

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ІНЖЕНЕРІЇ

До захисту допускається
Завідувач кафедри
_____ Скарга-Бандурова І.С.
« ____ » _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**Бездротова система віддаленого моніторингу сільськогосподарських
параметрів в рослинництві**

Освітньо-кваліфікаційний рівень “Магістр”
Спеціальність 123 “Комп’ютерна інженерія”
(освітня програма - “Комп’ютерні системи і мережі”)

Науковий керівник роботи:

(підпис)

Д.О. Недзельський

(ініціали, прізвище)

Консультант з охорони праці:

(підпис)

Я.О.Критська

(ініціали, прізвище)

Студент:

(підпис)

С.О. Михайличенко

(ініціали, прізвище)

Група:

КСМ-16дм

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра Комп'ютерних наук та інженерії
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія" (освітня програма - "Комп'ютерні
(шифр і назва)
системи і мережі")

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри _____
I.C. Скарга-Бандурова
« _____ » _____ 20 ____ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Михайличенку Сергію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Бездротова система віддаленого моніторингу
сільськогосподарських параметрів в рослинництві

керівник проекту (роботи) Недзельський Дмитро Олександрович, к.т.н., доц.
(прізвище, м. 'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 10 2018 р. № 208/48

2. Строк подання студентом роботи 21.01.2018

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики,
використання бездротових сенсорних мереж для вимірювання параметрів,
розмір контрольованої території 100x100 метрів, використання датчиків
температури, вологості, організація передачі даних - датчик, ZigBee, Wi-Fi

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Бездротові сенсорні мережі, протоколи маршрутизації
бездротових сенсорних мереж, датчики фізичних параметрів, алгоритм
розташування датчиків БСМ, опис апаратних засобів, охорона праці та безпека
в надзвичайних ситуаціях, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Електронні плакати

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Критська Я.О. асистент кафедри КНІ		

7. Дата видачі завдання 18.10.2017

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел і обґрунтування актуальності	10.09.2017-15.09.2017	
2	Розробка технічного завдання	16.09.2017-22.09.2017	
3	Огляд апаратних засобів для розробки системи	23.09.2017-25.09.2017	
4	Розроблення алгоритмів розташування датчиків та проектування системи	26.09.2017-13.11.2007	
5	Розробка частини проекту "Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях"	14.11.2017-30.11.2017	
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	01.12.2017-31.12.2017	
7	Оформлення автореферату	01.01.2018 – 10.01.2018	

Студент

_____ (підпис)

Михайличенко С.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Науковий керівник

_____ (підпис)

Недзельський Д.О.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Михайличенко С.О. Бездротова система віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві.

Метою атестаційної роботи є дослідження існуючих технологій та проектування оптимальної системи для віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві. Результатом роботи стала бездротова сенсорна мережа на основі технологій ZigBee і Wi-Fi, з використанням плоского протоколу маршрутизації, а також способу збору значень з датчиків multi-hop, яка дозволяє вести віддалений моніторинг фермерського господарства. В якості методики розташування сенсорних вузлів застосований алгоритм TPSMA, наведено результати моделювання для підтвердження ефективності використаного алгоритму.

Ключові слова: датчик, бездротові сенсорні мережі, моніторинг, протокол, алгоритм.

ABSTRACT

Mihajlichenko S.O. Wireless system of remote monitoring of agricultural parameters in crop production.

The purpose of the thesis work is to study existing technologies and design the optimal system for remote monitoring agricultural crop parameters. The result of the work is a wireless sensor network, based on ZigBee and Wi-Fi, using a flat routing protocol and the multi-hop method of collecting the values from sensors, which allows to remotely monitor the farm. As a technique of location sensor nodes is applied the algorithm TPSMA, simulation results are given to confirm the effectiveness of the used algorithm.

Key words: sensor, wireless sensor networks, monitoring, protocol, algorithm.

АННОТАЦИЯ

Михайличенко С.А. Беспроводная система удаленного мониторинга сельскохозяйственных параметров в растениеводстве.

Целью аттестационной работы является исследование существующих технологий и проектирование оптимальной системы для удаленного мониторинга сельскохозяйственных параметров в растениеводстве. Результатом работы стала беспроводная сенсорная сеть на основе технологий ZigBee и Wi-Fi, с использованием плоского протокола маршрутизации, а также способа сбора значений с датчиков multi-hop, позволяющая вести удаленный мониторинг фермерского хозяйства. В качестве методики расположения сенсорных узлов применен алгоритм TPSMA, приведены результаты моделирования для подтверждения эффективности использованного алгоритма.

Ключевые слова: датчик, беспроводные сенсорные сети, мониторинг, протокол, алгоритм.

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	6
ВСТУП.....	7
1 БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ	10
1.1 Топологія і стек протоколів	11
1.2 Збір розподілених даних в бездротових сенсорних мережах.....	15
1.3 Актуальні проблеми побудови та використання БСМ.....	16
1.4 Порівняння БСМ і мереж Ad-hoc	18
1.5 Стандарт IEEE 802.15.1 і Bluetooth.....	19
1.6 Стандарт IEEE 802.15.4 і ZigBee	20
1.7 Стандарт IEEE 802.11 або Wi-Fi.....	32
1.8 Постановка задачі	35
2 ПРОТОКОЛИ МАРШРУТИЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	37
2.1 Фактори вибору протоколу маршрутизації БСМ.....	37
2.2 Класифікація протоколів маршрутизації БСМ.....	38
2.3 Плоскі протоколи маршрутизації	40
2.4 Ієрархічні протоколи маршрутизації.....	41
2.5 Порівняння плоских і ієрархічних протоколів маршрутизації	41
3 ДАТЧИКИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	43
3.1 Температурні датчики.....	43
3.2 Датчики вологості.....	44
4 АЛГОРИТМ РОЗТАШУВАННЯ ДАТЧИКІВ БСМ	47
4.1. Поведінковий алгоритм TPSMA.....	47
4.2 Розміщення вузлів БСМ на основі алгоритму TPSMA	48
4.3 Модель зондування і цільова функція	49
4.3.1 Двійкова модель зондування.....	50
4.3.2 Імовірнісна модель зондування.....	50
4.4 Модель розробляючої БСМ	52
4.5 Результати моделювання	53
4.6 Розташування сенсорних вузлів	56
5 ОПИС АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ	59
5.1 Сенсорні вузли і базова станція.....	59
5.2 Базова станція	60
5.3 Джерело живлення.....	62
5.4 Аналогова схемотехніка та схема підключення ЦПП.....	63
5.5 Радіомодуль	65
5.6 Використовувані типи датчиків.....	66
5.7 Інтерфейс USB та інші компоненти	67
5.8 Накопичуючий реєстратор Decagon EM50.....	68

	5
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	70
6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників проєктованого об'єкту, що мають вплив на персонал.....	70
6.2 Заходи щодо техніки безпеки	71
6.3 Заходи, що забезпечують виробничу санітарію і гігієну праці.....	74
6.4 Рекомендації по пожежній безпеці	77
6.5 Охорона навколишнього природного середовища.....	80
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	83
ДОДАТОК А Електронні плакати.....	87

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – Аналогово-Цифровий Перетворювач;

БСМ – Бездротова Сенсорна Мережа;

КК – Керуючий Комп'ютер;

ЦПП – Центральний Процесорний Пристрій;

AODV – Ad-hoc On Demand Distance Vector;

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;

GPIO – (General Purpose Input Output) система вводу/вивода загального призначення;

MAC – (Media Access Control) керування доступом середовища;

MMC – MultiMedia Card;

TPSMA – Territorial Predator Scent Marking Algorithm;

WLAN – Wireless Local Area Network;

WPAN – Wireless Personal Area Network.

ВСТУП

У сфері екологічного моніторингу навколишнього середовища контроль температури і вологості ґрунту може істотним чином вплинути на підвищення врожайності в такій галузі сільського господарства як рослинництво. Даний підхід, що застосовується в реальному масштабі часу, також забезпечує наукову основу високоточного контролю сільгоспугідь для прогнозування, запобігання або усунення наслідків різних природних катаклізмів, таких як посухи, повені і безліч інших.

З настанням ери інтернету речей бездротові сенсорні мережі стають незамінними при створенні високотехнологічних мереж. Сільськогосподарські країни потребують інноваційної діяльності в галузі рослинництва. Технології бездротових сенсорних мереж стали основоположним елементом сучасного моніторингу та збору даних у сфері землеробства. Приклад розгортання подібної сенсорної мережі представлений на рис. В.1.

У такій сфері сільського господарства, як рослинництво, бездротові сенсорні мережі використовуються для розподіленого збору даних, при моніторингу в суворих кліматичних умовах, точному зрошенні полів і постачання добрив для достатнього виробництва сільськогосподарських культур. Також вони одночасно сприяють зменшенню витрат у цих процесах і надають допомогу фермерам в зборі даних у реальному масштабі часу.

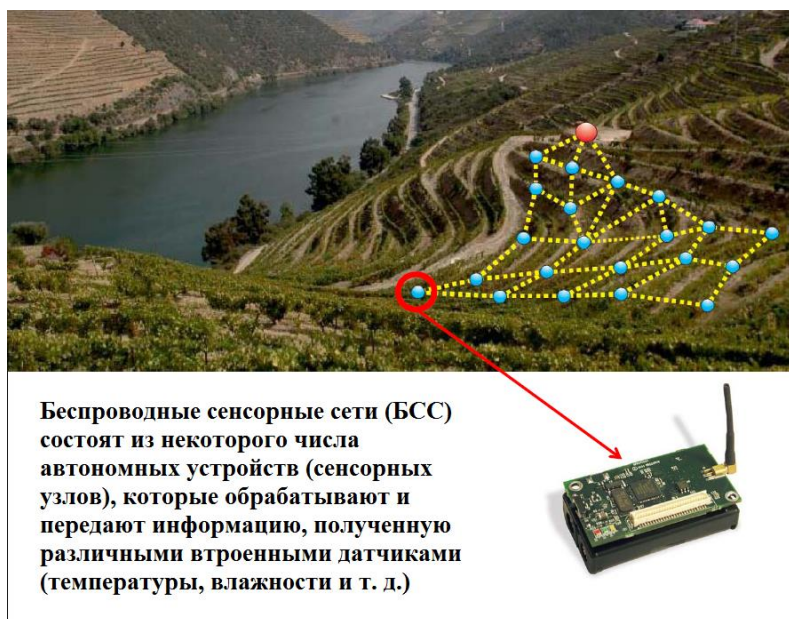


Рисунок В.1 – Приклад бездротової сенсорної мережі

Елементи, передбачуваної системи на базі бездротової сенсорної мережі будуть мати можливість спілкуватися між собою при низькому рівні енергоспоживання, а також постачати зібрані дані на мобільний або стаціонарний комп'ютер фермера.

Основними компонентами вузла сенсорної мережі можуть бути декілька датчиків, які підключені до мікроконтролера і радіомодуля. Сенсорні вузли являють собою автономні пристрої, які обробляють і передають інформацію, отриману різними вбудованими датчиками. Велика кількість цих крихітних вузлів датчиків розгортається на місцевості випадковим або визначеним чином, для виконання колективних дій з вимірювання параметрів навколишнього середовища на великій площі або навіть у важкодоступних областях місцевості.

В даний час ступінь впровадження технології в сільськогосподарську середовище та промисловість уже досить висока. Ручний збір даних і параметрів навколишнього середовища використовується лише в поодиноких випадках. Також він схильний до впливу людського фактора, що впливає на точність результатів вимірювання, при цьому задіяння бездротових датчиків може скоротити час і необхідні зусилля для моніторингу навколишнього середовища.

Використання систем моніторингу забезпечує скорочення часу реагування на несприятливі фактори та умови, що забезпечує можливість контроль якості продукції та сприяє зниженню витрат праці [1].

Таким чином, основною причиною використання технологій безпроводних сенсорних мереж є необхідність зміни розташування датчиків або розташування їх випадковим чином, у разі чого традиційне побудова мережі може вимагати істотного збільшення фінансових витрат, втрат енергії і часу на вирішення подібних завдань. Впровадження подібних технологій дозволить дистанційно вимірювати фактори і параметри навколишнього середовища, такі як температура і вологість повітря, ґрунту, рівень води і безліч інших.

Метою магістерської роботи є дослідження існуючих технологій та проектування оптимальної системи для віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві, що є складним комплексним завданням і вимагає тривалих періодів спостереження з використанням великої кількості датчиків.

Для досягнення поставленої мети **необхідно:**

- провести дослідження існуючих технологій побудови мереж з метою вибору оптимального способу побудови системи віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві;
- визначити найбільш значущі недоліки, існуючі при побудові і використанні сучасних бездротових сенсорних мереж;
- виконати огляд літератури по вибору топології та протоколу маршрутизації розроблюваної мережі, необхідних датчиків, а також найбільш енергоефективного способу збору, передачі значень між вузлами в межах мережі, а також до віддаленої базової станції;
- провести дослідження з метою визначення та подальшого застосування, ефективного алгоритму покриття контрольованої території датчиками для скорочення вартості розгортання мережі, забезпечення достатнього ступеня покриття відслідковується території при збереженні максимально здійсненою тривалості функціонування і підтримки масштабованості мережі.

Результатом роботи стала бездротова сенсорна мережа на основі технологій ZigBee і Wi-Fi, з використанням плоского протоколу маршрутизації, а також способу збору значень з датчиків multi-hop, яка дозволяє вести віддалений моніторинг фермерського господарства. В якості методики розташування сенсорних вузлів застосований алгоритм TPSMA, наведено результати моделювання для підтвердження ефективності використаного алгоритму.

Публікації. Основні результати магістерської роботи доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції «Майбутній науковець – 2017», та на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Електронні апарати та системи. Проблеми створення. Перспективи розвитку».

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, переліку джерел, додатків. Загальний обсяг складається з 93 сторінок, 6 таблиць, 35 рисунків.

1 БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) являє собою мережу просторово розподілених автономних датчиків, що використовуються для моніторингу будь-яких фізичних параметрів, зокрема параметрів навколишнього середовища, і спільної передачі даних на головний сервер. Контрольовані параметри залежать від функції сенсорних вузлів в мережі, наприклад фізичні датчики (температури, вологи, радіохвильовий частоти датчиків), хімічні датчики розчиненого кисню, електропровідності, датчик рН), біологічні датчики (наприклад, датчик мікроорганізмів), датчики, орієнтовані на національну безпеку, а також багато інших знову й знову вигадуваних датчики. В даний час датчик бездротової сенсорної мережі являє собою не тільки одиничний елемент, він оснащений безліччю сенсорних елементів і називається сенсорним вузлом [2].

Бездротові сенсорні мережі зазвичай складаються з двох основних частин: системи для генерації і збору значень з розподілених датчиків; системи обробки і локального зберігання значень з датчиків, перед відправкою цих даних користувачеві.

– система генерації та збору значень (сенсорна мережа) складається з сотень самоорганізуються сенсорних вузлів, які взаємодіють та обмінюються інформацією між собою за допомогою радіосигналів, і створюють мережу типу ad-hoc. Ці датчики являють собою невеликі блоки, здатні зберігати обмежену кількість даних і мають обмежену швидкість обробки даних і ширину каналу радіозв'язку. Сенсорні вузли можуть бути розгорнуті певним, або випадковим, і можуть покривати велику площу з високою щільністю в залежності від необхідних вимог до розміщення.

– система обробки і локального зберігання може бути звичайним сервером, що зберігають значення датчиків і перетворює його у формат, зручний для розпізнання і подальшого відтворення користувачеві.

Як правило, бездротові сенсорні мережі створюються для вирішення конкретної задачі (моніторингу навколишнього середовища, стеження за метою і т. д.) і призначені для оптимізації і підвищення продуктивності базового сценарію розгортання. Значення датчиків можуть бути попередньо оброблені системою генерації та збору значень оптимальну продуктивність мережі і далі передані сенсорною системою на сервер обробки через Інтернет або локальну мережу. Крім того, сервер обробки надає користувачам сервіси управління і контролю даних, а також зручний користувальницький інтерфейс.

У БСМ існує багато різновидів сенсорних пристроїв і вузлів, що використовуються для забезпечення стабільної роботи мережі з високою продуктивністю. На основі функціональних та комунікативних ролей вони поділяються на чотири основних типи.

– Sub-node (кінцеве пристрій): вузол без маршрутизації. Цей вузол може тільки збирати дані з контрольованої навколишнього середовища і передавати дані на інші вузли.

– Head-node (маршрутизуючий вузол): вузол, здатний приймати дані від іншого вузла і направляти їх до подальшого вузла, вузла-шлюзу. Залежно від топології мережі цей вузол також може виконувати функції звичайного вузла збору даних з контрольованої навколишнього середовища або точкою маршрутизації.

– Sink-node (gateway, вузол-шлюз): вузол, який збирає або запитує дані з інших вузлів і передає їх в іншу мережу. Може виконувати функції звичайного вузла збору даних з контрольованої навколишнього середовища, за винятком пересилання даних іншим вузлом мережі.

– Controller (контролер або координатор): центральний орган управління для координації адресації вузлів і з'єднань в мережі, маршрутизації, передачі даних за розкладом, синхронізація між вузлами і т. д. В залежності від топології мережі, може цей елемент може використовуватися як, так і зовсім відсутні в БСМ.

Оскільки сенсорний вузол складається з багатьох елементів, він може виконувати в бездротової сенсорної мережі більше однієї функції одночасно, і також, залежно від застосування, БСМ може містити всі ці типи вузлів, або тільки деякі з них.

1.1 Топологія і стек протоколів

БСМ це технологія, спрямована на виконання певних, часто специфічних завдань, тобто орієнтована на певне застосування [3]. Вибір і підтримання відповідної топології мережі відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності подібної мережі. Це може бути топологія типу точка-точка, зірка, сітка, дерево або гібридна топологія, в залежності від мети застосування і підтримуваної комунікаційної технології, що використовується в мережі.

Відповідна топологія дозволить підвищити продуктивність мережі, покращити енергоефективність, оптимізувати ширину смуги пропускання і вартість розгортання мережі. Як правило, топології БСМ поділяються на плоскі топології і кластерні топології.

На рис. 1.1 схематично зображена класифікація різних топологій бездротових сенсорних мереж.

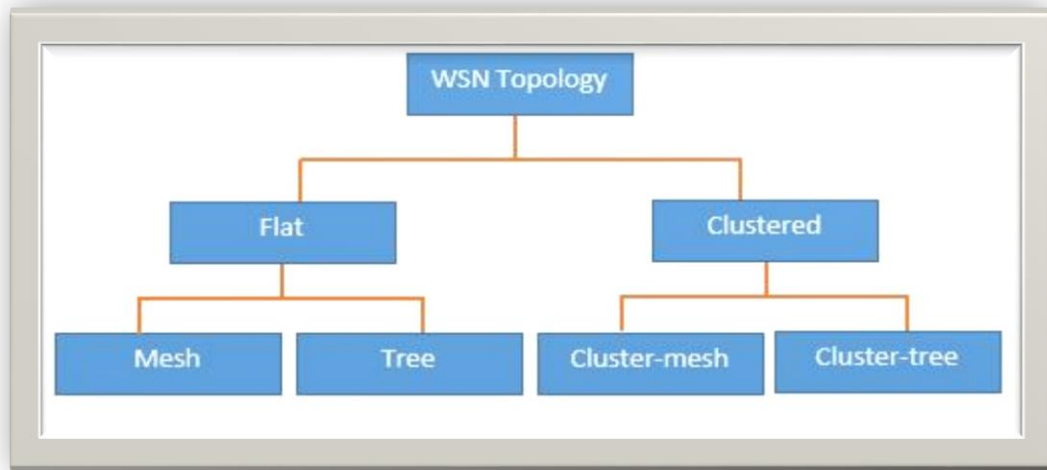


Рисунок 1.1 – Топології бездротових сенсорних мереж (БСМ)

Плоскі топології: кожен вузол здатний самостійно відправляти свої дані на сервер, підтримувати зв'язок з будь-якими вузлами в межах встановленого діапазону, всі вузли рівні та відіграють однакову роль в мережі. Прикладами плоских топологій можуть бути дерево (tree), сітка (mesh), представлені на рисунку 1.2, або їх поєднання.

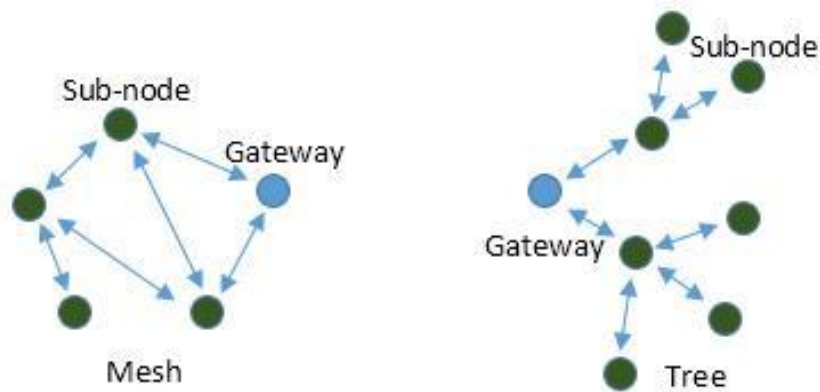


Рисунок 1.2 – Приклади плоских топологій

Кластерні топології: тільки підмножини вузлів (head-nodes) можуть спрямовувати дані між усіма вузлами, інші вузли лише надають дані маршрутизуючим вузлів, до яких вони підключені до маршрутизації.

Мережа, як правило, поділена на основі географічного положення вузлів. Вузли, що знаходяться на близьких відстанях можуть бути згруповано у кластери. Топологіями між такими кластерами може бути сітка (cluster-mesh), дерево (cluster-tree), представлені на рис. 1.3, або їх поєднання.

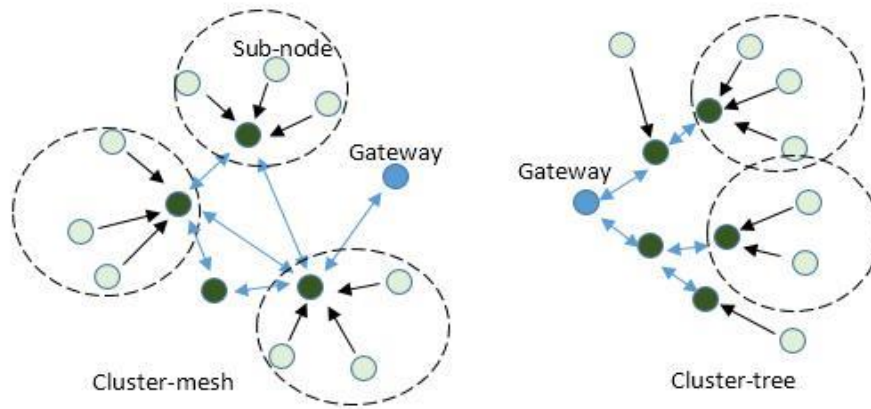


Рисунок 1.3 – Приклади кластерних топологій

Застосування кластерної топології призводить до того, що мережа стає ієрархічної, а також підвищує ефективність використання смуги пропускання, тому що тільки деякі спеціалізовані сайти підтримують зв'язок по каналах зв'язку. У стаціонарній БСМ, топологія cluster-tree має найкращу ефективність використання енергії, в той час як топологія cluster-mesh забезпечує максимальну надійність, що дає можливість використання мнонопутевої маршрутизації і безлічі вузлів-шлюзів.

Іншим аспектом, що має великий вплив на продуктивність БСМ є стек протоколів [4]. На рисунку 1.4 представлений стек протоколів бездротових сенсорних мереж в порівнянні з моделлю OSI. Він складається з наступних шарів: прикладного, проміжного шару маршрутизації, каналного і фізичного.

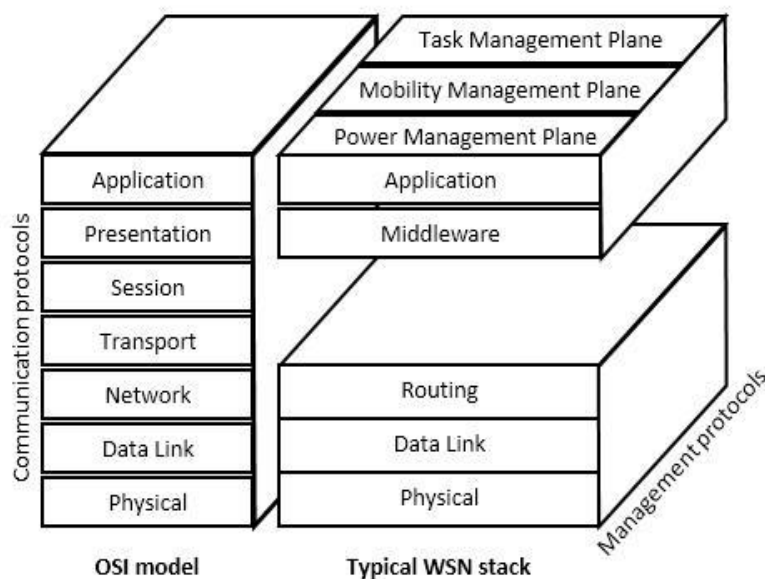


Рисунок 1.4 – Стек протоколів БСМ у порівнянні з моделлю OSI

В стеку протоколів БСМ, прикладний протокол відповідає за споживання і генерацію даних, в той час як протокол маршрутизації відповідає за те, що передається і в якому напрямку. Транспортний рівень об'єднаний з прикладним рівнем і відповідає за надійну доставку даних, необхідних на рівні додатків.

