0 \right)^{-1}, \quad (4.8)$$

де H – матриця визначається за формулою

$$H = B \Sigma B;$$

$$B = \text{diag}\{\hat{r}^1, \hat{r}^2, \hat{r}^3\};$$

$$\Sigma = \text{diag}\{\sigma_{r^1}^2, \sigma_{r^2}^2, \sigma_{r^3}^2\};$$

$\sigma_{r^j}^2$, $j = \overline{1,3}$ – дисперсія вимірювання дальності j -м датчиком, що

обчислюється за допомогою виразів

$$\sigma_{r^j}^2 = \frac{\left(r_{\max}^j - r_{\min}^j \right)^2}{12};$$

$$r_{\max}^j = r_0 \cdot 10^{\frac{p_0 - p^j}{10 \cdot a}} \cdot 10^{\frac{2 \cdot \sigma_p}{10 \cdot a}};$$

$$r_{\min}^j = r_0 \cdot 10^{\frac{p_0 - p^j}{10 \cdot a}} \cdot 10^{\frac{-2 \cdot \sigma_j}{10 \cdot a}}.$$

Початкова кореляційна матриця $\hat{P}^0 = \Omega_{2 \times 2}$, де $\Omega_{2 \times 2}$ визначається на основі Ω , шляхом викреслювання третього рядка і третього стовпця.

Після встановлення початкових значень для положення RFID-міток, розроблений алгоритм (4.4)...(4.6) дає можливість уточнювати

місцеположення міток при послідовному надходженні вимірів потужності з усіх датчиків сенсорної мережі $l = \overline{1, S - 3}$

4.2 Аналіз ефективності розробленого алгоритму

Для проведення аналізу ефективності розробленого алгоритму (4.4)...(4.6) і його порівняння з відомими методами, що приводяться в [17,18], використовується статистичне моделювання. Розрахунок координат RFID-міток відбувається за допомогою МНК. Встановлення початкових значень для роботи фільтра визначаються RSS-вимірюваннями від трьох датчиків. Найбільш рівномірною конфігурацією сенсорної мережі є використання восьми датчиків, що було визначено у розділі 3. Мітки розташовуються в середині приміщення по колу з радіусом 7 метрів. На рис. 4.1 показано результат проведеного моделювання і в якості оцінки ефективності використовуються середньоквадратичні відхилення помилки визначення місцеположення RFID-міток.

