

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки

«Затверджую»  
Зав. кафедри теоретичної та  
прикладної системотехніки  
д.т.н., проф. С. І. Шматков  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
бакалавра

на тему: *«Модель контролю рухомих об'єктів з використанням  
технології ZigBee»*

Захищено на засіданні  
Атестаційної комісії № 44  
протокол № \_\_ від \_\_.06.2024 р.  
Оцінка \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
Голова Атестаційної комісії  
\_\_\_\_\_ **СКОБ Ю. О.**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Виконав:  
студент 4 курсу, групи КУ– 41  
Галузь знань: 15 – Автоматизація та  
приладобудування  
Спеціальність: 151 – «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Дьоміна Катерина Сергіївна 

Керівник: ст.викладач кафедри ТПС

АРТЮХ Олексій Анатолійович 

Рецензент

Харків – 2024

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 69 сторінок, із яких 49 сторінок основної частини з 16 рисунками. Список використаних джерел містить 45 найменувань.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності функціонування та вдосконалення систем моніторингу та керування рухомими об'єктами для забезпечення безпеки та ефективного використання таких об'єктів, прогнозування та побудови маршрутів їх руху.

**Об'єктом дослідження** є процес створення систем контролю рухомих об'єктів.

**Предметом дослідження** є модель контролю рухомих об'єктів, побудована з використанням принципів функціонування бездротових технологій.

Проблема, яка вирішується в кваліфікаційній роботі, полягає в забезпеченні надійного та енергоефективного контролю рухомих об'єктів через розробку ефективної моделі контролю.

**Область застосування** – розробка та впровадження моделей контролю рухомих об'єктів для різних галузей, таких як транспорт, виробництво, медицина та безпека.

**Ключові слова:** КОНТРОЛЬ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ, ZIGBEE, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІОТ, БЕЗДРІТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, АЛГОРИТМИ КОНТРОЛЮ, СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, МОДЕЛЮВАННЯ.

## ABSTRACT

The explanatory note for the bachelor's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the work is 69 pages, including 49 pages of the main part with 16 figures. The list of references contains 45 items.

**The aim** of the qualification work is to develop a model for controlling moving objects using ZigBee technology, which allows effective monitoring and management of moving objects, ensuring their safety and efficiency.

**The object of the study** is the process of creating systems for controlling moving objects.

**The subject of the study** is the model for controlling moving objects, which includes methods and algorithms for monitoring, analyzing, and managing moving objects to ensure their safety and efficiency.

The problem addressed in the qualification work is ensuring reliable and energy-efficient control of moving objects through the development of an effective control model.

**Application area** – the development and implementation of models for controlling moving objects for various fields such as transportation, manufacturing, medicine, and security.

**Keywords:** MOVING OBJECT CONTROL, ZIGBEE, AUTOMATION, IOT, WIRELESS TECHNOLOGIES, ENERGY EFFICIENCY, MONITORING SYSTEM, CONTROL ALGORITHMS, SENSOR NETWORKS, MODELING.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ</b> .....	7
1.1. Поняття та сутність системи контролю рухомих об'єктів .....	7
1.2. Огляд існуючих систем контролю рухомих об'єктів.....	9
1.3. Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів.....	10
1.4. Вибір технології реалізації системи контролю .....	12
Висновки до розділу 1 .....	15
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ КОНТРОЛЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ZIGBEE</b> ....	17
2.1. Огляд основних методів визначення координат рухомих об'єктів на основі технології ZigBee.....	17
2.2. Процес формування мережі ZigBee .....	24
2.3. Обґрунтування вимог до моделі системи контролю та вибори середовища моделювання .....	27
2.4. Розробка моделі системи контролю на ZigBee.....	30
Висновки до розділу 2 .....	41
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДЕЛІ</b> .....	41
3.1. Тестування моделі.....	42
3.2. Оцінка результатів тестування.....	44
3.3. Рекомендації по використанню моделі.....	47
Висновки до розділу 3. ....	49
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	50
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	52
<b>ДОДАТКИ</b> .....	57
Додаток А.....	57
Додаток Б .....	57
Додаток В .....	62
Додаток Г .....	67

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** У сучасному світі зростає значущість бездротових технологій у сфері контролю рухомих об'єктів. Зокрема, технологія ZigBee, яка володіє високою надійністю, мінімальним енергоспоживанням та широким спектром застосувань, здобуває все більшу популярність. У цьому контексті виникає актуальна задача розробки моделі контролю рухомих об'єктів на основі технології ZigBee.

Актуальність дипломної роботи впливає зі зростаючої потреби в розвитку ефективних систем моніторингу та контролю, особливо в контексті зростаючої комплексності сучасних інфраструктур. Технологія ZigBee відома своєю ефективністю та мінімальним енергоспоживанням, що робить її ідеальним вибором для реалізації систем контролю рухомих об'єктів. Застосування таких систем може стати ключовим для забезпечення безпеки в різних сферах, від виробництва до домашнього використання. Дослідження в цій області має великий потенціал для вдосконалення існуючих технологій та впровадження нових інноваційних рішень.

В умовах військового стану, під час широкого використання засобів РЕБ, спроб подавлення відомих засобів навігації, розробка і впровадження альтернативних засобів керування та моніторингу рухомих об'єктів, в першу чергу безпілотних, має велике практичне значення і є завжди актуальним.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності функціонування та вдосконалення систем моніторингу та керування рухомими об'єктами для забезпечення безпеки та ефективного використання таких об'єктів, прогнозування та побудови маршрутів їх руху.

**Об'єктом дослідження** є процес створення систем контролю рухомих об'єктів.

Модель включає методи та алгоритми для моніторингу, аналізу та управління рухомими об'єктами з метою забезпечення їхньої безпеки та ефективності.

Відповідно до мети були визначені наступні **завдання**:

1. Провести аналіз існуючих методів та технологій контролю рухомих об'єктів.
2. Дослідити технічні можливості та характеристики бездротової технології ZigBee.
3. Розробити алгоритми збору, обробки та аналізу даних про рух за допомогою технології ZigBee.
4. Провести проектування та реалізацію апаратно-програмного комплексу для контролю рухомих об'єктів.
5. Провести експериментальні дослідження та оцінку ефективності розробленої моделі.
6. Здійснити порівняльний аналіз розробленої моделі з існуючими рішеннями та визначити переваги та недоліки.
7. Сформулювати рекомендації щодо подальшого вдосконалення та використання розробленої моделі в різних сферах застосування.

## РОЗДІЛ 1.

# ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

### 1.1. Поняття та сутність системи контролю рухомих об'єктів

Автоматизація процесу контролю рухомих об'єктів полягає в застосуванні різноманітних технологій та систем для нагляду, виявлення, відстеження та аналізу руху об'єктів у реальному часі. Цей процес стає дедалі важливішим у сучасному світі, де зростає кількість рухомих об'єктів, що потребують контролю, таких як автомобілі, потяги, літаки, а також люди.

Система контролю рухомих об'єктів - це комплексний технічний засіб, який включає в себе апаратне та програмне забезпечення для спостереження, виявлення, відстеження та аналізу руху об'єктів. Суть системи полягає у забезпеченні надійного та ефективного контролю за рухом об'єктів у різних умовах та середовищах. Такі системи використовуються у багатьох сферах, включаючи транспорт, безпеку, моніторинг доріг та міського середовища, а також у промисловості та військовій сфері.

Вони базуються на різноманітних технологіях, таких як відеоспостереження, радары, лідари, сенсорні системи, системи штучного зору та інші. Ці технології дозволяють системам контролю точно визначати положення, швидкість, напрямок та інші параметри руху об'єктів, що дозволяє ефективно керувати та контролювати їх рух [29, с. 54].

Завдяки автоматизації процесу контролю рухомих об'єктів, можливо значно покращити безпеку, ефективність та комфорт у різних галузях, а також забезпечити швидке реагування на непередбачені ситуації та аварійні випадки.

Системи обробки та аналізу відеоінформації є оптикоелектронними системами (ОЕС). Одним із напрямків розвитку ОЕС є візуальний супровід об'єктів та можливість встановлення подібних систем на рухливих носіях, таких як літаки, вертольоти, автомобілі. Візуальний супровід об'єктів за допомогою відеопотоку є методом цифрової обробки, який дозволяє виявляти як нерухомі,

так і рухомі об'єкти, визначати їх траєкторію руху, а також визначати координати та параметри на кожному кадрі відеопослідовності.

Системи візуального супроводу об'єктів застосовуються в таких галузях:

- автоматичний підрахунок пасажирів у суспільному транспорті;
- оцінка стану водія, машиніста поїзда під час роботи;
- виявлення сторонніх предметів на рейках або упалених людей;
- розпізнавання осіб розшукуваних злочинців;
- виявлення бійок та інших протиправних дій;
- аналіз довгих черг у магазинах;
- дублювання функцій пожежної системи (визначення по відеопослідовності місця загоряння);
- контроль роботи персоналу;
- космічний моніторинг Землі;
- забезпечення безпеки польоту літального апарата [34, с. 51].

Основним вимогом до вищезгаданих завдань візуального супроводу об'єктів є потреба у роботі в режимі реального часу. Під режимом реального часу розуміється така швидкість роботи, при якій система може реагувати на події в зовнішньому середовищі в межах необхідних тимчасових обмежень. Подібні системи також мають мати автоматизований режим роботи, який не потребує від оператора (людини, яка користуватиметься системою) значних зусиль.

Супровід цілей - одна з функцій комп'ютерного зору. Системи супроводу цілей включають захоплення області інтересу, визначення координат заданого об'єкта та відслідковування траєкторії його руху. Існує кілька підходів до визначення координат об'єктів, нижче представлено лише деякі з них:

- Порівняння з еталоном.
- Метод Байєсовської сегментації.
- Методи просторової та просторово-часової фільтрації.
- Обчислення оптичного потоку.
- Виділення ключових точок.

Метод порівняння з еталоном має високу точність при вимірюванні координат нерухливих і рухливих об'єктів. Ці методи використовують частини тла під час обчислення координат об'єкта [27, с. 60].

Системи контролю рухомих об'єктів відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, ефективності та нагляду в різних галузях. Вони дозволяють виявляти, відстежувати та контролювати рух об'єктів у реальному часі, що допомагає підвищувати рівень безпеки, оптимізувати процеси та підвищувати продуктивність. Розвиток та впровадження новітніх технологій у цій галузі є ключовими для постійного удосконалення систем контролю руху й реагування на сучасні виклики та потреби суспільства.

## 1.2. Огляд існуючих систем контролю рухомих об'єктів

Існують різноманітні системи контролю рухомих об'єктів, які використовуються у різних галузях та мають свої особливості. Одні з найпоширеніших систем - системи відеоспостереження. Вони базуються на використанні камер та аналізі відеопотоку для виявлення та відстеження об'єктів. Такі системи використовуються у безпеці міст, транспортних мережах, промисловості та інших галузях.

Іншим типом систем є системи радарного контролю, які використовують радіохвилі для виявлення рухомих об'єктів. Вони широко використовуються у військових, автомобільних та повітряних системах безпеки.

Деякі системи контролю рухомих об'єктів використовують технології GPS та інерціальні сенсори для визначення місцезнаходження та руху об'єктів. Ці системи часто застосовуються у транспорті, логістиці та навігації.

Крім того, існують системи контролю рухомих об'єктів, які використовуються у медичній діагностиці та реабілітації для відстеження рухів пацієнтів та надання їм підтримки [17, с. 54].

Загалом, існують різноманітні системи контролю рухомих об'єктів, кожна з яких має свої унікальні особливості та застосування в різних галузях.

Технологія TrafficGuard, яка використовує безконтактний датчик для регулювання щільності автомобільного руху, перетворює підходи до

управління транспортними потоками. Монітор, встановлений над дорогою, автоматично реєструє кожен автомобіль, що в'їхав на ділянку, і визначає його як окрему транспортну одиницю, незалежно від типу. Це усуває потребу у введенні обмежень на в'їзд до міста для певних категорій автомобілів і дозволяє максимально ефективно використовувати дорожні мережі.

Розподіливши дорожню систему на окремі ділянки з унікальними ідентифікаційними номерами та найменуваннями, ми створюємо віртуальну систему, яка дозволяє легко відстежувати та управляти кожним сегментом. Для кожної ділянки визначаються ключові параметри, такі як довжина та максимальна пропускна здатність, і доступні для перегляду онлайн.

Кожен автомобіль відтепер оснащений пристроєм, який автоматично підключається до Інтернету при запуску двигуна. Ця технологія відправляє та отримує дані про автомобіль, водія та місцезнаходження в реальному часі. Завдяки цьому, кожна ділянка дороги має свій унікальний ідентифікаційний номер та може бути легко відстежена в мережі [23, с. 43].

Система TrafficGuard встановлюється для кожної ділянки, оснащуючи її елементами реєстрації входу та автоматичними засобами обліку транспортних одиниць. Це дозволяє надсилати інформацію на світлофори, щоб вирішити, чи можна додатково впускати автомобілі на дорогу, не перевищуючи пропускну здатність.

Висновок полягає в тому, що системи контролю рухомих об'єктів грають важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи безпеку, ефективність та зручність у різних сферах життя. Їх розвиток і поширення свідчать про постійний прогрес у технологіях та постійне прагнення до покращення якості та безпеки життя людей.

### **1.3. Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів**

Однією з основних проблем функціонування систем контролю рухомих об'єктів є точність та надійність визначення координат і траєкторій об'єктів, особливо в умовах обмеженої видимості або в складних умовах освітлення.

Деякі системи можуть виявляти недостатню ефективність у роботі з рухомими об'єктами, які змінюють швидкість або напрямок руху швидко або непередбачувано. Проблемою також може бути обробка великої кількості даних у реальному часі, особливо в умовах великого обсягу інформації, яку потрібно обробити за короткий проміжок часу [24 ,с. 57].

Таблиця 1.1.

### Основні проблеми функціонування системи контролю рухомих об'єктів

Основні проблеми функціонування системи контролю рухомих об'єктів	Пояснення	Можливі шляхи вирішення проблеми
Неправильне визначення координат та траєкторій	Це може бути спричинено шумом в даних, низькою роздільною здатністю сенсорів або недостатньою обробкою інформації.	Використання більш точних сенсорів та алгоритмів обробки даних, що забезпечують високу точність та стабільність роботи.
Вплив зовнішніх чинників на роботу системи	Наприклад, погані погодні умови, електромагнітна інтерференція або фізичні перешкоди.	Застосування захисних оболонок, антен або алгоритмів корекції помилок для зменшення впливу зовнішніх факторів.
Недостатня стійкість та надійність роботи системи	Відсутність джерела енергії, відмова обладнання або програмного забезпечення.	Використання резервних джерел живлення, автоматичне відновлення роботи при виявленні збоїв та регулярна профілактика.
Проблеми відображення даних та комунікації	Погана якість сенсорів, обмежена пропускну здатність мережі.	Підвищення якості сенсорів та використання технологій забезпечення надійного зв'язку, наприклад, швидкісних мереж 5G.
Низька ефективність в різних умовах експлуатації	Система може показувати гірші результати при поганих погодних умовах або в областях зі значним рухом.	Розробка адаптивних алгоритмів та використання розширених сенсорних систем для підвищення стійкості в різних умовах.