Канальний рівень відповідає за мультиплексування потоку даних, створення і виявлення кадру даних, доступ до середовища, а також контроль помилок з метою забезпечення надійної передачі методами точка-точка і один-багатьом. В канальному шарі стека протоколів БСМ, управління доступом до середовища (MAC) відіграє важливу роль для поширення інформації в загальній середовищі та ефективної комунікації. Добре спроектований протокол MAC допомагає підтримувати продуктивність мережі на високому рівні при розумному споживанні енергії, високу пропускну здатність мережі та малу затримку доставки інформації в мережі. Фізичний рівень відповідає за перетворення бітових потоків з канального рівня у відповідні сигнали, які передаються через середовище зв'язку [5].

У поєднанні з протоколами зв'язку, в стеку протоколів БСМ застосовуються також протоколи управління. Протокол керування живленням управляє споживанням енергії сенсорними вузлами, зводячи його до мінімуму. З метою збереження енергії також може відключати деякі функції вузла.

Проектування ефективних і надійних протоколів зв'язку для БСМ є досить складним завданням через невизначеність і постійно змінюючихся параметрів навколишнього середовища. Хоча ВРС і є ad-hoc - подібними мережами, однак достатньою мірою відрізняються від традиційних ad-hoc мереж [6].

Стеки протоколів БСМ повинні бути розроблені таким чином, щоб звести до мінімуму споживання енергії і зберігати тривалий термін служби мережі. Оскільки сенсорні вузли не мають глобальних ідентифікаторів, протоколи повинні працювати з їх іменуванням на основі атрибутів і кластеризацією. Також стек протоколів БСМ повинен мати справу з певним типом інформації, маршрутизації даних, орієнтованих та агрегації даних, що надходять з сенсорної області. І остання проблема полягає в тому, що в позиції сенсорних вузлів можуть бути заздалегідь не визначені до розгортання. Для вирішення цієї проблеми потребує задання протоколу маршрутизації з можливістю розгортання самоорганізуються маршрутів [7].

1.2 Збір розподілених даних в бездротових сенсорних мережах

Незважаючи на те, датчики в БСМ є автономними і можуть працювати незалежно від мережі, вони мають обмеження щодо споживання енергії, швидкості обробки даних і обмежений обсяг пам'яті. Як правило, значення з датчиків збираються і обробляються за межами мережі. Всі додатки, які перебувають за межами мережі датчиків, будуть підключатися до неї за допомогою шлюзу.

В бездротових сенсорних мережах існує два способи збору значень датчиків: single-hop і multi-hop, представлені на рис. 1.5.

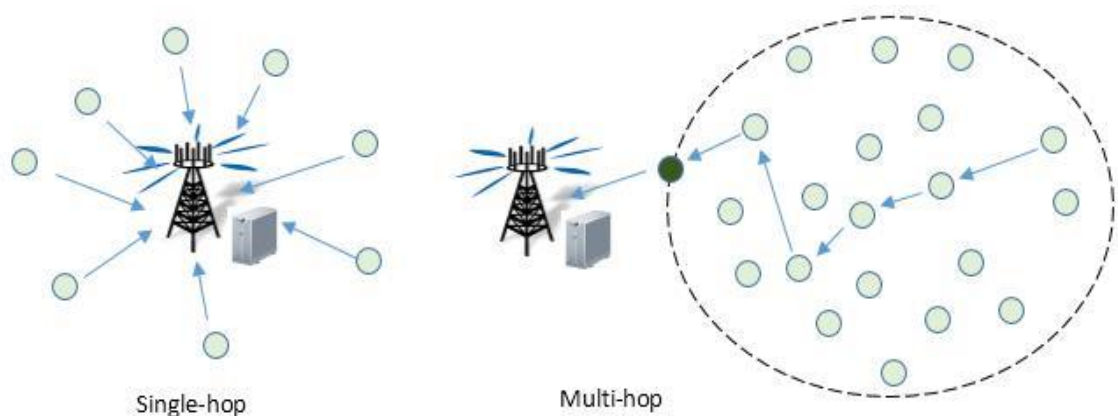


Рисунок 1.5 – Способи збору даних в БСМ

При використанні підходу single-hop, сенсорний вузол безпосередньо передає дані базової станції (або шлюзу, до якого він підключений). Тим не менш, це потребуватиме значних додаткових витрат енергії, коли вузли розташовані на значній відстані від базової станції або є мобільними і віддаляються від неї.

Підхід multi-hop може вирішити цей недолік шляхом ретрансляції пакетів даних між джерелом і пунктом призначення з використанням проміжних вузлів (вузлів маршрутизації). Під час операції передачі даних, проміжні вузли можуть також збирати дані і передавати їх спільно для підвищення ефективності та зменшення енерговитрат. Також, при використанні підходу multi-hop, передача даних може ґрунтуватися на трьох різних стратегіях маршрутизації: проактивного, реактивної і гібридною.

1.3 Актуальні проблеми побудови та використання БСМ

Незважаючи на те, що бездротові сенсорні мережі вже тривалий час широко використовуються в багатьох областях, в даний момент все ще існують деякі значні недоліки, які не дозволяють їм стати першим технологічним вибором у багатьох випадках.

Можна виділити два основних недоліки, які в основному і надають такий вплив: значне енергоспоживання, а також необхідність наявності надлишковості або використання великої кількості резервних вузлів для підтримання стабільної роботи таких високопродуктивних мереж.

Як правило БСМ розгортаються для контролю або моніторингу протягом тривалого періоду часу (декілька місяців або років), у разі чого часта заміна джерел живлення (акумуляторів) в сотнях використовуються сенсорних пристроях не представляється можливою і доцільною.

Таким чином, енергія, споживана кожним сенсорним вузлом мережі є одним з обмежень, які слід враховувати при проектуванні БСМ. При зменшенні витрат енергії кожного вузла мережі збільшується термін служби всієї сенсорної системи. Відповідно, споживана потужність БСМ може бути оптимізована зменшенням кількості енергії, споживаної окремими вузлами з продовженням їх життєвого циклу, шляхом вибору оптимальної топології мережі і протоколу маршрутизації.

Для забезпечення такої максимальної ефективності роботи, сенсорний вузол повинен знаходитися в сплячому режимі 90% робочого часу і «прокидатися» лише згідно з розкладом, або у зв'язку з примусовою активацією.

Велика частина енергії вузла витрачається протягом активного часу, тому дотримання належних інтервалів сплячого режиму є основоположним умовою його роботи протягом тривалого періоду часу. У БСМ на основі підходу single-hop (топологія зірка), де вузол безпосередньо зв'язується з базовою станцією, на відміну від мереж на основі підходу multi-hop (топології сітка, дерево, кластерні топології), інтервал сплячого режиму залежить тільки від вимог до застосування подібної мережі.

На рис. 1.6 представлений робочий цикл сенсорного вузла.



Рисунок 1.6 – Робочий цикл сенсорного вузла БСМ

Існують деякі методи, розроблені для підвищення енергоефективності вузлів. Наприклад, техніки агрегування даних скорочують передачу даних проміжними вузлами, однак це призводить до можливого підвищення кількості помилок в переданих даних і виникнення затримок при їх передачі.

Іншою актуальною проблемою при побудові і використанні БСМ є необхідність у досить великій кількості вузлів, необхідних для підтримки гарної продуктивності мережі. Як правило, при розгортанні БСМ вузли розташовуються таким чином, щоб покрити всю область моніторингу. У той же час, вони повинні мати можливість з'єднання з іншими вузлами для обміну даними.

Часто кількість необхідних вузлів, для збереження безперебійного підключення до мережі в кілька разів більше кількості, необхідної для підтримки оптимального покриття.

Мова йде про тисячі вузлів для підтримки з'єднання в співвідношенні з сотнями вузлів, необхідних для покриття.

1.4 Порівняння БСМ і мереж Ad-hoc

Бездротові мережі ad-hoc є часовими мережами, які формуються між рівноправними вузлами для задоволення необхідності термінової передачі інформації. Протоколи, які були розроблені для застосування в мережах ad-hoc, не можуть бути використані для БСМ у зв'язку з різними діапазонами їх роботи [8].

Бездротові локальні мережі (WLAN) є прикладом подібних мереж. Мережі WLAN засновані на стандарті IEEE 802.11 b, який був прийнятий інститутом IEEE ще в 1991 році. Вузли мереж ad-hoc мають необмежені запаси енергії і не призначені для використання в несприятливих умовах навколишнього середовища [9].

Розмір сенсорних мереж може варіюватися від одиниць до декількох тисяч сайтів, тоді як коли мережі ad-hoc зазвичай складаються не більш ніж зі ста вузлів. Приміром, пікомережі Bluetooth можуть містити максимум до восьми вузлів.

Вузли мереж ad-hoc, на відміну від вузлів мереж БСМ, мають унікальні ідентифікатори, подібні адресами протоколу IP мережі Інтернет. Також сенсорні мережі, як правило, мають високу щільність вузлів з використанням великої кількості вузлів на відносно невеликій ділянці, в той час як вузли мережі ad-hoc в більшості випадків знаходяться в безпосередній близькості один від одного. Це обумовлено тим, що розмір вузлів мереж ad-hoc досить великий у порівнянні з вузлами БСМ. В даний час розмір сенсорних вузлів не може перевищувати розміру монети, в той час як в якості вузлів мереж ad-hoc в основному виступають ноутбуки, нетбуки, або кишенькові комп'ютери.

У зв'язку з обмеженням смуги пропускання швидкість передачі даних в БСМ може досягати лише кількох кілобіт в секунду, в той час як мережі ad-hoc можуть працювати зі швидкістю передачі даних в сотні мегабіт в секунду. Також існує велика різниця в ємності пам'яті вузлів БСМ та вузлів мереж ad-hoc. Об'єм пам'яті вузлів БСМ обмежений кількома кілобайтами, в той час як вузли мереж ad-hoc можуть оснащуватися десятками і навіть сотнями гігабайт пам'яті.

1.5 Стандарт IEEE 802.15.1 і Bluetooth

Bluetooth був розроблений як бездротова технологія малого радіусу дії, що володіє низькою вартістю і низьким енергоспоживанням, яка буде використовуватися для забезпечення зв'язку між портативними пристроями і настільними комп'ютерами в якості заміни кабелю.

Базовим елементом мережі Bluetooth є пікомережі. Пікомережа може складатися з приблизно від двох до восьми вузлів. Один вузол виступає в ролі ведучого вузла, з яким можуть бути з'єднані до семи активних підлеглих вузлів. Обмеження в сім ведених вузлів пов'язано з трехбитним адресою, використовуваним для активних підлеглих пристроїв в пікомережі. Годинник провідних вузлів використовуються для синхронізації зв'язку всередині пікомережі. Також всі комунікації в межах пікомережі прямує через майстер-вузол [10].

Якщо вузол є частиною більш ніж однієї пікомережі, то пікомережі стають пов'язані між собою і таким чином відбувається розширення мережі. Вузол, який бере участь у більш ніж одній пікомережі називається шлюзом і використовує принцип дуплексного поділу часу, щоб бути активним лише в одній з пікомереж в кожен окремо взятий момент часу. На рисунку 1.7 показаний приклад подібної пікомережі Bluetooth.

Специфікація IEEE 802.15.1 визначає стандарт для фізичного і MAC шарів мережі WPAN на основі специфікації Bluetooth. Шар MAC, згідно специфікації 802.15.1, може бути утворений різними протоколами, наприклад протоколом логічного управління з'єднанням і адаптацією або протоколом керування посиланнями. Шар радіо з стека протоколів Bluetooth відповідає фізичному рівню специфікації 802.15.1. Передавачі Bluetooth працюють в неліцензуюемому 2,4 ГГц ISM радіодіапазоні. Bluetooth використовує псевдовипадкову перебудови робочої частоти (FHSS) з частотою 1600 hops/s.

На рис. 1.8 наведені найбільш поширені в наш час стандарти бездротового зв'язку, а також схематично відзначено їх співвідношення швидкості передачі даних і радіусу дії.

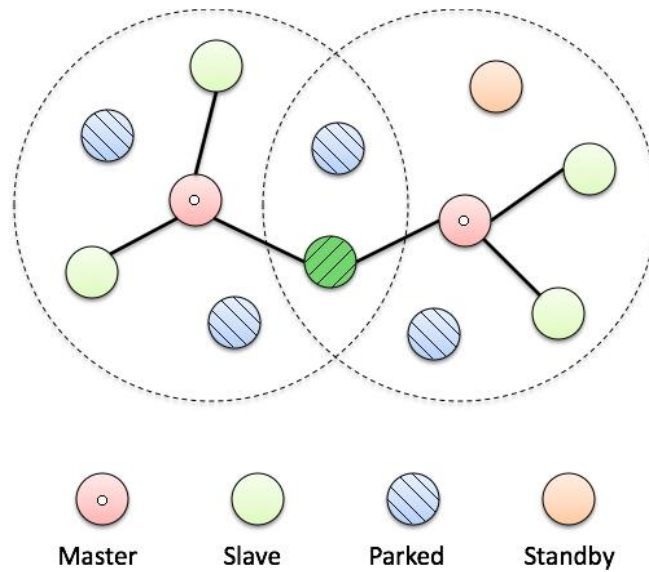


Рисунок 1.7 – Схематичне зображення пікомережі Bluetooth

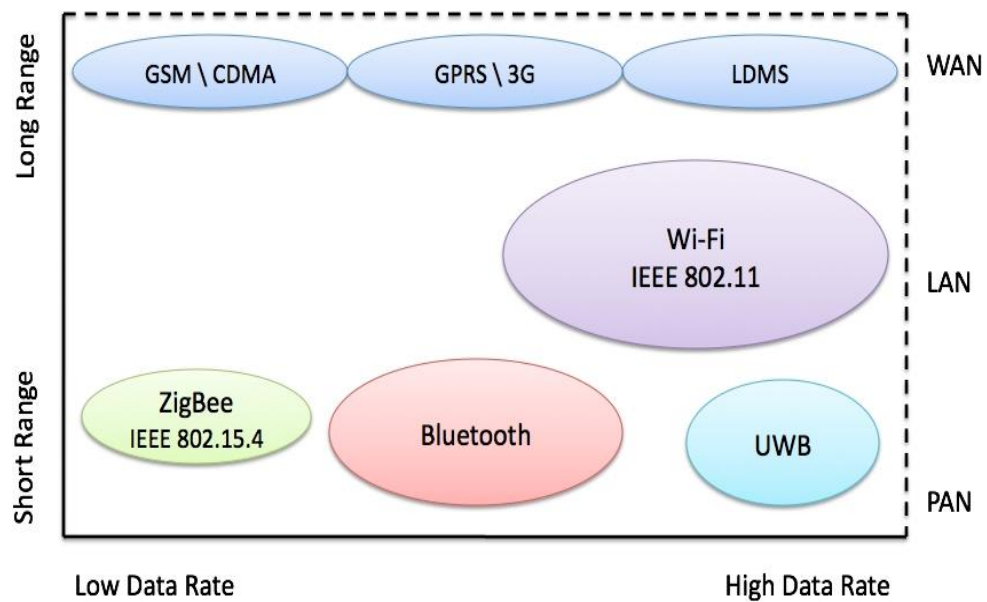


Рисунок 1.8 – Стандарти бездротового зв'язку

1.6 Стандарт IEEE 802.15.4 і ZigBee

Альянс ZigBee був утворений у 2002 році шляхом об'єднання ряду компаній. Метою даного альянсу була розробка технології моніторингу і контролю, яка б була достатньо надійною, мала низькою вартістю і енергоспоживанням, і підтримувала створення бездротової мережі з використанням відкритого глобального стандарту [11].

Також, незабаром після утворення альянсу, четверта цільова група робочої групи IEEE 802.15 почала працювати над стандартом для створення мереж WPAN з низькою швидкістю передачі даних. В результаті співпраці IEEE і ZigBee Alliance було вирішено, що ZigBee стане комерційним назвою технології.

ZigBee є стандартом для набору високорівневих протоколів зв'язку, які використовують невеликі, малопотужні цифрові приймачі, заснований на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для бездротових персональних мереж, таких як, наприклад, бездротові навушники, сполучені з мобільними телефонами за допомогою радіохвиль короткохвильового діапазону. Технологія визначається специфікацією ZigBee, розробленої з наміром бути простіше і дешевше, ніж інші персональні мережі, такі як Bluetooth. ZigBee призначений для мобільних пристроїв, де необхідна тривала робота від батарей і безпека передачі даних по мережі [12].

Альянс ZigBee є органом, що забезпечує і публікує стандарти ZigBee, він також публікує профілі додатків, що дозволяє виробникам початкової комплектації створювати сумісні продукти. Поточний список профілів додатків, опублікованих, або вже знаходяться в роботі:

- домашня автоматизація;
- раціональне використання енергії (ZigBee Smart Energy);
- автоматизація комерційного будівництва;
- телекомунікаційні приложения;
- персональний, домашній і лікарняний догляд;

Співпраця між IEEE 802.15.4 і ZigBee подібно до того, що було між IEEE 802.11 і альянсом Wi-Fi. Специфікація ZigBee 1.0 була ратифікована 14 грудня 2004 і доступна для членів альянсу ZigBee. Порівняно недавно, 30 жовтня 2007 р., була розміщена специфікація ZigBee 2007. Про першому профіль програми – Домашня автоматизація ZigBee, було оголошено 2 листопада 2007. ZigBee працює у промислових, наукових і медичних (ISM-діапазон) радіодіапазонах: 868 МГц у Європі, 915 МГц у США і в Австралії, і 2.4 ГГц у більшості країн у світі (під більшістю юрисдикцій країн світу) [13]. Як правило, у продажу є чіпи ZigBee, є об'єднаними радіо - і мікроконтролерами з розміром Flash-пам'яті від 60К до 128К таких виробників, як Jennic JN5148, Freescale MC13213, Ember EM250, Texas Instruments CC2430, Samsung Electro-Mechanics ZBS240 і Atmel ATmega128RFA1. Радіомодуль також можна використовувати окремо з будь-яким процесором і мікроконтролером. Як правило,

виробники радіомодулів пропонують також набір програмного забезпечення ZigBee, хоча доступні і інші незалежні стеки.

Специфікація ZigBee вийшла у світ 27 червня 2005. Ця специфікація визначає структуру стека ZigBee V1.0, містить опис мережевого рівня, механізми самоформування і самолікування мережі, а також інтерфейси, які описуються додатком користувача.

Так ZigBee може активуватися (тобто переходити від сну до активного) за 15 мілісекунд або менше, затримка реакції пристрою може бути дуже низькою, особливо в порівнянні з Bluetooth, для якого затримка, що утворюється при переході від сну до активного, зазвичай досягає трьох секунд. Так як ZigBee більшу частину часу знаходиться в сплячому режимі, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей.

Перший випуск стека зараз відомий під назвою ZigBee 2004. Другий випуск стека називається ZigBee 2006, і, в основному, замінює структуру MSG/KVP, що використовується в ZigBee 2004 разом з «бібліотекою кластерів». Стек 2004 року зараз більш або менш вийшов з ужитку. Реалізація ZigBee 2007 в даний час є поточною, вона містить два профілю стека, профіль стека № 1 (який називають просто ZigBee) для домашнього і дрібного комерційного використання, і профіль стека № 2 (який називають ZigBee Pro). ZigBee Pro пропонує більше функцій, таких як ширококомовлення, маршрутизацію виду багато-до-одного і високу безпеку з використанням симетричного ключа (SKKE), в той час як ZigBee (профіль стека № 1) займає менше місця в оперативній та Флеш-пам'яті. Обидва профілю дозволяють розгорнути повномасштабну мережі з комірчастою топологією і працюють зі всіма профілями додатків ZigBee.

ZigBee 2007 повністю сумісний з пристроями ZigBee 2006. Пристрій ZigBee 2007 може підключатися і працювати з мережею ZigBee 2006, і навпаки. У зв'язку з наявністю відмінностей в опціях маршрутизації, пристрої ZigBee Pro можуть бути тільки кінцевими пристроями (ZEDs) мереж ZigBee 2006, і навпаки, пристрої ZigBee 2006 і ZigBee 2007 можуть бути тільки кінцевими пристроями в мережі ZigBee Pro. При цьому програми, які запускаються на пристроях, що працюють однаково, незалежно від профілю реалізації стека [14].

Протоколи ZigBee розроблені для використання у вбудованих додатках, що вимагають низьку швидкість передачі даних і низьке енергоспоживання. Мета ZigBee – це створення недорогої мережі, що самоорганізується, з комірчастою топологією, призначеної для вирішення широкого кола завдань. Мережа може використовуватися в промисловому

контролі, вбудованих датчиках, збирання медичних даних, сповіщення про вторгнення або задимлення, будівельної і домашньої автоматизації і т. д. Створена в результаті мережа споживає дуже мало енергії – індивідуальні пристрої згідно з даними сертифікації ZigBee дозволяють енергобатареям працювати два роки.

Типові області застосування:

- домашні розваги і контроль – раціональне освітлення, просунутий температурний контроль, охорона і безпека, фільми та музика.
- домашнє оповіщення – датчики води та енергії, моніторинг енергії, датчики задимлення і пожежі, раціональні датчики доступу і переговорів.
- мобільні служби – мобільні платежі, моніторинг та контроль, охорона, контроль доступу, охорона здоров'я.
- комерційне будівництво – моніторинг енергії, HVAC, світла, контроль доступу.
- промислове обладнання – контроль процесів, промислових пристроїв, управління енергією та майном.

Основні переваги ZigBee:

- низьке енергоспоживання;
- низька вартість;
- можливість організації мережі різної топології (число вузлів до 264 при IEEE адресації і 216 при локальній адресації), збільшення дальності зв'язку без додаткового посилення сигналу;
- висока надійність мережевих рішень і самовостанавливаність системи (використання процедури маршрутизації);
- багаторівнева система безпеки (використання таблиць контролю доступу, AES алгоритму кодування і власних алгоритмів на рівні програми);
- простота установки і обслуговування.

Потенційні області застосування стандарту IEEE 802.15.4 включають бездротові сенсорні мережі, пристрої дистанційного управління і моніторингу, інтерактивні іграшки та багато іншого.

Стандарт визначає два фізичних рівня широкосмугової модуляції з прямим розширенням спектра (DSSS) і використання трьох смуг частот з безкоштовною ліцензією. Одним з них є 868/915МГц і використовує смугу 868–870МГц з одним каналом і 902–928МГц смуги з десятьма каналами. Це дозволяє досягти швидкості передачі даних на рівні 20 кбіт/с.

у смузі 868–870МГц і 40 кбіт/с. у смузі 902–928МГц. Інший рівень розташовується на частоті 2.4 ГГц і використовує діапазон частот 2,4–2.4835 ГГц з шістнадцятьма каналами, завдяки чому може досягатися швидкість передачі даних близько 250 кбіт/сек.

Стандарт 802.15.4 підтримує два режими адресації, 16 бітну коротку і 64 бітну IEEE адресацію. Фізичний рівень також має функції для індикації якості лінії зв'язку, моніторингу рівня енергії передавача і оцінки чистоти каналу.

Підтримується максимальний розмір пакету 128 байт. Шар MAC використовує повне квітування для забезпечення надійності і множинний доступ з контролем несучої і униканням колізій (CSMA-CA) для доступу до каналу.

ZigBee визначає три програмних рівня у верхній частині фізичного і MAC-802.15.4 рівнів, а саме: мережі, безпеки та застосування. Мережевий рівень підтримує топології зірка, сітка, дерево, а також кластерні топології.

На рис. 1.9 схематично зображені приклади цих топологій.

Стандарт 802.15.4 визначає два типи пристроїв, повнофункціональні пристрої (FFD), які мають можливість маршрутизації даних, і пристрої з урізаною функціональністю (RFD) без підтримки даного функціоналу. Стандарт також визначає, що мережа повинна координуватися принаймні одним повнофункціональним пристроєм [15].