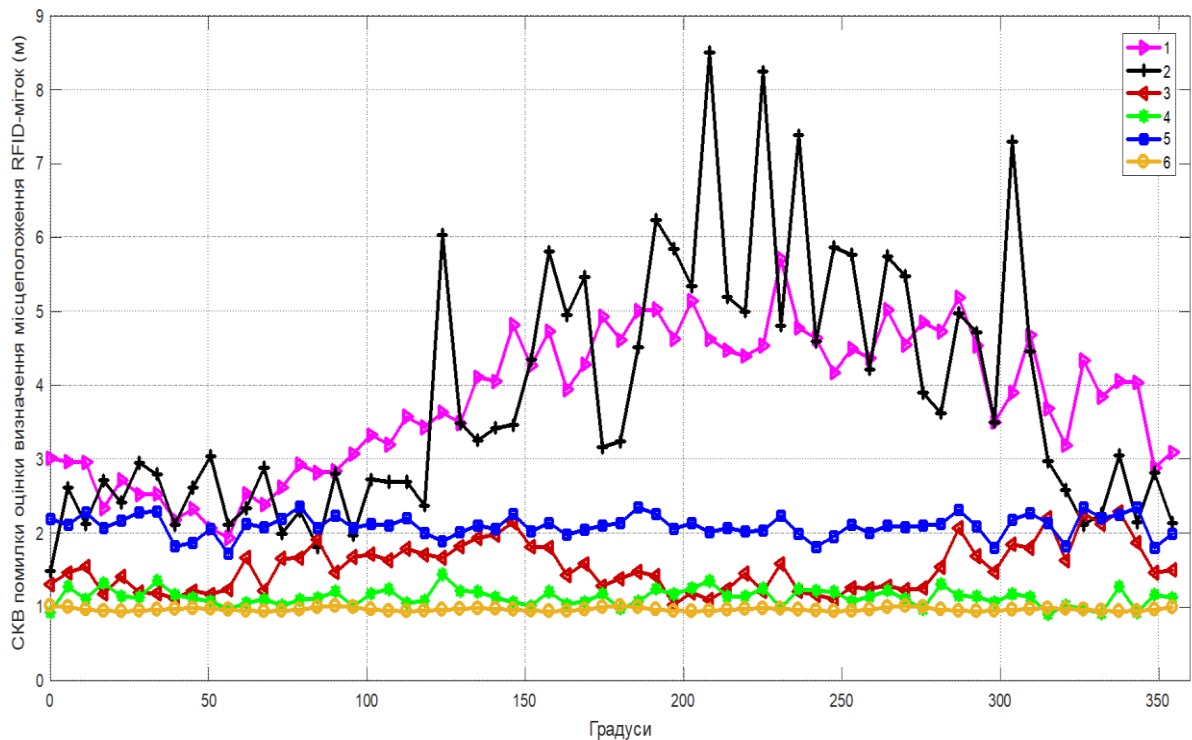


Рисунок 4.1 — Кругові СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток

Початкові умови, які було встановлено на основі RSS-вимірювань отриманих від трьох датчиків, необхідні для роботи фільтра Калмана (4.4),

(4.6), характеризує (крива 2), що є залежністю фактичного СКВ $\hat{\sigma}_{МНК}^{МК}$ помилки оцінки місцеположення RFID-міток. Дані для побудови цієї залежності отримані за допомогою методу Монте-Карло (4.5). Побудова теоретичної кривої СКВ $\hat{\sigma}_{МНК}$ (крива 1) базується на елементах матриці хибних оцінок параметрів вектору стану \hat{P}_0 , що розрахована у формулі (4.7). Квадратичні відхилення $\hat{\sigma}_{МНК}^{МК}$ знаходяться в межах від 2 до 8.4 м.

Робота алгоритму (4.4)...(4.6) проводиться по восьми датчикам сенсорної мережі і характеризується залежністю фактичного СКВ $\hat{\sigma}_{ФК}^{МК}$ (крива 4) помилки оцінки місцеположення RFID-міток. Також наведено залежність теоретично можливої роботи розробленого алгоритму (крива 5). Значення фактичного СКВ знаходиться в межах від 1.1м до 2.23м.

На рис. 4.1 зображено ефективність роботи відомого методу на основі RSS-вимірюваннях (крива 5). Даний метод використовує МНК для обчислення місцеположення RFID-міток після отримання усіх вимірів з восьми датчиків. Розрахунок проводиться за допомогою виразу (4.7). СКВ в межах 1.8м до 2.2м.

Робота розробленого алгоритму має ліміт по визначенні місцеположення RFID-міток. Ця межа характеризується границею Рао-Крамара (крива 6). Це означає, що значення фактичного СКВ не може бути менші ніж визначена межа. Із рисунку видно, що розроблений алгоритм є наближеним до границі Рао-Крамара. Значення фактичних СКВ помилки оцінки розробленого алгоритму на певних ділянках менші на 56-48%, а в деяких наближені до значень СКВ відомого методу [16,17], це пояснюється тим, що фільтру Калмана присутня розбіжність, і він стає не чутливим до нових вимірів. Але в середньому розроблений алгоритм краще на 32–36%.

Було проведено моделювання у сферичних координатах і на рис. 4.2 та на рис 4.3 показані залежності фактичних СКВ помилки оцінки

місцеположення за координатами X (крива 1) і Y (крива 2) для початкових умов та для розробленого алгоритму відповідно.

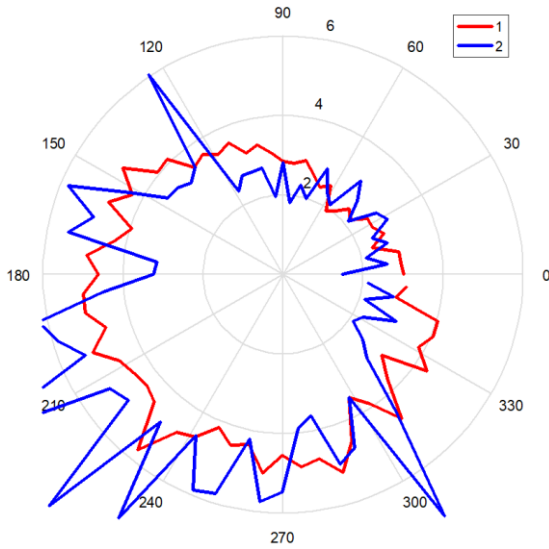


Рисунок 4.2 — Кругове СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток для початкових умов.

