

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-  
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології

(код, найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело*

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор ТОРОШАНКО  
Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр.ІСД-41  
Ігор ТОРОШАНКО  
Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

Керівник: Олександр КІС  
науковий ступінь, Ім'я, ПРИЗВИЩЕ  
вчене звання

Рецензент: \_\_\_\_\_  
науковий ступінь, Ім'я, ПРИЗВИЩЕ  
вчене звання

Київ 2024

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Інженерія програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІПЗАС

\_\_\_\_\_ Каміла СТОРЧАК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
**Торошанко Ігор Іванович**

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами

керівник кваліфікаційної роботи Олександр КІС

*(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «27» лютого 2024 р. № 36

Строк подання кваліфікаційної роботи «31» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- технології і протоколи мережної взаємодії
- технології забезпечення безпеки бездротової сенсорної мережі
- віддалений доступ до мережних ресурсів.

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

1. Аналіз бездротової технології передачі даних
2. Принцип логічної структуризації та захисту бездротової сенсорної мережі
3. Розробка структурної схеми бездротової сенсорної мережі
4. Висновки та рекомендації

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання: «27» лютого 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обробка теоретичної частини	27.02-05.03.2024	
2	Написання 1 розділу	06.03-11.03.2024	
3	Написання 2 розділу	12.03-27.03.2024	
4	Написання 3 розділу	28.03-10.04.2024	
5	Написання 4 розділу	10.04-19.05.2024	
6	Оформлення випускової роботи, обґрунтування результатів дослідження	19.05-26.05.2024	
7	Підготовка демонстраційних матеріалів	26.05.-29.05.2024	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор ТОРОЩАНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр КІС

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр: 51 стор., 10 рис., 21 джерело.

**Мета роботи** — розробка алгоритму для автоматизованого аналізу та обробки результатів вимірювань в сенсорних мережах з мобільними агентами.

**Об'єкт дослідження** — автоматизація обробки даних у сенсорних мережах за допомогою мобільних агентів.

**Предмет дослідження** — сенсорна мережа з мобільними агентами.

**Методи дослідження** – теорія систем передачі даних, системний аналіз, теорія моделювання, порівняльний аналіз, ймовірність і математична статистика.

**Короткий зміст роботи:** Проведено аналіз сенсорних мереж та обробку даних з використанням мобільних агентів. Встановлено що, сенсорні мережі з мобільними агентами мають сучасні апаратні та програмні засоби. Було досліджено наявність програмного забезпечення для обробки даних та баз даних. Всі дані вимірювань та опитувань користувачів зберігаються в надійній системі та структурованій базі даних. Розроблено алгоритм прийому та автоматизованої обробки даних.

**Галузь використання** — промислові підприємства, лікарні, навчальні заклади, системи безпеки, системи моніторингу стану навколишнього середовища.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СЕНСОРНА МЕРЕЖА, МОБІЛЬНИЙ АГЕНТ, ОБРОБКА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИМІРЮВАННЯ, АЛГОРИТМ АНАЛІЗ.

## ABSTRACT

Text part of the bachelor level qualification work: 51 pages, 10 figures, 21 source.

***Purpose*** - to develop an algorithm for automated analysis and processing of measurement results in sensor networks with mobile agents.

***Object of research*** - automation of data processing in sensor networks with the help of mobile agents.

***Subject of research*** - sensor network with mobile agents.

***Research methods*** - theory of data transmission systems, system analysis, modeling theory, comparative analysis, probability and mathematical statistics.

***Summary of the work:*** The analysis of sensor networks and data processing with the use of mobile agents was carried out. It was found that sensor networks with mobile agents have modern hardware and software. The availability of data processing software and databases was investigated. All measurement data and user surveys are stored in a reliable system and structured database. An algorithm for receiving and automated data processing has been developed.

***Applications:*** industrial enterprises, hospitals, educational institutions, security systems, environmental monitoring systems.

**KEYWORDS:** SENSOR NETWORK, MOBILE AGENT, PROCESSING, SOFTWARE, MEASUREMENT, ANALYSIS ALGORITHM.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

**ПОДАННЯ  
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ  
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Направляється здобувач Торошанко І.І. до захисту кваліфікаційної роботи  
*(прізвище та ініціали)*

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології  
*(код, найменування спеціальності)*

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
*(назва)*

на тему: «Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами».

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ \_\_\_\_\_  
*(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

**Висновок керівника кваліфікаційної роботи**

Здобувач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача(ки) \_\_\_\_\_ на оцінку « \_\_\_\_\_ » та присвоїти йому (їй) кваліфікацію \_\_\_\_\_ .

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
*(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу**

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Торошанко І.І. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою \_\_\_\_\_  
*(назва) (підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавра**

здобувача вищої освіти Торошанко Ігор Іванович

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

на тему: «Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами»

**Актуальність.**

Кваліфікаційна робота Торошанка Ігоря Івановича на тему «Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами» є надзвичайно актуальною. Сучасні сенсорні мережі відіграють важливу роль у багатьох галузях, включаючи охорону здоров'я, промисловість, екологічний моніторинг та інші сфери. Розробка ефективних методів автоматизації обробки даних у таких мережах є ключовим завданням для підвищення їхньої продуктивності та надійності. Використання мобільних агентів для збору та обробки даних дозволяє значно знизити витрати на обслуговування та підвищити точність вимірювань.

**Позитивні сторони.**

1. Глибокий аналіз сучасних методів автоматизації обробки даних у сенсорних мережах, що свідчить про високий рівень теоретичної підготовки здобувача.
2. Розробка інноваційного підходу до використання мобільних агентів для збору та обробки вимірювань, що демонструє вміння здобувача застосовувати теоретичні знання на практиці.
3. Результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність запропонованих методів та рішень, є вагомим внеском у розвиток даної галузі.

**Недоліки.**

1. Деякі розділи роботи потребують більш детального опису методів математичного моделювання та алгоритмів, використаних у дослідженні.
2. Робота могла б бути доповнена більш ґрунтовним аналізом економічної ефективності впровадження запропонованих рішень.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи бакалаврської.

**Висновок:** *кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Торошанко Ігор Іванович заслуговує присвоєння кваліфікації: бакалавр з інформаційних систем та технологій.*

Рецензент:

*науковий ступінь, вчене звання*

*підпис*

*Ім'я, ПРИЗВИЩЕ*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 БЕЗПРОВОДОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА.....	12
1.1 Терміни та поняття .....	12
1.2 Застосування MAS в WSN.....	16
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЬОВАНІ ПІДХОДИ .....	24
2.1 Відстеження цілей.....	24
2.2 Застосування в системах охорони здоров'я.....	25
2.3 Застосування в міській системі управління.....	27
2.4 Помічник пожежника.....	28
РОЗДІЛ 3 БЕЗПЕКА БАЗИ ДАНИХ.....	30
3.1 Зведення даних.....	30
3.2 Виявлення та моніторинг подій.....	32
3.3 Виявлення вторгнень.....	35
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	41
4.1 TeleCARE.....	43
4.2 SwarmSense.....	44
4.3 Багатоагентська розподілена інформаційна платформа.....	47
4.4. Перспективи впровадження нових програмних рішень для WSN.....	48
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	62
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ(презентація).....	69



## **ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ**

WSN - бездротова сенсорна мережа.

FoV - поля перегляду даних.

BS - базова станція.

QoS - технологія надання різних класів трафіку різних пріоритетів в обслуговуванні.

SMMA – сенсорні мережі з мобільними агентами.

MAS - багатоагентна система.

IDS - системі виявлення вторгнень.

WBAN - безпроводові мережі корпусів.

## ВСТУП

**Актуальність теми:** Використання мобільних агентів у сенсорних мережах для автоматизації обробки вимірювань стає все більш актуальним завдяки своїм численним перевагам. Ця технологія має широкий спектр застосування як у наукових, так і в промислових сферах.

**Мета і завдання дослідження:** Мета цієї роботи полягає в розгляді аналізу та автоматизованої обробки результатів вимірювань у сенсорних мережах з мобільними агентами.

**Завдання дослідження включають:**

- Проведення огляду сучасних сенсорних мереж.
- Дослідження актуальності програмного забезпечення для обробки та зберігання даних у сенсорних мережах.
- Вибір ефективних методів обробки та зберігання даних у сенсорних мережах з мобільними агентами.
- Дослідження алгоритму автоматизованої обробки даних у сенсорних мережах з мобільними агентами.
- Оцінка алгоритму автоматизованої обробки даних.

**Об'єкт дослідження:** вимірювання в сенсорних мережах з мобільними агентами.

**Предмет дослідження:** сенсорна мережа з мобільними агентами, а саме її архітектура, програмне забезпечення та алгоритми обробки даних.

**Методи дослідження:** у дослідженні використовувалися різні наукові методи, включаючи: теорія систем передачі даних, методи системного аналізу, імітаційне моделювання, порівняльний аналіз, теорія ймовірності та математичної статистики

**Наукова новизна:** полягає у дослідженні нових алгоритмів збору та обробки даних, інтеграції мобільних агентів для підвищення ефективності мереж, а також

впровадженні методів машинного навчання для аналізу даних. Це дозволить оптимізувати енергоспоживання, забезпечити надійність передачі даних та підвищити безпеку сенсорних мереж.

***Апробація:***

1. I Всеукраїнська науково-технічна конференція "Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу" , 28 листопада 2023 року , ДУІКТ – «Огляд JavaScript Фреймворків для створення користувацьких інтерфейсів»

2. V Міжнародна науково-технічна конференція «сучасний стан та перспективи розвитку ІОТ» ,18 квітня 2024 року, ДУІКТ – «Аналітичний огляд принципів побудови безпроводових сенсорних мереж»

3. Design wireless sensor networks using mobile agents/I. Toroshanko, I.Boiko,O.Kis,O.Varfolomeeva. Measuringand computing devices in technological processes. 2024. No. 1. P. 216–221.

# 1 БЕЗПРОВОДОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА

## 1.1 Терміни та поняття

Термін "безпроводові сенсорні мережі" (WSN) відкривають перед нами світ інноваційних мережевих систем, які складаються з бездротових сенсорних вузлів та виконавчих механізмів. Ці мережі (Рис. 1.1) створюються завдяки використанню розподілених, самоорганізованих та енергоефективних бездротових пристроїв, які автоматично збирають дані для різноманітних застосувань в області моніторингу [1].

WSN відіграють ключову роль у вирішенні різноманітних завдань, починаючи від моніторингу навколишнього середовища і закінчуючи використанням у медичних діагностичних системах. Основною операцією WSN є збір необхідних даних з їхнього поля перегляду (FoV), що може включати в себе різноманітні параметри, такі як температура, вологість, тиск, рух та багато інших. Після збору ці дані передаються на базову станцію (BS) для подальшої обробки або виконання різноманітних завдань, що можуть включати в себе аналіз, моніторинг або реагування на певні події [1].

Одним з ключових переваг WSN є їхній розподілений та самоорганізований характер. Це означає, що вони можуть працювати в умовах, коли вузли можуть бути розташовані у віддалених або важкодоступних місцях, таких як відкриті простори, підземні тунелі або великі будівлі. Крім того, WSN мають енергоефективний дизайн, що дозволяє їм працювати на довгих відстанях без необхідності частого заміни батарей або зарядки.

Загалом, безпроводові сенсорні мережі відкривають безліч можливостей для застосування в різних галузях, від промисловості та сільського господарства до медицини та досліджень. Їхній потенціал для забезпечення зручного, ефективного та енергоефективного моніторингу навколишнього середовища робить їх незамінним інструментом для сучасного світу технологій [7].

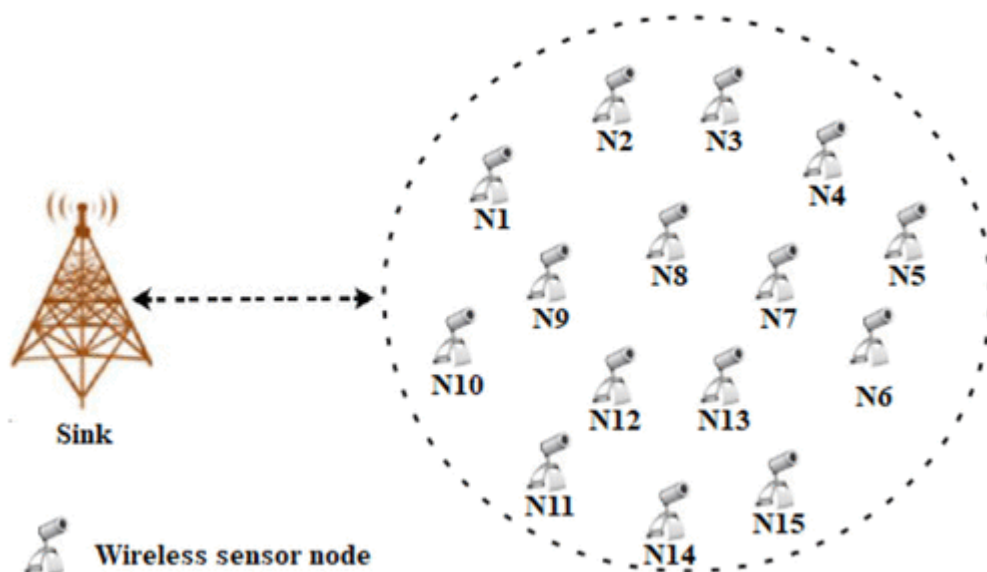


Рис. 1.1 Загальна схема бездротової сенсорної мережі [5]

Сенсорні мережі з мобільними агентами (СММА) відзначаються низькопотужною обробкою та розподіленим зондуванням, що робить їх потужним інструментом для різноманітних застосувань. Ці мережі відіграють значну роль у вирішенні проблем, пов'язаних зі збором, обробкою та передачею даних у реальному часі.

Однією з важливих областей застосування СММА є системи контролю руху. В містах, де дорожній рух стає все більшим викликом, використання мобільних агентів може ефективно вирішувати ці проблеми. Наприклад, завдяки СММА водії можуть отримувати інформацію про оптимальні маршрути, які допомагають уникнути заторів та зменшити час на дорозі. Крім того, ці мережі можуть надавати інформацію про доступні парковочні місця, допомагаючи водіям знаходити місце для стоянки швидше та зручніше [3].

У системах контролю руху використання мобільних агентів також сприяє виявленню порушень правил дорожнього руху. За допомогою датчиків та камер, розташованих на дорогах та перехрестях, мобільні агенти можуть виявляти неправильне пересування, перевищення швидкості та інші порушення. Ця інформація

може бути використана для вжиття заходів щодо покращення безпеки на дорогах та попередження аварій.

Таким чином, сенсорні мережі з мобільними агентами відіграють важливу роль у вдосконаленні систем контролю руху в містах. Вони не лише забезпечують водіїв необхідною інформацією для оптимізації їхніх переміщень, але й сприяють підвищенню безпеки та регулюванню дорожнього руху.

Далі, СММА можуть бути застосовані в автоматизованій допомозі людям похилого віку та біомедичному моніторингу здоров'я. Вони забезпечують надійний контроль за показниками здоров'я, такими як температура тіла, пульс, артеріальний тиск тощо, без перешкод для пацієнтів. Це дозволяє вчасно виявляти небезпечні стани та покращує якість медичного обслуговування.

Також, за допомогою СММА можна створити системи моніторингу навколишнього середовища. Вони забезпечують постійний контроль за станом навколишнього середовища в різних галузях, від сільськогосподарських до промислових. Це допомагає вчасно реагувати на потенційні загрози та забезпечує безпеку працівників та мешканців. Нарешті, встановлення СММА може бути корисним для віртуальної реальності, дозволяючи користувачам отримати доступ до захоплюючих місць та подій, не покидаючи свої домівки. Це може бути корисним для віддалених екскурсій, навчання та віртуальних зустрічей [3].

Таким чином, застосування мобільних агентів у сенсорних мережах дозволяє автоматизувати обробку вимірювань і розширює можливості їх використання в різних сферах, від моніторингу дорожнього руху до біомедичного моніторингу та віртуальної реальності.

