

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 20_ р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка мережі геопозиціювання підземних робітників
в умовах шахти»

Виконав: студент 4 курсу, групи ТКР-17
(шифр групи)

спеціальності 172 телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Садовніченко М.В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник асис. каф. АТ Жуковська Д.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____
секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка мережі геопозиціонування підземних робітників
в умовах шахти»

Виконав студент групи ТКР-17 _____ М.В. Садівніченко
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Керівник _____ Д.О. Жуковська
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій _____ І.С. Лактіонов
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Консультанти

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Нормоконтролер _____ Д.О. Жуковська
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

/_____/

“ ”

_____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я **НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Садовніченко Максим Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка мережі геопозиціонування підземних робітників в
умовах шахти

керівник роботи:

Жуковська Д.О., асис. каф. АТ

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

затверджені наказом від “ ” року №

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2021р

3. Вихідні дані до роботи: схема об'єкту, матеріали курсового
проектування, звіт з практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити):

- 1) Аналіз об'єкту проектування
- 2) Обрання методу позиціонування
- 3) Аналіз технологій безпроводного зв'язку
- 4) Проектування мережі
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових

креслень):

- 1) Схеми різних технологій позиціонування
- 2) Часова діаграма визначення часу поширення сигналу
- 3) Графіки експериментів по визначенню відстані
- 4) Схема мережі

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		видав	прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкту проектування	30.04.21	
2	Аналіз існуючих систем позиціювання	10.05.21	
3	Аналіз технологій SDS-TWR	14.05.21	
4	Аналіз технологій ZigBee	19.05.21	
5	Вибір устаткування	24.05.21	
6	Проектування мережі	31.05.21	
7	Охорона праці	02.06.21	
8	Оформлення проекту	10.06.21	
9	Захист проекту	24.06.21	

Студент

(підпис)

Садовніченко М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Жуковська Д.О.

(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Садовніченко Максим Віталійович. Розробка мережі геопозиціонування підземних робітників в умовах шахти / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 172 телекомунікації та радіотехніка. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Робота містить 66 сторінок, складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліка використаних джерел з 14 найменувань, 27 рисунків, 1 таблиць, 1 додатку.

У дипломній роботі проводився аналіз існуючих систем геопозиціонування гірників для визначення їх недоліків і розробки більш сучасної системи визначення місцеположення робітників в умовах шахти. Результати проектування системи дозволить більш точно контролювати місцеположення гірників, щоб вони не відходили від робочого шляху і для їх визначення під час аварійних ситуацій. При реалізації мережі підприємство зможе модернізувати свої мережі геопозиціонування і також контролювати виконання охорони праці для робітників.

Ключові слова: МЕРЕЖА; ПОЗИЦІЮВАННЯ; ZIGBEE; ШАХТА; БЕЗПРОВІДНИЙ ЗВ'ЯЗОК; СИГНАЛ; MESH-МЕРЕЖА; КООРДИНАТОР; МОДУЛЬ; СИСТЕМА КОНТРОЛЮ; ІСКРОБЕЗПЕКА

Список публікацій здобувача:

1. Садовніченко М.В., Жуковська Д.О. Модернізація методів позиціонування гірничих робітників / Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2021), 27.05.2021 р. – Покровськ ДВНЗ «ДонНТУ», 2021р.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
1.1 Загальна характеристика об'єкту проектування, постановка задачі.....	9
1.2 Існуючі технології контролю позиціонування персоналу.....	10
1.2.1 Система контролю і управління доступом.....	10
1.2.2 Позиціонування за допомогою RFID-міток	11
1.2.3 Позиціонування за допомогою Wi-Fi	13
1.2.4 «Локальні» системи позиціонування	14
1.2.5 Позиціонування за допомогою технологій «ближнього поля»... ..	15
1.2.6 Позиціонування за допомогою UWB.....	16
1.3 Приклади використання технологій позиціонування у світі.....	17
Висновки до розділу 1	18
2. МЕТОДИ ПОЗИЦІЮВАННЯ	19
2.1 Загальний опис технологій SDS-TWR.....	19
2.2 Вимірювання відстані на відкритому просторі	21
2.3 Вивчення впливу відображення	23
2.4 Експеримент по визначенню похибки вимірювання	24
Висновки до розділу 2	26
3 ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПРОВІДНОГО ЗВ'ЯЗКУ	27
3.1 Опис технологій ZigBee	27
3.2 Склад мережі	29
3.3 Формування мережі	29
3.4 Формат кадру.....	31
3.5 Вибір модулю	32
3.6 Іскробезпека модулів	33
Висновки до розділу 3	35
4 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ	36

4.1 Підключення шлюзу	36
4.2 Побудова мережі	37
4.3 Налаштування мережі.....	39
4.4 Перспективи використання технологій ZigBee	43
Висновки до розділу 4	43
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТОК А. Охорона праці та пожежна безпека під час монтажних робіт.....	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

DECT – (digital enhanced cordless telecommunication) цифровий покращеного бездротових телекомунікацій

GPS – (Global position system) система глобального позиціювання

ILBC - (internet Low Bitrate Codec) Інтернет-кодек з низьким бітрейтом

NFER – (Near-field electromagnetic ranging) ближнє поле електромагнітного діапазону

NFC – (near field communication) близька безконтактний зв'язок

ppm – (part per million) частина на мільйон

RFID – (radio frequency identification) радіочастотна ідентифікація

SDS-TWR – (Symmetrical Double-Sided Two Way Ranging) симетричне двостороннє ступеневе вимірювання відстані

ToF – (Time of flight) час польоту

UWB – (Ultra Wideband) надширока смуга

Wi-Fi – (wireless fidelity) бездротова правдивість відтворення

СКУД - система контролю і управління доступом

ВСТУП

Актуальність. Підземно-гірнича робота є однією із найбільш небезпечних робіт. Причини небезпеки є особливі умови роботи, при яких можливі обвали в шахтній виробці та при цьому гірників може відрізати від входу на поверхню. Одним з прикладів реагування на вищевказані небезпечні події, які відбуваються під землею є контроль за гірниками за допомогою визначення їхнього місцеположення.

На сьогоднішній день уже є декілька систем для визначення місцеположення гірників, але вони мають свої недоліки. З плином часу з'являються нові технології, які можна впроваджувати в шахтах для збільшення ефективності праці і кращого контролю за робітниками. Які будуть відповідати сучасним вимогам.

Метою даної роботи є використання методів контролю за місцеположенням та підвищення безпеки гірничих робітників.

Основні задачі дослідження:

- аналіз існуючих систем безпеки в шахтах;
- пошук оптимального методу визначення місцеположення гірників;
- вибір безпроводових технологій;
- вибір устаткування;
- налаштування мережі.

Предмет – метод симетричного двостороннього ступеневого вимірювання відстані.

Об'єкт проектування – телекомунікаційна архітектура шахти.

Методи дослідження включають розрахунково-аналітичне моделювання, метод порівняння.

Структура та обсяг роботи. Дипломна робота обсягом 66 машинописних сторінок, складається з вступу, 4 розділів, переліку використаних джерел. Містить 35 рисунки, 2 таблиць, 1 додатку.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика об'єкту проектування, постановка задачі

Збільшення вимог безпеки виробництва зажадало розширення функціональних можливостей апаратури зв'язку, забезпечення її мобільності, доповнення її пристроями, які забезпечують безпеку гірничих робітників. Традиційні провідні системи зв'язку обмін обмеженого об'єму інформацій і не можуть реалізувати вимогам правила безпеки, включаючи протиаварійні режими.

Підземні умови шахти є важкими для умов роботи бездротові систем зв'язку. І тому організація надійної системи безпроводного зв'язку під землею є життєво необхідною для управління важливими виробничим процесами, в тому рахунку і для забезпечення виробничої безпеки.

Серйозною перешкодою для широкого впровадження бездротового зв'язку є обмеження на поширення радіохвиль в шахті які накладаються параметрами гірських виробок. Виконувалися дослідження з безпроводною передачею сигналу, які були проведенні під землею та отримали висновки. Що в діапазоні частоти сигналу від 500 кГц і до 10 МГц, і при потужності передатчика в 5 Вт досягався стійкий голосовий зв'язок на відстані до 1000 м в підземних умовах. В місцях, де переважали вулканічні породи, стійкий зв'язок досягався на всьому частотному діапазоні, но не на мінімальних потужності. В місцях де переважали осадові породи дальність залежала від частотного діапазону, до дальності досягалась при мінімальній потужності максимальна. В тяжких умовах надають перевагу кодовому зв'язок так як він більш стійкий до завад, при використанні спеціальних кодів з накопиченням і корекцією помилок [1].

На сьогоднішній день в світовій практиці використовують декілька бездротових типів зв'язку для передачі інформації в умовах підземної

роботи. Ці системи використовують радіоканал уздовж природних напрямних і по випромінюємо кабелю, системи мікро стільникового зв'язку на основі DECT і Wi-Fi технологій, а також систем, радіоканали яких діють через товщу гірських порід.

В рамках дипломного проекту необхідно знайти технологію безпроводного зв'язку і методи позиціонування підземних гірничих в умовах шахти. Для початку потрібно проаналізувати існуючі системи місце позиціонування які уже використовують під землею і знайти їхні недоліки.

1.2 Існуючі технології контролю позиціонування персоналу

Сама найпоширеніша технологія позиціонування це GPS, яка будується на супутникової системі навігацій, і яка забезпечує вимірювання відстані, часу і визначаючи місцеположення.

Основний принцип роботи визначення місцеположення в GPS, це визначення місцеположення шляхом виміру моментів часу прийому сигналу який синхронізований від супутників які відповідають за навігацію на антену користувача. Отримавши сигнал від декількох супутників, враховуючи різницю часу на Землі і в космосі, знаючи швидкість поширення радіохвиль, приймач розраховує дані які він отримав визначає точне місце положення. На рисунку 1.1 зображено приклад роботи GPS.



Рисунок 1.1 – Приклад роботи GPS

Розуміючи що сигнал з супутників не пройде через товщу землі, ми відкидаємо цей варіант так як її робота в умовах шахти неможлива. І будемо аналізувати інші технології які можуть локально визначати місцезнаходження гірників.

1.2.1 Система контролю і управління доступом

Один із найстаріших методів визначення місця знаходження персоналу є система контролю і управління доступом (СКУД) – це сукупність програмних-апаратних технічних засобів контролю і засобів управління. Цілю впровадження цієї автоматичної системи є контроль і управління доступом на підприємстві і його об'єктів персоналу на основі прав доступу і табельного звіту, також покращення використання трудових ресурсів і збільшення виробничої дисципліни.

Які ще задачі вирішує СКУД:

- Безпека об'єктів – СКУД має важливу роль в комплексній системі охорони підприємства і забезпечує збереження будівлі і робітників.
- Облік робочого часу персоналу – не від'ємна частина СКУД здійснювати облік робочого часу робітників, це також дозволяє контролювати відвідуваність, проводити онлайн-моніторинг і так далі.
- Зменшення витрат – правильна побудована і налаштована СКУД дозволяє знизити витрати на охорону. Крім цього сучасна система контролю доступу є великий потенціал до зменшення витрат за рахунок автоматизацій процесів
- Бізнес аналітика – поєднання з функціями обліку робочого часу СКУД перетворюється в систему аналітики для бізнесу

СКУД складається з трьох компонентів до яких входить: ідентифікатор, зчитувачі і виконуючі пристрої. До ідентифікаторів можна відносити як речі які вас ідентифікують, такі як картка персоналу або NFC, або біометричні ідентифікатори, до яких відносяться відбиток пальця або ваше лице. Так само і розділяються і зчитувачі, які можуть зчитати інформацію з картки або з вашого відбитку пальця. Також вони відповідають за табельний облік за робітниками, і так можна знати їх місце положення. Виконуючі пристрої вони забезпечують фізичну перегороду, яка обмежує доступ до контрольованого об'єкту[2]. На рисунку 1.1 можна побачити приклад мережі СКУД.

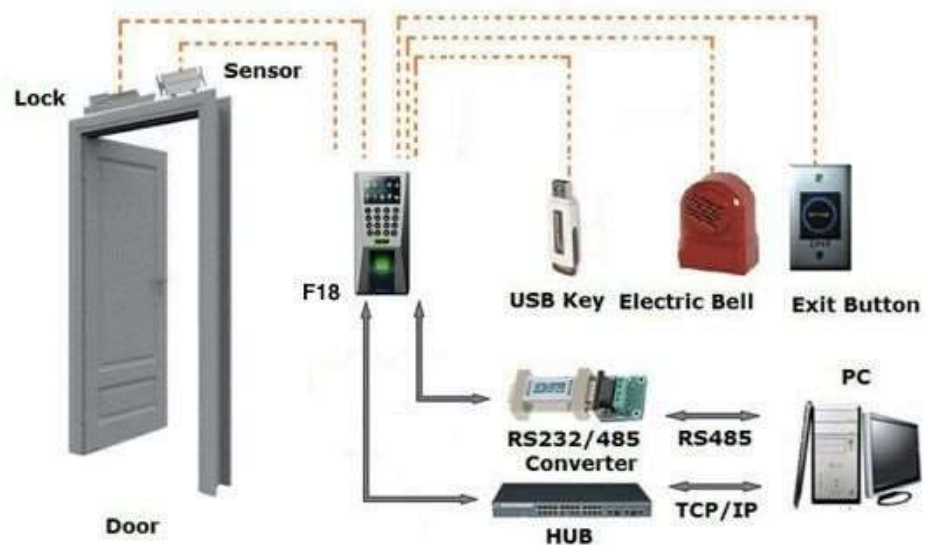


Рисунок 1.2 – Схема мережі СКУД

1.2.2 Позиціювання за допомогою RFID-міток

Технологія RFID, використовується для визначення місцеположення гірників під землею. В якості мітка технологія використовує переносну мікросхему яка називається трансбордером або RFID-мітка. Мітка складається з інтегральної схеми і антени і може зберігати і відправляти інформацію яка на ній є. В якості інформації яку вона зберігає виступає персональний індикатор об'єкту. Розрізняють декілька видів міток: активна, на пів пасивна і пасивна. На рисунку 1.3 можна побачити приклад будови RFID-мітки.