Топологія зірка (Star) сприяє довгому терміну служби батареї, так як кожне пристрої з урізаною функціональністю підключено безпосередньо до координатора.

Топології сітка (Mesh) або точка-точка (Point-to-point) забезпечує надійність і масштабованість, так як всі вузли є повнофункціональними і, отже, можуть бути пов'язані між собою, що робить можливим використання декількох шляхів маршрутизації.

Топологія кластер-дерево (cluster-tree) поєднує в собі аспекти топологій зірка і сітка, що сприяє забезпеченню тривалого терміну служби батарей, а також підвищує надійність і масштабованість.

Протокол маршрутизації, використовуваний в технології ZigBee може бути заснований на протоколі динамічної маршрутизації для мобільних ad-нос мереж (AODV), протоколі Motorola Cluster-Tree або деяких інших. Протокол AODV це досить поширений протокол маршрутизації ad-нос мереж, що працює за принципом моделі запитів.

На рівні безпеки додана можливість шифрувати кадри рівня MAC за допомогою 32, 64 або 128 бітного симетричний алгоритм блочного шифрування Advanced Encryption Standard (AES).

Рівень додатків визначає профілі, спрямовані на забезпечення сумісності, що також дає можливість вузлів визначати які інші вузли знаходяться в безпосередній близькості, і дозволяє з'являти пристрою, ґрунтуючись на цих сервісах.

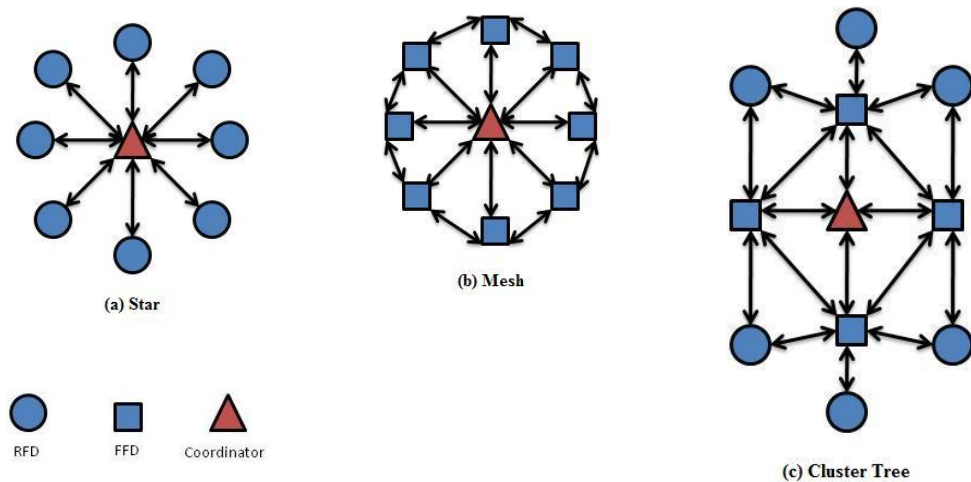


Рисунок 1.9 – Приклади підтримуваних топологій ZigBee

На сьогоднішній день альянсом ZigBee представлені десять профілів, які стандартизуються і регламентують склад, функції і способи взаємодії вузлів мереж різного призначення – ZigBee Smart Energy, ZigBee Home Automation, ZigBee Remote Control, ZigBee Health Care, ZigBee Telecom Services, ZigBee Building Automation, ZigBee Retail Services, ZigBee 3D Sync, ZigBee Input Device, ZigBee Light Link [16].

Стандарти ZigBee Smart Energy, ZigBee Home Automation, ZigBee Building Automation пропонують комплексний підхід до автоматизації управління різними системами і приладами житлових, комерційних і промислових приміщень і включають в себе функції управління та освітлювальними приладами (зокрема профіль ZigBee Home Automation). Стрімкий розвиток і вдосконалення виробництва світлодіодів і світильників на їх основі дозволило в повній мірі реалізувати функції управління освітленням, поставивши, тим не менше, ряд нових завдань. Зниження вартості світлодіодних світильників сприяють їх широкому розповсюдженню і поступового витіснення застарілих світильників (ламп денного світла, ламп розжарювання) [15]. Важливим фактором при заміні світильників на світлодіодні є простота інтеграції в існуючі системи керування освітленням, а також інтеграція з системами автоматизації приміщень. Більшість з перерахованих вище стандартів мереж при їх розгортанні вимагають комплексного підходу, часто з участю кваліфікованих фахівців.

Разом з тим потенційний ринок пристроїв і систем, що не вимагають професійної установки і налаштування (типу включив-працює), досить об'ємний.

Профіль ZigBee Smart Energy стандартизує функції пристроїв, призначених для моніторингу, управління і автоматизації доставки, розподілу та споживання енергії та води. Він допомагає системи інтелектуального управління, розподілу й обліку електроенергії, тепла та води з метою побудови т. н. екологічних будинків, надаючи розробникам засоби для зменшення часу та коштів на розробку системи.

Цей стандарт відображає поточний погляд споживачів, розробників обладнання, урядових груп на розвиток потреб в енергії і води з урахуванням можливого впливу на глобальну екологічну систему.

Всі продукти зі знаком ZigBee Smart Energy – сертифіковані стандарту ZigBee, що дозволяє купувати їх незалежно від виробника. Доступні будь-які продукти, необхідні для реалізації мережі рівня будинку – home area network (HAN). Продукти, що підтримують даний стандарт, дозволяють створювати масштабовані, безпечні, легко інтегруються рішення [17].

ZigBee Home Automation глобальний стандарт для продуктів в рамках проектів "розумний дім", стандартизуючий управління різними приладами, освітленням, кліматом, споживанням енергії з можливістю підключення до інших мереж ZigBee.

Системи типу Smart House дозволяють споживачам заощаджувати гроші, підвищити рівень комфорту і безпеки.

Поняття Smart home (Smart house, Розумний будинок) виникло в США, у Вашингтоні в сімдесятих роках минулого століття. У той час американські вчені, які працюють в Інституті інтелектуальної будівлі, займалися вивченням нових підходів до систем життєзабезпечення будівлі. Метою вчених було підвищення надійності та ефективності функціонування всіх інженерних систем, і об'єднання їх в одну систему. В результаті вони отримали Smart house – систему, що дозволяє оптимізувати простір будинку, змусити будинок служити людині [18].

В основі першої технології Smart house лежала адаптована система, яка в будь-який момент могла бути змінена або вдосконалена. Даний принцип використовується в розумних будинках і в наш час.

Спочатку технології Smart house вводилися в експлуатацію тільки в промислових цехах великих підприємств, так як там була потрібна грамотна автоматизація і диспетчеризація будівель. Системи диспетчеризації дозволяли координувати виробничі процеси, забезпечували справність обладнання, забезпечували економію ресурсів.

Однак дуже скоро системи Smart house стали встановлювати свої будинки заможні люди, охочі зробити простір свого житла як можна більш зручним та сучасним. Поступово з'явилися системи, що підходять саме для житлових будинків. І незабаром Smart home з розкоші, доступною невеликій групі забезпечених людей, перетворився на технологію, яку можуть придбати для свого будинку люди середнього достатку.

Якщо розповідати про процес еволюції системи Smart house більш детально, то варто згадати, що перше рішення для систем Smart home було запропоновано у 1978 році та виходила від компаній X10 USA і Leviton, розробили технологію управління побутовими приладами через дроти побутової електромережі. Проте ця технологія не прижилася на пострадянському просторі, так як вимагала частоту мережі 60 Гц і напруги 110 В.

На сьогоднішній день технологія X10 вважається застарілою, так як з її допомогою здійснювалося виключно керування освітленням. X10 підтримує не більше шести команд керування живленням. Для сучасної повноцінної системи Smart house цього недостатньо, адже тільки для відео - і аудіотехніці необхідні команди зміни каналів, управління відтворенням і перемотування. Крім того, Smart house немислимий без управління системою HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning, тобто опалення, системи Вентиляції та Кондиціонування). Ці завдання вимагали принципово нового підходу, тому для їх вирішення виробники об'єдналися в EIA (Асоціація електронної промисловості).

EIA займається розвитком стандарту шини побутової техніки SEBus, який затвердили у 1992 році. На сьогоднішній день даний стандарт залишається відкритим, що дозволяє будь-якій компанії використовувати протокол SEBus в своєму обладнанні.

Керуючий сигнал проходить через дроти електромережі, коаксіальному кабелю або витій парі в інфрачервоному або радіочастотному діапазоні.

При створенні і проектуванні індивідуальної системи Smart house дана технологія дозволяє вибрати найбільш придатну середовище передачі. Приміром, управління світлом може здійснюватися по електропроводці, мультирум системи будуть управлятися через коаксіальний кабель, управління кліматом (системами кондиціонування) і цифровими пристроями краще здійснювати по витій парі. Використання ж ІЧ променів і радіосигналів відкриває перед конструкторами Smart home воістину безмежні можливості.

На сьогоднішній день технологія SEBus відрізняється від X10 високою швидкістю обміну інформацією між частинами системи (10 кбіт/с в незалежності від носія). Дана особливість у багато разів підвищує її продуктивність.

У свій час компанія Echelon створила чудову модифікацію системи Smart house з використанням протоколу LonWorks. Роботу кожного елемента в мережі управління забезпечує мікропроцесор Neuron 3120, 3150 Chip або мікроконтролер Motorola 68H360, що володіє високою потужністю. Дана система забезпечує зберігання бази налаштувань і диспетчеризації, що у випадку певних подій дозволяє системі Smart home оперативно реагувати на них [16].

Можливості сучасних систем Smart house перевищують найсміливіші уявлення про них. Системи PowerLine і Instabus володіють більш широкими можливостями, з використанням яких проводиться найбільш повна домашня автоматизація.

Необхідно пам'ятати, що використовувати дані технології у власному будинку можна тільки на етапі будівництва.

Технологія Smart house має довгу історію розвитку. Сучасний ринок обладнання для цієї технології дуже широкий, і представляється доцільним використовувати цю технологію при обладнанні поліграфічного підприємства системою контролю і управління.

Ще одним фактором, що говорить на користь цього рішення є те, що дана технологія використовує в якості мереж передачі даних сучасні бездротові мережі, в основі яких лежить топологія ZigBee.

ZigBee Remote Control розроблений для пристроїв радіоуправління здатних до управління пристроями, що знаходяться поза полем зору, двонаправленого обміну даними і продовження часу автономної роботи. Він був розроблений для різної користувача електронної апаратури, включаючи HDTV, домашні кінотеатри, аудіо апаратура.

ZigBee Remote Control звільняє розробників від необхідності розміщувати керуючі та керовані пристрої межах прямої видимості, розширює вибір матеріалів для лицьових панелей пристроїв – немає необхідності в оптичній прозорості.

ZigBee Remote Control є відкритим профайлом специфікації ZigBee RF4CE specification.

Мережа ZigBee RF4CE складається з вузлів двох типів – керуючий вузол і цільовий (упарвляемый) вузол. Цільовий вузол має можливості координатора мережі (в даному випадку PAN мережі) і, відповідно, може ініціювати створення мережі (RC PAN). Керуючий вузол може увійти до складу мережі цільового вузла. Кілька RC PAN мереж складають загальну мережу контролю і вузли з різних RC PAN мереж можуть взаємодіяти в межах даної мережі. Для взаємодії з цільовим вузлом, керуючий вузол перемикається на інший радіоканал, отримує ідентифікатор цільової мережі RC PAN ID. Потім, використовуючи

мережеву адресу реєструється у цільовій мережі і взаємодіє із виділеним вузлом у цільовій мережі. На Рис. 3.2 показаний приклад топології мережі ZigBee RF4CE, що включає в себе три цільових пристрою: TV, DVD, CD кожен з яких організує власну RC PAN. Кожна з цільових пристроїв має у своїй мережі керуючий вузол. Багатофункціональний RC здатний керувати кожним з трьох цільових пристроїв, вступаючи в їх RC PAN [14].

ZigBee Building Automation

Стандарт, що регламентує інтегроване і централізоване управління освітленням, обігрівом, вентиляцією, кондиціонуванням, охоронно-пожежними системами, автоматизацію та погодження управління декількома системами із збереженням гнучкості та безпеки.

Завдання управління:

- інтеграція і централізація управління освітленням, опаленням, охолодженням і сигналізацією будівель.

Екологічність:

- зменшення перевитрат енергії шляхом оптимізації управління HVAC обладнанням;
- облік фактичного споживання комунальних послуг.

Гручкість:

- збереження можливості реконфігурації системи освітлення при зміні конфігурації або функцій внутрішніх приміщень.

Retail Services – новий стандарт, розроблюваний з урахуванням специфіки використання у торговельній сфері протягом всього ланцюжка від виробника до продавця, з метою отримання нових можливостей та сервісів.

Зокрема, один із секторів застосування даного профілю – сфера роздрібної торгівлі. Мета – підвищення рівня сервісу, що надається клієнтам. Профіль буде визначати додатки для мобільних терміналів та модулів. Також профіль буде визначати нову методологію надання різних сервісів:

- інформація про магазин – асортимент, способи доставки, обмін даними з клієнтами, взаємодія з платіжними системами;
- сервіси, прив'язані до приміщення – відстеження, реєстрація товару, інформація про місцезнаходження;
- закупівлі на дому – установка бездротової мережі в будинках покупців для здійснення покупок, відстеження рівня запасів, формування замовлень;

- пристрої допомоги у роздрібній торгівлі – голосове інформування продавців і покупців;
- турбота про здоров'я – перевірка можливої взаємодії продуктів з прийнятими лікарськими препаратами, заповнення замовлень, перевірка доступності товару, оповіщення;
- управління ланцюжками поставок: управління складом, наскрізне управління поставками;
- перевірка відповідності нормативним вимогам – умови зберігання і доставки, відстеження термінів придатності товару для харчових, фармацевтичних та інших товарів з обмеженим терміном придатності;
- – управління енергоспоживанням – підтримка різномірних датчиків і можливість інтеграції з системою управління будівлею.

В кінці квітня 2012 альянс ZigBee оголосив про завершення розробки і ратифікації стандарту ZigBee Light Link, призначеного для реалізації бездротових систем управління освітлювальним обладнанням. Ініціаторами розробки стандарту виступили такі відомі виробники освітлювального обладнання як Philips, Osram, GreenWave, Sylvania, GE, у співдружності з фірмами виробниками програмного забезпечення, електронних компонентів: STMicroelectronics, Atmel, Texas Instruments, Ember, NXP [13].

Передбачається, що пристрої на базі нового стандарту будуть так само прості у використанні, як і звичайні домашні регулятори освітлення. Енергозберігаючі лампи, світлодіодні світильники, датчики, таймери і пульти керування, виконані з використанням ZigBee Light Link, будуть підключатися в єдину мережу без застосування яких-небудь спеціальних координуючих пристроїв, що дозволить споживачам легко доповнювати свої мережі освітлення новими приладами. При цьому від користувача не потрібно ніяких навичок встановлення і конфігурування мережевих пристроїв, їх програмування.

Як і всі пристрої, що використовують стандарти ZigBee, світлові прилади ZigBee Light Link можуть управлятися через комп'ютери, планшети і смартфони, підключені до мережі Інтернет. Завдяки новому стандарту споживачі отримують безліч переваг бездротового управління освітленням, а також можливістю комбінувати в одній системі пристрої від різних виробників.

ZigBee Light Link стандартизує функції та взаємодія керованих світильників, регуляторів світла, пристроїв керування, забезпечуючи сумісність пристроїв різних виробників, а також легку інтеграцію пристроїв в існуючу мережу і розгортання мережі.

Стандарт дозволяє користувачам віддалено керувати освітленням приміщень або будівель в залежності від поточного часу доби, освітлення, пори року, дозволяючи отримати прийнятний рівень комфорту в поєднанні з економією електроенергії.

У мережі стандарту ZigBee Light Link не передбачено спеціально виділених пристроїв, які керують мережею (координаторів). В результаті цього гранично спростилося використання даних мереж і пристроїв з підтримкою ZigBee Light Link в повсякденному житті.

Оскільки ZigBee Light Link є одним із стандартів ZigBee, пристрої з його підтримкою є сумісними з пристроями ряду стандартів, включаючи ZigBee Home Automation, ZigBee Input Device, ZigBee Remote Control, ZigBee 3D Sync і ZigBee Health Care

Оскільки мережі ZigBee Light Link функціонують без координатора, і, отже, без довірчого центру, у них немає можливості використовувати традиційний для мереж ZigBee механізм забезпечення безпеки. ZigBee Light Link використовує механізм безпеки мережевого рівня, а, отже, сторони, що беруть участь в обміні даними, повинні обмінятися мережевим ключем.

Ініціатор процедури Touchlink відповідає за генерацію ключа і передачу його другого пристрою при встановленні з'єднання. Для того, щоб ключ не передавався у відкритому вигляді, він шифрується майстер-ключем ZigBee Light Link, який присвоюється пристрою при підтвердженні відповідності специфікації.

Пристрої виявляють одне одного з допомогою Touchlink. Ініціатор генерує випадковий ключ, шифрує його майстер ключем, передає на мережевий рівень. Ініціатор запитує у пристрої запуску мережі або приєднання до його мережі, одночасно передаючи зашифрований ключ. Пристрій розшифровує ключ майстер ключем і передає його на мережевий рівень. Отриманий ключ буде в подальшому використаний при мережевому обміні між пристроями.

Мережі ZigBee LightLink можуть бути використані для підвищення рівня комфорту за рахунок можливості віддаленого керування пристроями освітлення, регулювання рівня яскравості, наявності функцій управління освітленням по таймеру. Впровадження пристроїв ZigBee LightLink дозволяє більш раціонально використовувати енергію за рахунок регулювання освітлення в залежності від рівня освітленості, моніторингу енергоспоживання, включення/вимикання світла в залежності від присутності людини в приміщенні.

Типовий радіус мережі Light Link може становити до декількох десятків або навіть сотні метрів (з урахуванням маршрутизації повідомлень вузлами мережі). За допомогою

шлюзу Інтернет-ZigBee Light Link користувач отримує можливість контролювати свою мережу світильників віддалено через глобальну мережу.

Стандарт ZigBee Light Link орієнтований на застосування в економічних, енергоефективних світильниках, насамперед, у світлодіодних світильниках основного освітлення та декоративного підсвічування. На відміну від мереж інших профілів, мережі Light Link розраховані на розгортання самим споживачем.

Структуру стека ZigBee/802.15.4 складають програмна і апаратна частини. У першій реалізований код, написаний по специфікації ZigBee, у другій – механізми MAC і РНУ рівнів, що містяться в стандарті 802.15.4.

Код в скомпільованому вигляді, з доданими функціями управління інтерфейсами прийнято називати – профіль.

Як правило, виробники компонентів мережі ZigBee постачають кілька готових профілів. Профіль HomeLightControll управляє режимами освітлення в будинку і передає сигнал ВКЛ/ВИКЛ від вимикачів до лампочкам. Однак для створення мереж зі складною топологією і великою кількістю периферійних пристроїв такі стандартні профілі не завжди є універсальними.

Для рішення подібних завдань розробникам надається можливість створення власних профілів. Ця процедура виконується за допомогою програмного продукту ProfileBuilder, з використанням АРІ постачальника стека ZigBee. Далі, створений профіль завантажується в ZigBee пристрій, який, залежно від типу профілю, стає координатором, роутером або кінцевим пристроєм. При цьому профіль додатково володіє тим набором функцій, що були визначені користувачем.

Крім широких можливостей щодо реалізації профілів для побудови бездротової мережі телеметрії, виробники ZigBee пристроїв наділяють свою продукцію досить великою кількістю апаратних інтерфейсів.

1.7 Стандарт IEEE 802.11 або Wi-Fi

Технологія Wi-Fi також відома як стандарт IEEE 802.11, що описує створення локальних мереж, побудованих на основі бездротових технологій (WLAN).

Основна відмінність стандартів Wi-Fi полягає у швидкості передачі даних. Більшість стандартів Wi-Fi займають ISM діапазон частот 2,4 ГГц, за винятком стандарту IEEE 802.11 a,

частоти якого в деяких країнах не є дозволеними для вільного доступу. Базовий набір послуг (BSS) визначає два типи мереж, ad-hoc та інфраструктури.

При використанні технології Wi-Fi високошвидкісна передача даних можлива навіть на відстані близько 100 метрів. При побудові сучасних мереж найбільш часто використовуються стандарти IEEE 802.11 b, IEEE 802.11 g та IEEE 802.11 n.

Різні стандарти Wi-Fi наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Специфікації різних стандартів Wi-Fi

	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
Ratification	June 1997	Sept. 1999	Sept. 1999	June 2003
RF band Maximum	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4GHz
Data rate	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Physical layer	FHSS, DSSS, IR	DSSS/CCK	OFDM	OFDM
Typical range	50–100m	50–100m	50–100m	50–100m

Стек протоколів стандарту IEEE 802.11 відповідає загальній структурі стандартів комітету 802, тобто складається з фізичного рівня і канального рівня з підрівнями управління доступом до середовища MAC (Media Access Control) та логічної передачі даних LLC (Logical Link Control) [18].

Як і у всіх технологій сімейства 802, технологія 802.11 визначається двома нижніми рівнями, тобто фізичним рівнем і рівнем MAC, а рівень LLC виконує свої стандартні загальні для всіх технологій LAN функції.

На фізичному рівні існує кілька варіантів специфікацій, які відрізняються використовуваним частотним діапазоном, методом кодування і як наслідок - швидкістю передачі даних. Всі варіанти фізичного рівня працюють з одним і тим же алгоритмом рівня MAC, але деякі часові параметри рівня MAC залежать від використовуваного фізичного рівня.

В узагальненому вигляді стек протоколів IEEE 802.11 показаний на рисунку 1.10.

Також, крім технології Wi-Fi, в даний час існує безліч стандартів бездротових мереж, підрозділяються на категорії в залежності від таких факторів, як розмір мережі, швидкість

передачі даних, дальність передачі і тривалість функціонування від джерела живлення. Серед найбільш відомих технологій виділяють здебільшого такі як: Wi-Max, Bluetooth, ZigBee.

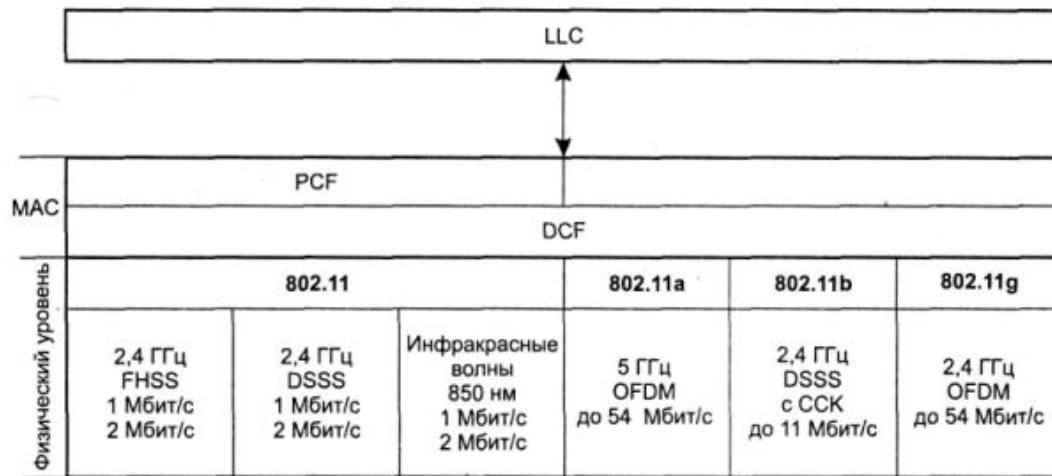


Рисунок 1.10 – Стек протоколів IEEE 802.11

Технологія ZigBee, на відміну від інших вище перерахованих технологій, спочатку розроблялася як максимально зручний і найбільш енергоефективний спосіб побудови безпроводних сенсорних мереж.

Однак кожна технологія по-своєму унікальна і має специфічні характеристики для роботи в певних областях. Аналіз показує, що такі технології призначені обслуговувати комп'ютери та пристрої мультимедіа, вони оптимізовані передавати величезні обсяги даних на високих швидкостях, при використанні топології типу точка-точка, і застосовуються для побудови мереж з великою кількістю вузлів.