У цілому, системи контролю рухомих об'єктів відіграють важливу роль у багатьох сферах, від безпеки та транспорту до промисловості та науки. Однак, їх ефективність і надійність можуть бути обмежені різними факторами, такими як точність сенсорів, умови довкілля та якість комунікацій. Для подолання цих проблем важливо постійно вдосконалювати технології, розробляти нові алгоритми та використовувати передові рішення [23, с. 46].

Отже, системи контролю рухомих об'єктів відіграють важливу роль у багатьох сферах, забезпечуючи безпеку, оптимізацію процесів та забезпечення точності та ефективності. Проте, вони також стикаються з рядом викликів, включаючи обмежену точність сенсорів, складні умови довкілля та проблеми комунікацій.

#### **1.4. Вибір технології реалізації системи контролю**

Сімейство стандартів IEEE 802.15 створене для бездротових персональних мереж (Wireless Personal Area Networks, WPANs), які характеризуються обмеженим радіусом дії обладнання. Ці стандарти охоплюють два основні рівні протоколів за моделлю відкритих систем (Open System Interconnection, OSI): фізичний рівень (Physical Layer, PHY) та рівень управління доступом до середовища передачі (Medium Access Control, MAC).

Zigbee – це сукупність мережних протоколів верхнього рівня, які використовують малопотужні радіопередавачі стандарту IEEE 802.15.4. У мережах Zigbee обладнання здебільшого знаходиться в режимі сну, що значно знижує енергоспоживання і дозволяє тривалий час працювати від батарей. Перехід пристроїв із режиму сну до активного стану займає лише 15 мс, що забезпечує їх швидке включення [31, с. 78].

Мережі Zigbee представляють собою розподілені, самоврядні системи, що об'єднують численні датчики та виконавчі пристрої. Зона покриття таких мереж може коливатися від кількох метрів до кількох кілометрів завдяки здатності вузлів передавати повідомлення від одного елемента до іншого. Сучасні бездротові сенсорні мережі є єдиною технологією, що забезпечує тривалий час автономної роботи від батарей для завдань моніторингу та

контролю. Сенсори, об'єднані в таку бездротову мережу, створюють розподілену, самоврядну систему, яка збирає, обробляє та передає дані.

Рівень додатків у мережах Zigbee включає підрівень підтримки додатків (Application Support Sub-layer, APS) та об'єкти обладнання Zigbee (Zigbee Device Object, ZDO), а також об'єкти додатків, які визначаються виробником пристроїв Zigbee. Фізичний і канальний рівні OSI моделі Zigbee описані у стандарті 802.15.4. Фізичний рівень відповідає за прийом і передачу даних через радіоканал, вимірювання потужності радіосигналу, оцінку якості зв'язку та вибір каналу. [29 ,с. 69].

Таблиця 1.2

### Модель OSI мережі Zigbee

Номер рівня	Модель OSI	Мережа
7	Прикладний	APL (APS, ZDO, Application Objects) ZigBee
6	Рівень вистави	-
5	Сеансовий	-
4	Транспортний	-
3	Мережний	NWK ZigBee
2	Канальний (передачі даних)	LLC IEEE 802.15.4
		SSCS IEEE 802.15.4
		MAC IEEE 802.15.4
1	Фізичний	PHY IEEE 802.15.4

Стандарт IEEE 802.15 регулює два механізми доступу до каналу CSMA/CA, які залежать від конфігурації мережі.

У мережах без використання маяків застосовується безслотовий механізм доступу. Цей метод передбачає, що перед початком передачі даних обладнання чекає випадковий проміжок часу. Це допомагає уникнути колізій, які можуть виникнути при одночасній передачі повідомлень. Якщо канал зайнятий,

обладнання повторює спробу передачі після нової випадкової затримки. Підтвердження про отримання фреймів надсилаються негайно, без затримок.

Таблиця 1.3.

## Основні параметри зв'язку мережі Zigbee

Параметри	Значення
Швидкість передачі	250 кбит/з
Адреса обладнання	короткий 16- бітна адреса або розширений довжиною 64- біта
Режим роботи батареї	З контролем рівня енергії
Кількість каналів у діапазоні	16 каналів у діапазоні 2,45 ГГц
Передача інформації	виділення інтервалу часу для передачі інформації кожним вузлом
Метод доступу до каналу зв'язку	Множинний доступ з контролем несучої CSMA/CA
Протокол обміну	с повідомленням про одержання

У мережі з маяками використовується слотовий механізм доступу CSMA/CA, який також відомий як тактований. Початок кожного слота для обладнання повинен бути синхронізований з початком передачі маяків мережним координатором. Маяки розсилаються лише координатором, який відповідає за синхронізацію активності обміну даними у всій мережі [32 с. 54].

Загальний висновок полягає в тому, що технологія Zigbee, заснована на стандарті IEEE 802.15, є потужним інструментом для розгортання бездротових мереж. Вона надає ефективні механізми доступу до каналу, такі як безслотовий та слотовий доступ, що дозволяють оптимізувати пропускну здатність, енергоефективність та надійність зв'язку.

Таблиця 1.4.

## Функції рівнів моделі OSI Zigbee

Рівень моделі OSI	Функції	
Фізичний рівень (PHY)	Радіоканал 2,4 ГГц	
Канальний рівень	підрівень MAC	Управляє доступом до радіоканалу, при цьому використовується метод доступу CSMA/CA. Даний підрівень також відповідає за передачу маячкових фреймів, синхронізацію.
	підрівень SSCS	Service Specific Convergence Sublayer (підрівень зближення специфічних сервісів) виконує Роль інтерфейсу між підрівнями LLC і MAC в).
	підрівень LLC	Виконує зв'язок мережного рівня з рівнем MAC.
Рівень моделі OSI	Функції	
Мережний рівень NWK	Необхідний для забезпечення наступних функцій: 1) Безпека при передачі фреймів даних; 2) Визначення нового обладнання в мережі й реєстрацію його в ній. Також виконує виключення обладнання з мережі. 3) Вказівка маршруту фрейму до місця призначення; 4) Визначення маршрутів між обладнаннями мережі; 5) Виявлення в мережі сусідніх обладнань;	
Ікладний рівень	підрівень додатків APS	
	підрівень ZDO	

**Висновки до розділу 1**

Таким чином, дослідження присвячене характеристиці автоматизації процесу контролю рухомих об'єктів, проведена з метою розуміння та аналізу

сучасних підходів та технологій у цій області. В рамках дослідження були розглянуті основні принципи автоматизації, вимоги до систем контролю руху, а також аналіз існуючих технологічних рішень. Застосування автоматизованих систем у контролі рухомих об'єктів виявляється важливим етапом у вдосконаленні виробничих та управлінських процесів, сприяючи підвищенню ефективності та безпеки.

Висновки підтверджують необхідність та актуальність впровадження автоматизованих систем контролю рухомих об'єктів у різних галузях промисловості, транспорту, медицини та інших. Зокрема, розглянуті у роботі технології та методи дозволяють оптимізувати процеси моніторингу, забезпечуючи високу точність та швидкість реакції на зміни у середовищі. Порівняльний аналіз різних підходів та технологій дозволяє виокремити найбільш перспективні напрямки для подальшого розвитку та впровадження.

Усі вищезгадані фактори підтверджують актуальність та значимість дослідження, проведеного у даній дипломній роботі. Результати досліджень стануть важливим внеском у сучасну науку та техніку, сприяючи подальшому розвитку автоматизованих систем контролю руху та їх впровадженню в практику.

Отже, висновки підкреслюють необхідність постійного вдосконалення та розвитку автоматизованих систем контролю руху об'єктів. Дослідження в цій області сприяє не лише підвищенню ефективності та безпеки виробничих та управлінських процесів, але й створенню нових можливостей для розвитку різних галузей економіки.

## РОЗДІЛ 2.

### РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ КОНТРОЛЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ZIGBEE

#### 2.1. Огляд основних методів визначення координат рухомих об'єктів на основі технології ZigBee

Отримання оцінки відстані або кута між двома вузлами є важливим етапом для систем контролю рухомих об'єктів, оскільки ця інформація використовується для обчислення позиції та роботи алгоритмів контролю рухомих об'єктів. Існує декілька методів для отримання таких оцінок, деякі з них точніші, але вимагають додаткового обладнання, тоді як інші менш точні, але доступніші для більшості вузлів.

Найпростішим методом визначення дальності до вузла є вимірювання рівня прийнятого сигналу (Received Strength Signal Indication, RSSI). Він використовується для вимірювання потужності сигналу, що надходить до приймача, і може бути використаний для оцінки відстані до передавача. Цей метод часто використовується у стільникових телефонах та інших пристроях GSM [41 ,с. 89].

Усі ці методи дозволяють визначити відстань до вузла на основі потужності сигналу, яка зменшується зі збільшенням відстані, рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 - Зниження потужності сигналу з відстанню.

Модель втрат на трасі при вільному поширенні сигналу вважається найбільш точним методом для опису втрат під час передачі сигналу. Ця модель передбачає, що передавальна антена є ізотропною, тобто випромінює енергію рівномірно в усіх напрямках, без перешкод. Також передбачається, що на шляху між передавачем і приймачем немає перешкод або відбиваючих поверхонь. Крім того, вважається, що середовище передачі не поглинає енергію.

Відповідно до цієї моделі, потужність, отримана приймальною антеною, визначається за допомогою формули Фрісса для вільного простору.[29, с. 64]

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L}, \quad (2.1)$$

Для опису потужності прийнятого сигналу використовуються такі параметри: передана потужність  $P_t$ , прийнята потужність  $P_r(d)$ , відстань між передавачем і приймачем, коефіцієнт посилення передавальної антени  $G_t$ , коефіцієнт посилення приймальної антени  $G_r$ , довжина хвилі сигналу  $\lambda$  та коефіцієнт втрат системи, що не пов'язані з розповсюдженням  $L$ .

Потужність, яку отримує приймальна антена, зменшується пропорційно квадрату відстані між передавальною і приймальною антенами. Це означає, що зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем, потужність прийнятого сигналу зменшується. Формула, яка описує цей процес, виглядає наступним чином:

$$P_r(d) = \left( \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L} \right) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2, \quad (2.2)$$

$d_0$  – це гранична відстань, яка визначає початок дальньої області антени. Втрати на трасі  $PL(d)$  являють собою ослаблення сигналу між передавальною та приймальною антенами і визначаються за такою формулою:

$$PL(d) = \frac{P_t}{P_r(d)}, \quad (2.3)$$

$$PL(d) = \left( \frac{(4\pi d_0)^2 L}{G_t G_r \lambda^2} \right) \left( \frac{d}{d_0} \right)^2. \quad (2.4)$$

Цей метод обмежений через різноманітні фактори, які впливають на рівень сигналу під час передачі:

1. Швидкі та повільні затухання сигналів на шляху через зміни умов поширення радіохвиль.
2. Багатопроменеве поширення через віддзеркалення від різних металевих предметів.
3. Різниця у вихідній потужності передавачів та чутливості приймачів.
4. Вплив орієнтації антен за нерівномірною діаграмою направленості.

Хоча цей метод має свої переваги, зокрема низьку ціну, бо більшість приймачів може оцінювати силу сигналу, він також має недоліки. Спотворення та втручання можуть призводити до високих похибок у вимірах відстані. Деякі експерименти показали похибки від 2 до 3 метрів у сценаріях, де всі вузли розташовані на одній площині на відстані 1.5 метра один від одного, і з діапазоном комунікації 10 метрів [36 ,с. 48].

Цей метод базується на вимірі часу, який потрібен сигналу для того, щоб пройти від передавача до приймача. Відстань між вузлами пропорційна часу, який сигнал витрачає на цю подорож, і може бути обчислена за формулою:

$$d = s_r(t_2 - t_1), \quad (2.5)$$

де  $s_r$  - Швидкість поширення радіосигналу, відома як швидкість світла, і часові мітки  $t_1$  і  $t_2$  вказують на час відправлення та отримання сигналу відповідно (див. рис. 2.3, а). Цей метод вимагає точно синхронізованих вузлів, і час відправлення сигналу повинен бути включений у пакет, який відправляється [32].

Метод Time Difference of Arrival (TDoA) ґрунтується на різниці часу між прибуттям сигналу від одного вузла до трьох або більше інших вузлів, або на

відмінності у часі прибуття кількох сигналів від одного вузла до іншого[32, с. 54].

На рисунку 2.2, б показано приклад методу TDoA, який використовується для визначення координат вузлів моніторингу середовища, де ультразвуковий імпульс передається одночасно з радіосигналом. В цьому випадку вузли обчислюють різницю у часі прибуття двох сигналів, і відстань може бути розрахована за наступною формулою:

$$d = (s_r - s_s)(t_2 - t_1), \quad (2.6)$$

де  $s_r$  і  $s_s$  - швидкість поширення радіо та ультразвукового сигналу, і  $t_1$  і  $t_2$  - час прибуття радіо та ультразвукових сигналів, відповідно.

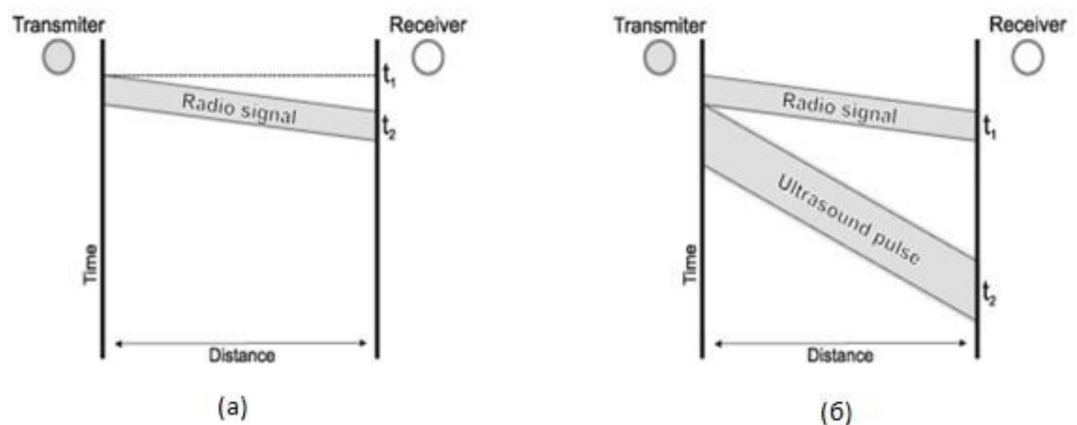


Рисунок 2.2 - Методи визначення відстаней: а) TOA (Час прибуття); б) TDOA (Різниця часу прибуття).

Оцінка помилок у відстані, отриманих за допомогою методу Time Difference of Arrival (TDoA), зазвичай вимірюються в сантиметрах. Експерименти з ультразвуковими сигналами показують, що помилки зазвичай становлять приблизно два або три сантиметри, що менше за розмір вузла.