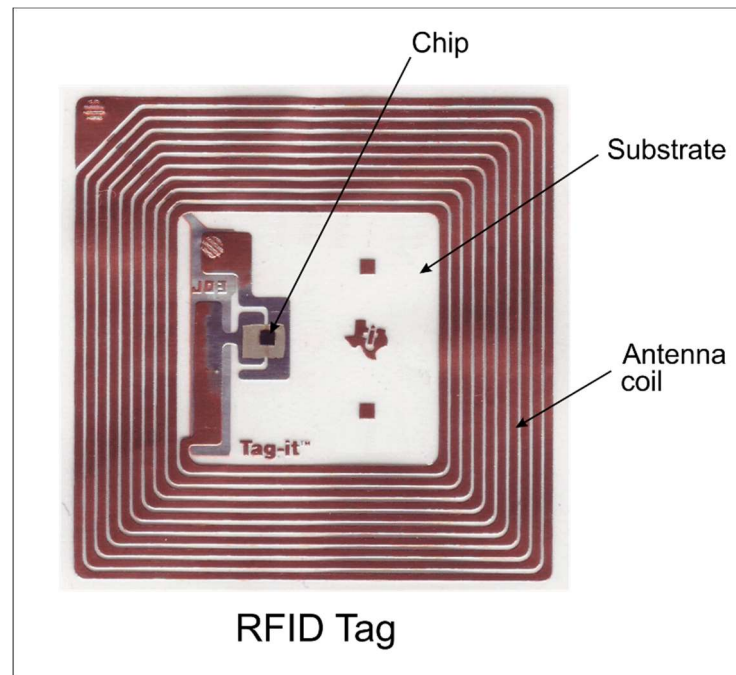


Рисунок 1.3 – Будова RFID-мітки

Вона виконує функцію спостереження за місцезнаходженням і пересування персоналу і внутрішньо шахтного транспорту. Принцип роботи системи використовує малопотужне високочастотні мітки, що вбудовані в шахтні головні світильники персоналу і на стаціонарних зчитувачах які розташовані тунелях шахти.

Принцип роботи є таким: у світильнику кожного гірника є вбудована мітка яка є унікальною. По всій шахті, в залежності від її топології, розвложені зчитувачі цих позначок. При проходженні шахтарем через зону зчитування, мітка реєструється зчитувачем і данні відправляються на сервер. Таким чином вирішується два питання: позиціювання гірників та їх табельний облік. [3]

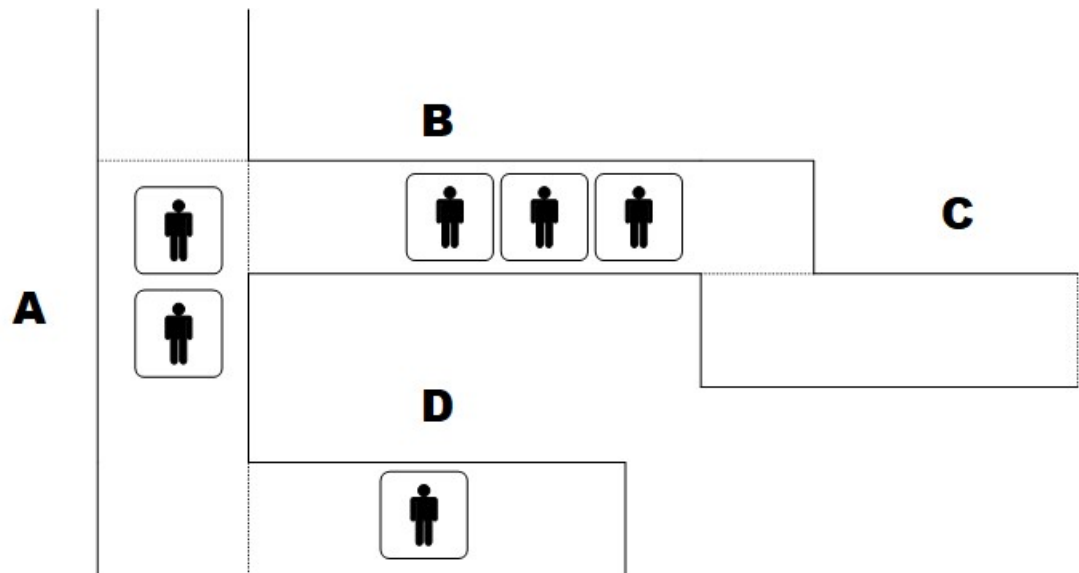


Рисунок 1.4 – Приклад зображення кількості гірників у шахті

На рисунку 1.4 можна побачити приклад зображення кількості шахтарів які розподілені по зонам. В зоні А знаходиться 2 гірника, в зоні В знаходиться 3 гірника, в зоні С не знаходиться гірників, а в зоні D знаходиться один гірник. Можна зробити висновок що з отриманих даних ми знаємо в якій зоні може знаходитися гірник, але розмір зони може дорівнювати до сотні метрів. Що не є точним способом визначення місця положення гірників.

При аналізі , я визначив декілька недоліків такої системи, це не точне визначення місцеположення гірників, яке показує ділянку в якій знаходиться шахтар. І також відсутність системи оповіщення і зв'язку в такій системі

1.2.3 Позиціювання за допомогою Wi-Fi

Технологія Wi-Fi одна із наймасовіших бездротові технологій, тому не дивно що її також почнуть використовувати як один із методів локального позиціювання. Технологія основана на сімействі стандартів IEEE 802.11 і використовує частотні діапазони 2.4 і 5 ГГц. Мережа на базі Wi-Fi відповідає

централізованій моделі, де існують одна або декілька точок доступу і більшість підключених абонентів. На рисунку 1.5 показаний приклад Wi-Fi пристрою.



Рисунок 1.5 – Wi-Fi модуль

Найпростіший спосіб позиціювання в Wi-Fi мережа, подібно стільниковим, є за допомогою методу по базовій станції до якої підключений абонент. Також є метод для визначення місця положення, це за допомогою тріангуляції приклад роботи можна побачити на рисунку 1.6.

Радіус дій Wi-Fi мережі зазвичай становить від 30 до 200 метрів. Для того щоб підвищити точність позиціювання, використовують потужність радіосигналу.

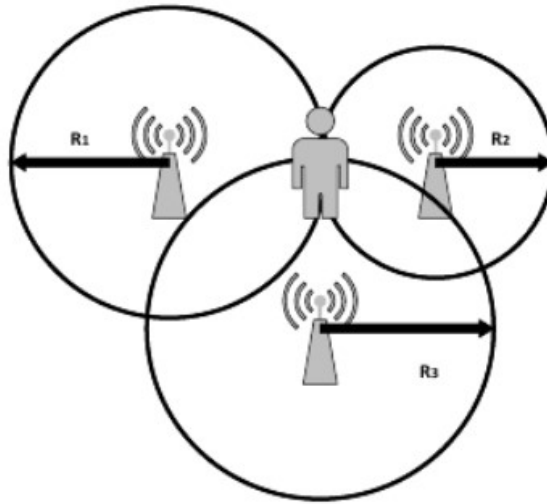


Рисунок 1.6 – Принцип роботи алгоритму триангуляції

Але ця технологія також має багато недоліків. Одна із яких це точність позиціонування яка є досить невисокою. В ідеальних умовах вона може досягати в 3 – 5 метрів, а в реальних 10 – 15 метрів. Також низька енергоефективність самої технології Wi-Fi, що не дозволяє використовувати її в аварійних ситуаціях. Переваги технологій: можна уже використовувати існуючу мережеву інфраструктуру, в якості мітки може використовуватися смартфон.[4]

1.2.4 Позиціонування за допомогою Bluetooth

Bluetooth це технологія безпроводного зв'язку призначена для персональних мереж. Модулі зв'язку працюють на частоті 2.4 ГГц як Wi-Fi і ZigBee. На рисунку 1.7 показаний приклад модулю.

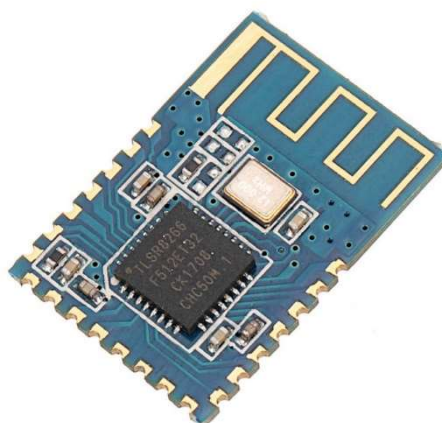


Рисунок 1.7 – Bluetooth модуль

Найчастіше її використовують для зв'язку з пристроями або гарнітурами такими як принтер, комп'ютерна миш і клавіатура, джойстики, навушники і так далі. Максимальна швидкість передачі даних у стандарті до 1 Мбіт/с за допомогою чого можна передавати голосові повідомлення і навіть відео при кодеках з малими розмірами. Одною із переваг технологій це мале електроспоживання, що є добрим для використання в шахті. Але головний недолік технологій малий радіус зв'язку.

Метод позиціювання відбувається також як і на в технологій Wi-Fi за тріангуляцій. Але найчастіше його використовують для позиціювання в всередині приміщення яке не є досить великим. Приклад тріангуляцій зображено на рисунку 1.6.

1.2.5 «Локальні» системи позиціювання

До локальних систем позиціювання відносяться оптичні (зазвичай інфрачервоні) і ультразвукові системи. Їх радіус дій невеликий – від 3 до 10 метрів. Що уже унеможливорює їх використання в підземних умовах. Але їх розглянемо для того щоб правильно вибрати технологію для позиціювання.

Інфрачервоне позиціонування. Мобільна мітка в системі інфрачервоного позиціонування випромінює інфрачервоні імпульси, які приймає приймач системи, який має фіксовані координати. Місцезнаходження розраховується по ToF часове поширення сигналу від джерела до пристрою. Недолік методу – чутливість до завад від сонячних променів. Точність позиціонування таким методом 10 - 30 сантиметрів[5].

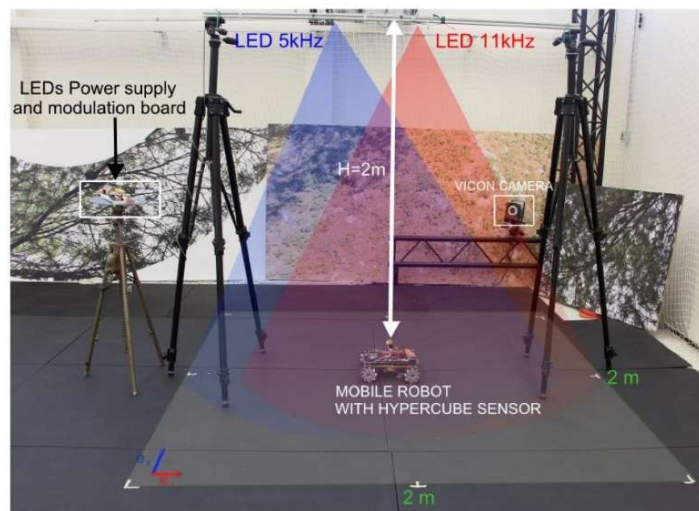


Рисунок 1.8 – Приклад інфрачервоного позиціонування

Ультразвукове позиціонування використовують частоти від 40 до 130 кГц. Для визначення координат мітки використовують зазвичай ToF до чотирьох приймачів. Головний недолік системи – чутливість до втрати сигналу при появі навіть легких перешкод, до хибних луна-сигналів і до перешкод від джерел ультразвуку, наприклад від ультразвукових дефектоскопів. Щоб виключити ці недоліки потрібно ретельно планувати систему. Перевага ультразвукових систем – це висока точність позиціонування що досягає трьох сантиметрів[6].

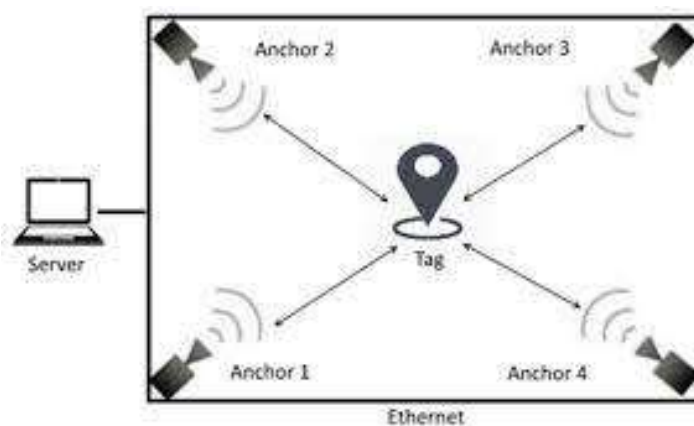


Рисунок 1.9 – Приклад роботи ультразвукової системи позиціювання

«Локальні» системи позиціонування застосовуються досить рідко, і їх застосування скорочується в міру розвитку радіочастотних технологій.

1.2.6 Позиціювання за допомогою технологій «ближнього поля»

NFER використовує мітки-передатчика і один або декілька передатчиків. В системах NFER передатчика для визначення відстані вимірює відмінність фаз між електричним і магнітною складовою випромінюваного міткою електромагнітного поля. Оскільки ця різниця змінюється від 90 градусів близько випромінюваної антени і до нуля на довжину пів хвилі, а саме довжина пів хвилі визначає радіус дій системи. При частоті 1 МГц довжина хвилі дорівнює 300 м, а радіус дій 150 м, а при частоті 10 МГц - 30 і 15 м відповідно. Точність позиціювання в реальних умовах складає близько одного метру на довжині до 30 метрів.

Відносно низька частота радіохвиль полегшує її проходження в тяжких виробничих умовах. Радіохвилі огинають перешкоди, не відображаються. Тому NFER технологія має переваги при важких конфігураціях приміщення с великою кількістю перешкод.

Але недоліки NFER системи пов'язані з низькою ефективністю антени. Для ефективної роботи антена повинна бути порівнянна з довжиною хвилі. В

дійсності вона в сотні раз менше, що потребує збільшення потужності передатчика, а відповідно і габаритів і ваги міток [7].