У бездротових сенсорних мережах (WSN) виявлено кілька проблем, які потребують негайного вирішення, не дивлячись на значний технологічний прогрес у сфері апаратних рішень та алгоритмів. Однією з найактуальніших серед них є обмежені ресурси енергії. Враховуючи, що вузли WSN все ще живляться від акумуляторів обмеженої ємності, мережа нерідко стикається з проблемою вичерпання

енергії, особливо в умовах важкодоступних місць або на великих відстанях, де заміна або зарядка акумуляторів неможлива.

У світлі цієї проблеми виникає необхідність у впровадженні ефективних стратегій управління енергією. Один із можливих підходів полягає у застосуванні мобільних агентів. Мобільні агенти - це програмні або апаратні засоби, які можуть пересуватися в мережі, збирати та обробляти дані, а також виконувати завдання на основі отриманої інформації. Використання мобільних агентів дозволяє зберігати дані на локальних пристроях і передавати їх до центральної станції лише за потреби, що зменшує споживання енергії та оптимізує використання ресурсів.

Проте важливо враховувати, що використання мобільних агентів також пов'язане з певними обмеженнями. Наприклад, це може призвести до збільшення затримок у передачі даних та зниження надійності мережі. Тому необхідно проводити додаткові дослідження та розробляти оптимальні алгоритми роботи мобільних агентів (Рис. 1.2) з метою забезпечення ефективності та надійності WSN [2].

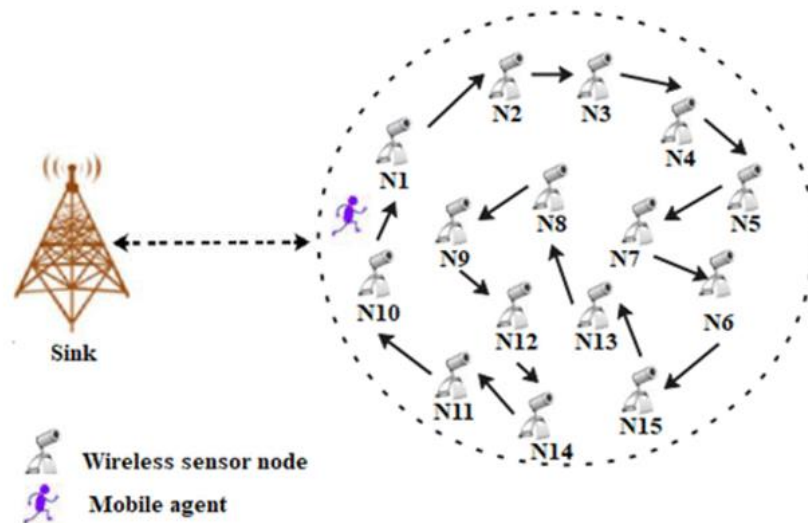


Рис. 1.2 Загальна схема одного мобільного агента в безпроводових сенсорних мережах [5]

## 1.2 Застосування MAS в WSN

Для автоматизації обробки вимірювань у сенсорній мережі за допомогою мобільних агентів, деякі дослідники пропонують використання багатоагентних систем (MAS). У цьому підході MAS розглядається як група мобільних агентів, які працюють разом та координуються для досягнення загальної мети. Кожен агент має власний маршрут та завдання в мережі бездротових сенсорів. Ця концепція ілюструється на Рис. 1.3, де показано взаємодію трьох мобільних агентів в рамках WSN (загальна схема WSN показана на Рис.1.1).

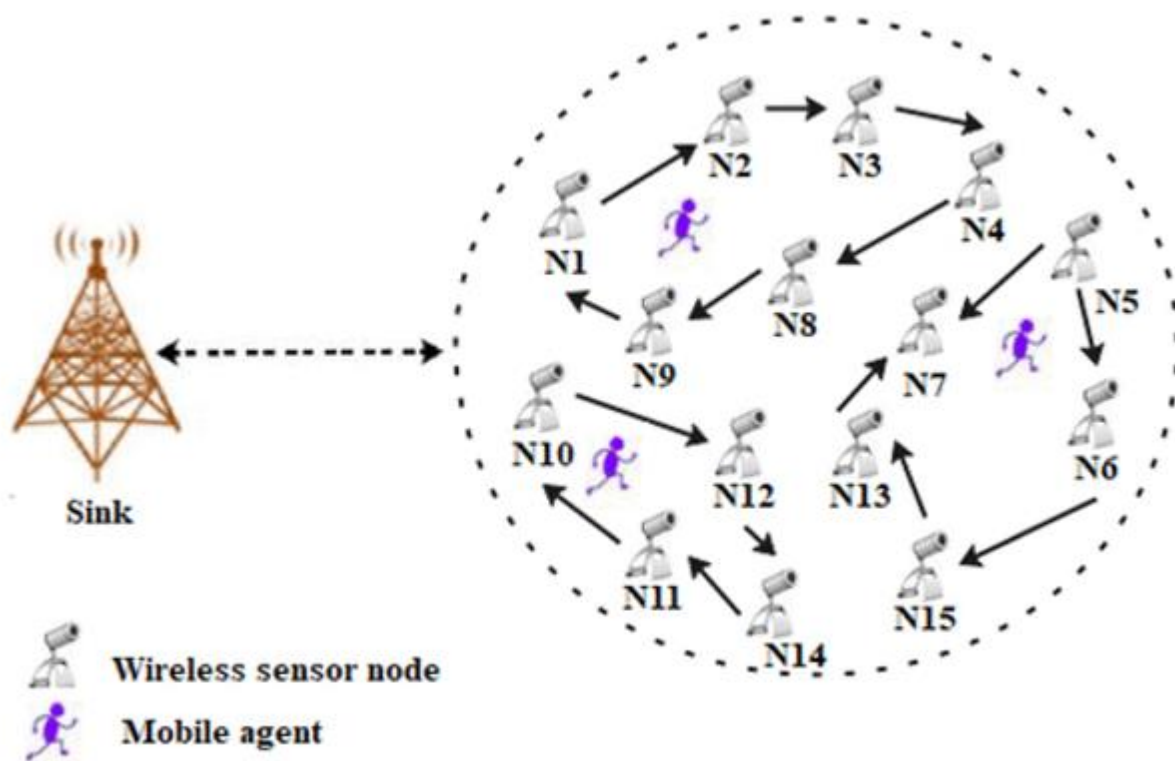


Рис. 1.3 Загальна структура системи з багатьма агентами в бездротових сенсорних мережах [6]

За рахунок ефективності багатоагентних систем (MAS) в бездротових сенсорних мережах (WSN), багато дослідників моделюють різні підходи та реалізують



різноманітні застосування в різних наукових та промислових галузях. У науковій літературі та на практиці MAS застосовуються для вирішення академічних проблем, таких як системи виявлення/відстеження об'єктів, медичні системи, системи охорони здоров'я, контролю/асистенції та системи безпеки. Крім того, поєднання методів обробки вимірювань та багатоагентних систем призводить до розробки різних реальних застосувань, таких як медичні системи/системи догляду за людьми, безпілотні літальні апарати та мобільні роботи. Схема програм на основі мобільних агентів у бездротових сенсорних мережах (зображена на Рис. 1.4).

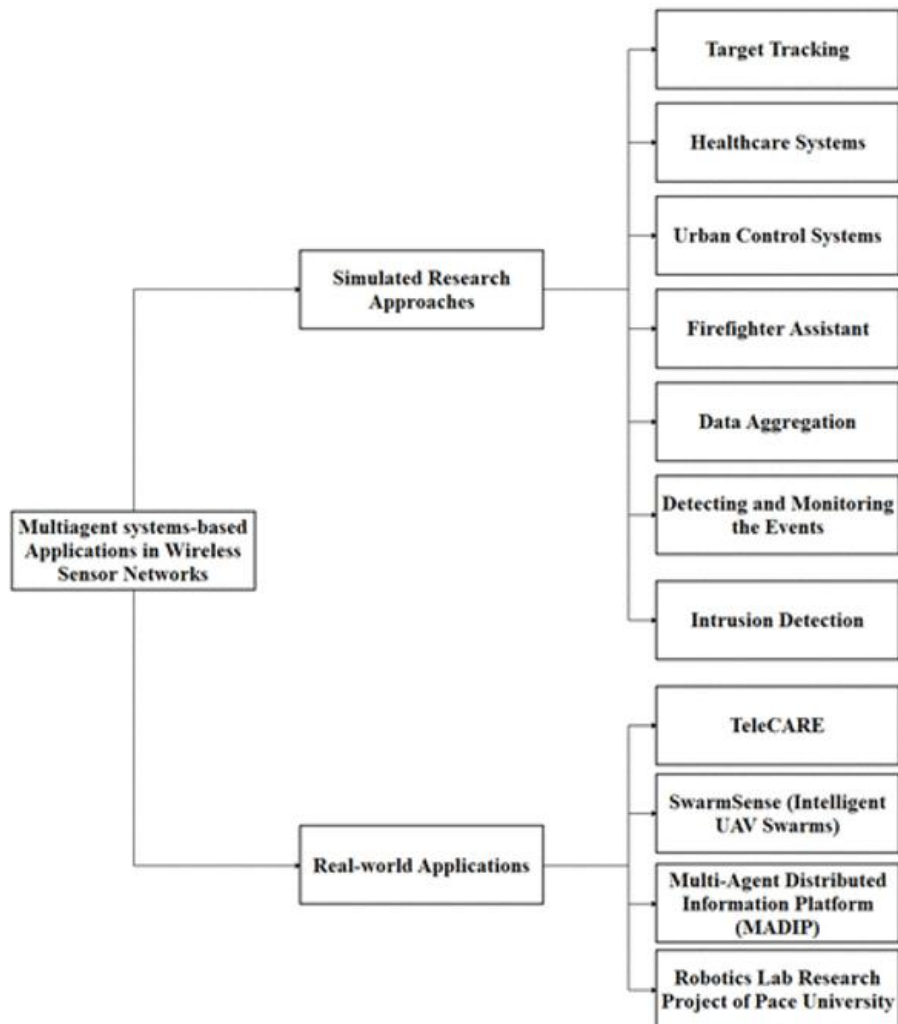


Рис. 1.4 Загальна концепція програм, які базуються на мобільних агентах у бездротових сенсорних мережах [7]

У огляді розглядається інтеграція обчислювальних одиниць з бездротовими сенсорними мережами (WSN), їх ефективність, обмеження та пропонується нова платформа для реалізації багатоагентних додатків у WSN.

У комерційних, медичних та промислових системах роль бездротових сенсорних мереж (WSN) полягає в тому, щоб забезпечувати моделювання та практичні програми, що можуть використовувати технології штучного інтелекту. Метою цих додатків є розширення мереж для забезпечення інтелектуальних та економічних рішень, спрямованих на зменшення споживання енергії бездротових сенсорних вузлів та підвищення рівня комфорту у повсякденному житті. В цьому контексті наведено огляд застосувань багатоагентних систем у бездротових сенсорних мережах [1.a.i.2].

Використання багатоагентних систем у WSN має дві ключові переваги. По-перше, агенти допомагають знижувати споживання пропускну здатності, пересилаючи програмний код для обробки та збору даних безпосередньо на місце розташування сенсорних вузлів, які збирають інформацію. По-друге, багатоагентні системи забезпечують гнучкість та спрощують обробку інформації у WSN. Ці переваги сприяють розповсюдженню підходів багатоагентних систем у різних застосуваннях WSN.

Серед різноманітних застосувань багатоагентних систем у WSN деякі є лише концепціями або рамками, які моделюються або реалізуються в обмеженому масштабі, наприклад, у наукових лабораторіях. Проте існують і широкомасштабні підходи, які успішно застосовуються у реальних системах. Рис.1.5 демонструє розподіл наукових публікацій та веб-сайтів, присвячених застосуванням багатоагентних систем у WSN та їхній року публікації. Ці дані свідчать про зростаючий інтерес до поєднання багатоагентних систем та бездротових сенсорних мереж з метою поліпшення якості життя та ефективного використання енергії та інших обчислювальних ресурсів.

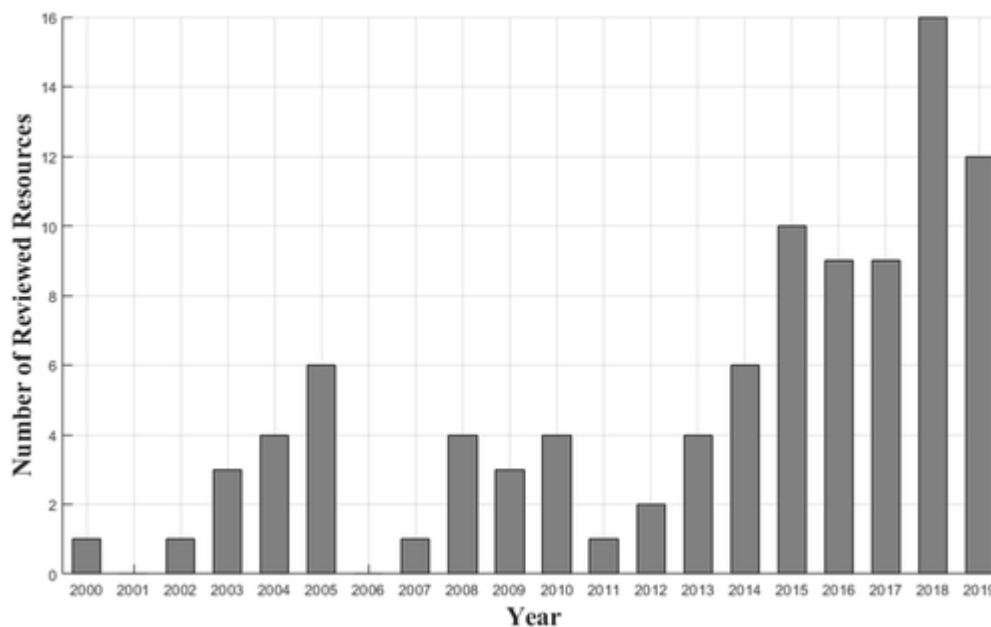


Рис. 1.5 Розподіл рецензованих статей/сайтів за роками їх публікації [10]

В цьому розділі наведено зведений огляд наукових досліджень та ресурсів в Інтернеті, які були рецензовані та опубліковані за різні роки, що стосуються використання мобільних агентів для автоматизації обробки вимірювань у сенсорних мережах.

#### *Компоненти WSN:*

Сенсорні вузли є основними елементами безпроводових сенсорних мереж (WSN), які виконують функції збирання, обробки та передачі даних.

Датчики в сучасних системах забезпечують надійне вимірювання різноманітних фізичних параметрів, які варіюються від температури та вологості до тиску, освітленості та концентрації газів. Вони функціонують як посередники між фізичним середовищем та електронними системами, перетворюючи змінні величини в електричні сигнали для подальшої обробки. Важливими характеристиками датчиків є їхня чутливість та точність, оскільки ці властивості визначають їхню здатність точно вимірювати параметри в різних умовах експлуатації. Точність є особливо важливою для забезпечення надійності та точності даних, які отримуються від датчиків у реальному часі [14].

Типи процесорів: У сенсорних вузлах найчастіше використовуються мікроконтролери або мікропроцесори з низьким енергоспоживанням. Мікроконтролери зазвичай інтегрують в собі процесорний ядро, пам'ять та периферійні пристрої, що робить їх компактними та енергоефективними. Вони можуть бути на базі архітектури ARM, AVR, MSP430 та інших. Такі процесори спроектовані спеціально для виконання простих завдань, що робить їх ідеальними для використання в пристроях з обмеженим енергоспоживанням.

Функції процесорів: Основна функція процесора у сенсорному вузлі – обробка даних, отриманих від різних датчиків. Процесор аналізує ці дані, здійснює їх попередню обробку, фільтрацію та прийняття рішень на основі заданих алгоритмів. Крім того, процесор контролює роботу всього вузла, включаючи енергоспоживання, стан датчиків та інші компоненти. Також він керує передачею даних до інших вузлів або базової станції [14].