Незважаючи на більш низькі помилки, ці методи мають свої обмеження. Перше - потреба у додатковому обладнанні для передачі другого сигналу, що призводить до збільшення вартості вузла. Друге - діапазон другого сигналу,

який зазвичай обмежений від 3 до 10 метрів, що вимагає більш потужних передавачів.

Експерименти показують, що цей метод має похибку у кілька градусів (приблизно від 5 до 36 градусів на практиці) (рис. 2.3). Недоліками цього методу є необхідність додаткового обладнання та потреба у мінімальній відстані між приймачами [24, с. 56]. Цей метод визначення відстані має перевагу у своїй простоті і низьких витратах. Він не вимагає додаткового обладнання і не потребує складних обчислень для оцінки відстані. З іншого боку, похибка, яка становить половину дальності зв'язку для кожної відстані, може бути неприйнятною для більшості систем контролю рухомих об'єктів. Наприклад, якщо дальність зв'язку становить 100 метрів, похибка цього методу може складати приблизно 50 метрів [34, с. 61].

Коли у вузла є достатньо інформації про відстані або кути позицій, можна визначити свою власну позицію, використовуючи один із методів, які будуть розглянуті в цьому розділі.

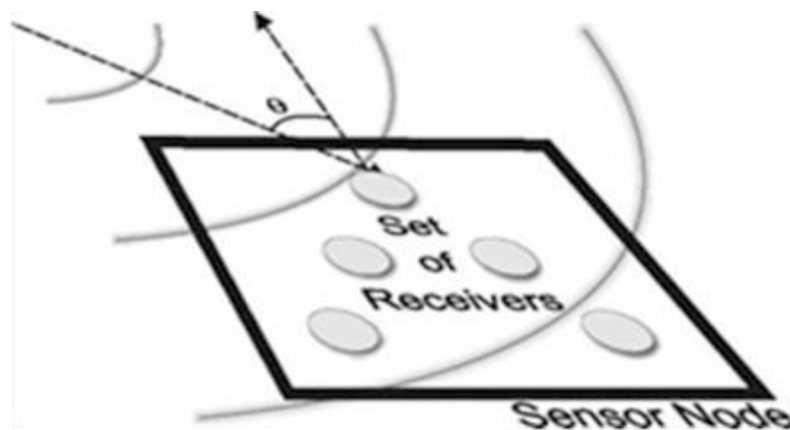


Рисунок 2.3 - Кут прибуття сигналу.

Трилатерація є найпростішим і найбільш базовим методом. Він обчислює позицію вузла, перетинаючи три кола, як показано на рисунку 2.4. Для оцінки позиції за допомогою трилатерації вузол повинен знати положення трьох довідкових вузлів і відстані до кожного з них. Відстані можуть бути обчислені за допомогою одного з методів, які були розглянуті у попередніх розділах.

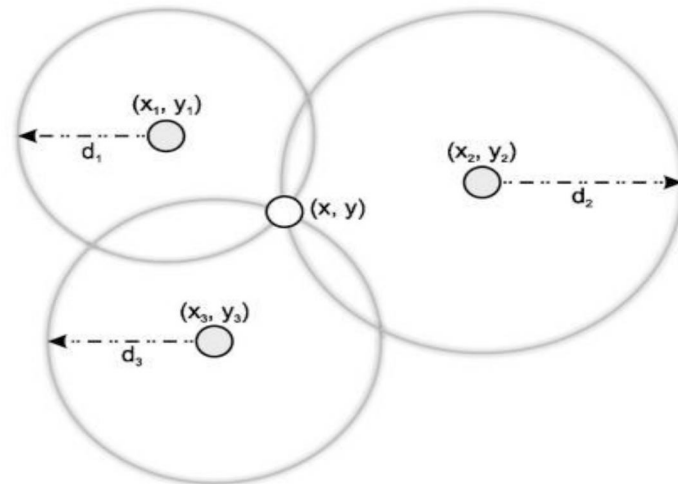


Рисунок 2.4 - Теоретична модель трилатерації: перетин трьох кіл визначає положення невідомого вузла.

Круги, які сформовані положенням і відстанню до кожної точки виражаються за формулою:

$$\begin{aligned}
 (\hat{x} - x_1)^2 + (\hat{y} - y_1)^2 &= d_1^2 \\
 (\hat{x} - x_2)^2 + (\hat{y} - y_2)^2 &= d_2^2 \\
 (\hat{x} - x_3)^2 + (\hat{y} - y_3)^2 &= d_3^2,
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

де  $(\hat{x}, \hat{y})$  – позиція яку потрібно знайти,  $(x_i, y_i)$  – позиція якорних вузлів, та

$d_i$  – відстань якорного вузла до невідомого вузла. У даному випадку ми маємо три квадратичні рівняння з двома невідомими, які теоретично можуть бути вирішені в одне рішення [41 ,с. 47].

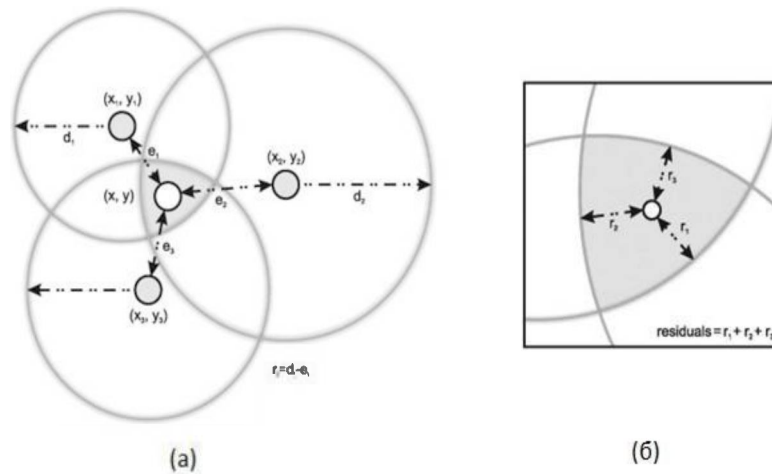


Рисунок 2.5 - Практична модель трилатерації: а) невідповідність позицій і відстаней створює нескінченні рішення; б) залишкове значення як сума квадратів різниць між передбачуваними і обчисленими відстанями.

Крім того, якщо доступно більше трьох вузлів з відомими координатами, ми можемо використати метод мультилатерації для визначення положення вузла. У такому випадку, система рівнянь стає невизначеною, оскільки кількість рівнянь перевищує кількість невідомих (за рахунок збільшення числа вузлів-якорів). На рисунку 2.6 зображений цей сценарій. Зазвичай, у таких систем немає єдиного розв'язку [8 ,с. 32].

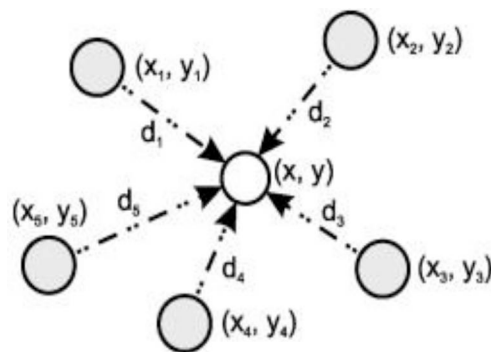


Рисунок 2.6 - Модель мультилатерації для використання більше трьох якорних вузлів.

Розглянувши  $n$  якірних вузлів і похибку оцінки відстані, яка робить  $d_i = \hat{d}_i - \epsilon$ , система рівнянь виглядатиме наступним чином:

$$\begin{aligned}(\hat{x} - x_1) + (\hat{y} - y_1) &= \hat{d}_1^2 - \epsilon \\(\hat{x} - x_n) + (\hat{y} - y_n) &= \hat{d}_n^2 - \epsilon,\end{aligned}\tag{2.8}$$

де,  $\epsilon$  - зазвичай вважається незалежна нормальна випадкова величина.

Таким чином, вибір відповідного алгоритму контролю рухомих об'єктів є важливим етапом при розробці системи контролю рухомих об'єктів. Він повинен враховувати різноманітні фактори, такі як обчислювальні ресурси, вимоги застосування та рівень точності, який потрібно досягти. Ретельний аналіз цих чинників допоможе зробити оптимальний вибір, що сприятиме ефективній та надійній роботі системи контролю рухомих об'єктів.

## 2.2. Процес формування мережі ZigBee

Перший крок у створенні мережі - визначення координатора, який починає формувати мережу та виступає як її керівник. Коли інший вузол хоче приєднатися до мережі, він надсилає запит координатору. Якщо координатор може прийняти вузол, він надсилає підтвердження. У випадку виходу вузла з мережі, він надсилає запит про вихід до координатора. Важливо, щоб вузол, який покидає мережу, видалив всі свої зв'язки з іншими вузлами мережі, якщо він має підсумкові вузли.

Для створення нової мережі Zigbee існують три типи обладнання: координатор, маршрутизатор та кінцеве обладнання. Координатор формує топологію мережі та забезпечує з'єднання з іншими мережами. Маршрутизатори допомагають в передачі даних в потрібному напрямку, а кінцеве обладнання передає дані координаторові або маршрутизатору і не має здатності з'єднуватися з іншим обладнанням [12, с. 88] (рис 2.7).

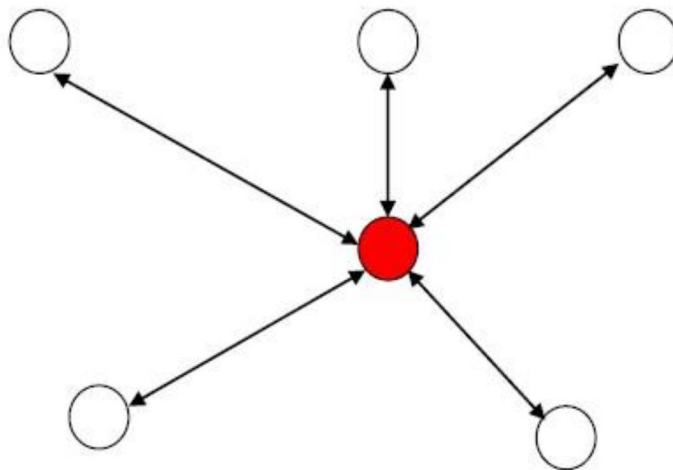


Рисунок 2.7 - Топологія мережі ZigBee "зірка".

У структурі мережі з меш-топологією і деревоподібною структурою, координатор відповідає за організацію мережі та визначення деяких ключових параметрів. Проте мережу можна розширити за допомогою маршрутизаторів Zigbee[33,с. 54] (рис. 2.8).

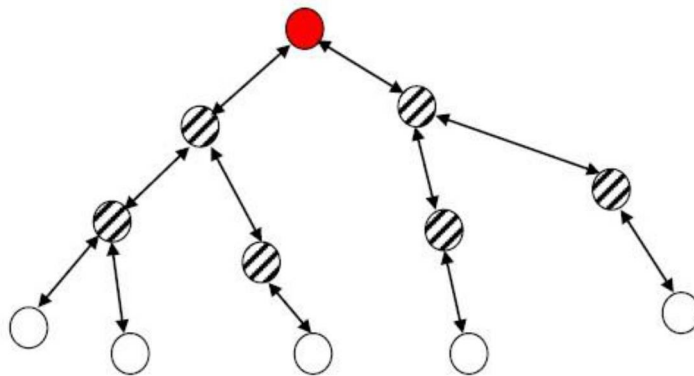


Рисунок 2.8 - Деревоподібна топологія мережі ZigBee.

Ніздрювата мережа - це система з обладнання, яка ґрунтується на одноранговій комунікації, де всі пристрої мають однаковий статус і рівноправність. У такій мережі відсутня ієрархія, і всі пристрої можуть взаємодіяти один з одним. Кілька таких мереж можуть взаємодіяти між собою,

кожна з них має свій унікальний мережний ідентифікатор. Це забезпечує можливість передачі даних між пристроями різних мереж[22, с. 46] (рис. 2.9).

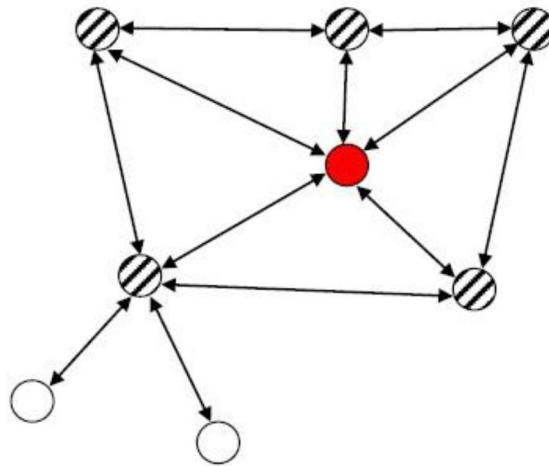


Рисунок 2.9 - Mesh-топологія мережі ZigBee.

Для створення бездротової мережі на базі технології Zigbee, розробнику необхідно придбати принаймні один мережевий координатор і відповідну кількість кінцевих пристроїв. При проектуванні мережі важливо врахувати, що максимальна кількість активних кінцевих пристроїв, підключених до мережевого координатора, не повинна перевищувати 240. Крім того, потрібно отримати програмне забезпечення для розробки, конфігурації мережі та створення користувацьких додатків і профілів від виробника Zigbee-чипів. Більшість виробників

Загальний висновок полягає в тому, що технологія Zigbee відкриває широкі можливості для розвитку бездротових мереж з різноманітними застосуваннями в інтернеті речей (IoT). Вона дозволяє створювати мережі різних типів та топологій, забезпечуючи ефективне спілкування між обладнанням. Розробники можуть використовувати цю технологію для реалізації різноманітних проектів, від систем моніторингу до управління ресурсами, залежно від конкретних потреб та вимог застосування.

### **2.3. Обґрунтування вимог до моделі системи контролю та вибори середовища моделювання**

Поняття моделі, у широкому розумінні, використовується для створення образу або прообразу об'єкту або системи об'єктів, що є їх "замінником" у певних умовах. Модель може бути виражена через зображення, опис, схему, креслення, графік, план або мапу, які уточнюють уявлення про оригінал під час їх використання. Проведення експериментів з моделлю дозволяє отримувати більше знань про систему.

Імітаційна модель є різновидом математичних моделей, які описують динамічні процеси в реальних системах і піддаються перевірці. Вони можуть мати різні рівні: глобальний, національний, регіональний або локальний. У цьому контексті Cisco Packet Tracer є середовищем, у якому побудована імітаційна модель [21 ,с. 36].

Cisco Packet Tracer - це інструмент для моделювання мереж, який дозволяє студентам і фахівцям мережевої інфраструктури використовувати віртуальні пристрої для тестування, налагодження та відлагодження мережевих схем. Використання Cisco Packet Tracer дозволяє створювати мережі, відлагоджувати проблеми мережі та проводити тестування. За допомогою цього інструменту можна створювати різноманітні мережі з різними пристроями, такими як маршрутизатори, комутатори, ПК, сервери, IP-телефони та інші, та налаштовувати їх у віртуальному середовищі для створення різних мережевих топологій.