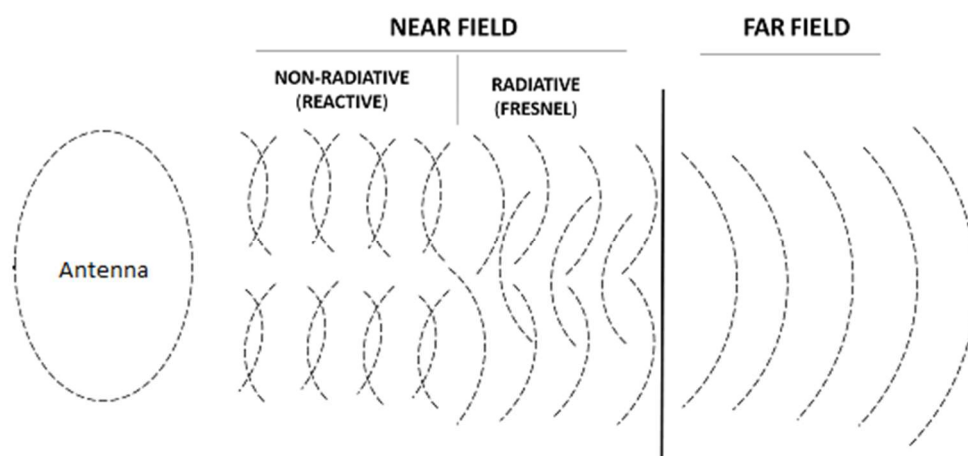


Рисунок 1.10 – Поширення радіохвиль в технологій NFER

1.2.7 Позиціювання за допомогою UWB

Технологія UWB використовує короткі імпульси з максимальною полосою пропускання при мінімальній центральній частоті в діапазоні від 3,1 – 10,6 ГГц. У більшості виробників центральна частота становить декілька гігагерц, а відносна ширина полоси – 25-100 %. Технологія використовується в зв'язку, радіолокації, вимірюванні довжини і позиціюванні. У зв'язку з тим що для передачі сигналу використовують ультракороткі сигнали з низькою спектральною щільністю потужності, дана технологія володіє високою енергоефективністю. UWB-сигнал не створює завади вузько смуговим радіочастотним сигналам завдяки рівномірному розподілу енергій сигналу по широкій полосі частот. UWB-передатчик можуть спроможні виявити присутність іншого активного пристрою на несучій частоті і змінити частоту передачі сигналу. UWB-сигнал дуже важко перехватити або виявити, що забезпечує безпечну передачу даних. Точність позиціювання на базі UWB може досягати до одного сантиметру.

Виробники пропонують різні варіанти UWB технологій. Відрізняються форми імпульсів. В декількох випадках використовують відносно потужні одинарні імпульси, а в інших – сотні мільйонів мало потужних імпульсів за секунду. Використовують як когерентна обробка сигналів, та і не когерентна. Все це призводить к значним відмінностям характеристик UWB систем різних виробників.

Переваги технологій: надійна робота, висока точність, стійкість до багатопроменевого загасання.

Недоліки: велика ціна на пристрої, тяжкість в створенні передатчика великої потужності (типова потужність – 50 мкВт, найбільш потужного – 10 мВт). Також не велика дальність поширення сигналу 25-50 метрів.[7]

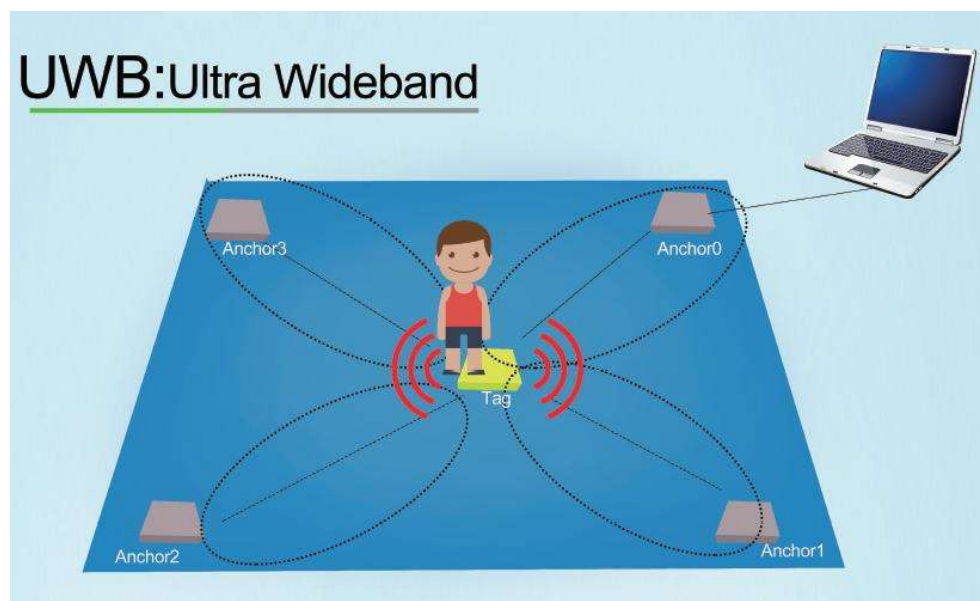


Рисунок 1.11 – Приклад роботи UWB

1.3 Приклади використання технологій позиціювання у світі

Технологій визначення місця положення робітників в умовах роботи під землею є уже давно затребувані. І тому за цей час уже є декілька технологій які використовують в усіх шахтах. Найстарішою технологію

позиціювання є СКУД, які є контролювали шлях робітників і вів облік гірників які спускались під землю. В цей час найпоширеніші дві технологій позиціювання, це зональне позиціювання які використовують технологій RFID-міток і точкове позиціювання гірників які використовують безпроводні технологій і метод тріангуляцій для визначення місця положення гірників. Одним із найголовнішим недоліків цих систем є то що використовують закриті стандарти, при яких є труднощі в вдосконалені мережі.

Висновки до розділу 1

Я проаналізував більшість з відомих методів позиціювання, виділив їх переваги і недоліки. Підсумком мої аналізів стало те що потрібно вибрати метод позиціювання який матиме похибку при вимірюваннях 2-3 м, також буде асинхронним і буде швидко вираховувати місцеположення. Безпроводна технологія на який все це буде побудована повинно поширювати сигнал на далеку відстань, від 250-500 м, буде енергоефективною, високою надійністю і також малою ціною в порівняні з іншими технологіями.

2 МЕТОД ПОЗИЦІЮВАННЯ

2.1 Загальний опис технологій SDS-TWR

Технологія SDS-TWR є модифікація методу ToF, але ця технологія не потребує синхронізації між двома пристроями.

Суть метода полягає в тому, що для вимірювання відстаней методом SDS-TWR між двома об'єктами А і Б, об'єкт А посилає об'єкту Б пакети що містять запит на вимір і фіксує час відправки. Об'єкт Б отримавши пакет від А, відсилає об'єкту А підтвердження у вигляді АСК пакету. Об'єкт А який отримав підтвердження, фіксує час його отримування. Метод SDS-TWR використовує генерацію АСК-пакета, де час обробки пакетів вважається однаковим для обох об'єктів. Фіксація часу відправки пакета, що містить запит на вимір і прийом АСК-пакета, відбувається також апаратно. Це дозволяє заздалегідь передбачити час обробки пакетів і обчислити час поширення сигналу за формулою (2.1):

$$t_p = (T_{RTT} - T_{reply})/2, \quad (2.1)$$

де, T_{RTT} – час, виміряний об'єктом А з моменту відправки пакету об'єкту Б;

T_{reply} – час, виміряний об'єктом Б з моменту отримання пакету від об'єкту А до відправки АСК-пакету;

Взявши до уваги, що швидкість поширення сигналу в середовищі є величина відома і постійна, то легко обчислити відстань між об'єктами. На точність вимірювання часових інтервалів, а отже, і відстані істотно впливає стабільність частоти кристалів, які використовують в модулях трансиверів. Ступінь точності характеризується величиною помилки ppm, для зручності

яку записують цілим числом. Значення 1 ppm відповідає помилці в 0,0001% (або 10^{-6}). Наприклад, для кристала з частотою 4 МГц і частотною стабільністю 1 ppm граничне відхилення частоти від номінального значення складе 4 Гц. Розглянемо вплив ppm кристала на вимірювання відстаней. Припустимо, що система складається з двох об'єктів: А і Б, і їх час йде з однаковою швидкістю.

Зазвичай час поширення пакету значно менше, за T_{RTT} і T_{reply} . Час t_p не перевищує декілька нс, а T_{RTT} і T_{reply} становить ≥ 1 мс. Наприклад:

$$t_p = \frac{1,000074 * 10^{-3} - 1,000014 * 10^{-3}}{2} = 30 * 10^{-9}.$$

Тепер розглянемо, що станеться, якщо час об'єкта А і об'єкта Б матимуть різну швидкість, наприклад +10 ppm і -10 ppm. Тоді:

$$t_p = \frac{1,000074 * 10^{-3} * (1 + 10 * 10^{-6}) - 1,000014 * 10^{-3} * (1 - 10 * 10^{-6})}{2} = 40 * 10^{-9}.$$

Очевидно, що виникає помилка внаслідок взяття різниці між великими величинами вимірюваними з різною точністю. Основне удосконалення методу SDS-TWR спрямоване на виключення цього ефекту. Для цього вимірювання відстаней проводять обидва боки, в результаті чого розраховується середнє значення. Припускаючи, що $T_{replyA} \sim T_{replyB}$, тоді час поширення сигналу розраховується за формулою (2.2):

$$t_p = [(T_{RTTA} - T_{replyA}) + (T_{RTTB} - T_{replyB})]/4. \quad (2.2)$$

Дивлячись на вираз (2) можна відмітити, що в кожній з дужок різниця береться між величинами вимірюваними однаковим часом. Слід відзначити, що дана формула може бути застосована, якщо $T_{replyA} \sim T_{replyB}$. Дистанція, яку проходить радіосигнал за одну нс дорівнює 30 см. На рисунок 2.1 можна

побачити як відбуваються на часовій діаграмі розрахунок часу поширення сигналу.

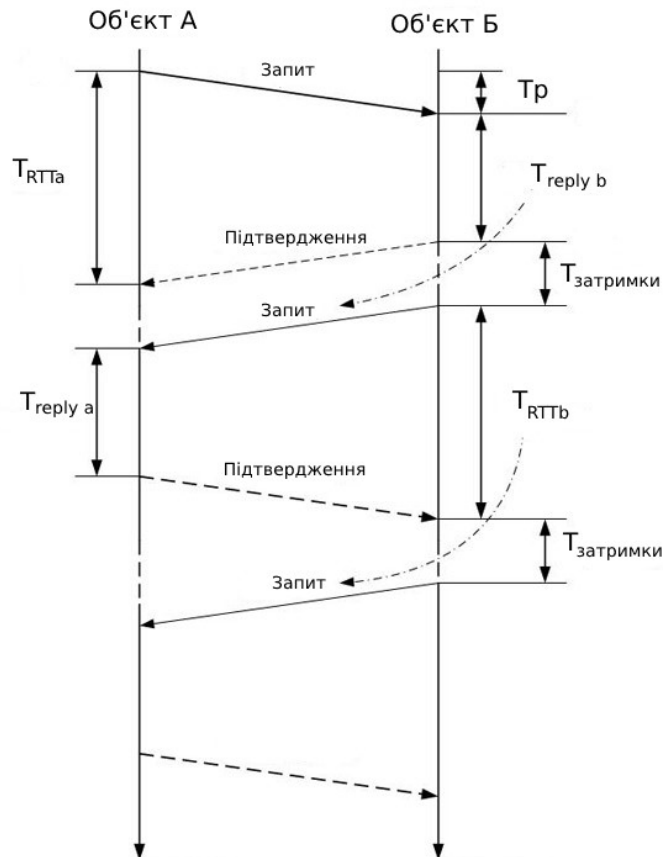


Рисунок 2.1 – Часова діаграма визначення часу поширення сигналу

Аналізуючи рисунок 2.1 можна відмітити, що метод SDS-TWR дозволяє застосовувати менш стабільні кристали, що принципово знижує вартість використовуваного апаратного забезпечення, але при цьому задовольняє необхідну точність визначення відстаней[8].

2.2 Вимірювання відстані на відкритому просторі

В першому експерименті для вимірювання відстані проходили на відкритому просторі. Обидва модулі були закріплені на жердині яка мала висоту яка мала висоту 1,5 м від землі в прямій відомості між собою.

В ході експерименту було отримано дані які зображені на русинку 2.2 можна побачити криві, отримані шляхом усереднення результатів по 10 вимірам. На горизонтальній осі показано реальну відстань у метрах, а на вертикальній – різниця між вимірами за допомогою модулів і реальним. Перші три криві були отримані в різні дні для одної і той же пари модулів, інші три криві для різних модулів.

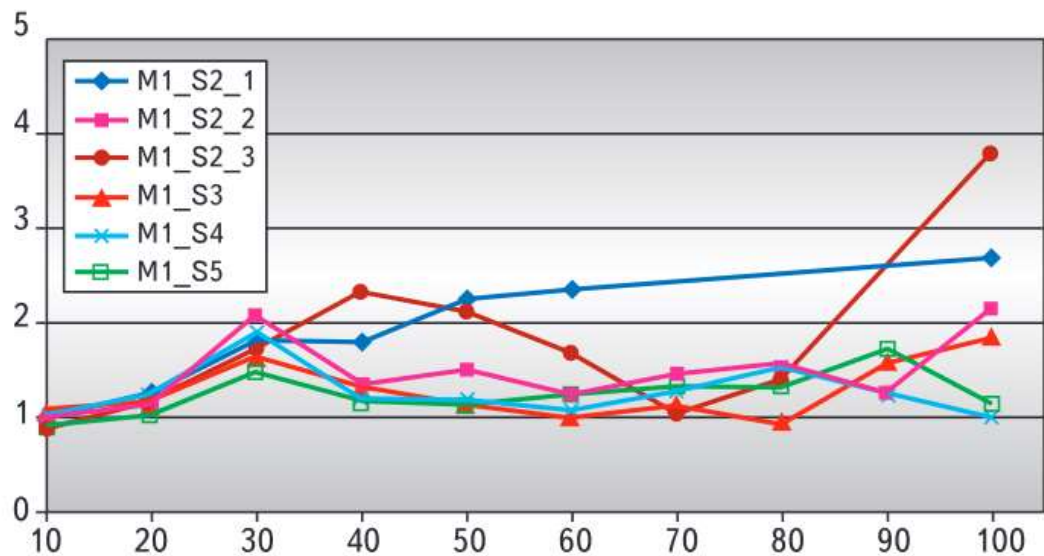


Рисунок 2.2 – Графік вимірів відстані між модулями

Можна побачити що виміряне відстань між модулями завжди більше за реальне і за методу вимірювання відстані. Також існує систематична погрішність при зміні відстані яка знаходиться в межі від 1 до 4 метрів і випадкова погрішність кожного вимірювання, яка знаходиться в межі 80 см.