Енергоефективність: Це одна з найважливіших характеристик процесорів для сенсорних вузлів, оскільки ці пристрої часто живляться від батарей. Для продовження часу роботи від батареї процесори повинні мати можливість працювати в режимах зниженої потужності або ж переходити в режим сну, коли не виконуються критичні завдання. Сучасні мікроконтролери підтримують кілька енергозберігаючих режимів, що дозволяє значно знижувати енергоспоживання у періоди низької активності.

Базові станції (BS) є ключовими компонентами безпроводових сенсорних мереж (WSN), виконуючи функції збору, обробки та передачі даних від сенсорних вузлів до центрального сервера або інших систем для подальшого аналізу та прийняття рішень. Базові станції отримують дані від численних сенсорних вузлів, які можуть бути розташовані на великій території. Ці дані можуть включати інформацію про температуру, вологість, тиск, рух та інші параметри середовища. Після збору даних базові станції виконують попередню обробку, включаючи фільтрацію шуму, агрегацію даних та інші види попередньої обробки. Це зменшує обсяг даних, які потрібно передати на центральний сервер, та підвищує ефективність роботи мережі. Оброблені

дані передаються на центральний сервер або до хмарних сервісів через дротові або бездротові канали зв'язку. Це дозволяє централізовано зберігати та аналізувати дані для прийняття рішень та управління системами [20].

Базові станції повинні мати достатню обчислювальну потужність для обробки великого обсягу даних у реальному часі. Це включає не тільки обробку даних, але й виконання алгоритмів для виявлення аномалій та генерації звітів. Надійність базових станцій є критично важливою, особливо в критичних застосуваннях, таких як медичний моніторинг або безпека. Вони повинні забезпечувати стабільне з'єднання та надійну передачу даних, мінімізуючи можливість втрати інформації. Базові станції зазвичай живляться від постійних джерел енергії, таких як електрична мережа. Водночас, вони можуть бути обладнані резервними батареями, щоб забезпечити безперебійну роботу у випадку відключення основного джерела живлення.

Актори, або виконавчі механізми, є компонентами WSN, які виконують активні дії у відповідь на отримані дані або команди. Вони значно розширюють функціональність сенсорних мереж, дозволяючи не тільки збирати дані, але й взаємодіяти з середовищем.

Механічні актори є пристроями, що виконують фізичні дії, такі як відкривання або закривання клапанів, переміщення об'єктів, управління роботами тощо. Вони часто використовуються в промислових автоматизованих системах та робототехніці. Електричні актори контролюють електричні параметри, такі як ввімкнення або вимкнення світла, управління електричними двигунами, регулювання напруги тощо. Ці актори часто застосовуються в системах автоматизації будівель та енергозбереження. Хімічні актори дозують або змішують хімічні речовини, використовуються в промислових та медичних застосуваннях. Вони можуть бути використані для контролю якості води, в промислових процесах або в медичних лабораторіях [19].

Актори виконують дії у відповідь на зміни в середовищі, виявлені сенсорними вузлами, такі як зміна температури, рівня вологості або виявлення руху. Наприклад, у

системі розумного будинку актор може увімкнути опалення при зниженні температури. Актори можуть працювати у взаємодії з іншими системами автоматизації та контролю, забезпечуючи комплексні рішення для управління процесами. Це може включати інтеграцію з системами безпеки, клімат-контролю або промислової автоматизації.

Точність та швидкість реакції визначають ефективність виконання завдань. Актори повинні виконувати свої функції з високою точністю та швидкістю, щоб забезпечити належний рівень контролю та управління. Енергоефективність особливо важлива для автономних систем, де актори живляться від батарей. Енергоефективні актори дозволяють знизити витрати на енергію та продовжити час автономної роботи системи. Надійність акторів має бути високою, щоб уникнути збоїв у роботі та забезпечити безперервне виконання завдань, особливо в критичних умовах.

Взаємодія між сенсорними вузлами, базовими станціями та акторами є критично важливою для забезпечення ефективного функціонування безпроводових сенсорних мереж. Ця взаємодія дозволяє реалізувати різні сценарії застосування, такі як моніторинг здоров'я, контроль за екологічними параметрами, автоматизація будівель та інше [5].

Сенсорні вузли можуть напряму передавати дані на базову станцію. Це спрощує структуру мережі та знижує затримки в передачі даних, але може вимагати більших витрат енергії від сенсорних вузлів. Вузли можуть використовувати інші вузли для передачі даних через багатоступеневі маршрути. Такий підхід дозволяє зменшити витрати енергії на передачу даних та збільшити радіус дії мережі, але вимагає складніших алгоритмів маршрутизації.

Актори отримують команди на основі даних, зібраних сенсорними вузлами. Наприклад, система зрошення може увімкнути полив на основі даних про вологість ґрунту. Актори можуть надсилати дані про виконані дії до сенсорних вузлів для моніторингу результатів. Це дозволяє контролювати ефективність виконаних дій та вносити корективи у разі потреби.

Бездротові сенсорні мережі (WSN) стають все більш поширеними, адже вони використовуються для збору та передачі даних у різних сферах, таких як промисловість, охорона здоров'я та моніторинг довкілля. Оскільки WSN часто збирають та передають чутливу інформацію, важливо забезпечити їх захист від кібератак.

Два основних механізми, які використовуються для забезпечення безпеки WSN, це шифрування та аутентифікація.

*Шифрування* перетворює дані на незрозумілий формат, який може бути прочитаний лише авторизованими користувачами, що володіють ключем дешифрування. Це гарантує, що навіть якщо злоумисник перехопить дані, що передаються через мережу, він не зможе їх зрозуміти.

*Аутентифікація* підтверджує ідентичність сенсорних вузлів та інших компонентів мережі. Це робиться для того, щоб запобігти несанкціонованому доступу до системи та гарантувати, що з нею взаємодіють лише авторизовані пристрої.

Використання шифрування та аутентифікації в бездротових сенсорних мережах (WSN) надає їм низку суттєвих переваг, роблячи їх більш надійними та безпечними для використання у різних сферах.

*Захист конфіденційності даних:* Шифрування гарантує, що лише авторизовані користувачі, які володіють відповідним ключем дешифрування, можуть отримати доступ до чутливої інформації, що передається через WSN. Це робить неможливим для злоумисників, які перехопили дані, зрозуміти їх зміст, захищаючи тим самим конфіденційність.

*Забезпечення цілісності даних:* Завдяки шифруванню дані захищені від несанкціонованого змінення або пошкодження під час передачі через мережу. Це гарантує, що отримана інформація буде точною та незмінною, що є критично важливим для багатьох застосувань WSN [6].

## 2 МОДЕЛЬОВАНІ ПІДХОДИ

В цьому розділі наведено огляд програм, що використовують МА у бездротових сенсорних мережах (WSN) для моделювання або реалізації в обмеженому масштабі з метою академічних досліджень.

### 2.1 Відстеження об'єктів

Одним із ключових застосувань МА у WSN є відстеження об'єктів, що розробляється для моніторингу руху мобільних об'єктів та передачі їхньої позиції з мінімальною затримкою. Tseng використовує МА для відстеження об'єктів у WSN, застосовуючи простий алгоритм локалізації, відомий як трилатерація, для періодичного надсилання позицій мобільних об'єктів до базової станції. В рамках цього підходу вузли WSN оцінюють місцеположення об'єктів, використовуючи інформацію, що вони збирають або отримують від своїх сусідів. Об'єктивне положення позначається колами, що формуються на основі вимірювань, наданих базовою станцією. Для задоволення вимог відстеження об'єктів МА має три компоненти: материнський агент і два дочірніх. Материнський агент направляє своїх дітей до сусідніх вузлів WSN для отримання точної інформації про положення конкретного мобільного об'єкта. Варто зазначити, що материнський агент може співпрацювати з іншими дочірніми агентами для покращення процесу відстеження об'єктів та досягнення більш точних результатів [15].

Для поліпшення процесу відстеження об'єктів у WSN, Xu та Qi запропонували інше використання МА. Запропонований ними метод передбачає, що ефективніше використовувати МА у WSN після виявлення нового мобільного об'єкта. Згідно з цією гіпотезою, МА переходить до вузла WSN, який збирає дані поступово, обробляє їх, а потім повертає отриману інформацію на базову станцію в кожному випадку виявлення нових об'єктів. Інтелектуальна диспетчеризація МА може уникнути надмірних витрат



на агрегацію даних та зайву міграцію МА між вузлами WSN. Засновуючись на інтелектуальному диспетчерському підході МА, Kamate та Yilmazer стверджують, що розумне використання МА для відстеження об'єктів у WSN може поліпшити якість обслуговування в різних реальних додатках, таких як автоматичні літальні апарати, військовий/цивільний моніторинг та контроль руху.

Big Data та розподілені обчислення, такі як технологія МА, є однією з основних проблем у WSN. Тінг та інші висловлюють думку, що автономні обчислювальні вузли є найбільш прийнятною моделлю для відстеження даних у широкомасштабних та ресурсомістких WSN для роботи з великими обсягами даних. Автори, які розглядали стратегію міграції обчислювальних вузлів у WSN, виявили характеристики відстеження об'єктів в таких мережах та представили алгоритми для вирішення проблеми відстеження, розглядаючи питання співпраці між вузлами. Забезпечення оптимального підходу для управління потоком в мобільних WSN - це ще одна ключова проблема, яка виникає у відстеженні об'єктів. Для вирішення цієї проблеми Khodayari та інші запропонували метод, що ґрунтується на метаевристичних алгоритмах для управління групою та відстеження об'єктів у спеціальних мережах [15].

## **2.2 Застосування в системах охорони здоров'я**

Останнім часом спостерігаються значні прогреси у сфері інтелектуальних медичних пристроїв, таких як безпроводові мережі корпусів (WBAN), системи телемоніторингу охорони здоров'я (HTS), а також постачальники розважальних послуг. Фактично, пацієнти та люди похилого віку потребують постійного моніторингу та негайних реакцій у надзвичайних ситуаціях, а іноді їхнє життя може бути під загрозою. Тому поєднання штучного інтелекту та спеціальних мереж здійснюється з метою покращення уваги науково-дослідницької спільноти та забезпечення зростання в цій області.

Постачальники послуг ставлять за мету поліпшення комфорту пацієнтів та людей похилого віку, пропонуючи можливість контролювати їх життєві показники в будь-який час та з будь-якої відстані. Фактично, розвиток ефективних підходів до надання віддалених систем охорони здоров'я став головним завданням для наукової спільноти. HTS є одним із прийнятних методів для вирішення цієї проблеми, дозволяючи спеціалізованому персоналу в будь-який момент контролювати життєво важливі показники пацієнтів та людей похилого віку з віддаленого медичного центру. Такі системи складаються з трьох основних підсистем: локальної підсистеми моніторингу у будинку пацієнтів або людей похилого віку, підсистеми віддаленого моніторингу в медичному центрі та мережі, яка об'єднує ці дві підсистеми. Робота HTS полягає у тому, що дані про пацієнтів/людей похилого віку, такі як температура тіла та їхнє місцезнаходження, збираються бездротовими датчиками. Для ефективної обробки цих даних використовуються динамічні та самоадаптивні механізми, які забезпечують належну обробку енергії та пам'яті [17].

Наприклад, Alonso та його колеги запропонували HTS для покращення стану електронної медичної допомоги для інвалідів та людей похилого віку, що проживають у власних будинках. Запропонована система використовує архітектуру SYLPH (сервісні шари над легкими фізичними пристроями), яка інтегрує різноманітні бездротові датчики та підхід SOA (архітектура, орієнтована на сервіс), щоб поліпшити розподіл ресурсів та сприяти включенню нових функціональних можливостей у дуже динамічні середовища. Крім того, архітектура SYLPH може бути інтегрована з MA для забезпечення високодинамічних послуг у галузі охорони здоров'я. Для розв'язання проблем безпеки у WBAN, Thamilarasu та його колеги використовують міграцію та спільну роботу автономних MA для виявлення вторгнень. Кожен MA у системі виявлення вторгнень має здатність до навчання та може приймати рішення про розподіл своїх знань та досвіду між обчислювальними вузлами бездротових датчиків по WBAN [10].

### 2.3 Застосування в міській системі управління

У сучасних умовах, коли міста стрімко розвиваються та стикаються зі зростаючим транспортним потоком, жителі столичних районів стикаються з низкою проблем, таких як неочікувані затори, високий ризик дорожньо-транспортних пригод, надмірне використання палива та забруднення повітря. Крім того, керування комерційним освітленням є ще однією важливою проблемою, яка впливає на бюджет міста. Ефективне вирішення цих проблем можливе завдяки інтеграції систем управління містом з інтелектуальними технологіями, такими як бездротові сенсорні мережі (WSN) та системи на основі мобільних агентів (MAS).

Один з методів вирішення цих проблем полягає у використанні MAS та WSN для керування комерційним освітленням у центральних районах міста. Це дозволяє ефективно використовувати ресурси та зменшує навантаження на мережу за допомогою штучного інтелекту та розподіленого навчання. Наприклад, в системі, запропонованій Сандху та його колегами, бездротові сенсорні вузли здійснюють вимірювання світла, температури, місцезнаходження та інші параметри у фізичному середовищі, а система на основі мобільних агентів використовується для оптимізації керування освітленням, забезпечуючи прийняття рішень, навчання та гнучкість системи.

Для поліпшення умов пересування мешканців столичних районів, Крус-Піріс та його колеги розробили метод, що використовує аналіз центральності графіків для визначення найкращих місць розташування бездротових датчиків у мережі дорожнього руху. Для забезпечення ефективності системи, бездротові вузли інтегровані з системою, що базується на мобільних агентах, яка включає агентів управління світлофором, агентів регулювання руху та агентів виявлення заторів. Цей підхід дозволяє автоматизувати системи керування та регулюванням трафіком з використанням можливостей оптимізаційних алгоритмів [6].

З метою зменшення навантаження на мережу WSN при моніторингу якості повітря, Wang пропонує використання системи на основі мобільних агентів. Згідно з цією концепцією, мобільні агенти спочатку розподіляються у визначені регіони для збору даних про якість повітря, а потім передають ці дані до центральної системи після закінчення визначеного періоду часу. Цей підхід дозволяє зменшити навантаження на мережу, оскільки агенти передають лише агреговану інформацію [8].

## 2.4 Помічник пожежника

У контексті автоматизації обробки вимірювань у сенсорних мережах за допомогою мобільних агентів, важливою роллю відіграє проміжне програмне забезпечення, таке як Agilla. Це програмне забезпечення є ключовим компонентом, який сприяє підвищенню ефективності та надійності адаптивних програм у бездротових сенсорних мережах (WSN). Agilla працює, генеруючи різноманітних мобільних агентів та розсилаючи їх по WSN для виконання різних автономних операцій, пов'язаних з різними додатками, і потім збирає отримані дані від всіх бездротових датчиків [13].

У конкретному випадку відстеження пожеж на основі мобільних агентів, Agilla використовується для оптимізації процесу виявлення та реагування на пожежі у сенсорних мережах. Цей підхід передбачає використання різних типів агентів, які виконують різні функції для максимально ефективного виявлення та відстеження пожеж. Наприклад:

- Агенти відстеження пожеж виявляють області, де виникла пожежа, та координуються між собою для ефективного реагування на пожежу.
- Статичні протипожежні агенти генерують статичні форми вогню, що допомагають оцінити ефективність системи виявлення пожеж.

- Динамічні вогнезахисні агенти імітують поширення вогню в середовищі моніторингу сенсорної мережі, створюючи вогніща та швидко поширюючись до сусідніх вузлів бездротових датчиків [4].

Цей комплексний підхід дозволяє автоматизувати процес виявлення та реагування на пожежі у бездротових сенсорних мережах за допомогою мобільних агентів, забезпечуючи високу ефективність і надійність системи. Використання мобільних агентів, зокрема на базі платформи Agilla, надає численні переваги, які є критично важливими для забезпечення безпеки в промислових і житлових приміщеннях.