Порівняння трьох найбільш часто використовуваних стандартів бездротових мереж наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння основних бездротових мережних стандартів

Назва стандарту мережі	Wi-Fi IEEE 802.11	Bluetooth IEEE 802.15.1	ZigBee IEEE 802.15.4
1	2	3	4
Тип мережі	WLAN	WPAN	WPAN
Застосування	Інтернет, Email, Відео зв'язок	Заміна кабеля передачі даних	Моніторинг і керування
Термін служби від акумулятора (днів)	0.5–5	1–7	1000+

Продовження табл.1.2

1	2	3	4
Дальність передачі (метрів)	1–100	1–10+	1–100+
Переваги	Швидкість, Універсальність	Вартість, Зручність використання	Надійність, Вартість, Енергоефективність

1.8 Постановка задачі

Метою даної атестаційної роботи є дослідження існуючих технологій для збору сільськогосподарської інформації в такій галузі сільського господарства, як рослинництво, визначення оптимального способу зчитування параметрів навколишнього середовища, а також розробка системи комп'ютерного моніторингу, яка може подолати недоліки, існуючі при використанні сучасних бездротових сенсорних мереж (БСМ).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести дослідження існуючих технологій побудови мереж з метою вибору оптимального способу побудови системи віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві;

- визначити найбільш значущі недоліки, існуючі при побудові і використанні сучасних бездротових сенсорних мереж;

- виконати огляд літератури по вибору топології та протоколу маршрутизації розроблюваної мережі, необхідних датчиків, а також найбільш енергоефективного способу збору, передачі значень між вузлами в межах мережі, а також до віддаленої базової станції;

- провести дослідження з метою визначення та подальшого застосування, ефективного алгоритму покриття контрольованої території датчиками для скорочення вартості розгортання мережі, забезпечення достатнього ступеня покриття відслідковується території при збереженні максимально здійсненою тривалості функціонування і підтримки масштабованості мережі.

Передбачувана система моніторингу, з використанням бездротових сенсорних мереж, будується на основі технологій IEEE 802.15.4/ZigBee для збору інформації з датчиків в реальному масштабі часу і IEEE 802.11/Wi-Fi для подальшої відправки отриманих даних до віддаленої базової станції.

Модуль ZigBee/IEEE 802.15.4 може бути з'єднаний з різними датчиками, що мають аналогові виходи, через мультиплексор, використовуваний для стробування сигналу. Сигнали вимірюються і перетворюються на значення, які потім передаються на вибраний сервер, підключений до мережі через шлюзовий елемент, наприклад стандартний Wireless-G маршрутизатор.

Сервер може бути підключений до мережі або бездротовим способом, або через проводове (Ethernet-з'єднання). Він зберігає отримані дані у файлі текстового формату Comma-Separated Values (CSV). Цей формат призначений для представлення табличних даних, які можуть бути імпортовані в файл бази даних типу Excel або будь-яке інше програмне забезпечення для виконання аналізу і відображення даних.

На рис. 1.11 наведено схематичне зображення передбачуваної системи.



Рисунок 1.11 – Схема передбачуваної системи

2 ПРОТОКОЛИ МАРШРУТИЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

2.1 Фактори вибору протоколу маршрутизації БСМ

Тривалість функціонування і безперебійність роботи мережі є двома основними факторами, які повинні бути в обов'язковому порядку враховані при виборі протоколу маршрутизації БСМ. Однак існує і безліч інших факторів, які також повинні бути розглянуті. До них належать надійність, масштабованість, енергоспоживання мережі, спосіб розгортання вузлів на території, спосіб передачі інформації і представлення даних, агрегування даних і якість обслуговування.

Безвідмовність є дуже важливим фактором у ВРС, так як сенсорні вузли досить часто схильні до збоїв та відмов по безлічі різних причин, таких як вплив навколишнього середовища, виснаження джерел енергії або навіть фізичний збиток. Однак подібні збої в роботі вузлів і пошкодження мережі ні при якому разі не повинні призводити до втрати даних і ставити під загрозу її повноцінне функціонування. Щоб уникнути подібних сценаріїв протокол маршрутизації повинен мати можливість передавати пакети в обхід несправного вузла при виявленні його відмови або збою в його роботі.

Масштабованість може бути визначена як можливість мережі адаптуватися до збільшення розмірів мережі. Кількість вузлів в БСМ може коливатися від кількох одиниць до кількох тисяч. Протокол маршрутизації повинен мати можливість ефективно працювати з будь-якою кількістю вузлів і підтримувати динамічну приєднання нових вузлів без необхідності переустановки всій мережі.

Управління енергоспоживанням сенсорних вузлів відбувається за рахунок оптимальної комп'ютерної обробки і передачі даних. Витрата енергії також може бути мінімізований шляхом ефективного алгоритму маршрутизації. Зменшення витрат енергії при передачі інформації може досягатися зменшенням кількості пакетів, що проходять через мережу, обмеження їх розміру, а також шляхом обмеження кількості завдань, виконуваних кожним окремим вузлом мережі. Втрати енергії в стані очікування можуть бути зведені до мінімуму за допомогою реалізації ефективного алгоритму планування сну.

Агрегація даних допомагає запобігти дублюванню даних в мережі. Так як ВРС мають високу щільність розміщення, сенсорний вузол може отримувати ідентичні дані від кількох сусідніх вузлів одночасно. Подібні багаторазові передачі даних також приводять до втрат енергії. Агрегування даних може бути реалізовано за допомогою усереднення, заборони дублювання даних або методу максимумів-мінімумів. Агрегація даних з використанням максимумів-мінімумів і усереднення також іменується узагальненням даних. У такому випадку дані, одержувані від сусідніх вузлів, зіставляються, і тільки максимальне, мінімальне або середнє значення з усіх отриманих передаються далі в одному повідомленні [19].

Заборона дублювання даних – це найпростіший вид агрегування даних, при якому вузол відкидає дані, ідентичні отриманим раніше. Агрегування даних може зменшити кількість передаються через мережу повідомлень, але даних підхід може призвести до виникнення затримок, так як вузли повинні чекати отримання даних від усіх сусідніх вузлів до передачі об'єднаних даних. Якість обслуговування – це фактор, що залежить від затримок і надійності мережі. Виникнення затримок небажано при будь-якому типі мережі, особливо у випадку наявності в ній критично важливих даних, передача яких повинна відбуватися в реальному масштабі часу.

Надійність може бути визначена як здатність мережі ефективно працювати при будь-яких умовах. Всі вищеописані фактори прямо чи побічно впливають на надійність і безвідмовність роботи мережі, отже, це найбільш важливі параметри, які слід враховувати при виборі протоколу маршрутизації БСМ.

2.2 Класифікація протоколів маршрутизації БСМ

Класифікація протоколів маршрутизації БСМ проводиться в залежності від принципу пошуку маршруту, структури мережі та ініціатора встановлення з'єднання. Класифікація протоколів маршрутизації БСМ наведена на рис. 2.1.

В залежності від принципу пошуку шлях маршрутизації мережі може бути прокладений одним з трьох способів, а саме: проактивним (proactive), реактивним (reactive) або гібридним (hybrid).

При використанні проактивних протоколів всі маршрути обчислюються заздалегідь і зберігаються в таблиці маршрутизації кожного вузла. Таким чином зміни маршруту повинні

бути поширені по всій мережі. Проактивні протоколи не є кращими у ВРС з високою щільністю розміщення вузлів, оскільки при такому підході збільшуються накладні витрати для підтримки актуальності таблиць маршрутизації в кожному з сенсорних вузлів мережі. При використанні реактивних протоколів маршрути обчислюються тільки в момент їх необхідності. Гібридні протоколи є комбінацією активних і реактивних протоколів.

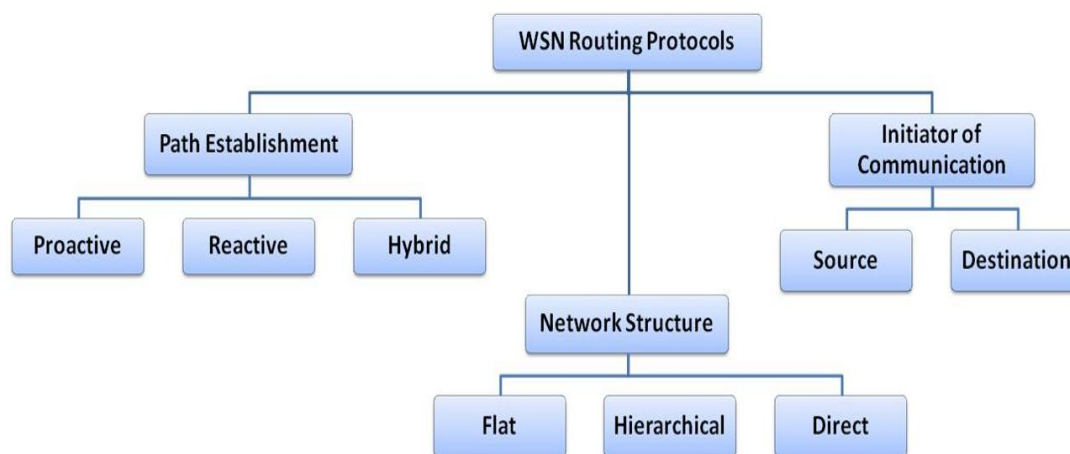


Рисунок 2.1 – Класифікація протоколів маршрутизації БСМ

БСМ також можуть бути класифіковані за типом структури мережі. За цим принципом виділяють плоскі (flat), ієрархічні (hierarchical) і безпосередні (direct) протоколи. У плоских протоколах маршрутизації всі вузли в мережі мають однакові можливості і можуть в рівній мірі брати участь в задачах маршрутизації. Однак найближчі до базової станції вузли, як правило, задіяні в більшій мірі, так як пакети всій мережі направляються через них.

В ієрархічних протоколах, мережа розбивається на кластери, в кожному з яких є свій маршрутизуючий вузол. При використанні цього підходу всі елементи кластера відправляють повідомлення тільки до маршрутизующому вузла, який, у свою чергу, пересилає всі повідомлення свого вузла кластера-шлюзу. При використанні безпосередніх комунікаційних протоколів сенсорні вузли БСМ посилають пакети безпосередньо до базової станції, отже повинні розташовуватися відносно неї в області досяжності прийому та передачі інформації.

З'єднання в БСМ може встановлюватися як джерела (source), так і приймачем (destination) даних. У протоколах з ініціалізацією з'єднання джерелом, вузли передають дані базової станції відразу після проведення вимірювань. Такі протоколи використовують часової

або подієвий підхід складання та надсилання звітності звіту даних. У свою чергу, при використанні протоколів, в яких з'єднання ініціалізується приймачем, використовується запитний підхід до звітності, коли сенсорні вузли БСМ відправляють інформацію у відповідь на запити, отримані від приймача даних.

Більшість протоколів маршрутизації можна розділити на плоскі, ієрархічні або гібридні на найвищому рівні, які, в свою чергу, можуть згодом підрозділятися на протоколи з ініціалізацією з'єднання джерелом або приймачем. Також, в БСМ найбільш часто використовується реактивний спосіб вибору шляху маршрутизації мережі.

2.3 Плоскі протоколи маршрутизації

Серед безлічі плоских протоколів маршрутизації в якості прикладу можна виділити найбільш значиму групу SPIN – сенсорні протоколи отримання інформації, що працюють за допомогою взаємодії шляхом попереднього погодження (Sensor Protocols for Information via Negotiation). Перевагами таких протоколів маршрутизації є масштабованість і простота.

Плоскі мережі масштабуються, бо кожен вузол в рівній мірі бере участь в задачі маршрутизації, і для її реалізації, потребує лише інформації про безпосередніх вузлах-сусідах. У мережі, що використовують плоскі протоколи маршрутизації, також можуть бути легко додані нові сенсорні вузли. Ці протоколи не потребують вузлах маршрутизації і складних алгоритмах.

Основним недоліком плоских протоколів маршрутизації є створення «гарячих точок» (hotspot). Вузли, розташовані в безпосередній близькості до базової станції витратять свої джерела енергії швидше. Цього неможливо уникнути через те, що всі пакети в кінцевому підсумку повинні бути відправлені базової станції. Проте в мережах з використанням декількох базових станцій ця проблема практично усувається. Також існує проблема розриву з'єднання у разі відмови вузла, який з'єднує окремих ділянку з іншою мережею, в результаті чого деякі ділянки мережі можуть стати недоступними [20].

2.4 Ієрархічні протоколи маршрутизації

В ієрархічних протоколах процес пошуку шляхи маршрутизації мережі, як правило, не враховується, так як всі сенсорні вузли, що належать до єдиного кластера, передають дані лише маршрутизуючому сайту використовуючи підхід single-hop.

Більшість ієрархічних протоколів маршрутизації дотримуються цієї процедури, серед яких найбільш часто використовуються такі як LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy), HEAR (Hierarchical Energy Aware Routing), APTEEN (Adaptive Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol) і інші.

Переваги ієрархічної маршрутизації складаються в локалізованому енергоспоживанні і агрегації даних. Дані з окремого кластера збираються маршрутизуючим вузлом, а потім відправляються базовій станції одним пакетом.

Таким чином зменшується загальне енергоспоживання сенсорними вузлами кластера. Однак, в такому випадку виявляються наступні недоліки ієрархічної маршрутизації: виникнення «гарячих точок» (hotspot), спеціальні вимоги до обладнання маршрутизуючих вузлів, складність реалізації і відсутність можливості масштабування без ускладнення мережі.

Маршрутизуючі вузли споживають більше енергії, ніж інші вузли мережі, у результаті відбувається виникнення «гарячих точок». Більшість ієрархічних протоколів вимагають оснащення маршрутизуючих вузлів більш якісним радіооборудуванням, більш продуктивною апаратурою, поліпшеною системою енергозабезпечення і т. д.

При використанні ієрархічних протоколів також відсутня можливість вільного масштабування мережі, тому як у міру збільшення розміру мережі відповідно збільшується кількість маршрутизуючих вузлів [21].

2.5 Порівняння плоских і ієрархічних протоколів маршрутизації

Грунтуючись на раніше описаних переваги і недоліки протоколів маршрутизації можна зробити висновок, що плоска структура мережі краще для БСМ, ніж ієрархічна, так як дозволяє використовувати простий і масштабований протокол маршрутизації з меншим енергоспоживанням і кількістю повідомлень в мережі.

В таблиці 2.1 наведені відмінності між плоскою та ієрархічної маршрутизацією.

Таблиця 2.1 – Порівняння плоскою і ієрархічної маршрутизації

Плоска маршрутизація	Ієрархічна маршрутизація
Конку rentне планування	Резервоване планування
З можливістю колізій	З запобіганням колізіям
Маршрутизація не вимагає синхронізації	Потрібна глобальна і локальна синхронізація
Споживання енергії залежить від схеми руху пакетів	Споживання енергії практично рівномірно
Оптимальна маршрутизація	Неоптимальна маршрутизація

3 ДАТЧИКИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Датчики являють собою комплексні пристрої, найбільш часто використовувані для виявлення та реагування на електричні або оптичні сигнали. Датчики перетворюють фізичні параметри (наприклад, температуру, вологість, швидкість і т. д.) в сигнал, який може бути вимірний електрично. Ртуть, яка використовується в скляних термометрах, при зміні температури розширюється і стискається. Цей процес надалі використовується оператором, що знімають показання, для визначення вимірної температури шляхом знаходження відповідності довжини ртутного стовпця і градування каліброваної скляної трубки.

3.1 Температурні датчики

Датчики цього типу збирають інформацію про температурі від джерела і перетворюють у форму, придатну для розпізнавання іншим пристроєм або особою, знімає показання. Найкращою ілюстрацією датчика температури є ртутний скляний термометр, в якому ртуть розширюється і стискається в залежності від змін температури навколишнього середовища. Для вимірювання температури глядачем спостерігається положення ртуті щодо градуованої шкали термометра.

На рис. 3.1 зображено типовий датчик температури.



Рисунок 3.1 – Датчик температури

Пристрій, отримане в результаті об'єднання датчика, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), аналогового інтерфейсу і інтерфейсної шини в одному корпусі, називається інтелектуальний датчик. Специфікація IEEE 1451.2 визначає інтелектуальний датчик як датчик, що забезпечує додаткові функції крім необхідних для формування правильного уявлення сприйнятої або регульованої величини. Ця функція, як правило, спрощує інтеграцію перетворювача, застосовного у мережевому середовищі. Якщо об'єднати в одному чіпі всі функції, починаючи з датчика, закінчуючи інтерфейсною шиною, ми отримуємо інтегрований інтелектуальний датчик. У більшості випадків інтелектуальний датчик складається з шести основних елементів, що схематично зображено на рисунку 3.2.

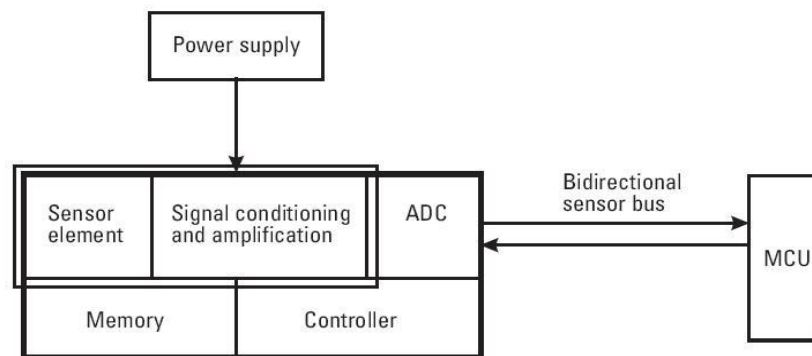


Рисунок 3.2 – Модель інтелектуального датчика

Крім самого сенсорного вимірювального елемента з необхідною обв'язкою і підсилювальними елементами, інтелектуальний датчик також включені аналогово-цифровий перетворювач, контролер і елемент пам'яті. Отриманий сигнал, після перетворення в цифрову форму, може бути переданий далі за двобічної шині з використанням декількох протоколів зв'язку. Доцільним є скорочення кількості дискретних елементів для зменшення форм-фактора, кількості і вартості компонентів, внутрішніх з'єднань, а також вартості складання.

3.2 Датчики вологості

Датчики вологості використовуються для визначення вмісту вологи в навколишньому середовищі. Вологість є одним з основних показників загальних умов. Контроль абсолютної і відносної вологості дуже важливий у харчовій та електронній промисловості, а також в різних галузях виробничої галузі.

У багатьох випадках визначення вологості матеріалів також є дуже важливим завданням, приміром, вологість ґрунту виступає принципово важливим параметром для здійснення діяльності у рослинництві та інших галузях сільського господарства. Відсоток вологості, що міститься в зерні, справляє істотний вплив на ринкову вартість цього зерна, так як при перевищенні регламентованого діапазону воно буде продаватися за заниженою вартістю.

Таким чином, надійний і точний спосіб визначення вологи, що міститься в зерні, допоможе фермерам контролювати свої посіви. З допомогою засобів моніторингу фермери можуть сушити зерно до досягнення кращого утримання вологи. Визначення вологості ґрунту використовується для оцінки будівельних майданчиків і ландшафтних ділянок, при видобутку корисних копалин, для контролю лісових масивів, а також сільськогосподарських районів [22]. Моніторинг вмісту вологи в ґрунті дозволить фермерам адаптувати свою діяльність з метою досягнення оптимальної врожайності сільськогосподарських культур.

На рис. 3.3 представлена схема установки в ґрунт інтелектуальних датчиків вологості і температури.

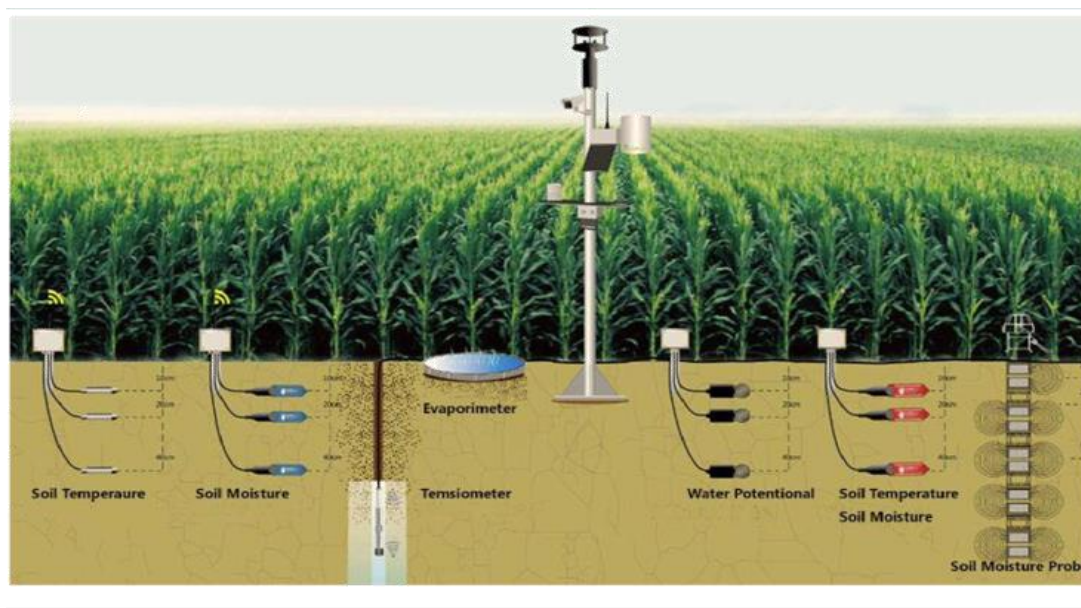


Рисунок 3.3 – Схема установки в ґрунт інтелектуальних датчиків вологості і температури

Найбільш поширеною проблемою з датчиками вологості при їх використанні у сільському господарстві, і, зокрема, в галузі рослинництва, є генерація ними великого обсягу даних, що підлягають передачі й подальшій обробці.

Цей процес вимагає витрат великої кількості енергії при невеликій ємності батареї вузла бездротової сенсорної мережі. Також існує проблема корозії роз'ємів з-за підвищеної вологості, екстремальних або різких перепадів температури і т. д.

На рис. 3.4 зображено електричний датчик з сенсором ємнісного типу в одному корпусі з інтелектуальним датчиком вологості ґрунту, що вимірює електричну ємність з подальшою передачею отриманої інформації по вбудований процесор.



Рисунок 3.4 – Сенсорний вузол БСМ з датчиками вологості і температури

В даний час існує досить великий вибір сенсорних вузлів різних виробників і з різними характеристиками. В якості прикладів таких пристроїв можна привести модулі виробництва компанії Sigonnet, оснащені широким набором апаратних інтерфейсів. Ці модулі виконані на базі приймачів від Chipcon CC2420 і мікроконтролерів ATmega128 компанії Atmel.

Компанія MaxStream також випускає аналогічні продукти, що складаються з радіомодуля і контролера компанії Freescale, об'єднаних на одній платі розміром 30x20 мм.

Однак, для даного проекту були обрані моти Crossbow's TelosB, що володіють високим рівнем надійності, відмінною щільністю інтеграції (вбудовані антени, датчики тощо) і вкрай низьким рівнем споживаної енергії (1,8 мА в активному режимі, 5.1 мкА в режимі очікування).

До переваг цих мотів можна віднести можливість програмування через USB, сумісність зі стандартом IEEE 802.15.4, присутність високошвидкісного радіомодуля з вбудованою антеною і енергоефективного мікроконтролера.

Також вони за замовчуванням оснащені набором необхідних вбудованих датчиків – вологості і температури.

4 АЛГОРИТМ РОЗТАШУВАННЯ ДАТЧИКІВ БСМ

Визначення оптимального розташування сенсорних вузлів на відслідковується території вкрай необхідно для енергоефективного та економічно вигідного розгортання БСМ. Положення датчиків на контрольованому ділянці повинні забезпечувати достатній ступінь покриття при збереженні тривалого терміну служби, що може бути здійснено шляхом використання ефективного механізму планування з організації та обмеження кількості задіяних сенсорних вузлів.

Подібна бездротова сенсорна мережа, реалізована на основі фіксованого числа вузлів, може досить ефективно застосовуватися в рослинництві для високоточного контролю сільгоспугідь. Процес відстеження і контролю розподілу дощової води, з метою отримання хорошого урожаю, є дуже важливим для фермерів через нерівномірність її розподілу природного. Використання бездротових сенсорних мереж стає широко поширеною практикою при виконанні цього завдання, в основному через їх ефективності і швидкості роботи. Відповідно, в даному контексті, з розвитком різноманітних мініатюрних сенсорів і датчиків, об'єднаних в бездротові сенсорні мережі, можна дистанційно контролювати такі параметри, як температура і вологість повітря, ґрунту, і безліч інших.

У даній роботі передбачається задіяння алгоритму розташування вузлів БСМ, відомого як territorial predator scent marking algorithm (TPSMA). Даний алгоритм використовує біологічно засновану техніку оптимізації покриття території датчиками, яка імітує поведінку територіальних хижаків в процесі мічення (маркування) контрольованої території. Алгоритм TPSMA використовує цільову функцію забезпечення максимального покриття і передбачає відчутне збільшення тривалості функціонування мережі.