В результати усереднення значень по всім 6 експериментам і випадкової погрішності приведені на рисунку 2.3.

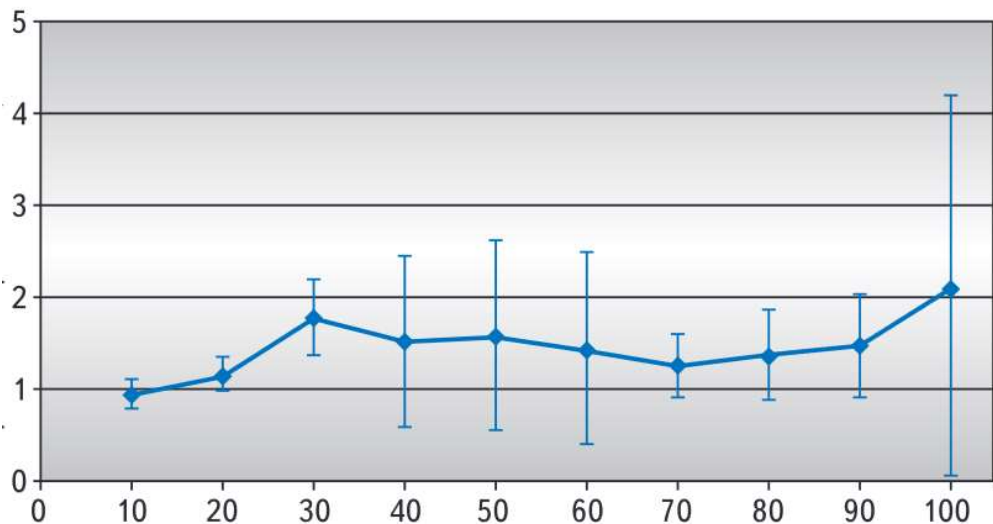


Рисунок 2.3 – Усереднений графік результатів

Внаслідок невеликого значення довжини хвилі для частотного діапазону 2,4 ГГц ($\lambda = 12,5$ см.) принципи поширення електромагнітних хвиль в даному діапазоні тотожні законам поширення світлових хвиль. Тобто такі хвилі поглинаються і відбиваються перешкодами. Хоч радіозв'язок можливий при перешкодах на шляху сигналу, но найкращий зв'язок відбувається на відкритому просторі[8].

2.3 Вивчення впливу відображення

Для впливу перевірки впливу відображення був поставлений експеримент з цілю виключити фактор відображення і визначити точність вимірювання в цих умовах. Місцем проведення експерименту було вибрано стадіон з двома вишками які були розташовані на відстані 37,6 м між собою. А висота вишок на які були розташовані модулі дорівнювала 12 м. Схему проведення експерименту можна побачити на рисунку 2.4.

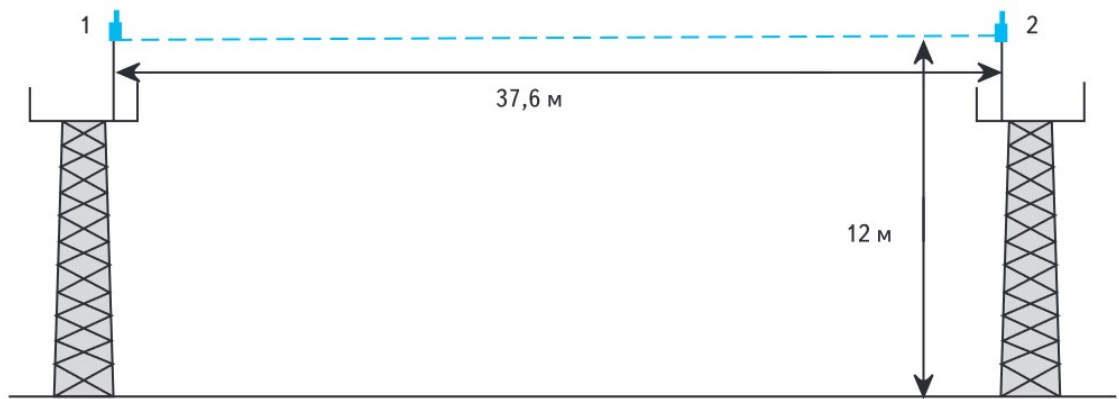


Рисунок 2.4 – Схема експерименту вимірювання відстаней

В результаті експерименту було зареєстровано 93 значення, які мали середнє значення в 38,42 м. Різниця між реальною відстанню і відстанню виміряними модулями дорівнює 0,82м[8].

2.4 Експеримент по визначенню похибки вимірювання

Головна ідея експерименту полягає в дослідженні стабільності змінних величин протягом великого проміжку часу. Також, перевірялась точність вимірів при відсутності зовнішніх завад і в умовах, коли датчики знаходяться в нерухомому стані відносно друг друга.

Для експерименту були вибрані дві суміжні кімнати які зображені на рисунку 2.5. Під час експерименту інші прибори були виключені.

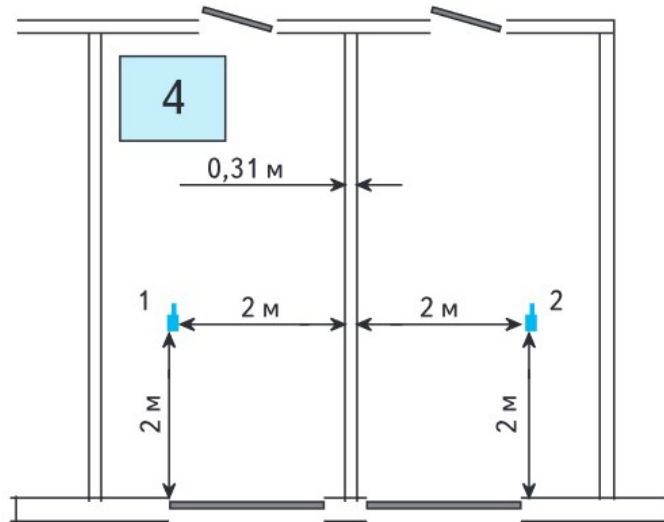


Рисунок 2.5 Схема кімнат в яких проходило вимірювання довжини протягом великого проміжку часу

Під час 18 год експерименту було проведено 64 162 вимірів. Середнє значення як дорівнює 4,423 м. Відхилення від реальної відстані складає 0,11 м.

На рисунку 2.6 можна побачити графік на якому по горизонтальній осі вказано час запису результату виміру, по вертикальній осі усереднене значення вимірів. Видно що в межах похибки, результати виміру не змінюються з часом.

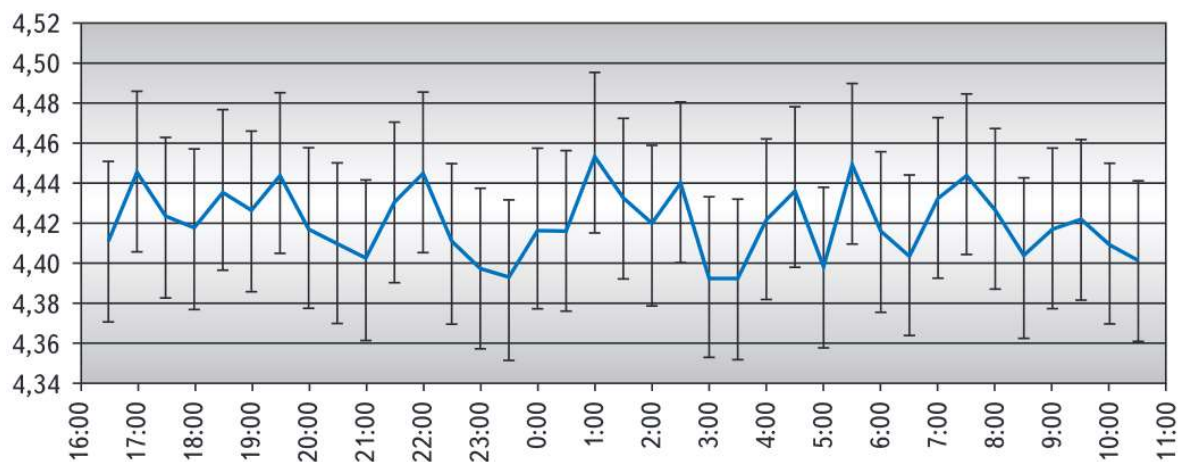


Рисунок 2.6 – Усереднене значення по даним за кожний час

На рисунку 2.7 представлено розподіл даних які були зареєстровані під час експерименту. На гістограмі по горизонтальній осі показані значення вибірки відстані, а по вертикальній кількість випадків для кожної вибірки. Дослідження даного розподілу з вибіркою в 5 см, показало, що закон розподілу величин «нормальний» [8].

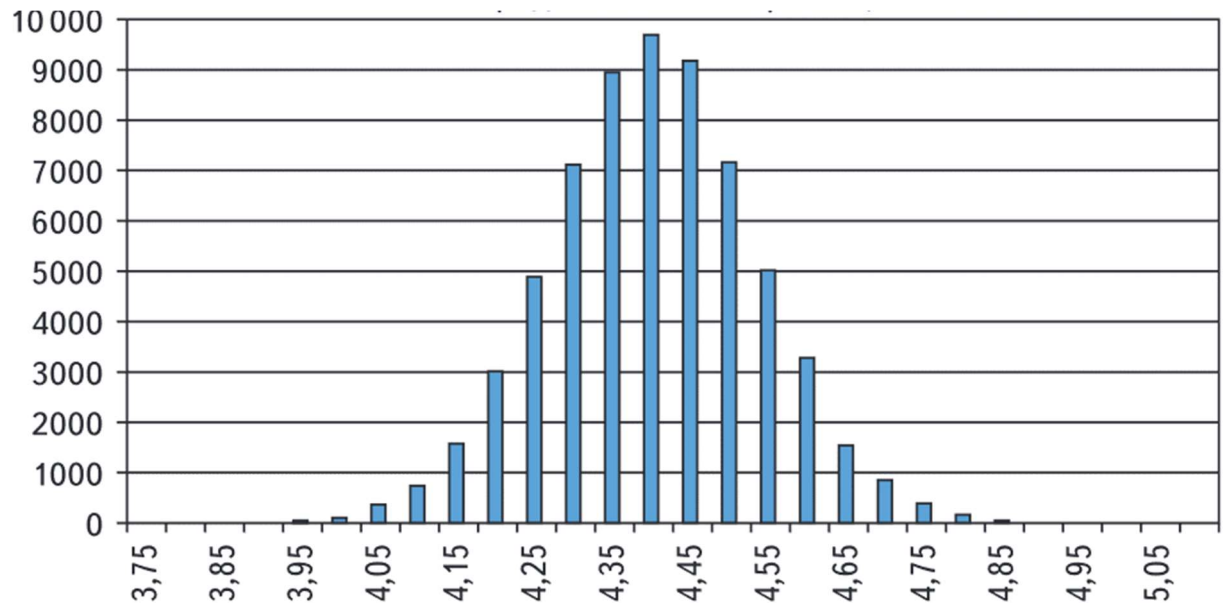


Рисунок 2.7 – Розподіл значень на графіку

По отриманим даним можна сказати що відхилення складає 0,11 метрів. Але якщо збільшити відстань між двома об'єктами, то відхилення збільшується. Це доводить експеримент який проводилися між двома вишками, довжина між якими складала 37,6 метрів. В цьому випадку пристрій видав значення в 38,42 м, тут уже відхилення становить 0,82 м. Отже виходить що похибка вимірювання становить близько 2,3%, що є не суттєвим.

Всі вимірювання проводились апаратами які підтримували частоту сигналу в 2,4 ГГц.

Проаналізувавши метод позиціювання за допомогою SDS-TWR, визначив головні переваги технологій. Серед яких є точність вимірювання, яка більше за більшість з відомих методів, також не обов'язково синхронізувати пристрої між собою для робіт. Також метод дозволяє застосовувати менш стабільні кристали, що принципово знижує вартість використовуваного апаратного забезпечення, але при цьому задовольняє необхідну точність визначення відстаней.

Крім цього, оскільки фіксація значень всіх часових інтервалів здійснюється апаратною частиною приймача, то параметри і режим роботи керуючого мікроконтролера ніяк не впливає на точність визначення відстаней.

3 ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПРОВІДНОГО ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Опис технологій ZigBee

ZigBee це специфікація мережевого протоколу верхнього рівня. Вона заснована на стандарті IEEE 802.15.4-2006, який відповідає за фізичний рівень мережі і управління доступом до середовища бездротові мережі з низьким рівнем потужності сигналу. Технологія орієнтовна на проекти яким потрібні гарантована безпечній передачі даних при відносно невеликих швидкостях і при можливості довгої від автономних джерел живлення. Технологія працює на частоті 2,4 ГГц з пропускнуою здатністю до 250 кбіт/с. Також підтримує дальність зв'язку від декілька десятків метрів і аж до одного кілометрів на відкритому просторі в залежності від самого модуля і антени пристрою.