Мобільні агенти в сенсорних мережах працюють як програмні модулі, які можуть пересуватися між вузлами мережі, виконуючи різноманітні завдання. У контексті виявлення пожежі, ці агенти можуть динамічно змінювати своє місце розташування для збору даних з різних сенсорних вузлів, аналізу зібраної інформації та прийняття рішень у режимі реального часу. Це дозволяє значно підвищити точність і швидкість виявлення небезпечних ситуацій, порівняно з традиційними стаціонарними сенсорними мережами.

Однією з ключових переваг використання Agilla є можливість швидкого і гнучкого реагування на змінні умови середовища. Agilla забезпечує мобільним агентам здатність самостійно приймати рішення про те, які вузли відвідувати для збору найактуальнішої інформації. Наприклад, якщо один сенсорний вузол виявляє підвищену температуру, мобільний агент може миттєво переміститися до сусідніх вузлів, щоб перевірити наявність інших ознак пожежі, таких як дим або зміна рівня кисню. Таким чином, використання мобільних агентів у сенсорних мережах для виявлення та реагування на пожежі значно підвищує ефективність та надійність цих систем. Завдяки Agilla, система може швидко адаптуватися до змінних умов, забезпечувати оперативну обробку даних та автоматизувати заходи реагування, що є вкрай важливим для забезпечення безпеки в різноманітних середовищах [5].

## 3 БЕЗПЕКА БАЗИ ДАНИХ

### 3.1 Зведення даних

В сучасному світі бездротові сенсорні мережі (WSN) стають невід'ємною частиною багатьох сфер життя, від моніторингу навколишнього середовища до медичних систем та промислового контролю. Ефективне збирання та обробка даних є ключовими аспектами роботи WSN, адже саме від них залежить точність, надійність та енергоефективність всієї системи [18].

*Агрегація даних* - це процес об'єднання та стиснення інформації, зібраної від різних сенсорних вузлів. Це дозволяє:

- *Зменшити обсяг переданої інформації:* Замість того, щоб передавати дані з кожного вузла окремо, агрегація об'єднує їх у менші пакети, що економить пропускну здатність мережі та зменшує енергоспоживання.
- *Підвищити масштабованість:* WSN можуть налічувати тисячі або навіть мільйони сенсорних вузлів. Агрегація даних робить їх управління та обробку інформації більш ефективними, навіть у великих мережах.
- *Покращити якість даних:* Завдяки агрегації можна виявляти закономірності та шуми в даних, що робить їх більш достовірними та корисними для аналізу [21].

Існує два основних підходи до агрегації даних у WSN:

*Модель клієнт-сервер:* Дані від сенсорних вузлів передаються на центральний сервер, де вони об'єднуються та обробляються. Цей підхід простий у реалізації, але може стати неефективним у великих мережах з обмеженою пропускну здатністю.

*Використання мобільних агентів:* Мобільні агенти - це програмні модулі, які можуть переміщатися по мережі WSN, збираючи дані з сенсорних вузлів та обробляючи

їх на місці. Цей підхід більш гнучкий та масштабований, але потребує більш складного програмного забезпечення [1].

Для досягнення максимальної ефективності агрегації даних важливо не лише використовувати відповідні методи передачі, але й оптимізувати процес обробки інформації. Це можна зробити за допомогою кількох підходів. Перш за все, контекстно-орієнтована обробка враховує контекст, в якому збираються дані, що дозволяє більш точно та економно об'єднувати їх. Використання контекстної інформації допомагає оптимізувати процес збору та агрегації даних, забезпечуючи високу точність і мінімальне енергоспоживання.

Крім того, розумні алгоритми маршрутизації відіграють ключову роль в оптимізації маршрутів передачі даних. Вони здатні значно зменшити затримки і енергоспоживання, вибираючи найефективніші шляхи для передачі інформації через мережу. Це забезпечує не лише швидку доставку даних, але й збереження ресурсів мережі.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та еволюційних алгоритмів відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації агрегації даних у бездротових сенсорних мережах (WSN). ШІ та еволюційні алгоритми можуть автоматично відстежувати зміни в мережі та адаптуватися до них. Це гарантує, що процес агрегації даних завжди буде максимально ефективним, навіть у мінливих умовах.

Впровадження нових технологій дозволяє також оптимізувати маршрутизацію даних. За допомогою ШІ можна знаходити найкращі маршрути для передачі даних, що зменшує затримки та енергоспоживання. ШІ аналізує поточний стан мережі та обирає оптимальні шляхи для передачі інформації, забезпечуючи ефективність та надійність передачі [12].

Крім того, ШІ може виявляти аномалії та помилки у зібраних даних. Аналізуючи дані в режимі реального часу, ШІ може виявляти відхилення від нормальної роботи, що допомагає покращити якість даних та своєчасно виявляти можливі проблеми. Це дозволяє забезпечити більш надійну та безпечну роботу сенсорної мережі.

Таким чином, впровадження контекстно-орієнтованої обробки, розумних алгоритмів маршрутизації та технологій штучного інтелекту значно покращує процес агрегації даних у бездротових сенсорних мережах, забезпечуючи ефективність, надійність та енергозбереження.

Агрегація даних є ключовим аспектом роботи WSN, що забезпечує ефективне збирання, обробку та передачу інформації. Завдяки впровадженню нових технологій можливо значно покращити продуктивність, надійність та енергоефективність WSN, роблячи їх ще більш корисними та універсальними інструментами для збору та аналізу даних [13].

### **3.2 Виявлення та моніторинг подій**

У межах поступового розвитку бездротових сенсорних мереж (WSN), виявляється широкий спектр можливих застосувань, що охоплюють важливі галузі, такі як виявлення лісових пожеж, моніторинг стану сільського господарства, контроль над повеннями, моніторинг катастрофічних землетрусів та збереження біорізноманіття навколишнього середовища. Наприклад, однією з успішних сфер використання бездротових сенсорних мереж є можливість виявлення та моніторингу лісових пожеж. Початкова ідея застосування WSN для цієї мети виникла внаслідок потреби у швидкому виявленні лісових пожеж, особливо в районі Сан-Франциско, штат Каліфорнія. Інтеграція мобільних агентів та бездротових сенсорних вузлів, які здійснюють вимірювання температури, барометричного тиску та вологості, може значно полегшити процес виявлення пожежі та сприяти швидким діям з придушення та контролю подальшого поширення вогню.



Завдяки успішним дослідженням, що ґрунтуються на мобільних агентах у сенсорних мережах, вчені Trivedi та Srivastava внесли свій внесок у розвиток підходів до оптимізації процесу виявлення та моніторингу лісових пожеж з метою зменшення енергоспоживання бездротових датчиків. Їхні пропозиції охоплюють низку ключових аспектів, які спрямовані на покращення ефективності моніторингу та виявлення пожеж. Перш за все, вони зосереджуються на оптимізації сенсорних даних, досліджуючи методи зменшення обсягу та інтенсивності передачі інформації. Зокрема, використання контекстно-орієнтованої обробки на рівні сенсорних вузлів дозволяє відфільтрувати надлишкові або несуттєві дані, що значно підвищує ефективність системи.

Ще одним важливим аспектом є ефективне використання енергії. Вони розробляють стратегії управління енергоспоживанням, які дозволяють зберігати та ефективно використовувати енергію сенсорних вузлів. Це досягається завдяки спрощеним алгоритмам агрегації даних та розумному розподілу завдань між вузлами, що сприяє зниженню енергетичних витрат і продовженню терміну служби мережі.

Крім того, підвищення надійності та швидкості реакції є ще одним важливим аспектом їхніх пропозицій. Вони вдосконалюють механізми виявлення пожежі та впроваджують системи автоматичного сповіщення та реагування. Це дозволяє оперативно реагувати на виникнення небезпеки та уникати загрози для життя та майна. Такі системи забезпечують швидку і надійну ідентифікацію пожежі, що критично важливо для своєчасного втручання та запобігання поширенню вогню.

У підсумку, їхні пропозиції спрямовані на комплексне покращення процесу моніторингу та виявлення пожеж, що включає оптимізацію сенсорних даних, ефективне використання енергії та підвищення надійності і швидкості реакції. Ці підходи значно підвищують ефективність роботи системи, забезпечуючи більш надійний захист та зменшення ризиків, пов'язаних з пожежами [5].

Їхні пропозиції охоплюють наступні аспекти:

*Архітектура WSN:* У сенсорних мережах існують два основних типи архітектурних рішень: плоска і ієрархічна. Плоска архітектура передбачає рівноправність всіх вузлів, де кожен вузол може взаємодіяти безпосередньо з будь-яким іншим вузлом у мережі. З іншого боку, ієрархічна архітектура дозволяє групувати вузли в кластери на основі різних параметрів, таких як географічне розташування, функціональні характеристики або енергетичні вимоги. У цій архітектурі кожен кластер може мати свого керівника або голову, який відповідає за організацію та координацію дій у своєму кластері. Мобільні агенти можуть звертатися до голів кластерів для отримання агрегованих даних, що дозволяє оптимізувати обробку та передачу інформації в мережі.

*Схема розгортання вузлів безпроводових сенсорів:* Вибір між однорідним і неоднорідним розташуванням вузлів може суттєво вплинути на продуктивність сенсорної мережі. Однорідне розташування вузлів передбачає рівномірне розподілення їх у просторі, що може бути ефективним з точки зору охоплення області, але при цьому може призвести до нерівномірного використання ресурсів і збільшення витрати енергії. З іншого боку, неоднорідне розташування вузлів дозволяє групувати їх у вузлові центри, де велика кількість вузлів знаходиться в одній області, що сприяє ефективнішому використанню енергії та зменшенню навантаження на мережу.

*Внутрішня кластерна схема агрегації даних:* У кожному кластері безпроводові датчики постійно моніторять своє оточення та збирають дані про середовище. Голова кластера відповідає за агрегацію цих даних та передачу їх мобільним агентам для подальшого аналізу. Крім того, у випадку виявлення загрози або випадку втрати зв'язку з головою кластера, інші вузли можуть приєднатися до сусідніх кластерів, щоб забезпечити неперервність збору та передачі даних.

*Міжкластерні схеми агрегації даних:* Передача мобільних агентів між кластерами дозволяє збирати дані від усіх вузлів у мережі, що сприяє повнішому та ефективнішому моніторингу навколишнього середовища. Ця схема також дозволяє оптимізувати використання ресурсів та забезпечує більшу надійність мережі, оскільки дані можуть передаватися через декілька шляхів до цільової точки [21].

### 3.3 Виявлення вторгнень

Виклики щодо безпеки є найважливішим питанням у критично важливих для безпеки застосуваннях WSN. Щоб запобігти атакам, що вимагають ресурсів, та маніпулювати інформацією безпроводових сенсорних вузлів або раковини, перед тим, як це сталося, необхідно виявити всі види вторгнень. Щоб вирішити виклики, Чжан та Лі апропонували спільну програму IDS, яка передбачала шість блоків:

- *Локальний блок збору даних* несе відповідальність за збір даних у режимі реального часу з користувачем / діями зв'язку та діями системного виклику в межах його радіоприймача.

- *Локальний блок двигуна виявлення* відповідає за аналіз зібраних даних у режимі реального часу, щоб запобігти виникненню будь-яких аномалій, які можуть існувати.

- *Локальні блоки реагування та глобальні відповіді* отримують інформацію про подію від локального блоку двигуна виявлення, у разі виявлення аномалії, щоб вжити заходів проти можливого вторгнення.

- *Блок двигуна спільного виявлення* здійснює співпрацю, коли виявлення є непереконливим і потребує більше доказів.

- *Захищений блок зв'язку* здійснює зв'язок між сусідськими МА, які повинні співпрацювати, в яких будь-який вузол безпроводового датчика може брати участь у процесі прийняття рішень [11].

Після задалегідь визначеного порогу часу локальні ІДС запускають глобальний, що потребує спільного вирішення вузлів безпроводового сенсора, сусідніх із

позначеним. Процес прийняття рішень проводиться шляхом голосування більшістю голосів, після чого виявлення вторгнення здійснюється на основі ентропії. Спільні IDS корисні для виявлення атак проти протоколів маршрутизації у WSN, включаючи пропуски маршрутів, випадання пакетів, помилкове оновлення маршруту та відмову в сервісі (DoS).

Наслідуючи ідею спільної роботи IDS, деякі роботи використовували MAS <sup>[8]</sup> для досягнення більшої ефективності у випадку безпеки мережі. В якості першого прикладу Krishnan представляє ефективний метод розподілу для ОУ для підвищення продуктивності ІДС. Відповідний метод розподілу може розподіляти навантаження обробки процесу виявлення вторгнень між усіма безпроводовими датчиками датчиків, щоб мінімізувати споживання енергії WSN. В якості другого прикладу, щоб поліпшити точність виявлення вторгнень у WSN, Riecker et al представити енергоефективний та легкий підхід на основі МА для виявлення вторгнень шляхом моніторингу схеми споживання енергії джерельних вузлів; вони використовують лінійну регресійну модель для прогнозування споживання енергії. В якості третього прикладу, для виявлення та пом'якшення міжшарових атак, які використовують маніпулювання та заклинання, існує новий метод, який базується на байєсівській моделі навчання, щоб відповідати вимогам безпеки програм WSN та має прийнятну продуктивність. У деяких інших роботах запропоновані різні основні методи управління на основі МА для задоволення військових застосувань у WSN [15].

Рис. 3.1 та 3.2 ілюструють порівняння параметрів продуктивності щодо симульованих підходів на основі мультиагентів у WSN. На рис.3.1 порівнюються загальні параметри модельованих підходів, включаючи приклади застосувань, важливі параметри, переваги, недоліки та імітаційна модель / середовище додатків. На рисунку 3.2 показано порівняння мережевих аналітичних параметрів, включаючи кількість агентів, мобільність агента, тип датчика, тип мережі, робочі середовища, топологію мережі та протокол маршрутизації.

**Table 1.** Comparison of the general parameters of multiagent-based simulated approaches in WSNs.

	Application examples	Important parameters	Advantages	Disadvantages	Simulation model/environment
Target tracking <sup>42,53,54,56</sup>	Auto aerial vehicles Military and civilian monitoring Traffic control	Energy consumption Accuracy Scalability Overheads	Improving Energy consumption Network lifetime Communication hops	Lack of trust Unacceptable delay	Random WayPoint model/JAVA
Healthcare systems <sup>43,45</sup>	Smart home for patients and elderly	Real-time alert Movement recognition Energy consumption Accuracy	Providing an adequate interaction between the users	Non-privacy for the users	Gala/SysML
Urban control systems <sup>44,47,49</sup>	Traffic control Commercial lighting control Air quality monitoring process	Reliability Energy consumption Delay End-to-end packet delivery ratio	Supporting Highly deployable Self-configurable Adaptive	There is no idea about the security of the system	–
Firefighter assistant <sup>44</sup>	Fire tracking in harsh and dynamic physical environment	Throughput Energy consumption Detection speed Accuracy	Enhancing Efficiency Reliability Adaptively of the system	Do not receive an acceptable reliability	Experimental Test
Data aggregation <sup>45,75–77</sup>	Predicting killing frosts Urban traffic control Wildlife monitoring	Data rate The percentage of success packets Energy consumption Delay	Increasing lifetime of network	Unacceptable Delay Security for emergency applications	NetLogo/MATLAB
Detecting and monitoring the events <sup>46</sup>	Forest fires detection Agriculture Flood detection	Total dispatch delay Average waiting delay Accuracy energy consumption Cost	Improving consumption energy of WSN	Long delay Unacceptable reliability	Custom simulator using C#
Intrusion detection <sup>47,81,85</sup>	–	No. of packets transmitted Reliability Energy consumption The percentage of failure packets Robustness and speed	Detecting any potential attempt to corrupt the attack Increasing lifetime of network	Transmitted computation code over the network may be manipulated by an attacker	JADE/JAVA/WADE

JADE: java agent development framework; WADE: workflow and agents development environment; WSNs: wireless sensor networks.