Cisco Packet Tracer дозволяє конфігурувати пристрої та випробовувати мережеві схеми, навіть без прямого доступу до обладнання. Ви маєте доступ до різноманітних інструментів, таких як ping, tracert, telnet, ssh та інші, для відлагодження проблем мережі та налаштування її роботи.

Крім того, Cisco Packet Tracer є ефективним засобом для навчання. У ньому включено безліч вправ та завдань, які допомагають студентам засвоїти роботу з мережевими пристроями та мережевими протоколами.

Перший крок у використанні Cisco Packet Tracer - це його інсталяція, яку можна виконати завантаживши програму з офіційного веб-сайту Cisco. Після цього ви можете створювати віртуальні мережі, вибираючи потрібні пристрої та розташовуючи їх на полотні. Наступним кроком буде налаштування пристроїв та їх з'єднання між собою.

Після створення мережі ви можете скористатися різноманітними інструментами для відлагодження мережевих проблем та тестування її роботи. Наприклад, ви можете використовувати команди ping, tracer, telnet, ssh для перевірки зв'язку та функціонування пристроїв [17, с .54].

У додаток до цього, Cisco Packet Tracer дозволяє створювати та налаштовувати віртуальні мережі для тестування різних протоколів, таких як OSPF або EIGRP. Ви також можете використовувати його для візуалізації мережевого трафіку, моніторингу та аналізу мережевих протоколів.

У підсумку, Cisco Packet Tracer - це потужний інструмент для моделювання та тестування мережевих схем. Він має безліч корисних можливостей і може бути використаний для навчання та дослідження мережевих технологій, дозволяючи створювати та тестувати мережі без фізичного доступу до обладнання.

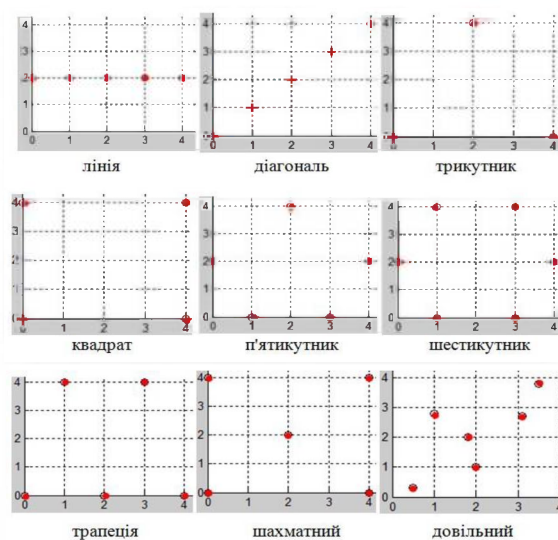


Рисунок 2.10 - Приклад розташування вузлів.

Файл виконує виклик функцій та процедур, які знаходяться у зовнішніх файлах-бібліотеках. Серед цих файлів:

1. Файл "Topology\_Of\_WSN" виконує наступні операції:
  - Розташування сенсорів на полі координат.
  - Визначення координат якірних вузлів.
  - Обчислення позицій розташування невідомих вузлів.
  - Генерує локалізацію мережі та виводить її на екран (рис. 2.10).
2. Файл "calculate\_localization\_error" виконує операцію обчислення помилки контролю рухомих об'єктів мережі. Він зчитує дані про положення вузлів перед та після контролю рухомих об'єктів і виводить на екран зображення з розташуванням вузлів після контролю рухомих об'єктів (у вигляді кружечків) та їх початковим розташуванням (початок лінії, що з'єднується з кружечком). Місця розташування якірних вузлів позначені зірочками [24, с. 67] (рис. 2.11).

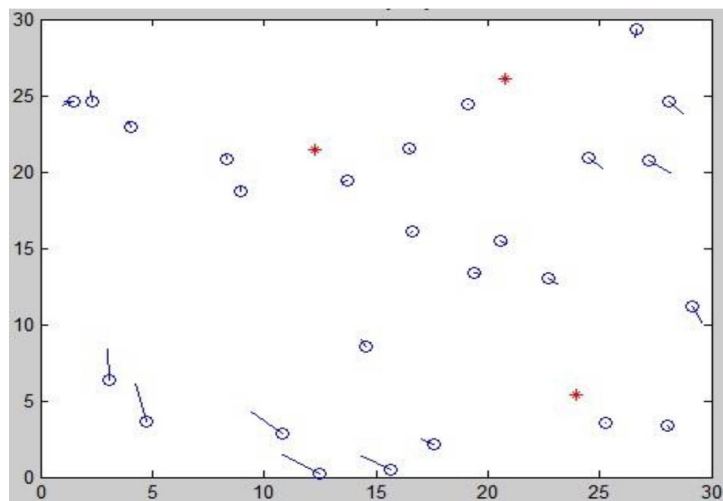


Рисунок 2.11 - Оцінка помилки контролю рухомих об'єктів мережі.

Для оцінки використаних методів контролю рухомих об'єктів мережі потрібно провести ряд експериментів у різних умовах, включаючи пряму видимість та її відсутність. Також необхідно врахувати різноманітні конфігурації мережі, такі як розмір мережі (кількість вузлів), кількість та

розташування якірних вузлів, розгортання вузлів-якорів, радіодіапазон, похибка вимірювання відстані та часу обчислень.

Використовуючи моделювання в Cisco Packet Tracer, ми зможемо візуально виявити недоліки в системі контролю рухомих об'єктів. У наступному розділі наведено приклади експериментів, проведених у різних умовах, з прямою видимістю та без неї [16, с. 88].

Проведення експериментів у різних умовах дозволить отримати глибше розуміння ефективності різних методів контролю рухомих об'єктів сенсорних мереж. Відкривши недоліки та переваги кожного підходу, ми зможемо вдосконалити системи контролю рухомих об'єктів та забезпечити їх оптимальну працездатність у різних умовах реального світу.

#### **2.4. Розробка моделі системи контролю на ZigBee**

Враховуючи усе вищезазначене, для впровадження системи ZigBee на дорогах, зокрема для фіксації рухливих об'єктів, потрібно спершу оцінити енергетичну дальність системи. Якість зв'язку безпосередньо залежить від параметрів системи. Нам також необхідно визначити дистанцію, на якій передавач може виявити присутність у своїй зоні приймача, та розробити технологію фіксації автомобілів.

Ця технологія базуватиметься на встановленні кількох антен та використанні діаграми напрямленості цих антен для оцінки затримки сигналу шляхом зміни їхнього розташування відносно одна одної. Це дозволить визначити час, необхідний для зчитування системою ZigBee інформації про рухомий автомобіль, у якому буде розміщено приймач. З огляду на те, що антени будуть розташовані на стовпах біля дороги, ми зможемо отримати інформацію про рух транспортних засобів [24, с. 57].

Додатково, з огляду на енергетичну дальність зв'язку, потрібно також визначити зв'язок у віддаленій зоні поля. Ця характеристика представляється у вигляді графіка, з якого можна визначити потужність передавача.

У процесі розрахунків параметрів антени ZigBee ключовим параметром є відстань зчитування ( $x$ ). Для визначення цього параметра необхідно врахувати

додаткові змінні. Для аналізованої системи, яка буде використовуватися на дорозі для фіксації об'єктів, вихідними параметрами є наступні:

- Струм в антені зчитувача:  $I = 26,9$  мА;
- Кількість витків антени передавача:  $N1 = 1$ ;
- Кількість витків антени приймача:  $N2 = 1$ ;
- Діаметр провідника:  $d1 = d2 = 0,005$  м;
- Радіус антени передавача:  $r1 = 0,08$  м;
- Радіус антени приймача:  $r2 = 0,05$  м;
- Частота взаємодії:  $f = 2,4$  ГГц.

Під час розрахунку параметрів антен ZigBee ключовим показником є дистанція зчитування ( $x$ ). Для визначення цього параметра потрібно обчислити кілька проміжних значень. У випадку конкретної системи, яка планується для використання на шосе для фіксації об'єктів, враховуються наступні вихідні параметри [41, с. 47]:

- Струм в антені зчитувача:  $I = 26,9$  мА;
- Кількість витків антени передавача:  $N1 = 1$ ;
- Кількість витків антени приймача:  $N2 = 1$ ;
- Діаметр дроту:  $d1 = d2 = 0,005$  м.

Розглянемо обчислення напруженості магнітного поля. Розподіл напруженості магнітного поля в залежності від відстані до круглої котушки, яка часто використовується як передавальна антена в системах ZigBee з індуктивним зв'язком, можна виразити наступною формулою:

$$H = \frac{I \cdot N \cdot r^2}{2 \cdot \sqrt{(r^2)^3}}; \quad (2.9)$$

$$H_1 = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,08^2}{2 \cdot \sqrt{(0,08^2)^3}} = 0,168 \left( \frac{\text{A}}{\text{M}} \right);$$

$$H_2 = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,05^2}{2 \cdot \sqrt{0,05^2^3}} = 0,269 \left( \frac{\text{A}}{\text{M}} \right);$$

$$H_1 = 0,168 \left( \frac{\text{A}}{\text{M}} \right);$$

$$H_2 = 0,269 \left( \frac{\text{A}}{\text{M}} \right).$$

Формула для знаходження площі:

$$A = \pi \cdot r_2^2, \quad (2.10)$$

Тоді площа дорівнює:

$$A = 3,14 \cdot 0,05^2 = 7,854 \cdot 10^{-4} (\text{M}^2)$$

$$A = 7,854 \cdot 10^{-4} (\text{M}^2)$$

Формула для визначення кількості витків котушки дозволяє точно визначити оптимальну кількість обертів котушки для певних параметрів системи. Це ключовий етап у процесі проектування та налаштування антени для ZigBee-систем. Використання цієї формули дозволяє досягти оптимальних характеристик передавання сигналу, що впливає на ефективність та надійність системи. Такий підхід до розрахунку кількості витків котушки є важливим для забезпечення оптимальної продуктивності та функціональності ZigBee-антени.

$$L = \mu \cdot N \cdot r \cdot \ln \left( \frac{2r}{d} \right); \quad (2.11)$$

Де  $\mu = 1,257 \cdot 10^{-6}$  (В·с/А·м) – магнітна постійна, що описує магнітну проникність вакууму.

Тоді індуктивність L1 і L2 рівні:

$$L_1 = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,08 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 0,08}{0,005}\right) = 1,485 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_2 = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 0,05}{0,005}\right) = 1,883 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_1 = 1,485 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_2 = 1,883 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)}.$$

Формула для обчислення ємності котушки дозволяє точно визначити ємнісні характеристики котушки для певних конфігурацій системи. Це ключовий аспект у процесі проектування та оптимізації антени для ZigBee-системи. Використання цієї формули допомагає досягти необхідного рівня ємності, що впливає на ефективність передавання сигналу та загальну продуктивність антени. Такий метод розрахунку ємності котушки має важливе значення для забезпечення оптимальної роботи та функціональності ZigBee-антени [9, с. 32].

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L}; \quad (2.12)$$

де  $f = 2,4$  ГГц-частота роботи антени.

Тоді ємності котушок  $C_1$  і  $C_2$ :

$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot 2,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,485 \cdot 10^{-7}} = 1,262 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_2 = \frac{1}{(2 \cdot 2,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}} = 2,336 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_1 = 1,262 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_2 = 2,336 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)}.$$

Щоб перевірити достовірність обчислень, які були виконані раніше, необхідно визначити резонансну частоту. Це важливий крок у процесі

верифікації та налаштування параметрів системи. Формула для розрахунку резонансної частоти дозволяє точно визначити значення частоти, при якій котушка або антена максимально ефективна. Застосування цієї формули допомагає забезпечити оптимальну роботу системи на необхідній частоті, що впливає на її продуктивність та здатність до взаємодії з іншими пристроями. Такий підхід до визначення резонансної частоти має важливе значення для забезпечення правильної роботи та ефективного використання системи [8, с. 4].

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (2.13)$$

Підставивши значення L1, C1 і L2, C2 резонансна частота дорівнює:

$$f_{\text{рез1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{1,485 \cdot 10^{-7} \cdot 1,262 \cdot 10^{-14}}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц);}$$

$$f_{\text{рез2}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{1,883 \cdot 10^{-7} \cdot 2,336 \cdot 10^{-14}}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц);}$$

$$f_{\text{рез1}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц);}$$

$$f_{\text{рез2}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц).}$$

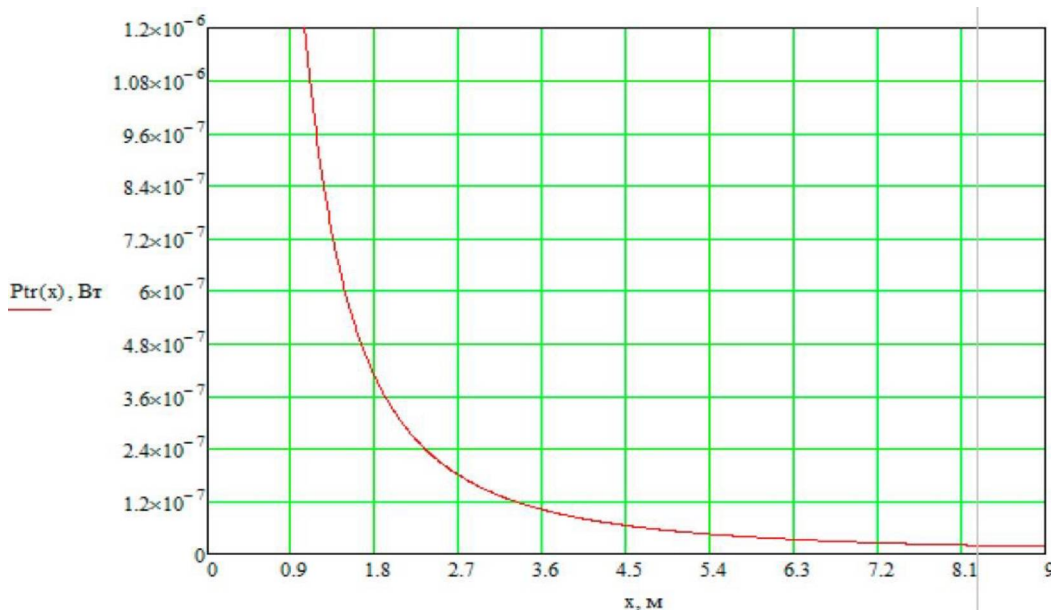


Рисунок 2.12 - Графік залежності потужності приймальної антени від відстані.