ZigBee підтримує топологію Mesh-мережі. Сітчаста мережа – це мережева топологія яка побудована на принципі однорангових вузлів, де вони співпрацюють між собою і кожен з'єднаний зі своїми сусідами. Це дозволяє використовувати різні шляхи проходження повідомлення, а це в свою чергу підвищує доступність мережі в разі виходу з ладу того чи іншого вузлу. Топологію мережі можна побачити на рисунку 3.1. Її структура задається параметрами профілю стека конфігурацій і формується автоматичну шляхом з'єднання до мережі утворюють її пристрої, що забезпечує простоту розгортання і легкість масштабування шляхом простого приєднання додаткових пристроїв. В теорії вона підтримує до 65000 вузлів.

При індивідуальній розсилці спочатку між вузлами автоматично вибирається маршрут. Після підтвердження пакет надсилається повторно до трьох разів. Іноді маршрут передачі може змінитися, якщо проміжний вузол вийде із ладу, наприклад при аварійній ситуації. Широкомовні запити

пересилаються між всіма вузлами мережі, які знаходяться в зоні досяжності. Групова передача відбувається в межах відповідної групи.

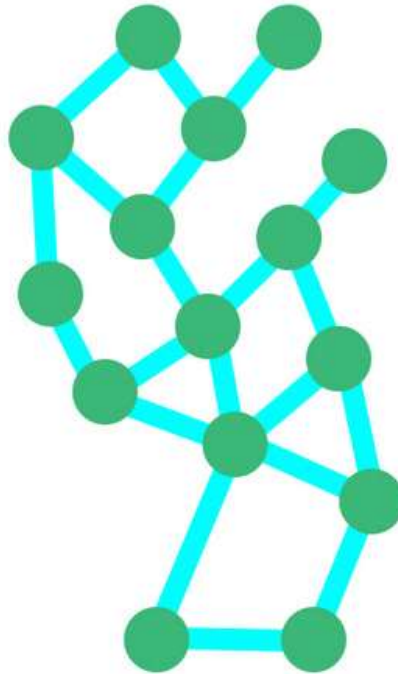


Рисунок 3.1 – Топологія Mesh-мережі

На рисунку 3.1 можна побачити як будується Mesh-мережа, вона будується по принципом вузлів, якій вузли мережі можуть з'єднуватися між собою і можуть брати на себе роль комутатора для інших учасників мережі. Ця топологія мережі є важкою для налаштування, однак при такій топології можна реалізувати високу відмово стійкість мережі. Хоч і така топологія мережі є складною в налаштуванні, технологій ZigBee значно полегшує побудову і налаштування такого типу мережі.

ZigBee – це асинхронний протокол, тому кожний вузол може ініціювати передачу даних в будь який момент часу. Один із головних недоліків технологій в тому, що неможливо передбачити затримку пакету. Зазвичай приймають що для передачі пакета потрібно близько 10 мс[9].

Технологія ZigBee широко поширена в швидко розвиваючому напрямлені IT-індустрій під назвою «Розумні будинки». Поки в цьому

сегменті у стандарті нема конкуренції. На даному етапі інтернет-будинки є основними об'єктами на яке орієнтовне ZigBee пристрої.

3.2 Архітектура стека ZigBee

Архітектуру стека технологій ZigBee/802.15.4 показано на рисунку 3.2. Де можна побачити з чого вона складається.

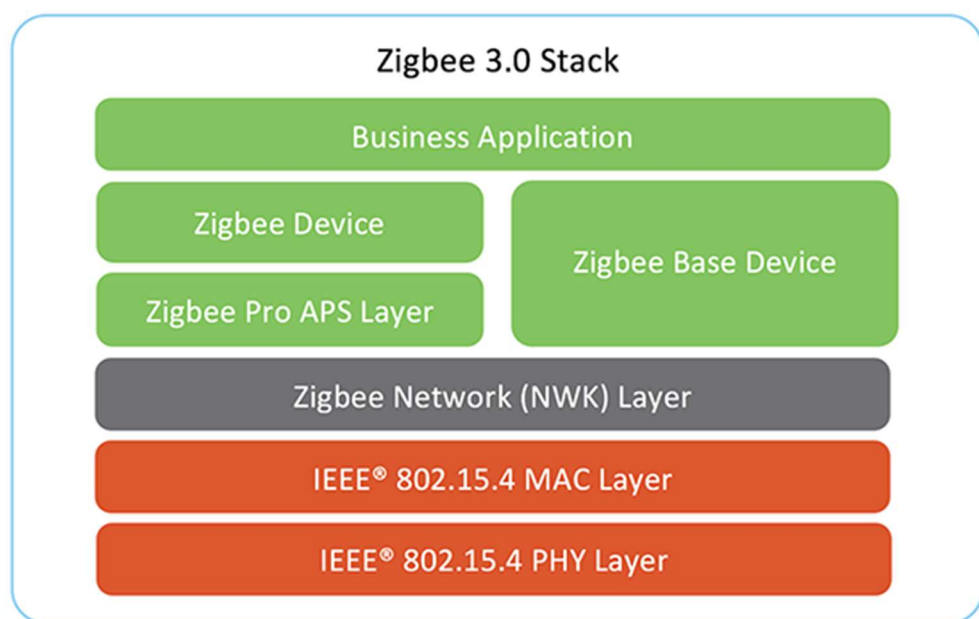


Рисунок 3.2 – Архітектура стека ZigBee

Стандарт IEEE 802.15.4 визначає рівень доступу до середовища MAC і фізичного рівня для передачі даних в середовищі поширення сигналу. Тобто низькі рівні протоколу бездротового передачі даних. Альянс визначає програмні рівні стеку передачі даних до рівня профіля пристроїв.

Прийом і передача даних по радіоканалу здійснюється на фізичному рівні, визначаючим робочі частотний діапазон, тип модуляцій, максимальну швидкість, кількість каналів. Фізичний рівень здійснює активацію\деактивацію прийом передатчика, детектування енергій прийнятого сигналу на робочому каналі, вибір частотного каналу, індикацію

якості зв'язку при отриманні пакету. Важливо розуміти що стандарт 802.15.4 – це фізичне радіо, а ZigBee – це логічна мережа і програмний стек, який забезпечує функцій безпеки і маршрутизацій.

3.3 Склад мережі

Мережа ZigBee складається з трьох типів пристроїв, на рисунку 3.3 буде зображений приклад побудови мережі з усіх типів які ми розглянули :

1. Координатор – це пристрій, що відповідає за запуск, формування і управління мережі, виконує функцію центра керування і довіреного центра, встановлює політику безпеки і видає ключи безпеки, задає налаштування в процесу приєднання пристроїв до мережі.
2. Маршрутизатор – це пристрій, що відповідає за трансляцію пакетів даних, здійснює динамічну маршрутизацію, відновлює маршрути при виході будь-якого пристрою. Про формуванні мережі маршрутизатори приєднуються до координатора або до другого маршрутизатора. Маршрутизатор працює в безперервному режимі, мають стаціонарне електроживлення(але також підтримають живлення від акумуляторних джерел живлення) і можуть обслуговувати «сплячі» пристрої. Маршрутизатор може обслуговувати до 32 сплячих пристроїв.
3. Кінцеві пристрої – пристрої, що відповідають за відправку і прийняття пакетів від маршрутизатора або координатора. Кінцеві пристрої можуть також переводитися в режим очікування, що значно економить заряд акумуляторів.

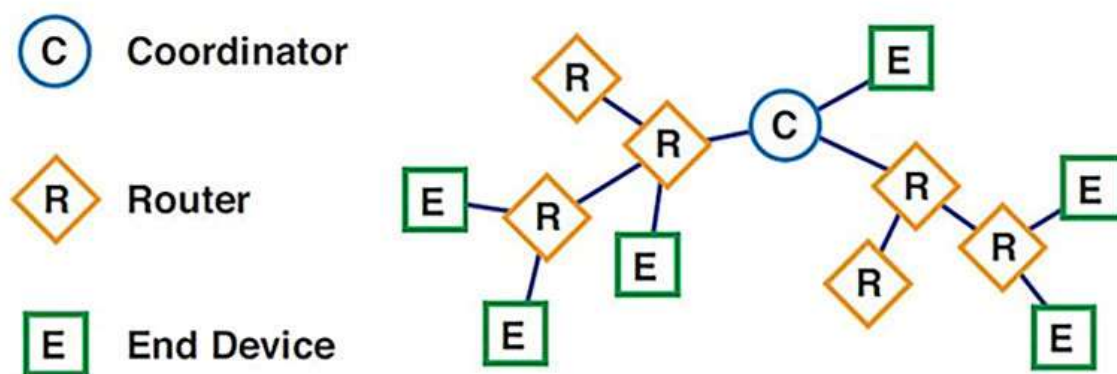


Рисунок 3.3 – Приклад ZigBee мережі

3.4 Формування мережі

Формування мережі ZigBee є самоорганізованим, пристрій який є координатором визначає вільний канал від завад і очікує запити на підключення. Пристрої які хочуть під'єднатися до мережі відправляють широкомовний запит. Далі поки координатор в мережі який є єдиним, відповідає на повідомлення і надає доступ до підключення в мережу. В подальшому приєднання до мережі можуть надавати маршрутизатори. Пристрої, які отримали відповідь на широкомовний запит, обмінюються з з'єднаним пристроєм повідомленнями, щоб визначити можливість з'єднання. Є два способи з'єднання пристроїв: це MAC-асоціація і повторне мережне з'єднання.

MAC-асоціація здійснюється на MAC рівні мережі. Пристрій, який дає згоду на приєднання виставляє на MAC рівні дозвіл на приєднання. Пристрій, який приєднується до мережі на рівні MAC відправляє запит на з'єднання та широкомовний запит маячка. Отримавши маячок від пристрів, які готові підключитися, визначає в яку мережу і до якого пристрою він хоче приєднатися і виставляє на MAC рівні вимоги про мітку з прапором «повторне приєднання» в значенні FALSE. Потім пристрій який приєднується до мережі, направляє на вибрані для приєднання пристрої запит на з'єднання

і отримує відповідь з присвоєним йому мережним адресом. В MAC-асоціації дані передаються в незашифрованому вигляді тому він є не досить безпечним.

Повторне мережне з'єднання, попри назву, може відбуватися і при першому з'єднанні. Воно виконується на мережному рівні. При цьому, якщо вступний пристрій знає теперішній мережний ключ, обмін пакетами може бути безпечним. Ключ можна отримати, наприклад, при налаштуванні пристрою. При повторному мережному з'єднанні пристрої, які приєднуються до мережі виставляють на мережному рівні запити на приєднання і обмінюються з підключеним пристроєм пакетами «запит на підключення» - «відповідь на підключення».

Крім випадків під'єднання нових пристроїв структура мережі змінюється і в випадка, коли пристрої покидають мережу і повторно підключається до других маршрутизаторів в мережі.

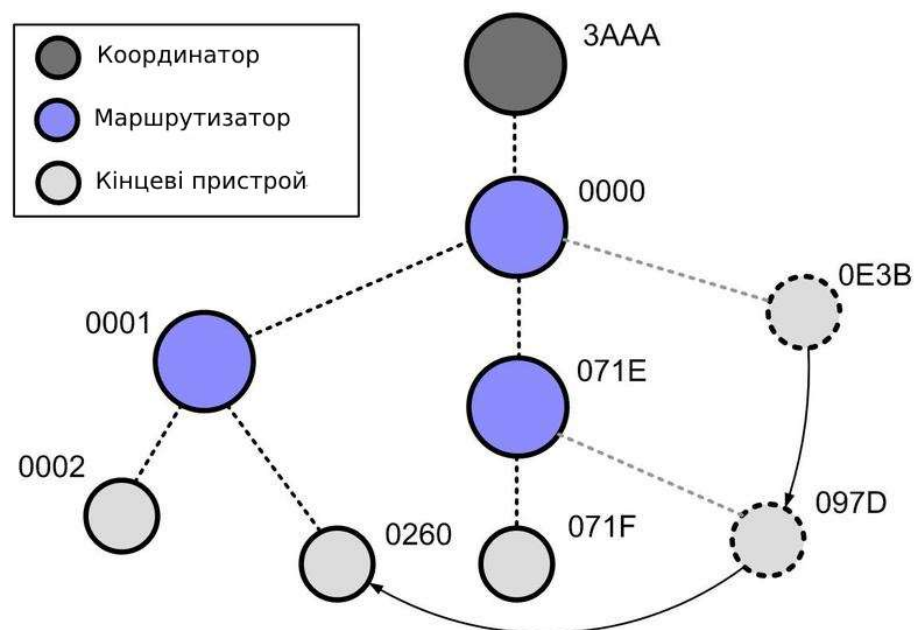


Рисунок 3.4 – Підключення кінцевого пристрою до різних маршрутизаторів

На рис. 3.4 можна побачити приклад як перед підключається кінцевий пристрій до різних комутаторів в мережі. Спочатку пристрій має адрес «0E3B» при підключенні до комутатору з адресом «0000», потім він підключається до вузла з адресом «071E» і змінює свою адресу на «097D». А в кінці уже при підключенні до наступного комутатора з адресом «0001» змінює знову свою адресу на «0260». Кожен раз кінцевий пристрій при зміні маршрутизатора отримує вільний адрес з наявного в розпорядженні пулу адресів які надає координатор[9].

3.5 Формат кадру

На рисунку 3.5 можна побачити структура інформаційного кадру, який формується на верхніх слоїв мережі в технологій ZigBee.