Рис. 3.1 Порівняння загальних параметрів модельованих підходів на основі мультиагентів у WSN [12]

**Table 2.** Comparison network analysis parameters of multiagent-based simulated approaches in WSNs.

	Number of agents	Agent mobility	Sensor type	Network type	Operation environments	Network topology	Routing protocol
Target tracking <sup>42,53,54,56</sup>	Multiple agents/one agent	Mobile	Acoustic-amplitude sensors Computational sensor	Decentralized/ centralized	Outdoor/indoor	Cluster based Tree-based P2P Hierarchical	Tree-based Cluster based Mobi-cast Message-based TCP/IP protocol Collection tree protocol TDMA protocol
Healthcare systems <sup>43,45</sup>	Nine agents (seven predefined agents and two agents in STLPH)	Mobile	Video, acoustic, and RFID sensors Environmental and physiological sensors Accelerometer	Centralized	Outdoor/indoor	Star	TCP/IP protocol Collection tree protocol TDMA protocol
Urban control systems <sup>44,47,49</sup>	A single agent per node	Pseudo-static	Gyroscope GPS, DSRC devices Multimedia mobile nodes RFID sensors Crossbow ZigBee motes	Decentralized/ centralized	Outdoor/outdoor roadside/indoor	V2V P2P Star Mesh	ZigBee protocol Evolutionary algorithms
Firefighter assistant <sup>44</sup>	–	Static/mobile	GPS devices Temperature/ pressure detection sensor	Decentralized/ centralized	Outdoor	P2P Star	–
Data aggregation <sup>75–77</sup>	A single agent per cluster	Mobile	ZigBee motes Electrochemical sensor Environmental and physiological sensors	Centralized	Outdoor/indoor	Star Cluster based Hierarchical	Collection tree protocol Evolutionary algorithms TCP/IP protocol
Detecting and monitoring the events <sup>46</sup>	A single agent	Mobile	Fixed and mobile light sensors GPS equipped mobile nodes Sensors and actor nodes Water level/ pressure detection sensor	Decentralized/ centralized/ ontology based	Outdoor/indoor	Grid based Mesh Cluster based	TCP/IP protocol Collection tree protocol
Intrusion detection <sup>47,81,85</sup>	–	Mobile	–	Decentralized	Outdoor/indoor	Cluster based Mesh P2P	AODV DSR

WSNs: wireless sensor networks; STLPH: service layers over light physical devices; AODV: ad hoc on demand distance vector; P2P: peer-to-peer; RFID: radio-frequency identification; TCP/IP: transmission control protocol/Internet protocol; TDMA: time-division multiple access; GPS: The global positioning system; DSRC: dedicated short range communications; DSR: dynamic source routing.

Рис. 3.2 Порівняння параметрів мережевого аналізу модельованих підходів на основі мультиагента в WSN [12]

На рис. 3.2 ми можемо побачити детальне порівняння різних мережевих аналітичних параметрів, які відіграють ключову роль у функціонуванні сенсорних мереж з мобільними агентами. Під час аналізу цих параметрів важливо враховувати їх вплив на ефективність та продуктивність мережі.

Один з ключових параметрів - кількість агентів - визначається потребами конкретного застосування. Більша кількість агентів може забезпечити більшу покриття та обробку даних, але при цьому може збільшити витрати енергії та складність управління мережею.

Мобільність агента визначає, наскільки швидко та ефективно агенти можуть переміщатися між вузлами мережі. Цей параметр важливий для забезпечення швидкого реагування на події та оптимізації маршрутизації даних.

Тип датчика визначає, які конкретні дані можуть бути зібрані та передані через мережу. Різні типи датчиків можуть вимагати різних технологій та протоколів для ефективного збору та обробки інформації.

Тип мережі може включати в себе різноманітні топології, такі як зірка, дерево, меш та інші. Кожна з цих топологій має свої переваги та недоліки у відповідності до конкретних вимог застосування.

Робоче середовище може варіюватися від внутрішніх приміщень до відкритих просторів, і це впливає на ефективність бездротового зв'язку та збір даних.

Топологія мережі визначає спосіб з'єднання між вузлами та шляхи передачі даних, що відображається в її архітектурі та структурі.

Протокол маршрутизації в безпроводових сенсорних мережах (WSN) визначає стратегію передачі даних від джерела до призначення, забезпечуючи ефективну, надійну та енергоефективну роботу мережі. Вибір конкретного протоколу маршрутизації залежить від специфічних вимог до продуктивності, надійності та енергоефективності, які можуть варіюватися в залежності від конкретного застосування мережі. Розглянемо більш детально деякі з найбільш відомих протоколів

маршрутизації, такі як AODV, DSR, OLSR та інші, а також критерії вибору відповідного протоколу.

### *Протоколи маршрутизації*

Протокол AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) є протоколом на запит, який створює маршрути тільки тоді, коли вони необхідні для передачі даних. Коли вузол потребує маршруту до іншого вузла, він ініціює процес пошуку маршруту, який передбачає розсилку запитів на маршрут (Route Requests, RREQ) через мережу. Відповідні вузли, які знають маршрут до призначення або є призначенням, відповідають запитом на маршрут (Route Reply, RREP). Цей протокол забезпечує ефективне використання смуги пропускання, оскільки маршрути зберігаються тільки до тих пір, поки вони потрібні, що знижує накладні витрати на зберігання і підтримку маршрутів.

Протокол DSR (Dynamic Source Routing) також є протоколом на запит, але використовує джерельну маршрутизацію, при якій вся інформація про маршрут відправника до призначення вбудовується в заголовок кожного пакета. Це дозволяє вузлам динамічно визначати маршрути в мережі та знижує необхідність у підтримці таблиць маршрутизації. Протокол DSR складається з двох основних механізмів: відкриття маршруту (Route Discovery) і підтримка маршруту (Route Maintenance). DSR є ефективним у мережах з невеликою кількістю вузлів та низькою мобільністю.

Протокол OLSR (Optimized Link State Routing) є протоколом на основі стану зв'язку і працює проактивно, підтримуючи постійно оновлювані таблиці маршрутизації. Кожен вузол періодично розсилає інформацію про свої зв'язки з сусідніми вузлами, що дозволяє всім вузлам будувати повне уявлення про топологію мережі. Використання багатоадресної передачі (multi-point relay, MPR) дозволяє зменшити накладні витрати на розсилку інформації про стан зв'язку, оскільки тільки обрані вузли ретранслюють повідомлення, що скорочує кількість дублікатів і знижує навантаження на мережу. OLSR підходить для мереж з високою мобільністю вузлів і великою кількістю учасників [8].

### *Вибір протоколу маршрутизації*

Вибір конкретного протоколу маршрутизації залежить від різних критеріїв. Для додатків, які вимагають високу швидкість передачі даних та низьку затримку, важливо вибрати протокол, який мінімізує час встановлення маршруту і забезпечує високу пропускну здатність. Протоколи, які проактивно підтримують маршрути, такі як OLSR, можуть бути більш підходящими для таких сценаріїв.

У критичних застосуваннях, таких як медичні сенсорні мережі або системи аварійного реагування, надзвичайно важливо забезпечити надійність передачі даних. Протоколи, які використовують багатоадресні передачі або мають механізми відновлення маршрутів, такі як AODV, можуть забезпечити більш високу надійність.

Для мереж з обмеженими енергетичними ресурсами, таких як сенсорні мережі, що працюють на батареях, критично важливо мінімізувати енергоспоживання. Протоколи на запит, такі як DSR та AODV, можуть бути більш енергоефективними, оскільки вони знижують накладні витрати на підтримку маршрутів.

### *Інші важливі протоколи*

Крім зазначених вище протоколів, існують і інші, які можуть бути використані в WSN. Наприклад, ZigBee, який використовується в мережах з низькою швидкістю передачі даних та низьким енергоспоживанням, часто у промислових додатках та автоматизації будівель. Також протокол RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) оптимізований для мереж з обмеженими ресурсами, таких як IoT, що забезпечує надійність та енергоефективність.

Таким чином, вибір протоколу маршрутизації залежить від специфічних потреб мережі, зокрема продуктивності, надійності та енергоефективності. Кожен протокол має свої переваги та недоліки, що повинні бути враховані при проектуванні та впровадженні безпроводових сенсорних мереж [7].



## 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Застосування штучного інтелекту в бездротових сенсорних мережах: подолання проблем та покращення продуктивності.

### *Недоліки традиційних підходів:*

Наші дослідження показали, що бездротові сенсорні мережі (WSN) мають ряд недоліків, які можуть негативно впливати на їх ефективність та практичність у реальних застосуваннях. До цих недоліків належать:

- *Тривала затримка:* Значний час може пройти з моменту, коли дані збираються вузлами сенсорної мережі, до моменту, коли вони досягають центрального контролера для обробки.
- *Неприпустима затримка:* Затримка передачі команд від центрального контролера до вузлів сенсорної мережі може бути непринятно високою, що робить систему нереагуючою на критичні події.
- *Високе споживання енергії:* Традиційні методи агрегації даних, при яких дані надсилаються з кожного вузла до центрального контролера, можуть призвести до значного споживання енергії, що може скоротити термін служби батарей вузлів.

### *Переваги використання штучного інтелекту*

Застосування штучного інтелекту (ШІ), зокрема парадигми мультиагентних систем (MAS), може допомогти подолати ці недоліки та значно покращити продуктивність WSN. MAS - це децентралізовані системи, де агенти можуть автономно приймати рішення, взаємодіяти один з одним та з середовищем.

### *Приклади застосування ШІ в WSN*

Існує багато перспективних застосувань ШІ в WSN, які можуть принести значну користь у реальних сценаріях. Деякі з них:

- *TeleCARE*: Це комерційний продукт, який використовує MAS та WSN для моніторингу здоров'я літніх людей. TeleCARE може допомогти зменшити навантаження на систему охорони здоров'я та покращити якість життя людей похилого віку.
- *Інтелектуальне управління енергоспоживанням*: MAS можуть динамічно оптимізувати енергоспоживання WSN, подовжуючи термін служби батарей вузлів та покращуючи загальну ефективність мережі.
- *Інтелектуальне маршрутизація даних*: MAS можуть динамічно визначати оптимальні маршрути для передачі даних у WSN, що може значно зменшити затримки та покращити пропускну здатність мережі.
- *Адаптивний моніторинг*: MAS можуть адаптувати свої стратегії моніторингу до мінливих умов середовища, що робить WSN більш гнучкими та надійними.

На сьогоднішній день багато уваги приділяється дослідженням у сфері медичної допомоги людям за допомогою багатоагентних систем. Більшість з цих досліджень зосереджені на виявленні падінь, моніторингу серцебиття та рівня кисню в крові. Важливим аспектом є те, що на ринку доступні комерційні товари, які комбінують в собі багатоагентні системи та бездротові сенсорні мережі. Варто зазначити, що наявність таких комерційних продуктів у сфері медичної допомоги була б неможливою без доступу до недорогих бездротових сенсорних вузлів.

## 4.1 TeleCARE

TeleCARE - це один з таких комерційних продуктів, який спрощує життя літніх людей у плані медичного догляду. Головною метою системи TeleCARE є створення налаштованої платформи для різних програм допомоги літнім людям (рис. 4.1).

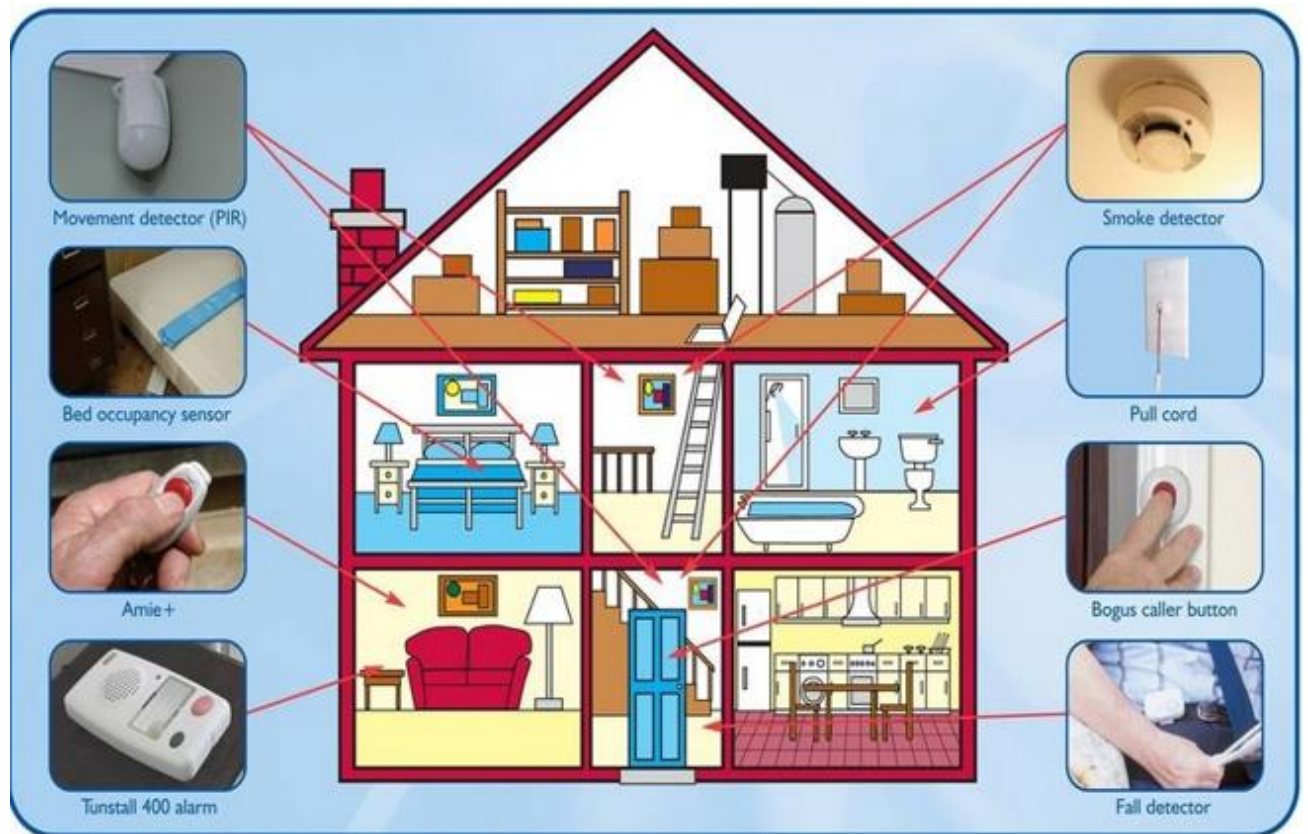


Рис. 4.1 TeleCARE [9]

Система TeleCARE встановлює фокус на створенні віртуальних спільнот, спрямованих на те, щоб літні люди могли залишатися в своєму домі, активно взаємодіяти зі своїм оточенням та зберігати свою незалежність. Ця система також забезпечує мережу безпеки, яка надає медичну допомогу по потребі. Але в чому полягає основна інновація в підході системи TeleCARE? Це перехід від стандартного протоколу TCP/IP через Інтернет до багатоагентної архітектури, і ось чому: реальний час у сфері медичної допомоги надзвичайно важливо, щоб дані передавалися та

оброблялися миттєво. Це допомагає оперативно реагувати на будь-які погіршення стану здоров'я та забезпечує швидку реакцію медичного персоналу.

1. Масштабованість та гнучкість: Щоб врахувати різноманітні потреби літніх людей, система повинна бути гнучкою та легко масштабованою. Багатоагентний підхід дозволяє ефективно керувати цими потребами та швидко адаптуватися до змінних умов.
2. Відкритість системи: Система TeleCARE прагне бути максимально відкритою для інтеграції з різними пристроями та системами. Це дозволяє легко додавати нові функції та покращення до існуючої інфраструктури без значних зусиль.

Крім того, система TeleCARE використовує різні рівні інфраструктури для забезпечення своєї функціональності:

- Зовнішній рівень: Він забезпечує безпечний зв'язок між вузлами бездротових датчиків, гарантуючи конфіденційність та цілісність даних.
- Рівень платформи Core Multiagent System: Цей рівень є базовим компонентом системи, який контролює об'єкти управління та їх взаємодію, а також відповідає за обробку та зберігання даних.
- Рівень вертикальних сервісів: Цей рівень надає різноманітні послуги, такі як підтримка віртуальних спільнот та доступ до веб-служб для літніх людей, допомагаючи їм залишатися підключеними та доглянутими [11].