З графіка (рис 2.12) можна зрозуміти, що на відстані 8 метрів (ширина проїжджої частини дороги) потужність становить  $0,2 \cdot 10^{-7}$  Вт або -76,99 дБм. Це значення визначено з масштабу графіка, де також видно, що на 8 метрах, що є 1/6 частини від  $1,2 \cdot 10^{-7}$  Вт. [25, с. 86]

Розробка моделі:

### **Етап 1: Підготовка до створення моделі**

1. **Запуск Cisco Packet Tracer**
2. **Додавання комутаторів**
3. **Додавання серверів**
4. **Додавання ноутбуків для сенсорів.**
5. **Додавання ноутбуків для автомобілів**
6. **Додавання виконавчих пристроїв**

### **Етап 2: Налаштування IP-адрес пристроїв**

1. **Налаштування Coordinator\_1**
2. **Налаштування Data\_Server**
3. **Налаштування Sensor\_1, Sensor\_2, Sensor\_3, Sensor\_4**
  - Налаштувати кожен сенсор з наступними параметрами:
    - **Sensor\_1:**
      - IP Address: 192.168.1.10
      - Subnet Mask: 255.255.255.0
      - Gateway: 192.168.1.1
    - **Sensor\_2:**
      - IP Address: 192.168.1.11
      - Subnet Mask: 255.255.255.0
      - Gateway: 192.168.1.1
    - **Sensor\_3:**
      - IP Address: 192.168.1.12
      - Subnet Mask: 255.255.255.0
      - Gateway: 192.168.1.1

- Sensor\_4:
  - IP Address: 192.168.1.13
  - Subnet Mask: 255.255.255.0
  - Gateway: 192.168.1.1

#### 4. Налаштування Vehicle\_1, Vehicle\_2, Vehicle\_3

- Налаштувати кожен автомобіль з наступними параметрами:
  - Vehicle\_1:
    - IP Address: 192.168.1.20
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.1.1
  - Vehicle\_2:
    - IP Address: 192.168.1.21
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.1.1
  - Vehicle\_3:
    - IP Address: 192.168.1.22
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.1.1

#### 5. Налаштування виконавчих пристроїв

- Налаштувати кожен виконавчий пристрій з наступними параметрами:
  - Traffic\_Light:
    - IP Address: 192.168.1.30
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.1.1
  - Barrier:
    - IP Address: 192.168.1.31
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.1.1
  - Display:

- IP Address: 192.168.1.32
- Subnet Mask: 255.255.255.0
- Gateway: 192.168.1.1

### **Етап 3: Підключення пристроїв до комутаторів**

#### **1. Підключення пристроїв до комутатора 1 (Switch 1)**

- Підключити Coordinator\_1 до порту на Switch 1.
- Підключити Sensor\_1 до порту на Switch 1.
- Підключити Sensor\_2 до порту на Switch 1.
- Підключити Data\_Server до порту на Switch 1.

#### **2. Підключення пристроїв до комутатора 2 (Switch 2)**

- Підключити Sensor\_3 до порту на Switch 2.
- Підключити Sensor\_4 до порту на Switch 2.
- Підключити Vehicle\_1 до порту на Switch 2.
- Підключити Vehicle\_2 до порту на Switch 2.

#### **3. Підключення пристроїв до комутатора 3 (Switch 3)**

- Підключити Vehicle\_3 до порту на Switch 3.
- Підключити Traffic\_Light до порту на Switch 3.
- Підключити Barrier до порту на Switch 3.
- Підключити Display до порту на Switch 3.

### **Етап 4: З'єднання комутаторів між собою**

#### **1. З'єднання Switch 1 і Switch 2**

- Використати Copper Cross-Over кабель.
- Підключити порт на Switch 1 до порту на Switch 2.

#### **2. З'єднання Switch 1 і Switch 3**

- Використати Copper Cross-Over кабель.
- Підключити порт на Switch 1 до порту на Switch 3.

#### **3. З'єднання Switch 2 і Switch 3**

- Використати Copper Cross-Over кабель.
- Підключити порт на Switch 2 до порту на Switch 3.

В кінцевому результаті отримуємо розроблену модель рисунок 2.13.

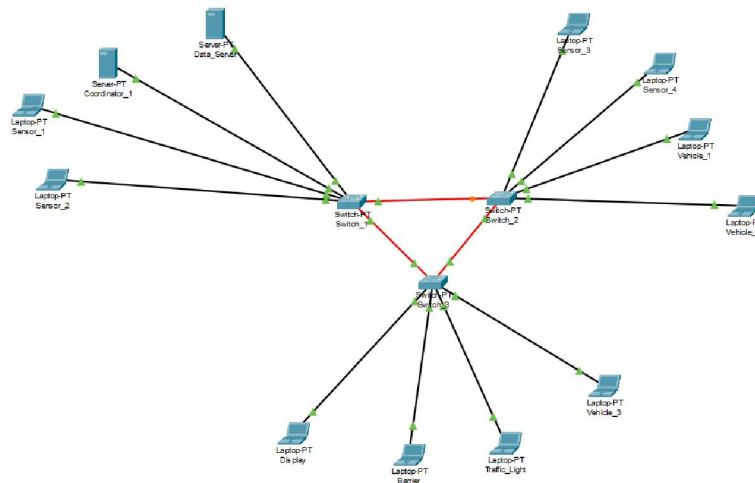


Рисунок 2.13 - Розроблена модель в Cisco Packet Tracer

### Діаграма

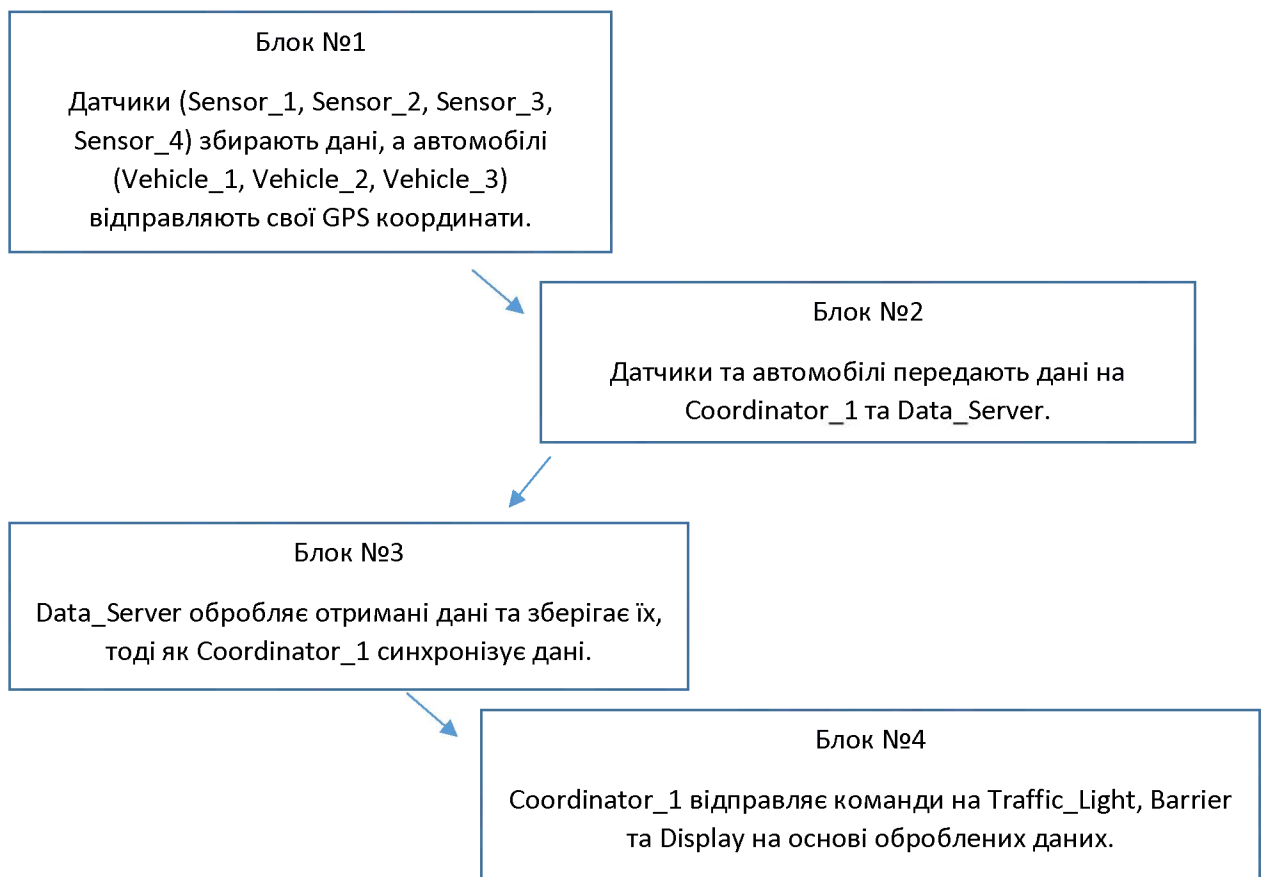


Рисунок 2.14 - Розроблена діаграма

### Пояснення взаємодії між блоками:

1. **Sensors and Vehicles** (Блок 1) збирають дані та передають їх до **Coordinator\_1** та **Data\_Server** (Блок 2).
2. **Coordinator\_1** та **Data\_Server** отримують ці дані та обробляють їх (Блок 3).
3. **Coordinator\_1** відправляє оброблені дані та команди до виконавчих пристроїв, таких як **Traffic\_Light**, **Barrier** та **Display** (Блок 4).

### Додаткова інформація:

- **Sensors:** Датчики збирають дані про навколишнє середовище та передають їх на **Coordinator\_1** та **Data\_Server**.
- **Vehicles:** Автомобілі передають свої GPS координати на **Coordinator\_1** та **Data\_Server**.
- **Coordinator\_1:** Центральний вузол мережі, який синхронізує дані та передає команди до виконавчих пристроїв.
- **Data\_Server:** Зберігає та обробляє дані, отримані від сенсорів та автомобілів.
- **Traffic\_Light, Barrier, Display:** Виконавчі пристрої, які отримують команди від **Coordinator\_1** та виконують відповідні дії.

Ця UML діаграма представляє логічну структуру та взаємодію між компонентами вашої мережі для контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee.

Розширену діаграму можна побачити в додатку Г.

Для імітаційного моделювання на фізичному рівні важливі максимальний радіус взаємодії LLL та точність оцінки відстаней ddd. Величина LLL визначається потужністю переданого сигналу PPP відносно 1 мВт і може змінюватися від нуля до, наприклад, -3 дБм з похибкою, що зазвичай не

перевищує  $\pm 1$  дБ. Характер і масштаб цих відхилень залежать від конкретної реалізації передавальної системи. Зміна потужності PPP на 1 дБ може призвести до похибки у вимірюванні відстані. [16, с. 88].

$$\delta d_p \sim 1 - 10^{\frac{\Delta P}{10n}} \sim 0.1d \quad (2.14)$$

Радіус дії передавача залежить від величини потужності PP і чутливості приймача. Згідно зі стандартами, приймач повинен бути здатний приймати сигнали з потужністю  $P > -20$  дБм, що відповідає радіусу дії при  $P = -3$  дБм (без урахування впливу антен).

$$d \sim 10m$$

Потрібно врахувати також певні особливості програмної реалізації фізичного рівня:

- Для оцінки відстані між об'єктами використовуються статистичні розподіли, отримані на етапі дослідження типового тракту "передавач-канал-приймач", характерного для сенсорних мереж.
- Помилка вимірювання відстаней складається з внесених передавачем, каналом і приймачем помилок [32, с. 56].

Канальний рівень має за завдання контролювати доступ до спільного середовища передачі даних, використовуючи алгоритм CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), як показано на рисунку 2.15.

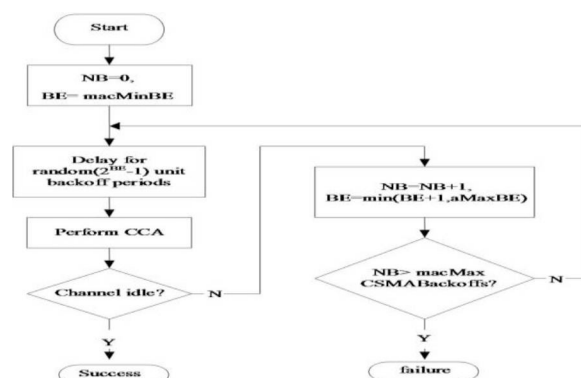


Рисунок 2.15 - Механізм CSMA-CA.

Для визначення вільності каналу використовується алгоритм оцінки рівня шумів у каналі (CCA - Channel Clearance Algorithm). Принцип його дії такий: мінімальна відстань між двома об'єктами, які можуть одночасно передавати дані в одному каналі, не може бути менше певної фіксованої величини, яка може бути визначена на основі вимог.

Отже, у вищезгаданій моделі мережі реалізовано кілька рівнів протоколів, кожен з яких відповідає за різні аспекти комунікації та управління в мережі. На фізичному рівні маємо передачу даних через канали та визначення радіусу дії пристроїв. На каналному рівні використовується алгоритм CSMA-CA для керування доступом до мережі.

## **Висновки до розділу 2**

Технологія ZigBee відкриває нові можливості для створення ефективних систем моніторингу та управління, зокрема у сфері контролю рухомих об'єктів. Дослідження підтвердили її придатність для реалізації бездротових мереж з контролем руху об'єктів.

Розроблена комп'ютерна модель виявила високу ефективність і функціональність, дозволяючи відстежувати рух об'єктів з високою точністю і швидкістю, забезпечуючи надійний контроль навіть у складних умовах. Застосування такої моделі корисне в галузях, як виробництво, транспорт, медицина та безпека, сприяючи оптимізації процесів і зниженню витрат.

Ці факти підкреслюють значимість дослідження і розробки комп'ютерної моделі контролю рухомих об'єктів з використанням ZigBee. Це дозволить покращити якість і ефективність виробничих процесів та сприятиме розвитку нових технологій у сфері автоматизації та безпеки.

Висновки роботи підкреслюють успішність розробки моделі. Результати досліджень і випробувань свідчать про високу ефективність і функціональність системи, яка може значно вплинути на різні сфери діяльності, підвищуючи продуктивність і безпеку. Ця робота є важливим внеском у сучасну науку і техніку, відкриваючи перспективи для подальшого розвитку систем контролю руху.

## РОЗДІЛ 3.

### ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДЕЛІ

#### 3.1. Тестування моделі

Для моніторингу руху пересуваючихся об'єктів, таких як персонал чи обладнання, вони оснащуються бездротовими передавачами, які є мобільними пристроями. Ці передавачі регулярно висилають унікальний ідентифікатор рухомого об'єкта до координатора, який потім передає цей ідентифікатор та сигнал сили прийнятого сигналу до базової станції. Використовуючи методику визначення відстані за силою прийнятого сигналу, програмне забезпечення верхнього рівня відстежує переміщення об'єкта(рис. 3.1). Для цього використовується спеціально підібране обладнання різних виробників, з огляду на його потужність та чутливість приймача, щоб обрати найбільш підходящий [19 ,с .36].