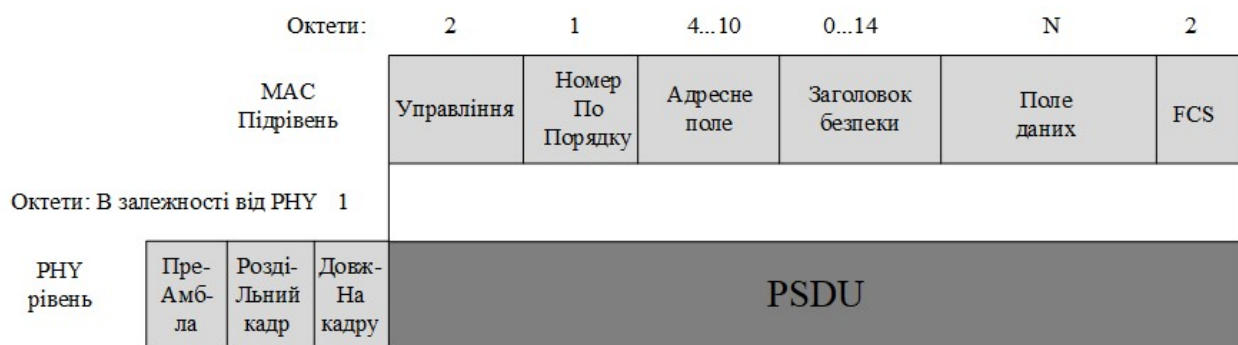


Рисунок 3.5 – Структура інформаційного кадру

Поле даних передається на під рівень MAC і розглядається як сервісний блок даних MAC. Поле даних MAC складається з блоку управління, порядкового номеру, адресного поля, заголовка безпеки, поля даних і контрольної суми.

Контрольна сума розраховується з використанням утворюючого поліному:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (3.1)$$

На рисунку 3.6 показано структуру кадру підтвердження, яке відправляє пристрій для того щоб підтвердити отримання кадру від другого пристрою.

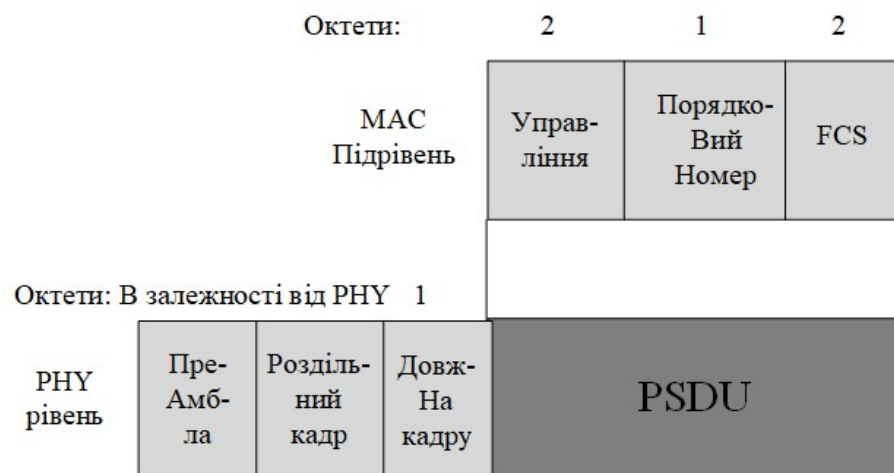


Рисунок 3.6 – Структура кадру відповіді

Ми бачимо що в структурі кадру підтвердження зникли заголовки безпеки, поле даних і адресне поле.

3.6 Кібербезпека технологій

З точки зору кібербезпеки даний тип мережі не відрізняється від інших бездротових мереж. Вони уразливі для атак пасивного прослуховування, а також для DoS атак, так як для участі в інформаційному обміні не потрібне фізичне підключення по проводам. Характерні особливості цих мереж роблять уразливими. Пристрої є дешевими і мають обмежену обчислювальну можливість, оперативну пам'ять і не можуть убезпечити навіть високий рівень роботи генератора випадкових чисел. Ці обмеження можуть серйозно

зменшити вибір криптографічних алгоритмів і протоколів і вплинути на структуру безпеки. Крім цього, час життя батареї і ціна накладають обмеження встановлюючи жорсткі обмеження на надмірність, пов'язану з безпекою. Більшість архітектурних елементів безпеки можуть бути реалізовані на більш високих рівнях мережесих рівнів.

Криптографічні механізми даного стандарту базуються на симетричній ключовій схемі і використовують ключі, які постачаються з вище розплоджених мережесих рівнів. Робота с крипто ключами знаходяться за межами даного стандарту. Криптографічний механізм забезпечує потрібні комбінації наступних послуг безпеки:

- Конфіденційність даних: впевненість в тому, що відправлена інформація доступна тільки користувачам, яким вона назначена.
- Справжність даних: гарантія того, що відправлена інформація не була модифікована на шляху.
- Захист від перехвату: впевненість, що зловмисник не зможе скористатися інформацією і наступним відтворенням отриманою інформацією

Реалізований захист кадрів може бути виконана на покадровому принципі, вона забезпечує варійований рівень цілісності даних, що дозволяє мінімізувати, де можливо, надмірність при передачі коли конфіденційність є опційною.

ZigBee підтримує два режиму безпеки:

- Режим стандартної безпеки – у якому перелік пристроїв, головні ключі, ключи каналів зв'язку і мережесих ключі можна зберігати як в центрі управління безпекою, так і на самих пристроях. Центр управління безпекою, тем не менш, відповідає за підтримку стандартного мережесих ключа і контролює політику прийому в мережі. В цьому режимі вимоги до ресурсів пам'яті центра управління безпекою нижчі, ніж в режимі підвищеної безпеки.

- Режим підвищеної безпеки – в цьому режимі центр безпеки зберігає перелік пристроїв, головні ключі, ключі каналів зв'язку і мережеві ключі необхідних для контролю і застосування політики оновлення мережевих ключів і доступу до мережі.

Криптографічний захист кадру може припускати спільне використання ключа двома пристроями або навіть групою пристроїв, що робить систему більш гнучкою. Якщо використовується груповий криптографічний ключ, захист буде забезпечена тільки від шкідливої активності зовнішніх по відношенню до даної групи пристроїв.

3.7 Вибір модуля

Так як в мережі ZigBee модулі можуть працювати як координатори так і маршрутизатором і також кінцевим пристроєм. Тому достатньо вибрати єдину версію модуля, який буде виконувати наші умови для роботи під землею.

Одною із головних умов для модуля який буде працювати в шахті це такі характеристики потужність і чутливість. Тому чим краще показники тим довше буде довжина передачі сигналу. В таблиці 3.1 будуть занесені декілька модулів із яких я виберу найкращий для роботи.

Таблиця 3.1 – Порівняння модулів

Модуль	E18-MS1-IPX	JN5139-001-M01R1	E18-MS1PA1-PCB	E75-2G4M10S
Потужність	4 дБ	2.5 дБ	20 дБ	10 дБ
Чутливість	-96.4 дБ	-96 дБ	-97.6дБ	-96 дБ

Провівши аналіз між різними модулями я вирішив вибрати модуль E18-MS1PA1-PCB який побудований на чіпу CC2530.

Таблиця 3.2 – Характеристика модуля

Модуль	Чіп	Виробник	Інтерфейс підключення
E18-MS1PA1-PCB	CC2530	ЕВУТЕ	I/O
Потужність	Чутливість	Довжина передачі	Живлення
20дБ	-97,6дБ	800 м	2,0...3,6 В

Велика довжина передачі сигналу дозволяє розташовувати модулі на великої відстані між собою за потребою. Але потрібно урахувати що така довжина передачі сигналу є на відкритому просторі, тому потрібно урахувати умови шахти при розташуванні їх під землею.



Рисунок 3.7 – Зображення модулю

3.8 Іскробезпека модулів

Найважливішою ціллю в шахті є забезпечення безпеки робітників, надійних і безаварійних ситуацій. Для реалізацій цих цілей є наявність знань відносно можливості виникнення і запобіганню вибухів в всіх місцях де є місце одночасного знаходження горючих речовин, кисню і джерела ініціювання вибуху.

В шахті можливі витoki метану що є вибухонебезпечною речовиною, тому одної із головних задач є запобіганню можливих проявів іскор від модулів ZigBee.

Модулі ZigBee є надійними пристроями, які споживають дуже мало електроенергії що задовольняє умовам іскро безпеки. Але цього не достатньо, також ще потрібно використовувати іскро безпечний корпус який унеможливлує виникнення іскри в шахті[10] [11].

Є декілька видів вибухозахисних корпусів які виростають в шахті: це корпуси з алюмінію, з пластику і кераміки. Найкраще буде використовувати корпус який матиме найменше вплив на радіо зв'язок.

Найкращим варіантом буде використання пластикового корпусу у якого найменший вплив на радіо хвилі, приклад такого корпусу на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Вибухозахисний корпус

Висновки до розділу 3

Провівши аналіз технологій різних бездротові технологія, я вирішив використовувати ZigBee. Вона має декілька переваг в роботі під землею в порівнянні з іншими технологіям, такі як: мале електроспоживання, висока дальність зв'язку, висока надійність мережі і пристроїв і також низька ціна. Також був проведений аналіз модулів які доступні, і буде вибраний самий оптимальний варіант для роботи в шахті. Було проведений аналіз на іскро безпеку модуля, і вирішено що найкраще буде використовувати вибухозахисний корпус для запобігання виникнення іскри в шахті.

4 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ

4.1 Підключення шлюзу

Для того щоб підключити мережу до серверу або до іншого пристрою який буде керувати цією мережу, робити налаштування і моніторинг даних потрібно координатор підключити до серверу. І що з'єднати його потрібен шлюз який і буде виконувати роль координатору.

Шлюз дозволяє виконувати: використання більшості доступних ZigBee пристроїв, відказатися від необхідності використовувати хмари виробників пристроїв і використовувати поширені локальні системи автоматизацій.

Для підключення ZigBee мережі до сервера можна використовувати між мережевий шлюз ConnectPort X в якому вбудований ZigBee модуль сімейства XBee, що уже дозволяє з'єднати ZigBee мережу з мережею Ethernet.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд ConnectPort X

Для нашої мережі будемо використовувати ConnectPort X8 який має найкращі характеристики в порівнянні з другими шлюзами цього сімейства. Основою шлюзу є процесор NetSilicon на ядрі ARM9 на тактовій частоті 204 МГц. В мережі Ethernet шлюз підтримує роботу с протоколами UDP/TCP, DHCP, SSL і SSHv2. Також на він окрім інтерфейсу Ethernet має інтерфейси USB і COM-порт що дозволяє підключати периферійні пристрої з різною функціональністю.

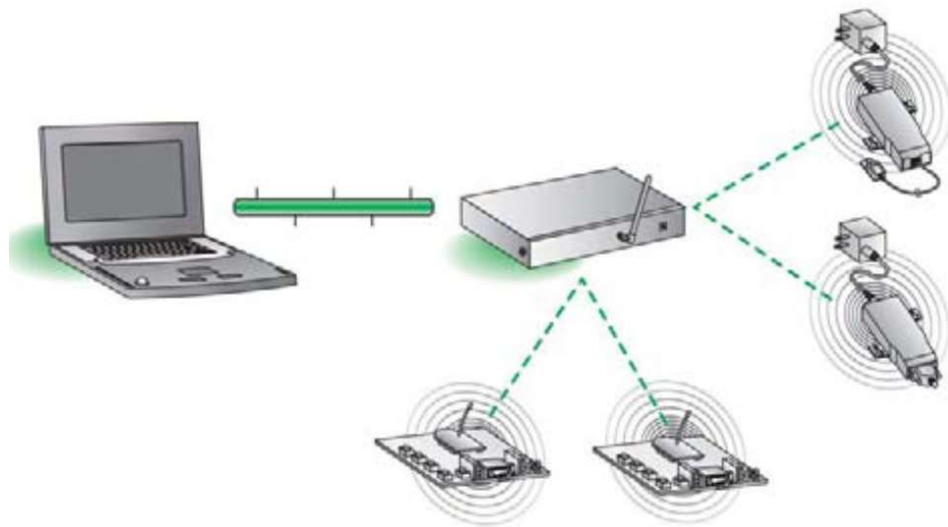


Рисунок 4.2 – Приклад ZigBee мережі з використанням шлюзу

Управління шлюзом відбувається через веб-інтерфейс, який надає доступ до всіх налаштувань Ethernet з'єднання, і також доступ до вузлів ZigBee мережі. За допомогою веб-інтерфейсу можна також оновлювати внутрішню прошивку пристрою і завантажувати додатки користувача написані які на мові програмування Python[12].

4.2 Побудова мережі

При побудові мережі в шахті потрібно урахувати структуру її структуру. Так як шахта представляє собою гірську виробітку яка

представляє собою мережу тунелів які простягаються на декілька кілометрів. На рисунку 4.3 можна побачити приклад схеми шахти. Можна побачити що мережі тунелів може направлятися в різні сторони і перетинатися між собою.

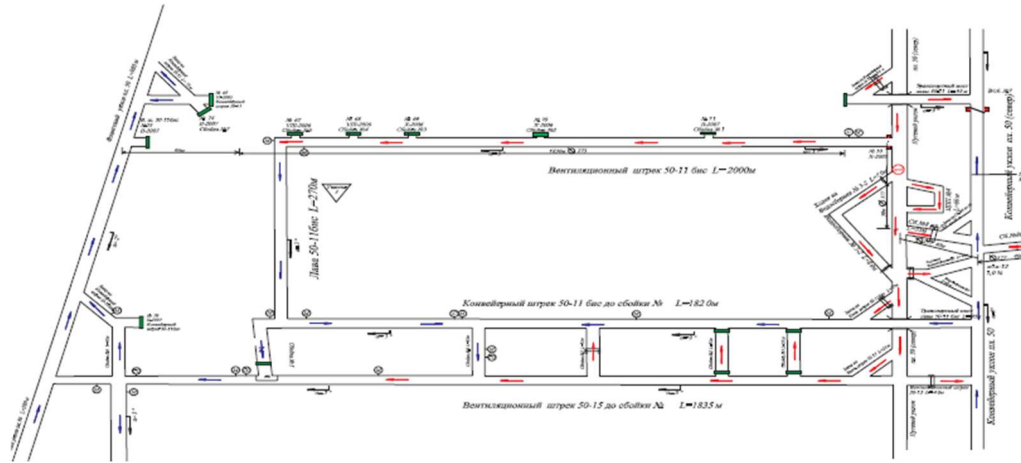


Рисунок 4.3 – Структурна схема шахти

Отже мережеву інфраструктуру системи позиціювання складатися з декількох зон ZigBee, які потім уже будуть зв'язані з сервером через сегменти локальної IP мережі. Кожна із зон буде самостійною ZigBee мережею яка буде складатися як правило с декількох координаторів в залежності від зони в які вони будуть працювати і від кількості робітників в цій мережі. Також обов'язково один із маршрутизаторів в зоні буде виконувати роль координатор який і буде виконувати роль шлюзу і забезпечений IP інтерфейсом який матиме свій IP адрес. На рисунку 4.4 можна побачити приклад побудови мережі для шахти.