## 4.2 SwarmSense

EpiSys Science (Рис. 4.2) є передовою технологічною компанією, яка вже з 2012 року виконує значний внесок у розробку і комерціалізацію новітніх технологій у галузі бездротового зв'язку та мереж, розподіленого та автономного контролю, а також систем підтримки прийняття рішень. Компанія має широку експертизу у різних сферах, включаючи оборонні технології, промисловість та наукові дослідження.

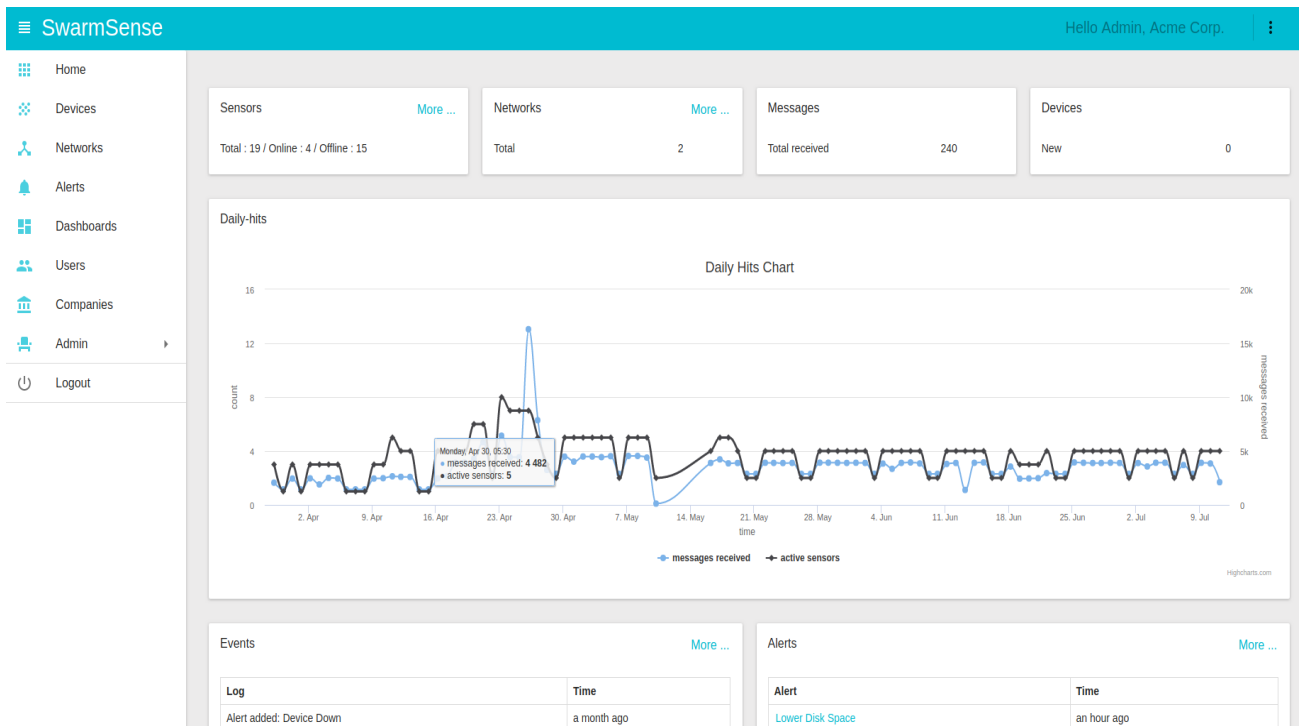


Рис. 4.2 EpiSys Science [15]

Інноваційний підхід EpiSci базується на використанні сучасних технологій та високотехнологічних методів, таких як тактичний штучний інтелект (AI), спільна інтелектуальна радіомережа (CIRN) та широкосмугова цифрова обробка сигналів (WDSP). Ці технології дозволяють компанії розробляти інноваційні рішення для розвідки, оборони та комерційної промисловості.

Важливим аспектом стратегії EpiSci є поєднання технологічних підходів для досягнення оптимальних результатів. Наприклад, їхні команди використовують системи розподілених агентів на основі штучного інтелекту (AIDAS), які дозволяють створювати автономні безпілотні системи, спроможні працювати ефективно та надійно у різних умовах.

Компанія також активно застосовує когнітивні радіосистеми (CoRS), що дозволяють безпілотникам сприймати та аналізувати інформацію з навколишнього середовища, щоб приймати оптимальні рішення у реальному часі. Іншою ключовою

технологією є самоорганізуючі бездротові мережі (SOWNS), які забезпечують співпрацю та координацію між безпілотниками для ефективного виконання завдань.

Спільне використання передових технологій у компанії EpiSys Science (EpiSci) створює можливість створення інтегрованих систем, які функціонують як єдиний організм, діючи згідно спільної стратегії для досягнення конкретної мети. Цей підхід відображається у розробці їх продукту SwarmSense, що став прикладом використання багатоагентних систем у безпілотних технологіях.

SwarmSense (Рис. 4.3) представляє собою інтелектуальну систему, в якій безпілотні апарати працюють узгоджено, взаємодіючи один з одним на основі певних алгоритмів та обмінюючись інформацією для досягнення спільної мети, будь то розвідка, пошук та рятувальні операції або будь-яке інше завдання [15]



Рис. 4.3 Зразок SwarmSense [12]

Майбутня візія EpiSci полягає в тому, щоб стати лідером у впровадженні інтегрованих технологічних рішень, які ґрунтуються на концепції "системної науки".

Це означає розробку систем, що можуть працювати в умовах невизначеності та змін, забезпечуючи автономну, ефективну та надійну діяльність.

Ця візія включає в себе постійне вдосконалення і інтеграцію передових технологій, таких як штучний інтелект, бездротові мережі та обробка сигналів, для створення систем, які здатні адаптуватися до змін у середовищі та виконувати завдання навіть у складних умовах. Такий підхід дозволить EpiSci досягти великих успіхів у своїй галузі та забезпечить вирішення значних викликів у сфері технологій [15].

### **4.3. Багатоагентська розподілена інформаційна платформа**

Інтеграція безпроводових і сенсорних мереж в один корпус створює нову технологію, яку можна назвати когерентною мережею сенсорів кузова. Ця інтегрована система відкриває широкі можливості для впровадження новаторських підходів у сфері медичних технологій. Зокрема, вчені Su та Wu запропонували нову систему, що отримала назву Мультиагентна розподілена інформаційна платформа (MADIP), яка має на меті полегшити сповіщення віддалених лікарів про аномалії в стані здоров'я, автоматизувати моніторинг стану здоров'я пацієнтів похилого віку та забезпечити надання медичної консультації з великого відстані.

MADIP складається з шести типів компонентів, які функціонують разом, утворюючи систему, яка працює як добре налагоджений механізм. Одним із ключових компонентів є користувальницький агент, який є інтелектуальним посередником у комунікації між лікарями та пацієнтами. Цей агент реагує на запити пацієнтів та забезпечує швидку та ефективну взаємодію. Також у складі системи присутні ресурсний агент, який управляє доступом до ресурсів системи, агент лікаря, що відповідає за моніторинг стану пацієнта, та діагностичний агент, який аналізує зібрані дані та прогнозує зміни в стані здоров'я. Крім того, система включає сервер даних на

основі знань, який зберігає інформацію про пацієнтів і відповідальний за обмін даними між агентами.

Один з ключових аспектів MADIP - це його здатність до передачі даних в реальному часі. Постійний потік інформації між агентами і сервером дозволяє системі оперативно реагувати на будь-які зміни в стані здоров'я пацієнта. Для забезпечення найвищого рівня ефективності MADIP використовує передові технології та алгоритми, що забезпечують точність та достовірність обробки даних.

Незважаючи на те, що система MADIP показала обіцяні результати, важливо підкреслити, що її ефективність ще потребує додаткового тестування та оцінки. Щоб забезпечити оптимальну продуктивність системи, необхідно провести більш широкомасштабне дослідження та впровадження [3].

#### **4.4 Перспективи впровадження нових програмних рішень для WSN**

Впровадження нових програмних рішень для безпроводових сенсорних мереж (WSN) відкриває широкі можливості для покращення ефективності, безпеки та функціональності цих систем. У цьому контексті важливо розглянути кілька ключових напрямків розвитку.

##### *Оптимізація енергоспоживання*

Одним з найважливіших аспектів у розвитку безпроводових сенсорних мереж (WSN) є оптимізація енергоспоживання. Сенсорні вузли, які складають WSN, зазвичай працюють від батарей, а заміна або підзарядка цих батарей часто є складним завданням, особливо у віддалених або важкодоступних місцях. Тому продовження терміну служби батарей є критично важливим для забезпечення тривалої та безперебійної роботи мережі. Оптимізація енергоспоживання у безпроводових сенсорних мережах досягається за допомогою кількох ключових підходів.

Перший підхід полягає у використанні адаптивних алгоритмів енергозбереження, які дозволяють сенсорним вузлам ефективно використовувати



енергію залежно від умов роботи. Це включає динамічне регулювання частоти передачі даних, коли вузли можуть змінювати частоту передачі залежно від важливості та обсягу інформації. Наприклад, у спокійних умовах вузли можуть передавати дані рідше, зберігаючи енергію, а у випадку виявлення важливої події або зміни умов вони збільшують частоту передачі для своєчасного оновлення даних. Також важливим аспектом є використання режимів сну, коли вузли переходять у низькоенергетичний режим за відсутності змін у середовищі. У цьому режимі більшість компонентів вимикаються, і вузли активуються лише для передачі даних або періодичних перевірок середовища, що значно зменшує споживання енергії.

Другий підхід зосереджується на енергоефективних протоколах зв'язку. Одним з найбільш відомих є протокол LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), який працює шляхом створення кластерів вузлів, де один вузол у кожному кластері виступає як голова кластеру. Голови кластерів збирають дані від інших вузлів і передають їх до базової станції, що зменшує кількість прямих передач до базової станції та знижує енергоспоживання. Протокол SEP (Stable Election Protocol) є вдосконаленням LEACH і орієнтований на гетерогенні мережі, де вузли мають різний рівень енергії. SEP враховує цю різницю, дозволяючи вузлам з більшою енергією частіше ставати головами кластерів, що забезпечує рівномірніше використання енергії та подовжує загальний термін служби мережі. Протокол PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) пропонує ланцюговий підхід, де вузли формують ланцюг для передачі даних один одному, а кінцевий вузол надсилає дані до базової станції. Такий метод знижує кількість передач на великі відстані та економить енергію.

Третій підхід полягає у інтелектуальному управлінні енергією, яке включає використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання для передбачення енергетичних потреб та оптимізації використання енергії. Це може включати прогнозування енергоспоживання за допомогою алгоритмів машинного навчання, які на основі минулих даних і поточних умов дозволяють краще планувати

використання енергії і уникати непотрібних витрат. Крім того, оптимізація розподілу ресурсів є ще одним важливим аспектом, де алгоритми динамічно керують розподілом енергетичних ресурсів серед вузлів, враховуючи їх поточний стан та роль у мережі. Це забезпечує більш рівномірне використання енергії та запобігає ранньому виходу з ладу окремих вузлів, підтримуючи стабільну роботу всієї мережі [5].

#### *Використання відновлюваних джерел енергії*

Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячні панелі або вітрові генератори, стає все більш важливим аспектом для безпроводових сенсорних мереж (WSN). Це дозволяє значно підвищити автономність та тривалість роботи сенсорних вузлів, особливо в умовах, коли заміна батарей є проблематичною, наприклад, у віддалених або важкодоступних місцях.

#### *Переваги використання ВДЕ для WSN:*

1. Автономність: Використання сонячних панелей або вітрових генераторів дозволяє сенсорним вузлам отримувати енергію від навколишнього середовища, що забезпечує їхню автономність і уникнення необхідності у регулярній заміні батарей.
2. Екологічна дружність: ВДЕ є екологічно чистими джерелами енергії, що допомагає зменшити викиди вуглецю та інших шкідливих речовин у навколишнє середовище.
3. Ефективність в екстремальних умовах: У віддалених або важкодоступних місцях, де немає можливості забезпечити стабільний доступ до електромережі або регулярно міняти батареї, ВДЕ може бути найкращим варіантом для забезпечення постійного живлення сенсорних вузлів.
4. Зменшення витрат: Хоча встановлення сонячних панелей або вітрових генераторів може потребувати певних витрат на початкову установку, на довгостроковій перспективі це може призвести до зменшення загальних витрат на обслуговування та енергопостачання WSN [14].

### *Виклики та перспективи*

Незважаючи на переваги, використання ВДЕ для WSN також стикається з деякими викликами, такими як нестабільність у виробництві енергії внаслідок зміни погодних умов та потреба у спеціальних механізмах для зберігання та управління енергією. Проте, з розвитком технологій сонячних панелей, акумуляторів та систем управління енергією, використання ВДЕ для WSN набуває все більшої актуальності і обіцяє бути важливим кроком у напрямку створення стійких та ефективних безпроводових сенсорних мереж.

### *Покращення якості обслуговування (QoS)*

Забезпечення високої якості обслуговування (QoS) є ключовим завданням для безпроводових сенсорних мереж (WSN), особливо в контексті критичних застосувань, таких як медичний моніторинг та системи безпеки. Для досягнення цієї мети важливо впроваджувати програмні рішення, спрямовані на реальний час, які забезпечують надійну та швидку передачу даних.

### *Ключові аспекти покращення QoS в WSN:*

- Розробка програмного забезпечення для реального часу: Реалізація програмного забезпечення, яке забезпечує швидку та надійну передачу даних у реальному часі, є критичним для додатків, де затримка може призвести до неприпустимих наслідків.
- Пріоритетизація трафіку: Визначення пріоритетів для різних типів даних дозволяє впорядковувати передачу інформації у мережі. Наприклад, дані, які стосуються невідкладних подій або медичних вимірювань, можуть мати вищий пріоритет порівняно зі звичайними вимірюваннями або моніторингом.
- Управління ресурсами мережі: Ефективне управління ресурсами мережі, такими як пропускна спроможність та енергія, є ключовим аспектом забезпечення QoS. Оптимізація використання цих ресурсів дозволяє підтримувати стабільність та ефективність мережі.

- Адаптивність і самоорганізація: Механізми адаптації до змінних умов середовища та самоорганізації допомагають підтримувати стабільність та продуктивність мережі навіть у змінних умовах.

Загалом, вдосконалення QoS в WSN вимагає комплексного підходу, що охоплює розробку програмного забезпечення, управління ресурсами та використання адаптивних стратегій, щоб забезпечити ефективну та надійну роботу мережі.

#### *Інтелектуальна обробка даних*

Інтеграція алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту (AI) у безпроводові сенсорні мережі (WSN) створює нові можливості для аналізу та використання зібраних даних. Машинне навчання дозволяє сенсорним вузлам навчитися розпізнавати патерни в даних, виявляти аномалії та прогнозувати майбутні події на основі історичних даних та поточних спостережень. Це дозволяє покращити якість моніторингу та контролю за різними процесами, такими як метеорологічні умови, енергопостачання, рух транспорту та інші [11].

#### *Використання алгоритмів машинного навчання*

Застосування алгоритмів машинного навчання у безпроводових сенсорних мережах дозволяє виявляти складні залежності та тренди в даних, які не завжди можуть бути виявлені за допомогою традиційних методів обробки. Наприклад, алгоритми класифікації можуть використовуватися для ідентифікації певних подій або об'єктів на основі даних, зібраних сенсорами. Алгоритми кластеризації дозволяють групувати дані у певні категорії або кластери, що допомагає виявляти аномалії та несподівані патерни [11].