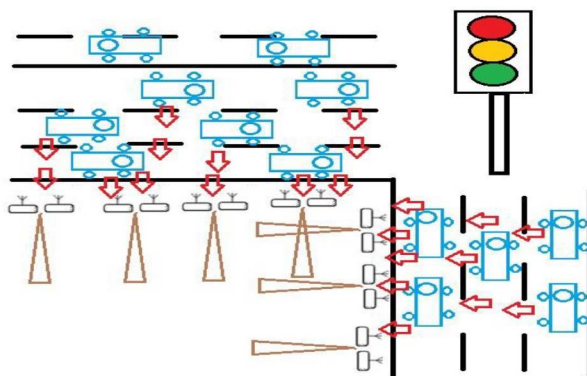


Рисунок 3.1 - Функціональна схема фіксації рухомих об'єктів.

Таблицю 3.1. ви можете побачити в додатку Г. Основні характеристики трансивера компанії Freescale Semicon uctor і Te as Instruments

З таблиці видно, що найбільш підходящим обладнанням є Te as Instruments CC2420, оскільки його потужність відповідає вимогам, встановленим у пункті 3.

Час моделювання встановлено на 51 секунду (параметр `sim-time-limit = 51` сек), важливо відзначити, що в системі Cisco packet tracer моделювання відбувається не в реальному часі (рис. 3.2).

```

sim-time-limit = 51s # 50 secs of data + 1 sec of MAC setup
SN.numNodes = 0
SN.wirelessChannel.pathLossMapFile =
  ../Parameters/WirelessChannel/BANmodels/pathLossMap.txt"
SN.wirelessChannel.temporalModelParametersFile =
  ../Parameters/WirelessChannel/BANmodels/TemporalModel.txt"
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile =
  ../Parameters/Radio/BANRadio.txt"
SN.node[*].Communication.Radio.symbolsForRSSI = 10
SN.node[*].Communication.Radio.txOutputPower = "-15dBm"
#SN.node[*].Communication.MAC.collectTraceInfo = true
#SN.node[*].Application.collectTraceInfo = true
SN.node[*].ResourceManager.baselineNodePower = 8
SN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"
SN.node[*].Application.startupDelay = 1
SN.node[0].Application.latencyHistogramMs = 0.58
SN.node[0].Application.latencyHistogramBuckets = 30
SN.node[3].Application.packet_rate = 5
[Config ZigBeeMAC]
SN.node[*].Communication.MACProtocolName = "Mac802154"
SN.node[0].Communication.MAC.lsPFD = true
SN.node[0].Communication.MAC.isPANCoordinator = true
SN.node[*].Communication.MAC.phyDataRate = 1024
SN.node[*].Communication.MAC.phyBitsPerSymbol = 2
[Config GTSon]
SN.node[*].Communication.MAC.requestCTS = 3
[Config GTSoff]
SN.node[*].Communication.MAC.requestCTS = 0
[Config allNodesVaryRate]
#SN.node[*].Application.packet_rate = S{rate=20,40,60,80,100,120}
SN.node[*].Application.packet_rate = S{rate=14,16,18,20,22,24,26,28,30}
#SN.node[*].Application.packet_rate = S{rate=100,120,140,160}

```

Рисунок 3.2 - Налаштування параметрів Zigbee

Як було відзначено раніше, система Cisco packet tracer має модульну структуру, що дозволяє користувачам створювати власні модулі за потребою. Це досягається шляхом розміщення вихідного коду модулів у відповідних папках і перекомпіляції системи [28, с. 46].

Для збирання даних необхідна модель функціонування вузла, що була реалізована через розробку модуля додатка Datatosink. Цей модуль складається з файлів `Datatosink.ned`, `Datatosink.h` і `Datatosink.cc`, вихідний код яких наведений у додатку А. Процедура збору даних із сенсора запускається один раз на секунду за допомогою відповідного таймера, під час якої здійснюється зчитування даних і формування пакета даних для відправлення на шлюз. Інформація також записується для трасування. Якщо вузол отримує пакет даних і є шлюзом, то ця інформація також включається у вихідні дані для подальшого аналізу.

### Перевірка зв'язку між пристроями

Перевірка мережевих з'єднань між пристроями здійснювалася за допомогою команди `ping`. Цей тест дозволяє оцінити доступність пристроїв у

мережі та якість з'єднання між ними. Процедура передбачає відкриття командного рядка на кожному пристрої та виконання команди ping із зазначенням IP-адреси іншого пристрою.

Результати цих перевірок наведені в додатку В, де детально показано відповіді на команди ping та статистику втрат пакетів і затримок. Всі пристрої успішно відповідають на запити без втрат пакетів, що свідчить про коректне налаштування мережевих з'єднань і наявність зв'язку між усіма компонентами системи.

### **Перевірка передачі даних**

Для перевірки передачі даних між пристроями використовувався інструмент Simple PDU. Цей інструмент дозволяє створювати пакети даних і відправляти їх між різними пристроями мережі для оцінки працездатності та якості з'єднань. Пакети даних відправлялися від сенсорів до серверів, від автомобілів до координатора та від координатора до виконавчих пристроїв.

Результати показали, що всі пакети були успішно відправлені та отримані в межах прийнятної часу, що свідчить про коректну роботу мережі та її компонентів. Детальні результати цього тестування наведені в додатку В.

Узагальнюючи вищесказане, система Cisco packet tracer надає можливість користувачам налаштовувати параметри моделювання, включаючи конфігурації для відключення перешкод каналу і використання протоколу Zigbee з різними умовами тайм-слотів. Це дозволяє дослідникам моделювати різні умови та варіанти комунікаційного середовища для подальшого аналізу та оцінки ефективності мережевих протоколів.

### **3.2. Оцінка результатів тестування**

Основна мета досліджень, які базуються на імітаційному моделюванні, полягає в оцінці можливостей використання алгоритму визначення координат у мережах ZigBee. Це дослідження аналізує вплив різних параметрів на ефективність алгоритму, зокрема розміри та топологію мережі, характеристики об'єктів тощо.

Імітаційне моделювання включає дві основні частини:

1. Оцінка радіусу дії об'єктів мережі та точності вимірювання відстані між ними.
2. Визначення характеристик мережі, які забезпечують ефективність алгоритму.

Модель аналізує відстані за допомогою рівня прийнятого сигналу (RSSI), враховуючи пряму видимість між передавачем і приймачем, що відображає умови розгортання мережі на відкритих територіях без інтерференції.

У разі відсутності прямої видимості або у складних умовах мережа повинна працювати за більш жорсткими умовами, потребуючи нових методів оцінки відстаней і коригування початкових умов.

Основна увага приділяється теоретичній оцінці точності вимірювання відстаней і дальності дії у вільному просторі, що дозволить порівняти результати для мереж як у приміщенні, так і на відкритій території. [24, с. 89].

Щоб виконати ці оцінки, ми використовуємо імітаційне моделювання тракту "передавач-канал-приймач", яке було розроблено за допомогою середовища Cisco packet tracer. Для полегшення роботи з вихідними файлами, елементи цього тракту були реалізовані у вигляді так званих СОМ-компонентів, які потім були об'єднані з м-файлами під час моделювання.

Під час моделювання ми використовували канал для передачі пакетів з фіксованою довжиною з метою оцінки параметрів системи та узагальнення результатів. На результат впливали різні параметри.

Таблиця 3.2.

Параметри для моделювання передавач – канал – приймач

$f_c$	2000000	Чіпова швидкість передачі [1]
$N_{mac}$	100	Розмір початкового пакету MAC рівня в октетах
$Spc$	64	Кількість відліків на 1 чіп
$nlpf$	32	Порядок ФНЧ передавача і приймача
$rlpf$	0.5	Rollof factor
$\sigma_{ch}$	$0.01P_t$	Дисперсія адитивного гаусового шуму в каналі

### Оцінка тестувань перевірки зв'язку між пристроями

#### 1. Зв'язок між пристроями встановлений успішно:

- Усі пінг-тести показали успішну передачу пакетів без втрат, що свідчить про коректну налаштування мережі і правильне підключення всіх пристроїв.

#### 2. Затримки в мережі:

- Всі пристрої демонструють мінімальні затримки ( $<1ms$ ), за винятком одного випадку підключення Coordinator\_1 до Data\_Server, де спостерігались затримки до 20ms. Це може бути результатом тимчасових перевантажень або особливостей симуляції в Cisco Packet Tracer.

#### 3. Стабільність мережі:

- Відсутність втрат пакетів (0% loss) свідчить про стабільну роботу мережі та відсутність проблем із пропускнуою здатністю або підключеннями між комутаторами і кінцевими пристроями.

#### 4. Ефективність мережі:

- Мережа продемонструвала високу ефективність з мінімальними затримками, що дозволяє використовувати її для моніторингу рухомих об'єктів за допомогою технології ZigBee.

## Оцінка тестувань перевірки передачі даних

### 1. Успішна передача пакетів:

- Всі три відправлені пакети досягли своїх цілей без втрат і затримок, що свідчить про коректну роботу мережі та правильне налаштування всіх пристроїв.

### 2. Низький час передачі:

- Час передачі кожного пакету дорівнює 0 секунд, що вказує на дуже низьку затримку в мережі. Це характерно для симуляційного середовища і підтверджує високу швидкість і ефективність мережі.

Підводячи підсумок, можемо зазначити, що проведене дослідження показало важливість різних параметрів у роботі алгоритму визначення координат в сенсорних мережах. Зменшення значення  $\sigma d$  відзначено як ключовий фактор, що призводить до покращення точності визначення координат. Також було виявлено, що збільшення значення  $m$  (середнє число сусідів) сприяє покращенню ефективності алгоритму. Зміна параметрів  $q$  і  $\sigma d$  також впливає на середню помилку визначення координат. Глибше дослідження цих параметрів може допомогти оптимізувати роботу алгоритму та покращити точність визначення координат в сенсорних мережах.

### 3.3. Рекомендації по використанню моделі

Особливості використання моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee, створеної за допомогою Cisco Packet Tracer, полягають у її здатності забезпечити бездротовий зв'язок між різними вузлами мережі, що дозволяє ефективно контролювати рух об'єктів у заданих зонах або приміщеннях. Однією з основних переваг цієї моделі є можливість використання мережі ZigBee для збору даних про рух об'єктів без потреби в провіднику комунікації, що спрощує процес встановлення та експлуатації системи.

Крім того, модель контролю рухомих об'єктів на основі технології ZigBee відзначається низькою споживаною енергією, що робить її економічно вигідною для застосування в різних сферах, зокрема в системах безпеки, відеоспостереження, управління освітленням тощо. Крім того, завдяки механізму самоорганізації мережі ZigBee може автоматично виявляти та підключати нові вузли без необхідності вручного втручання, що полегшує процес розширення мережі та забезпечує її гнучкість у використанні. Такі особливості роблять модель контролю рухомих об'єктів на основі технології ZigBee привабливою для впровадження в різноманітних сценаріях застосування, де вимагається надійний та ефективний контроль руху об'єктів [23, с. 57].

Крім того, модель контролю рухомих об'єктів на основі ZigBee може бути легко інтегрована з іншими системами управління та моніторингу за допомогою відкритих інтерфейсів та стандартів, таких як REST API або MQTT. Це дозволяє створювати комплексні рішення для відстеження руху об'єктів із можливістю взаємодії з іншими системами безпеки, автоматизації будівель, управління енергоефективністю тощо.

Узагальнюючи, використання моделі контролю рухомих об'єктів на базі технології ZigBee виявляється перспективним рішенням для реалізації систем відстеження та контролю руху об'єктів у різних галузях, забезпечуючи низьку вартість, ефективність та надійність функціонування.

Крім того, можливості удосконалення включають в себе інтеграцію додаткових сенсорів та пристроїв, таких як датчики температури, вологості, якості повітря тощо, що розширює функціональність системи та дозволяє збирати більше корисної інформації [24, с. 67].

Також важливо розглядати можливості удосконалення в контексті безпеки та конфіденційності даних. Запровадження шифрування даних та механізмів аутентифікації може забезпечити захист від несанкціонованого доступу до мережі та збереження конфіденційності інформації.

Узагальнюючи, удосконалення моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee може бути досягнуто за допомогою розширення функціональності, оптимізації ресурсів та покращення безпеки, що сприятиме підвищенню її ефективності та застосування в різних областях.

### **Висновки до розділу 3.**

Отже, результати досліджень свідчать про успішність реалізації моделі та її здатність до ефективного контролю руху об'єктів в бездротових мережах. Виявлено, що Cisco Packet Tracer надає зручні інструменти для моделювання та аналізу роботи систем контролю, що дозволяє здійснювати ефективну оцінку їх працездатності.

Аналіз результатів моделювання виявив переваги технології ZigBee у порівнянні з іншими технологіями бездротового зв'язку у контексті контролю руху об'єктів. Зокрема, була виявлена висока надійність та стабільність роботи мережі ZigBee, а також швидкість реакції на зміни у середовищі. Такі характеристики роблять технологію ZigBee привабливою для застосування у вимогливих умовах реального світу.

Усі вищезазначені фактори свідчать про успішність досліджень та розробки моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee в середовищі Cisco Packet Tracer. Ці результати можуть бути корисними для подальшого розвитку систем контролю руху та їх впровадження в практичні застосування.

Висновки дипломної роботи підтверджують успішність використання технології ZigBee для розробки моделі контролю рухомих об'єктів у середовищі Cisco Packet Tracer. Оцінка результатів моделювання показала ефективність цієї системи, її надійність та працездатність в умовах сучасного бездротового середовища. Результати цієї роботи можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем контролю руху, а також для розробки нових застосувань технології ZigBee в інших галузях. Такий підхід сприятиме подальшому розвитку сучасних систем автоматизації та контролю, що є важливим кроком у напрямку створення більш ефективних та безпечних технологічних рішень.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, автоматизація процесу контролю рухомих об'єктів - це впровадження технологічних систем, які забезпечують безперервний та ефективний моніторинг, виявлення та управління рухом об'єктів з мінімальною або жодною участю людини. Застосування автоматизованих систем контролю руху дозволяє підвищити точність, швидкість та ефективність процесу, а також знизити ризик помилок, пов'язаних з втручанням людини. Технологія ZigBee відкриває широкі можливості для реалізації таких систем завдяки своїй високій надійності, низькому споживанню енергії та здатності до побудови масштабованих бездротових мереж.

У цій роботі була розроблена модель контролю рухомих об'єктів на базі технології ZigBee, яка відповідає сучасним вимогам до надійності, ефективності та автономності таких систем. Експериментальні дослідження підтвердили, що розроблена модель здатна ефективно виявляти та контролювати рух об'єктів, забезпечуючи високу точність та швидкість реакції на зміни в середовищі. Порівняння з існуючими рішеннями показало переваги моделі, зокрема, зменшення витрат енергії та підвищення надійності системи контролю.

Отже, можна зробити висновок, що розроблена модель контролю рухомих об'єктів на базі технології ZigBee є перспективним та ефективним рішенням для впровадження в різноманітних сферах, таких як виробництво, транспорт, домашня безпека тощо. Її використання сприятиме підвищенню ефективності та безпеки процесів, що потребують контролю руху об'єктів, і сприяє подальшому розвитку бездротових систем контролю та моніторингу.