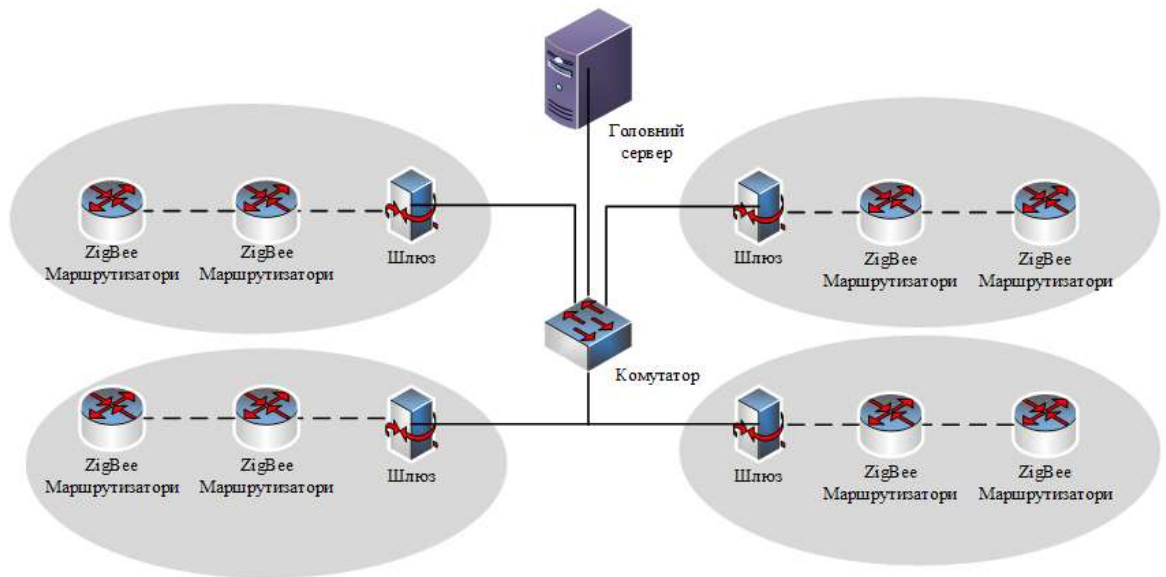


Рисунок 4.4 – Структурна і функціональна схема мережі

На схемі можна побачити приклад підключення пристроїв в мережі і розподіл ZigBee мережі на зони. Для надійності мережі можна використовувати оптоволоконне з'єднання між комутатором і головним сервером. А для з'єднання між шлюзом і комутатором використовуємо кабель типу вита пара. З'єднання між шлюзом і модулями буде відбуватися уже бездротове.

На головному сервері буде відбуватися все налаштування мережі, встановлення IP-адресу для кожного шлюзу, і також налаштування кожної зони ZigBee мережі.

4.3 Налаштування мережі

Є декілька програмних засобів по налаштуванню ZigBee мережі, серед яких є одна із головних є Zigbee2mqtt в якій проходить налаштування за допомогою командної строки[13]. Але в ній є декілька недоліків, серед яких є відсутність графічного інтерфейсу і великий поріг входження. З часом були представлені програми які на основі Zigbee2mqtt зробили з графічним

інтерфейсом, одним із таких програм є MQTT Explorer. Який дозволяє більше доступно керувати конфігураціями пристроїв, інтерфейс програми можна побачити на рисунку 4.5.

Але я вирішив використовувати SLS Zigbee Gateway який також побудований на програмному застосунку Zigbee2mqtt, який має більше функцій в порівнянні з попередньої програмою. Також він має більше доброзичливий інтерфейс[14].

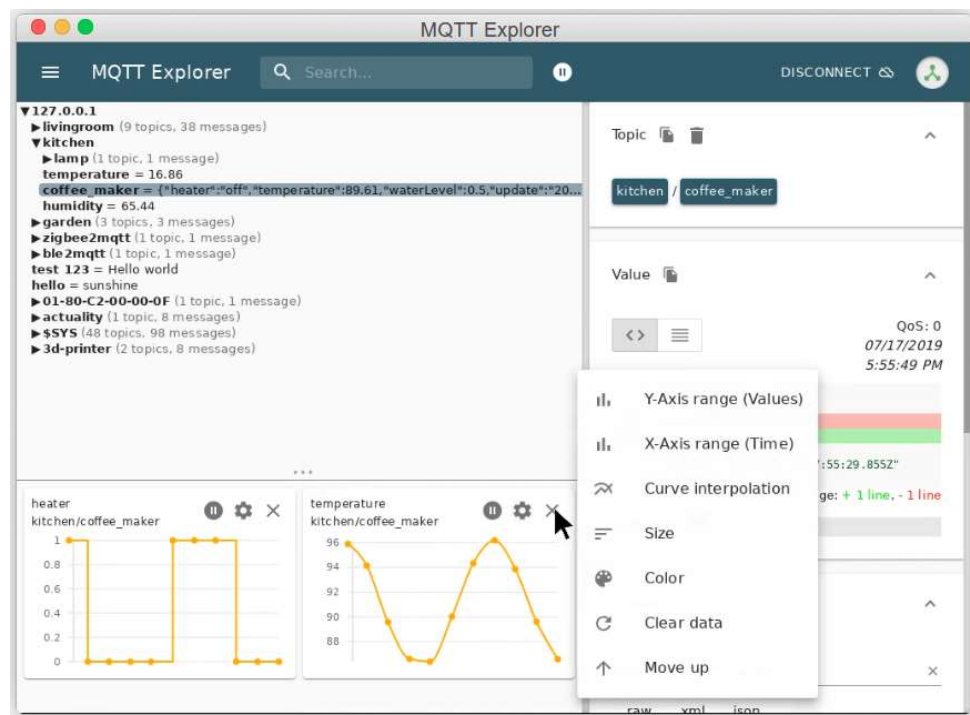


Рисунок 4.5 – Інтерфейс програми MQTT Explorer.

Налаштовувати мережу я буду за допомогою Web-інтерфейсу програми. Для того щоб зайти в програму потрібно вже на сервері або на комп'ютері який керує сервером вести адрес шлюзу який кій відповідає за свою зону. Перше що ми побачимо на головному екрані коли зайдемо, це системну інформацію шлюзу і також технічні і мережеві параметри мережі.

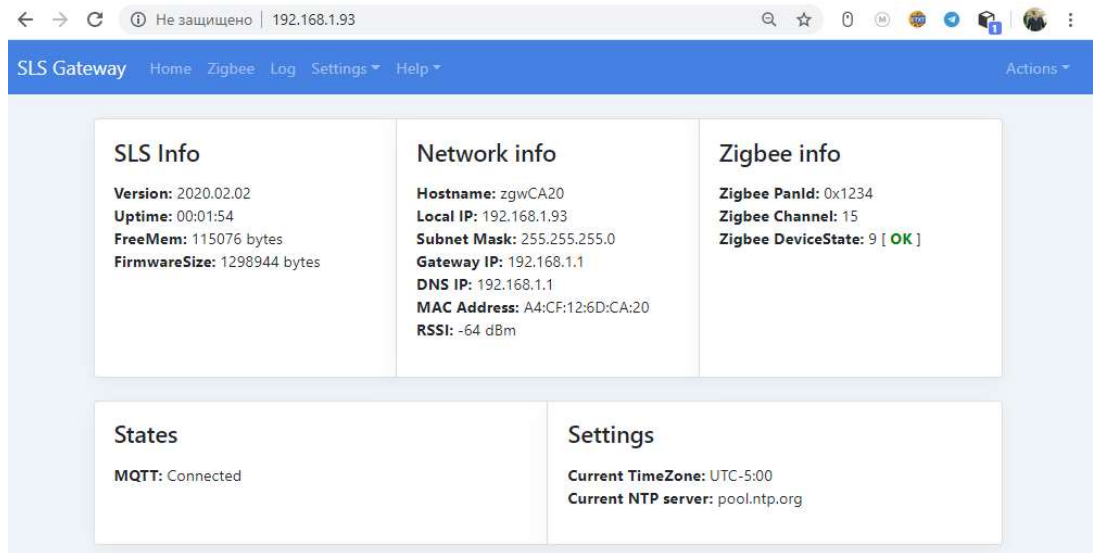


Рисунок 4.6 – Головний екран SLS Gateway

Далі потрібно підключити модуль до мережі, воно проходить насправді дуже легко. Для цього потрібно зайти в розділ який відповідає за підключення пристроїв. Але спочатку потрібно сам пристрій перевести в режим сполучення, щоб потім уже в розділі підключити цей пристрій до мережі.

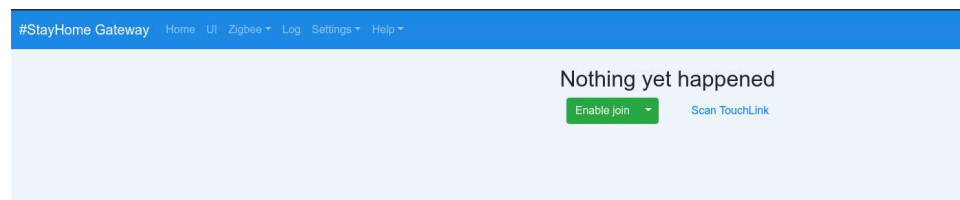


Рисунок 4.7 – Вікно підключення пристроїв

Далі ми можемо перейти до вкладки з пристроями які ми підключили до мережі. На ній ми можемо спершу побачити всю системну інформацію за кожний пристрій який ми підключили до мережі, а саме адрес пристрою, ім'я пристрою, якість сигналу, адрес маршрутизатору до якого він підключений, заряд батареї, час з останнього повідомлення від пристрою і так далі. Також на цій вкладці ми проведемо налаштування пристроїв де кожному пристрою ім'я яке буде позначувати якому гірнику вона належить.

#StayHome Gateway											Home	Zigbee	Log	Settings	Help	Actions
#	Pic	nwkAddr	FriendlyName	ieeeAddr	Manuf	ModelId	Link	Interview	LastSeen	Routes	PS	Actions				
1		0x5DD2		0x00158D0002EE1285	LUMI	lumi.curtain	102	Ok	00:13			Bind				
2		0x29DD		0x01124B0018AE534	SZ	Lamp_01	102	Ok	00:18			Bind				
3		0x6160		0x00158D0001A24770	LUMI	lumi.relay.c2acn01	97	Ok	00:28			Bind				
4		0xD0FF		0x00158D00029C3010	LUMI	lumi.ctrl_neutral1	97	Ok	00:28	0x6160		Bind				
5		0x270E		0x00158D0001A2D2FE	LUMI	lumi.sensor_ht	113	Ok	00:49			Bind				
6		0x5E3B		0x00158D00022BC3AB	LUMI	lumi.ctrl_neutral2	99	Ok	00:50	0x9EBF		Bind				
7		0xF022		0x00158D00029B4352	LUMI	lumi.ctrl_neutral1	92	Ok	00:51	0x5DD2		Bind				
8		0x24A3		0x00158D0002B76411	LUMI	lumi.sensor_motion.aq2	99	Ok	01:20			Bind				
9		0x2B0C		0x00158D0001A9E374	LUMI	lumi.sensor_motion	92	Ok	01:22	0x9EBF		Bind				
10		0x043C		0x000B57FFFE86106	IKEA of Swe...	TRADFRI remote control	94	Ok	01:41	0x29DD		Bind				
11		0x6080		0x00158D0002A5D712	LUMI	lumi.xiaomi.aq1	94	Ok	02:02	0x6160		Bind				

Рисунок 4.8 – Вкладка з пристроями

Після налаштування ми висновку отримаємо карту міток які підключенні до нашої мережі. Там ми можемо побачити як підключені пристрої, який адрес вони мають і також іншу системну інформацію.

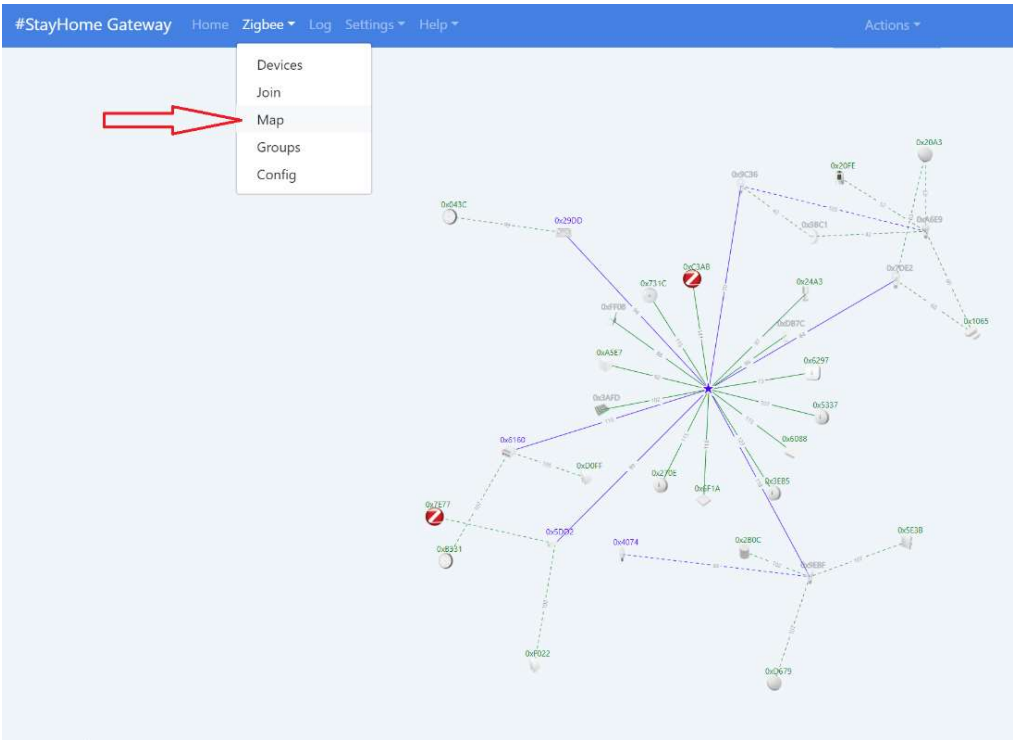


Рисунок 4.9 – Карта міток

Після повного налаштування мережі ми зможемо відслідковувати місце знаходження кожного гірника в шахті під час роботи. Також при потребі можливі зміна налаштувань в залежності від потреби.