#### *Розподілена обробка даних*

Однією з переваг інтелектуальної обробки даних у WSN є можливість розподіленої обробки даних безпосередньо на сенсорних вузлах. Це дозволяє знизити навантаження на базові станції та мережеві вузли, а також забезпечує швидшу реакцію на зміни в середовищі. Наприклад, сенсорні вузли можуть використовувати алгоритми машинного навчання для аналізу зібраних даних та прийняття рішень щодо подальшої

передачі інформації або виконання конкретних дій без необхідності звертатися до централізованих обчислювальних ресурсів [10].

#### *Переваги для моніторингу та управління*

Інтелектуальна обробка даних у безпроводових сенсорних мережах допомагає покращити якість моніторингу та управління різними процесами. Вона дозволяє виявляти складні залежності та тренди в даних, що допомагає оперативно реагувати на зміни в середовищі та уникати потенційних проблем. Крім того, інтелектуальна обробка даних допомагає оптимізувати ресурсне забезпечення мережі та підвищувати ефективність використання енергії [10].

#### *Підвищення безпеки та надійності*

Безпека та надійність є ключовими аспектами для безпроводових сенсорних мереж (WSN), особливо в умовах їх широкого застосування в критичних сферах, таких як медичний моніторинг, системи управління рухом, військові та промислові додатки. Забезпечення безпеки даних та стабільної роботи мережі вимагає впровадження передових технологій та алгоритмів.

Одним з головних підходів до забезпечення безпеки в WSN є впровадження нових криптографічних алгоритмів. Традиційні криптографічні методи, такі як AES (Advanced Encryption Standard), хоча й ефективні, можуть бути занадто енергоємними для сенсорних вузлів з обмеженими ресурсами. Тому розробляються спеціалізовані алгоритми, оптимізовані для WSN. Легковагові криптографічні алгоритми, такі як Skipjack або Tiny Encryption Algorithm (TEA), забезпечують високий рівень захисту з мінімальним використанням ресурсів, що знижує енергоспоживання сенсорних вузлів. Крім того, криптографія на основі еліптичних кривих (ECC) пропонує високий рівень безпеки при меншій довжині ключа в порівнянні з традиційними методами, такими як RSA, що зменшує потребу в обчислювальних ресурсах [15].

Аутентифікація є важливим аспектом забезпечення безпеки в WSN, оскільки вона запобігає несанкціонованому доступу до мережі та захищає дані від атак. Цифрові підписи використовуються для підтвердження справжності повідомлень, що

передаються в мережі, дозволяючи приймачам перевірити, чи дійсно вони надіслані від автентичних вузлів. Протоколи аутентифікації на базі спільного ключа, такі як Kerberos або RADIUS, використовують попередньо обміняні секретні ключі для аутентифікації вузлів один перед одним. Для більш складних і захищених додатків можуть використовуватися біометричні дані, такі як відбитки пальців або голосові зразки, для аутентифікації користувачів або пристроїв.

Для забезпечення надійності та стійкості WSN важливо розробити алгоритми самовідновлення та мережових резервувань. Алгоритми самовідновлення дозволяють мережі автоматично переналаштуватися при виявленні збоїв. Наприклад, якщо сенсорний вузол виходить з ладу, сусідні вузли можуть автоматично перебудувати свої маршрути для підтримки зв'язку. Мережові резервування включають створення резервних шляхів для передачі даних. Якщо основний шлях стає недоступним, дані можуть бути автоматично перенаправлені через альтернативні маршрути, що значно підвищує стійкість мережі до збоїв. Крім того, алгоритми балансування навантаження дозволяють рівномірно розподіляти навантаження між різними вузлами мережі, запобігаючи перенапруженню окремих вузлів та знижуючи ризик їх виходу з ладу.

Підвищення безпеки та надійності безпроводових сенсорних мереж є критично важливим для їх успішного впровадження у різних сферах. Впровадження нових криптографічних алгоритмів, механізмів аутентифікації, а також алгоритмів самовідновлення та мережових резервувань дозволяє забезпечити захист даних та стійкість мережі до збоїв. Ці заходи сприяють тривалій та безперебійній роботі WSN, що є особливо важливим у критично важливих застосуваннях, таких як медичний моніторинг та системи управління рухом [13].

#### *Інтеграція з іншими технологіями*

Інтеграція безпроводових сенсорних мереж (WSN) з іншими передовими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT), є критично важливим напрямом розвитку, що відкриває нові можливості для створення комплексних, взаємопов'язаних систем у різних сферах. Взаємодія WSN з IoT дозволяє забезпечити ефективну

комунікацію між різноманітними пристроями та системами, сприяючи розвитку інтелектуальних рішень для розумних будинків, міст та промислових об'єктів.

### *Взаємодія з Інтернетом речей (IoT)*

Інтеграція безпроводових сенсорних мереж (WSN) з Інтернетом речей (IoT) дозволяє створювати складні та інтегровані системи, де сенсорні мережі відіграють ключову роль у зборі даних з навколишнього середовища. Ці дані потім використовуються IoT платформами для прийняття рішень та автоматизації різноманітних процесів, забезпечуючи більш ефективне та розумне управління.

Наприклад, у сфері розумних будинків, сенсорні вузли можуть бути розміщені в різних частинах будинку для моніторингу температурних показників, рівня вологості, якості повітря та інших параметрів навколишнього середовища. Ці сенсори постійно збирають дані та передають їх до центральної IoT платформи. Центральна платформа, яка може бути розміщена у хмарі або на локальному сервері, аналізує ці дані в режимі реального часу.

На основі зібраної інформації платформа IoT може приймати обґрунтовані рішення щодо керування системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) у будинку. Наприклад, якщо сенсори виявляють, що температура в кімнаті впала нижче заданого рівня, IoT платформа може автоматично включити систему опалення для підтримання комфортних умов проживання. Аналогічно, якщо рівень вологості перевищує оптимальні межі, система вентиляції може бути активована для зниження вологості. Такі автоматизовані дії забезпечують не лише комфорт мешканців, але й оптимізують споживання енергії, що сприяє зменшенню витрат та екологічного впливу [1].

Крім того, інтеграція WSN з IoT дозволяє використовувати дані для довгострокового аналізу та прогнозування. Наприклад, зібрані сенсорами дані можуть зберігатися у хмарі, де аналітичні інструменти можуть проводити глибокий аналіз ідентифікації патернів та трендів. Це може допомогти у передбаченні майбутніх

потреб у опаленні або охолодженні на основі історичних даних, що дозволяє більш ефективно планувати ресурси та знижувати загальні витрати.

У більш широкому контексті, інтеграція WSN та IoT виходить за межі розумних будинків і застосовується у багатьох інших сферах. Наприклад, у сільському господарстві сенсорні мережі можуть моніторити стан ґрунту, вологість, температуру та інші важливі параметри. Дані передаються до IoT платформи, яка аналізує їх і керує системами зрошення, добрив та захисту рослин, що підвищує ефективність сільськогосподарських процесів та врожайність. У промисловості сенсорні мережі можуть стежити за роботою обладнання, виявляючи несправності або необхідність обслуговування, що дозволяє IoT системам автоматично планувати технічне обслуговування та запобігати аваріям.

Таким чином, інтеграція WSN з IoT створює потужні, взаємозалежні системи, які забезпечують високий рівень автоматизації, ефективності та надійності в різних галузях, від розумних будинків до сільського господарства та промисловості. Це дозволяє не лише покращити якість життя та робочі процеси, але й оптимізувати використання ресурсів, сприяючи стійкому розвитку.

#### *Уніфіковані протоколи зв'язку*

Для забезпечення сумісності між різними пристроями та системами IoT, необхідне впровадження уніфікованих протоколів зв'язку. Стандартизація протоколів, таких як MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), CoAP (Constrained Application Protocol) та HTTP/2, дозволяє забезпечити надійний та енергоефективний обмін даними між сенсорними вузлами та іншими IoT пристроями. Це сприяє створенню масштабованих та гнучких систем, які можуть легко адаптуватися до змін у середовищі та вимогах користувачів [9].

Використання хмарних сервісів для зберігання та обробки великих обсягів даних є ще одним важливим аспектом інтеграції WSN з іншими технологіями. Хмарні платформи, такі як Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure та Google Cloud, надають потужні інструменти для збору, зберігання та аналізу даних, зібраних



сенсорними вузлами. Це дозволяє знизити вимоги до обчислювальних ресурсів базових станцій та сенсорних вузлів, що, у свою чергу, підвищує енергоефективність та продовжує термін служби батарей.

### *Переваги інтеграції*

Інтеграція безпроводових сенсорних мереж (WSN) з Інтернетом речей (IoT) та хмарними сервісами приносить численні переваги, які значно підвищують функціональність та ефективність таких систем.

По-перше, інтеграція WSN з IoT та хмарними сервісами забезпечує можливість здійснювати аналіз даних на високому рівні. Це означає, що дані, зібрані численними сенсорними вузлами, можуть бути передані до хмарних платформ, де вони зберігаються, обробляються та аналізуються за допомогою потужних інструментів аналітики та машинного навчання. Такий підхід дозволяє виявляти складні закономірності та тренди, які можуть бути невидимими при обробці даних на локальному рівні окремими сенсорними вузлами або базовими станціями. Наприклад, у системах моніторингу здоров'я це може допомогти виявляти ранні ознаки захворювань, аналізуючи великі обсяги даних від різних пацієнтів.

По-друге, інтеграція з хмарними сервісами дозволяє реалізовувати автоматизовані системи управління, які можуть приймати рішення в режимі реального часу на основі даних, отриманих від сенсорних вузлів. Це забезпечує швидку реакцію на зміни у середовищі та дозволяє автоматизувати багато процесів. Наприклад, у системах розумного міста сенсори можуть збирати дані про трафік, які у режимі реального часу передаються до хмарної платформи для аналізу. На основі цього аналізу система може автоматично регулювати роботу світлофорів, оптимізуючи потік транспорту та зменшуючи затори. У промислових застосуваннях це може означати автоматичне налаштування виробничих процесів для підвищення ефективності та зменшення витрат.

По-третє, використання хмарних технологій забезпечує високу надійність та доступність системи. Хмарні платформи зазвичай використовують розподілені дата-

центри для зберігання та обробки даних, що забезпечує резервування та захист від збоїв. Це означає, що дані, зібрані сенсорними вузлами, будуть доступні навіть у разі виходу з ладу окремих компонентів системи. Крім того, хмарні сервіси часто пропонують високий рівень безпеки даних, включаючи шифрування, аутентифікацію користувачів та моніторинг безпеки, що є важливим для захисту конфіденційної інформації. Висока доступність даних у хмарі також дозволяє користувачам отримувати доступ до інформації та керувати системами з будь-якої точки світу, використовуючи Інтернет.

Таким чином, інтеграція WSN з IoT та хмарними сервісами відкриває нові можливості для більш ефективного збору, обробки та використання даних, підвищуючи рівень автоматизації та надійності систем, а також забезпечуючи безпеку та доступність інформації. Це створює умови для розвитку інноваційних рішень у різних сферах, включаючи промисловість, міське господарство, медицину та багато інших [8].

#### *Приклади застосування*

Інтеграція WSN з іншими технологіями має широке застосування в різних сферах. У промисловості, наприклад, сенсорні мережі можуть використовуватися для моніторингу стану обладнання та виявлення аномалій, що дозволяє запобігати аваріям та знижувати витрати на ремонт. У сільському господарстві WSN разом з IoT можуть забезпечувати моніторинг стану ґрунту та рослин, автоматично керуючи системами зрошення та добрив для підвищення врожайності [7].

Інтеграція безпроводових сенсорних мереж з Інтернетом речей та хмарними сервісами відкриває нові горизонти для створення інтелектуальних та ефективних рішень у різних сферах. Впровадження уніфікованих протоколів зв'язку, використання хмарних платформ та аналіз даних на високому рівні забезпечують високу продуктивність, надійність та енергоефективність таких систем. Це сприяє розвитку розумних будинків, міст та промислових об'єктів, покращуючи якість життя та оптимізуючи використання ресурсів [7].

### *Застосування нових програмних рішень*

Нові програмні рішення для WSN мають широкий спектр застосувань. У медичному моніторингу вони забезпечують дистанційне спостереження за станом здоров'я пацієнтів, аналіз фізіологічних показників та надання рекомендацій лікарями у режимі реального часу. Автоматизовані системи допомоги можуть реагувати на зміни стану пацієнтів, надсилаючи сигнали тривоги у разі погіршення стану здоров'я.

У сільському господарстві WSN використовуються для моніторингу умов навколишнього середовища та автоматичного управління процесами зрошення, внесення добрив тощо. Це дозволяє створювати розумні ферми, які оптимізують використання ресурсів та підвищують врожайність.

У промислових застосуваннях WSN дозволяють здійснювати контроль за виробничими процесами в режимі реального часу, забезпечуючи високу ефективність та безпеку. Системи прогнозування технічного обслуговування дозволяють моніторити стан обладнання та передбачати необхідність технічного обслуговування на основі аналізу зібраних даних.

Перспективи впровадження нових програмних рішень для WSN є надзвичайно багатообіцяючими. Інноваційні підходи до оптимізації енергоспоживання, покращення якості обслуговування, забезпечення безпеки та надійності, а також інтеграція з іншими сучасними технологіями відкривають широкі можливості для створення більш ефективних, надійних та універсальних систем для різних галузей [3].

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи було здійснено глибокий аналіз сучасних безпроводових сенсорних мереж. Основна увага була приділена питанням актуальності та доступності програмного забезпечення, а також вибору найбільш ефективних засобів обробки та зберігання вимірювань у безпроводовій мережі.

У процесі роботи було розглянуто різні аспекти топології безпроводових сенсорних мереж та відповідного програмного забезпечення. Виявлено, що такі мережі відкривають широкі перспективи застосування у різних галузях промисловості та медицини, зокрема для автоматизованого моніторингу стану здоров'я людей похилого віку та пацієнтів.

Досліджено швидкість вимірювання та передачі даних у безпроводовій мережі, а також їх обробку. Встановлено, що сучасне апаратне забезпечення та програмне забезпечення дозволяють забезпечити високу ефективність та надійність обробки даних, що робить такі мережі досить привабливими для різноманітних завдань.

Окрім того, виявлено, що програмне забезпечення та бази даних для сенсорних мереж доступні в різних варіантах, від вільно поширюваних до комерційних рішень. Усі дані вимірювань та досліджень користувачів зберігаються у надійних системах та структурованих базах даних, що гарантує їхню безпеку та доступність.

Нарешті, зазначено, що система може бути реалізована таким чином, що вона реагує на зміни у вимірюваннях миттєво та ефективно, надсилаючи дані на обробку та сповіщаючи користувача у найкоротший термін.

Результати проведеної роботи дозволили отримати глибоке розуміння принципів функціонування та можливостей сенсорних мереж з мобільними агентами, що значно розширює потенціал їхнього застосування в сучасних технологіях та медицині.

По-перше, дослідження розкрило фундаментальні принципи роботи сенсорних мереж з мобільними агентами, включаючи архітектуру таких мереж, протоколи зв'язку, методи збору та обробки даних. Це знання дозволяє ефективно проектувати та впроваджувати сенсорні мережі для різних застосувань, забезпечуючи високу надійність і продуктивність систем. Розуміння механізмів взаємодії між сенсорними вузлами та мобільними агентами є ключовим для оптимізації процесів збору інформації та її подальшої обробки.

По-друге, робота продемонструвала практичні можливості застосування сенсорних мереж з мобільними агентами у різних галузях. Наприклад, у промисловості ці мережі можуть бути використані для моніторингу виробничих процесів, контролю якості продукції, а також для прогнозування та запобігання аварійних ситуацій. У сільському господарстві сенсорні мережі допомагають здійснювати точне землеробство, моніторити стан ґрунту та рослин, що підвищує врожайність та знижує витрати на ресурси.

Особливо перспективним є застосування сенсорних мереж з мобільними агентами в медицині. Вони можуть бути використані для моніторингу стану пацієнтів у реальному часі, збору даних про їхнє здоров'я та автоматизованого аналізу цих даних для діагностики та прогнозування розвитку захворювань. Це дозволяє лікарям отримувати точну та своєчасну інформацію про стан здоров'я пацієнтів, що сприяє покращенню якості медичних послуг та знижує ризик ускладнень.