4.1. Поведінковий алгоритм TPSMA

Деякі види хижаків, такі як тигри, ведмеді і собаки, можуть бути визначені як територіальні, унаслідок властивого ним інстинктивного поведінкового акту систематичної захисту певної території від тварин інших видів. Територія вибирається виходячи з певних факторів, з яких найбільш частим і значним є контроль розподілу харчових ресурсів.

Більшість територіальних хижаків використовують свій запах для позначення меж контрольованої території, який є міткою як для інших хижаків, так і для членів їх популяції [23].

Подібний спосіб комунікації дозволяє цим тваринам залишати повідомлення, що володіють відносною довговічністю. Крім того, він також може бути використаний в нічний час, під землею, або в густій рослинності.

Запахові мітки можуть полегшити комунікацію між хижаками і служити в якості засобів, що виконують чотири різні функції, такі як допомогу в розпізнаванні родичів, репродуктивна, часова або просторова сигналізація, а також захист ресурсів.

Зіставлення запахів дозволяє хижакам відрізнити членів своєї популяції, що мешкають в межах контрольованої території, від самозванців, тим самим знижуючи ймовірність несподіваних сутичок з іншими тваринами. Такі мітки можуть бути залишені за допомогою сечовипускання, дефекації, нанесенням запаху при терті об навколишні предмети, за допомогою слідів подряпин на деревах.

Наприклад, самці тигрів і собак мітять дерева допомогою сечовипускання і виділенням секрету із спеціальних пахучих залоз, відзначаючи таким чином маршрути обходу території.

Ведмеді, а також хижаки сімейства котячих, мітять об'єкти навколишнього середовища за допомогою тертя головою, боками, хвостом і підшвами лап, так як саме в цих частинах тіла розташовані залози, що містять пахучий секрет [24].

4.2 Розміщення вузлів БСМ на основі алгоритму TPSMA

Поведінковий алгоритм TPSMA може бути взятий за основу при розробці методики розміщення сенсорних вузлів, для досягнення таких цілей, як досягнення достатнього коефіцієнта покриття при збереженні мінімального рівня енергоспоживання.

В даному випадку маркування області охоплення датчиками вузла БСМ ґрунтується на поведінці територіальних хижаків, метящих запахом контрольовану територію виходячи з певного фактора – розподілу харчових ресурсів.

Сенсорний вузол, у свою чергу, ідентифікує отслеживаемую територію, ґрунтуючись на зазначених територіях, за аналогією з зіставленням запахів хижаками в поведінковому алгоритмі TPSMA.

На рис. 4.1 наведено псевдокод, що описує схему розміщення сенсорних вузлів на основі алгоритму TPSMA з цільовою функцією досягнення максимального коефіцієнта покриття.

```

Number of monitored location,  $i = 1, 2, \dots, S$ 
Number of potential location for sensor node,  $j = 1, 2, \dots, P$ 
Step 1: check if there is a sensor node located in  $j$ 
if yes  $x_j = 1$ 
else  $x_j = 0$ 
Repeat Step 1 until  $j = P$ 
Step 2:
Compute coverage level to location  $i$ ,  $f(x)$  for all respective  $j$ 
Mark territory for sensor nodes in  $j$  that has the maximum
coverage level to  $i$  (Scent marking by predator on the area
that has the highest food resources)
Repeat Step 2 until  $i = S$ 
Step 3:
Monitored locations will be monitored by sensor nodes
that are within their marked territory. (Sensor node
identifies its monitored location through scent matching)

```

Рисунок 4.1 – Псевдокод послідовності розміщення сенсорних вузлів на основі алгоритму TPSMA

4.3 Модель зондування і цільова функція

Модель зондування сенсорного вузла визначає його здатність моніторингу навколишньої території. Існує два типи моделей зондування в БСМ: двійкова і імовірнісна модель зондування.

4.3.1 Двійкова модель зондування

В двовимірному просторі область покриття сенсорного вузла представляється у вигляді кола з радіусом R_s . Припустимо, що координати вузла s_j це (x_{s_j}, y_{s_j}) , тоді ймовірність того, що вузол s_j виявляє об'єкт у $i(x_i, y_i)$ розраховується за формулою:

$$P_{cov}(s_j, i) = \begin{cases} 1 & d(s_j, i) \leq R_s, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4.1)$$

де $d(s_j, i)$ – це Евклідова відстань між точками $i(x_i, y_i)$ і $s_j(x_{s_j}, y_{s_j})$, а R_s – це радіус моніторинга сенсорного вузла.

Тоді як Евклідова відстань $d(s_j, i)$ між точками s_j , i може бути визначено, використовуючи наступне рівняння:

$$d(s_j, i) = \sqrt{(x_{s_j} - x_i)^2 + (y_{s_j} - y_i)^2}, \quad (4.2)$$

де (x_i, y_i) – це координати точки i , а (x_{s_j}, y_{s_j}) – це координати точки s_j .

4.3.2 Імовірнісна модель зондування

Двійкова модель зондування припускає, що події можуть реєструватися вузлами БСМ якщо вони відбуваються в межах радіусу R_s . Однак, на практиці, можливість моніторингу сенсорними вузлами є нестійкою через інтерференції шуму навколишнього середовища і зниження інтенсивності сигналу [25]. Відповідно, в даній роботі за основу була взята імовірнісна модель зондування з наступним розподілом, яке розраховується за формулою:

$$P_{cov}(S_j, i) = \begin{cases} 1 & d(s_j, i) \leq R_s - R_e, \\ e^{-(\lambda_1/\lambda_2)} & R_s - R_e < d(s_j, i) < R_s + R_e, \\ 0 & d(s_j, i) \leq R_s - R_e, \end{cases} \quad (4.3)$$

де $d(s_j, i)$ – це Евклідова відстань між точками $i(x_i, y_j)$ і $s_j(x_{s_j}, y_{s_j})$, R_s – це радіус моніторингу сенсорного вузла, $R_e (0 < R_e < R_s)$ – це невизначеність виявлення датчиком, а λ_1 и λ_2 – це параметри сенсорних вузлів, які можуть бути визначені, використовуючи наступні рівняння:

$$\lambda_1 = R_e - R_s + d(s_j, i), \quad (4.4)$$

$$\lambda_2 = R_e + R_s + d(s_j, i), \quad (4.5)$$

де R_e – це невизначеність виявлення датчиком, R_s – це радіус моніторингу сенсорного вузла, а $d(s_j, i)$ – це Евклідова відстань між точками $i(x_i, y_j)$ і $s_j(x_{s_j}, y_{s_j})$.

Дана модель зондування погоджує накладення контрольованих областей з метою компенсації потенційної ймовірності виявлення низького ступеня.

Таким чином, необхідно також враховувати датчик, що знаходиться в області перекриття контрольованих зон кількох інших сенсорів, (s_{ov}) .

Спільна ймовірність зондування розраховується за формулою:

$$P_{cov}(s_{ov}) = 1 - \prod_{S_j \in S_{ov}} (1 - P_{cov}(S_j)), \quad (4.6)$$

где $P_{cov}(S_j)$ – це ймовірність покриття області датчиком.

Локація j може вважатися ефективно покритій, якщо $P_{cov}(s_{ov}) > C_{th}$, де C_{th} – це порогове покриття. Коефіцієнт покриття, обраний в якості цільової функції алгоритму TPSMA, може бути визначений за допомогою наступного рівняння:

$$\text{Objective Function, } f(x) = \text{Coverage Ratio} = N_{effective} / N_{all}, \quad (4.7)$$

де $N_{\text{effective}}$ – це число локацій з ефективним покриттям і N_{all} – це загальна кількість локацій.

4.4 Модель розробляючої БСМ

На рис. 4.2 представлено схематичне зображення контрольованої території розміром 100x100 метрів, розділеної на 16 рівних локацій.

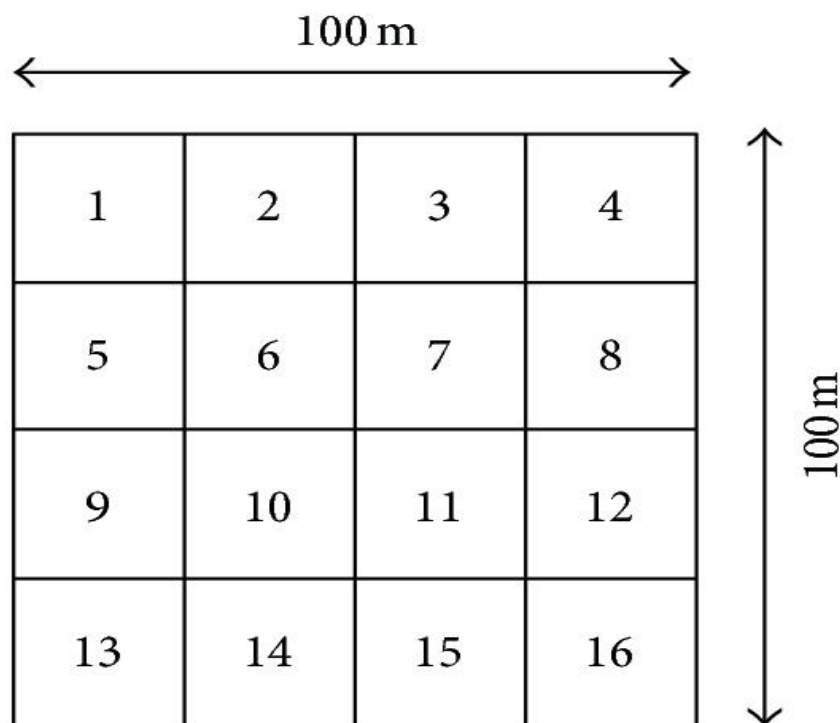


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення контрольованої території

В межах окремої локації може бути розміщено не більше одного вузла БСМ, а центрі кожної області розташовується точка доступу. Кожна локація може контролюватися як розташованим всередині сенсорним вузлом, так і вузлами з сусідніх областей відслідковуються.

В таблиці 4.1 наведено покриття всіх 16 локацій відповідними вузлами сенсорними.

Таблиця 4.1 – Контрольовані локації у відповідності з вузлами БСМ

Контрольовані локації	Сенсорні вузли
1	1,2,5,6
2	1,2,3,5,6,7
3	2,3,4,6,7,8
4	3,4,7,8
5	1,2,5,6,9,10
6	1,2,3,5,6,7,9,10,11
7	2,3,4,6,7,8,10,11,12
8	3,4,7,8,11,12
9	5,6,9,10,13,14
10	5,6,7,9,10,11,13,14,15
11	6,7,8,10,11,13,14,15,16
12	7,8,11,12,15,16
13	9,10,13,14
14	9,10,11,13,14,15
15	10,11,12,14,15,16
16	11,12,15,16

Кількість сенсорних вузлів, розгорнутих в даному контрольованому просторі, може бути різним. Мінімальна кількість вузлів мережі розраховується за формулою:

$$N_{\min} = A / (3 \cdot \sqrt{3} \cdot R_s^2 / 2) \quad (4.8)$$

де A – площа контрольованого простору, а R_s – це радіус моніторингу сенсорного вузла.

Мінімальна кількість вузлів БСМ, необхідних для цієї моделі становить приблизно 10 вузлів. Як згадувалося раніше, в межах кожної контрольованої локації може бути розміщено не більше одного вузла.

Таким чином, число сенсорних вузлів, розглянутих в даній роботі, варіюється від 10 до 16.

4.5 Результати моделювання

Моделювання проводилося за допомогою програми MATLAB для демонстрації працездатності запропонованої схеми. В таблиці 4.2 наведені параметри моделювання з

кількома стаціонарними сенсорними вузлами, розгорнутими в зоні моніторингу випадковим чином.

Таблиця 4.2 – Параметри моделювання

Параметр	Значення
Кількість сенсорних вузлів	от 10 до 16
Контролююча територія, м	100x100
Радіус моніторинга сенсорного вузла, R_s , м	20
Кількість відстежуваних локацій	16
Порогове покриття, C_{th}	0,9
Невизначеність виявлення датчиком, R_e , м	10

На рис. 4.3 демонструється швидкість збіжності алгоритму TPSMA.

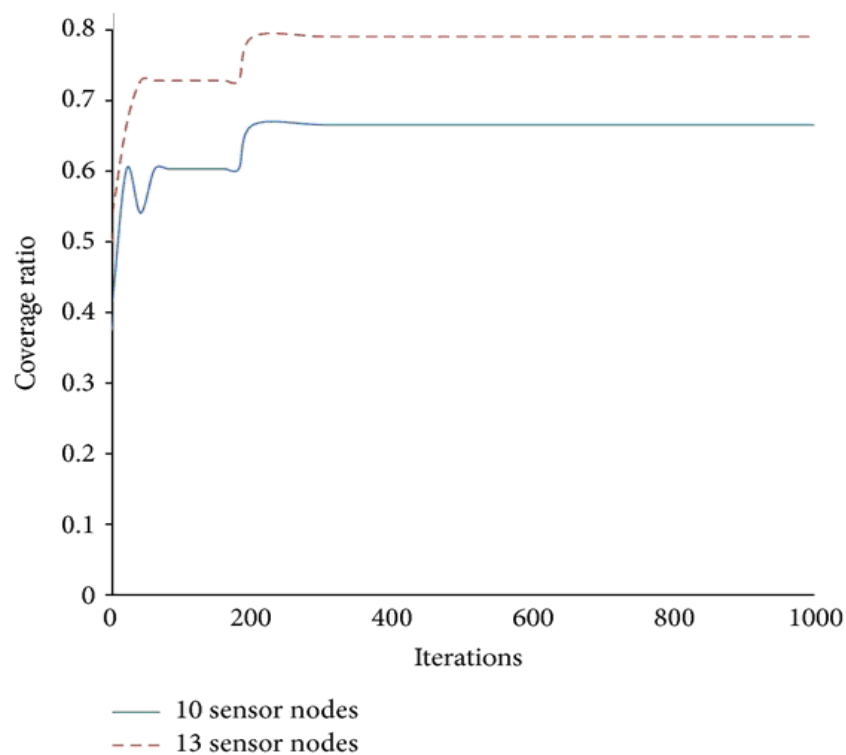


Рисунок 4.3 – Процес збіжності для 10 та 13 сенсорних вузлів

З графіка випливає, що повне сходження було досягнуто, коли число ітерацій перевищила 200. Отже, в подальшому, при моделюванні роботи схеми доцільно розглядати 200 ітерацій.

Тест збіжності для 10 та 13 сенсорних вузлів показує, що алгоритм TPSMA сходиться після 200 ітерацій.

Таким чином, передбачається, що кількість ітерацій, необхідних для будь-якого іншого числа сенсорних вузлів також становить 200.

На рис. 4.4 наведено графік коефіцієнта покриття БСМ при різному числі вузлів.

Як і очікувалося, зі зростанням кількості датчиків коефіцієнт покриття збільшується. Однак алгоритм TPSMA може забезпечити достатнє покриття контрольованої території при використанні кількості сенсорних вузлів.

Це пов'язано з тим, що цільова функція алгоритму TPSMA, запропонованого в даній атестаційній роботі, спрямована на досягнення достатнього коефіцієнта покриття при збереженні максимально здійсненою тривалості функціонування БСМ.

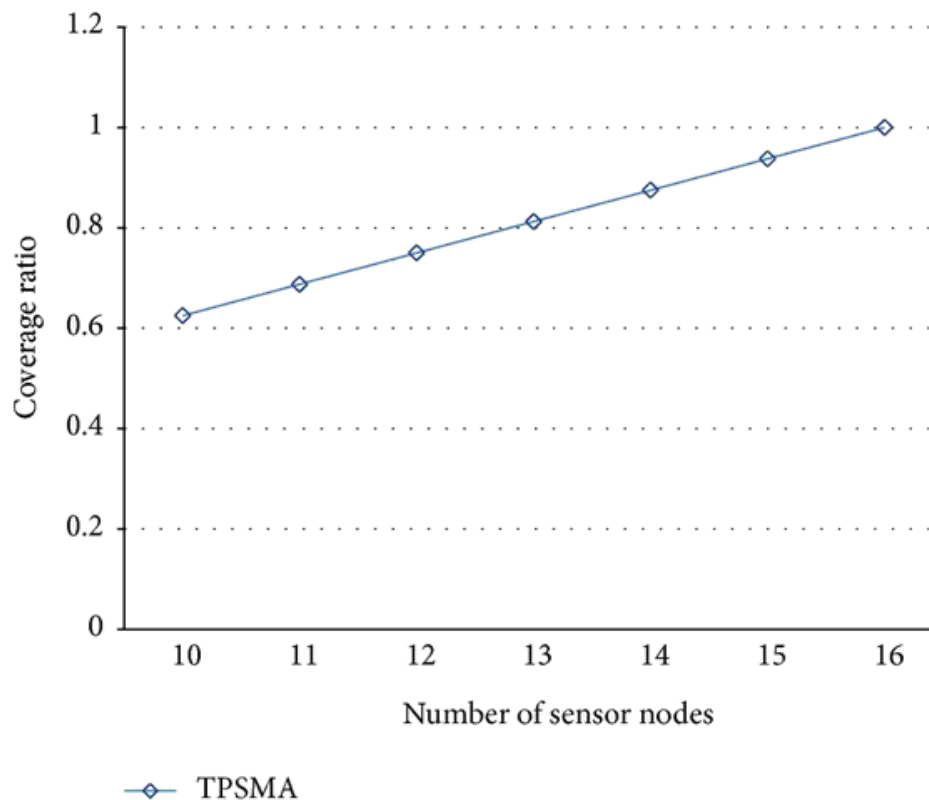


Рисунок 4.4 – Графік коефіцієнта покриття БСМ в залежності від різного числа вузлів

4.6 Розташування сенсорних вузлів

Рис. 4.5, 4.6 та 4.7 ілюструють розміщення десяти, тринадцяти та шістнадцяти сенсорних вузлів, в межах контрольованої території, відповідно.

За допомогою позначок, за формою нагадують червоні зірки, на малюнках відображені місця розташування точок доступу в кожній з контрольованих локацій.

Позначки, за формою нагадують чорні зірки, вказують розташування розміщених випадковим чином вузлів БСМ. Тоді як за допомогою синіх кіл схематично зображена область покриття кожного сенсорного вузла.

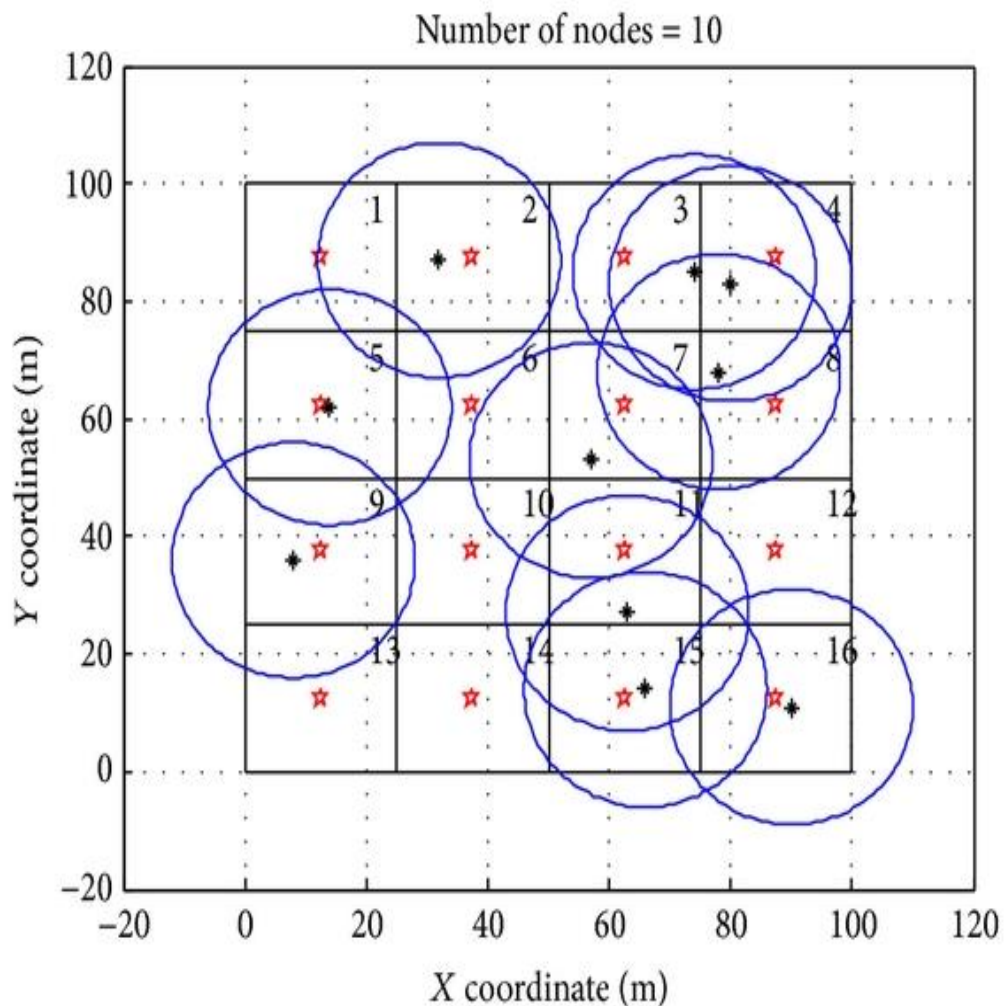


Рисунок 4.5 – Схема розміщення десяти сенсорних вузлів

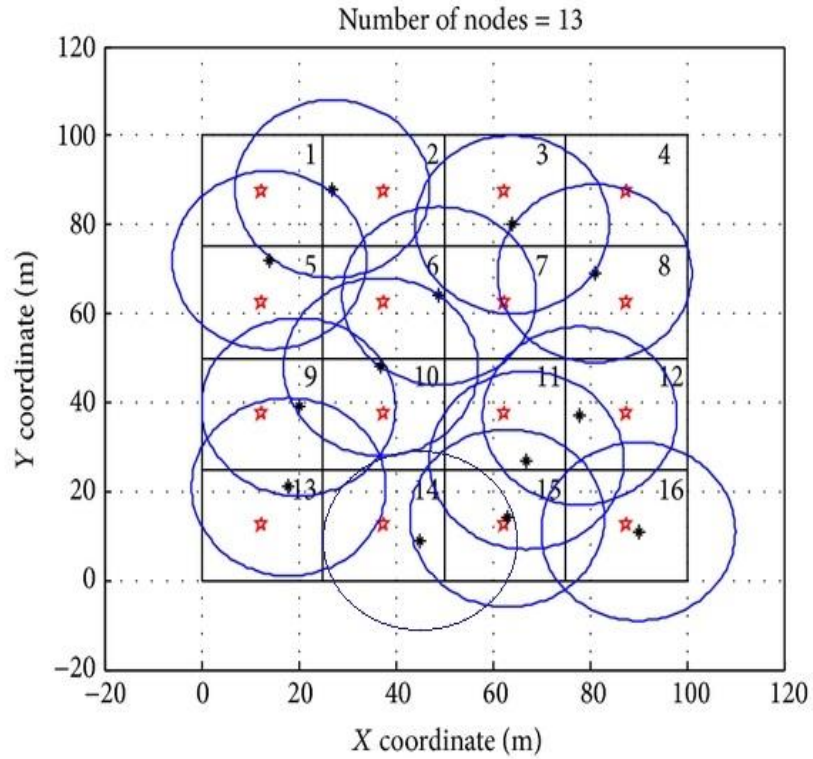


Рисунок 4.6 – Схема розміщення тринадцяти сенсорних вузлів

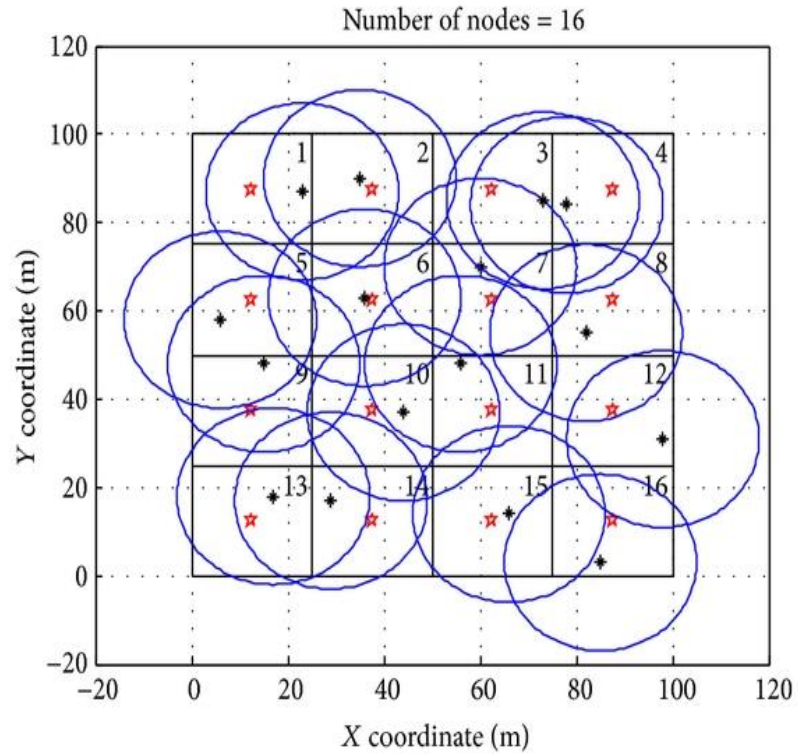


Рисунок 4.7 – Схема розміщення шістнадцяти сенсорних вузлів

На рис. 4.5 зображено БСМ, розгорнуту на місцевості з використанням десяти сенсорних вузлів.