4.4 Перспективи використання технологій ZigBee

І за великих можливостей самої технології ZigBee є можливість її модернізацій, щоб вона виконувала не тільки роль для визначення місця положення гірників. Є можливість для перетворення в систему безпеки для шахти.

Наприклад можна зробити безпроводний зв'язок з датчиками такими як сенсори метану які розволені в шахті для контроль за можливим витоком метану і запобіганню вибухонебезпечних ситуацій. І за підтримки великої кількості вузлів у мережі, також можливо збільшити кількість датчиків метану в шахті для контролю їх в кожній точці шахти.

Також можна буде впровадити голосовий зв'язок в шахті, так як при пропускній спроможності яку підтримують модулі Zigbee, що дозволить комунікувати між собою робітниками шахти і також для передачі інформаційно-аварійних повідомлень.

Для використання пропонується голосовий кодек ILBC, який забезпечує високу якість зв'язку в вузькосмугових каналах зв'язку при швидкості передачі голосу до 13,33 кбіт/с. Також для ILBC не дає великої навантаження на апаратні ресурси модуля. Використання кодека не потрібні ліцензій.

Висновок до розділу 4

Було вибрано шлюз за допомогою якого можна підключити Zigbee мережу до загальної Ethernet мережі шахти. Також вибрав програму для налаштування і управління мережею. Вона дозволяє управляти мережею за допомогою Web-інтерфейсу що полегшує використання цієї програми. Вона має ще дуже простий спосіб для підключення нових пристроїв в мережу. І за великої підтримки вузлів яких можна підключити до мережі, також можна буде підключати інші пристрої такі як: датчики контролю метану в шахті, аварійна система оповіщення тощо.

ВИСНОВКИ

Метою даної дипломної роботи було розробки мережі місце позиціювання для підземних робітників в умовах шахти. Провести аналіз існуючих систем безпроводного зв'язку і методів позиціювання для визначення найкращої для роботи під землею.

В першій главі потрібно було провести аналіз середовища в якому буде впроваджуватися технологія, так як умови шахти є особливими. Вибрав головні умови для вибору безпроводної технологій зв'язку.

В другій главі я розібрав метод симетричного двостороннього двоступеневого вимірювання відстані, який дуже добре підходить для визначення місцеположення гірників. Основною перевагою методу є те що пристрої не повинні бути синхронізовані між собою для визначення довжини між двома об'єктами. Крім цього він не вимогливий на потужності контролеру.

В третій главі я вибрав технологія безпроводного зв'язку Zigbee і за її переваг перед іншими технологія для роботи в умовах шахти. До яких відносяться висока якість зв'язку між модулями, мале електроспоживання, підтримка топологія Mesh-мережі і також висока надійність пристроїв. Також було проведений аналіз доступних пристроїв на ринку і вибраний актуальний варіант.

В четвертій главі було проведено проектування Zigbee мережі яка підключена до Ethernet мережі. Також був проведений аналіз програмних засобів для налаштування конфігурацій і управління мережею.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волков П.А., Короченцев В.И., Горовой С.В., Волкова А.А. Исследование распространения электромагнитных волн в рудниках и шахтах [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rasprostraneniya-elektromagnitnyh-voln-v-rudnikah-i-shahtah/viewer> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. екрана.
2. Системы контроля и управления доступом от А до Я [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://deps.ua/knowegable-base-ru/spravochnaya-informatsiya/7819.html> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. екрана.
3. Финкенцеллер К. RFID-технологии [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua1lib.org/book/2892239/586837?id=2892239&secret=586837> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. екрана.
4. Богуренко П.А., Бурлаков М.Е. Обзор методов локального позиционирования объектов в Wi-Fi сетях [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-lokalnogo-pozitsionirovaniya-obektov-v-wi-fi-setyah/viewer> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. екрана.
5. Поспелова И.В., Брагин Д.С., Черепанова И.В., Серебрякова В.Н. Оптические технологии локального позиционирования в здравоохранении(аналитический обзор) [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskie-tehnologii-lokalnogo-pozitsionirovaniya-v-zdravoohranenii-analiticheskiy-obzor/viewer> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. екрана.
6. Морохин Д.В., Тоцкий А.А. Модули излучения и приема ультразвука для системы локального позиционирования [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/moduli-izlucheniya-i->

priema-ultrazvuka-dlya-sistemy-lokalnogo-pozitsionirovaniya/viewer - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

7. Брагин Д.С., Поспелова И.В., Черепанова И.В. Серебрякова В.Н. Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении [Электроний ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiochastotnye-tehnologii-lokalnogo-pozitsionirovaniya-v-zdravoohranenii/viewer> - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

8. Гоголев А., Екимов Д., Екимов., Мощевикин А., Федоров А., Цыкунов И. Точность определения расстояний с помощью технологии nanoLOC [Электроний ресурс]. – Режим доступа: https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/2008_3_48.pdf - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

9. Панфилов Д., Соколов М. Введение в беспроводную технологию ZigBee стандарта 802.15.4 [Электроний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/files-static/abstract/global/s50210.pdf> – Дата доступа: травень 2021 – Назва з титул. екрана.

10. Ерыгин А.Т. Оценка и обеспечение искробезопасности переносных приборов [Электроний ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-obespechenie-iskrobezopasnosti-pereenosnyh-priborov/viewer> - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

11. Ерыгин А.Т., Яколев В.П. Обеспечение искробезопасности рудничного электрооборудования с длинными линиями связи [Электроний ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-iskrobezopasnosti-rudnichnogo-elektrooborudovaniya-s-dlinnymi-liniyami-svyazi/viewer> - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

12. Пушкарев О. Построение ZigBee-сети [Электроний ресурс]. – Режим доступа: https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/2008_2_40.pdf - Дата доступа: червень 2021 – Назва з титул. екрана.

13. zigbee2mqtt.io [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.zigbee2mqtt.io> - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. Екрана.

14. Gateway Web site [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://slsys.github.io/Gateway/README_rus.html - Дата доступу: червень 2021 – Назва з титул. Екрана.

ДОДАТОК А

Охорона праці та пожежна безпека під час монтажних робіт

Розроблений на підставі Законів України «Про охорону праці», «Про пожежну безпеку» та «Про охорону навколишнього середовища, державних будівельних норм України ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві», комплекс заходів забезпечує в даному проекті безпеку будівельно-монтажних робіт і подальшу експлуатацію обладнання комплексної системи.

До початку виробництва будівельних або монтажних робіт робочі майданчики повинні бути забезпечені питною водою, аптечками, засобами для надання першої медичної допомоги, телефонним зв'язком.

На робочих площах повинні бути організовані пожежні пости з протипожежними засобами.

Робочі майданчики повинні бути оснащені сучасною контрольно-вимірювальною апаратурою.

До робіт з монтажу обладнання та кабельних ліній зв'язку допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, навчені безпечним методам роботи і мають посвідчення про перевірку знань з охорони праці та електробезпеки.

Зазначені особи повинні пройти вступний інструктаж на робочому місці. У бригаді монтажників обов'язково повинне бути присутнім особа, що спостерігає за безпекою виконання робіт. Такою особою бажано призначати старшого по бригаді.

До робіт не допускаються працівники, що знаходяться в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння.

Виробництво робіт по монтажу обладнання і кабельних ліній зв'язку виробляти в суворій відповідності з нормативними документами:

- НПАОП 0.00-1.15-07 Правила охорони праці під час Виконання робіт на висоті;
- НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97) Правила безпечної ЕКСПЛУАТАЦІЇ електроустановок;
- НПАОП 0.00-1.04-07 Правила Вибори та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання;
- НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок;
- НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- ДБН В.1.1-7 Пожежна безпека об'єктів будівництва;
- ГОСТ 12.1.030-81 Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення.

Основні рішення з промислової безпеки;

- «ССБП. Охорона праці и промислова безпека в будівництві. Основні положення «з урахуванням місцевих умов. Крім того, при розробці розділу використані нормативні документи:
- ГОСТ 12.1.002-84 «Електричні поля промислової частоти допустимі рівні напруженості і вимоги до проведення контролю на робочих місцях»;
- ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»;
- ДСТУ Б А.3.2-13: 2011 Системи стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги (ГОСТ 12.1.013-78, MOD);
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення»;
- ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. «Обладнання протидимне. Загальні вимоги безпеки»;

- ГОСТ 12.2.007.0-75 * ССБТ. «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;
- ДСТУ ІЕС 60745-1: 2010 Інструмент ручний електромеханічний.

Безпека. Частина 1. Загальні вимоги;

- ГОСТ 12.3.032-84 * ССБТ «Роботи електромонтажні. Загальні вимоги безпеки»;
- ГОСТ 12.4.051-87 (СТ РЕВ 5803- 86) ССБТ. «Засоби індивідуального захисту органів слуху»;
- ГОСТ 464-79 «Заземлення для стаціонарних установок проводового зв'язку, радіорелейних станцій, радіотрансляційних вузлів проводового мовлення і антен систем колективного прийому телебачення. Норми опору»;
- ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»;
- НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»;
- НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НПАОП 64.2-1.07-96 (ДНАОП 5.2.30-1.07-96) «Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку і проводового мовлення»;
- НПАОП 63.12-1.03-96. (ДНАОП 7.1.00-1.03-96) «Правила охорони праці при експлуатації баз, складів і сховищ, виконанні вантажо-розвантажувальних робіт на об'єктах оптової торгівлі».

Існуючі системи опалення та вентиляція повинні відповідати:

ДБН В.2.5-67 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» Опалення, вентиляція і кондиціонування ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Блискавкозахист будівлі повинна відповідати ДСТУ Б В.2.5-38: 2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування будівель і споруд» (IE C 62305: 2006, NEQ).

Влаштування заземлення повинно відповідати ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Електробезпечність. Захисне заземлення. Занулення».

Розділ з охорони праці.

Повинні бути передбачені необхідні заходи і засоби для забезпечення безпеки і нормальних санітарних умов праці, як при проведенні монтажних робіт, так і при експлуатації комплексної системи безпеки відповідно до нормативних документів:

- Закон України «Про охорону праці»;
- ДСТУ 7238: 2011 Системи стандартів безпеки праці. «Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація»;
- ДСТУ 7239: 2011 Системи стандартів безпеки праці. «Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація»;
- НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НПАОП 63.12-1.03-96. (ДНАОП 7.1.00-1.03-96) «Правила охорони праці при експлуатації баз, складів і сховищ, виконанні вантажо-розвантажувальних робіт на об'єктах оптової торгівлі».
- НПАОП 64.2-1.07-96 (ДНАОП 5.2.30-1.07-96) «Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку і проводового мовлення»;
- НПАОП 64.2-1.08-96 (ДНАОП 5.2.30-1.08-96) «Правила безпеки при роботах на телефонних і телеграфних станціях»;
- НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»;

- НПАОП 40.1-1.07-01 (ДНАОП 1.1.10-1.07-01) «Правила експлуатації електрозахисних засобів»;
- ДсанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Безпечне обслуговування проектованого обладнання забезпечується системою заходів, передбачених «Правилами улаштування електроустановок» ПУЕ-2009, ПТЕЕС «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів України».

Протипожежні заходи.

Обслуговуючий персонал зобов'язаний дотримуватися встановленого протипожежного режиму на об'єкті, виконувати встановлені правила і інші нормативні акти з питань пожежної безпеки.

Кожен працівник у разі виявлення пожежі або запаху диму, гару, надмірного підвищення температури зобов'язаний негайно повідомити про це в пожежну охорону (при цьому назвати адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище) і вжити заходів щодо його ліквідації та рятування людей і майна.

Основні вимоги щодо пожежної безпеки було встановлено відповідно до НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», НАПБ В.01.053-2016 / 520 «Правила пожежної безпеки в галузі зв'язку» і ДБН В.1.1-7 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Протипожежні системи, установки, устаткування будівель, споруд і приміщень (протидимний захист, пожежна автоматика, протипожежне водопостачання, протипожежні двері, клапани, інші захисні пристрої у протипожежних стінах і перекриттях і т.п.) повинні постійно утримуватися в справному стані.

Евакуація здійснюється по шляхах евакуації через евакуаційні виходи. Евакуаційні шляхи в межах приміщення повинні забезпечувати безпечну

евакуацію людей через евакуаційні виходи з даного приміщення. Кількість і загальна ширина евакуаційних виходів з приміщень визначаються в залежності від максимально можливого числа евакуйованих через них людей і гранично допустимого відстані від найбільш віддаленого місця можливого перебування людей (робочого місця) до найближчого евакуаційного виходу.

Протидимний захист будівель повинна виконуватися відповідно з ДБН В.2.5-67. Система оповіщення про пожежу повинна виконуватися відповідно з ДБН В.1.1-7, ДБН 2.5-56-2014 і І 220-008-91.

Для прокладки кабелів зв'язку в приміщеннях слід застосовувати кабелі з негорючим покриттям, рекомендовані фірмами виробниками мережного обладнання.

У приміщеннях, де розташовується телекомунікаційне обладнання, дозволяється зберігати для виробничих потреб не більше 0,15 л бензину, 0,25 л ацетону і 1 л спирту в розрахунку на 100 куб. м об'єму приміщення.

Приміщення, де розташовано телекомунікаційне обладнання, повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння та протипожежним інвентарем відповідно до встановлених норм згідно НАПБ В.01.053-2016 / 520 «Правила пожежної безпеки в галузі зв'язку». На стіні у вихідній двері приміщення повинен встановлюватися порошковий або вуглекислотний вогнегасник так, щоб відкривається двері не ускладнювала його використання.