Отримані результати мають важливе практичне значення і можуть бути використані для розробки нових рішень та вдосконалення існуючих систем у різних галузях. Розуміння потенціалу та обмежень сенсорних мереж з мобільними агентами дозволяє більш ефективно використовувати ці технології, сприяючи розвитку інноваційних продуктів та послуг, які відповідають сучасним вимогам та викликам.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Abdelkader Outtagarts. Mobile Agent-based Applications: a Survey. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. November 2009. V.9. No.11. PP. 331-339.
2. Arya K.V., Bhadoria R.S., Chaudhari N.S. (Eds.) Emerging Wireless Communication and Network Technologies: Principle, Paradigm and Performance. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018. 359 p.
3. Bandyopadhyay S., Coyle E. An energy-efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks. Proceedings of IEEE INFOCOM. April 2003. PP. 1713-1723.
4. Balzano L., Nowak R. Blind calibration of networks of sensors: Theory and algorithms. Networked Sensing Information and Control. 2008. Springer US. PP. 9-37.
5. Bensky A. Short-range Wireless Communication, 3rd ed. Newnes, 2019. 462 p.
6. Bonaventure O. Computer Networking: Principles, Protocols and Practices. Release / O. Bonaventure. – cnp3book. 2018. – 272 p.
7. Bychkovskiy V., Megerian S., Estrin D., Potkonjak M. A Collaborative Approach to In-place Sensor Calibration. Int. Workshop on Information Processing in Sensor Networks. 2003. PP. 301-316.
8. Feng J., Megerian S., Potkonjak M. Model-Based Calibration for Sensor Networks. Sensors. 2003. PP. 737–742.
9. Min Chen, Taekyoung Kwon, Yong Yuan, Yanghee Choi, Victor C.M. Leung Mobile Agent-Based Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. 2007. Article ID 36871. 13 p. doi:10.1155/2007/36871.
10. Nowak R., Mitra U Boundary estimation in sensor networks: Theory and methods. In IPSN. 2003. PP. 80-95.

11. Qi H., Xu Y., Wang X. Mobile-Agent-Based Collaborative Signal and Information Processing in Sensor Networks. Proceedings of the IEEE. 2003. V.91. No.8. PP. 1172-1183.
12. Rajasegarar S., Leckie C., Palaniswami M., Bezdek J. Quarter Sphere Based Distributed Anomaly Detection in Wireless Sensor Networks. Proceedings of the IEEE International Conference Communications, UK. 2007. PP. 126-133.
13. Sallans B., Bruckner D., Russ G. Statistical Model-Based Sensor Diagnostic for Automation Systems. Field Bus Systems and their Applications. Elsevier. 2005. PP. 239-246.
14. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey. 2016. 538 p.
15. Tanenbaum A.S., Wetherall D.J. Computer Networks ; 5<sup>th</sup> Ed. Cloth : Prentice Hall. 2011. 960 p.
16. Taylor C., Rahimi A., Bachrach J., Shrobe H., Grue A. Simultaneous Localization, Calibration and Tracking in an Ad Hoc Sensor Network. Proceedings of 5th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN06). 2006. PP. 27-33.
17. Горяєва С.М. Методи підвищення ефективності телекомунікаційних сенсорних мереж. Дисертація на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук за фахом 05.12.02 - телекомунікаційні системи і мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2008. <http://www.disslib.org/metody-pidvyshchennja-efektyvnosti-telekomunikajnykh-sensornykh-merezh.html>.
18. Мельнікова Л. І., Линник Є. В., Кривошопка М. В., Барсук В. А. Оптимізація маршруту мобільного стоку в безпроводній сенсорній мережі. Проблеми телекомунікацій, 2019. №1(24). С. 104-112. Режим доступу: [http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/191\\_melnykova\\_optim.pdf](http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/191_melnykova_optim.pdf).

19. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
20. Толюпа С. В., Пархуць Л. Т., Власов О. М. Побудова та моделювання сенсорних мереж на сучасних інформаційних технологіях та забезпечення їх інформаційної безпеки. УДК 623.396.21 Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. 2011. №4(20). С.9-14.
21. Торошанко О. С. Метод вимірювань у безпроводових сенсорних мережах датчиками з повільним дрейфом параметрів. Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. 2018. – №1. С. 142-151.



# ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (презентація)

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизація обробки вимірювань в сенсорній мережі з мобільними агентами»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

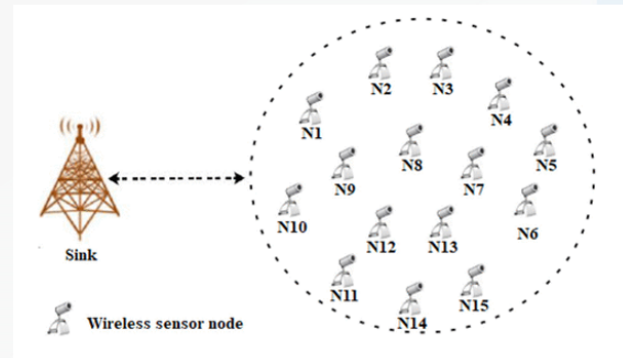
Виконав: Торошанко І.І, ІСД-41  
Науковий керівник роботи:  
Кіс О.Я.

Київ - 2024

- **Актуальність теми:** Використання мобільних агентів у сенсорних мережах для автоматизації обробки вимірювань стає все більш актуальним завдяки своїм численним перевагам. Ця технологія має широкий спектр застосування як у наукових, так і в промислових сферах.
- **Наукова новизна:** полягає у розробці нових алгоритмів збору та обробки даних, інтеграції мобільних агентів для підвищення ефективності мереж, а також впровадженні методів машинного навчання для аналізу даних. Це дозволить оптимізувати енергоспоживання, забезпечити надійність передачі даних та підвищити безпеку сенсорних мереж.
- **Об'єкт дослідження:** — автоматизація обробки даних у сенсорних мережах за допомогою мобільних агентів.
- **Предмет дослідження:** сенсорна мережа з мобільними агентами.
- **Мета дослідження:** полягає у розробці та впровадженні ефективних методів і алгоритмів автоматизації обробки вимірювань у сенсорних мережах з мобільними агентами, що дозволять підвищити точність, надійність та енергоефективність збору і передачі даних, а також забезпечити адаптивність мереж до динамічних змін в умовах реального середовища.
- **Завдання дослідження:**
  1. Проведення огляду сучасних сенсорних мереж.
  2. Дослідження актуальності програмного забезпечення для обробки та зберігання даних у сенсорних мережах.
  3. Вибір ефективних методів обробки та зберігання даних у сенсорних мережах з мобільними агентами.
  4. Дослідження алгоритму автоматизованої обробки даних у сенсорних мережах з мобільними агентами.
  5. Оцінка розробленого алгоритму.

## Огляд сучасних сенсорних мереж

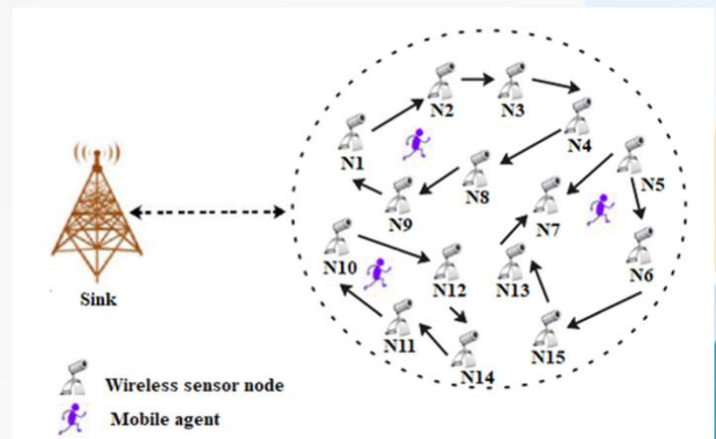
- На зображенні показана схема бездротової сенсорної мережі. Мережа складається з кількох бездротових сенсорних вузлів (позначені як N1, N2, ..., N15), які розташовані всередині кола, що символізує область їхньої дії. Ці сенсорні вузли збирають дані і передають їх на вузол збору даних (позначений як Sink) через бездротовий зв'язок. Вузол збору даних отримує інформацію від сенсорних вузлів для подальшої обробки або передачі.



3

## Застосування MAS у сенсорних мережах

Для автоматизації обробки вимірювань у сенсорній мережі за допомогою мобільних агентів, деякі дослідники пропонують використання багатоагентних систем (MAS). У цьому підході MAS розглядається як група мобільних агентів, які працюють разом та координуються для досягнення загальної мети. Кожен агент має власний маршрут та завдання в мережі бездротових сенсорів.



4

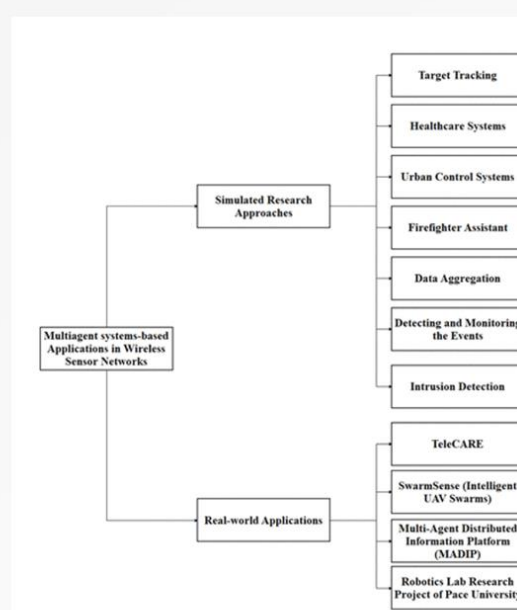
Мультиагентні системи (MAS) можуть значно покращити бездротові сенсорні мережі (WSN).

*Застосування:*

- Відстеження цілей.
- Системи охорони здоров'я.
- Системи керування містами.
- Помічник пожежника.
- Агрегація даних
- Системи моніторингу довкілля.
- Пошуково-рятувальні операції.

*Існуючі рішення:*

- SwarmSense.
- MADIP.
- TeleCARE.

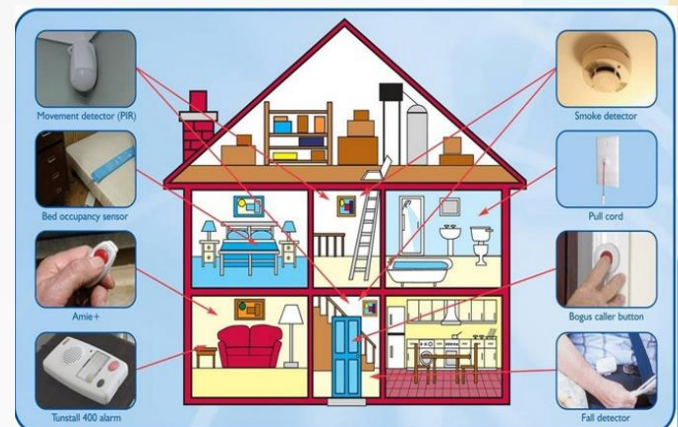


## Дослідження актуальності програмного забезпечення TeleCare

*Актуальність TeleCARE для сенсорних мереж:*

TeleCARE може бути корисним інструментом для обробки та зберігання даних у сенсорних мережах з кількох причин:

1. Здатність збирати дані з різних датчиків: TeleCARE може збирати дані з різних датчиків, що робить його гнучким інструментом для моніторингу різних аспектів здоров'я.
2. Централізоване зберігання даних: TeleCARE зберігає всі дані на центральному сервері, що робить їх легко доступними для аналізу та візуалізації.
3. Можливість попередження про проблеми зі здоров'ям: TeleCARE може аналізувати дані та надсилати попередження про потенційні проблеми зі здоров'ям, що може допомогти запобігти серйозним подіям.



## Аналіз системи TeleCare

Схематичне відображення програмного забезпечення, в якому присутні різні типи датчиків, які використовуються в домашніх умовах.

Датчики які використовуються в цій системі: персональний пристрій для відстеження активності, дозатор таблеток, датчик диму, датчик екстремальної температури, датчик затоплення, датчик руху, датчик ліжка, датчик падіння.

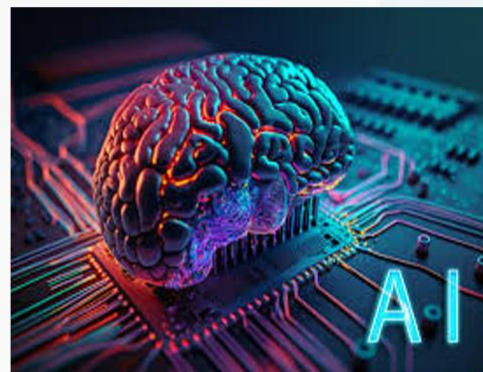


7

## Дослідження застосування ШІ для обробки та зберігання даних

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та еволюційних алгоритмів відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації агрегації даних у бездротових сенсорних мережах (WSN). ШІ та еволюційні алгоритми можуть автоматично відстежувати зміни в мережі та адаптуватися до них. Це гарантує, що процес агрегації даних завжди буде максимально ефективним, навіть у мінливих умовах.

Впровадження нових технологій дозволяє також оптимізувати маршрутизацію даних. За допомогою ШІ можна знаходити найкращі маршрути для передачі даних, що зменшує затримки та енергоспоживання. ШІ аналізує поточний стан мережі та обирає оптимальні шляхи для передачі інформації, забезпечуючи ефективність та надійність передачі



8

## Дослідження алгоритму автоматизованої обробки даних

Машинне навчання покращує обробку даних та дозволяє сенсорним вузлам:

1. Розпізнавати закономірності в даних.
2. Виявляти аномалії.
3. Прогнозувати майбутні події.

Це покращує моніторинг та контроль за:

- Метеорологічними умовами.
- Енергопостачанням.
- Рухом транспорту.
- Іншими процесами.

Алгоритм автоматизованої обробки даних:

1. Збір даних: Сенсорні вузли збирають дані з навколишнього середовища.
2. Передача даних: Дані передаються на центральний сервер або хмарну платформу.
3. Обробка даних.
4. Візуалізація та дії: Результати обробки даних візуалізуються та використовуються для оповіщення користувачів, прийняття рішень.



9

## Оцінка алгоритму автоматизованої обробки даних

Переваги	Недоліки
- підвищення точності моніторингу	- складність розробки та впровадження
- швидке виявлення проблем	- висока вартість
- оптимізація ресурсів	- потреба в обчислювальній потужності
- автоматизація рутинних завдань	

10

## *Висновки*

- Здійснено глибокий аналіз сучасних безпроводових сенсорних мереж. Основна увага була приділена питанням актуальності та доступності програмного забезпечення, а також вибору найбільш ефективних засобів обробки та зберігання вимірювань у безпроводовій мережі.
- Досліджено швидкість вимірювання та передачі даних у безпроводовій мережі, а також їх обробку.
- Встановлено, що сучасне апаратне забезпечення та програмне забезпечення дозволяють забезпечити високу ефективність та надійність обробки даних, що робить такі мережі досить привабливими для різноманітних завдань.
- Виявлено, що програмне забезпечення та бази даних для сенсорних мереж доступні в різних варіантах, від вільно поширюваних до комерційних рішень. Усі дані вимірювань та досліджень користувачів зберігаються у надійних системах та структурованих базах даних, що гарантує їхню безпеку та доступність.

11

## *Апробація*

1. I Всеукраїнська науково-технічна конференція "Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу" , 28 листопада 2023 року , ДУІКТ – «Огляд JavaScript Фреймворків для створення користувацьких інтерфейсів»
2. V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІОТ» ,18 квітня 2024 року, ДУІКТ – «Аналітичний огляд принципів побудови безпроводових сенсорних мереж»
3. DESIGN WIRELESS SENSOR NETWORKS USING MOBILE AGENTS / I. TOROSHANKO, L.BOIKO,O.KIS,O.VARFOLOMEEVA. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES. 2024. No. 1. P. 216–221.

Дякую за увагу!

12