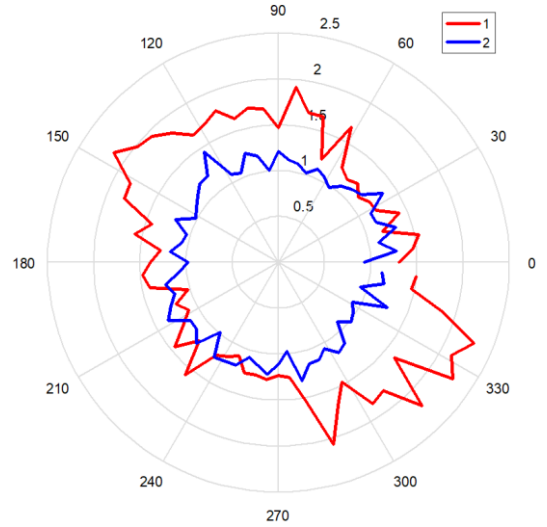


Рисунок 4.3 — Кругове СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток розробленого алгоритму.

На рис 4.4 показано ефективність алгоритму після послідовного уточнення оцінки місцеположення RFID-міток.

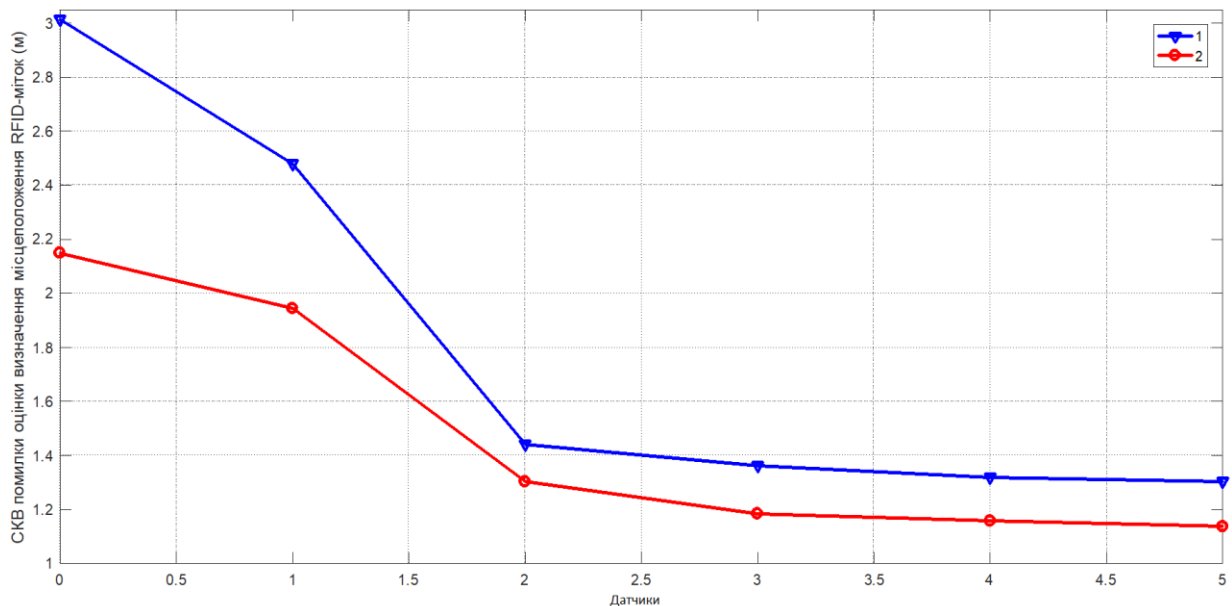


Рисунок 4.4 — Зміна СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток при послідовному надходженні даних від датчиків БСМ

Як видно з рисунку синтезований алгоритм після послідовного одержання RSS-вимірювань з усіх датчиків зменшив СКВ помилки оцінки

місцеположення RFID-міток в 2.23 рази по відношенню до початкових вимірів.

У розробленому алгоритмі враховується матриця хибних вимірювань дальностей, що суттєво піднімає ефективність у визначенні місцеположення RFID-міток. Визначення координат за допомогою методу найменших квадратів поступається алгоритму, який враховує дисперсію помилки оцінки. Застосування фільтрації Калмана можливе при тій умові, якщо помилка оцінки є гаусівською і адитивною, що ми бачимо з розрахунків. При використанні такого підходу показники ефективності наближені до фізично можливих.