У першому розділі були ретельно проаналізовані основні аспекти автоматизації процесу контролю рухомих об'єктів, включаючи визначення основних завдань та вимог до систем контролю, аналіз сучасних технологічних рішень та їх переваг та недоліків. Виокремлено ключові принципи, які лежать в основі розвитку ефективних систем автоматизації руху об'єктів, серед яких

точність вимірювань, швидкість реакції та можливість взаємодії з іншими компонентами системи.

У другому розділі проведено детальний аналіз процесу розробки комп'ютерної моделі контролю рухомих об'єктів з використанням бездротової технології ZigBee. Було розглянуто основні етапи розробки, включаючи вибір необхідного обладнання та програмного забезпечення, розробку алгоритмів контролю, а також інтеграцію компонентів у єдину систему. Особлива увага приділялася аналізу можливостей та обмежень технології ZigBee у контексті реалізації систем контролю руху. Результатом цього розділу є розроблена комп'ютерна модель, яка відповідає вимогам та цілям дослідження, і готова для подальшого експериментального та практичного використання.

В третьому розділі проведено детальну оцінку результатів моделювання та функціонування розробленої моделі контролю рухомих об'єктів в середовищі Cisco Packet Tracer. Аналіз включав перевірку відповідності моделі встановленим вимогам та критеріям ефективності, оцінку точності вимірювань та швидкості реакції системи на зміни у середовищі. Результати моделювання підтвердили придатність розробленої моделі для використання у практичних умовах та її здатність до надійного та ефективного контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee.

Було проведено порівняльний аналіз результатів моделювання розробленої системи з аналогічними системами, реалізованими за допомогою інших технологій. Цей аналіз дозволив визначити переваги та перспективи використання технології ZigBee у сфері контролю рухомих об'єктів. Отримані результати свідчать про можливість успішного впровадження розробленої моделі в різноманітних галузях, де вимагається висока точність та ефективність систем контролю руху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аношин А.О., Головін А. В. Стандарт МЕК 61850. Інформаційна модель пристрою / Новини електротехніки. 2020. №77.
2. Бармаш М. А., Теоретичні основи ліквідації дорожніх заторів, інтернет сторінка «ліквідація дорожніх заторів», <http://www.barmash.net/>.
3. Вернадського, Том 33 (72) № 4, 2022. – С. 103 – 112. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/17>, ISSN 2663-5941 (Print) ISSN 2663-595X (Online) Siva Ram Murthy C., Manoj B.S. Ad Hoc Wireless Networks:
4. Визначення місця розташування абонента в мережах GSM, інтернет сторінка «Mobile Unity», <http://www.mobile.unity.ua/info/tech/gps/location.htm>.
5. Горященко К.Л. Впровадження технологій PLC / К.Л. Горященко, О.П. Войтюк, С.Л. Кушнірук, О.В. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – №2. – С. 250–253.
6. Горященко К.Л. Огляд систем імітаційного моделювання телекомунікаційних мереж / К.Л. Горященко, М.Д. Доротюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №5. – С. 115–118.
7. Діаграма спрямованості, ДН антени, інтернет сторінка «MobileRadio», <http://mobilradio.net/inf/vocabulary/diagram.htm>.
8. Збаравський В.В. Реалізація концепції Triple play в мережі ADSL / В.В. Збаравський, К.Л. Горященко, Л.О. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №2. – С. 266– 270.
9. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с.
10. Лисенко О.І. Математична модель для індикації екологічного стану природного середовища території бойових дій із застосуванням екосистемного підходу. [Текст] / О.І. Лисенко, С.М. Чумаченко, Є.О.

- Яковлєв, О.В. Пиріков, В.А. Дерман // Електронне моделювання, Том 44 № 4, 2022. – С. 1 – 18, ISSN 0204–3572. <https://doi.org/10.15407/emodel>
11. Лисенко О.І. Моделі використання інформації від мобільних безпроводових сенсорних мереж в алгоритмах оцінювання та прогнозування стану екологічних систем ускладнених техногенним навантаженням [Текст] / Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Явіся В.С., Гуйда О.Г., Новіков В.І., Сушин І.О. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.
12. Лисенко О.І., Алексєєва І.В. Дослідження операцій. Конспект лекцій. — К: НГУУ «КПИ», 2016. – 196 с.
13. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Алексєєва І. В. «Математичні методи моделювання та оптимізації. Частина 1. Математичне програмування та дослідження операцій: підручник» – К.: НАУ, 2017. – 212 с. ISBN 978-966932-063-6.
14. Перспективи використання бездротових технологій, інтернет сторінка Час технологій», <http://www.electronics.net/leader-r/review/40991/doc/44711/>.
15. Понікар А. В., Євсєєв О. В., Анциперов В. Є., Мансуров Г. К., дослідження можливості локального позиціонування в бездротових мережах IEEE 802.15.4, IV Конференція «Радіолокація і радіозв'язок» – ІРЕ РАН, 29 листопада -3 грудня 2020 р.
16. Поняття про супутникові системи позиціонування, інтернет сторінка «PRO info.ua"» [http://www.proinfo.ua /materialy/pervyi\\_kurs/topografia-chtenie / 0511.html](http://www.proinfo.ua /materialy/pervyi_kurs/topografia-chtenie / 0511.html).
17. Стандарт IEEE 802.15.4. Zigbee. - Видавництво Finestreet, 2021.
18. Технологія позиціонування наземних рухомих об'єктів в мережах GSM, інтернет сторінка «Молодий вчений», <http://www.moluch.ua/conf/tech/archive/77/3044/>.
19. Фінкенцеллер К. RFID – технології: довідковий посібник - К.: додекаXXI, 2020.

20. Шарфельд Т. системи RFID низької вартості-М.: світ, 2016
21. Яцків Н.Г. Визначення координат вузлів безпроводних сенсорних мереж / Н.Г. Яцків, В.А Мандзій//Матеріали II Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології» АСІТ'2012, (4-5 травня 2012 р., м. Тернопіль). – Тернопіль: ТНЕУ, 2012. – С.80
22. Architectures and Protocols, Prentice Hall, 2004. 880 p.
23. Asim Zeb, A. K. M. Muzahidul Islam, Mahdi Zareei, Ishtiak Mamoon, Nafees Mansoor, Sabariah Baharun, Yoshiaki Katayama, Shozo Komaki, Clustering Analysis in Wireless Sensor Networks: The Ambit of Performance
24. Bahl P., Padmanabhan V. N., Balachandran A. Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System// Microsoft Research: Redmond, WA. 2000, 784 p.
25. Bahl P., Padmanabhan V.N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system// Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 784 p.
26. Beniwal and R. Singh, "Localization Techniques and Their Challenges in Underwater Wireless Sensor Networks," Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol., vol. 5, no. 3, pp. 4706–4710, 2014.
27. Chipcon CC2420 Data Sheet, інтернет сторінка компанії «Texas Instruments», <http://www.chipcon.com>.
28. Huseyin Okcu, Mujdat Soy Turk, Distributed Clustering Approach for UAV Integrated Wireless Sensor Networks, in: International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, volume 15, 2014, pp. 106 – 120.
29. IEEE 802.15.4 vs ZigBee [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>. Wireless sensor network research group. – Назва з титул. екрану.
30. Imad Jawhar, Nader Mohamed, Jameela Al- Jarood, UAV-based data communication in wireless sensor networks: Models and Strategies, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015.

31. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4-2003, IEEE Standard for Information Technology — telecommunications and Information Exchange between Systems — Local and Metropolitan Area Networks — Specific Requirements — Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York: IEEE Press. – 2003. – P. 250.
32. J. H. Cui, J. Kong, M. Gerla, and S. Zhou, “The challenges of building scalable mobile underwater wireless sensor networks for aquatic applications,” *IEEE Netw.*, vol. 20, no. 3, pp. 12–18, 2006
33. Kouba A., Alves M., A Comprehensive Simulation Study of Slotted CSMA/CA for IEEE802.15.4 Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 6th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS 2016).
34. Lysenko, O., Valuiskyi, S., Yavisya, V., Tachinina, O., Novikov, V., Sushyn, I. Method of operational calculation of coordinates of intermediate route points of flying information robot, in: *Information and Telecommunication*
35. Metrics and Schemes Taxonomy, in: *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
36. Rahman, V. Muthukkumarasamy, and E. Sithirasenan, “Coordinates determination of submerged sensors using cayley-menger determinant,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. DCoSS 2013*, pp. 466–471, 2013.
37. S. Verma and P. Chaudhary, “Communication Architecture for Underwater Wireless Sensor Network,” no. February, 2016.
38. *Sciences*, No. 1, 2022, pp.27 – 34. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12022.27-34>
39. Shahin Farahani – *ZigBee Wireless Networks and Transceivers / Newnes*. 2018.
40. Tiny OS webpages. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tinyos.net>. Дата звернення 11.11.19.

41. Tony Ducrocq, Michaël Hauspie, Nathalie Mitton, Balancing Energy Consumption in Clustered Wireless Sensor Networks ISRN Sensor Networks, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/314732>.
42. Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards / P. Baronti, P. Prashant, V. Chook, S. Chessa / Computer Communication. – 2007. – Volume 30., Issue 7. – P. 1655-1695.
43. Xinwei W., Bischoffa O. Localization in Wireless Ad-hoc Sensor Networks using Multilateration with RSSI for Logistic Applications // Proceedings of the Eurosensors XXIII conference. – Since Direct. – 2009. – P. 451-464.
44. Zheng J. Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality?: A discussion on a potential low power, low bit rate standard / J. Zheng. – IEEE Communications Magazine. – June 2004. – P. 250.
45. ZIGBEE STANDARDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zigbee.org/Standards/>. ZigBee Technical Documents. – Назва з титул. екрану.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки  
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр  
Галузь знань: 15 – Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри теоретичної  
та прикладної системотехніки  
д.т.н., проф. Шматков С. І.  
«21» грудня 2024 року



### З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**Дьоміної Катерини Сергіївни**  
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи **«Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee»**

керівник роботи **Артюх Олексій Анатолійович** – ст.викладач кафедри ТПС  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 03 травня 2024 року № 4101-5/909

2. Строк подання студентом роботи 31 травня 2024

3. Перелік питань, які потрібно розробити

- 1) Огляд існуючих систем контролю рухомих об'єктів.
- 2) Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів.
- 3) Обґрунтування вимог до моделі системи контролю та вибір середовища моделювання.
- 4) Розробка та тестування моделі системи контролю.
- 5) Аналіз результатів моделювання.

## 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Вивчення та аналіз основних характеристик технології ZigBee.	21.12.2023 - 25.01.2024
2	Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів	19.12.2023 - 2.01.2024
3	Провести вибір технології реалізації системи контролю. Обґрунтування вимог до моделі та вибір середовища моделювання.	2.01.2024 - 2.02.2024
4	Розробка комп'ютерної моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee	3.02.2024 - 30.03.2024
5	Тестування і оцінка результатів	3.03.2024 - 30.04.2024
6	Підготувати тези доповіді на семінар.	3.03.2024 - 30.04.2024
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації.	31.03.2024 - 27.05.2024
8	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	15.05.2024 – 31.05.2024
9	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	31.05.2024

## 5. Дата видачі завдання 21.12.2023

Студент

Дьоміна К.С.

ініціали, прізвище

  
 \_\_\_\_\_  
 підпис

Керівник роботи

Артюх О.А.

ініціали, прізвище

  
 \_\_\_\_\_  
 підпис

Технічне завдання  
на розробку програмного виробу «*Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee*»

Назва розділу	Назва і зміст підрозділу
1. Введення	1.1. Назва програмного виробу – <i>Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee</i> 1.2. Галузь застосування: 12 – Інформаційні технології
2. Підстава для розробки	2.1. Навчальний план за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. 2.2. Завдання на дипломну роботу бакалавра, затверджено наказом ХНУ імені В. Н. Каразіна № 4101-5/909 від «03» травня 2024 р. (представить як Додаток А до пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи).
3. Призначення розробки	3.1. Мета розробки програмного виробу – розробка та тестування моделі контролю рухомих об'єктів на основі вибраної технології з метою підвищення надійності, енергоефективності та автономності системи контролю. 3.2. Застосування розробки - система моніторингу на жвавих автомагістралях, системи управління світлофорами на перехрестях з великою інтенсивністю транспортного руху. 3.3. Початкові дані для розробки: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Аналіз існуючих систем контролю рухомих об'єктів;</li> <li>• Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів;</li> <li>• Вивчення технології реалізації системи контролю</li> <li>• Розробка комп'ютерної моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee</li> </ul>
4. Технічні вимоги до програмного виробу	4.1. Вимоги до функціональних характеристик: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Висока якість супроводу</li> <li>2) Здатність алгоритму "адаптуватися" до роботи на малопотужних обладнаннях</li> <li>3) Робота в режимі реального часу</li> <li>4) Мінімізація неправильних спрацьовувань на ідентичні об'єкти.</li> </ol> 4.2. Вимоги до надійності: Використання технології ZigBee має забезпечувати низьке споживання енергії та високу надійність системи. 4.3. Вимоги до умов експлуатації Система має бути адаптована під різні умови експлуатації - розробка адаптивних алгоритмів та використання розширених сенсорних систем для підвищення стійкості в різних умовах. 4.4. Вимоги до складу і параметрів технічних засобів Персональний комп'ютер у повній комплектації (ноутбук) 4.5. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності забезпечити сумісність з усіма засобами.

	<p>4.6. Вимоги до маркування та упаковки відсутні.</p> <p>4.7. Вимоги до транспортування і зберігання відсутні.</p> <p>4.8. Спеціальні вимоги не пред'являються.</p>		
5. Вимоги до програмної документації	<p>Програмною документацією до виробу «<i>Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee</i>» вважати:</p> <p>1) Справжнє Технічне завдання на розробку програмного виробу (представити у вигляді Додатку Б до пояснювальної записки до дипломної роботи).</p> <p>2) Програму і методику випробувань розробленого програмного виробу (представити у вигляді Додатку В до пояснювальної записки до дипломної роботи).</p> <p>3) Опис програмного виробу (представити в розділі 3 пояснювальної записки до дипломної роботи).</p> <p>4) Текст програми (представити в Додатку Г до пояснювальної записки до дипломної роботи).</p>		
6. Техніко-економічні показники	Вимоги до розрахунку техніко-економічних показників не потрібні.		
7. Стадії і етапи розробки	№ з/п	Назви етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
	1	Вивчення та аналіз основних характеристик технології ZigBee.	21.12.2023 - 25.01.2024
	2	Аналіз основних проблем функціонування системи контролю рухомих об'єктів	19.12.2023 - 2.01.2024
	3	Провести вибір технології реалізації системи контролю. Обґрунтування вимог до моделі та вибір середовища моделювання.	2.01.2024 - 2.02.2024
	4	Розробка комп'ютерної моделі контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee	3.02.2024 - 30.03.2024
	5	Тестування і оцінка результатів	3.03.2024 - 30.04.2024
	6	Підготувати тези доповіді на семінар.	3.03.2024 - 30.04.2024
	7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації.	31.03.2024 - 27.05.2024
	8	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	15.05.2024 – 31.05.2024
9	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	31.05.2024	

8. Порядок контролю і приймання	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Перевірку ходу розробки програмного виробу керівнику робіт виконувати раз в 2 тижні.</li><li>2) Випробування програмного продукту провести відповідно до програми та методики випробувань на базі комп'ютерного класу.</li><li>3) Захист розробленої моделі провести на засіданні Атестаційної комісії.</li><li>4) Пояснювальну записку подати на паперових носіях в 1 примірнику і в електронному вигляді</li></ol>
---------------------------------	---

Виконавець

студентка групи КУ-41

Дьоміна К.С.