Рисунок наочно ілюструє випадок, при якому п'ять з шістнадцяти локацій практично не охоплені областю покриття датчиків будь-яких сенсорних вузлів. Так як за допомогою синіх кіл схематично зображена область покриття кожного сенсорного вузла на рис. 4.5 наочно відображено недостатнє покриття деяких локацій: 1,10,12,13,14. Це означає, що ступінь покриття території недостатня і необхідно збільшити кількість сенсорних вузлів.

Надалі, стає очевидно, що при використанні вже тринадцяти вузлів БСМ, можна спостерігати досить високу ступінь покриття всіх шістнадцяти локацій, що продемонстровано на рисунку 4.6.

Також, як і передбачалося раніше, всі записані області повністю покриті, коли бездротова сенсорна мережа розгорнута на основі шістнадцяти сенсорних вузлів, оскільки в даному випадку кожна локація обладнана сенсорним вузлом. Це наочно продемонстровано на рисунку 4.7.

Грунтуючись на результатах, отриманих в результаті моделювання, можна зробити наступний висновок: при використанні алгоритму TPSMA, моделі БСМ, представленої в даній роботі, достатньо мати тринадцять сенсорних вузлів для забезпечення високого ступеня покриття всіх шістнадцяти локацій.

Таким чином, при побудові бездротової сенсорної мережі на основі алгоритму TPSMA і з використанням тринадцяти сенсорних вузлів, вартість розгортання мережі буде скорочена приблизно на 20% відносно подібної мережі з шістнадцяти вузлів.

Результати моделювання підтверджують факт того, що бездротова сенсорна мережа на основі алгоритму TPSMA, розгорнута за пропонованою схемою, підтримує масштабованість і здатна забезпечити достатню ступінь покриття території при збереженні максимально здійсненою тривалості функціонування мережі.

5 ОПИС АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

5.1 Сенсорні вузли і базова станція

Основними складовими елементами вузла БСМ є блок обробки, блок датчиків і приймач. Деякі сенсорні вузли можуть містити додаткові компоненти, такі як системи визначення місцезнаходження, сонячні батареї, реле і т. д. [16]. Основні структурні компоненти сенсорного вузла показані на рис. 5.1.

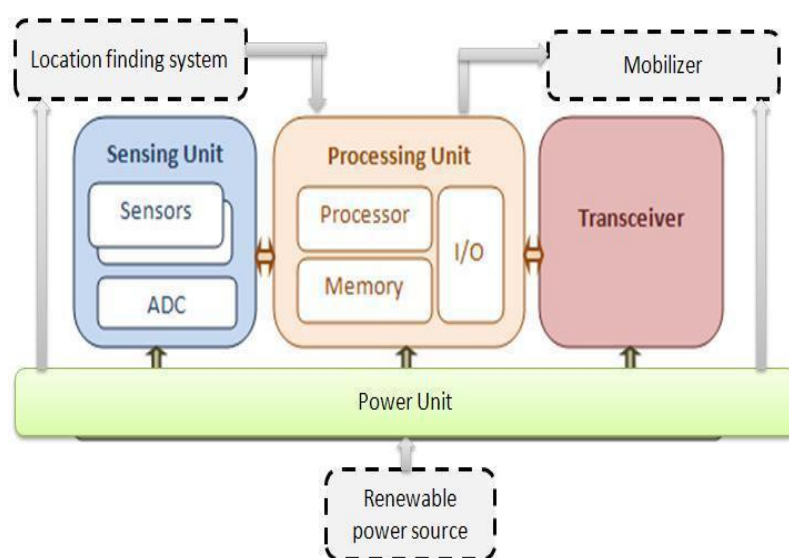


Рисунок 5.1 – Структурна схема сенсорного вузла

Кожен сенсорний вузол оснащений блоком обробки даних, до якого може бути приєднана безліч зовнішніх датчиків. Модуль обробки має безпосередній доступ до всіх датчиків для здійснення збору даних. Сенсорний вузол, як правило, живиться від двох елементів живлення, а також оснащений радіомодулем, який використовується для обміну інформацією з базовою станцією та іншими вузлами мережі.

Блок обробки складається з процесора, системи введення/виведення і пам'яті. Цей блок відповідає за управління і виконання безпосередніх завдань сенсорного блоку. Блок зондування, як правило, складається з набору датчиків і аналого-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП перетворює аналогові дані з датчиків в цифрові, які в подальшому можуть бути оброблені процесором. Передавач відповідає за підключення вузла до мережі використовуючи передачу даних в радіочастотному діапазоні. Кожен сенсорний вузол

циклічно збирає дані з власного набору датчиків і передає їх сусіднього вузла або відправляє до базової станції.

Для даного проекту були обрані моти Crossbow's TelosB, що володіють високим рівнем надійності, відмінною щільністю інтеграції (вбудовані антени, датчики тощо) і вкрай низьким рівнем споживаної енергії (1,8 мА в активному режимі, 5.1 мкА в режимі очікування). До переваг цих мотовила можна віднести можливість програмування через USB, сумісність зі стандартом IEEE 802.15.4, присутність високошвидкісного радіомодуля з вбудованою антеною і енергоефективного мікроконтролера. Також вони за замовчуванням оснащені вбудованими датчиками вологості і температури.

5.2 Базова станція

Базова станція здійснює спостереження і контроль над мережею, а також несе відповідальність за довгострокове зберігання всіх даних від вузлів БСМ. Вона виконує функцію постобробки даних, отриманих від окремих вузлів сенсорної мережі, представляючи їх оператору в зрозумілій формі.

На рис. 5.2 зображено базова станція системи Cairpos.

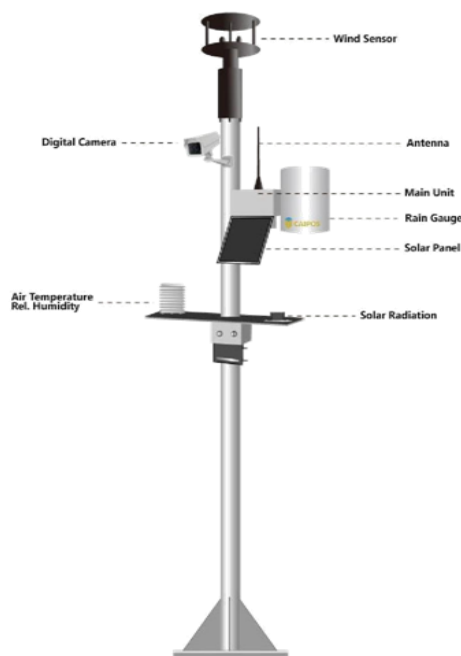


Рисунок 5.2 – Базова станція системи Cairpos

Базової станції необхідно безпосереднє підключення до інтернету і електромережі, тому вона, як правило, розміщується в оснащеному комунікаціями будинку, розташованому неподалік від території розгортання БСМ.

Інтерфейс до даних, що зберігаються на базовій станції, являє собою веб-інтерфейс з підтримкою індексації в мережі інтернет файли журналів з записами про події.

Для захисту від пошкоджень і несанкціонованого доступу, у разі розгортання БСМ на відкритих ділянках, базова станція може встановлюватися у захищеному місці далі від бездротових датчиків.

На відміну від базової станції, бездротові сенсорні вузли не так сильно помітні посеред поля, що може запобігти несанкціонований доступ до них. При використанні БСМ у теплиці подібний сценарій практично виключено.

Рисунок 5.3 ілюструє приклад розміщення базової станції в захищеному місці.



Рисунок 5.3 – Приклад розміщення базової станції в захищеному місці

Базова станція повної конфігурації включає в себе КК, з'єднання з якими здійснюється за допомогою послідовного інтерфейсу зі швидкістю 152000 бод. Також в ній використовується кварцовий резонатор з частотою 14.745 МГц для запобігання виникнення будь-яких помилок передачі даних на такій швидкості.

Структурна схема повної конфігурації базової станції представлена на рис. 5.4.

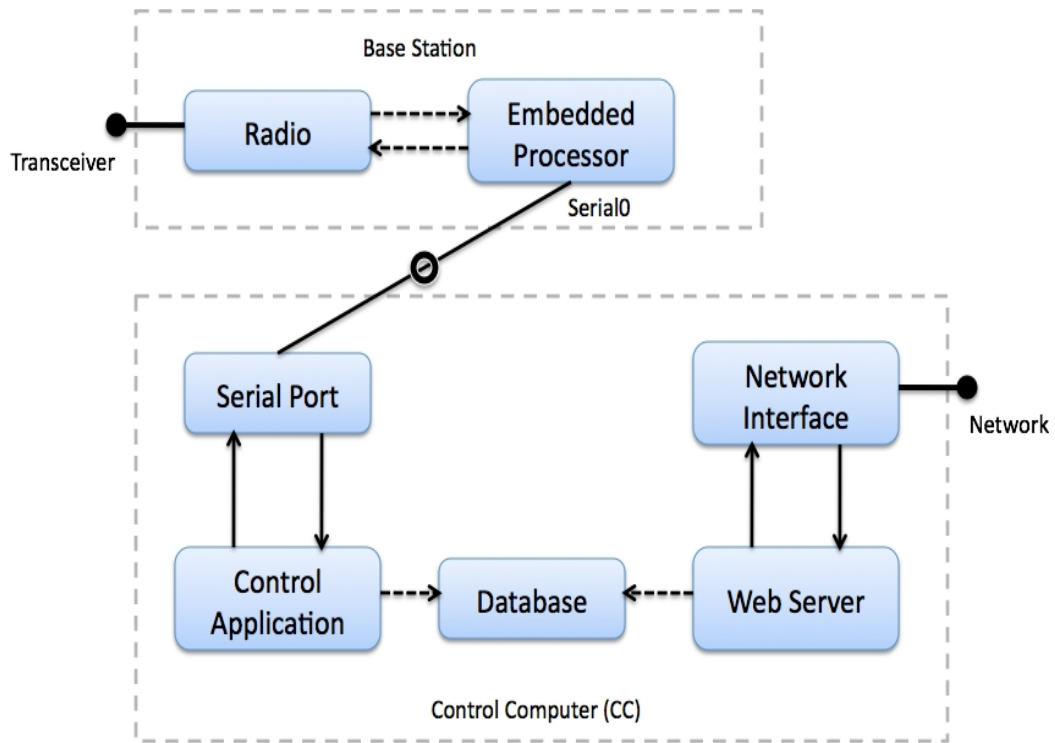


Рисунок 5.4 – Структурна схема повної конфігурації базової станції

5.3 Джерело живлення

На рис. 5.5 наведена схема живлення від акумулятора за допомогою USB-порту. Оскільки харчування може подаватися від одного з двох джерел в один момент часу, використовується однополюсний перемикач S2 на два напрямки.

Технічно можливо використовувати обидва джерела живлення одночасно і перемикатися між ними в процесі використання, однак виникнення необхідності подібного сценарію вкрай малоймовірно.

Котушка L1 і конденсатор C1 служать в якості базового фільтра напруги для перемикача S2. Резистори R1 і R2 діють як дільник напруги, що зменшує вхідну напругу до рівня, знаходиться в діапазоні зчитування процесором. Живлення процесора обмежена діодом, що створює необхідне падіння напруги, так як рівень вище допустимого може викликати серйозні пошкодження. R3 і C24 служать в якості слабкого фільтра низьких частот для збільшення відносної точності показань напруги для аналогових схем процесора при передачі звіту про його рівні. C2 і C4 забезпечують фільтрацію вихідного струму і

виступають у ролі згладжує буфера, зменшує сплески рівня напруги при підключенні зовнішніх датчиків або інших пристроїв.

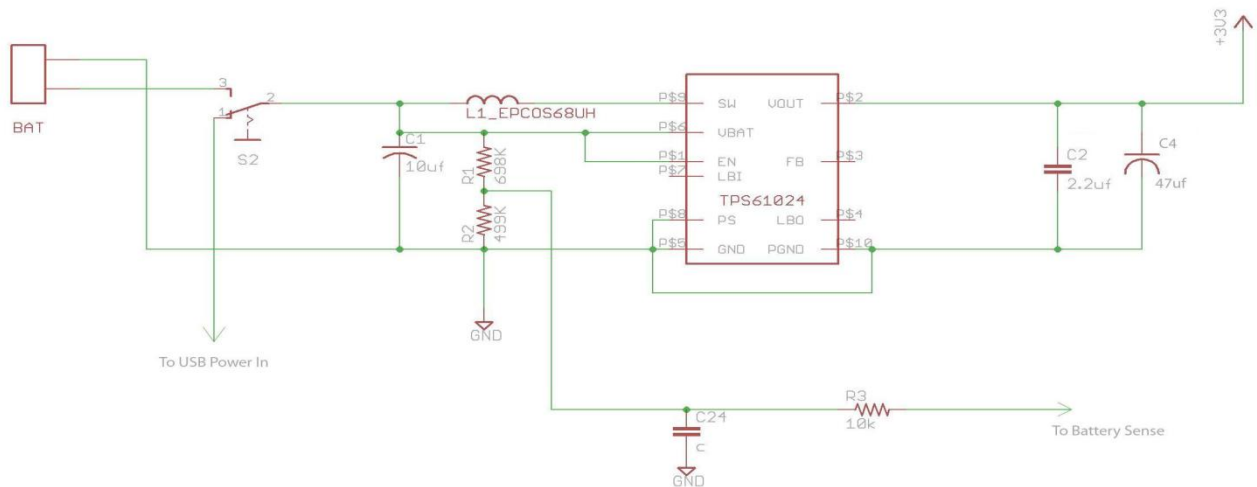


Рисунок 5.5 – Схема джерела живлення

5.4 Аналогова схемотехніка та схема підключення ЦПП

До кожного входу для аналогових пристроїв підключені фільтр низьких частот і понижуючий резистор. Понижуючий резистор заземлює сигнал, якщо пристрій не підключено. Це дає нульове значення при вимірах, у тому разі, коли жоден з датчиків не підключений. Кожен фільтр нижніх частот складається з конденсатора ємністю 0.1 мкФ і резистора опором 1 ком, який забезпечує регулювання рівня шуму аналогової схеми. Крім того, в AtMega 1281 присутні аналогові входи з JTAG пінами. Для того, щоб захистити піни роз'єму JTAG під час налагодження, відповідні сигнали були додатково навантажені резистором опором 10 кОм.

На рис. 5.6 зображена схема управління сигналами.

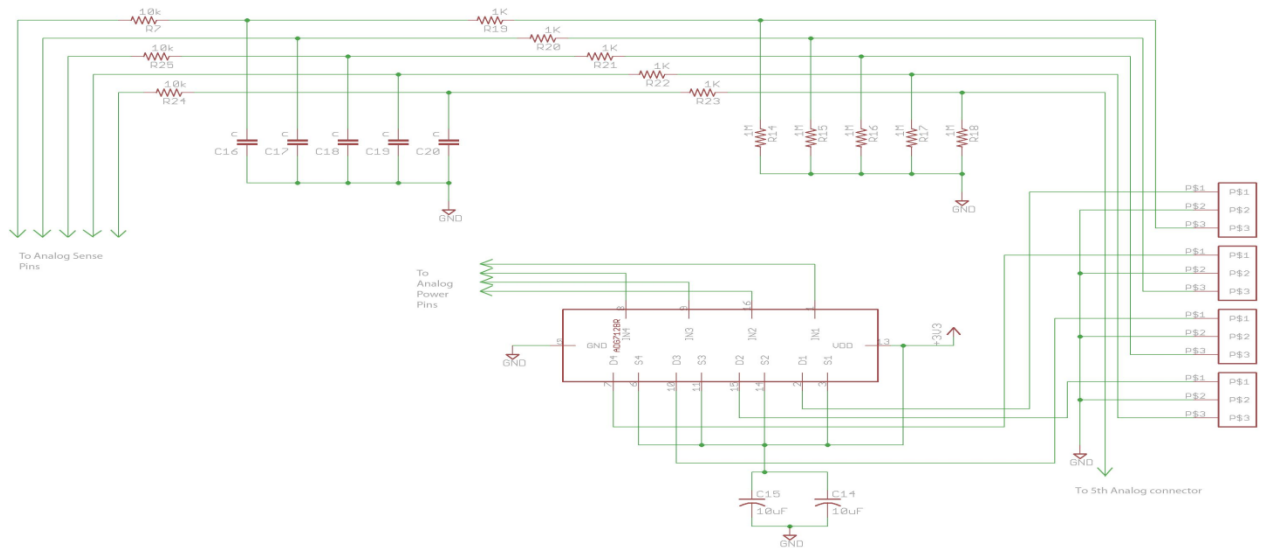


Рисунок 5.6 – Схема управління сигналами

Перемикач скидання підключений безпосередньо на землю через лінію сигналу скидання. У схемі також присутня чотири світлодіода: червоного, синього, зеленого і оранжевого кольору. До синього світлодіода підключений резистор меншого опору з-за більш низьких значень яскравості при однаковому рівні напруги. Конденсатори і котушки забезпечують фільтрацію вхідної напруги і для того щоб зменшити рівні шумів. На рисунку 5.7 зображена схема підключення ЦПУ.

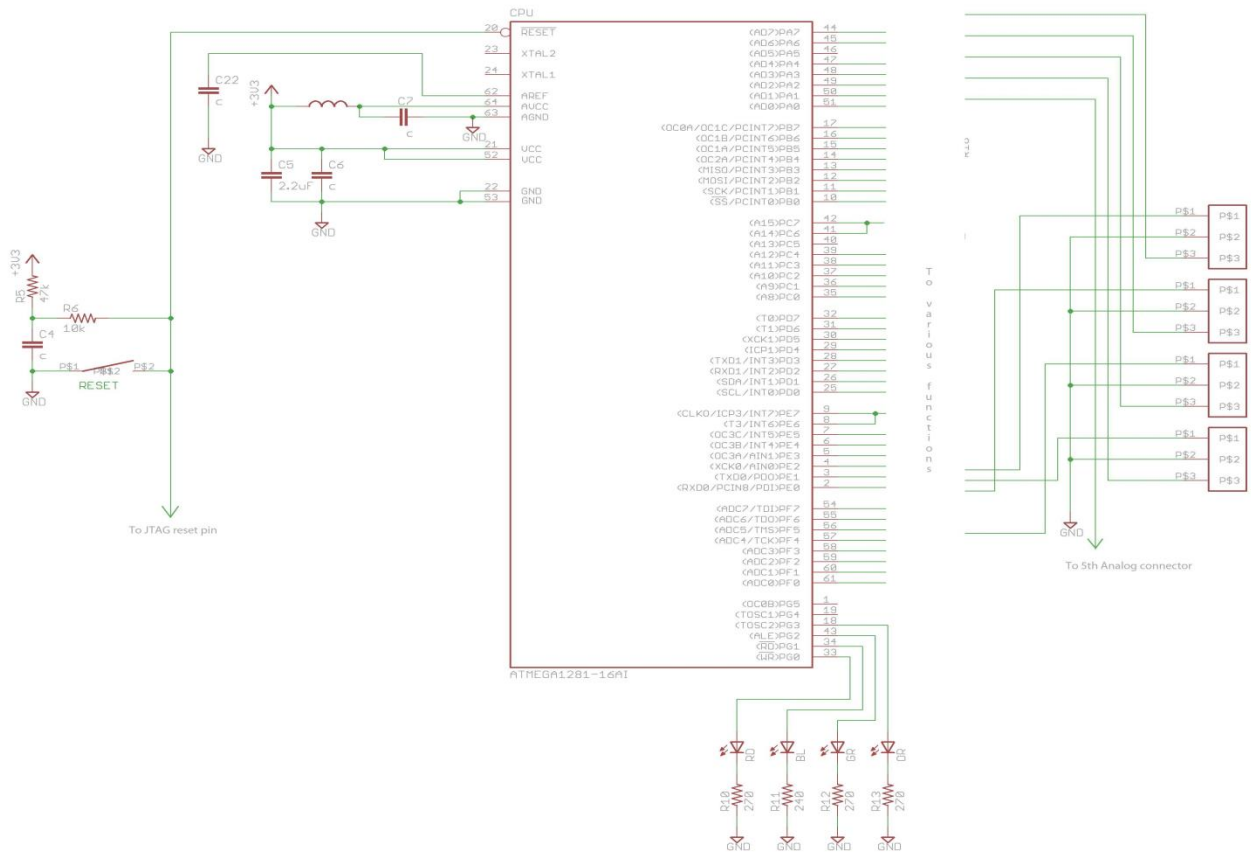


Рисунок 5.7 – Схема підключення ЦПП

5.5 Радіомодуль

В даній роботі, при проектуванні БСМ, був обраний, непогано зарекомендував себе, радіомодуль XBee-PRO XSC 900MHz RF. Однак, при необхідності, він може бути замінений більш потужним аналогом. На рис. 5.9 конденсатори C8 і C9 служать в якості базового фільтра напруги. DOUT – це сигнал від радіомодуля до процесора, а DIN – це сигнал від процесора до радіомодуля. DOUT, DIN і CTS необхідні для здійснення радіопередачі, тоді як RTS і DTR використовуються для перепрошивки радіомодуля ресурсами вбудованого процесора.

На рис. 5.8 зображена плата радіомодуля XBee-PRO XSC 900MHz RF.

Також, на рис. 5.9 зображено інтерфейс I2C у вигляді двох роз'ємів, 4-контактного роз'єму I2C і чотирьохпинового кінцевика. Наявність на лінії даних підтягуючого резистора R8 визначено стандартом I2C.



Рисунок 5.8 – Радіомодуль XBee-PRO XSC 900MHz RF

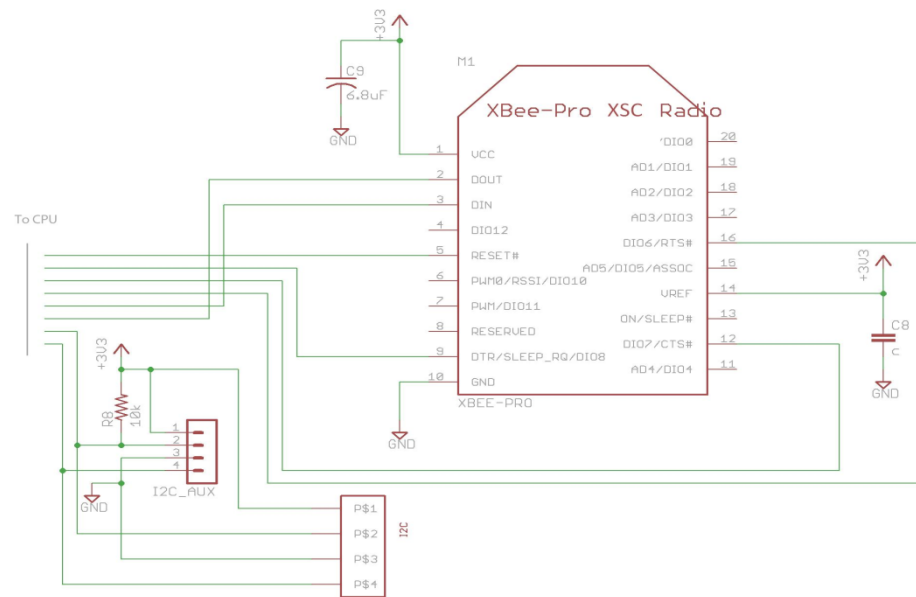


Рисунок 5.9 – Схема підключення радіомодуля

5.6 Використовувані типи датчиків

Всього можуть використовуватися три типи датчиків: аналогові, цифрові і імпульсні. Для аналогового датчика передбачається споживання менше 10-15 мА в активному режимі і для ініціалізація менше 300 мс після включення живлення. Єдиний підтип підтримуваного аналогового датчика в даний час, це диференціальний аналоговий сигнал.