4.3 Аналіз можливостей практичної реалізації розробленого алгоритму

Для того щоб алгоритм був ефективним не тільки для визначення місцеположення RFID-міток, а й ефективним по навантаженню на мікропроцесор і обчислювальну техніку, необхідно проаналізувати його обчислювальні витрати.

У табл. 4.1 приведено поетапний аналіз обчислювальних витрат розробленого алгоритму. Дані наведені в таблиці відповідають опитуванню однієї RFID-мітки вісьмома датчиками.

Таблиця 4.1 — Аналіз кількості операцій

Величина, яка обчислюється	Число операцій множення	Число операці й ділення	Число операцій додавання
1	2	3	4
K^l	N^2L	NL	$N(N-1)L$
u^l	NL	0	$(N+1)L$

\hat{P}^l	$(N^2 + N)L$	0	$(2N^2 - 1)L$
$\frac{\partial h^l(\hat{u}^{l-1})}{\partial u^l}$	N^2L	0	$[N(N - 1) + 1]L$
Всього операцій для всіх гіпотез на один такт	$N^2L + NL + (N^2 + N)L + N^2L = (3N^2 + 2N)L$	NL	$N(N - 1)L + (N + 1)L + (2N^2 - 1)L + [N(N - 1) + 1]L = (4N^2 - N + 1)L$
Всього операцій для всіх гіпотез на один такт при $L=8, N=3$	264	24	272

Також варто зазначити, що кількість операцій, які наведені в табл. 4., використовуються при початковому визначенні RFID-мітки, а при подальшому уточненні координат буде використано в L раз менше операцій, що суттєво знизить навантаження на процесор. Більшість RFID-зчитувачів базуються на мікропроцесорах, в них йде основна обробка даних з датчиків. Мікропроцесори розрізняються за можливостями і призначенням: для обробки даних, для цифрової обробки сигналів. Зараз найбільш популярними є мікропроцесори DSP. Вони призначені для обробки даних в реальному часі, що є невід'ємною частиною в RFID-технологіях. Такі мікропроцесори здатні здійснювати операції множення зі складанням. Вони мають більшу перевагу ніж універсальні процесори в обробці сигналів та даних. Серед сучасних DSP процесорів для обробки чисел з плаваючою точкою можна виділити моделі компаній Analog Devices [18] і Texas Instruments [19].

Для практичної реалізації розробленого алгоритму можемо застосувати сигнальний процесор DSP TMS320C6747. Його тактова частота складає 456 МГц, а на виконання однієї вказівки витрачається 2.2нс. Операції додавання і множення відпрацьовуються інструкціями ADDSP.L2X, MPYSP.M2X, і при

використанні типу даних «double», потрібно 14 тактів для додавання і множення. Для виконання рекурентного алгоритму визначення місцеположення RFID-міток на основі RSS-вимірювань необхідно – 16.478 мкс.

4.4 Висновки до розділу

1. Розроблено алгоритм визначення місцеположення RFID-міток за допомогою математичного апарату калманівської фільтрації. Використання цього фільтру дозволяє рекурентно уточнювати координати міток по мірі поступлення нових RSS-вимірювань БСМ.

2. Проведено статистичне моделювання розробленого алгоритму і в якості оцінки використовується СКВ помилки визначення місцеположення RFID-міток. Дослідження показує, що точність визначення краща на 32-36% в порівнянні з відомими методами.

3. Для практичної реалізації алгоритму на сучасних мікропроцесорах було проведено аналіз обчислювальних затрат і для визначення однієї RFID-мітки вісьмома датчиками необхідно 16.478 мкс.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі визначено основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які мають місце при виконанні науково-дослідної роботи. Дана робота є дослідницькою, пов'язана, в основному, з використанням ВДТ ПЕОМ. У цьому розділі основну увагу було приділено питанням щодо забезпечення безпеки та комфортних умов на робочих місцях користувачів ВДТ ПЕОМ, а також питанням електробезпеки в приміщенні.

Запропоновано технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також визначені основні заходи в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.

В даній роботі розроблено алгоритм для більш точного визначення координат об'єктів. Даний алгоритм змодельовано в програмному середовищі Matlab. Оскільки основу роботи складають дослідження із використанням електронно – обчислювальних машин (ЕОМ), існує небезпека ураження електричним струмом, можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ.

Небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникнути при проведенні наукових досліджень:

- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- недостатня освітленість робочих місць;
- підвищений рівень шуму;
- незадовільні мікрокліматичні умови;
- можливість виникнення НС тощо;

– група психофізичних факторів: перевантаження фізичне та психологічне;

5.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

5.2.1 Електробезпека

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140.2015 електроустаткування в робочому приміщенні (крім ВДТ ПЕОМ - II клас та вимірювальної техніки – 0I клас) відноситься до I класу, так як воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ й НПАОП 40.1-1.21-98.

Робоче приміщення нежарке, сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналом електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35°C, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ-2017), а також відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею, та до струмопровідних елементів електроустаткування. Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні застосована схема занулення.

Для зменшення значень напруг дотику й відповідних їм величин струму, при нормальному й аварійному режимах роботи електроустаткування необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту.

Здатність екстреного вимикання мережі включає визначення значення струму К.З. і перевірку кратності його стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту. Вихідні дані для розрахунку:

- а) $U_{\phi} = 220$ В – фазова напруга;
- б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній ($\rho = 0,028$ Ом*мм²/м);
- в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 150м;
- г) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{\text{НОМ}}$) = 20 А.

Струм однофазного К.З. визначається по формулі:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Zm}{3}} = \frac{220}{2,3 + 2,4 + 0,16} = 45 \text{ А,}$$

де:

$R_{\phi} = 2,3$ Ом – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 2,4$ Ом – активний опір нульового проводу;

$Zm/3 = 0,16$ Ом – розрахунковий опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Кратність струму однофазного К.З. стосовно номінального струму спрацьовування автомата захисту. Для надійної роботи автомата захисту повинна виконуватись наступна:

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{НОМ}}} > 1,45$$

де $I_{\text{к.з.}}$ – струм короткого замикання (45А); $I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм спрацювання автомата захисту (20А).

$$K_M = 2,25$$

З розрахунків видно, що при однофазному К.З. автомат струмового захисту буде надійно спрацьовувати.

При однофазному К.З. максимальне значення напруги яка появиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацювання максимального струмового захисту, U_{max} щодо землі: $U_{\text{max}} = I_{\text{к.з.}} \cdot R_0 = 45 \cdot 2,4 = 108$ В. Ця

напруга менша $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$ ($t_{\text{дії}} < 0,1 \text{ сек.}$) згідно ПУЕ-2017. З метою зниження $U_{\text{мах}}$ як у нормальному, так і у аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

5.2.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин

Діючі правила безпеки під час експлуатації ВДТ ЕОМ регламентуються ДСанПІН 3.3.2.007–98 та “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями”, які встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, та роботи з застосуванням ЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, МРПІ).

5.2.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ЕОМ

Організація робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно забезпечувати:

- ДСТУ ISO 9241-3-2001_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 3. Вимоги до відеотерміналів (ISO 9241-31992, IDT);
- ДСТУ ISO 9241-62004_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища;
- ДСанПін 3.3.2.007-98_Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин;

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам:

СНиП 2.09.02-85 “Производственные здания”, СНиП 2.09.04-87 “Административные и бытовые здания”, “Правил устройства электроустановок”, затверджених Головдерженергонаглядом СРСР 1984 р. (ПВЕ), “Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей”, затверджених Головдерженергонаглядом з доповненнями, затвердженими наказом Держкоммістобудування України від 29.12.94 № 106, СН 512-78 “Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин”, ДСанПіН 3.3.2.-007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин“, затверджених МОЗ України 10.12.98.

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухопожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05-91.

Згідно з “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями” площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м², а об’єм не менше ніж 20 м³ з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром 7 х 5 м., висотою 4 м. Розмір дверного прорізу 1,5м.

Площа й об’єм приміщення знаходимо по формулах:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a – довжина, b – ширина, h – висота приміщення.