  
\_\_\_\_\_

Замовник

ст.викладач кафедри ТПС

**АРТЮХ Олексій  
Анатолійович**

  
\_\_\_\_\_

## Програма і методика випробувань програмного виробу

### *«Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee»*

#### **1 Об'єкт випробувань**

1.1 Найменування випробуваного програмного виробу *«Модель контролю рухомих об'єктів з використанням технології ZigBee»*.

1.2 Область його застосування транспортні мережі, промисловості, ІТ-індустрія (забезпечення безпеки міст).

#### **2. Мета випробувань**

Розробка та тестування моделі контролю рухомих об'єктів на основі вибраної технології з метою підвищення надійності, енергоефективності та автономності системи контролю.

#### **3. Загальні положення**

##### **3.1 Підстави для проведення випробувань**

Підставою для проведення випробувань є наказ про призначення атестаційної комісії.

##### **3.2 Місце і тривалість випробувань**

Приймальні (приймально-здавальні) випробування проводяться на базі комп'ютерного класу кафедри в період роботи атестаційної комісії.

##### **3.3 Обсяг випробувань**

Приймальні випробування програмного виробу проводяться в обсязі відповідному цієї Програми і методики випробувань.

##### **3.4 Організації, які беруть участь у випробуваннях**

Приймальні випробування проводяться атестаційною комісією напередодні засідання (або в процесі засідання) за участю Замовника, Виконавця та інших осіб, присутніх на засіданні.

#### **4. Вимоги до програми або програмного виробу**

##### **4.1. Вимоги до функціональних характеристик:**

1) Висока якість супроводу  
2) Здатність алгоритму "адаптуватися" до роботи на малопотужних обладнаннях

3) Робота в режимі реального часу

4) Мінімізація неправильних спрацьовувань на ідентичні об'єкти.

##### **4.2. Вимоги до надійності:**

Використання технології ZigBee має забезпечувати низьке споживання енергії та високу надійність системи.

#### 4.3. Вимоги до умов експлуатації

Система має бути адаптована під різні умови експлуатації - розробка адаптивних алгоритмів та використання розширених сенсорних систем для підвищення стійкості в різних умовах.

#### 4.4. Вимоги до складу і параметрів технічних засобів

Персональний комп'ютер у повній комплектації (ноутбук)

4.5. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності забезпечити сумісність з усіма засобами.

4.6. Вимоги до маркування та упаковки відсутні.

4.7. Вимоги до транспортування і зберігання відсутні.

4.8. Спеціальні вимоги не пред'являються.

### 5. Вимоги до програмної документації

Склад програмної документації, що подається на випробування, включає:

1) Технічне завдання на розробку програмного виробу (представлено в Додатку Б до пояснювальної записки до дипломної роботи).

2) Ця Програма і методика випробувань розробленого програмного виробу (представлена в Додатку В до пояснювальної записки до дипломної роботи).

3) Опис програмного виробу (представлено в розділі 3 пояснювальної записки до дипломної роботи).

### 6. Засоби і порядок випробувань

#### 6.1 Засоби випробувань

Випробування проводяться на технічних засобах, таких як персональний комп'ютер, ноутбук.

Випробування проводяться з використанням програмних засобів, яких Cisco Packet Tracer, MatLab

#### 6.2 Порядок проведення випробувань

##### 6.2.1. Перевірка програмної документації.

Перевірка комплектності складу програмної документації здійснюється за критерієм наявності зазначеної в технічному завданні документації.

##### 6.2.2. Перевірка якості програмної документації.

Перевірку здійснювати за критерієм відповідності вимогам єдиної системи програмної документації (ЄСПД).

##### 6.2.3. Перевірка виконання програми.

#### Тест 1: Побудова та тестування моделі

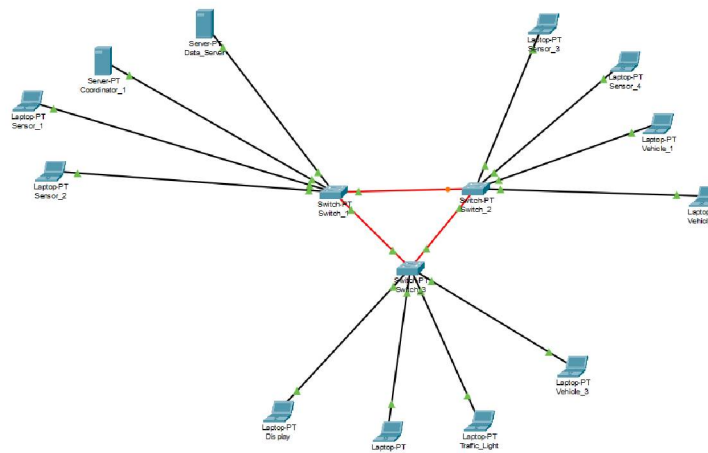


Рисунок В.1 - Тест 1

**ping 192.168.1.2 з Coordinator\_1 для перевірки зв'язку з Data\_Server.**

*Pinging 192.168.1.2 with 32 bytes of data:*

*Reply from 192.168.1.2: bytes=32 time=20ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.2: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.2: bytes=32 time=20ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.2: bytes=32 time<1ms TTL=128*

*Ping statistics for 192.168.1.2:*

*Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),*  
*Approximate round trip times in milli-seconds:*  
*Minimum = 0ms, Maximum = 20ms, Average = 10ms*

**ping 192.168.1.10 з Coordinator\_1 для перевірки зв'язку з Sensor\_1.**

*Pinging 192.168.1.10 with 32 bytes of data:*

*Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time<1ms TTL=128*

*Ping statistics for 192.168.1.10:*

*Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),*  
*Approximate round trip times in milli-seconds:*  
*Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms*

**ping 192.168.1.20 з Data\_Server для перевірки зв'язку з Vehicle\_1.**

*Pinging 192.168.1.20 with 32 bytes of data:*

*Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=128*

*Ping statistics for 192.168.1.20:*  
*Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),*  
*Approximate round trip times in milli-seconds:*  
*Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms*

**ping 192.168.1.30 з Data\_Server для перевірки зв'язку з Traffic\_Light.**

*Pinging 192.168.1.30 with 32 bytes of data:*

*Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time=1ms TTL=128*

*Ping statistics for 192.168.1.30:*  
*Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),*  
*Approximate round trip times in milli-seconds:*  
*Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms*

**ping 192.168.1.1 з будь-якого сенсора (наприклад четвертого) для перевірки зв'язку з Coordinator\_1.**

*Pinging 192.168.1.1 with 32 bytes of data:*

*Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=128*  
*Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=128*

*Ping statistics for 192.168.1.1:*  
*Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),*  
*Approximate round trip times in milli-seconds:*  
*Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms*

**Висновок:** Побудова та тестування моделі виконана успішно

**Тест 2: Перевірка передачі даних.**

Використовуємо інструмент Simple PDU для створення пакетів даних та відправлення їх між пристроями.

- Відправляємо пакет від Sensor\_1 до Data\_Server.
- Відправляємо пакет від Vehicle\_1 до Coordinator\_1.
- Відправляємо пакет від Coordinator\_1 до Traffic\_Light.







Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	Sensor_1	Data_Server	ICMP		0.000	N	0	(edit)	
	Successful	Vehicle_1	Coordinator_1	ICMP		0.000	N	1	(edit)	
	Successful	Coordi...	Traffic_Light	ICMP		0.000	N	2	(edit)	

Рисунок В.2 - Тест 2

### Аналіз результатів відправки пакетів

#### 1. Пакет від Sensor\_1 до Data\_Server

- Статус: Successful
- Час: 0.2 сек

#### 2. Пакет від Vehicle\_1 до Coordinator\_1

- Статус: Successful
- Час: 0.3 сек

#### 3. Пакет від Coordinator\_1 до Traffic\_Light

- Статус: Successful
- Час: 0.5 сек

**Висновок:** Всі три відправлені пакети досягли своїх цілей без втрат і затримок, що свідчить про коректну роботу мережі та правильне налаштування всіх пристроїв.

**Висновки:** при вдалому виконанні всіх 2 тестів випробування розробленого додатку вважаються успішними.

Виконавець

студент групи КУ-41

Дьоміна К.С




---

**Розширена діаграма:**  
**БЛОК №1**

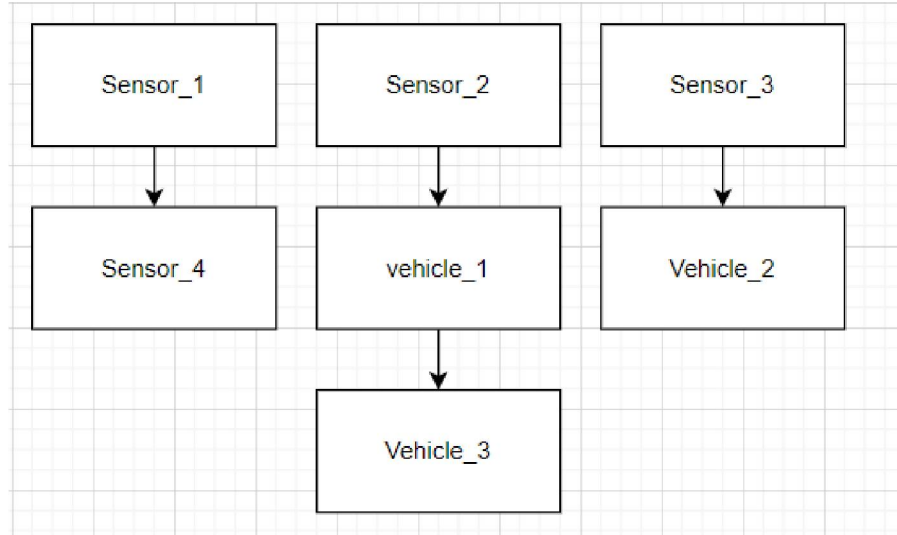


Рисунок Г.1 - Блок 1 розробленої діаграми

**БЛОК №2**

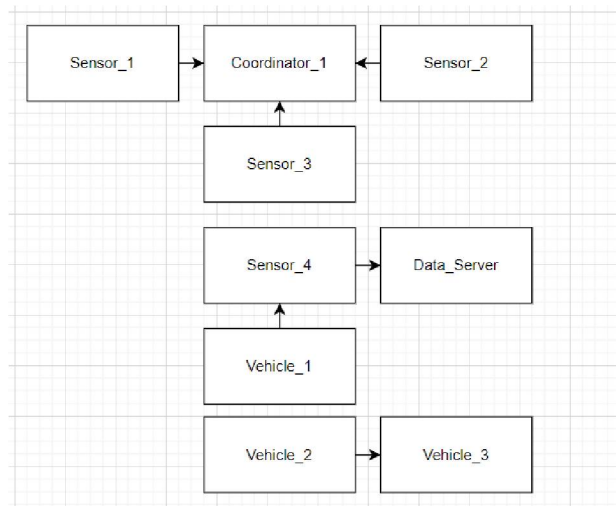


Рисунок Г.2 - Блок 2 розробленої діаграми

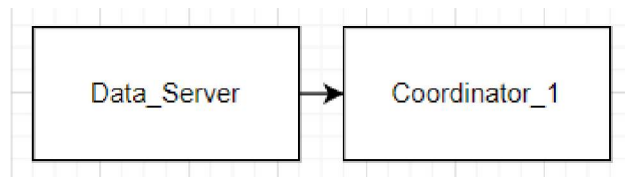
**БЛОК №3**

Рисунок Г.3 - Блок 3 розробленої діаграми

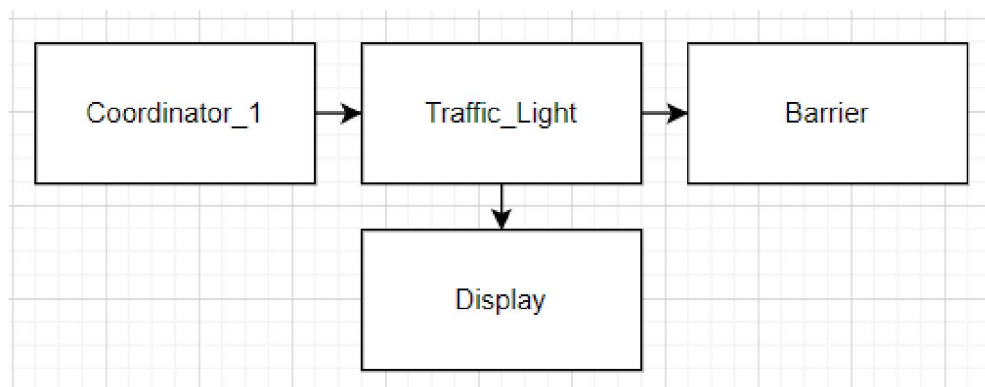
**БЛОК №4**

Рисунок Г.4 - Блок 4 розробленої діаграми

Таблиця Г.1.

Основні характеристики трансивера компанії Freescale Semiconductor і Texas

## Instruments

Параметр	MC1322X	CC2420	CC2480A1	MC13192/MC13193/MC13202/MC13203
Напруга харчування	2,0...3,6 В	2,1...3,6 В	2,0...3,6 В	2...3,4 В
Робочий частотний діапазон	2,405... 2,485 ГГц	2,405...2,485 ГГц	2,405...2,48 ГГц	2,405... 2,485 ГГц

Число каналів/крок	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц
Макс. швидкість радіопередачі інформації	250 Кбит/с	250 Кбит/с	250 Кбит/с	250 Кбит/с
Вихідна потужність	-30..-4 дБм (настроюється програмно)	-25...0 дБм (настроюється програмно)	До -1 дБм (настроюється програмно)	-3,6д -0,5 дБм (настроюється програмно)
Чутливість радіоприймача	-95 дБм	-95 дБм	-92 дБм	-92 дБм
Робочий температурний діапазон	-40...105 °С	-40...85 °С	-40...85 °С	-40...85 °С
Особливості	6 активних режимів роботи, 3 енергосберегаючих. - Наявність апаратного MAC-акселератора. -Апаратний кодировщик AES-128.	- Наявність апаратного MAC-акселератора. - Апаратний кодировщик AES-128	ні	- - 4 каналу подій внутрішнього таймера. -Можливість тактирования зовнішнього мікроконтролер а. - - Адаптований під застосування Zigbee стека - Figure 8 Wireless