Існує два варіанти реалізації диференціальних аналогових датчиків: спеціальний диференціальний аналоговий вхід на платі, і другий, який комбінуванням роз'ємів аналогових датчиків 1 і 2. Для використання другого диференціального аналогового датчика повинна

бути підключена конфигуруюча перемикач 1. Перемикач 1 перетворить два інтерфейсу аналогових сенсорів в один диференціальний. При використанні даного режиму можуть бути підключені тільки два диференціальних датчика, так як це обмеження обраного процесора.

Цифровий тип датчика за замовчуванням має стандартним послідовним виходом зі швидкістю 1200 бод. Передбачається його повне функціонування після 300 мс з можливістю надсилання даних до базової станції в цей час. Поточний максимальний час відгуку на цифрового датчика становить близько 500 мс. Перемикач від 2 до 6 управляє альтернативним режимом роботи цифрового датчика. Єдиний альтернативний режим, в даний час підтримується для цифрового датчика, являє собою модифікований інтерфейс I2C. Встановлення перемикача 2 переводить цифровий датчик з послідовного в модифікований I2C режим.

Сенсорними вузлами також підтримується імпульсний тип датчика. Імпульсний датчик є датчиком контактного типу, який з деякою періодичністю відправляє дані по лінії. Ця періодичність характерна, наприклад, для складальника дощу, де вода збирається аж до наповнення відра, яке згодом викликає імпульс. Цей варіант може бути реалізований перемикачем 7. Перемикач 8 в даний час використовується в якості діагностичної. Оскільки дуже важливо знизити енергоспоживання, перемикачем 8 відключаються синій, зелений і оранжевий світлодіоди. Червоний індикатор завжди спалахує при виникненні помилки при включенні живлення.

5.7 Інтерфейс USB та інші компоненти

Роз'єм інтерфейсу USB у складі сенсорного вузла надається для цілей налагодження. У схемі присутній загальна послідовна лінія між USB і цифровими датчиками. Коли датчик відключений його послідовна лінія заземлена, а коли USB не використовується, це відключає лінію передачі даних.

При відсутності необхідності використання шини USB можуть бути встановлені дві перемикачки для її відключення. Перша перемикачка відключає лінію передачі даних, а друга використовується для відключення живлення. Це запобігає споживання електроенергії, коли сенсорні вузли працюють від автономних джерел живлення і USB-інтерфейс не вимагається.

Коли встановлено обидві перемички, процесор контролює харчування, отже, інтерфейс може бути включений у міру необхідності. Сайт також має інтерфейс підключення ММС, який може бути використаний для збереження даних, що вимірюються датчиками.

На рис. 5.10 наведена схема підключення інтерфейсу USB.

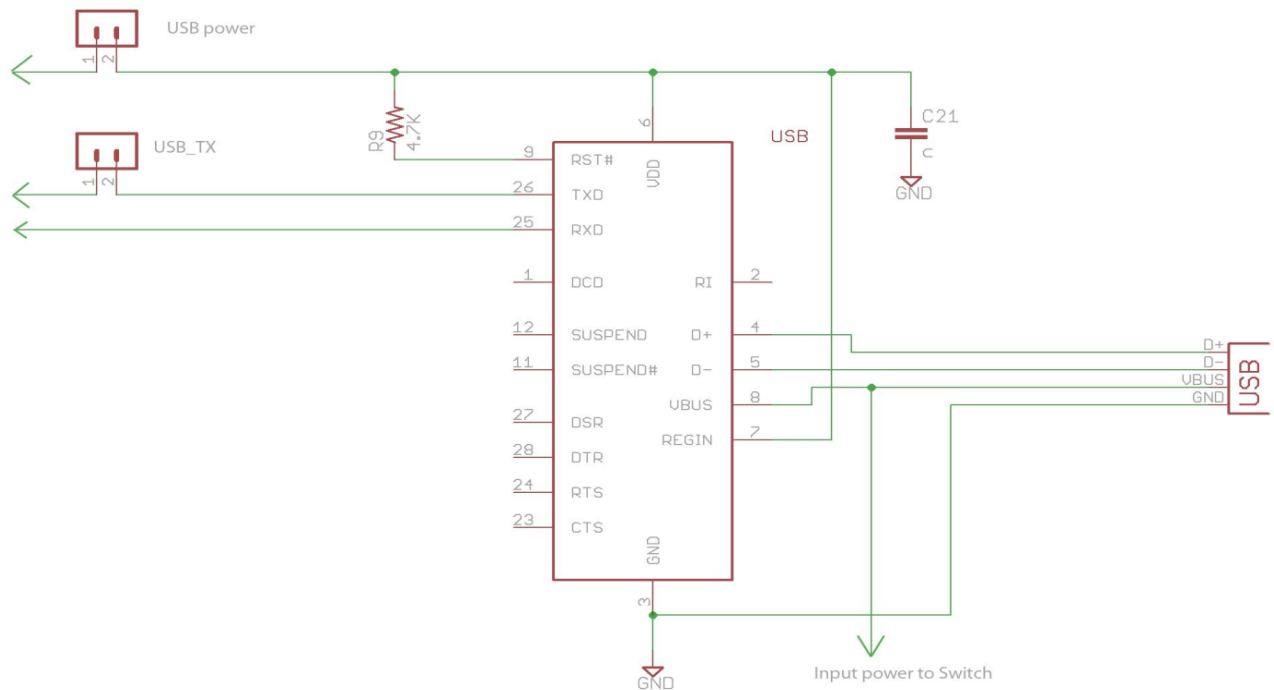


Рисунок 5.10 – Схема підключення роз'єму стандарту USB

5.8 Накопичуючий реєстратор Decagon EM50

У EM50 присутній п'ять інтерфейсних портів, до яких можуть бути підключені як аналогові, так і цифрові датчики. В якості джерела живлення потрібно п'ять батарейок типу AA. Для того щоб сконфігурувати реєстратор EM50 необхідно підключення до комп'ютера через COM-порт.

Реєстратор Decagon EM50 має два режими передачі даних: режим з підтвердженням доставки і режим односпрямованої передачі. В режимі односпрямованої передачі даних EM50 передає один пакет даних протягом одного циклу.

У режимі з підтвердженням доставки – передає пакет даних і чекає підтвердження від станції даних Decagon. У разі відсутності підтвердження, він повторно передає той же пакет даних. Кількість повторних спроб для підтвердження доставки обмежена двадцятьма.

На рис. 5.11 зображений накопичуючий реєстратор Decagon EM50.

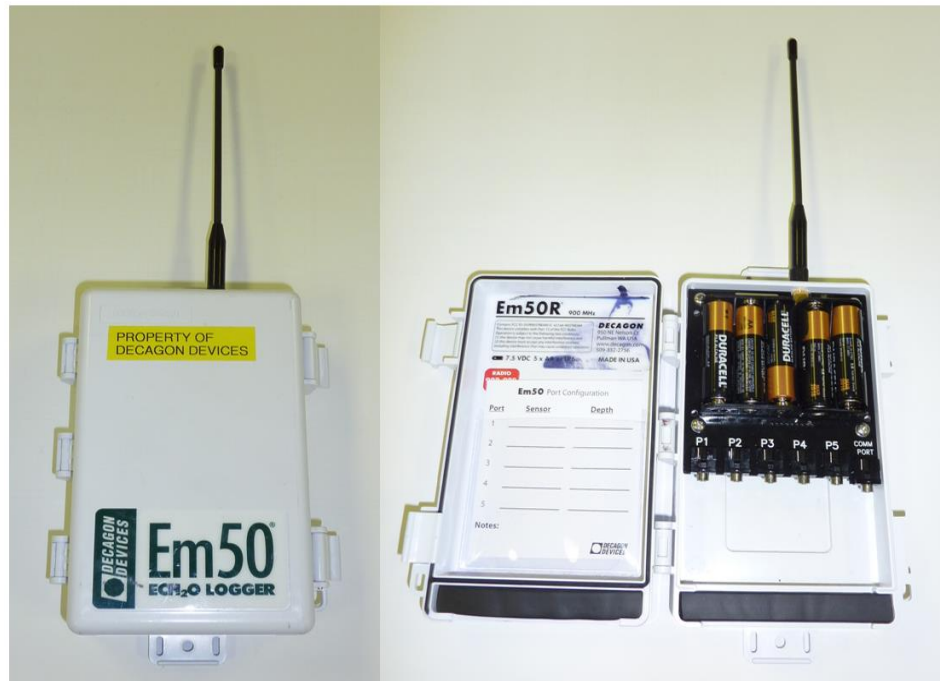


Рисунок 5.11 – Накопичуючий реєстратор Decagon EM50

Програмне забезпечення базової станції системи CMU SensorWeb спроектовано аналогічно такому як у станцій даних Decagon. Базова станція аналізує пакет даних, отриманий від EM50 і направляє його КК. У режимі з підтвердженням доставки базова станція SensorWeb передає пакет підтвердження на EM50, аналогічно станції Decagon. Базова станція SensorWeb також в змозі отримувати пакети від EM50 як у режимі з підтвердженням доставки (Confirmed Delivery mode), так і в режимі передачі даних (Transmit Only mode).

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників проєктованого об'єкту, що мають вплив на персонал

У магістерській роботі об'єктом розробки є апаратно-програмний засіб, котрий призначено для організації моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві. Розроблене програмне забезпечення орієнтоване на роботу з персональним комп'ютером диспетчера. Експлуатовані для вирішення внутрішньовиробничих завдань ПЕОМ типу IBM PC мають наступні характеристики:

споживана потужність	220 Вт;
робоча напруга	220 В;
напруга джерел живлення	+12 В; - 12 В; +5 В;
робоча частота	50 Гц.

Виходячи з приведених характеристик, вочевидь, що для людини існує небезпека поразки електричним струмом, унаслідок недбалого поводження з комп'ютером і порушення правил експлуатації, залишення частин ПЕОМ, що знаходяться під напругою, відкритими або знятих для ремонту вузлів.

Відповідно до [26] до легкої фізичної роботи відносяться всі види діяльності, виконувані сидячи і ті, що не потребують фізичної напруги. Робота користувача ПК відноситься до категорії 1а.

При роботі на ПЕОМ користувач піддається ряду потенційних небезпек. Унаслідок недотримання правил техніки безпеки при роботі з машиною(невиконання огляду відкритих частин ПЕОМ, що знаходяться під напругою або знятих для ремонту вузлів) для користувача існує небезпека поразки електричним струмом.

Джерелами підвищеної небезпеки можуть служити наступні елементи:

- розподільний щит;
- джерела живлення;
- блоки ПЕОМ і друку, що знаходяться в ремонті.

Ще одна проблема полягає у тому, що спектр випромінювання комп'ютерного монітора включає рентгенівську, ультрафіолетову і інфрачервону області, а також широкий діапазон хвиль інших частот. Небезпека рентгенівського проміння мала, оскільки цей вид випромінювання поглинається речовиною екрану. Проте велику увагу слід приділяти біологічним ефектам низькочастотних електромагнітних полів(аж до порушення ДНК).

Відповідно до [27], при обслуговуванні ПЕОМ мають місце фізичні і психофізичні небезпечні, а також шкідливі виробничі чинники:

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений або знижений рух повітря;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- відсутність або недостатність природного світла;
- підвищена пульсація світлового потоку;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- розумове перенапруження;
- емоційні навантаження;
- монотонність праці.

6.2 Заходи щодо техніки безпеки

Основним небезпечним чинником при роботі з ЕОМ є небезпека поразки людини електричним струмом, яка посилюється тим, що органи чуття людини не можуть на відстані знайти наявності електричної напруги на устаткуванні.

Проходячи через тіло людини, електричний струм чинить на нього складну дію, що є сукупністю термічної(нагрів тканин і біологічних середовищ), електролітичної(розкладання крові і плазми) і біологічної(роздратування і збудження нервових волокон і інших органів тканин організму) дій.

Тяжкість поразки людини електричним струмом залежить від цілого ряду чинників:

- значення сили струму;
- електричного опору тіла людини і тривалості протікання через нього струму;
- роду і частоти струму;
- індивідуальних властивостей людини і навколишнього середовища.

Розроблений дипломний проект передбачає наступні технічні способи і засоби, що застерігають людину від ураження електричним струмом [28]:

- заземлення електроустановок;
- занулення;
- захисне відключення;
- електричне розділення ятерів;
- використання малої напруги;
- ізоляція частин, що проводять струм;
- огорожа електроустановок.

Занулення зменшує напругу дотику і обмежує година, протягом якого людина, ткнувшись до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Струм однофазного короткого замикання визначається по наближеній формулі:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi} + \frac{Z_{\Gamma}}{3}}, \quad (6.1)$$

де U_{ϕ} - номінальна фазна напруга мережі, В;

Z_{Π} - повний опір петлі, створене фазними і нульовими дротами, Ом;

Z_{Γ} - повний опір струму короткого замикання на корпус, Ом.

Згідно таблиці 4 [29]: $Z_{\Gamma} / 3 = 0,1$ Ом.

Для провідників і жил кабелю для розрахунку повного опору петлі використовуємо формулу(4.2.) :

$$Z_{\Pi} = \sqrt{R_{\Pi}^2 + X_{\Pi}^2}, \quad (6.2)$$

де $R_{\Pi} = R_{\Phi} + R_0$ - сумарний активний опір фазного R_{Φ} і нульового R_0 дротів, Ом;

X_{Π} - індуктивний опір паяння дротів, Ом.

Перетин 1 км мідного дроту $S = 2.5$ мм, тоді згідно таблицям 5 і 6 [29], має такий опір:

$X_{\Pi} = 0,11$ Ом;

$R_{\Phi} = 7,55$ Ом;

$R_0 = 7,55$ Ом.

Отже, $R_{\Pi} = 7,55 + 7,55 = 15,1$ Ом.

Тоді по формулі (4.2) знаходимо повний опір петлі :

$$Z_{\Pi} = \sqrt{15,1^2 + 0,11^2} \approx 15,1 \text{ (Ом)}.$$

Струм однофазного короткого замикання рівний:

$$I_k = \frac{220}{15,1 + 0,1} = 14,47 \text{ (А)}.$$

Дія плавкої вставки на ПЕОМ забезпечується, якщо виконується співвідношення:

$$I_k \geq k * I_n, \quad (6.3)$$

де I_n - номінальний струм спрацьовування плавкої вставки, А;

k - коефіцієнт кратності нелінійного струму I_n , А.

Коефіцієнт кратності нелінійного струму I_n розраховується по формулі (6.4.) :

$$I_n = P / U, \quad (6.4)$$

де $P = 220$ Вт - споживана потужність;

$U = 220$ В - робоча напруга;

$k = 3$ А - для плавких вставок.

Отже, $I_n = 220 / 220 = 1$ А.

Підставивши значення у вираз (6.3), одержимо:

$$14,47 > 3 * 1.$$

Таким чином, доведено, що апарат забезпечить спрацьовування(і захист) при підвищенні номінального струму.

6.3 Заходи, що забезпечують виробничу санітарію і гігієну праці

Вимоги до виробничих приміщень встановлюються [30], СНіП, відповідними ГОСТами і ОСТАми з урахуванням небезпечних і шкідливих чинників, що утворюються в процесі експлуатації електроустаткування.

Підвищення працездатності людини і збереження її здоров'я забезпечується стабільними метеорологічними умовами. Мікроклімат виробничих приміщень [31] визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь. Значне коливання параметрів мікроклімату приводить до порушення систем кровообігу, нервової і потовидільної, що може викликати підвищення або пониження температури тіла, слабкість, запаморочення і навіть непритомність.

Відповідно до [32] встановлюють оптимальну і допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні . За відсутності надмірного тепла, вологи, шкідливих речовин в приміщенні досить природної вентиляції.

У приміщенні для виконання робіт операторського типу(категорія 1а), пов'язаних з нервово-емоційною напругою, проектом передбачається дотримання наступних нормованих величин параметрів мікроклімату (табл.6.1).

Таблиця 6.1 - Санітарні норми мікроклімату робочої зони приміщень для робіт категорії 1а.

Пора року	Температура, С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	22...24	40...60	0,1
Тепло	23...25	40...60	0,1

У приміщенні, де знаходиться ПЕОМ, повітрообмін реалізується за допомогою природної організованої вентиляції(з пристроєм вентиляційних каналів в перекриттях будівлі і вертикальних шахт) й устатовленого промислового кондиціонера фірми Mitsubishi, який дозволяє вирішити переважну більшість завдань по створінню та підтримці необхідних

параметрів повітряного середовища. Цей метод забезпечує приток потрібної кількості свіжого повітря, визначеного в СНіП (30 м^3 в годину на одного працівника).

Шум на виробництві має шкідливу дію на організм людини. Стомлення операторів через шум збільшує число помилок при роботі, призводить до виникнення травм. Для оператора ПЕОМ джерелом шуму є робота принтера. Щоб усунути це джерело шуму, використовують наступні методи. При покупці принтера слід вибрати найбільш шумозахисні матричні принтери або з великою швидкістю роботи(струменеві, лазерні). Рекомендується принтер поміщати в найбільш віддалене місце від персоналу, або застосувати звукоізоляцію та звукопоглинання(під принтер підкладають демпфуючі підкладки з пористих звукопоглинальних матеріалів з листів тонкої повсті, поролону, пеноплону).

При роботі на ПЕОМ, проектом передбачені наступні методи захисту від електромагнітного випромінювання : обмеження часом, відстанню, властивостями екрану.

Обмеження годині роботи на ПЕОМ складає 3,5-4,5 години. Захист відстанню передбачає розміщення монітора на відстані 0,4-0,5 м від оператора. Передбачений монітор 20" TFT, Samsung 2043BW відповідає вимогам стандарту [33].

Стандарт [33] пред'являє жорсткі вимоги в таких областях: ергономіка(фізична, візуальна і зручність користування), енергія, випромінювання(електричних і магнітних полів), навколишнє середовище і екологія, а також пожежна та електрична безпека, які відповідають всім вимогам [34].

Для зниження стомлюваності та підвищення продуктивності праці обслуговуючого персоналу в колірній композиції інтер'єру приміщень для ПЕОМ дипломним проектом пропонується використовувати спокійні колірні поєднання і покриття, що не дають відблисків.

У проекті передбачається використання сумісного освітлення. У світлий час доби приміщення освітлюватиметься через віконні отвори, в решту часу використовуватиметься штучне освітлення.

Як штучне освітлення необхідно використовувати штучне робоче загальне освітлення. Для загального освітлення необхідно використовувати люмінесцентні лампи. Вони володіють наступними перевагами: високою світловою віддачею, тривалим терміном служби, хоча мають і недоліки: високу пульсацію світлового потоку.

При експлуатації ПЕОМ виробляється зорова робота. Відповідно до [35] ця робота відноситься до розряду 5а. При цьому нормоване освітлення на робочому місці(Ен) при загальному освітленні рівна 200 лк.

Приміщення завдовжки 12 м, шириною 10 м, заввишки 4 м обладнується світильниками типу ЛП02П, оснащеними лампами типу ЛБ зі світловим потоком 3120 лм кожна.

Виконаємо розрахунок кількості світильників в робочому приміщенні завдовжки $a=12$ м, шириною $b=10$ м, заввишки $z=4$ м, використовуючи формулу (4.5) розрахунку штучного освітлення при горизонтальній робочій поверхні методом світлового потоку:

$$n = (E \cdot S \cdot Z \cdot k) / (F \cdot U \cdot M), \quad (6.5)$$

де F - світловий потік = 3120 лм;

E - максимально допустима освітленість робочих поверхонь = 200 лк;

S - площа підлоги = 120 м²;

Z - поправочний коефіцієнт світильника = 1,2;

k - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації світильників = 1,5;

n - кількість світильників;

U - коефіцієнт використання освітлювальної установки = 0,6;

M - кількість ламп у світильнику = 2.

З формули (6.5) виразимо n (6.6) і визначимо кількість світильників для даного приміщення:

$$n = (E \cdot S \cdot Z \cdot k) / (F \cdot U \cdot M), \quad (6.6)$$

Отже, $n = (200 \cdot 120 \cdot 1,2 \cdot 1,5) / (3120 \cdot 0,6 \cdot 2) = 12$.

Виходячи з цього, рекомендується використовувати 12 світильників. Світильники слід розміщувати рядами, бажано паралельно стіні з вікнами. Схема розташування світильників зображена на рис. 6.1.

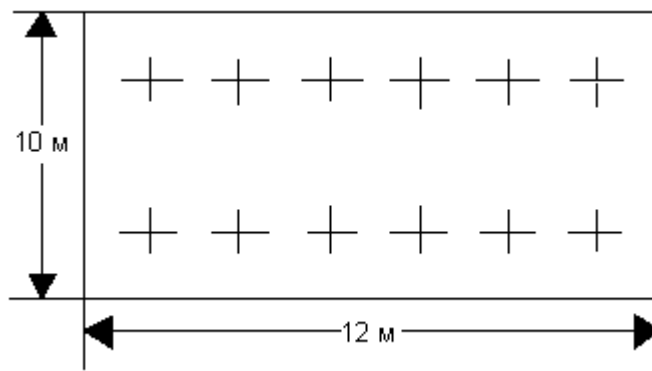


Рисунок 6.1 - Схема розташування світильників

6.4 Рекомендації по пожежній безпеці

Пожежі в приміщеннях, де встановлена обчислювальна техніка, представляють небезпеку для життя людини. Пожежі також пов'язані як з матеріальними втратами, так і з відмовою засобів обчислювальної техніки, що у свою чергу спричиняє за собою порушення ходу технологічного процесу.

Пожежа може виникнути при наявності горючої речовини та внесення джерела запалювання в горюче середовище. Пальними матеріалами в приміщеннях, де розташовані ПЕОМ, є:

- поліамід - матеріал корпусу мікросхеми, горюча речовина, температура самозаймання аерогелю 420 З ;
- полівінілхлорид - ізоляційний матеріал, горюча речовина, температура запалювання 335 З, температура самозаймання 530 З, кількість енергії, що виділяється при згоранні - 18000 - 20700 кДж/кг;
- стеклотекстоліт ДЦ - матеріал друкарських плат, важкозаймистий матеріал, показник горючості 1.74, не схильний до температурного самозаймання;
- пластика кабельний №489 - матеріал ізоляції кабелю, горючий матеріал, показник горючості більш 2.1;
- деревина - будівельний і обробний матеріал, матеріал з якого виготовлені меблі, горючий матеріал, показник горючості більше 2.1, теплота згорання 18731 - 20853 кДж/кг, температура запалювання 399 З, схильна до самозаймання [36].

Згідно [37] приміщення відносяться до категорії В(пожежовибухонебезпечним) і згідно правилам побудови електроустановок простір усередині приміщення відноситься до вогнебезпечної зони класу П - Па (зони, розташовані в приміщеннях, в яких зберігаються тверді горючі речовини).

Потенційними джерелами запалення при роботі ПЕОМ є:

- іскри при замиканні і розмиканні ланцюгів;
- іскри і дуги коротких замикань;
- перегріву від тривалого перевантаження і наявності перехідного опору.

Продуктами згорання, що виділяються при пожежі, є: оксид вуглецю, сірчистий газ, оксид азоту, синильна кислота, акролеїн, фосген, хлор та ін. При горінні пластмас, окрім звичайних продуктів згорання, виділяються різні продукти термічного розкладання: хлорангідридні кислоти, формальдегіди, хлористий водень, фосген, синильна кислота, аміак, фенол, ацетон, стирол та ін., що шкідливо впливають на організм людини.

Для захисту персоналу від дії небезпечних і шкідливих чинників пожежі проектом передбачається застосування промислового протигаза з коробкою марки В(жовта).

Пожежна безпека об'єктів народного господарства регламентується [38] і забезпечується системами запобігання пожежам і протипожежному захисту. Для успішного гасіння пожеж вирішальне значення має швидке виявлення пожежі і своєчасний виклик пожежних підрозділів до місця пожежі.

Зменшити горюче навантаження не представляється можливим, тому проектом передбачається застосувати наступні способи і їх комбінації для запобігання утворенню(внесення) джерел запалення :

- застосування устаткування, що задовольняє вимогам електростатичної безпеки;
- застосування в конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел запалення;
- виключення можливості появи іскрового заряду статичної електрики в горючому середовищі з енергією, рівної і вище мінімальної енергії запалення;
- підтримка температури нагріву поверхні машин, механізмів, устаткування, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти до контакту з палим середовищем, нижче гранично допустимої, становить 80% якнайменшої температури самозаймання пального.
- заміна небезпечних технологічних операцій більш безпечними;

- ізолюване розташування небезпечних технологічних установок і устаткування;
- зменшення кількості пальних і вибухонебезпечних речовин, що знаходяться у виробничих приміщеннях;
- запобігання можливості утворення пальних сумішей на лінії, вентиляційних системах і ін.;
- механізація, автоматизація та справність(потокова) виробництва;
- суворе дотримання стандартів і точне виконання встановленого технологічного режиму;
- запобігання можливості появи в небезпечних місцях джерел запалення;
- запобігання розповсюдженню пожеж і вибухів;
- використання устаткування і пристроїв, при роботі яких не виникає джерел запалення;
- виконання вимог сумісного зберігання речовин і матеріалів;
- наявність громовідводу;
- організація автоматичного контролю параметрів, що визначають джерела запалення;
- ліквідація можливості самозаймання речовин і матеріалів .
- Для запобігання пожежі в обчислювальних центрах проектом пропонується виконання наступних вимог :
 - електроживлення ЕОМ повинно мати автоматичне блокування відключення електроенергії на випадок зупинки системи охолодження і кондиціонування;
 - система вентиляції обчислювальних центрів повинна бути обладнана блокуючими пристроями, що забезпечують її відключення на випадок пожежі;
 - робочі місця повинні бути оснащені пожежними щитами, сигналізацією, засобами для сповіщення про пожежну небезпеку (телефонами), медичними аптечками для надання першої медичної допомоги, розробленим планом евакуації.