Маємо:

$$S=10\cdot 10=100\text{ м}^2, V=100\cdot 4=400\text{ м}^3.$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 — Параметри приміщення

Назва характеристики	Нормативне	Фактичне
Площа приміщення з розрахунку	$>6\text{ м}^2$	100 м^2
Об'єм приміщення з розрахунку на 1	$>20\text{ м}^3$	400 м^3
Висота приміщення	3,5 – 4 м	4 м
Розміри дверей	$\geq 1,1 \times 1,8\text{ м}$	$1,5 \times 2\text{ м}$
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	$\geq 1\text{ м}$	1,5 м

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що геометричні розміри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

Оздоблюють стіни, стелю, підлогу приміщення з матеріалів, які дозволені органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Заборонено застосовувати полімерні матеріали (деревостружкові плити, шпалери, що можна мити, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик, тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. За розміщенням робочих місць з ВДТ, ЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м. Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран ВДТ і клавіатура мають розміщуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Розміщення екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника.

Усі вище перераховані вимоги відповідають робочому приміщенню, де проводяться дослідження.

5.2.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042–99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», приміщення з ЗОТ обладнане системою опалення, а також системою кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

На робочому місці роботи виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. Таким чином їх можна віднести до категорії Ia, що охоплює види діяльності з витратами енергії до 120 ккал/год.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» та ГОСТ 12.005-88. «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t, C) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, м/с$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 — Параметри мікроклімату

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t, C	$W, \%$	$V, м/с$	t, C	$W, \%$	$V, м/с$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1

Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$
----------	-------	-------	-----	-------	----	------------

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

5.2.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.

Приміщення з ПЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В 2.5–28–2018. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта природної освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5–28–2006. Приміщення з ВДТ, ПЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5–28–2006. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регулювальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Приміщення має бічне природне та штучне освітлення, центральне водяне опалення. У приміщенні три вікна розміром 2x2,2 м. Штучне освітлення забезпечує чотири люмінесцентних світильники з лампами ЛБ – 40, розміщених у ряд.

Отже, усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам освітлення приміщення, де проводяться дослідження.

5.2.6 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН

3.3.6.037– 99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих									Допустимий рівень звуку (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженерлабора-торії	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел:

- рівень звуку, створюваний внутрішніми елементами персонального комп'ютера дорівнює 35 дБА;
- рівень звуку системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБА.

Оскільки одержаний рівень звуку не перевищує допустимих норм, умови робочого приміщення повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.3.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС та пожежної охорони, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС ;

– організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС та пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС (пожежу), не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС (пожежу).

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014..

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устроювання електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного – від мережі змінного струму, резервного – від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту миготіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

5.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою" робоче приміщення відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ-2017 та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення по пожежонебезпеці – П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ, відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5-56-2014. Відповідно до ISO 3941-2007 для гасіння пожежі в робочому приміщенні (клас пожежі „Е” – наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ОУБ-3. Вибір вогнегасної речовини ґрунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої, що знаходяться під напругою.

Таким чином, кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ISO 3941-2007. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Мета розділу — проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

6.1 Опис ідеї проекту

Основна ідея проекту та напрямки застосування наведені в табл. 6.1

Таблиця 6.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження більш точної та швидшої системи моніторингу з використанням RFID-технології	Моніторинг об'єктів	Вища точність визначення
	Облік товарів	Швидкодія
		Менші витрати на обчислення
		Збільшення об'єму оброблюваних даних

Визначення місцеположення об'єктів, а також їх моніторинг на сьогоднішній день дуже актуальна задача. Сучасні системи відстеження повинні забезпечувати дуже високі показники. В Україні схожі системи виробляють в декількох компаніях, але такі системи зазвичай дорогі і не справляються зі своїми завданнями, або є енергонеефективними.

Особливістю системи є використання розробленого алгоритму дозволить збільшити точність визначення місцеположення об'єктів та в разі збільшити об'єм оброблюваних даних і тим самим збільшити енергоефективність за рахунок зменшення розрахункових витрат. Система моніторингу буде складатись із пасивних RFID-міток, зчитувача, антен,

блоку зберігання даних, користувацького інтерфейсу. Розроблений алгоритм буде взаємодіяти з даними зібраними з датчиків і переданих в базу даних, а звіди після розрахунків будуть відображатись поточні координати об'єктів.

6.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Щоб проаналізувати потенційні техніко-економічні переваги ідеї скористаємося моделлю М.Портера, яка вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції.

Конкуренція, що створюють системи моніторингу в Україні не дуже багато. З конкурентів можна виділити: Компанії «Smart Vision», «RFID Ukraine», розміщені у Києві. Аналіз проведено в табл. 6.2

Таблиця 6.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 3			
1	Доступ до ресурсів	Імпорт з інших країн	Імпорт з інших країн	Імпорт з інших країн		+	
2	Розмір капіталовкладень	Невеликі	Великі	Великі	+		
3	Точність	Висока	Помірна	Помірна			+
4	Швидкодія	Висока	Низька	Помірна		+	
5	Контроль якості	Поки що немає відповідного контролю	Високий	Високий	+		
6	Постійні витрати	Низькі	Дуже високі	Високі			+
7	Переваги у затратах виробництва	Низькі	Високі	Високі			+

6.3 Технологічний аудит ідеї проекту

Необхідно проаналізувати аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових табл. 6.3

Таблиця 6.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Система з підвищеною точністю визначення місцеположення	Алгоритм розрахунку місцеположення	Наявна	Так
2		Оброблення даних	Наявна	Так
3		Взаємодія з базою даних	Потрібно розробити	Так
4		Відображення оброблених даних	Потрібно розробити	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Застосування розробленого алгоритму				

Для реалізації ідеї обрано розроблений алгоритм визначення та уточнення місцеположення RFID-міток для створення єдиної системи моніторингу.

6.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення цих можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Аналіз попиту проводиться в табл. 6.4

Таблиця 6.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідні ліцензії, дозволи
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно дотримуватись якості продукції
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідомо

Попит є, систему використовуватимуть різні виробничі компанії, в лікарнях, в приватних будинках.

Ринок дуже привабливий, така система зможе забезпечити постійний дохід, адже вона матиме кращі технічні характеристики. Правда з ринку можуть витіснити більш крупні конкуренти в яких буде більше постачальників сировини і вони охоплюватимуть більшу частину ринку.

6.5 Визначення потенційних клієнтів

Цільовою групою по збуту готової продукції будуть заводи, склади, будівельні заводи, експорт в інші країни, продаж в місцеві організації. Характеристика потенційних клієнтів наведена в табл. 6.5

Таблиця 6.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Більш точні системи моніторингу, які зможуть оброблювати велику кількість	Будівельні заводи Склади Приватні підприємці Лікарні	Якість продукції, об'єми продукції,	Продукція має відповідати нормам, Компанія-постачальник повинна

	даних			представити дозволи та ліцензію на виробництво
--	-------	--	--	--

6.6 Аналіз ринкового середовища

Для аналізу скористаємося даними представленими в табл. 6.6-6.7

Таблиця 6.6- Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Якість сировини	Датчики та мітки не відповідатимуть заявленим вимогам та характеристикам	Додаткова перевірка сировини
2	Оборот сировини	Якщо не буде достатньої кількості сировини, то прибутковість зменшиться	Знаходження нових постачальників,
3	Не відповідність нормам	Продукція може бути нижчої якості ніж у конкурентів, що призведе до не конкурентноспроможності	Проведення досліджень і виявлення причини

Таблиця 6.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Більш точний алгоритму розрахунку координат	Покращення технології, що призведе до збільшення точності та ефективності	Дослідження і вдосконалення цього алгоритму

6.7 Аналіз сильних та слабких сторін

Для аналізу сильних та слабких сторін системи потрібно провести SWOT- аналіз, що показує, які потенційні можливості матиме система. Аналіз проведено в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота, Більша точність Більший об'єм оброблюваних даних	Слабкі сторони: Розмір капіталовкладень Невідома компанія
Можливості: Розширення функціоналу Нові технології	Загрози: Не відповідність нормам Не стабільність системи

Збільшення конкуренції призводить до зниження цінності продукту, що негативно може відобразитись на малих підприємствах, таких як наш проект. Низькі витрати на виробництво дозволяють отримати максимальний прибуток. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента. З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту. Розробимо три-рівневу маркетингову модель товару з метою уточнення ідеї продукту, його фізичних складових, особливостей його надання табл. 6.9.

Таблиця 6.9—Три-рівнева маркетингова модель

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Нові способи відтворення результатів. Зниження вартості більш точного виміру відстані
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо
	Пакування
	Марка: назва організації-розробника + назва товару

III. Товар із підкріпленням	До продажу — рівень розробки
	Після продажу — система із розробленим алгоритмом
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності	

6.8 Висновки до розділу

Дана система зможе забезпечити більшу точність визначення місцеположення об'єктів ніж у конкурентів, але є ряд факторів, які негативно вплинуть на вихід на ринок. Великі компанії можуть витіснити малий бізнес з ринку, але якщо система буде показувати кращі характеристики ніж аналоги, то можливе подальше розростання бізнесу і залучення нових інвесторів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішена наукова задача, яка полягає в розробці алгоритму визначення місцеположення RFID-міток на основі RSS-вимірюваннях.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Було проведено аналіз проблеми дослідження визначення місцеположення, а також проаналізовано існуючі методи її вирішення.