Для зниження пожежної небезпеки в приміщеннях використовуються первинні засоби гасіння пожеж, а також система автоматичної пожежної сигналізації, яка дозволяє знайти початкову стадію загоряння, швидко і точно оповістити службу пожежної охорони про час і місце виникнення пожежі.

Відповідно до [39] приміщення категорії В підлягають устаткуванню системами автоматичної пожежної сигналізації. Проектом передбачається застосування датчика типу

ІДФ - 1(димовий фотоелектричний датчик), оскільки специфікою пожеж обчислювальної техніки і радіоапаратури є, в першу чергу, виділення диму, а потім - підвищення температури.

При виникненні пожежі в робочому приміщенні обслуговуючий персонал зобов'язаний негайно вжити заходи по ліквідації пожежі. Для ліквідації пожежі використовують вогнегасники (хімічно-пінні, пінні для повітря ОП-5, ОП-6, ОП-9, вуглекислотні ОУ-5), пісок, пожежний інвентар(сокири, ломи, багри, шерстяну або азбестову ковдри) [40]. Як засіб індивідуального захисту проектом передбачається використання промислового протигаза з маскою, фільтруючої коробки В.

В якості організаційно-технічних заходів рекомендується проводити навчання робочого персоналу правилам пожежної безпеки.

6.5 Охорона навколишнього природного середовища

Діяльність за темою магістерської роботи, а саме розробці диспетчерського місця системи моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві впливає на навколишнє природне середовище і регламентується нормами діючого законодавства [41 - 46].

Основним екологічним аспектом в процесі діяльності за даними спеціальностями є процеси впливу на атмосферне повітря та процеси поводження з відходами, які утворюються, збираються, розміщуються, передаються на видалення (знешкодження), утилізацію, тощо в ІТ галузі.

Вплив на атмосферне повітря при нормальних умовах праці не оказує, бо не має в приміщенні сканерів, принтерів та інших джерел викиду забруднюючих речовин в повітря робочої зони.

В процесі створення/розробки програми на робочому місці виникають процеси поводження з відходами ІТ галузі. Нижче надано перелік відходів, що утворюються в процесі роботи:

- відпрацьовані люмінесцентні лампи - I клас небезпеки
- змінні носії інформації - IV клас небезпеки
- відпрацьовані вогнегасники - IV клас небезпеки
- макулатура - IV клас небезпеки

– відпрацьовані фільтрувальні засоби індивід. захисту (респіратори, протигази) - IV клас небезпеки

– побутові відходи - IV клас небезпеки

Наводяться вимоги зберігання виявлених за своєю роботою відходів відповідно до вимог Державних санітарних правил і норм [47].

Відходи в міру їх накопичення збирають у тару, відповідну класу небезпеки, з дотриманням правил безпеки, після чого доставляють до місця часового зберігання відходів відповідно до затвердженої схеми їх розміщення. Зазначені для зберігання відходів місця чи об'єкти повинні використовуватися лише для заявлених відходів.

Не допускається зберігання відходів у невстановлених схемою місцях, а також перевищення норм часового зберігання відходів.

Способи часового зберігання відходів визначаються видом, агрегатним станом і класом небезпеки відходів:

- Відходи I класу небезпеки зберігаються в герметичній тарі (сталеві бочки, контейнери). У міру наповнення тару з відходами закривають герметично сталевий кришкою;

- Відходи IV класу небезпеки можуть зберігатися відкрито на промисловому майданчику у вигляді конусоподібної купи, звідки їх автотранспортом перевантажують у самоскид і доставляють на місце утилізації або захоронення;

Не допускається змішування відходів різних видів і класів небезпеки.

Особливий контроль наділяється збору і зберіганню відпрацьованих ртутьвмісних ламп (енергоощадних) як відходам I класу небезпеки, що збираються і обов'язково передаються на утилізацію підприємствам, що мають ліцензію на поводження з такими небезпечними відходами.

Всі відходи, що утворюються в процесі діяльності/роботи, підлягають обліку.

Побутові та будівельні відходи вивозяться на полігон твердих побутових відходів міста, також відповідно до договору з комунальним дорожньо-експлуатаційним управлінням.

Особи, винні в порушенні встановленого порядку поводження з відходами (порушення правил обліку відходів, самовільне складування і видалення відходів, передача відходів в інші підприємства/організації з порушенням встановлених правил), згідно законодавства несуть дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було проведено дослідження існуючих технологій для збору сільськогосподарської інформації з використанням бездротових сенсорних мереж та інтелектуальних датчиків, а також подальшої її відправки до віддаленої базової станції.

БСМ передбачуваної конструкції у даній роботі використовується в галузі рослинництва, де контролюються різні параметри навколишнього середовища, які суттєво впливають на врожайність вирощуваних культур.

В результаті виконання даної роботи запропоновано оптимальний спосіб моніторингу параметрів навколишнього середовища, який може подолати недоліки, існуючі в сучасних системах бездротових сенсорних мереж. Було визначено, що моніторинг параметрів з використанням бездротових сенсорних мереж на базі плоского протоколу маршрутизації і підходу multi-hop призводить до відчутного збільшення тривалості функціонування і скорочення вартості розгортання подібної мережі приблизно на 20% завдяки застосуванню алгоритму TPSMA для розміщення сенсорних вузлів в межах контрольованої території. Використання поведінкового алгоритму TPSMA при побудові БСМ здатне забезпечити достатній ступінь покриття відслідковується території при збереженні максимально здійсненою тривалості функціонування, а також підтримки масштабованості мережі.

Однак, незважаючи на існування різних типів протоколів маршрутизації в бездротових сенсорних мережах, все ще існує велика потреба в нових протоколах, які могли б бути простіше в реалізації і при цьому істотно продовжити термін служби мережі. При необхідності збільшення площі контрольованої території, або при видаленні її в просторі на істотну відстань, варто задуматися про впровадження системи зчитування інформації датчиків сенсорної мережі за допомогою безпілотних літальних апаратів. Подібна система може істотно збільшити фінансові витрати фермера, однак вона є досить логічним розвитком тематики даної атестаційної роботи.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» виконано аналіз потенційних небезпек при роботі із засобами обчислювальної техніки і механізмами, розроблені заходи щодо техніки безпеки, заходи, які забезпечують виробничу санітарію і гігієну праці, розраховане штучне освітлення, виконані рекомендації по пожежній безпеці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Intae K. Maximizing static network lifetime of wireless broadcast ad hoc networks / K. Intae, R. Poovendran // Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, May 2003. – Anchorage, USA. – vol. 3. – pp. 2256–2261.
2. Heinzelman W. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks / W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan // Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), August 1999. – Seattle, USA. – pp. 174–185.
3. Intanagonwiwat C. Directed diusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks / C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin // Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), August 2000. – Boston, USA. – pp. 56–67.
4. Braginsky D. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks / D. Braginsky, D. Estrin // Proceedings of the first Workshop on Sensor Networks and Applications, 28 September 2002. – Atlanta, USA. – pp. 22–31.
5. Schurgers C. Energy efficient routing in wireless sensor networks / C. Schurgers, M.B. Srivastava // Proceedings of the IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 28–31 October 2001. – Washington, USA. – vol. 1. – pp. 357–361.
6. Ilyas M. The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks / M. Ilyas. – CRC Press, Boca Raton, USA, 2003. – 556 p.
7. Rabaey J. PicoRadio: ad-hoc wireless networking of ubiquitous low energy sensor-monitor nodes / J. Rabaey, J. Ammer, J.L. da Silva Jr., D. Patel // Proceedings of the IEEE Computer Society Annual Workshop on VLSI (WVLSI'00), April 2000. – Orlando, USA. – pp. 9–12.
8. Savvides C. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors / C. Savvides, C. Han, M. Srivastava // Proceedings of ACM MobiCom'01, July 2001. – Rome, Italy. – pp. 166–179.
9. Shah R. C. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks / R. C. Shah and J. Rabaey // Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 17–21 March 2002, Orlando, USA. – vol. 1. – pp. 350–355.

10. Bormann Carsten 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet / Carsten Bormann, Zach Shelby – John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 245 p.
11. Servetto S. Constrained Random Walks on Random Graphs Routing Algorithms for Large Scale Wireless Sensor Networks / S. Servetto, G. Barrenechea // Proceedings of the first International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 28 September 2002. – Atlanta, USA. – pp. 12–21.
12. Li L. Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited / L. Li, J. Y. Halpern // Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), June 2001. – Helsinki, Finland. – vol. 1. – pp. 278–283.
13. Chong C. Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges / C. Chong, S. P. Kumar // Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), August 2000. – Boston, USA. – pp. 56–67.
14. Mahlkecht S. WSSN (Wireless Self-sustaining Sensor Network) Project / Mahlkecht S. // Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), September 2005. – Orlando, USA. – pp. 25–32.
15. Hoblos G. Optimal Design of Fault Tolerant Sensor Networks / G. Hoblos, M. Staroswiecki, A. Aitouche // Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications, September 2000. – Anchorage, USA. – pp. 467–472.
16. Estrin D. Instrumenting the world with wireless sensor networks. / D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, M. Srivastava // International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2001), May 2001. – Salt Lake City, Utah. – pp. 114–120.
17. Shih E. Energyefficient link layer for wireless microsensor networks. / E. Shih, B.H. Calhoun, S. Cho, A. Chandrakasan // Proceedings IEEE Computer Society Workshop on VLSI 2001, April 2001. – Orlando, FL. – pp. 16–21.
18. Al-Karaki J. N. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey / J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal // IEEE Wireless Communications, December 2004. – vol. 11. – pp. 6–28.
19. Elson J. Random, ephemeral transaction identifiers in dynamic sensor networks. / J. Elson, D. Estrin, // Proceedings 21st International Conference on Distributed Computing Systems, April 2001. – Mesa, AZ. – pp. 459–468.
20. Shen C. Sensor information networking architecture and applications. / C. Shen, C. Srisathapornphat, C. Jaikao // IEEE Personal Communications, August 2001. – pp. 52–59.
21. Yiyue W. Wireless sensor network deployment using an optimized artificial fish swarm algorithm / W. Yiyue, L. Hongmei, and H. Hengyang // Proceedings of the International

Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE '12), March 2012. – Hangzhou, China. – vol. 2. – pp. 90–94.

22. Zhang L. OPEN: an optimisation scheme of N-node coverage in wireless sensor networks / L. Zhang, D. Li, H. Zhu, L. Cui, // IET Wireless Sensor Systems, April 2012. – Beijing, China. – vol. 2, no. 1. – pp. 40–51.

23. Begg C. M. Scent-marking behaviour of the honey badger, *Mellivora capensis* (Mustelidae), in the Southern Kalahari / C. M. Begg, K. S. Begg, J. T. Du Toit, M. G. L. Mills // *Animal Behaviour*. – 2003. – vol. 66, no. 5. – pp. 917–929.

24. Descovich K.A. Differential responses of captive southern hairy-nosed wombats (*Lasiorhinus latifrons*) to the presence of faeces from different species and male and female conspecifics / K. A. Descovich, A. T. Lisle, S. Johnston, V. Nicolson, C. J. C. Phillips // *Applied Animal Behaviour Science*. – 2012. – vol. 138, no. 1. – pp. 110–117.

25. Kershner R. The number of circles covering a set / R. Kershner // *The American Journal of Mathematics*. – 1939. – vol. 61, no. 3. – pp. 665–671.

26. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

27. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

28. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

29. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.

30. СН 245-71 (ДНАОП 0.03-3.01-71) Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий

31. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

32. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

33. TCO' 07 Certified Displays. © 2007 Copyright TCO Development AB

34. ДСанПіН 3.3.2.007-98, Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

35. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення

36. ГОСТ 12.1.044-89 Система стандартів безпеки праці. Пожаровзривоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
37. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
38. ГОСТ 12.1.004-91. "Система стандартів безпеки праці. Пожарная безопасность. Общие требования".
39. НАПБ А.01.001-2014 "Правила пожежної безпеки в Україні"
40. НАПБ Б.03.001-2004. Про затвердження Типових норм належності вогнегасників.
41. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
42. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»
43. Закон України «Про відходи»
44. Закон України «Про охорону атмосферного повітря»
45. Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру»
46. Водний кодекс України
47. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу безпеки для здоров'я населення.

ДОДАТОК А Електронні плакати

Східноукраїнський національний університет ім.В.Даля
Кафедра Комп'ютерних наук та інженерії

Магістерська робота Бездротова система віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві

Студент:
Михайличенко С.О.

Науковий керівник:
доц. Недзельський Д.О.

2018 г.

Мета атестаційної роботи

Дослідження існуючих технологій для збору параметрів навколишнього середовища в рослинництві, визначення оптимального способу зчитування інформації з датчиків, а також розробка системи комп'ютерного моніторингу, яка може подолати недоліки, що існують при побудові і використанні бездротових сенсорних мереж (БСМ).

Приклад застосування БСМ в рослинництві

- контроль температури і вологості ґрунту може істотно вплинути на підвищення врожайності
- використання БСМ здатне забезпечити автоматизацію процесів управління температурними, і іншими необхідними, режимами для ефективного вирощування польових культур без участі операторів



Беспроводные сенсорные сети (БСС) состоят из некоторого числа автономных устройств (сенсорных узлов), которые обрабатывают и передают информацию, полученную различными встроенными датчиками (температуры, влажности и т. д.)



3

Постановка завдань роботи

- ➔ Провести дослідження існуючих технологій побудови мереж з метою вибору оптимального способу побудови системи віддаленого моніторингу сільськогосподарських параметрів в рослинництві;
- ➔ Визначити найбільш значущі недоліки, існуючі при побудові і використанні сучасних бездротових сенсорних мереж;
- ➔ Виконати огляд літератури за вибором топології розроблюваної мережі, необхідних датчиків, а також найбільш енергоефективного способу збору значень з датчиків;
- ➔ Провести дослідження з метою визначення, і подальшого застосування, ефективного алгоритму покриття контрольованої території датчиками для скорочення вартості розгортання мережі, а також забезпечення достатнього ступеня покриття території при збереженні максимально можливої тривалості функціонування і підтримки масштабованості мережі.

4

Основні проблеми, що існують при побудові і використанні БСМ в рослинництві

Мала ємність вбудованих джерел живлення сенсорних вузлів при необхідності моніторингу протягом тривалого періоду часу



Підвищення енергоефективності мережі

Потреба у великій кількості датчиків, що тягне за собою високу вартість розгортання мережі



Оптимізація покриття території датчиками при зменшенні їх кількості

5

Бездротові сенсорні мережі (БСМ)



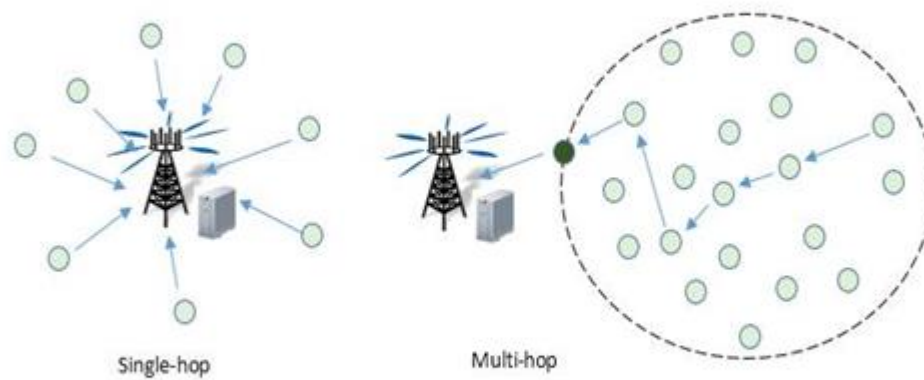
Схематичне зображення системи, що розробляється на основі БСМ

Технології ZigBee і Wi-Fi

Назва стандарту мережі	Wi-Fi/IEEE 802.11	ZigBee/IEEE 802.15.4
Тип мережі	WLAN	WPAN
Застосування	Інтернет, E-mail, Відео зв'язок	Моніторинг і керування
Термін служби від акумулятора(днів)	0,5–5	1000+
Дальність передачі (метрів)	1–100	1–100+
Потрапи	Швидкість, Універсальність	Надійність, Вартість, Енергоефективність

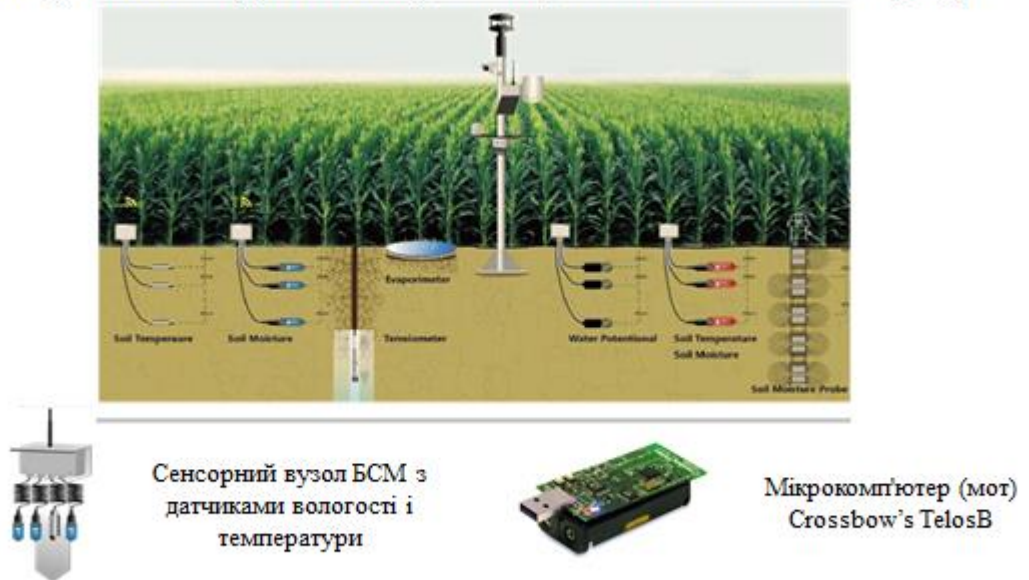
6

Способи збору даних в БСМ



7

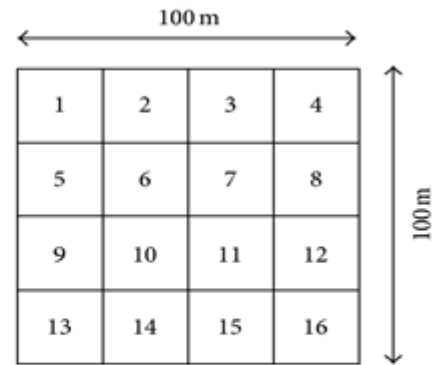
Схема установки в ґрунт інтелектуальних датчиків вологості і температури



8

Territorial Predator Scent Marking Algorithm (TPSMA)

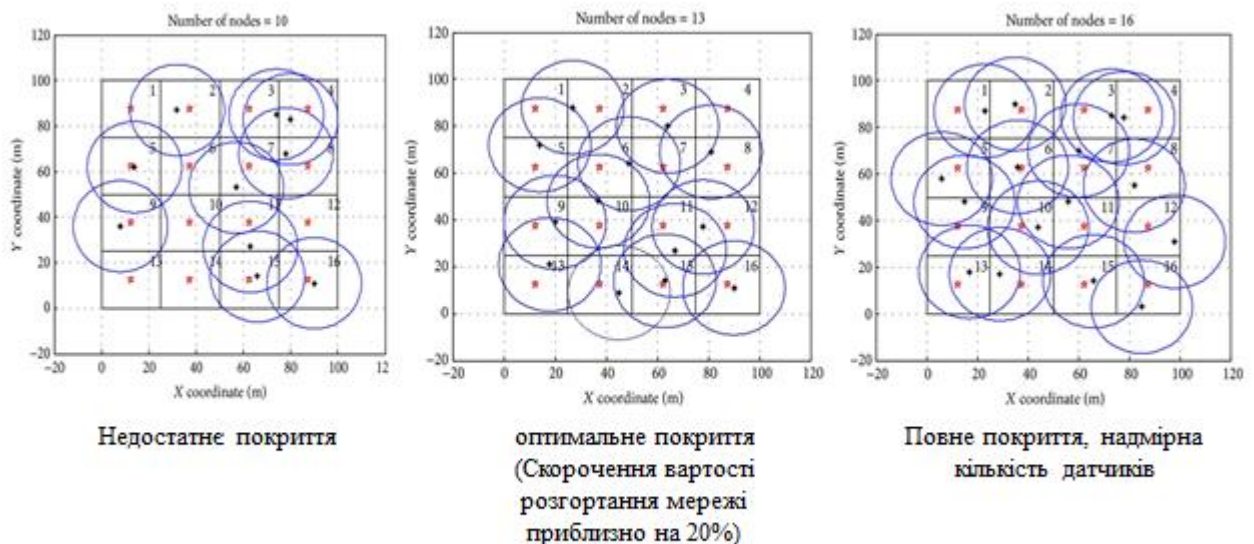
- Поведінковий алгоритм TPSMA використовує біологічно засновану техніку оптимізації покриття території датчиками, що імітує поведінку територіальних хижаків в процесі мічення (маркування) контрольованої території.
- Більшість хижаків використовують свій запах для позначення меж контрольованої території виходячи з певного фактора - розподілу харчових ресурсів.
- Сенсорний вузол ідентифікує область покриття, ґрунтуючись на «відзначених» територіях, по аналогії з порівнянням запахів хижаків, яке дозволяє відрізнити членів своєї популяції від «самозванців».



Схематичне зображення контрольованої території, розділеної на 16 рівних локацій

9

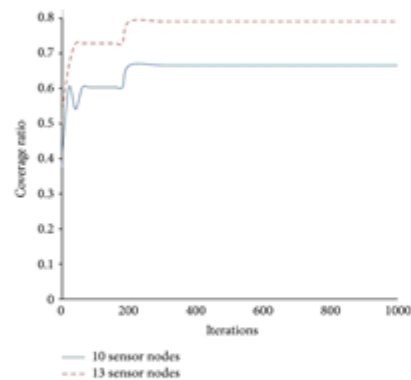
Порівняння ступеня покриття території різною кількістю сенсорних вузлів



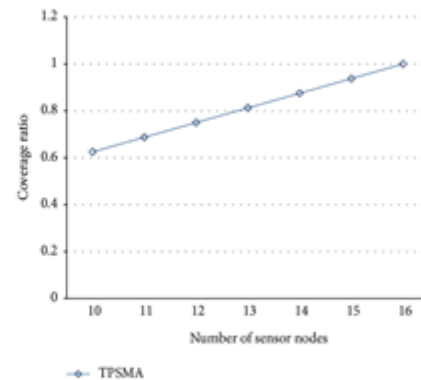
10

Результати моделювання

Алгоритм TPSMA використовує цільову функцію забезпечення максимального покриття і передбачає збереження масштабу і максимально можливої тривалості функціонування мережі



Процес збіжності алгоритму TPSMA для 10 і 13 сенсорних вузлів



Коефіцієнт покриття в залежності від різної кількості вузлів

11

Висновки

- Розроблено систему моніторингу параметрів навколишнього середовища на основі бездротової сенсорної мережі;
- Визначено, що, при застосуванні в рослинництві, для досягнення відчутного збільшення тривалості функціонування мережі вельми доцільним є використання способу збору даних з датчиків multi-hop;
- В результаті досліджень за час виконання роботи було встановлено, що впровадження алгоритму TPSMA для розташування сенсорних вузлів призведе до скорочення вартості розгортання мережі приблизно на 20%;
- Результатами моделювання було підтверджено, що використання алгоритму TPSMA при розміщенні датчиків здатне забезпечити достатній рівень покриття відслідковується території при збереженні масштабованості мережі.

12

Дякую за увагу!