2. Розроблено рекурентний алгоритм оцінювання місцеположення RFID-міток на основі математичного апарату калманівської фільтрації, в якому, на відміну від існуючих, враховується дисперсія помилок вимірювання потужності датчиками мережі і реалізована послідовна обробка RSS-вимірювань від датчиків сенсорної мережі, що дозволяє уникнути обертання матриць великих розмірностей.

3. Отриманий алгоритм дозволяє підвищити точність визначення місцеположення RFID-міток на 32-36% в порівнянні з відомими методами.

4. Конфігурація бездротової сенсорної мережі з восьми датчиків є оптимальною для забезпечення рівномірного рівня точності по всій досліджуваній площині. Збільшення датчиків суттєвого приросту в покращенні системи не дає, а лиш підвищує дороговизну системи..

5. Для практичної реалізації алгоритму на мікропроцесорі фірми Texas Instruments необхідно 16.478 мкс для визначення однієї RFID-мітки після отримання RSS-вимірювань від восьми датчиків. Розроблений алгоритм може бути реалізовано в реальному часі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Impinj speedway reader [Електронний ресурс] // Impinj, Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202755388-Speedway-Reader-Family-Product-Brief-Datasheet>
2. An Introduction to Wi-Fi [Електронний ресурс] // Digi International Inc. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://ftp1.digi.com/support/documentation/0190170_b.pdf.
3. Zhu, X., & Feng, Y. (2013). RSSI-based Algorithm for Indoor Localization. *Communications and Network*, 5(2), 37–42. <https://doi.org/10.4236/cn.2013.52b007>
4. Timothy J. Black, Pubudu N. Pathirana, Saeid Nahavandi “Position Estimation and Tracking of an Autonomous Mobile Sensor using Received Signal Strength”, *IEEE Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, 2008, pp. 19-24.
5. Liping Zhang, Cheng-Chew Lim, Yiping Chen, and Hamid Reza Karimi “Tracking Mobile Robot in Indoor Wireless Sensor Networks”, *Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2014, Article ID 837050, 8 pages.
6. A. Masiero, F. Fissorea, A. Guarnieria, F. Pirottia, A. Vettorea “UAV positioning and collision avoidance based on RSS measurements”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W4, 2015, pp. 219-225.
7. Paula Tarrno, Ana M. Bernardos, Jos R. Casar “An RSS Localization Method Based on Parametric Channel Models”, *IEEE, International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2007, pp. 265-270.
8. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. -М.: Радио и связь, 1981. -416с.

9. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. -М.: Радио и связь, 1981. - 416с.
10. Э. Сейдж, Дж. Меле. Теория оценивания и её применение в связи и управлении. -М.: Связь, 1976. -496с.
11. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. -М.: Радио и связь, 1991. -608с.
12. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. -М.: Радио и связь, 1983. -320с.
13. Жук С.Я. Методы оптимизации дискретных динамических систем со случайной структурой / Монография. К.: НТУУ «КПИ», 2008. -232с.
14. Симаков В.А. Построение адаптивных систем пассивной радиолокации на принципах разностно-дальномерной координатометрии / В.А. Симаков // Научные ведомости Белгородский государственный университет . — 2005. — №2. — С. 221.
15. Товкач И. О. Рекуррентный алгоритм пассивной локации в сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала / И.О. Товкач, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2016. – № 66. – с. 46-55. (**WEB OF SCIENCE**).
16. Chan M., Zhang X. “Reader leveled RFID localization approaches and their simulation”, IEEE Long Island System, Applications and Technology Conference, 2017, pp. 1-6.
17. He Xu, Ye Ding, Peng Li, Wang R., Yizhu Li. (2017)“An RFID indoor positioning algorithm based on Bayesian Probability and k-nearest neighbor”, Sensors(Basel), 1806,
18. Analog Devices | Semiconductors and Signal Processing ICs [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.analog.com/ru/index.html>.

19. Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments [Электронный ресурс] // TI.com – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ti.com/>.